

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

1826

L. inw.

Grundwasser- und Quellenkunde

Zweite Auflage

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297167

K. Keilhack

Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde

Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde

Für Geologen, Hydrologen, Bohrunternehmer,
Brunnenbauer, Bergleute, Bauingenieure und Hygieniker

VON

Geh. Bergrat Prof. Dr. Konrad Keilhack

Abteilungsdirigenten der Kgl. Geologischen Landesanstalt in Berlin
Dozenten an der Technischen Hochschule in Charlottenburg

Zweite neu bearbeitete und vermehrte Auflage

Mit einer Tafel und 267 Abbildungen



Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Schöneberger Ufer 12 a

1917

G. 38. 153

XX
873

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

II 1826

Druck von E. Buchbinder (H. Duske) in Neuruppin

Akc. Nr. 412/49

Vorwort zur ersten Auflage

Das vorliegende Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde ist das Ergebnis 25jähriger praktischer Beschäftigung mit Fragen des unterirdischen Wassers, die sich teils auf die Versorgung von Städten, Ortschaften und industriellen Unternehmungen mit Wasser, teils auf die Untersuchung von Wasserentziehungen oder Wasserverunreinigungen, ihre Ursachen und Wirkungen bezogen und sich über einen großen Teil von Nord- und Mitteldeutschland erstreckten. Während meiner Vorlesungen über Grundwasserkunde an der Kgl. Bergakademie in Berlin, verschiedener Vortragskurse für Militärärzte über den gleichen Gegenstand am Kaiser-Wilhelms-Institut in Berlin und einer Anzahl Einzelvorlesungen für Verwaltungs- und Medizinalbeamte in der Kgl. Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung reifte allmählich der Plan zu einem Lehrbuche der Grundwasser- und Quellenkunde, für welches — nach den häufigen Fragen nach einem einschlägigen Werke zu urteilen — ein erhebliches Bedürfnis vorlag.

Ich glaube in meinem Buche alles Wesentliche behandelt zu haben; noch vorhandene Lücken hoffe ich so ausbauen zu können, daß aus dem Lehrbuche in absehbarer Zeit ein Handbuch der Grundwasserkunde sich entwickeln wird. Für jede sachliche Kritik und für jeden Rat in bezug auf die weitere Ausgestaltung des Werkes werde ich sehr dankbar sein.

Dank schulde ich meinem Bruder, Herrn Amtsgerichtsrat H. Keilhack in Kalkberge, der auf meine Bitte den letzten Hauptteil des Buches, die Kapitel 68—70, bearbeitete und damit zum erstenmale eine gewiß dankbar zu begrüßende Zusammenstellung des gesamten im Deutschen Reiche gültigen Wasserrechtes schuf. Ferner habe ich Herrn Prof. Dr. Albert Heim in Zürich für zahlreiche mündliche und schriftliche Mitteilungen zu danken; an vielen Stellen meines Buches sind die wertvollen Beiträge des erfahrenen Kollegen zu finden. Die Herren Prof. Dr. Ph. Glangeaud in Clermont-Ferrand, Landesgeolog Dr. Fr. Katzer in Serajewo und

Prof. Dr. H. Schardt in Zürich erfreuten mich durch Überlassung äußerst instruktiver Quellenbilder mit zugehörigen Erläuterungen.

Der Verlagsbuchhandlung Gebrüder Borntraeger und ihrem Inhaber Herrn Dr. Thost danke ich für die vortreffliche äußere Ausstattung des Buches.

Berlin-Wilmersdorf, 18. September 1912.

Vorwort zur zweiten Auflage

Trotz der kurzen Zeitspanne, die zwischen dem Erscheinen der ersten und zweiten Auflage dieses Buches liegt, habe ich an einer großen Anzahl von Stellen Verbesserungen und Zusätze einfügen und einige mir von befreundeter Seite zugegangene Ausstellungen berücksichtigen können. Neu hinzugekommen sind drei Kapitel über die Beziehungen des Grundwassers zum Bergbau, zur Rieselfeldwirtschaft und zur Landwirtschaft. Mit wertvollen Beiträgen erfreuten mich Herr Bezirksgeolog Dr. G. Berg in Berlin, Herr Dr. Hug in Bern und Herr Dr.-Ing. O. Smreker in Mannheim. Der letzte Hauptabschnitt über die rechtlichen Verhältnisse des Grund- und Quellwassers ist durch meinen Bruder, Herrn Amtsgerichtsrat H. Keilhack in Brandenburg a. H., umgearbeitet und ergänzt und auf die Schweiz und Österreich ausgedehnt worden. Der Umfang des Werkes ist durch alle diese Zusätze um fünf Druckbogen gewachsen, die Zahl der Abbildungen von 249 auf 267 gestiegen.

Ich werde auch in Zukunft jeder Anregung zu Verbesserungen und Ergänzungen bereitwilligst Folge geben.

Durch den Krieg hat das Erscheinen der zweiten Auflage, deren Druck Ende 1914 beendet war, eine Verzögerung erlitten.

Berlin-Wilmersdorf, im Januar 1917

K. Keilhack

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Seite

1. Kapitel. Die Bedeutung des Grundwassers im Haushalte des Menschen und der Natur 1

I. Die Hilfswissenschaften der Grundwasserkunde

1. Die geologischen Grundlagen der Grundwasserkunde

2. Kapitel. Petrographische Vorbemerkungen. Zusammensetzung der Eruptivgesteine, metamorphen Gesteine und Schichtgesteine. Porositätstypen. Kornbindung. Trümmergesteine 5
3. Kapitel. Die Entstehung der durchlässigen lockeren Gesteine: 1. durch Zerfall fester Gesteine an Ort und Stelle, 2. durch die zerstörende Wirkung der Brandungswooge, 3. durch Flußtransport, 4. durch Windtransport, 5. durch Gletschertransport, 6. durch vulkanische Tätigkeit, 7. durch Schwerkraftwirkungen 16
4. Kapitel. Schichtung und Schichtfugen. Auskeilende Schichtung 30
5. Kapitel. Die Lagerungsverhältnisse der Gesteine. Konkordanz. Diskordanz. Faltung. Flexur 33
6. Kapitel. Die Zerklüftung der Gesteine und die Bruchfugen. Risse, Spalten, Verwerfungen. Erstarrungsrisse, Haarrisie. Absonderungsformen der Gesteine 38
7. Kapitel. Die Schichtenstörungen. Verwerfungen, Blattverwerfungen, Überschiebungen. Störungszonen, Horste, Gräben 46
8. Kapitel. Die Entstehung von Hohlformen im Erdinnern. Primäre Hohlräume: Lavahöhlen, Korallenhöhlen. Sekundäre Hohlräume: Kalksteinhöhlen, Gipschlotten, Sandsteinhöhlen. Karsthöhlen 52
9. Kapitel. Stratigraphische Vorbemerkungen. Tabelle der geologischen Formationen und Perioden 55

2. Die chemischen Grundlagen der Grundwasserkunde

10. Kapitel. Chemie der Atmosphäriken. Löslichkeit der gesteinsbildenden Mineralien im Wasser. Chemische Wirkung der Bodenfeuchtigkeit und des Grundwassers 58

3. Die physikalischen Grundlagen der Grundwasserkunde

11. Kapitel. Einige Gesetze der Hydromechanik 66

II. Eigentliche Grundwasserkunde

1. Die Entstehung des Grundwassers

12. Kapitel. Begriffsbestimmungen. Grundwasser, Grundwasserkunde, Grundwasserspiegel, Grundwasserwelle, Grundwasserträger, Grundwasserstauer, Grundwasserscheide, Grundwasserhorizont, Grundwasserstockwerk. Quelle, Quellenhorizont, Quellenlinie. Gewöhnliches und artesisches Grundwasser. Grundwasserprofil 67

13. Kapitel. Der Grundwasserhaushalt. Verlust: Abfluß, Verbrauch der Vegetation, Verdunstung, chemische Bindung, Verbrauch des Menschen. Gewinn: Niederschläge, Kondensation, juveniles Wasser	Seite 71
14. Kapitel. Geschichtliche Entwicklung der Anschauungen über die Entstehung des Grundwassers. Plato, Aristoteles, Thales, Lucretius Carus, Vitruvius, Helmont, Kepler, Agricola, Descartes, Kühn, Kircher, Palissy, Vossius, Mariotte, de la Metherie, Keferstein, Vogler	74
15. Kapitel. Grundwassertheorien: a) Infiltrationstheorie, b) Kondensationstheorie. Verdunstung, offener Abfluß, Versickerung. Einfluß der Vegetation. Abflußmengen der Flüsse. Theorie der Dunstbälle. Gründe für die Kondensationstheorie	85
16. Kapitel. Die Formen des Wassers im Boden. Eis, Steineis, Bergfeuchtigkeit. Kapillares und tropfbar flüssiges Wasser. Gasförmiges Wasser. Chemisch gebundenes Wasser	103

2. Physikalisches Verhalten der Gesteine an sich gegenüber dem Wasser

17. Kapitel. Wasseraufnahmefähigkeit und Leitungsvermögen der Gesteine. Bergfeuchtigkeit. Undurchlässige und wenig wasseraufnahmefähige Gesteine. Undurchlässige und stark aufnahmefähige Gesteine. Mäßig durchlässige und sehr aufnahmefähige Gesteine. Leichtdurchlässige und sehr aufnahmefähige Gesteine	106
18. Kapitel. Die Kapillarität. Begriffsbestimmung. Experimentelle Ermittlung. Zahlenwerte	111
19. Kapitel. Das Porenvolumen der Gesteine und seine Bestimmung. Gewichtsvolumen, Porenvolumen. Ermittlungsmethode. Zahlenwerte	113
20. Kapitel. Die Bestimmung des Grundwassergefälles. Messung des Wasserspiegels. Anfertigung von Schichtlinienkarten des Grundwassers. Bestimmung aus drei Punkten	116
21. Kapitel. Die Ermittlung des Reibungswiderstandes der Gesteine	123
22. Kapitel. Die Wärmeverhältnisse des Grund- und Quellwassers. Warme und kalte Quellen. Temperaturschwankungen und ihre Bedeutung. Wanderung der Temperatur im Grundwasser. Ursache der Wärme der heißen Quellen. Abnahme der Wasserwärme mit der Höhe. Verwertung von Temperaturbeobachtungen	126

3. Das Grundwasser in lockeren durchlässigen Bildungen

23. Kapitel. Die Bewegung des Grundwassers im Boden bei Abwesenheit undurchlässiger Decken oder Einlagerungen. Grundwasserseen, Grundwasserströme, Grundwasserfälle	135
24. Kapitel. Das Grundwasser in toten Tälern. Norddeutsche Urstromtäler, alte Flußtäler in Mitteldeutschland. Alte eingedeckte Täler im Gebiete der alpinen Vorlandvergletscherung	138
25. Kapitel. Das Grundwasser in lebenden Tälern. Beziehungen zwischen Fluß- und Grundwasser	149
26. Kapitel. Das Grundwasser in diluvialen Hochflächen. Grundwasserscheiden und ihre Beziehungen zu oberirdischen Wasserscheiden	156
27. Kapitel. Das Grundwasser in Dünengebieten	161
28. Kapitel. Die Beziehungen des Süßwassers zum Salzwasser in durchlässigen Küstengebieten. Herzbergs und Badon-Ghijbens Prinzip. Salz- und Süßwasser unter Inseln und im Küstengebiete	162

29. Kapitel. Die Beziehungen des Grundwassers zu oberirdischen Wasserläufen. Flußversinkung im Trümmergestein und in festem Gestein. Beziehungen des Grundwassers zum Flußwasser bei Spree, Oder, Main, Donau und Limmat	Seite 172
30. Kapitel. Schwankungen des Grundwassers. Sättigungsdefizit. Jahresperioden in München, Berlin, Frankfurt a. M., Brünn und Bremen	195
31. Kapitel. Das Verhalten des Grundwassers bei Wechsellagerung durchlässiger und undurchlässiger, lockerer Schichten. Flächenhafte Verbreitung und linsenförmige Einlagerung der undurchlässigen Schichten	212
32. Kapitel. Die künstliche Absenkung des Grundwassers und ihre Begleiterscheinungen. Bleibende Absenkung, Senkungstrichter, Feststellung ihres Umfanges. Senkungskurven. Benutzung von Temperaturmessungen	223

4. Das Grundwasser in festen, an sich undurchlässigen und nur im großen durchlässigen Gesteinen

33. Kapitel. Das Grundwasser im gewöhnlichen, festen Gebirge. Wasserbewegung in Klüften und Spalten, Bewegungsgeschwindigkeit. Untere Grenze des bewegten Wassers. Aktive, passive und neutrale Zone. Wasser in zerklüfteten Einlagerungen undurchlässiger, nicht klüftiger Gesteine	235
34. Kapitel. Die hydrographischen Verhältnisse verkarsteter Gebirge. Oberflächenformen der Karstlandschaft, Karren, Dolinen, Karstmulden und Karstbecken. Hydrographische Unterschiede zwischen Karst und Nichtkarst. Grundsätze der Karstwasserhypothese. Fehlen eines kontinuierlichen Kluftwasserspiegels	247

5. Artesisches Wasser

35. Kapitel. Begriffsbestimmungen. Druckwassersysteme. Druckhöhe. Piezometrisches Niveau. Druckebene. Wasserdruckschichtlinien	262
36. Kapitel. Lagerungsformen der Gesteine zur Erzeugung artesischen Wassers. Muldenförmige Lagerung. Flexur. Geneigte Lagerung. Wechsel durchlässiger und undurchlässiger Schichten. Einlagerung undurchlässiger Schichten. Anlagerung undurchlässiger Schichten. Nach oben hin abnehmende Durchlässigkeit konkordanter Schichten. Spalten und Hohraumbildung	264
37. Kapitel. Die Herkunft des artesischen Wassers und die Entstehung des hydrostatischen Druckes. Wärmeverhältnisse	272
38. Kapitel. Schwankungen der Druckhöhen und Wasserdruckkarten. Wasserdrucklinien. Negative und positive Oberflächenstücke der Druckebene. Einwirkung des Quellabflusses auf die Form der Druckebene	275
39. Kapitel. Die Ergiebigkeit artesischer Grundwasserströme. Absenkungskurven im artesischen und im gewöhnlichen Grundwasser. Grundsätze für artesische Wasserversorgung. Lage und Ausdehnung des Nährgebietes. Gegenseitige Beeinflussung artesischer Brunnen	279
40. Kapitel. Beispiele von Druckwassergebieten. Pariser Becken. Süd-Dakota, Wisconsin, Texas. Ohretal, Provinz Posen, Muldegebiet, Venedig, Lombardei	288

6. Die Entstehung der Quellen

41. Kapitel. Allgemeines. Einleitung. Schuttquellen und Felsenquellen. Absteigende und aufsteigende Quellen	307
42. Kapitel. Absteigende Quellen. 1. Quellen durch Profilverengung im Wasserträger. Verkleinerung der Fläche des Gesamtprofils. Verringerung der Durchlässigkeit des Grundwasserträgers. Verringerung des Grundwasserfalles. Beispiele	309

	Seite
43. Kapitel. Absteigende Quellen. 2. Quellen durch natürliche Endigung des Grundwasserträgers. Lavaquellen. Schuttquellen	313
44. Kapitel. Absteigende Quellen. 3. Schichtquellen an durch Erosion herbeigeführten Endigungen des Wasserträgers. Übersicht der durchlässigen und undurchlässigen Schichten in den einzelnen Formationen Norddeutschlands. Horizontale oder geneigte Lagerung der undurchlässigen Schichten. Beispiele	316
45. Kapitel. Absteigende Quellen. 4. Überfallquellen. Vauclusequelle. Pfalz. Meißner. Alpen	337
46. Kapitel. Absteigende Quellen. 5. Stau- oder Barrierenquellen. Beispiele . .	349
47. Kapitel. Absteigende Quellen. 6. Spaltenquellen	352
48. Kapitel. Absteigende Quellen. 7. Verwerfungsquellen. Beispiele	353
49. Kapitel. Intermittierende Quellen. Erläuterung des Mechanismus. Beispiele	358
50. Kapitel. Aufsteigende Quellen. 1. Auftrieb durch hydrostatischen Druck. a) Schichtenquellen. b) Aufsteigende Verwerfungsquellen. Beispiele . .	360
51. Kapitel. Aufsteigende Quellen. 2. Auftrieb durch Gas. a) Wasserdampf. b) Kohlensäure. c) Kohlenwasserstoff	367
52. Kapitel. Die Veränderlichkeit der Quellen in bezug auf chemische Zusammensetzung, Temperatur und Ergiebigkeit. Ertragskurven. Beispiele. Einfluß von Erderschütterungen auf Quellen und Grundwasser	378

7. Chemie des Grundwassers

53. Kapitel. Allgemeines über die Chemie der Mineralwasser. Form der gelösten Salze im Wasser. Ionisierung. Elektrolyte und Nichtelektrolyte. Elektrolytische Dissoziation. Dissoziationsgrad. Form der Mineralwasseranalyse .	388
54. Kapitel. Die Herkunft der im gewöhnlichen Grundwasser und in den Mineralwassern enthaltenen Salze und Gase. a) Feste, gelöste Bestandteile: Chloride, Sulfate, Sulfide, Karbonate, Eisen, Mangan, Lithium, Strontium, Barium, Phosphate, Borsäure, Arsen, Kieselsäure, Ammoniak, Salpetersäure, Salpetrige Säure. b) Gasförmige Bestandteile: Kohlensäure.	398
55. Kapitel. Einteilung der Mineralquellen. 1. Einfache kalte Quellen. 2. Einfache warme Quellen. 3. Einfache Säuerlinge. 4. Erdige Säuerlinge. 5. Alkalische Quellen. 6. Kochsalzquellen. 7. Bitterquellen. 8. Eisenquellen. 9. Schwefelquellen. Definition und Beispiele	408
56. Kapitel. Einfluß des Wasserträgers auf die chemische Zusammensetzung des Wassers. Analysen der Meißnerquellen nach dem durchflossenen Gestein geordnet	412
57. Kapitel. Die Ablagerungen des Grundwassers und der Quellen. Eisen, Kalktuff, Erbsenstein, Kieselsinter, Schwefel, Humusablagerung. Natürliche Abdichtung der Quellwege	420

8. Die Wasseruntersuchung

58. Kapitel. Die Methoden der Probeentnahme. Entnahme aus Quellen und Bohrlöchern. Ausführung der Probeentnahme. Menge des Wassers. Temperatur der Probe. Vorläufige Prüfung durch Gesicht, Geschmack, Geruch und Reaktion. Berücksichtigung der örtlichen und meteorologischen Verhältnisse	426
59. Kapitel. Die bakteriologische Untersuchung. Entnahme der Wasserproben, Aussaat, Herstellung der Nährgelatine, Zählung der Keime	433
60. Kapitel. Bestimmung der schwebenden, festen Körper, des Rückstandes, des Glühverlustes und der Härte	440

	Seite
61. Kapitel. Die Bestimmung schädlicher Stoffe. Qualitativer Nachweis von Salpetersäure, Salpetriger Säure, Ammoniak, Schwefelsäure, Chlor, Schwefelwasserstoff und Kohlensäure	444
62. Kapitel. Die selbsttätige Verzeichnung der Schwankungen des Salzgehaltes mit Hilfe der elektrischen Leitungsfähigkeit des Wassers nach Spitta und Pleißner	447

9. Die Aufsuchung von Wasser

63. Kapitel. Die Aufsuchung von Quellen. Verfolgung des offenen Abflusses. Beachtung von Gehängemooren, Kalktuffablagerungen, Nischenbildung infolge von Gehängerutschungen. Eisenabscheidung, meteorologische und biologische Kennzeichen. Aufsuchung von Quellen im festen Gestein, bei horizontalem, geneigtem, gefaltetem, tafelförmigen und zerbrochenem Schichtgestein, bei Anwesenheit von Eruptivgängen, in Schuttkegeln und Terrassen. Aufsuchung von Quellen im lockeren Gestein, besonders in Glazialablagerungen. Beurteilung von Quellen nach ihrer Herkunft und in sanitärer Hinsicht. Regeln und Erfahrungen beim Fassen von Quellen. Fassung von Mineralquellen	453
64. Kapitel. Die Aufsuchung von Grundwasser und Erkundung des geologischen Baus und der hydrographischen Verhältnisse. Aufsuchung durch Bohrungen	472
65. Kapitel. Die Ermittlung der Ergiebigkeit von Quellen und Grundwasser. Messungsmethoden an Quellen. Beurteilung der Quellenergiebigkeit. Ermittlung der Ergiebigkeit von Grundwasser. Feststellung der Fließgeschwindigkeit. Methoden von A. Thiem und Slichter. Methode von A. Thiem zur Bestimmung der Grundwassermenge. Spezielle Ergiebigkeit. Methoden zur Berechnung der Ergiebigkeit von Richert. Methode der Ergiebigkeitsbestimmung von O. Smreker. Dauerpumpversuch	478
66. Kapitel. Die Verfolgung unterirdisch fließenden Wassers mit Hilfe von Salzen und Farbstoffen	486
67. Kapitel. Das Torpedieren von Wasserbohrungen	491
68. Kapitel. Staatlich aufgestellte, für Preußen, beziehungsweise das Deutsche Reich gültige Grundsätze und Anleitungen für die Einrichtung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen. Wasserbedarf, Wasserbeschaffenheit. Notwendige Beschaffenheit des Grundwasserträgers. Sicherheit des Grundwasserträgers gegen Verunreinigung von der Oberfläche. Bildung von Schutzbezirken	493

10. Die Beziehungen der Hydrologie zum Bergbau, zum Rieselfeldbetriebe und zur Land- und Forstwirtschaft.

69. Kapitel. Hydrologie und Bergbau. Grundwasser und Tagebaubetrieb. Grundwasser und Tiefbau. Braunkohle, Schwimmsand. Erz- und Steinkohlenbergbau, Salzbergbau, Bodensenkung durch Wasserentziehung. Einwirkung des Bergbaus auf Thermen und Mineralquellen	519
70. Kapitel. Hydrologie und Rieselfeldwirtschaft. Voruntersuchungen. Spiegelaufhöhung. Schäden und ihre Verhinderung	543
71. Kapitel. Die Beziehungen des Grundwassers zur Land- und Forstwirtschaft	549

III. Gesetzgebung und Rechtsprechung

72. Kapitel. Die rechtliche Behandlung des Grund- und Quellwassers. Sachsen- spiegel. Stellung der Salzquellen im deutschen Recht. Römisches Recht, Allgemeines Landrecht. Bürgerliches Gesetzbuch, Badisches, Württem-	
---	--

	Seite
bergisches, Sächsisches, Bayerisches Wasserrecht. Bestimmungen des Preussischen Wassergesetzes von 1913. Entwurf eines österreichischen Reichswasserrechtsgesetzes. Gesetzliche Bestimmungen in der Schweiz	558
73. Kapitel. Die Vorschriften über den Quellenschutz und die Bildung von Schutzbezirken für gemeinnützige Quellen, insbesondere für Preußen. Bestimmungen in Bayern, Württemberg, Sachsen, Baden, Preußen und Österreich	590
74. Kapitel. Entscheidungen der höchsten Gerichte in Grund- und Quellwasserfragen	599
Ortsverzeichnis	609
Sachverzeichnis	622
Druckfehlerverzeichnis	640

20

1. Kapitel

Einleitung

Die Bedeutung des Grundwassers im Haushalte des Menschen und der Natur

Die Grundwasser- und Quellenkunde, d. h. die Lehre von der Entstehung, der Bewegung, dem Verlauf und dem Wiederzutagetreten des unter der Erdoberfläche zirkulierenden Wassers ist eine Wissenschaft von hervorragend praktischer Bedeutung. In den ältesten Zeiten war die Besiedelungsmöglichkeit einer Gegend unter allen Umständen bedingt durch das Auftreten von Wasser in geringer Tiefe unter der Erdoberfläche oder in Gestalt von Quellen an dieser selbst. Zahlreiche Ortsnamen, wie Lippspringe, Heilbronn, Paderborn, drücken deutlich die innigen Beziehungen zwischen Besiedelung und Wasserverhältnissen aus. Selbst in größerem Umfange läßt sich diese Beziehung verfolgen, wenn wir wahrnehmen, wie alle größeren alten Städte an Stellen gegründet worden sind, wo große Wassermengen in bequemer Weise zur Verfügung standen. Ich erinnere hier nur an Rom, Wien, Paris. Auch bei neueren Städten läßt sich diese Abhängigkeit noch erkennen. Die älteren Stadtteile von London stehen sämtlich auf Schotterflächen, in denen Grundwasser in reichlicher Menge vorhanden ist, während die ehemals un bebauten Zwischengebiete auf den jene Schotter unterlagernden, eozänen und nicht wasserführenden Tonen erbaut sind. Auch die Stadt Berlin ist in ihren älteren Teilen durchaus beschränkt auf das grundwasserreiche Urstromtal, in welchem heute die Spree fließt, während die höher gelegenen Gebiete im Norden und Süden erst dann zur Besiedelung gelangten, als eine künstliche Wasserversorgung mittels Leitungen eingerichtet wurde. Wo aus wasserarmen Gebirgen auf längerer Linie Quellen austreten, wie z. B. am Rande der Schwäbischen Alb oder in gewissen Teilen der Champagne, da sehen wir die Siedlungen dicht gedrängt. Ganz besonders auffällig ist die Abhängigkeit der Besiedelung von dem Auftreten und der Erschließung von Quellen in allen Gebieten, die wir als Wüsten zu bezeichnen pflegen. Hier sind

die einzigen bewohnten Plätze, die Oasen, diejenigen Stellen, an denen das Wasser entweder in Gestalt natürlicher Quellen dem Boden entströmt oder künstlich durch Brunnengrabungen erschlossen worden ist.

Die Grundwasserkunde ist für die verschiedensten Disziplinen von hoher Bedeutung; in erster Reihe ist hier die moderne Hygiene zu nennen. Das Bestreben unserer Zeit ist darauf gerichtet, die Einzelversorgung der menschlichen Haushalte aus flachen Brunnen zu ersetzen durch eine einwandfreie zentrale Wasserversorgung; hierbei ist die Grundwasserkunde berufen, die Wege zu ebnen, die Stellen zu bezeichnen, an denen mit Erfolg nach Wasser gesucht werden kann, und die Mengen zu berechnen, die für solche Anlagen zur Verfügung stehen.

Auch bei der Beseitigung der Abwässer des menschlichen Haushalts spielt die Grundwasserfrage eine bedeutende Rolle, weil bei der Art des modernen Rieselbetriebes auf verhältnismäßig kleinen Flächenräumen große Wassermengen zwecks Reinigung und Filtrierung dem Boden zugeführt und dem Grundwasserschatz wieder einverleibt werden. Letzterer erleidet hierdurch wesentliche und zum Teil sehr bedeutungsvolle Veränderungen.

Von hoher Bedeutung ist weiterhin die Kenntnis und Erforschung der Wasserverhältnisse des Untergrundes für zahlreiche Zweige unserer Technik. Diese Bedeutung trat natürlich erst im letzten Jahrhundert wesentlich in die Erscheinung, hat aber seitdem mit dem ungeheuren Wachstum unserer Industrie und Verkehrsmittel ständig zugenommen.

Der älteste und in lebhaftester Weise an der Grundwasserfrage beteiligte Zweig der Technik ist der Bergbau. Es ist bekannt, welche gewaltigen Schwierigkeiten ihm die in der Tiefe zusitzenden Wasser in den Weg stellen. Oftmals ist das Schicksal eines ganzen Bergbaugebietes davon abhängig, ob es gelingt, die zusitzende Wassermenge vollständig zu beseitigen. Es sei hier nur an die schweren Katastrophen erinnert, die der Salzbergbau zu allen Zeiten und allerorts durch Wassereinbrüche erlitten hat, und an die großen Schwierigkeiten, die vielerorts die zusitzenden Wasser dem Braunkohlenbergbau bereiten.

Ein verwandter Industriezweig, dessen Gedeihen von der Möglichkeit der Beseitigung des Grundwassers abhängt, ist der Steinbruch- und Tagebaubetrieb, in welchem nutzbare Erzlagerstätten, Braunkohlen und andere Bodenschätze ausgebeutet werden. Erst die steigende Entwicklung unserer Maschinen-Industrie hat die Gewinnung von Schätzen ermöglicht, deren Erlangung infolge der überaus großen Wasserschwierigkeiten unseren Vorfahren versagt blieb. Hat man doch heute schon Tagebaubetriebe, in welchen das ungeheure Quantum von 150000 Liter in der Minute gefördert wird.

Auch unsere übrigen Industrien stellen ungeheure Ansprüche in bezug auf Wasser. Ein Verbrauch von 5 bis 10 cbm in der Minute ist

bei zahlreichen chemischen Fabriken, Zuckerfabriken, Stärkefabriken, Brauereien, Elektrizitätswerken die Regel, so daß ein einziges solches Werk größeren Umfanges einer Wassermenge bedarf, die für die Versorgung einer Stadt mit mehreren hunderttausend Einwohnern ausreichend sein würde. Wenn eine Entnahme aus offen fließendem Wasser ausgeschlossen ist, so muß die Grundwasserkunde suchen, es aus der Tiefe zu gewinnen.

Auch im Bauwesen spielen die Wasser der Tiefe eine ungeheure Rolle. Ich erinnere hier nur an die Schwierigkeiten, die bei manchen Eisenbahnbauten im Gebirge der Bau der Tunnels hervorgerufen hat. Während einerseits manche der großen Tunnels in so trockenem Gebirge standen, daß das zum Maschinenbetrieb erforderliche Wasser von außen zugeführt werden mußte (Mont Cenis), erwachsen bei anderen, wie z. B. beim Simplontunnel aus den zuzitenden, zum Teil heißen Wassern die allergrößten Schwierigkeiten für die Vollendung des Baues.

Auch bei nach oben offenen Eisenbahneinschnitten spielt die Wasserführung der angeschnittenen Schichten insofern eine bedeutende Rolle, als durch sie Verschiebungen und Rutschungen der hangenden Schichten herbeigeführt werden können, wodurch dauernde Reparaturen der Strecke erforderlich werden.

Wie groß die Schwierigkeiten sind, welche die zuzitenden Wasser den modernen Untergrundbahnen bereiten, und welche gewaltigen Vorkehrungen zur Trockenlegung der Baustrecken erforderlich sind, dafür hat der Bau der Berliner Untergrundbahn eindringlich Zeugnis abgelegt.

Auch der gewöhnliche Hochbau hat mit dem Grundwasser als einem wichtigen Faktor zu rechnen. Die Fundamentierung ist in wasserreichen Schwimmsandschichten oft mit großen Schwierigkeiten verknüpft, so daß besondere Trockenlegungsarbeiten oder außerordentlich tiefgreifende und kostspielige Fundierungen vorausgehen müssen. Auch wenn es sich darum handelt, Bauwerke tief unter der Erdoberfläche zu schaffen, wie beispielsweise im Untergrunde großer Theater, ist die Beseitigung des Grundwassers in den Baugruben und die Berechnung seiner Menge von größter Bedeutung für die Wahl der aufzustellenden Pumphanlagen.

Ganz hervorragend wichtig ist auch die Rolle, die das Wasser in der Kanalbau-Technik spielt; hier handelt es sich einmal um die Möglichkeit der Speisung der Kanäle aus Grundwasser-Reservoirs und sodann um Vermeidung der Gefahr, daß die Kanalwasser durch undichte Stellen des Kanalbettes in die Tiefe versinken. Dazu kommt noch, daß bei solchen Kanalbauten, die in tiefen Einschnitten Landschwellen durchstechen, ganz bedeutende Umänderungen in den Grundwasserverhältnissen weiter Gebiete herbeigeführt werden können, wie z. B. durch den

Einschnitt des Teltowkanals in der Hochfläche südlich von Berlin und durch den Nordostseekanal.

Gleichfalls der neueren Zeit erwachsen ist das Bestreben, die Wassermengen unserer Flüsse aufzuspeichern und unmittelbar in Kraft umzusetzen durch Anlage von riesenhaften Staubecken. Auch hier ist die Grundwasserkunde berufen, eine wichtige Rolle zu spielen, da es sich einmal darum handelt, die aus dem Grundwasser herrührenden Zuflüsse solcher Staubecken festzustellen und sodann die Möglichkeiten des Entweichens des Wassers aus dem Staubecken in das Nachbargestein zu prüfen und Mittel zu seiner Verhinderung zu schaffen.

In das Gebiet der modernen Gesundheitspflege gehört die Untersuchung der Wasser, die durch gelöste Stoffe oder durch hohe Temperatur oder durch beides heilkräftige Eigenschaften erlangt haben. Nicht nur ihre Aufsuchung und Erschließung, sondern auch ihr Schutz gegen Eingriffe Dritter gehört zu den Aufgaben der Quellenkunde.

Ganz gewaltig ist ferner die Rolle, die das unterirdische Wasser im organischen Haushalt der Natur spielt. Diese Seite des Stoffes betrifft wesentlich unsere Landwirtschaft. Wo das Wasser im Boden fehlt und Niederschläge nur in unzulänglichem Maße vorhanden sind, fehlt die Vegetation und mit ihr das tierische Leben, und da fehlt auch die Besiedelungsfähigkeit durch den Menschen. Ungeheuer ist die Größe der Flächenräume solcher kulturfeindlichen Gebiete, die durch Erschließung von Wasser in der Tiefe oder durch Herleitung weit entlegener oberflächlicher Wasserläufe aus regenlosen Wüsten in üppige Weizenfelder oder paradiesische Obstgärten umgewandelt worden sind. Besonders der wasserarme Westen der Vereinigten Staaten von Amerika und große Teile Australiens und Indiens haben auf diesem Gebiete Ungeheures geleistet.

Aber auch für die Verhältnisse im Kleinen ist die Grundwasserfrage von großer Bedeutung. Unsere Landwirtschaft unterscheidet im wesentlichen zwei große Nutzungsformen des Bodens: den Acker und die Wiese. Der Unterschied beider besteht darin, daß in den Wiesen ein reicher und unerschöpflicher Schatz von Wasser den Pflanzen zur Verfügung steht, während der Ackerbau Flächen beansprucht, die nicht unter einem Übermaß von Feuchtigkeit zu leiden haben. In zahlreichen Fällen wird unsere Technik hier eingreifen müssen und entweder die Wasserzufuhr zu vergrößern oder zu reichliche Wassermengen durch künstliche Entwässerung herabzumindern bestrebt sein. In beiden Fällen wird die Grundwasserkunde als wertvolle Hilfswissenschaft hinzugezogen werden müssen.

I. Die Hilfswissenschaften der Grundwasserkunde

Hilfswissenschaften der Quellen- und Grundwasserkunde sind in allererster Reihe die Geologie, in zweiter die Physik und Chemie. Es ist deshalb nötig, zunächst eine Darstellung aller derjenigen Lehren dieser drei Wissenschaften zu geben, die für unseren Gegenstand von Bedeutung sind.

1. Die geologischen Grundlagen der Grundwasserkunde

Die Grundwasserkunde selbst gehört zu dem weiten Gebiete der Allgemeinen Geologie. Andererseits sind von den einzelnen Zweigen der geologischen Wissenschaft für die Lehre vom Grundwasser folgende vier von Wichtigkeit:

1. Die Petrographie oder die Lehre von der Zusammensetzung der Gesteine,
2. Die dynamische Geologie, soweit sie sich mit der Entstehung der lockeren Trümmergesteine und mit der Zertrümmerung der festen Gesteine beschäftigt,
3. Die architektonische Geologie oder die Lehre von den Lagerungs- und Strukturformen der Gesteine,
4. Die Stratigraphie oder die Lehre vom Alter der Gesteine.

2. Kapitel

a) Petrographische Vorbemerkungen

Die Zusammensetzung der Gesteine ist in doppelter Beziehung von Interesse: einmal beeinflußt sie die chemische Zusammensetzung des Wassers und sodann bedingen die mechanischen Verbandsverhältnisse der einzelnen Elemente eines Gesteins seine größere oder geringere Durchlässigkeit für Wasser.

Wir unterscheiden die Gesteine nach ihrem Habitus in kristallinische Gesteine und in klastische oder Trümmergesteine.

a) In den kristallinischen Gesteinen begegnen uns die sie zusammensetzenden Mineralien entweder als völlig ausgebildete, ringsum von ebenen Flächen begrenzte Kristalle, oder in der mannigfachsten Weise miteinander verwachsen, so daß die einzelnen Körner zu einer Entwicklung ihrer Kristallflächen nicht gelangen konnten, ohne daß ein

besonderes Bindemittel zwischen ihnen vorhanden war. Ein typisches Beispiel eines kristallinen Gesteins stellt der Granit dar.

b) Ihnen gegenüber stehen die klastischen oder Trümmergesteine, die aus einzelnen Mineral- oder Gesteinsbrocken bestehen und entweder lockere Anhäufungen darstellen oder durch ein besonderes Bindemittel verkittet sind. Sind die einzelnen Trümmerbestandteile eckig und kantig, so heißt das aus ihnen entstandene Gestein Brekzie; sind sie dagegen mehr oder weniger gut abgerollt, so spricht man von Konglomeraten. Sinkt die Korngröße der einzelnen Trümmerbestandteile auf ein geringes Maß, so wird das Gestein als Sandstein bezeichnet, wenn die verkitteten Körner abgerollt, als Grauwacke, wenn sie eckig sind. Sinkt die Größe der einzelnen Trümmerteilchen so weit, daß sie mit bloßem Auge nicht mehr wahrgenommen werden können, so erhalten wir die verschiedenen Arten der tonigen Gesteine.

Eine andere Einteilung der Gesteine ist die nach der Art ihrer Entstehung. Man kann sie alsdann in drei große Gruppen zerlegen. Die erste umfaßt alle Gesteine, die in flüssigem, geschmolzenem Zustande aus der Tiefe der Erde emporgequollen und aus diesem Schmelzfluß durch Abkühlung hervorgegangen sind. Sie werden als Eruptivgesteine bezeichnet.

Die zweite Gruppe umfaßt alle Gesteine, die als Absätze unter Wasser oder unter der Luft entstanden sind; sie bezeichnet man als Sediment- oder Schicht-Gesteine.

Zwischen diesen beiden Gruppen steht eine dritte, die der kristallinen Schiefer. Sie umfaßt kristallinische schiefrige Gesteine, die entweder umgewandelte Sedimente oder durch Druck schiefrig gewordene Eruptivgesteine sind.

a) Die Eruptivgesteine

Die wichtigsten Mineralien, welche am Bau der Eruptivgesteine beteiligt sind, sind Quarz, Feldspat, Glimmer, Augit, Hornblende, Nephelin, Leuzit, Olivin und einige andere, deren chemische Zusammensetzung die folgende ist:

Quarz	= SiO_2	= reine Kieselsäure
Feldspat	{ Orthoklas = $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$	= Kali-Tonerde-Silikat
	{ Albit = $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$	= Natron-Tonerde-Silikat
	{ Anorthit = $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	= Kalk-Tonerde Silikat
	{ Mikroklin = $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$	= Kali-Tonerde-Silikat
	{ Oligoklas = $\left\{ \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \\ \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \end{array} \right\}$	= Kalk-Natron-Tonerde-Silikat
Glimmer	{ Biotit = $(\text{KH})_2(\text{MgFe})_2(\text{AlFe})_2\text{Si}_3\text{O}_{13}$	= Kali-Magnesia-Tonerde-Eisen-Silikat
	{ Muskowit = $\text{H}_4\text{K}_2\text{Al}_6\text{Si}_8\text{O}_{24}$	= Kali-Tonerde-Silikat

Augit =	$\left\{ \begin{array}{l} (\text{FeMg})\text{CaSi}_2\text{O}_6 \\ (\text{FeMg})\text{Al}_2\text{SiO}_6 \end{array} \right\}$	= Eisen-Magnesia-Kalk-Tonerde-Silikat
Hornblende =	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ca}(\text{FeMg})_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \\ (\text{FeMg})_2(\text{AlFe})_4\text{Si}_2\text{O}_{12} \end{array} \right\}$	= Eisen-Magnesia-Kalk-Tonerde-Silikat
Nephelin =	$(\text{NaK})_8\text{Al}_5\text{Si}_9\text{O}_{34}$	= Kali-Natron-Tonerde-Silikat
Leuzit =	$\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$	= Kali-Tonerde-Silikat
Olivin =	$(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$	= Eisen-Magnesia-Silikat
Diallag =	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ mit Al_2O_3	= Tonerdehaltiges Kalk-Magnesia-Silikat
Apatit =	$3 \text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{ClF})_2$	= Kalkphosphat mit Chlor- und Fluor-Kalzium
Enstatit =	MgSiO_3	= Magnesia-Silikat
Hypersthen =	$(\text{FeMg})\text{SiO}_3$	= Eisen-Magnesia-Silikat
Epidot =	$\text{H}_2\text{Ca}_4(\text{AlFe})_6\text{Si}_6\text{O}_{26}$	= Kalk-Tonerde-Eisen-Silikat
Granat		= Kalk-Magnesia-Eisen-Tonerde-Silikat
Magnetit =	Fe_3O_4	= Eisenoxyd-Oxydul
Pyrit =	FeS_2	= Schwefeleisen
Rutil =	TiO_2	= Titansäure
Titanit =	$\text{Ca}(\text{TiSi})\text{O}_8$	= Kalk-Titan-Silikat

Die wichtigsten Eruptivgesteine sind

1. Der Granit, ein aus Feldspat, Quarz und Glimmer zusammengesetztes, regellos körniges Gestein von sehr verschiedener Korngröße.

2. Der Porphyr, ein Gestein, das in einer dichten Grundmasse große Kristalle oder Mineralkörner von denselben Mineralien enthält, die auch in der Grundmasse auftreten. Die Hauptfeldspäte des Gesteins sind Orthoklase. Die wichtigsten Typen der Porphyre sind der Quarzporphyr und der Granitporphyr.

3. Der Syenit, ein gleichmäßig körniges, manchmal auch porphyrartiges Gestein, dessen wesentliche Bestandteile Feldspat und eins der drei Mineralien Hornblende, Glimmer und Augit sind. Danach werden die drei Gruppen des Hornblende-, Augit- und Glimmer-Syenits unterschieden.

4. Der Diabas, ein meist dunkles, aus Feldspat und Augit zusammengesetztes Gestein, von welchem je nach den noch hinzutretenden Mineralien eine ganze Reihe von Abänderungen unterschieden werden.

5. Der Melaphyr, ein graugrünes bis schwärzliches, porphyrisches Gestein, aus Kalk-Natron-Feldspat, Augit und Olivin zusammengesetzt.

6. Der Gabbro, ein mittel- bis grobkörniges, aus hellem Feldspat und dunkelgrünem Pyroxen zusammengesetztes Gestein.

7. Der Diorit, von dem Diabas nur dadurch unterschieden, daß er statt des Augits Hornblende führt.

8. Der Porphyrit, von den Porphyren dadurch unterschieden, daß sich bei ihm statt des Orthoklas Plagioklasfeldspat einstellt. Nach den außerdem noch auftretenden, in größeren Körnern und Kristallen ausgeschiedenen Mineralien unterscheidet man Hornblende-, Glimmer- und Augitporphyrit.

9. Die Olivingesteine sind meist dunkelgrün; ihr wesentlicher Gemengteil ist Olivin, zu dem neben untergeordnetem Feldspat noch Glimmer oder Mineralien der Hornblende- oder Augitgruppe hinzukommen.

Aus olivinreichen oder hornblende- und augitreichen Gesteinen hervorgegangene Umwandlungsprodukte sind die im wesentlichen ein wasserhaltiges Magnesiumsilikat darstellenden Serpentine.

Während die bisher genannten Eruptivgesteine zum größten Teile in den älteren Abschnitten der Erdgeschichte zur Entstehung gelangten, sind die nun folgenden nur aus ihrer jüngeren Altersstufe bekannt. Die wichtigsten sind:

1. Trachyt, ein quarzfreies Gestein, das aus Sanidin sowie Hornblende, Glimmer oder Augit besteht,
2. Andesit, aus Plagioklas und Hornblende oder dunklem Glimmer zusammengesetzt,
3. Phonolith, aus Feldspat und Nephelin nebst Augit gebildet,
4. Basalt, dunkle bis schwarze, dichte Gesteine, aus Feldspat, Augit, Olivin und Magnet- oder Titaneisen zusammengesetzt,
5. Lava, ein Name, unter dem wir die basaltartigen Ergüsse der modernen Vulkane verstehen.

b) Die metamorphen Gesteine

Zu ihnen zählen Gneis, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer, Chloritschiefer, Quarzitschiefer und Phyllit. Sie alle besitzen ein durchaus kristallinisches Gefüge und sind darin den Eruptivgesteinen ähnlich, während sie sich durch ihre ausgesprochene Schichtung und die parallele Anordnung ihrer Gemengteile den Sedimenten anschließen. Wir begegnen ihnen vorwiegend in den älteren und ältesten Formationen der Erde und müssen in ihnen größtenteils Umwandlungsprodukte von Sedimentgesteinen sehen, die durch gebirgsbildende Prozesse oder durch die Einwirkung größerer Eruptivgesteinsmassen wesentliche stoffliche und Formenveränderungen erlitten haben. Derartig umgewandelte, ehemals echte Sedimente begegnen uns bisweilen auch in jüngeren Formationen

der Erdgeschichte. Andere kristalline Schiefer sind durch Druck in ihrer Struktur veränderte Eruptivgesteine.

Der Gneis besitzt dieselbe Zusammensetzung wie der Granit, so daß Feldspat, Quarz und Glimmer seine Hauptbestandteile darstellen.

Der Glimmerschiefer ist ein sehr vollkommen schiefriges Gestein, welches wesentlich aus Glimmer und Quarz besteht, sich also vom Gneis durch das Fehlen von Feldspat unterscheidet.

Die Hornblendeschiefer oder Amphibolite bestehen im wesentlichen aus Hornblende, neben der aber auch andere Mineralien, wie Feldspat, Quarz, Chlorit, Glimmer, auftreten.

Die Chloritschiefer sind schuppig körnige oder schuppig schiefrige Gemenge von Chlorit mit Beimengungen von Quarz, bisweilen auch von Feldspat und Glimmer.

Unter Phyllit versteht man dunkle, meist dünnschiefrige, seidenglänzende, dem Tonschiefer ähnliche Gesteine, die sich in der Hauptsache aus glimmerartigen Mineralien zusammensetzen, zu denen Quarz, Chlorit, Feldspat und Eisenerze hinzutreten.

Die Quarzitschiefer endlich sind feinkörnige Anhäufungen von Quarzkörnern, die parallel struiert sind und schiefrig erscheinen. Neben Quarz treten in ihnen auch bisweilen Glimmerblättchen und andere Mineralien auf.

c) Die Schichtgesteine

Nach ihrer Entstehung können wir die Schichtgesteine in fünf Gruppen einteilen:

- a) solche organischen Ursprungs,
- b) chemische Ausscheidungen,
- c) vulkanische Trümmergesteine,
- d) im Wasser abgelagerte klastische Sedimente,
- e) unter der Luft ohne Mitwirkung des Vulkanismus abgelagerte Trümmergesteine.

a) Die Gesteine organischen Ursprungs können entweder durch pflanzliche oder durch tierische Tätigkeit erzeugt sein. Die Anhäufungen reiner Pflanzensubstanz in Gestalt von Kohlenstoffverbindungen begegnen uns von den jüngsten bis zu den älteren Formationen. Die heute noch entstehenden Gesteine werden als Torf bezeichnet, die etwas älteren, meist der Tertiärformation angehörenden, als Braunkohle, die noch älteren als Steinkohle. Ganz anders ist die zweite Art der pflanzlichen Sedimente, die durch die Anhäufung winziger Kieselshalen einzelliger Algen erzeugt werden. Es ist dies die Kieselgur, ein Faulschlammgestein, welches besonders in jüngeren Formationen des

Tertiärs und Quartärs vorkommt. Noch anderen Ursprungs sind die sogenannten Algenkalke; es sind das Gesteine, die durch die Anhäufung kalkabsondernder Algen erzeugt werden. Sie bilden beispielsweise im oberen Tertiär der Insel Sizilien ungeheure Ablagerungen eines weißen, knolligen Kalksteins, des Lithothamnienkalkes, begegnen uns aber auch bereits in älteren Formationen.

Nicht weniger bedeutend ist die Menge der Gesteine, die durch tierische Tätigkeit erzeugt werden. Hierher gehören vor allen Dingen zahllose Kalksteine, die entweder unmittelbar durch Anhäufung der kalkigen Skelette vieler Tiere oder durch Umwandlung der aus denselben entstandenen Trümmer erzeugt wurden. Es sind vor allem die Korallen, die in ganz hervorragendem Maße als Gesteinsbildner auftreten, sodann aber auch zahlreiche Geschöpfe aus der Gruppe der Schnecken, zweischaligen Muscheln und Armfüßler, sowie Angehörige der großen Gruppe der Stachelhäuter. Als Beispiel seien genannt der Korallenkalk, der Bryozoenkalk, der Krinoidenkalk, der Terebratelkalk. Aber auch die Schalen mikroskopisch kleiner Tiere, Foraminiferen und Radiolarien, vermögen gesteinsbildend aufzutreten und erzeugen die Radiolariengesteine und den Nummuliten- und Fusulinenkalk.

Teils pflanzlichen, teils tierischen Ursprungs sind die unter vollständigem Luftabschlusse gebildeten Faulschlammgesteine oder Sapropelite, die in wechselnden Mengen anorganische Beimengungen (Sand, Ton, Kalk) enthalten und als Ablagerungen stehender Gewässer sich in allen Formationen finden.

b) Chemische Ausscheidungen. Als solche haben wir die Ablagerungen verschiedener Salze anzusehen, die dadurch aus Lösungen auskristallisieren, daß letztere übersättigt werden. Da bekanntlich jedes Salz nur bis zu einem bestimmten Prozentgehalt im Wasser löslich ist, so muß, wenn eine vollständig gesättigte Lösung noch weiter eingengt wird, der Überschuß sofort ausscheiden. Auf diese Weise sind besonders in den mesozoischen Formationen zahllose Ablagerungen von Anhydrit (wasserfreies Kalziumsulfat), Gips (wasserhaltiges Kalziumsulfat) Steinsalz und zahlreiche Salzminerale der sogenannten Abraumsalze oder Kalisalze der Zechsteinformation entstanden.

In ähnlicher Weise sind aus Süßwasser durch Absatz von Kieselsäure gewisse Süßwasserquarzite (Kieselsinter) und durch Absatz von kohlensaurem Kalk lockere, porös-zellig struierte Kalksteine, die sogenannten Kalktuffe und Kalksinter entstanden.

c) Vulkanische Trümmergesteine. Unter ihnen sind in erster Reihe die Tuffe und Tuffgesteine zu nennen. Sie stellen eine Anhäufung losen vulkanischen Materials dar, welches aus den Vulkanen in Form von kleinen Gesteinspartikelchen ausgeblasen, alsdann zu Boden

gefallen und durch Bindemittel mehr oder weniger verfestigt und zum Teil auch verändert worden ist; ihr Absatz kann aus der Luft entweder auf dem Erdboden oder im Wasser erfolgt sein. Auch können zunächst auf dem Lande abgelagerte vulkanische Trümmerbildungen später in Wasserbecken hineingelangen und in diesen ihre endgültige Stätte finden. Die Korngröße der einzelnen Bestandteile in diesen Tuffen schwankt vom feinsten vulkanischen Staub bis zu den größten Auswürflingen, den sogenannten vulkanischen Bomben. Die Tuffe und Tuffgesteine begegnen uns vorwiegend in den Gebieten des jüngeren Vulkanismus, am meisten da, wo sich heute noch tätige Vulkane finden. Ja manche von diesen haben überhaupt keine Lavaströme gefördert, sondern sind vollständig aus losen Auswurfsgesteinen aufgebaut. Auch in den Gebieten tertiärer vulkanischer Tätigkeit spielen die Tuffe noch eine außerordentlich wichtige Rolle. Aber sie fehlen auch nicht als Begleiter der älteren mesozoischen und paläozoischen Eruptivgesteine. Je nach den gleichzeitig mit ihnen erzeugten und in der mineralogischen Zusammensetzung naturgemäß mit ihnen übereinstimmenden massigen Eruptivgesteinen unterscheiden wir diese älteren vulkanischen Trümmergesteine als Porphy-, Diabas-, Basalt-, Trachyt-, Phonolith-, Andesittuffe usw.

Die lockersten und voluminösesten Tuffe sind die Bimsteintuffe, die im wesentlichen aus zerriebenen Bimstein-Auswürflingen sowie aus Brocken veränderter vulkanischer Gesteine aufgebaut sind. Der Puzzolan der römischen Campagna und der phlegräischen Felder, der Traß des Brohltales am Rhein sind Tuffe trachytischer Eruptivgesteine.

d) Im Wasser oder an der Luft abgelagerte klastische Sedimente. Alle hierher gehörigen Gesteine befinden sich entweder noch in ihrem ursprünglichen losen Zustande, d. h. die einzelnen Trümmerstücke liegen locker nebeneinander, oder sie sind durch spätere Vorgänge mehr oder weniger stark verkittet. Als Verkittungs- und Verfestigungsmittel dient die Kieselsäure, die dem Gestein gewöhnlich in Lösung zugeführt wird und dann auskristallisiert, sodann Ton, Mergel, kohlenaurer Kalk, Dolomit, Gips, Eisenhydroxyd und einige andere Eisenverbindungen. Die Verkittung¹⁾ kann entweder eine vollständige sein, d. h. die Zwischenräume zwischen den einzelnen Mineralkörnern sind vollständig mit den verkittenden Stoffen erfüllt, oder die Verkittung ist unvollständig, d. h. von den ursprünglichen Hohlräumen ist noch ein Teil erhalten geblieben und das Bindemittel nimmt nur einen Bruchteil von ihnen ein. Bei der großen Bedeutung dieser verschiedenen Arten der Verkittung für die Wasserführung der Gesteine mögen hier nach dem unten angegebenen Werke Hirschwalds einige nähere Mitteilungen folgen:

¹⁾ J. Hirschwald, Handbuch der bautechnischen Gesteinsuntersuchung I, Berlin 1911.

Er unterscheidet 12 Porositätstypen der Gesteine.

1. Dichtes Mineralgefüge mit spärlichen unzusammenhängenden Kapillaren.
2. Dichtes Mineralgefüge mit reichlichen netzartig zusammenhängenden Kapillaren.
3. Dichtes Mineralgefüge mit netzartig zusammenhängenden Kapillaren und vereinzelt größeren Hohlräumen.
4. Dichtes Mineralgefüge mit zusammenhängenden größeren Porenzügen.
5. Sehr reichliche kleinere Poren zwischen den körnigen Bestandteilen (Texturporen).
6. Sehr reichliche Texturporen und vereinzelt größere Hohlräume (Strukturporen).
7. Netzartig zusammenhängende Kapillaren im Bindemittel ohne größere Hohlräume.

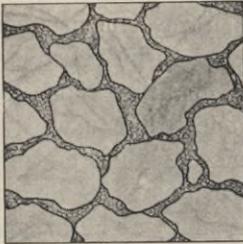


Fig. 1

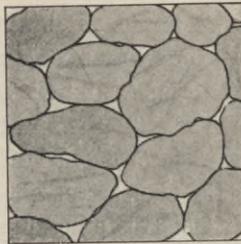


Fig. 2

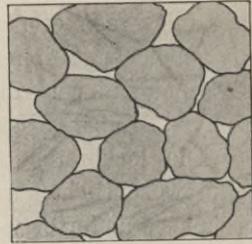


Fig. 3

8. Netzartig zusammenhängende Kapillaren im Bindemittel und vereinzelt größere Hohlräume.
9. Durchlässige Zwischenmasse, diskontinuierlich eingelagert einer undurchlässigen Hauptmasse.
10. Durchlässige Zwischenmasse, diskontinuierlich eingelagert einer durchlässigen Hauptmasse.
11. Durchlässige Zwischenmasse, kontinuierlich eingelagert in einer undurchlässigen Hauptmasse.
12. Durchlässige Zwischenmasse, kontinuierlich eingelagert in einer durchlässigen Hauptmasse.

Es ist klar, daß von diesen Typen 1 und 9 undurchlässige, 2 und 7 mäßig durchlässige und der Rest mehr oder weniger leicht durchlässige Gesteine darstellt.

Speziell in bezug auf die als Wasserträger sehr wichtigen Sandsteine unterscheidet Hirschwald folgende Kornbindungstypen:

1. Kornbindung durch kristallographisch orientierten Quarz, ohne Texturporen.

2. Kornbindung durch nicht orientierten homogenen Quarz, ohne Texturporen.
3. Kornbindung durch granulösen Quarz, ohne Texturporen (Fig. 1).
4. Kornbindung durch orientierte Quarzüberrindung mit leeren Texturporen (Fig. 2 u. 3).
5. Kornbindung durch orientierte Quarzüberrindung mit leeren Textur- und Strukturporen (Fig. 4).
6. Kornbindung durch orientierte Quarzüberrindung. Texturporen durch ein differentes Porenzement gefüllt.
7. Kornbindung durch orientierte Quarzüberrindung. Texturporen durch ein differentes Zement gefüllt. Strukturporen leer.
8. Kornbindung durch orientierte Quarzüberrindung. Textur- und Strukturporen durch ein differentes Zement gefüllt.

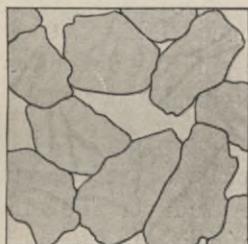


Fig. 4

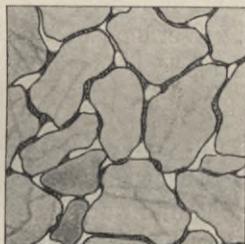


Fig. 5



Fig. 6

9. Kornbindung durch ein von den Quarzkörnern substanziell verschiedenes differentes Kontaktzement, mit leeren Texturporen (Fig. 5).
10. Kornbindung durch differentes Kontaktzement, mit gefüllten Texturporen (Fig. 6).
11. Kornbindung durch Basalzement.

Von diesen Typen sind naturgemäß 1—3, 6, 8, 10—11 ganz oder ziemlich undurchlässig, 4, 5 und 7 und 9 mehr oder weniger zur Wasseraufnahme geeignet.

Wir können uns die klastischen Sedimente dieser Gruppe am besten nach der Gestalt und Größe der einzelnen Trümmerbestandteile in folgende Gruppen zerlegen:

1. Eckige Trümmer verschiedensten, aber immer beträchtlichen Umfanges. Die Maße sind nach oben hin nicht begrenzt und wir kennen beispielsweise unter dem Material der Bergstürze Trümmernmassen, die die Größe eines Hauses übertreffen.

Neben dem besonders im Hochgebirge verbreiteten Material der Bergstürze, welches naturgemäß immer die sanfteren Abhänge und die

Talböden überkleidet, begegnen uns derartige aus eckigen Trümmern aufgebaute Gesteine noch in den sogenannten Schuttkegeln, d. h. in den Anhäufungen des durch Verwitterung gelockerten und vom Felsen abgesprengten Materials am Fuße steiler Hänge. Sind diese eckigen Trümmergesteine verkittet, so bezeichnen wir sie als Brekzien. Ihr Bindemittel besteht in den meisten Fällen aus kohlensaurem Kalk.

2. Gerundete oder abgerollte Trümmer von beträchtlicher Größe. Hierher gehören unter den losen Bildungen Brandungsgerölle, Moränenschutt, sowie die ganz groben Schotter schnell strömender Bergflüsse. Werden derartige Bildungen verkittet, so bezeichnen wir sie als Konglomerate, die je nach ihrem Bindemittel alsdann noch weiter unterschieden werden.

3. Schotter und Kiese. Wir verstehen darunter alle lockeren Bildungen, deren Korngröße mindestens 2 mm beträgt und sich in mäßigen Dimensionen hält. Werden solche Bildungen verkittet, so bezeichnen wir sie gleichfalls als Konglomerate. Sie sind von den unter 2 genannten nur durch ihre geringere Korngröße unterschieden.

4. Sandige Bildungen. Alle abgerollten Gesteinstrümmer, deren Korngröße zwischen 2 und 0,1 mm schwankt, bezeichnen wir als Sand. An seiner Zusammensetzung kann zwar eine große Anzahl von Mineralien teilnehmen, unter ihnen aber beansprucht in den meisten Fällen den Hauptanteil der Quarz. In den zahlreichen Sanden der Braunkohlenformation herrscht er fast allein; in den gewaltigen Anhäufungen der Eiszeit herrscht er mit 90 % vor, und ähnlich liegen die Verhältnisse auch bei den sandigen Ablagerungen älterer Formationen. Neben dem Quarz treten noch folgende Mineralien auf: Feldspat, Glimmer, Augit, Hornblende, Magneteisen und Glaukonit. Viele Sande enthalten auch Kalkkörner und gelegentlich finden sich Sande, die mehr oder weniger vollständig aus abgerollten Kalksteintrümmern zusammengesetzt sind. Werden die Sande verkittet, so entstehen die verschiedenen Sandsteine: Quarzit, Quarzsandstein, Sandsteine mit tonigem, kalkigem, kieseligem, dolomitischem und eisenschüssigem Bindemittel. Eine besondere Art des Sandsteins ist die Grauwacke, deren Körner aus Quarz und aus Bruchstücken einer Reihe von andern Mineralien und Gesteinen, wie Quarzit, Kieselschiefer, Feldspat, Glimmer, gebildet werden. Die Grauwacke ist in ihrer Korngröße recht verschieden und geht von körnigem bis in ganz dichtes Gestein über. Sie ist wesentlich auf die älteren Formationen vom Karbon an rückwärts beschränkt.

5. Feinsand. Mit diesem Namen bezeichnen wir die feinsten sandigen Zerreibungsprodukte, deren Korngröße unter 0,1 mm herabsinkt. Dieselben Mineralien, die uns aus dem vorigen Abschnitt bekannt geworden sind, können sich auch am Aufbau der Feinsande beteiligen.

Durch Verkittung werden sie zu dichten Sandsteinen. Vielleicht gehört hierher auch ein Teil der als Kieselschiefer bezeichneten Gesteine, in denen diese feinsten Sande durch ein kieseliges Bindemittel verkittet worden sind.

6. Ton. Die feinsten Schlemmprodukte, die von den Flüssen als schwebende Trübe mitgeführt werden und erst später in ruhigem Wasser zum Absatz gelangen, bilden die tonigen Sedimente. Wasserhaltiges Tonerdesilikat, eigentliche plastische Tone bilden in ihnen fast immer nur einen Teil des Ganzen. Es treten hinzu: feinstzerriebenes Quarzmehl, kohlsaurer Kalk, kohlsaurer Kalkmagnesia (Dolomit), Gips und Eisenverbindungen, sowie in vielen Fällen auch organische Substanz. In den jüngeren Formationen begegnen uns die Tongesteine meist noch in lockerem Zustande, d. h. sie lassen sich im Wasser völlig aufschlämmen und in ihre einzelnen Partikelchen zurückzerlegen. Auch in den mesozoischen Formationen begegnen uns vielfach noch Tongesteine im gleichen Zustande, während sie in den älteren Formationen meist verkittet und durch sekundäre chemische Prozesse umgewandelt worden sind. Wir bezeichnen sie alsdann als Tonschiefer oder Schiefertone. Eine besondere Strukturabart der Tonschiefer stellen die außerordentlich gleichmäßig geschieferten sogenannten Dachschiefer dar. Besitzen die Tone erhebliche Beimengungen von Kalk oder Dolomit, so werden sie als Mergel bezeichnet, bei gleichzeitiger Anwesenheit von schwefelsaurem Kalk als Gipsmergel.

e) Unter der Luft abgelagerte Trümmergesteine. In gewissem Sinne gehören hierher naturgemäß auch die bereits unter c besprochenen vulkanischen Trümmergesteine, ferner aber ausgedehnte Sandablagerungen, die vom Winde erzeugt und als Dünen bezeichnet werden, sowie ebenfalls in ungeheurer räumlicher Erstreckung sich findende feinsandig-staubige Ablagerungen, die als Löß bezeichnet werden. Die Dünen sande begegnen uns heute in den Dünen überall als lockere, unverkittete Anhäufungen von durchaus überwiegenden Quarzsanden. Nur an gewissen Kalksteinküsten entstehen auch richtige Kalksand-Dünen. In fossilem Zustande werden die Dünen sande zu gewöhnlichem Sandstein.

Der Löß ist ein Gemenge von feinstem Staubsand und besitzt die Eigentümlichkeit der Haarröhrchen-Struktur, d. h. er ist durchzogen von zahllosen sich verzweigenden, senkrechten Hohlräumen, die meist mit kohlsauerm Kalk ausgekleidet sind. Er ist durch ganz Europa und Asien von der Bretagne bis nach China in einer sich nach Osten hin mehr und mehr verbreiternden Zone abgelagert. (Vergl. über Dünen und Löß auch Kapitel 3.)

3. Kapitel

b) Die Entstehung der durchlässigen, lockeren Gesteine

Die an der Erdoberfläche oder in geringer Tiefe unter ihr lagernden lockeren Gesteine spielen als Wasserträger eine außerordentlich wichtige Rolle in weiten Gebieten der Erde. Wir betrachten sie deshalb zunächst nach der Art ihrer Entstehung, weil diese uns zugleich einen Einblick in ihre geographische Verbreitung gewähren kann. Lockere Gesteine entstehen:

1. durch den Zerfall festen Gesteins an Ort und Stelle,
2. durch die zerstörende Wirkung der Brandungswooge,
3. durch Flußtransport,
4. durch Gletschertransport,
5. durch Windtransport,
6. durch vulkanische Tätigkeit,
7. durch Schwerkraftwirkungen.

1. Durch die verschiedenen Prozesse der Verwitterung (chemische Auflösung, Spaltenfrost, organische Tätigkeit) sind die weitaus meisten Gesteine in ihren Oberflächenschichten zerrüttet und aus festen Gesteinen in ein lockeres, eckiges Haufwerk verwandelt worden, das nach unten ganz allmählich in das unverwitterte Gestein übergeht, manchmal aber auch durch eine ziemlich scharfe Grenze von ihm getrennt ist. Manche Gesteine haben die Eigentümlichkeit, sich durch Auflösung in ein Aggregat ihrer einzelnen Mineralien so umzuwandeln, daß die Struktur des Gesteins vollständig erhalten bleibt, seine Festigkeit aber gänzlich verschwindet. Besonders sind es die Granite, die eine solche grusige Umbildung häufig erleiden, und die Mächtigkeit der aufgelockerten oberen Schichten kann eine recht beträchtliche werden. Der Granit hat weiter die Eigentümlichkeit, daß die Auflockerung sich um widerstandsfähigere, sehr viel länger fest bleibende Kerne vollzieht, die entweder als große, feste Blöcke in dem lockeren Haufwerk stecken oder, wenn letzteres fortgeführt wird, als Blockmeere die verwitternden Gesteinspartien überkleiden. Beispiel: Brocken, Fichtelgebirge, Böhmerwald, Odenwald. Bei harten Sedimentgesteinen erfolgt der Zerfall bei der Verwitterung nicht nach den Konturen der einzelnen Mineralien, sondern meist in unregelmäßiger Weise nach Rissen und Klüften des Gesteins, so daß bei ihnen zumeist ein eckig-kantiger Schutt entsteht.

Die Größe der den Gesteinsschutt bildenden einzelnen Trümmer hängt von dem Grade der Zerklüftung des Gesteins ab und schwankt in ziemlich weiten Grenzen, von den winzigsten Bruchstücken bis zu metergroßen und größeren Platten und Stücken. Je feiner ferner das Gestein geschichtet ist, um so feiner gekörnt, je gröber es geschichtet ist, um so grobstückiger ist gewöhnlich der Verwitterungsschutt.

2. Die brandende Meereswooge besitzt die Fähigkeit, die festen Gesteine der Küste zu zerstören und in lockere Trümmergesteine umzuwandeln. Der Vorgang erfolgt dadurch, daß die Steilküsten zunächst von der Brandungswelle unterhöhlt werden, so daß die ihrer Unterlage beraubten Teile niederstürzen, und daß diese Trümmer dann in unablässiger Arbeit weiter und weiter zerstört werden. Die entstandenen, schließlich vollkommen abgerollten Stücke werden in langen Linien entlang der Küste angehäuft und können bei negativer Strandverschiebung, d. h., wenn das Land aus dem Meere emporsteigt, ausgedehnte Terrassen lockerer, meist grober Gesteinstrümmer bilden. Beispiel: Bretagne, Wales und zahlreiche andere heutige Küsten, alte Strandwälle in Skandinavien, der Krim und a. a. O.

3. Ein außerordentlich wichtiger Faktor für die Erzeugung durchlässiger, lockerer Gesteine ist das fließende Wasser. Ununterbrochen werden den Flußläufen von den Abhängen der von ihnen durchflossenen Täler Gesteinsmassen, Ergebnisse der unter 1 genannten Verwitterung zugeführt und von ihnen weitertransportiert. Dabei erleiden die einzelnen Trümmerstücke eine Abschleifung und Abrollung ihrer scharfen Kanten und Ecken und werden in Gerölle, Kiese, Schotter und Sande umgewandelt und zugleich durch immer weiter gehende Abschleifung zerkleinert. Wir finden infolgedessen in dem Bett eines jeden Flusses Material der verschiedensten Korngrößen, dessen Abrollung um so vollkommener ist, je länger die betreffenden Trümmer vom Wasser bewegt sind. Zugleich findet eine natürliche Aufbereitung statt, indem jedes Geröllstück nur soweit befördert werden kann, als das Wasser eine zu seinem Transport ausreichende Fließgeschwindigkeit und Transportkraft besitzt. Vermindert sich das Gefäll, so bleiben die größten bisher noch vorwärtsbewegten Gerölle liegen, und da die Gefällverminderung bei den meisten normal entwickelten Flüssen vom Quellgebiet nach dem Mündungsgebiet hin stetig abnimmt, so begegnen uns im allgemeinen die größten Schotter im Oberlauf der Flüsse, die feineren Kiese im mittleren Laufe und die sandigen Ablagerungen im Unterlaufe. Die Zertrümmerung hört aber nicht auf bei der Erzeugung von Sanden, sondern setzt sich noch weiter fort und als ihr Ergebnis begegnen uns nacheinander Bildungen, die aus so feinen Sandkörnern bestehen, daß sie kaum noch mit dem Auge unterschieden werden können (Schluffsande oder Fein-

sande), und sodann Bildungen von einer Feinheit des Kornes, daß sie die Eigenschaft der Plastizität annehmen und uns zu den Tonen hinüberleiten. Es besteht also von den groben Schottern bis herab zu den feinsten Tonen eine fortlaufende genetische Reihe ohne scharfe Grenzen der einzelnen Bildungen. Die Entstehung und Ablagerung loser Flußsedimente erfolgt nun aber nicht nur im Talboden und im Laufe der heutigen Flüsse, sondern hat sich auf dem Wege eines jeden Flusses zu allen Zeiten seiner Entwicklungsgeschichte abgespielt. Das heutige Bild, welches uns unsere Flußtäler darbieten, stellt nur eine Phase in ihrer Entwicklung dar. Die meisten haben ihre Täler vertieft und flossen in zurückliegenden Zeiten in höherem Niveau. Diese älteren, höheren Lagen der Talböden sind uns vielfach noch erhalten in Form von mehr oder weniger hoch über dem heutigen Talboden gelegenen Terrassen, die zum großen Teil aus den damaligen lockeren Aufschüttungen der Flüsse bestehen (Fig. 7 und 9).

Die Zusammensetzung der von den Flüssen abgelagerten Gesteine, die naturgemäß für die Beschaffenheit der in ihnen zirkulierenden

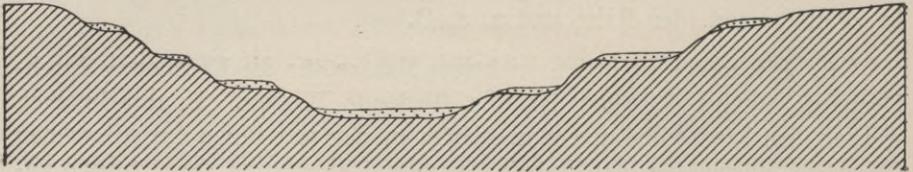


Fig. 7. Erosionsterrassen

Wasser von großer Bedeutung ist, spiegelt durchaus nicht immer die petrographische Zusammensetzung des vom Flusse entwässerten Gebietes wieder. Es findet vielmehr unter den dem Flusse zugeführten Gesteinen eine natürliche Auslese statt, indem die leicht zerreiblichen, weicheren Gesteine sehr bald vollkommen zerrieben und in die Form von feinsten Sanden und von Tonen übergeführt werden. Dahin gehören weiche Sandsteine, Tonschiefer, Letten, Mergel, Kalkstein und Dolomit. Ferner spielt die Löslichkeit im Wasser eine wichtige Rolle. Die aus Gipsgebirgen mitgeführten Gesteinsstücke fallen in kurzer Zeit einer vollständigen Auflösung anheim. Aber auch das dem Flusse zugeführte kalkhaltige Material ist besonders in seiner schlammigen Form der Auflösung stark unterworfen. Dagegen halten sich eine Reihe von anderen Gesteinen, fast alle Eruptivgesteine, Gneise, Glimmerschiefer, Amphibolite, Quarzite, Grauwacken während des Wassertransportes sehr gut und erlangen unter dem Geröllmaterial schließlich das Übergewicht, selbst wenn sie es im ganzen Strömgebiet bei weitem nicht besitzen.

4. Eine gewisse Ähnlichkeit mit der Tätigkeit des fließenden Wassers besitzt die des Gletschereises. Die Gletscher wirken in hohem

Maße zerstörend auf die Gesteine, über die sie hinwegwandern und empfangen, ebenso wie die Flüsse, große Mengen von lockerem Gesteinsschutt von den sie überragenden Abhängen.

Sowohl das unmittelbar dem Untergrunde entnommene, wie das von den Seiten her zugeführte eckige Schuttmaterial wird im Eise eingeschlossen weiter transportiert, wobei die einzelnen Gesteinsstücke sich gegenseitig infolge ungleichmäßiger Bewegung abschleifen und abreiben. Dadurch und durch die von vornherein schon sehr verschiedenartige Größe der einzelnen Trümmerstücke ist es bedingt, daß in dem im Gletschereise eingeschlossenen Gesteinsschutt alle Korngrößen vom feinsten Staub bis zu den größten Blöcken vertreten sind. Dieses Material wird unmittelbar vom Eise in doppelter Form abgelagert: Entweder auf der Unterfläche des Gletschers in Gestalt einer in einem tonigen Bindemittel eingeschlossenen Brekzie, die als Grundmoräne bezeichnet wird, oder in durch Anhäufung vor der Abschmelzlinie erzeugten rückenförmigen Schuttanhäufungen, die als Endmoränen bezeichnet werden. Gleichzeitig mit der Entstehung beider findet eine umfangreiche natürliche Ausschlämmung seitens der durch Abschmelzung des Eises entstandenen, oftmals sehr bedeutenden Wassermengen statt, durch welche der Moränenschutt in seine einzelnen Bestandteile zerlegt wird. Die Gletscherwasser sind infolgedessen außerordentlich stark mit Schwebstoffen und Sinkstoffen beladen und milchig getrübt. Die feinen tonigen Teile wandern entweder mit den Gletscherflüssen in große, als Klärbecken dienende Seen hinein (Bodensee, Genfer See), oder wenn diese fehlen, ins Meer, während alle größeren Bestandteile, Sand, Kies, grobe Gerölle, so weit transportiert werden, wie das Gefälle und die Wassermenge, also die Stoßkraft des Flusses es gestattet. Alle diese Erscheinungen, die wir an jedem unserer heutigen Gebirgsgletscher sich abspielen sehen, und die Erzeugung aller genannten lockeren Bildungen, Grundmoräne, Endmoräne, Kies-, Sand- und Tonablagerungen, fanden nun in einem im Verhältnis zur Jetztzeit unvergleichlich viel größerem Maßstabe in der sogenannten Eiszeit statt, während deren ein großer Teil der nördlichen Hemisphäre, sowohl in Nordamerika wie in Europa, von ungeheuren Inlandeisdecken überkleidet war. Durch den abwechselnd erfolgten Absatz von rein glazialen Sedimenten (Moränenbildungen) und fluvio-glazialen, d. h. von den Schmelzwässern des Inlandeises erzeugten lockeren Kies-, Sand- und Tonabsätzen, wurden Schichtenreihen erzeugt, die die ehemals von Inlandeis bedeckten Gebiete heute in einer stellenweise mehr als 200 Meter betragenden Mächtigkeit überkleiden. Solche Verhältnisse begegnen uns in Europa von der belgischen Grenze durch Holland, das gesamte norddeutsche Flachland und die nördliche Hälfte des großen russischen Flachlandes und es sind dadurch ungeheure Gebiete mit lockeren Trümmergesteinen überkleidet worden. Neben



Fig.



8

diesem großen skandinavischen Inlandeise aber waren in Europa auch die höheren Gebirge einer die heutige um ein Vielfaches übertreffenden Vergletscherung unterworfen. Aus den Alpen ergossen sich mächtige Gletscherströme in das Vorland bis Verona und Mailand im Süden, bis Lyon im Westen, ins obere Donaugebiet und über ganz Oberbayern im Norden und schufen auch hier in der Lombardei und in der schweizerisch-oberbayerischen Hochfläche ungeheure Ablagerungen von tonigen, kiesigen, sandigen und Moränenbildungen.

Von ganz hervorragender Wichtigkeit für die hydrographischen Verhältnisse gerade Norddeutschlands sind die eiszeitlichen Talbildungen und ihre Ausfüllung mit lockerem Aufschüttungsmaterial geworden. Während der Eiszeit, als das Inlandeis das ganze Ostseebecken und große Teile des Nordseebeckens vollständig überkleidete, mußten naturgemäß die südlich von seinem Rande entspringenden Flüsse, sowie die aus den Schmelzwassern des Inlandeises hervorgehenden Ströme ganz andere Wege einschlagen als heute, da sie durch die gewaltige, im Norden vorlagernde Eisbarre gezwungen waren, an ihr entlang durch die jeweils vorhandene tiefste Stelle des eisfrei gebliebenen Landes ihren Weg nach Nordwesten oder Westen dem Meere zu zu nehmen. Da der Rückzug des Inlandeises aus dem mitteleuropäischen Flachlande etappenweise erfolgte und da gleichzeitig in jeder Etappe, infolge der Neigung des Landes von Süden nach Norden, gegenüber der vorhergehenden tiefer gelegene Gebiete eisfrei wurden, so wurde bei jeder dieser Stillstandslagen ein neuer, von dem vorhergehenden ganz oder teilweise abweichender Talweg geschaffen. Diese alten diluvialen Abflusstäler werden als Urstromtäler bezeichnet und wir kennen ihrer aus Norddeutschland 5, die auf der beigegebenen Karte Fig. 8 dargestellt sind. Unsere heutigen großen Ströme, die Elbe, die Oder und die Weichsel fließen nacheinander in mehreren dieser Urstromtäler und gelangten von dem südlichen in das nördlich folgende durch meist schmale von Norden nach Süden verlaufende Verbindungsstücke. Jedes der ost-westlichen Urstromtäler entspricht also einer längeren Stillstandslage des letzten Inlandeises und wurde während derselben benutzt und zwar so, daß das südlichste Urstromtal die Schmelzwässer des letzten Inlandeises während dessen größter Ausdehnung zum Meere führte und jedes nach N. folgende während einer späteren Stillstandslage die Schmelzwassermassen des Eises und die von S. herkommenden Ströme aufnahm und westwärts zum Meere entließ. Das südlichste dieser Täler ist das Breslau-Bremer Tal, welches von Schlesien durch die Lausitz, die Provinz Sachsen und die Altmark verläuft. Als es entstand, hatte das letzte Inlandeis, wie gesagt, seine größte Ausdehnung und sein Südrand lag im nördlichen Schlesien, auf dem Fläming und auf dem Landrücken der Lüneburger Heide. Dann zog sich das Eis ein Stück zurück und lag mit seinem Rande in der südlichen Provinz Posen, in

der südlichen Provinz Brandenburg und etwas nördlich von der unteren Elbe. Seine Schmelzwässer flossen im Glogau-Baruther Urstromtale und gelangten durch das heutige untere Elbtal in die Nordsee. Der weitere Rückzug des Eises brachte dessen Südrand auf einen etwas nördlicher gelegenen Landrücken, der in Posen, in der südlichen Neumark und in der Mittelmark liegt, während die Schmelzwässer durch das Warschau-Berliner Tal, welches tief in Rußland beginnt und in der Gegend von Wittenberge mit dem Urstromtale der vorigen Stillstandslage sich vereinigt, in das Becken der Nordsee gelangten. Ein weiterer Rückzug des Eises führte zu einer Stillstandslage seines Randes auf dem Baltischen Höhenrücken. Diese Stillstandslinie ist in vortrefflicher Weise durch zusammenhängende Endmoränenzüge markiert, die sich von Schleswig-Holstein durch Mecklenburg, Pommern, Westpreußen und Ostpreußen bis nach Rußland hinein verfolgen lassen. In dieser Phase benutzten die Schmelzwässer das Thorn-Eberswalder Haupttal, welches gleichfalls von der Gegend von Wittenberge an das Bett der vorhergenannten Urstromtäler benutzte. Mit dem Rückschreiten des Eisrandes in das Baltische Küstengebiet endlich wurde eine neue Stillstandslage herbeigeführt, während deren das Pommersche Urstromtal entstand, welches parallel der heutigen Ostseeküste von der Danziger Gegend bis in die Lübecker Bucht sich verfolgen läßt.

In diese großen Urstromtäler sind ausgedehnte, in einzelnen Fällen über 10 Meilen lange Seen eingeschaltet gewesen, die als glaziale Stauseen bezeichnet werden, weil das im N. als ein mächtiger Wall vorliegende Inlandeis ein Aufstauen der Schmelzwässer bewirkte. Man kann diese Seen heute daran erkennen, daß die sandigen Ablagerungen der Schmelzwässer, die Talsande, in den von ihnen ehemals eingenommenen Gebieten vollständig horizontal liegen, während sie in den eigentlichen Flußtlälern der alten Urströme eine Neigung von O. nach W. besitzen.

In dem Gebiete westlich der Oder bis zur Elbe liegen die Talböden der alten Urstromtäler alle in einem Niveau, im Odertale selbst aber und in allen östlich davon gelegenen Gebieten, sowie im Weser-, Rhein- und Donaugebiete macht man die Beobachtung, daß verschiedene Talböden übereinander liegen in der Weise, daß die Talsandflächen an den Rändern der großen Täler die höchste Lage, diejenigen in der Mitte die tiefste Lage einnehmen. Manchmal sind diese verschieden hoch gelegenen Talsandflächen durch gleichmäßig geneigte Zwischenstücke miteinander verbunden, in vielen Fällen aber grenzen sie mit scharfen, steilen Absätzen aneinander, und es entstehen dann terrassenförmig gegeneinander abgesetzte Flächen, die man als Talterrassen bezeichnet (Fig. 9). Sie sind dadurch entstanden, daß der Wasserspiegel des gewaltigen Stromes, der zur Eiszeit durch diese Täler floß, eine plötzliche Senkung erfuhr. Wir dürfen annehmen, daß dieses rasche Sinken des

Wasserspiegels um Beträge von 10—15 m und mehr dadurch veranlaßt wurde, daß durch das Zurückweichen des Inlandeises dem Wasser neue, gegenüber den bisherigen tiefer gelegene Abflußwege sich eröffneten. Dadurch wurden große Flächen des bisherigen Tales trocken gelegt, und die neu aufgeschütteten Talsandmassen konnten nicht über den neuen Wasserspiegel hinaus in die Höhe emporwachsen.

Neben diesen gewaltigen ostwestlichen Urstromtälern, die ganz Norddeutschland durchziehen, findet sich natürlich auch noch eine sehr große Anzahl von gleichzeitig entstandenen Nebentälern, die heute vielfach als wasserlose Trockentäler von verschiedener Breite die Hochflächen durchziehen und uns ein getreues Bild des Verlaufes der vom Inlandeise herkommenden Schmelzwasser-Ströme bieten.

Diese Urstromtäler sind besonders wichtig durch ihre ungewöhnliche Breite, die häufig 10—15, bisweilen aber auch 20—30 Kilometer beträgt und durch die bedeutende Mächtigkeit der sie erfüllenden lockeren Bildungen. Mächtigkeiten der Sand- und Kieslager in diesen Urstromtälern von 20, 25 und 30 Metern gehören durchaus nicht zu den

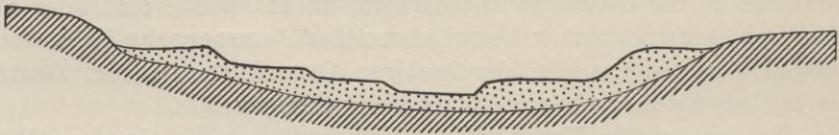


Fig. 9. Aufschüttungsterrassen

Seltenheiten. Zwei durch zahlreiche Bohrungen bekannte Querschnitte durch diese Urstromtäler und zwar erstens durch das südliche Urstromtal in der Lausitz und zweitens durch das Berliner Urstromtal im Untergrunde von Berlin sind in den beiden folgenden Profilen (Fig. 10 u. 11) dargestellt. Die Korngröße der lockeren Bildungen unserer Urstromtäler hängt genau von den gleichen Gesetzen ab wie in unseren heutigen Flußtälern: Je stärker das Gefälle, um so beträchtlicher ist die Korngröße; daher haben wir in den niedriger gelegenen Gebieten Norddeutschlands, das heißt im Unterlaufe der alten Urstromtäler meist Sande von feinem und mittlerem Korn und erst in ihren höher gelegenen Teilen begegnen uns die gröberen kiesigen Bildungen. Man kann im allgemeinen annehmen, daß, sobald das Gefälle der Oberfläche unserer Urstromtäler kleiner wird als 1 : 600, die gröberen kiesigen Bestandteile in seinen Ablagerungen fehlen oder mindestens stark zurücktreten.

Das Inlandeis hat aber nicht nur in den Tälern gewaltige Mengen von Sanden und Kiesen aufgehäuft, sondern auch auf den Hochflächen.

Die Gletscher-Schmelzwasser, die wir in heute vergletscherten Gebieten beobachten, haben nämlich die Eigentümlichkeit, sobald sie nicht in engen Tälern, sondern in ebenem Lande fließen, dauernd ihr

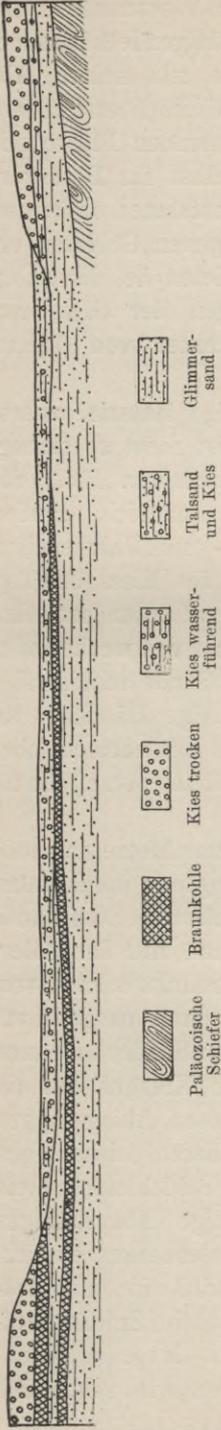


Fig. 10. Profil durch das Lausitzer Urstromtal.

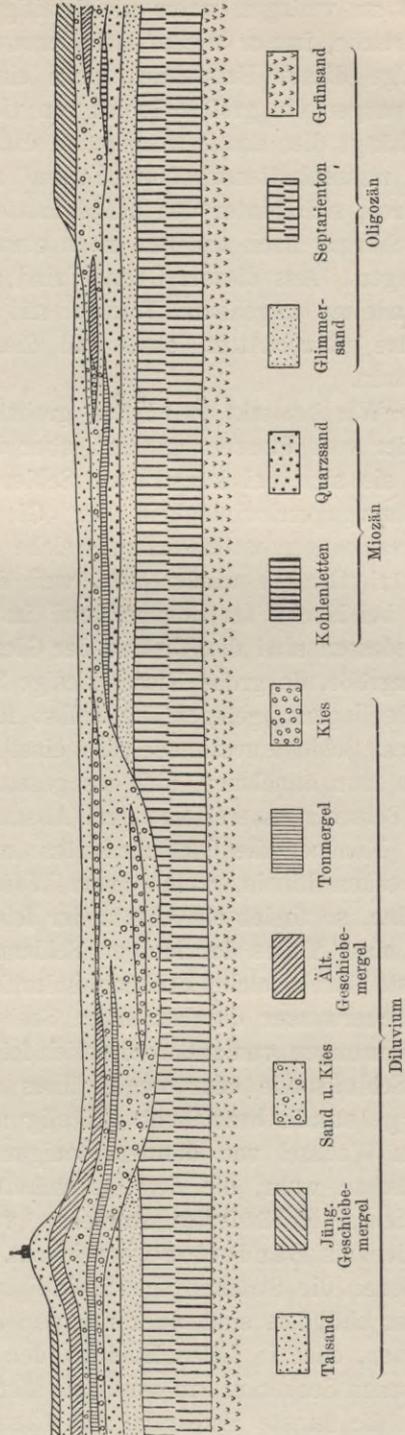


Fig. 11. Profil durch das Berliner Urstromtal vom Kreuzberg zum Gesundbrunnen

Bett zu verlegen unter gleichzeitiger Teilung ihrer Wassermassen in zahlreiche, immer wieder sich verzweigende und vereinigende Flußarme. Infolge dieses Umstandes kann ein einzelner Fluß mit seinen Ablagerungen ein großes Gebiet von vielen Meilen allmählich überschütten. Es hängt dies damit zusammen, daß diese rasch fließenden Flüsse mit dem massenhaft mitgeführten Sand und Kies sich selbst ihr Bett versperren, sich hinter den aufgeschütteten Kiesbarren aufstauen und einen Durchbruch nach anderen, noch etwas niedriger gelegenen Gebieten erzwingen. Aus diesem Grunde sind auch in den Gebieten des diluvialen Inlandeises ungeheure Flächen mit den Ablagerungen der Gletscherströme überschüttet, ohne daß dieselben den Charakter von Tälern besitzen.

Wie bemerkt, wird das grobsteinige und kiesige Material zuerst wieder vom Flusse abgesetzt, aber diese Scheidung ist nicht so streng, wie sie sich bei künstlichen Schlemmprozessen durchführen läßt; die Strömungsgeschwindigkeit der Gletscherströme ist nämlich großen Schwankungen unterworfen, welche nach den Tages- und Jahreszeiten sich rhythmisch wiederholen, weil das Abschmelzen des Eises bei Tag und bei Nacht, im Sommer und im Winter sehr verschieden ist. Infolgedessen sind die Absätze der Gletscherströme immer von wechselnder Korngröße, da grobe Kiese, kiesige Sande und grobe Sande miteinander wechsellagern, gelegentlich selbst feinsandige bis tonige Bänkchen in diesem Schichtenverbände sich einstellen können. Im allgemeinen aber kann man annehmen, daß das gesamte grobe Material im oberen Laufe der Schmelzwasserströme zum Absatz gelangt.

Kommen die Gletscherströme auf ihrem Wege zum Meere in große Seebecken hinein, welche vom Wasser nur sehr langsam durchströmt werden, so findet ein Absatz der feinen bisher suspendierten Staubsande und eines Teiles des tonigen Schlammes statt, während nur das Allerfeinste durch solche Becken hindurchwandert. Als Produkt solcher vom Gletscherwasser durchströmten Seebecken entstehen dann ausgedehnte Ablagerungen von außerordentlich feinkörnigen, tonigen Sanden, die man als Schluffsande oder wegen ihres meist sehr hohen Kalkgehaltes als Mergelsande bezeichnet. Häufig nimmt man in diesen Ablagerungen einen Wechsel von dünnen, tonigen und etwas gröberen feinsandigen Bänkchen wahr, die dem Querschnitt einer solchen Schichtenfolge ein zierliches, gebändertes Aussehen verleihen. Derartige Ablagerungen werden als Bändertone bezeichnet. In solchen Wasserbecken endlich, in denen die Strömungsgeschwindigkeit gleich Null wird, die also entweder abflußlos sind, oder nur periodisch schlammbeladene Zuflüsse aufnehmen, oder in tiefen Buchten der vorher genannten, langsam durchflossenen Seebecken, in denen die Mergelsande entstehen, wird schließlich auch die feinste Flußtrübe zum Absatz gebracht, und es entstehen fette,

fein geschichtete Tone und Tonmergel. Damit ist die Reihe der fluvio-glazialen Ablagerungen erschöpft.

5. Durch den Wind werden zwei in fast jeder Beziehung entgegengesetzte Eigenschaften zeigende Bildungen erzeugt; nämlich a) Sanddünen und b) Lößdecken.

a) Unter „Dünen“ verstehen wir Anhäufungen reinen Sandes, deren Herbeiführung und Ablagerung ausschließlich durch bewegte Luft erfolgt ist. Die Korngröße der Dünensande ist abhängig von der Windstärke. Geringere Windstärken als etwa Stärke 5 können der Luft noch nicht die Fähigkeit verleihen, Sandkörner aufzuheben und fortzutragen. Diese Fähigkeit beginnt erst bei Stärke 6. Da unter den stärkeren Winden solche von Stärke 6—8 weit häufiger auftreten, als die noch stärkeren Stürme und Orkane, so schwankt die Korngröße der vom Winde umgelagerten Sande innerhalb ziemlich enger Grenzen. Sandkörner von mehr als 1 mm Durchmesser treten stark zurück und bilden nur gelegentlich dünne Einlagerungen in den Dünen. Auch Körner zwischen 1 und 0,5 mm sind nicht häufig, dagegen herrschen Sande der Korngröße 0,5—0,1 mm durchaus vor, während Körner unter 0,1 mm wieder stark zurücktreten. Die Dünen sind also fast ausschließlich von Sanden solcher Korngröße aufgebaut, die sich dem Wasser gegenüber als leicht durchlässig und sehr aufnahmefähig erweisen.

Das Material der Dünen besteht ganz vorwiegend aus Quarz; daneben findet sich in den Dünen Norddeutschlands noch in geringer Menge Feldspat, Hornblende, Augit und einige wenige andere Mineralien. In den Küstendünen fehlt selten ein geringer Kalkgehalt, der vielfach auf zertrümmerte Muscheln zurückzuführen ist, während die Dünen des Binnenlandes fast immer kalkfrei sind.

Wo aus Kalksteinen aufgebaute Küsten den Angriffen des Meeres ausgesetzt sind, entstehen Dünen aus Kalksand, die zum Teil dann zu einem festen Kalksandstein verkittet werden.

An vulkanischen Küsten kommen auch dunkel gefärbte, aus den Mineralien der Eruptivgesteine aufgebaute, quarzarme Dünen vor.

Die Verbreitung der Dünen ist durchaus nicht auf die Küsten beschränkt, obgleich sie uns hier am meisten in die Augen fallen. Sie finden sich vielmehr auch in allen dazu geeigneten Gebieten im Binnenlande. In Norddeutschland sind es vorwiegend die beiden alten Urstromtäler, deren sandige Oberfläche dem Winde reichlich Material zur Erzeugung von Dünen bietet. So liegt im Thorn-Eberswalder Haupttal zwischen Netze und Warthe ein 75 km langes und bis 15 km breites Dünengebiet, das größte Norddeutschlands, ein zweites von geringerer Ausdehnung im Breslau-Hannoverschen Urstromtal in der Oberlausitz, kleinere an zahllosen anderen Stellen. Auch das Rheintal besitzt im Mündungsgebiete des Mains weit ausgedehnte Dünengebiete. Die deutschen

Nordseeküsten sind von der holländischen bis zur dänischen Grenze mit einem in Inseln aufgelösten Dünengürtel besetzt, der in Holland und Dänemark als zusammenhängender Zug auf das Festland überspringt. Der südlichen Ostseeküste fehlen größere Dünen nur da, wo diluviale Steilufer an sie herantreten. Die größten Dünen der europäischen Küsten liegen zwischen den Pyrenäen und der Garonnemündung, im südlichen Frankreich, wo das als „les Landes“ bezeichnete Gebiet sich bei 14000 qkm Fläche über eine Küstenstrecke von 230 km ausdehnt.

Bezüglich ihrer Oberflächenformen weisen die Dünen die allergrößte Mannigfaltigkeit auf: An den Küsten treten sie meist als schnurgerade, in geringem Abstände voneinander folgende, parallele Kämmen auf, oder sind als Wanderdünen in gewaltigen, wollsackähnlichen Massen von zum Teil mehr als 50 m Höhe zusammengehäuft. Größere Formenmannigfaltigkeit zeigen sie im Binnenlande. Bald bilden sie ausgedehnte, flachwellige Decken von geringer Mächtigkeit, bald ein Gitterwerk von parallelen Wellen, die durch parabolisch gekrümmte, meist nach Westen offene Bogenstücke miteinander verbunden sind, bald einzelne schmale, langgestreckte Rücken bis zu 10 und 15 km Länge, bald endlich ganz wirt durcheinander liegende, gänzlich unorientierte Hügel, Rücken und Buckel.

b) Im auffälligsten Gegensatze zu den unfruchtbaren, meist nur als Kiefernwald genutzten Sanddünen stehen die Gebiete, die vom Winde mit Lößdecken überkleidet sind; Gebiete von höchster Fruchtbarkeit, auf denen die anspruchsvollsten Kulturpflanzen aufs beste gedeihen, sind sie dennoch ein Produkt derselben bewegten Lüfte, die die wüstenhaften Sanddünen schufen. Wir verstehen unter „Löß“ ein dem Mergelsande in seiner mechanischen Zusammensetzung außerordentlich ähnliches, meist ungeschichtetes, loses Trümmergestein, dessen Körner zu allermeist einen Durchmesser zwischen 0,05 und 0,01 mm besitzen, also dem als „Staub“ bezeichneten Körnungsprodukte im wesentlichen entsprechen. Der Löß ist ein Absatz von Staubstürmen, wie sie noch heute in Innerasien in weiten Gebieten neue Lößablagerungen schaffen. Voraussetzung ist im Gegensatz zur Dünenbildung, daß der Boden, auf dem der (Löß-) Staub niederfällt, mit Gras bewachsen — also Steppe ist. Dadurch wird der fallende Staub festgehalten, während er vom vegetationslosen Boden vom nächsten stärkeren Winde wieder entfernt würde. Andererseits wird durch die im Löß absterbenden Gräser eine eigentümliche Röhrenstruktur erzeugt, die den Löß in hohem Grade porös und wasser-aufnahmefähig macht.

Seiner mineralogischen Zusammensetzung nach besteht der Löß ganz überwiegend aus staubfeinen Quarzkörnern, ähnelt also in dieser Hinsicht dem Dünensande, dagegen unterscheidet ihn von jenem sein hoher Kalkgehalt, der zwischen 10 und 25 % beträgt und — wie es scheint — ganz oder zum größten Teil sich nicht in Gestalt von Kalk-

körnern, sondern als sinterartiger Überzug über den einzelnen Quarzkörnchen findet. Seiner äußeren Form nach bildet der Löß deckenartige Überzüge auf Hochflächen und gelegentlich auch Auskleidungen vorher vorhandener Täler und Rinnen, sowie Anlagerungen an Gehängen. Seine Mächtigkeit ist großen Schwankungen unterworfen und bewegt sich zwischen ganz dünnen Überzügen von weniger als 1 m Stärke bis zu 10, 15 und 20 m mächtigen Decken, die in dieser extremen Mächtigkeit besonders an Talrändern auftreten, aber auch weite, ausgedehnte Hochflächen überkleiden können. In Europa meidet der Löß sowohl das eigentliche Gebirge über 400 m Höhe, als auch das eigentliche Flachland und den Norden des Erdteils. Er bevorzugt das Hügelland am Fuße der Mittel- und Hochgebirge, reicht von der Bretagne durch ganz Europa und Asien hindurch und geht in Europa nur im südlichen Rußland weit von den Gebirgen fort in die Ebenen hinein.

6. Der losen, vulkanischen Trümmerprodukte ist bereits im petrographischen Teil näher gedacht worden, so daß ein weiteres Eingehen auf sie an dieser Stelle sich erübrigt.

7. Durch die Schwerkraft werden die ausgedehntesten Ablagerungen im Gebirge erzeugt. An seinen Gehängen entstehen a) Bergsturm Massen als Ergebnisse katastrophaler Vorgänge und b) die zahllosen Schuttkegel des Hoch- und Mittelgebirges als Produkte langsam wirkender Zerstörungen.

a) Im ersteren Falle überkleiden die niederstürzenden Trümmern Massen nicht nur den Abhang unterhalb der Ablösungsstelle, sondern meist auch noch größere Teile des angrenzenden Talbodens, branden sogar oft noch am gegenüberliegenden Talgehänge ein Stück empor. Ihr Material ist in der Größe ganz außerordentlich verschieden und reicht von haushohen Blöcken bis zu den kleinsten Trümmern herab. Ihre hydrographische Bedeutung besteht darin, daß sie sowohl selbständige Grundwasserträger darstellen, als auch aus dem von ihnen bedeckten Gebiete austretende Quellen verhüllen kann, so daß diese erst an einer ganz anderen Stelle, als der ursprünglichen, zutage treten.

b) Die gewöhnlichen Schuttkegel entstehen dadurch, daß die durch Vegetation und Spaltenfrost gelockerten Gesteinstrümmern an steilen Gehängen abwärts stürzen und an ganz bestimmten, durch die Gestaltung der Oberfläche bedingten Stellen in Form meist steil geböschter Kegel abgelagert werden. Oft fließen nebeneinanderliegende derartige Kegel seitlich zusammen, und es entstehen dann, den Fuß der Steilhänge begleitend, bisweilen meilenlange Schuttanhäufungen, die nicht nur einen großen Teil der vom Gebirge herabkommenden Gewässer, sondern auch alle Quellen des von ihnen überdeckten Gebietes in sich aufnehmen und die Stelle ihres Zutagetretens verlegen.

4. Kapitel

Schichtung und Schichtfugen

Es wäre übel bestellt um die Wasserführung weiter Gebiete der Erde, wenn alle an sich undurchlässigen Gesteine frei von Wasser wären. Glücklicherweise hat die Natur Sorge getragen, daß auch solche Gesteine fähig sind, Wasser aufzunehmen und es weiterzuleiten, und zwar dadurch, daß die Gesteinsmassen durch **Trennungsfugen** verschiedenster Art und Entstehung in einzelne Teilstücke zerlegt sind, zwischen denen die Bewegung des Wassers vor sich gehen kann. Diese Trennungsfugen können wir in zwei große Gruppen einteilen:

1. Schichtfugen,
2. Bruchfugen.

1. Schichtfugen. Die Schichtung ist eine Erscheinung, die wir ausschließlich bei Sedimentgesteinen antreffen; sie wird hervorgerufen durch einen, wenn auch noch so geringfügigen Wechsel in der Art der nacheinander gebildeten Sedimente oder in den Ablagerungsbedingungen. Oft wird man die Beobachtung machen können, daß die Schichtung im Sandstein dadurch entsteht, daß sich zwischen zwei Sandbänke eine dünne Bank von toniger Substanz einschiebt, oder daß zwischen zwei Kalksteinbänken ein Mergelbänkchen lagert. Manchmal wird die Schichtung auch hervorgerufen durch einen Wechsel der Färbung oder durch einen solchen in der Korngröße, also dadurch, daß Konglomerate und Sandsteine oder grobe und feine Sandsteine oder chemisch ausgefällte und klastische Sedimente miteinander wechsellagern. Selbst wenn zwei aufeinanderfolgende Schichten auf das vollkommenste miteinander übereinstimmen, können sie doch durch eine Schichtfuge getrennt sein, weil während der Zeit ihrer Entstehung der Absatz des Minerals nicht gleichmäßig erfolgte, vielmehr durch eine Pause unterbrochen wurde. Die Mächtigkeit der durch Schichtfugen getrennten Bänke ist außerordentlichen Schwankungen unterworfen. Von feinschiefrigen Gesteinen, in denen die einzelnen Schichten bis zur Dünne eines Papierblattes herabsinken, bis zu viele Meter mächtigen Bänken begegnen uns alle Übergänge (Fig. 12 und 13). Die häufigste Erscheinung ist, daß in ein und derselben Schichtenfolge die nacheinander erzeugten Bänke nicht die gleiche Mächtigkeit besitzen, sondern daß stärkere und schwächere Bänke miteinander abwechseln. Diese Erscheinung der Schichtung beeinflußt nicht nur die technische Bewertung der Gesteine, sondern ist auch für ihre Wasserführung in vielen Fällen von Bedeutung.

Keine Schicht setzt sich in ihrer Haupterstreckung nach allen Richtungen hin ins Unendliche fort, vielmehr endigt eine jede, indem

sie sich bald schnell, bald weniger schnell verschwächt und schließlich auskeilt. Zugleich treten an ihre Stelle gewöhnlich andere Bänke, die in entgegengesetzter Richtung ein Anschwellen zeigen. In solchen Fällen spricht man von einer auskeilenden Schichtung (Fig. 14). Sie kann

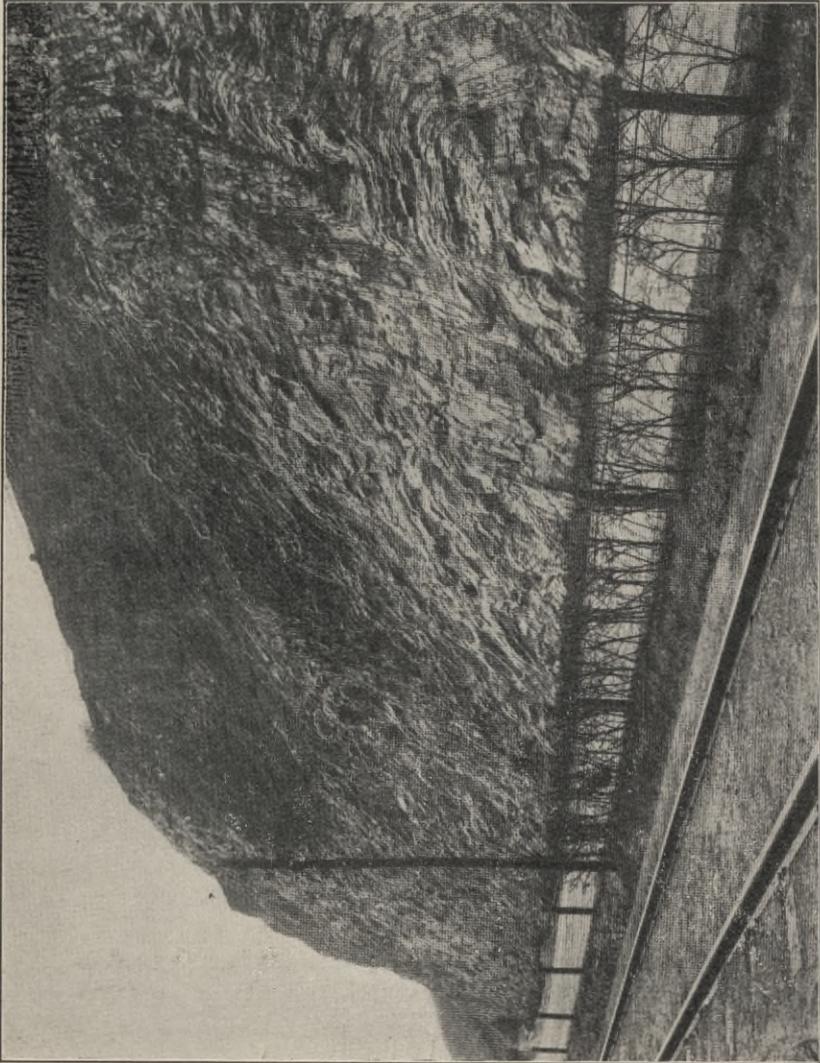


Fig. 12. Dünnbankige Schichtung, die Schichten sind gefaltet. Silurkalk bei Prag

für die Wasserführung der Gesteine von Bedeutung werden, wenn die sich auskeilenden Schichten als durchlässige Bänke innerhalb undurchlässiger Sedimente auftreten. Bisweilen erfolgt das Aufhören der Schichtflächen und das Auskeilen der Bänke in der Weise, daß eine Reihe von Schichten sich allmählich voneinander trennt und dünner wird, während

sich gleichzeitig zwischen sie hinein anders zusammengesetzte Schichten legen, die um denselben Betrag an Mächtigkeit zunehmen, um welchen die ersteren geschwächt werden. Eine solche Lagerungsform geschich-



Fig. 13. Dickbankige Schichtung (Kreide-Sandstein)

teter Gesteine wird mit dem Namen auskeilende Wechsellagerung (Fig. 15) bezeichnet. Auch sie kann es bedingen, daß eine und dieselbe Gesteinsreihe in dem einen Gebiete wasserführend, in dem andern dagegen wasserfrei ist.

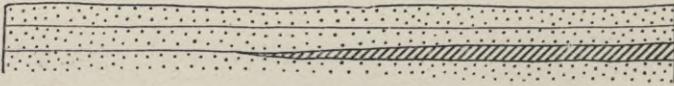


Fig. 14. Auskeilen

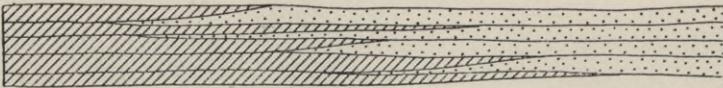


Fig. 15. Auskeilende Wechsellagerung

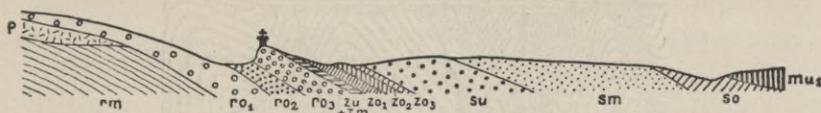
Ursprünglich waren die weitaus meisten Schichten in horizontaler oder schwebender Lagerung gebildet, und wir kennen nur wenige Fälle, in denen die Natur schon von Anfang an mehr oder weniger stark geneigte Schichten erzeugt hat. Solche finden wir beschränkt auf die vom

Winde bewegten Sande, auf die vom fließenden Wasser abgelagerten Quellkalke, auf Sedimente, die von einem Fluß in ein tiefes Seebecken transportiert wurden, auf Ablagerungen, die sich an Korallenriffe anlehnen und schließlich auf unter der Luft erzeugte vulkanische Tuffschichten, die um den vulkanischen Herd herum gewöhnlich eine nach allen Seiten abfallende Lagerung besitzen.

5. Kapitel

Die Lagerungsverhältnisse der Gesteine

Es ist für die Kenntnis der Wasserbewegung im Boden von höchster Bedeutung, wie die Schichten, die als Wasserträger und Wasserstauer dienen, lagern. Wenn wir ein einzelnes Schichtensystem überblicken, so sehen wir, daß ganz unabhängig von etwaigen Abweichungen der Lagerung von der horizontalen Ebene eine Schicht sich gleichförmig über die andere legt (Konkordanz), oder aber, wir nehmen wahr, daß an irgend einer Stelle ein Schichtensystem beginnt, dessen Schichtungsflächen mit denen des darunterliegenden nicht mehr parallel verlaufen, sondern diese unter irgend einem Winkel schneiden. Solches Lagerungs-



rm = Mittleres, ro₁ und ro₃ = Harte Konglomerate, ro₂ = Weicher Sandstein des Oberen Rotliegenden, zu = Unterer, zm = Mittlerer, zo₁–zo₃ = Oberer Zechstein, su = Unterer, sm = Mittlerer, so = Oberer Buntsandstein (Röth), mu₁ = Unterer Wellenkalk.

Fig. 16

Profil vom Nordrande des Thüringer Waldes bei Elgersburg (nach E. Zimmermann)

verhältnis bezeichnet man als eine Diskordanz. — Bei der konkordanten Lagerung liegen die Schichten entweder auf weite Erstreckung horizontal (worunter man auch Neigungen von wenig Graden, die sich nur bei genauer Messung über große Strecken hin ergeben, mit einbegreift), oder sie können geneigt sein. Beispiele horizontal gelagerter konkordanter Schichtenfolgen bieten uns die diluvialen und tertiären Schichtgruppen der Figuren 10—11, während eine geneigte konkordante Schichtenfolge in Figur 16 dargestellt ist. Hier liegt eine Reihe von Schichten übereinander, von denen jede nach rechts folgende jünger ist als die vorhergehende, wobei das Einfallen und Streichen der Schichten durch das ganze System hindurch ziemlich das gleiche bleibt. Eine diskordant auf der vorhergehenden lagernde Schichtenreihe ist in den Figuren 17 und 18 dargestellt; auch in den Fig. 10 und 11 nehmen wir zwischen Diluvium und Tertiär eine allerdings weniger scharf ausgesprochene Diskordanz wahr.

Außer diesen einseitigen Neigungen der Schichten aber finden sich in der Natur noch viel häufiger Fälle, in welchen durch seitlichen Druck die ursprünglich horizontalen Schichten zusammengeschoben und in Falten gelegt sind, wie sie beispielsweise entstehen, wenn man einen Teppich an einer Seite faßt und ihn rechtwinklig zu dieser Seite nach der Mitte hin vorwärtsbewegt. Es entsteht alsdann eine Reihe von Falten, die sich aus abwechselnden Rücken und Einsenkungen zusammensetzen. Man bezeichnet in der Geologie die dabei entstehenden Rücken als Sättel oder Antiklinalen (Fig. 19), weil in ihnen die Schichten von einer bestimmten Linie abfallen, und die zwischen den Rücken liegenden Senken als Mulden oder Synklinalen (Fig. 20), weil hier die Schichten einer solchen zufallen; die Verbindung eines Sattels mit einer Mulde

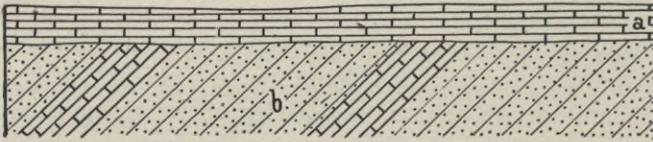


Fig. 17.

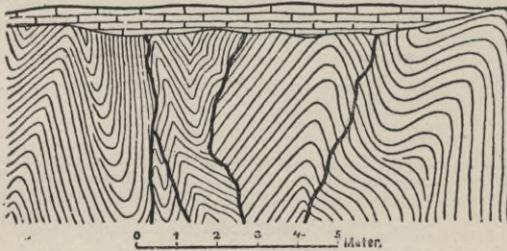


Fig. 18. Zechsteinschichten diskordant auf gefalteten kulkmischen Kieselschiefern (Westharz).

bezeichnet man ganz allgemein als eine Falte. Die Linie, durch welche man die höchsten Teile eines Sattels miteinander verbinden kann, nennt man die Sattellinie, (*a b* in Fig. 19), diejenige, die man in die tiefsten Teile einer Mulde legen kann, eine Muldenlinie (*a b* in Fig. 20).

Wenn man in der Mulden- oder Sattellinie eine Lotebene errichtet, so wird durch diese der Sattel resp. die Mulde in zwei Teile zerlegt. Sind diese beiden Teile vollständig gleich, so hat man es mit gleichförmig stehenden Falten zu tun (Fig. 21 *a*); sind sie aber ungleich, so nennt man die Falte zwar immer noch eine stehende, aber eine ungleichförmige (Fig. 21 *b*). Die Ungleichförmigkeit kann so weit gehen, daß das Lot mit dem Mittelschenkel, d. h. dem der Mulde und dem Sattel gemeinsamen Teile der Falte, zusammenfällt (Fig. 21 *c*). Fällt das Lot aber gar über solchen Schenkel hinaus, liegt es also nicht mehr

innerhalb des Sattels resp. der Mulde, so nennt man die Falte eine liegende (Fig. 21*d*). Allen diesen verschiedenen Falten gemeinsam ist die Längserstreckung in einer Linie, welche die Breite gewöhnlich um ein Vielfaches übertrifft.

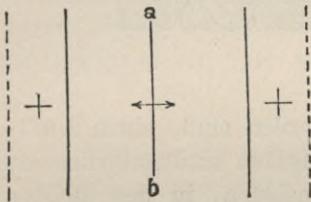
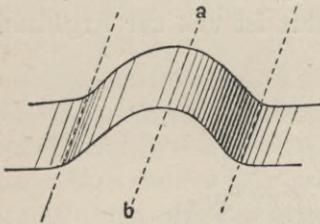


Fig. 19

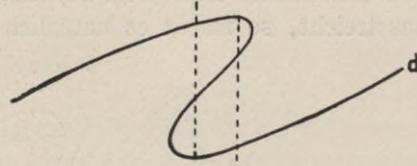
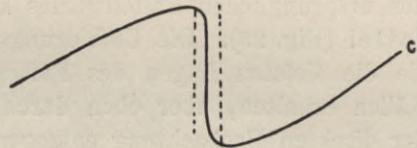
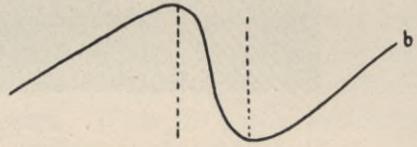
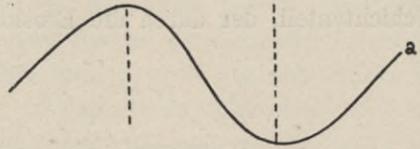


Fig. 21

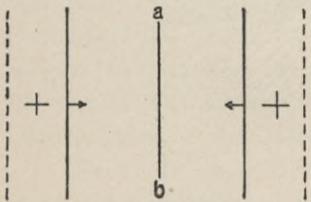
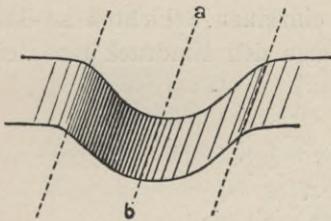


Fig. 20

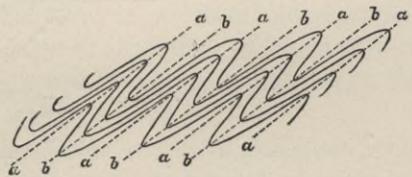


Fig. 22

Eine durch die Sattel- oder Muldenlinie gelegte Ebene, welche deren Krümmungswinkel halbiert, bezeichnet man als eine Achsen-ebene und unterscheidet Sattelachsenebenen (*aa* in Fig. 22) und Muldenachsenebenen (*bb* in Fig. 22). Sind die einzelnen Falten so eng aufeinandergeschoben, daß ihre Schenkel annähernd den Achsen-ebenen parallel laufen, so nennt man das ganze ein isoklinales Faltensystem (Fig. 22).

In den weitaus meisten Fällen gelangen nur Teile einer Falte zur direkten Beobachtung, und die Gestalt dieser selbst ist auf indirektem Wege zu bestimmen. Besonders ist dies dann der Fall, wenn die Abtragung auf das Faltenystem eingewirkt hat und die Umbiegungsstellen der Sättel der Zerstörung anheimgefallen sind. Man nennt dann den Schichtenteil, der durch die Erosion fortgeführt ist und zur Ergänzung

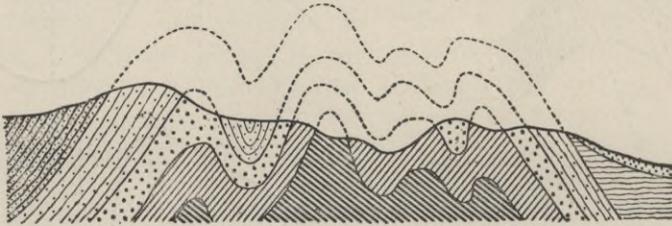


Fig. 23

des ursprünglichen Faltenwurfes konstruiert werden muß, einen Luftsattel (Fig. 23). Die Umbiegungsstellen der Mulden sind natürlich, da sie die tiefsten Lagen des Faltenystems einnehmen, in den meisten Fällen erhalten, aber eben durch ihre tiefe Lage zum größeren Teil der direkten Beobachtung entzogen. Wenn ein erodiertes Faltenystem von isoklinalem Bau (Fig. 24) mit seinen einzelnen Schichten zu Tage ausstreicht, so macht es natürlich vollkommen den Eindruck eines ein-

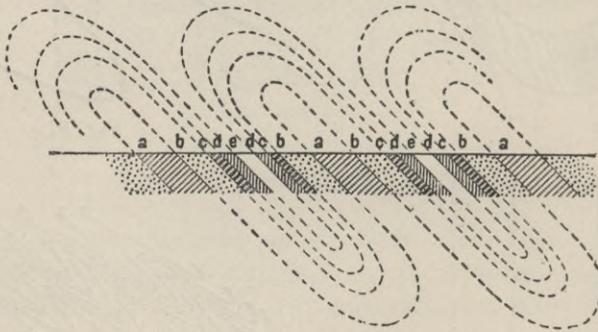


Fig. 24

seitig geneigten Schichtenkomplexes, und es ist große Aufmerksamkeit erforderlich, um nicht bei der Beobachtung einer solchen Erscheinung auf die falsche Vermutung zu kommen, man habe es mit einer mächtigen Schichtenreihe zu tun, in welcher das jedesmalige Hangende jünger ist als das Liegende. Die Mittel, durch die man in solchen Fällen den wahren Sachverhalt erkennt, sind folgende: Man beachtet genau die petrographischen und paläontologischen Eigentümlichkeiten der einzelnen Schichten, nimmt ein genaues Profil der einzelnen, darin auftretenden,

unterscheidbaren und wohlcharakterisierten Gebirgsglieder auf und bezeichnet sie in der Weise mit Buchstaben, daß das gleiche Gestein an allen Punkten seines Auftretens den gleichen Buchstaben erhält. Ergibt sich in diesem Falle ein vollkommener Mangel an Symmetrie in der Anordnung der einzelnen Schichten, so wird man, wenn keine anderen Umstände diesem Schlusse ein Hindernis in den Weg legen, annehmen können, daß man es mit einem einzigen System übereinanderliegender Schichten zu tun hat. Erhält man aber eine gewisse Schichtenreihe, in welcher von einem bestimmten Gliede an dieselbe Schichtenfolge sich in umgekehrter Weise wiederholt, und tritt vielleicht gar ein solcher Fall einige Male hintereinander ein, wobei das etwaige Verschwinden des einen Gliedes oder das etwaige Neuauftreten eines anderen Gliedes kein absolutes Hindernis zu sein braucht, so darf man annehmen, daß man es mit einem isoklinalen Faltensystem zu tun hat, welches in der Weise zu ergänzen ist, wie es Figur 24 zeigt. Wenn in einem Schichten-

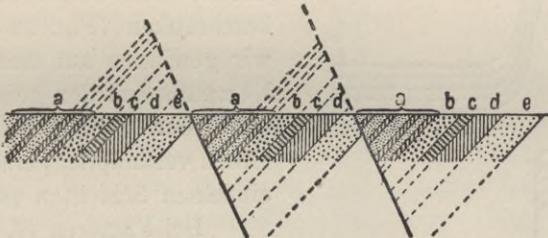


Fig. 25

komplexe die Schichtenoberseiten im einen Falle nach Osten, im anderen nach Westen gerichtet sind, so können beide Schichten nur so verbunden sein, daß in dem zwischen ihnen liegenden Raume eine Umbiegung stattgefunden hat. Erhält man dagegen beim Feststellen einer isoklinalen Schichtenfolge durch Buchstaben ein Schema, in welchem die einzelnen Glieder in derselben Reihenfolge wiederkehren (Fig. 25), so ist zu prüfen, ob man es mit einer Wiederkehr infolge von Lagerungsstörungen zu tun hat, worüber im nächsten Abschnitte weiteres folgt.

Wenn in einer sich wiederholenden Folge geneigter Schichten nicht mit Sicherheit bekannt ist, welches die liegenden, welches die hangenden Gesteine sind, so ist die Erkennung von Mulden und Satteln unter Umständen außerordentlich erschwert, falls nicht die Umbiegungsstellen unmittelbar der Beobachtung sich darbieten. Kennt man aber die Altersfolge der einzelnen Schichten, so läßt sich die Lage der Mulden leicht feststellen.

Wenn eine im ganzen horizontale Schicht auf einer gewissen Strecke unter mehr oder weniger großem Winkel geneigt erscheint und sodann wieder in horizontale Lagerung übergeht, so hat man es mit einer Lage-

rungsform zu tun, in welcher von den einzelnen Elementen einer Falte nur der Mittelschenkel vorhanden ist, während die beiden anderen Schenkel des Sattels und der Mulde in der Horizontalebene liegen. Man nennt eine solche Lagerungsform eine Monoklinalfalte, oder besser eine Flexur (Fig. 26). Die Schichten im mittleren Schenkel der Flexur sind gewöhnlich weniger mächtig als in den an die Flexur sich anschließenden

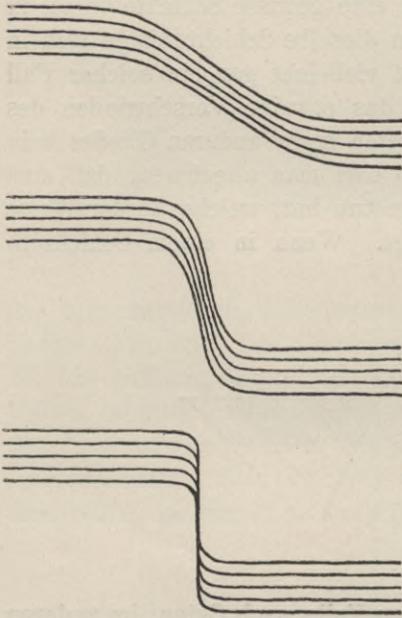


Fig. 26

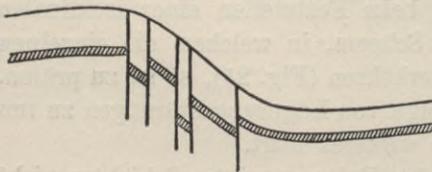


Fig. 27

horizontalen Stücken, und diese Differenz in der Mächtigkeit wird umso größer, je steiler aufgerichtet das geneigte Stück erscheint. Nimmt man den extremsten Fall an, daß die Schichten im Mittelschenkel senkrecht stehen, so werden sie in den meisten Fällen so ausgezogen sein, daß sie sich auf eine äußerst dünne, öfters unterbrochene Schicht beschränken (Fig. 26 unten), und wir gewinnen auf diese Weise den Übergang aus der geneigten Lagerung der Schichten in die mit Bruch verknüpfte Verschiebung der einzelnen Schichten gegeneinander.

Bei Flexuren ist es eine sehr häufige Erscheinung, daß der geneigte oder steil stehende Mittelschenkel von zahlreichen streichenden Verwerfungen durchsetzt ist, zwischen denen die einzelnen Stücke um wechselnde Beträge verschoben sind. Ein schematisches Bild solcher Schichtenstörungen gewährt Figur 27. Weiteres über Schichtenstörungen enthält das folgende Kapitel.

6. Kapitel

Die Zerklüftung der Gesteine und die Bruchfugen

Die Erscheinung der Flexur leitet uns hinüber zu den mit Bruch erfolgten Zerreißen; vorher aber müssen wir die für die hydrologischen Verhältnisse zahlreicher Gebiete außerordentlich wichtigen Bruchfugen näher betrachten.

Wir verstehen unter Bruchfugen oder Lithoklasen alle Risse, die das Gestein in einer anderen als der Schichtungsebene durchziehen. Die meisten Gesteine unserer Erdrinde bilden keine riesengroßen, zusammenhängenden Massen, sondern sind durch eine unendliche Menge von Klüften und Spalten der verschiedensten Art in Stücke geteilt, deren Größe wiederum außerordentlichen Schwankungen unterworfen ist. Das geht so weit, daß es von manchen Gesteinen sehr schwierig ist, ein nicht von solchen natürlichen Trennfugen begrenztes Stück mit frischem Gesteinsbruch zu gewinnen, während in anderen Gesteinen die trennenden Fugen so weit voneinander entfernt liegen, daß zwischen ihnen hausgroße Massen vorhanden sind. Auf dieser Absonderung der massigen Gesteine und Sedimentgesteine beruht nicht nur die Industrie des Steinbruchbetriebes, sondern auch die einzige Möglichkeit für die Wasserführung innerhalb solcher Gesteine. Bei der großen Bedeutung, die diese natürliche Zertrümmerung und Zerlegung der Gesteine für ihre Wasserführung besitzt, ist es notwendig, auf die verschiedenen Formen der Spalten und Klüfte und die Art ihrer Entstehung in den verschiedenen Gesteinen näher einzugehen.

Eine Gliederung dieser Erscheinungen ist zuerst und in vollkommener Weise von Daubrée¹⁾ durchgeführt worden; er unterscheidet die Spalten, die er in ihrer Gesamtheit als Lithoklasen bezeichnet, in drei Gruppen. Die erste dieser Gruppen nennt er Leptoklasen, die zweite Diaklasen und die dritte Paraklasen. Unter Leptoklasen begreift er die Spalten, die sich durch geringe räumliche Erstreckung auszeichnen. Unter Diaklasen faßt er alle Spalten zusammen, welche beträchtliche Dimensionen besitzen und die Gesteine durchsetzen, ohne in ihnen Lagerungsverschiebungen zu veranlassen. Die dritte Gruppe nennt er Paraklasen, sie besitzen ebenfalls große Dimensionen und es haben entlang diesen Spalten Bewegungen der einzelnen Schollen der Erd feste stattgefunden. Wir wollen diese drei Daubréeschen Ausdrücke, Leptoklasen, Diaklasen und Paraklasen durch die Worte Risse, Spalten und Verwerfungen ersetzen.

Die Leptoklasen, die feinen kleinen Risse, die sich also sowohl in bezug auf ihren Durchmesser, als auch auf ihre Länge in engen Grenzen bewegen, können nun entweder in ihrer Anordnung eine bestimmte Regelmäßigkeit zeigen, oder derselben ermangeln. In ersterem Falle werden sie von Daubrée mit dem Namen Synklasen bezeichnet, im letzteren Falle heißen sie Piëzoklasen. Wir könnten dafür vielleicht Erstarrungsrisse und Haarrisie sagen. Die Erstarrungs- oder Kontraktionsrisse oder Synklasen begegnen uns in großer Ausdehnung in den Eruptivgesteinen und hängen offenbar mit den Vorgängen bei

¹⁾ Les eaux souterraines à l'époque actuelle. Paris 1878.

deren Erstarrung zusammen. Ein ausgezeichnetes Beispiel solcher Synklasen bietet uns der Basalt (Fig. 28), der an den meisten Stellen seines Auftretens eine säulige Absonderung besitzt, und zwar stehen die Säulen rechtwinklig zu den Abkühlungsflächen, liegen in den Gängen horizontal, in den Decken und Strömen vertikal und bilden in den großen, einheitlich erstarrten, kuppel- und kegelförmigen Vulkanbergen eines oder mehrere fächerförmig gestellte, nach allen Seiten hin ausstrahlende Säulensysteme. Im Querschnitt machen derartig säulig zerklüftete Gesteine den Eindruck einer Bienenwabe und im Längsschnitt den von übereinander gelagerten Säulen. Die Maße dieser Säulen sind sehr verschieden sowohl in bezug auf Länge wie auf Durchmesser. In manchen



Fig. 28. Säulenförmige Absonderung des Basaltes

Aufschlüssen und Brüchen kann man die einzelnen Basaltsäulen bis auf 50 und 100 m Länge verfolgen und dann ist auch gewöhnlich ihr Durchmesser recht bedeutend, während bei der feinen und zierlichen Absonderung anderer Basalte, bei welcher der Durchmesser der Säule bis zur Stärke eines Fingers herabsinken kann, auch die Längserstreckung meist nur eine geringe ist.

Sehr große und plumpe Säulen beobachtet man vielfach bei Quarzporphyren und in jüngeren Laven (Siebengebirge, Eifel). In anderen Eruptivgesteinen wieder sehen wir eine Absonderung, die einen mehr plattigen Charakter besitzt, z. B. bei Phonolithen und Graniten (Fig. 29). Die einzelnen Platten keilen sich meist nach verhältnismäßig kurzer Erstreckung aus und werden durch neue ersetzt, so daß wir hier eine

Art von zwiebelschalenförmiger Übereinanderlagerung der einzelnen Stücke beobachten können. Andere Granite wieder zeigen Risse, die das Gestein in verschiedenen Richtungen durchziehen und es in eine Anzahl von klotzförmigen Körpern zerlegen. Diese Art der Zerteilung des Gesteins in einzelne Stücke hat jene merkwürdige sekundäre Wirkung im Gefolge, die wir bereits oben bei der Besprechung der Verwitterung der Granite und der Entstehung der Felsenmeere kennen gelernt haben.

Von ganz besonderer Beschaffenheit sind die das Gestein ganz unregelmäßig durchziehenden kleinen Risse, die Daubrée mit dem Namen Piézoklasen bezeichnet und die wir als Haarrisie einführen



Fig. 29. Plattenförmige Absonderung und senkrechte Zerklüftung im Lausitzer Granit (nach Herrmann)

wollen. Ihre charakteristische Eigenschaft besteht darin, daß sie das Gestein nach allen Richtungen hin durchziehen und gewöhnlich außerordentlich eng beieinander liegen. Manche Gesteine, wie z. B. die Grauwacke, stellen jedem Versuch, aus ihnen ein frisches Handstück oder eine Bruchfläche durch Hammerschläge zu gewinnen, den hartnäckigsten Widerstand entgegen, indem sie sich entlang solcher Haarrisie in immer kleinere Stücke zerteilen. Sind die Synklasen Wirkungen einer von innen her sich äußernden Kraft, nämlich der Kontraktionskraft bei der Erstarrung, so sind die Haarrisie in den Sedimentgesteinen das Ergebnis einer Wirkung von außen her, und zwar eines Druckes,

den man mit tektonischen Störungen und gebirgsbildenden Vorgängen in Beziehung zu setzen haben wird.

Diese das Gestein ganz unregelmäßig durchsetzenden Risse treten fast immer in größerer Zahl und gesellig auf und machen sich am meisten bemerkbar in den Teilen der Gesteine, die der Erdoberfläche am nächsten liegen, weil hier durch nachträgliche Einwirkung der Verwitterung, vor allem aber durch das in solchen Rissen zirkulierende Wasser eine weitere Auflockerung erfolgt. Es wäre aber falsch, wenn man annehmen wollte, daß solche Risse und Spalten ausschließlich auf die der Erdoberfläche nahe Gesteinszone beschränkt sind; sie finden



Fig. 30. Stark durchtrümelter Kieselschiefer, die Risse sind durch Quarz wieder verheilt

sich vielmehr auch in großer Tiefe und durchsetzen hier gewissermaßen latent die Gesteine. Häufig sind sie hier mehr oder weniger wieder ausgeheilt dadurch, daß sich auf den Klüften neue Mineralien ausgeschieden haben. Die intensive Durchtrümernng vieler kieseliger Gesteine mit feinsten Quarzgängen (Fig. 30), kalkiger Gesteine mit Kalkspatgängen, kristallinischer Gesteine mit feinsten Erzäderchen legen ein beredtes Zeugnis ab für die große Verbreitung solcher außerordentlich feiner Zertrümernungsvorgänge in den Gesteinen.

Die Diaklasen. Sie charakterisieren sich zunächst durch ihre bedeutenden Dimensionen. Es sind Spalten, die $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ m offene Breite erreichen, bei denen aber auch die beiderseitigen Gesteinswände noch in Berührung miteinander stehen können. Besonders aber unter-

scheiden sich die Spalten von den Haarrissen dadurch, daß sie große Ausdehnung nach unten hin besitzen und immer durch eine ganze Reihe von Gesteinsbänken gleichmäßig hindurchsetzen. Ferner ist bei ihnen auffällig, daß sie sich in der Horizontalen nicht nur über Hunderte von Metern, sondern bisweilen sogar über mehrere Kilometer hinweg regelmäßig verfolgen lassen, und schließlich unterscheiden sie sich von den Haarrissen dadurch, daß sie gern gesellig auftreten und daß diese gesellig auftretenden Spalten in gesetzmäßiger Beziehung hinsichtlich ihres gegenseitigen Abstandes stehen und annähernd parallel zueinander ver-

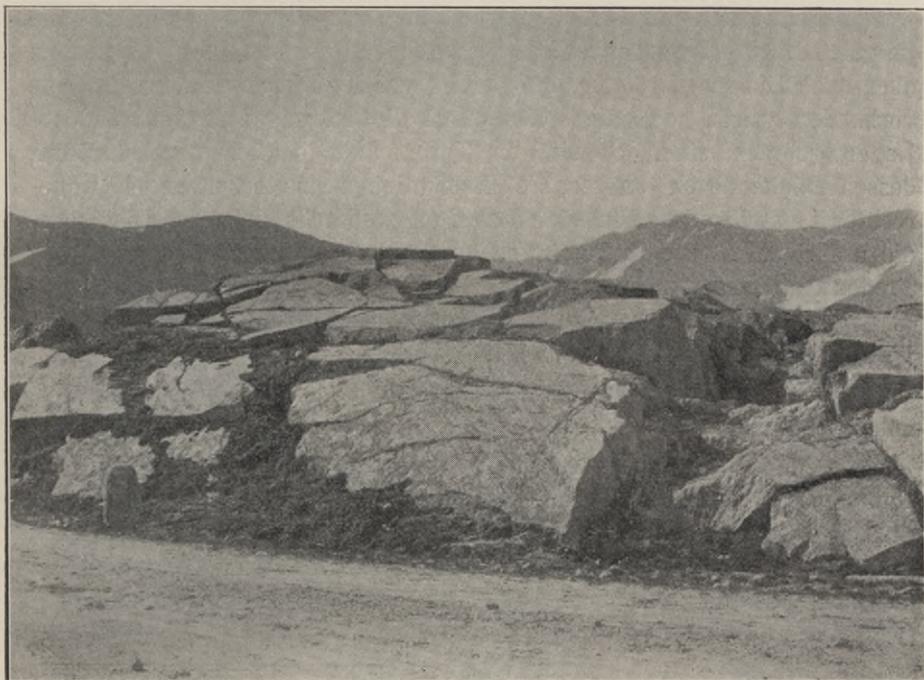


Fig. 31. Diaklasen in einem Rundhöcker des Gotthardt-Granites

laufen. Außerdem ist bei ihnen noch auffallend, daß in den meisten Fällen nicht ein einziges System solcher Klüfte auftritt, sondern daß sich deren zwei oder gar drei unter einem bestimmten Winkel schneiden. So zeigt der Gotthardt-Granit des beigegebenen Bildes Fig. 31, das ich Herrn Prof. Reyer in Wien verdanke, zwei Diaklasensysteme, die den beiden Seiten des Bildes parallel verlaufen. In letzterem Falle wird dann die Gesteinsmasse in eine Reihe von prismatischen Körpern aufgelöst, die eine verschiedene, von dem gegenseitigen Abstand der Klüfte abhängige Umgrenzung zeigen. Daß diese Erscheinung der unregelmäßigen Zerklüftung nicht wie bei den Eruptivgesteinen auf eine Kon-

traktionskraft zurückzuführen ist, wird dadurch bewiesen, daß diese Spalten sich nicht nur in Gesteinen finden, die fähig sind, durch Abgabe von Wasser sich zusammenzuziehen, wie die Tongesteine, sondern auch in solchen, die entweder gar keine oder nur eine ganz geringfügige Wasseraufnahmefähigkeit besitzen, wie beispielsweise die Quarzite und viele kristallinische Gesteine. Der Verlauf der Diaklasen ist im allgemeinen unabhängig vom geologischen Bau; sie durchsetzen die Schichten meist senkrecht zur Erdoberfläche und unter Beibehaltung ihres Parallelismus, gleichgültig ob die Schichten ihr Streichen beibehalten oder ändern, oder ob sie aus flacher in geneigte Lagerung übergehen. Das gilt natürlich nur für diejenigen Diaklasen, die jünger sind als die jüngsten Lagerungsstörungen der betreffenden Gesteinsreihe. Wir kennen aber auch Diaklasensysteme, die bereits vor der Dislokation der Gesteine vorhanden waren und nun selbst durch die Störungen in völlig andere Lagen gebracht sind. So sind im Turonpläner südlich von Lüneburg, dessen Bänke durch jungtertiäre Dislokationen aus ursprünglich wagenrechter in steile bis senkrechte Lagerung gebracht sind, die Diaklasen, die ursprünglich den Kalkstein senkrecht durchsetzten, zu horizontalen Trennungsflächen geworden.

Als Beispiele solcher gesetzmäßig verlaufenden Systeme von Diaklasen seien im folgenden die gut studierten Spaltensysteme in der Trias von Bernburg und im Kreidesandstein der sächsischen Schweiz näher beschrieben.

In der Gegend von Bernburg finden sich im Muschelkalk und Buntsandstein mehrere Kluftsysteme, die völlig unabhängig von dem im Streichen sich mehrfach verändernden Gebirgsbaue verlaufen. Merkel¹⁾, dessen Beobachtungen ich bei der geologischen Kartierung jenes Gebietes durchaus bestätigt gefunden habe, hat sie folgendermaßen eingeteilt (Fig. 32):

- a Hauptklüfte mit einer verhältnismäßig großen Spaltweite von 15—25, in einzelnen Fällen sogar bis 50 cm, welche annähernd von Norden nach Süden verlaufen.
- a' Nebenkluft, zu a parallel, jedoch nur 5—15 cm weit.
- b Hauptklüfte mit Spaltweite bis zu etwa 20 cm, die annähernd von Ostnordost nach Westsüdwest laufen.
- b' Nebenkluft zu b parallel, jedoch nur 5—15 cm weit.
- c Nebenkluft mit geringer Spaltweite und in verschiedenen Richtungen, meist von Nordost nach Südwest verlaufend, in Fig. 32 nicht mit dargestellt.

¹⁾ Der unteroligozäne Meeressand in Klüften des Bernburger Muschelkalkes. Von O. Merkel und K. v. Fritsch. Zeitschr. f. Nat. Bd. 70, 1897, S. 61.

Die a Klüfte folgen einander in Abständen von 40 zu 40 m, die a, Klüfte stellen sich dazwischen mit 8—10 m Abstand ein. Dagegen haben die b Klüfte nur 20 m Abstand und die b, Klüfte legen sich zu je 4 mit 4 m Abstand dazwischen (Fig. 32). Die a Klüfte sind die ältesten und waren schon zur Unteroligozänzeit vorhanden, mit dessen Sanden sie teilweise, wenigstens so weit sie im Muschelkalk liegen, ausgefüllt sind. Im Rogenstein des unteren Buntsandsteins sind die a Klüfte mit Ton gefüllt, die b Klüfte leer und im Sandstein des mittleren Buntsandsteins sind beide leer. In den tonigen Lagen des Röt und Muschelkalkes klaffen die Spalten nicht, sondern sind nur als Trennungsfächen entwickelt.

In der Sächsischen Schweiz sind nach Hettner¹⁾ zwei Systeme von Spalten vorhanden, die in den der Erdoberfläche näheren Teilen als

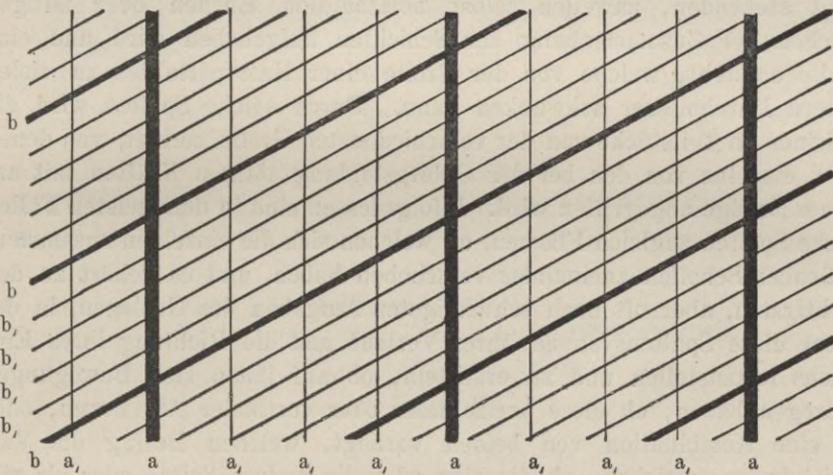


Fig. 32. Spaltensysteme im Bernburger Muschelkalk

offene Klüfte, in tiefern Lagen aber nur als Trennungsfugen der Sandsteine entwickelt sind; sie werden von den Arbeitern als Lose bezeichnet und bedingen die quaderförmige Absonderung des Sandsteins, da sie in zwei nahezu senkrecht aufeinanderstehenden Systemen angeordnet sind. Fast jede Kluftrichtung tritt in irgend einem Teile der Sächsischen Schweiz in größerer Anzahl auf, wenn auch in ihrer Anordnung eine gewisse Regelmäßigkeit bemerkbar ist. Auf dem rechten Elbufer herrscht zwischen Pirna und Schandau die Richtung N120°E, also die Richtung des Elblaufes und die darauf senkrechte Richtung N30°E vor. Bei Schandau sieht man an deren Stelle die WE- und NS-Richtung treten, aber bald schwenken die Spalten nach WSW-ENE bzw. NNW-SSE um, um in der Gegend von Hinterhermsdorf wieder in die reine Ost- und Nordrichtung zurückzukehren.

¹⁾ Hettner, A., Gebirgsbau und Oberflächengestaltung der Sächsischen Schweiz. Forsch. zur deutschen Landes- und Volkskunde II, 1888, S. 245—355.

7. Kapitel

Die Schichtenstörungen

Die bedeutendsten und wichtigsten Lithoklassen sind diejenigen, auf denen Bewegungen der beiderseits der Kluffflächen liegenden Gesteinskörper stattgefunden haben, nämlich die Verwerfungen. Die Zerberstung und Zerreißung ganzer Schichtensysteme oder ihrer einzelnen Glieder spielt im geologischen Bau vieler Gegenden eine ganz außerordentliche Rolle, beeinflußt das Relief der Landschaft und ist für die Wasserführung großer Gebiete von höchster Bedeutung. Sie äußert sich darin, daß auf ausgedehnten, mehr oder weniger senkrecht stehenden, zuweilen selbst horizontalen Ebenen oder faltigen Flächen der Zusammenhang der Schichten aufgehoben wird und eine Spalte entsteht, welche von der Breite einer Haarspalte bis zu vielen Metern Durchmesser schwanken kann. Durch solche Spalten wird die Erdrinde in Teilstücke von der verschiedensten Größe zerlegt, von denen jedes einzelne von den bei der Gebirgsbildung tätigen Kräften mit anderem Erfolge angegriffen wird. Infolgedessen sind in den meisten Fällen solche Spalten zugleich Flächen, an welchen sich die einzelnen zusammenstoßenden Schollen aneinander verschoben haben, und es gehört zu den wichtigsten, aber oft auch schwierigsten Aufgaben des Geologen, in der Natur diese Spaltensysteme, ihren Verlauf und die Richtung ihres Einfallens festzustellen und zu ermitteln, ob auf ihnen sich Bewegungen vollzogen haben, ob diese horizontaler oder vertikaler Art waren, oder ob eine Kombination von beiden vorliegt, welchen Betrag die Verschiebungen erreichen, ob die eine oder die andere Seite, oder ob alle beide bewegt wurden. Da alle diese Dinge auch hydrologisch von Bedeutung sind, so müssen wir auf die Verwerfungen etwas näher eingehen.

Wir betrachten zunächst die einzelnen Arten von Störungen und beginnen mit deren einfachster Form. Wenn eine Spalte senkrecht aufreißt, so können auf ihr verschiedene Arten von Bewegungen stattfinden. Der Gebirgsteil auf ihrer einen Seite kann stehen bleiben und der andere kann senkrecht in die Tiefe sinken oder in horizontaler Richtung verschoben werden; letzteres speziell heißt „Blattverwerfung“. Bisweilen kann man auch eine Verbindung beider Bewegungsformen erkennen. Infolge davon stoßen entlang einer Verwerfung meistens Schichten aneinander, die zu ganz verschiedenen Zeiten entstanden sind. Ausnahmsweise bei horizontaler Lagerung und ebensolcher Verschiebung des einen Flügels oder bei vollkommen seigerer Lagerung und ebensolcher Verschiebung wird ein Unterschied nicht erkennbar sein; ja es können in diesem Falle sogar die gleichzeitig entstandenen einzelnen Schichten noch unmittelbar einander berühren, vorausgesetzt,

daß die Mächtigkeit der Schichten sich nicht verändert, die Grenzflächen also parallel verlaufen. Erst da, wo die Spalte in ihrer Horizontalerstreckung die Grenze zweier Schichtenkomplexe schneidet, werden Veränderungen an der Oberfläche erkennbar werden. Dagegen sind, im Falle horizontaler Verschiebung, senkrecht die Verwerfung durchsetzende Massen, also beispielsweise Eruptivgesteinsgänge, oberflächlich in ihrem Zusammenhange getrennt und man kann an ihnen den Betrag der Verschiebung direkt erkennen. Umgekehrt werden die durch die Verwerfung getrennten Teile solcher senkrechten Gänge bei dem Absinken eines Flügels in die Tiefe nebeneinander liegen bleiben. Den Betrag, um welchen bei einer Verwerfung eine Schicht senkrecht gegen die andere verschoben ist, nennt man die Sprunghöhe.

Wenn die Verwerfungsspalte nicht senkrecht steht, sondern geneigt ist, so hat man zu unterscheiden zwischen dem hangenden und dem liegenden Flügel der Verwerfung, wobei man als „hangenden“ denjenigen bezeichnet, in welchem eine angesetzte Bohrung in einer gewissen Tiefe

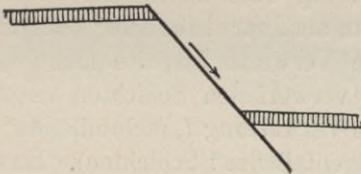


Fig. 33

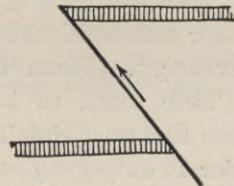


Fig. 34

die Verwerfungsspalte erreichen würde (rechts in Fig. 33 und 34). Bei diesen geneigt stehenden Verwerfungen sind zwei Fälle zu unterscheiden: Entweder ist der hangende Flügel in die Tiefe gesunken, und man spricht dann schlechthin von einer „Verwerfung“ (Fig. 33), oder er ist nach oben bewegt worden und man hat in diesem Falle einen Wechsel oder eine Überschiebung (Fig. 34) vor sich. Im ersten Falle befindet sich zwischen den zu den beiden Seiten der Verwerfung liegenden Teilen einer ursprünglich zusammenhängenden Schicht eine Raumdifferenz, die in der Horizontalprojektion als Lücke erscheint, im letzteren Falle aber liegt auf einer bestimmten Strecke ein Teil der hangenden Schicht über einem anderen der liegenden. Dieselbe Wirkung wird natürlich hervorgerufen, wenn in dem ersten Falle der liegende Flügel aufwärts bewegt wird oder im zweiten Falle entlang der Verwerfung in die Tiefe sinkt (Unterschiebung). Auf jeden Fall ist bei der Verwerfung entlang einer geneigten Spalte eine Vergrößerung der von der betreffenden Schicht in der Horizontalprojektion eingenommenen Fläche, bei der Überschiebung dagegen eine Verminderung derselben zu beobachten.

Verwerfungen sowohl wie Überschiebungen können in horizontal gelagerten und in geneigten Schichtensystemen, in gefaltetem Gebirge jeder Art, in Sedimentär- und in Eruptivgesteinen aufsetzen, und es komplizieren sich nach diesen einzelnen Fällen die Wirkungen, welche solche Verschiebungen in der Oberflächenverbreitung der betroffenen Schichten bedingen.

Nach dem Winkel, den die Streichlinie einer Verwerfung mit derjenigen der von ihr durchsetzten Schichten bildet, kann man folgende Fälle unterscheiden:

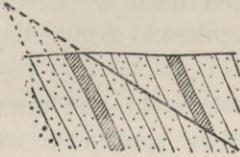


Fig. 35

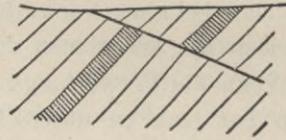


Fig. 36

1. Die Verwerfung verläuft völlig oder nahezu im Streichen der Schichten; man bezeichnet sie als „streichende“ oder „Längsverwerfung“. Wenn eine solche Verwerfungsspalte nicht senkrecht in die Tiefe setzt, so können die verworfenen Schichten entweder in derselben Richtung einfallen, wie die Verwerfung („rechtfallende“ Schichten) oder in entgegengesetzter („gegenfallende“ Schichten). Im ersteren Falle können die verworfenen Schichten nur dann wieder zu Tage treten,

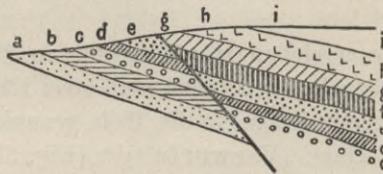


Fig. 37

wenn sie ein steileres Einfallen besitzen, als die Verwerfung (Fig. 35). Dagegen werden bei gegenfallenden Schichten die verworfenen Teile in den meisten Fällen wieder zu Tage austreichen (Fig. 36).

Gegenfallende streichende Verwerfungen führen also zu Wiederholungen einer Schichtenreihe nach dem Schema $abcde-abcde-a$ (Fig. 25 S. 37), wohingegen rechtfallende das Fehlen eines vorhandenen Schichtengliedes im Ausstriche an der Oberfläche veranlassen können (Schicht f in Fig. 37).

2. Die Verwerfung verläuft mehr oder weniger senkrecht zum Streichen der verworfenen Schichten und wird alsdann als „Quer-

verwerfung“ bezeichnet. Es ist mit ihr immer eine Verschiebung der Schichten verbunden, mit Ausnahme des Falles, daß sie auf dem Kopfe stehen, und zwar erscheinen die hangenden Schichten der Fallrichtung entgegen, also nach rückwärts bewegt.

3. Der Verlauf der Verwerfung steht in der Mitte zwischen den beiden obengenannten Gruppen, liegt also weder im Streichen noch rechtwinklig zu ihm, und die Verwerfung wird als „Diagonal-“ oder „spießbeckige“ Verwerfung bezeichnet. Die von ihr ausgeübten Wirkungen kommen denjenigen der Querverwerfungen nahe, und der Betrag der Querverschiebung wird umso größer, je flacher die Schichten fallen und je mehr die Verwerfung einer streichenden sich nähert.

Es ist ein sehr häufiger Fall, daß Verwerfungen in großer Zahl in einem begrenzten Gebiete auftreten, und diese können dann entweder einander parallel verlaufen, oder sich unter beliebigen Winkeln schneiden; sie können ferner entweder gleichzeitig entstanden, oder in verschiedenen Perioden einzeln oder gruppenweise gebildet sein.

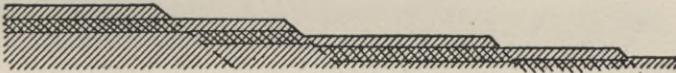


Fig. 38

Unter „Störungszonen“ versteht man Systeme von Verwerfungen, Faltungen, Quetschungen, Zerreißen usw. entlang eines schmalen, langen, gestreckten Raumes, zwischen störungsarmen oder davon freien Gebieten. Es kommen aber auch große Gebiete vor, in denen die Verwerfungen usw. nicht lokal angehäuft, sondern gleichmäßig zerstreut sind.

Wenn mehrere Spalten einander parallel verlaufen, so können die etwa eingetretenen Verschiebungen alle in gleichem Sinne stattgefunden haben, in der Weise, daß der Betrag der Verwerfung, die Sprunghöhe, in einer bestimmten Richtung zunimmt. Es ergibt sich daraus eine Tektonik, die man mit dem Namen „staffelförmiger“ oder „treppenförmiger“ Bau bezeichnet. Werden horizontal gelagerte Schichten von einem solchen Verwerfungssystem zerlegt, so entsteht im Querschnitte ein Bild, wie es in den Figuren 38, 41 und 42 angedeutet ist. Bei geneigter Lage der Verwerfungsebene kann, wenn in jedem Falle der hangende Flügel in die Tiefe sinkt, das Bild eines treppenförmigen Baues entstehen; haben aber in solchem Falle Überschiebungen stattgefunden, so wiederholt sich der Seite 47 besprochene Fall mehrere Male hintereinander, und wenn die Spalten unter einem sehr flachen Winkel in die Tiefe gehen, so kann der Fall eintreten, daß dieselbe Schicht

drei, vier und mehr Male in einer bestimmten Zone übereinander lagernd durch eine Bohrung angetroffen werden würde (Fig. 39).

Wenn Schichten, die sich schon vor der Spaltenbildung in mehr oder weniger geneigter Lage befanden, von einem solchen System einander parallel verlaufender Überschiebungen betroffen werden, so kann der bereits oben angedeutete Fall eintreten, daß eine Schichtenreihe an

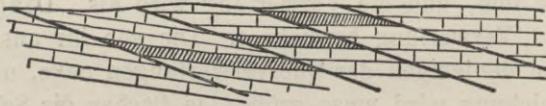


Fig. 39

der Oberfläche sich mehrere Male wiederholt, und es ist dann große Aufmerksamkeit erforderlich, um zu erkennen, ob man es mit einem isoklinalen Faltensystem oder mit einer Gruppe von aufeinanderfolgenden Überschiebungen zu tun hat. Man charakterisiert im letzteren Falle den Gebirgsbau mit dem Namen Schuppenstruktur (Fig. 40).

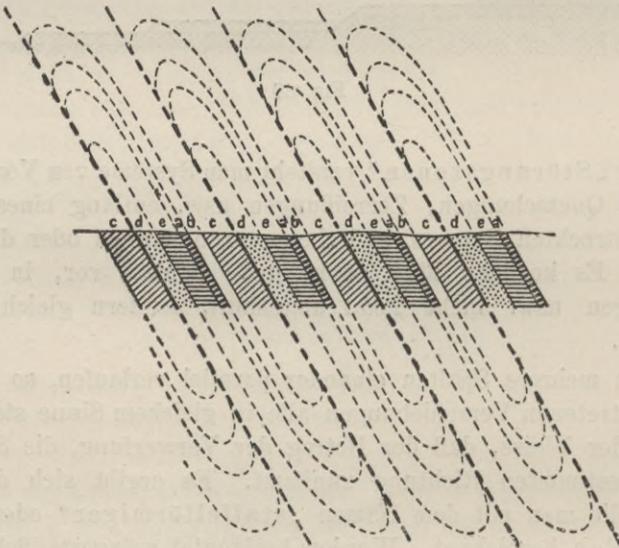


Fig. 40

Wenn auf parallelen oder miteinander konvergierenden, aber im Streichen mehr oder weniger übereinstimmenden Spalten Bewegungen in der Weise stattfinden, daß ein von ihnen eingeschlossenes Gebirgsstück stehen bleibt und die äußeren Flügel der Verwerfungen in die Tiefe sinken, so entsteht der im Profile (Fig. 41) dargestellte Fall, in welchem man das stehengebliebene Stück als einen „Horst“ bezeichnet.

Wenn umgekehrt die beiden äußeren Flügel der Verwerfung stehen bleiben und das von ihnen eingeschlossene Stück in die Tiefe sinkt, so entsteht der in Figur 42 dargestellte Bau, den man als Grabenversenkung oder kurzweg als „Graben“ (Fig. 42) bezeichnet. Das folgende

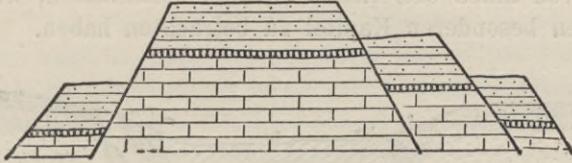


Fig. 41. Horst

Profil (Fig. 43) gibt einen Querschnitt durch einen derartigen einfach gebauten Graben, in welchem eine bis in den Keuper hinaufreichende Schichtenfolge zwischen zwei Verwerfungen in die Grube gesunken ist. An ihren beiden Seiten war dieselbe Schichtenfolge ursprünglich auch vorhanden, aber infolge der Denudation reicht sie nach oben nur noch bis zum unteren Muschelkalke empor, während die jüngeren Schichten vollständig beseitigt sind.

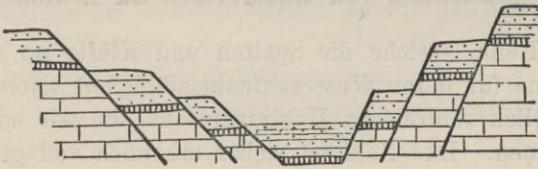


Fig. 42. Graben

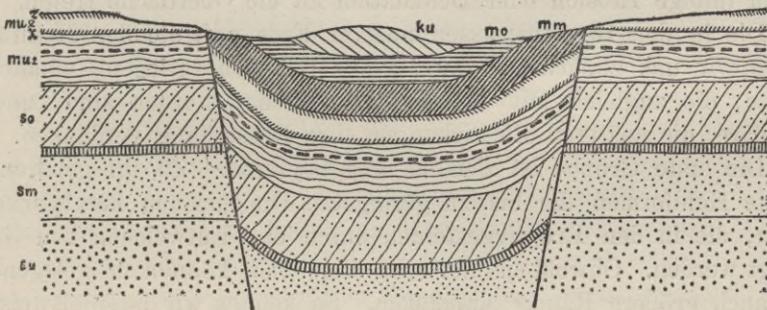


Fig. 43. Einfache Grabenversenkung

Gewöhnlich ist der geologische Bau, sowohl der Horste wie der Gräben, ein verwickelter, indem innerhalb der tektonischen Hauptmassen noch weitere Verwerfungsspalten entstanden sind, auf denen abermals Verschiebungen der Schichten gegeneinander in verschiedenen, aber kleineren Beträgen stattgefunden haben. Ein Beispiel für einen

solchen verwickelten Grabenbau bietet das folgende Profil (Fig. 44), welches dem an Grabenversenkungen sehr reichen hessischen Berglande entnommen ist.

In welcher Weise die verschiedenen Verwerfungen die Wasserführung der von ihnen betroffenen Gebiete beeinflussen, werden wir in einem späteren besonderen Kapitel zu betrachten haben.

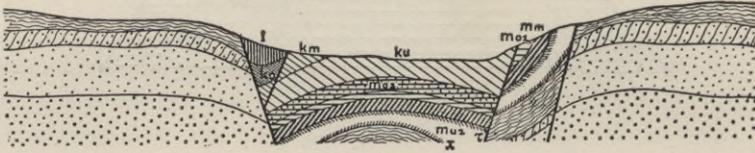


Fig. 44

Buchstabenerklärung zu Fig. 43 und 44. su unterer, sm mittlerer, so oberer Buntsandstein, mu₁ unterer, mu₂ oberer Wellenkalk, τ Terebratelbank, γ Schaumkalkbank, mm mittlerer, mo₁ und mo₂ oberer Muschelkalk, ku unterer, km mittlerer, ko oberer Keuper, l Lias

8. Kapitel

Die Entstehung von Hohlformen im Erdinnern

Dieselbe Rolle, welche die Spalten und Klüfte an sich undurchlässiger Gesteine für deren Wasseraufnahmefähigkeit spielen, üben auch die außerordentlich zahlreichen Hohlräume aus, die wir mit dem Namen Höhlen bezeichnen. Ihre Zahl ist sicher erheblich viel größer, als uns heute bekannt ist, denn neue Höhlen gelangen immer nur durch Zufälligkeiten zu unserer Kenntnis und auch diese nur, soweit ihre Öffnungen infolge Erosion oder Denudation an die Oberfläche treten.

Die in den Gesteinsmassen unserer Erde auftretenden Hohlräume können wir uns zunächst in zwei große Gruppen zerlegen, nämlich in primäre, die zugleich mit dem Gestein erzeugt worden sind, und in sekundäre, die späteren Einwirkungen ihre Entstehung verdanken.

Die erste Gruppe ist ziemlich eng begrenzt. Zu ihr gehören als kleinste Hohlformen die bis zu geringsten Dimensionen herabgehenden Blasen, die in den Eruptivgesteinen durch das Entweichen von Gasen erzeugt werden. Obwohl sie nur sehr klein sind, können sie gelegentlich doch auch größere Räume einnehmen. So kennen wir beispielsweise in den berühmten Kristallkellern der Alpen solche Hohlräume, deren Ausdehnung 40 m beträgt.

Eine andere Gruppe derartiger primärer Hohlräume sind in den Lavaströmen selbst erzeugt worden. Die in einem Tale oder an einem flachen Gehänge sich abwärts bewegende Lava erstarrt an ihrer Oberfläche sehr schnell und überkleidet sich mit einer Rinde von Schlacken und festem Gestein, während das Innere noch bewegungsfähig und

glühend bleibt. Der Schwere folgend, fließt dieser innere Kern weiter und es bleibt, wenn der Nachschub aus dem Vulkan aufhört, ein langgestreckter, schlauchförmiger Hohlraum übrig, der von der Oberfläche meist nur durch eine dünne Kruste getrennt ist. In vielen Fällen bricht diese Kruste zusammen, in anderen aber bleibt sie erhalten. Die größte dieser Lavahöhlen findet sich im zentralen Island, aber wir begegnen ihnen auch in dem Vulkangebiete Zentralfrankreichs, auf den Sandwichinseln, in Mexiko und in anderen Vulkangebieten.

Auch die mächtigen Hohlräume innerhalb aktiver Vulkane gehören zu den vulkanischen Höhlen. Sie entstehen dadurch, daß nach Beendigung eines Ausbruches ein Zurücksacken der Lava erfolgt. Dadurch entsteht im Innern des Vulkans ein Hohlraum, der zwar für den Menschen nicht zugänglich ist, dessen Größe wir aber durch andere Beobachtungen als sehr bedeutend erkennen können. Diese Hohlräume pflegen sich, da sie meist ziemlich tief liegen, mit Wasser zu füllen. Wenn dann der Vulkan wieder in Tätigkeit tritt, werden diese Wassermassen an die Oberfläche befördert. Die ungeheure Menge dieser vom Vulkan herausbeförderten Wassermassen gibt uns ein anschauliches Bild der kolossalen Räume im Innern des Berges.

Eine andere Form primärer Höhlen wird in den Korallenriffen durch das Wachstum der Korallen erzeugt. An lebendigen Korallenriffen kann man beobachten, daß die riffbildenden Korallen ein eigentümliches horizontales Wachstum besitzen, wodurch schließlich Hohlräume geschaffen werden, indem die oberen und unteren Partien benachbarter Riffe verwachsen, während der zwischenliegende Raum leer bleibt. So bildet sich im lebendigen Riff ein verwickeltes System von Hohlräumen verschiedenster Form. Es ist die Meinung ausgesprochen worden, daß die Höhlen, die in den durch Korallentätigkeit aufgebauten fossilen Riffen, beispielsweise des Weißen Jura, vorkommen, zum Teil vielleicht auf diese Art entstanden und ursprünglich sein könnten.

Weit bedeutungsvoller sind die sekundären Hohlräume, die zu allermeist auf die lösende, z. T. aber auch auf die mechanisch erodierende Tätigkeit des Wassers zurückgeführt werden müssen. Sie stehen in engsten Beziehungen zu den im sechsten Kapitel betrachteten Diaklasen und sind in vielen Fällen nichts anderes als mehr oder weniger beträchtliche Erweiterungen solcher Druckklüfte. Wenn wir auch bei der Entstehung von Höhlen in einem mehr oder weniger wasserlöslichen Gestein dem Wasser die erste Rolle bei der Auslaugung zusprechen müssen, so dürfen wir doch nicht außer acht lassen, daß das Wasser nur dann zu einer Einwirkung auf das Gestein kommen kann, wenn dieses durch Klüfte oder Verwerfungen in Schollen zerlegt ist, zwischen denen hindurch das Wasser leicht einen Weg finden kann. In der Tat beobachten wir auch bei der großen Mehrzahl aller unserer Höhlen im

Kalkstein und Dolomit, daß der Hohlraum schließlich in eine einfache Gesteinskluft übergeht und daß wir zwischen den riesenhaften Höhlen im Innern der Erde von Meilenlänge und den haarfeinen Spalten und Klüften der Haarrisse alle Übergänge besitzen.

Das Wasser wirkt aber nicht nur lösend, sondern auch mechanisch erodierend. Sobald es in der Lage ist, durch entstandene Klüfte zu fließen, so vermag es in derselben Weise die Klüfte durch seitliche Abtragung zu erweitern, wie ein offener Fluß. Selbst wenn der unterirdische Fluß später wieder verschwunden ist, können wir dennoch seine Wirkungen an den Wandungen der Höhlen erkennen in Form zahlreicher Auskesselungen und jener merkwürdigen Nischenbildungen, die wir in den Klammern der heutigen Flüsse beobachten, sowie weiter in mehr oder weniger abgerollten Schottern und kiesigen und sandigen Sedimenten, die das Wasser auf seinem Wege abgelagert hat.

Die einfachsten und am leichtesten verständlichen Formen der Höhlenbildung liegen da vor, wo stockförmige Massen von Gips und Steinsalz ausgelaugt sind. In einer Anzahl von mesozoischen Formationen, im oberen Zechstein, im oberen Buntsandstein, im mittleren Muschelkalk und im mittleren Keuper kennen wir ausgedehnte Ablagerungen von solchen leicht löslichen Salzen, die, wenn sie nahe der Oberfläche liegen und nicht durch eine undurchlässige Decke vor dem Wasser geschützt sind, einer schnellen Auflösung anheimfallen, so daß die genannten Mineralien völlig verschwinden und nur ihre ungelösten Beimengungen innerhalb der Hohlräume erhalten bleiben. Bei kleineren Stöcken und genügender Tiefenlage vermag die Decke die Last des darüber lagernden Gebirges zu tragen. Größere Hohlräume aber brechen meist zusammen, die Decke stürzt nach und der Nachsturz setzt sich nach oben fort, in vielen Fällen bis an die Erdoberfläche. Dann treten uns an ihr die Spuren solcher Katastrophen in Form der sogenannten Erdfälle oder Schlotten entgegen, jener kreisförmig oder elliptisch gestalteten, oft mit Wasser erfüllten beckenartigen Hohlformen, die im Gebiete der Gips und Salz führenden Formationen meist in größerer Zahl beobachtet werden. Mag nun die Höhle verstürzt sein oder nicht, immer wird sie innerhalb des ungestörten Gesteins ein Gebiet darstellen, welches durch Zertrümmerung und durch größere, beim Niederbrechen des Daches erzeugte Hohlräume eine ganz bedeutende Wasseraufnahmefähigkeit erlangt.

Andere Höhlen werden erzeugt an den steilen Küsten unserer Meere, wo die Brandung die weicheren Partien oft bis weit von der Küstenlinie entfernt herausarbeiten kann (Blaue Grotte).

Auch in Sandsteingebieten können Hohlräume erzeugt werden, wenn nämlich ein Teil des Sandes zu Sandstein verkittet wird, ein anderer Teil aber locker bleibt. Dann kann, sobald in dem Sandsteingebirge Wasser zirkulieren und als Quellen austreten, der unverkittete

Teil, der Sand, mechanisch von dem Wasser herausgeführt werden. So entstehen Hohlräume, deren Ausmaß jedoch meist unbedeutend ist.

Am allerwichtigsten ist der Prozeß der Höhlenbildung in unseren Kalkstein- und Dolomit-Gebirgen, und zwar neigen die reineren Kalksteine und Dolomite erheblich mehr zur Höhlenbildung, als diejenigen, denen erhebliche Mengen von Ton oder Kieselsäure beigemischt sind. Den reinsten Typus der Höhlenbildung und unterirdischen Wasserbewegung bieten uns die Karstlandschaften unserer Erde, die sich in Europa von den Ostalpen aus durch die Balkanhalbinsel und entlang der Adria hinziehen, aber auch in anderen Ländern, Nordungarn, Kuba, Yukatan, Nordamerika in größerer Ausdehnung auftreten. Auf die morphologischen Eigentümlichkeiten dieser Karstlandschaften ober- und unterhalb der Erdoberfläche werden wir bei der Besprechung ihrer Wasserverhältnisse noch zurückkommen. Die wesentlichsten Eigentümlichkeiten ihrer inneren Teile bestehen in dem Auftreten unendlich zahlreicher Hohlräume, die fast ausschließlich an präexistierende Spalten und Klüfte anknüpfen und an deren Erweiterung ununterbrochen gearbeitet wird. Derartige Karstgebirge lassen sich daher nur vergleichen mit einem gewaltigen Schwamm, dessen Hohlräume ein unvollkommen kommunizierendes Netz darstellen.

9. Kapitel

Stratigraphische Vorbemerkungen

Die Stratigraphie beschäftigt sich mit der Altersfolge der die Erdrinde aufbauenden Schichten und mit den gegenseitigen Altersbeziehungen der Schichten verschiedener Gebiete. Mit Hilfe der Pflanzen- und Tiergesellschaften, die zu den verschiedenen Zeiten die Erde bewohnt und ihre Reste in den geologischen Schichten zurückgelassen haben, ist die gesamte, viele Kilometer mächtige Schichtenreihe in eine große Anzahl einzelner Formationen mit Unterabschnitten eingeteilt worden. Im folgenden gebe ich zunächst einen Überblick über die stratigraphische Einteilung unserer Gesteine.

Tabelle der geologischen Perioden und Formationen.

IV. Viertes Zeitalter: Die Neuzeit der Erde (känozoische Perioden und Formationen, Känozoikum, neolithische Gruppe, Spätgesteine).

Quartärformation: Alluvium (Jungquartär)

Diluvium (Pleistozän, Altquartär).

Tertiärformation: Pliozän } Neogen
Miozän }

Oligozän	}	Paläogen.
Eozän		
Paläozän		

III. Drittes Zeitalter: Das Mittelalter der Erde (mesozoische Formationen, Mesozoikum, mesolithische Gruppe, Mittelgesteine).

Die Kreideformation: Senon	}	obere Kreide
Turon		
Cenoman		
Gault	}	untere Kreide.
Neokom		

Die Juraformation: Wealdenformation.
 Oberer, weißer Jura = Malm.
 Mittlerer, brauner Jura = Dogger.
 Unterer, weißer Jura = Lias.

Die Triasformation: Rhät
 Keuper
 Muschelkalk
 Buntsandstein.

II. Zweites Zeitalter: Das Altertum der Erde (paläozoische Formationen, Paläozoikum, paläolithische Gruppe, Frühgesteine).

Die Dyas oder permische Formation:
 Zechstein
 Rotliegendes.

Die Karbon- oder Steinkohlenformation:
 Produktive obere Steinkohlenformation
 Kulm, subkarbonische Steinkohlenformation.

Die devonische Formation: Oberdevon
 Mitteldevon
 Unterdevon.

Die silurische Formation: Obersilur
 Untersilur

Die kambrische Formation (Primordialstufe):
 Oberkambrium
 Mittelkambrium
 Unterkambrium.

Die präkambrische Formation.

I. Erstes Zeitalter: Die Urzeit der Erde (archaische oder primäre Perioden und Formationen, Archäikum, archäolithische Gruppe, Urgesteine, azoische versteinungslose Formation).

Dazu ist zu bemerken, daß von den ältesten bis zu den jüngsten Formationen die Sedimentgesteine Einschaltungen enthalten von gleichzeitig entstandenen Eruptivgesteinen und deren Tuffen, so zwar, daß

die älteren Formationen im allgemeinen durch ganz andersartige Eruptivgesteine ausgezeichnet sind als die jüngeren.

Im großen und ganzen ist es für die Grundwasser- und Quellenkunde völlig gleichgültig, welches Alter die vom Wasser eingenommenen und von ihm durchflossenen Schichten besitzen und welche Pflanzen und Tiere zur Zeit der Entstehung dieser Schichten gelebt haben. Es kommt vielmehr ausschließlich darauf an, wie sich die einzelnen Ablagerungen in chemischer und physikalischer Beziehung dem Wasser gegenüber verhalten, nämlich ob sie unlöslich oder mehr oder weniger löslich, sowie ob sie durchlässig oder mehr oder weniger undurchlässig sind. Aber diese anscheinende Bedeutungslosigkeit der Stratigraphie für die Grundwasserkunde ist doch in Wirklichkeit nicht vorhanden. Auf der einen Seite setzt uns diese Wissenschaft in den Stand, mit Hilfe von in dem einen Gebiete erkannten Gesetzen der Verteilung des Wassers, die für die Gewinnung unterirdischen Wassers günstigen oder ungünstigen Schichten in einem anderen Gebiete wiederzuerkennen, und hierbei können natürlich auch die fossilen Einschlüsse der Schichten eine wichtige Rolle spielen. Auf der anderen Seite aber sind bestimmte Formationen oder die Unterabteilungen bestimmter Formationen oftmals sehr einheitlich zusammengesetzt und ihre Gesteine besitzen ganz bestimmte Beziehungen zum Wasser, so zwar, daß die eine Formation im wesentlichen aus durchlässigen und wasserreichen, eine andere aus undurchlässigen und wasserarmen Gesteinen aufgebaut ist. Natürlich gelten diese Unterschiede nicht für die Gesteine einer Formation über die ganze Erde hinweg, sie besitzen vielmehr nur örtliche Bedeutung und beherrschen Gebiete von sehr verschiedenartiger Größe. Manche als Formationen oder deren Unterabteilungen zusammengefaßte Gesteine finden sich in einheitlicher Entwicklung über Tausende von Quadratmeilen verbreitet, während andere nur in beschränkten Ablagerungsgebieten entstanden sind und in benachbarten Gebieten bereits durch andere Gesteinsreihen ersetzt werden. Wir werden noch bei den verschiedensten Gelegenheiten auf die stratigraphischen Unterschiede und den geologischen Bau der behandelten Formationen zurückzugreifen haben, und wir werden dann erkennen, wie sich die einzelnen Formationen in dem angedeuteten Sinne verhalten.

2. Die chemischen Grundlagen der Grundwasserkunde

10. Kapitel

(Der Inhalt dieses Kapitels ist folgenden beiden Werken entnommen: J. Hirschwald, Handbuch der bautechnischen Gesteinsuntersuchung, I, Berlin, Gebr. Borntraeger 1911; F. A. Fürer, Salzbergbau und Salinenkunde, Braunschweig, Vieweg und Sohn 1900.)

Chemisch reines Wasser kommt in der Natur nicht vor. Selbst die reinsten Gewässer, die atmosphärischen Niederschläge, enthalten neben anorganischen und organischen Beimengungen alle Bestandteile der Luft.

Nach Bunsen¹⁾ vermag 1 Vol. Wasser bei 760 mm Druck zu absorbieren:

	bei 10°	bei 15°	bei 20°
Vol. Sauerstoff	0,03250 = 1	0,02989 = 1	0,02838 = 1
„ Stickstoff	0,01607 = 0,50	0,01478 = 0,49	0,01403 = 0,49
„ Kohlensäure	1,1847 = 36,4	1,0020 = 33,5	0,9014 = 31,8.

In Übereinstimmung mit diesen Löslichkeitsverhältnissen der betreffenden Gase in Wasser fand Baumert²⁾ in der vom Regenwasser absorbierten Luft (aufgefangen nach mehrstündigem Regen bei 11,4° C):

33,76 Vol. Sauerstoff, 64,47 Vol. Stickstoff und 1,77 Vol. Kohlensäure, also auf 1 Vol. Kohlensäure 19 Vol. Sauerstoff, während in der atmosphärischen Luft auf 1 Vol. Kohlensäure im Mittel 628 Vol. Sauerstoff kommen. In der vom Regenwasser absorbierten Luft ist also 33 mal so viel Kohlensäure und etwa doppelt so viel Sauerstoff wie in der atmosphärischen Luft enthalten.

Außerdem enthält das Regenwasser die in der Luft in geringer Menge vorhandenen Substanzen, namentlich Schwefelsäure, Salpetersäure und Ammoniaksalze.

Ebenso wie der Kohlensäuregehalt im Regenwasser beträchtlich größer ist, als in gleichen Raumteilen der atmosphärischen Luft, so findet auch eine beträchtliche Anreicherung an Ammoniak bzw. Salpetersäure im Regenwasser statt. Der Ammoniakgehalt beträgt durchschnittlich in 1 cbm Luft 1,472 mg, im Regenwasser dagegen 3,004 g, d. h. also das 2040 fache.

Eine noch größere Absorptionsfähigkeit als das Regenwasser besitzt der Schnee gegenüber den Beimengungen der atmosphärischen Luft an Schwefelsäure, Salpetersäure und Ammoniak.

Die von R. Sendtner ausgeführten Untersuchungen ergaben folgenden Gehalt an schwefliger Säure bzw. Schwefelsäure im Schnee Münchens³⁾.

¹⁾ Ann. d. Chem. u. Pharmac. 93 1855, S. 20.

²⁾ Ibid. 88 1855, S. 17.

³⁾ R. Sendtner, Schweflige Säure und Schwefelsäure im Schnee. Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1887, II, S. 67 u. f.

Es enthielten:

- | | | |
|--|---|---|
| 1. 1 kg Schnee vom Hof des Hygienischen Instituts in München | } | 32 mg SO ₃ = 25,6 mg SO ₂ |
| 2. 1 kg Schnee vom südlichen alten Friedhofe ebendasselbst | } | 25 mg SO ₃ = 20,2 mg SO ₂ |
| 3. 3 kg Schnee vom Hofe der Gasfabrik ebendasselbst | } | 60 mg SO ₃ = 48,0 mg SO ₂ . |

In verhältnismäßig kurzer Zeit wird die schweflige Säure, welche der Schnee absorbiert, zu Schwefelsäure oxydiert.

Außer Schwefelsäure enthält der Schnee wechselnde Mengen von Kohlensäure, Ammoniak und Salpetersäure bzw. salpetriger Säure.

Marchand fand in 1 l Schneewasser 1,74 mg doppelkohlen-saures Ammon und 1,89 mg salpetersaures Ammon; Göppelsröder berichtet, daß der Gehalt an Salpetersäure in den von ihm untersuchten Schneewässern zwischen 2,0 bis 7,0 mg pro kg schwankt¹⁾.

Dringt das Regen- bzw. Schneewasser in den Erdboden ein, so nimmt es weitere, teils gasige, teils feste Substanzen auf.

Die in den oberen Erdschichten befindliche Luft enthält eine beträchtlich größere Menge von Kohlensäure als die Atmosphäre. Pettenkofer fand in der Grundluft von München bis zu 4 m Tiefe im Maximum 183,3 Teile Kohlensäure auf 10000 Teile Luft.

Nach Boussingault und Levy²⁾ enthält die Grundluft aus wenig humusreichem Boden mindestens 25 mal, aus humusreichem Boden 90 mal mehr Kohlensäure als die atmosphärische Luft.

Das in die Erde eindringende Wasser findet hier also Gelegenheit, eine vielfach größere Menge Kohlensäure aufzunehmen, als im Regenwasser vorhanden ist; daneben aber auch humussaure Verbindungen und Ammoniumsalsze, wie sie aus dem Fäulnisprozeß der in den oberflächlichen Schichten enthaltenen Vegetabilien hervorgehen.

Bei einer derartigen Zusammensetzung vermag das Bodenwasser viel energischer, namentlich auf die kalkhaltigen Gesteine, lösend und zersetzend einzuwirken, als das Regenwasser an sich.

Über den Gehalt des Wassers an organischen Stoffen geben die Analysen, welche die „Rivers Pollution Commission“ von Wasserproben aus Flachbrunnen verschiedener Bodenarten ausgeführt hat, einen Anhalt³⁾.

¹⁾ Zeitschr. f. analyt. Chemie 1870, IX, S. 178.

²⁾ Compte rend. 35 1852, S. 35.

³⁾ Aus: Fischer, Chemische Technologie des Wassers, S. 93.

1 Liter Wasser enthält in Milligrammen:

Flachbrunnen im	Orga- nischer Kohlen- stoff	Orga- nischer Stick- stoff	Am- moniak	Stickstoff als Nitrat bzw. Nitrit	Gesamt- stickstoff	Gesamt- rückstand
Gneis von Kendahl . . .	3,62	1,10	6,25	24,65	30,90	1002,0
Silur von Alford . . .	0,48	0,07	0	0,33	0,40	168,0
Devon von Arbroath . . .	1,68	0,64	0	41,97	42,61	1052,0
„ „ Inverness . . .	1,39	0,06	0	0,33	0,39	156,0
Carbon von Ogle Hay	1,39	0,20	1,70	101,02	102,62	1207,0
„ „ Durham . . .	1,24	0,45	0	62,68	63,13	1137,2
„ „ Sheffield . . .	12,00	1,26	1,10	0	2,17	185,0
Dolomit von Darlington .	1,26	0,54	0,02	18,12	18,68	724,8
Sandstein von Birmingham	3,40	1,05	6,20	147,17	153,33	2402,0
„ „ Newent . . .	2,93	2,36	0	113,94	116,30	2321,2
„ „ Newark . . .	1,31	0,42	0	0,88	1,30	578,2
Lias von Hillmorton . . .	11,44	2,16	0,60	198,58	201,23	3068,5
„ „ Somreton . . .	8,04	1,43	0,05	94,49	95,96	1992,0
„ „ Bitteswell . . .	2,05	0,33	0	0	0,33	1208,0
Oolith von Thame . . .	7,59	2,83	0,06	122,20	125,08	2696,0
„ „ Warkton . . .	4,48	0,56	0,05	1,78	2,38	490,0
Grünsand und Wealden- ton von Pepper Harrow	0,14	0,12	0,01	67,22	67,35	714,0
desgl. von Cambridge . .	0,79	0,27	0,74	0	0,88	859,6
Kreidekalk von Deal . . .	2,41	0,34	17,00	63,45	77,79	1460,0
„ v. Marlborough	0,49	0,15	0	6,13	6,28	324,8
Londonton von London .	2,78	0,87	0	258,40	259,27	3965,0
„ „ „	2,87	0,76	26,50	54,31	76,89	1528,0
„ „ „	0,45	0,15	0,01	0	0,16	377,0
Alluvium von Whittlesey	9,31	9,40	30,50	103,48	143,00	2502,0
„ „ Windsor .	0,15	0,10	0,01	0,63	0,74	300,8

Neben den organischen Bestandteilen nimmt das Erdwasser aber auch jene anorganischen Verbindungen auf, welche aus der Verwitterung der oberen Gesteinslagen resultieren, insbesondere die Karbonate der Alkalien, des Kalks und der Magnesia, wie des Eisens und in geringerer Menge auch Kieselsäure.

Die Veränderung, welche ein Gestein unter der Einwirkung des Wassers erleidet, kann eine dreifache sein; sie kann bestehen:

- a) in einfacher Auflösung,
- b) in chemischer Veränderung,
- c) in mechanischer Erweichung bzw. damit zusammenhängender Vergrößerung seines Volumens.

Die Löslichkeit der gesteinsbildenden Mineralien im Wasser

In seinem Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie (I, 215) sagt Bischof: „Ein Mineral, welches weder Sauerstoff, noch

Kohlensäure, noch Wasser aufnehmen kann, sollte, wie es scheint, eine ewige Dauer haben. Diesem widerspricht aber die tägliche Erfahrung. Wo die Atmosphärien nicht mehr zersetzend wirken, da wirken sie (Wasser und Kohlensäure) auflösend.“

In der Tat sind alle gesteinsbildenden Mineralien in kohlensäurehaltigem Wasser bis zu einem gewissen Grade löslich. Zu den widerstandsfähigsten Mineralien gegen Lösungsmittel gehören bekanntlich die Silikate. Aber auch für diese ist, in fein gepulvertem Zustande, ein geringer Löslichkeitsgrad in kohlensäurehaltigem Wasser nachzuweisen, namentlich für Feldspat, Glimmer, Augit, Hypersthen, Hornblende, Olivin, Chlorit, Talk, Leuzit, Nephelin, für sämtliche Zeolithe, sowie auch für amorphe Kieselsäure.

Innerhalb geologischer Zeiträume können sich aus solchen geringfügigen Einwirkungen sehr bedeutende Effekte ergeben.

Neben den Silikaten sind auch andere Mineralverbindungen, wie namentlich Kalzium-, Magnesium-, Eisen- und Mangan-Karbonat, sowie schwefelsaurer Kalk in nicht unerheblichem Maße in meteorischem Wasser löslich.

Löslichkeit des kohlensauren Kalkes. Nach Fresenius¹⁾ vermögen 10600 Tl. kaltes Wasser 1 Tl. kohlensauren Kalk zu lösen. Andere Forscher haben jedoch eine beträchtlich geringere Löslichkeit festgestellt. Nach Graham, Miller und Hofmann²⁾ lösen 10000 Tl. Wasser nur 0,343 Tl. kohlensauren Kalk; nach Bineau³⁾ 0,16 bis 0,2 Tl., nach Cruse⁴⁾ 0,36 Tl., nach Peligot⁵⁾ 0,2 Tl., nach Schlössing⁶⁾ 0,13 Tl. Als Durchschnittsresultat ergibt sich hiernach, daß 10000 Gw.-Tl. kaltes Wasser 0,316 Gw.-Tl. kohlensauren Kalk lösen.

In kohlensäurehaltigem Wasser ist aber die Löslichkeit des Kalkes, infolge der Bildung von Kalziumbikarbonat, eine beträchtlich größere.

Bei 15° C und gewöhnlichem Druck vermag das Wasser 1 Vol., d. h. $\frac{1}{500}$ Gw.-Tl. Kohlensäure aufnehmen.

Nach Lassaigue, Schlössing und Hunt lösen 10000 Tl. eines derartig mit Kohlensäure gesättigten Wassers ca. 10 Tl. Kalziumkarbonat, das ist etwa 31mal so viel wie in gewöhnlichem Wasser.

Das Regenwasser enthält im Durchschnitt etwa $\frac{3}{10000}$ Vol. Kohlensäure, also eine zu geringe Menge, als daß dadurch eine erhebliche Steigerung seiner Lösungsfähigkeit gegenüber dem kohlensauren Kalk bewirkt werden könnte. Bleibt aber das Wasser längere Zeit mit der

¹⁾ Ann. Chem. Pharm. **49**, 1846, S. 117.

²⁾ Quart. J. chem. Soc. London **4**, 1852, S. 83.

³⁾ Ann. chim. phys. (2), **51**, 1857, S. 292.

⁴⁾ Weltzin, Chem. Pharm. **136**, 1865, S. 166.

⁵⁾ Mem. soc. d'Agriculture 1866.

⁶⁾ Ber. d. deutsch. chem. Ges. **2**, 1869, S. 697.

Luft in Berührung, so nimmt es recht beträchtliche Mengen von Kohlensäure auf.

Ein Gehalt an Chlormagnesium in kohlensäurehaltigem Wasser erhöht die Löslichkeit des Kalkes und verhindert die Ausscheidung desselben, selbst beim Erwärmen der Lösung. In gleicher Weise wird die Löslichkeit erhöht durch Zusatz von Natrium- und Magnesiumsulfat.

Lösungsfähigkeit der kohlensauren Magnesia. Magnesiumkarbonat ist in kohlensäurehaltigem Wasser etwas löslicher als Kalziumkarbonat.

Nach Merkel¹⁾ nehmen bei gewöhnlichem Druck und 5° C 10 000 Tl. mit Kohlensäure gesättigten Wassers 13,1 Tl. Magnesiumkarbonat auf²⁾.

Überdies wird die Löslichkeit des Magnesiumkarbonats durch die Gegenwart gewisser Salze befördert. Die Versuche von H. Rose und Longchamp zeigen, daß namentlich ein Zusatz von Chloralkalien, Alkalisulfaten und -karbonaten, sowie von Magnesiumchlorid und -sulfat, die Löslichkeit des Magnesiumkarbonats in Wasser erhöht.

Löslichkeit von kohlensaurem Eisen und Mangan. Beide Verbindungen sind in kohlensäurehaltigem Wasser in beträchtlich geringerem Grade löslich als Kalzium- und Magnesiumkarbonat. Unter gewöhnlichem Druck und bei mittlerer Temperatur mit Kohlensäure gesättigtes Wasser löst in 10 000 Tl. 7,2 Tl. Eisenkarbonat und 4 bis 5 Tl. Mangankarbonat.

Charakteristisch ist für diese beiden Verbindungen ihre leichte Oxydationsfähigkeit in gelöstem Zustande, so daß Eisenkarbonat sich schnell in Eisenoxydhydrat umbildet, während Mangankarbonat, je nach Umständen, sich in Manganoxyd, -oxydhydrat oder -superoxyd verwandelt. Da die meisten sedimentären Gesteine einen mehr oder weniger erheblichen Gehalt an kohlensaurem Eisen aufweisen, so erklärt sich aus der erwähnten Zersetzung die rostbraune Färbung, welche die Verwitterungsrinde der betreffenden Gesteine so häufig zeigt. Auf dem analogen Prozeß beruht die schwarze Oberflächenfärbung solcher Kalksteine, Dolomite und Sandsteine, welche Mangankarbonat enthalten.

Löslichkeit des Gipses. Bei mittlerer Temperatur lösen 400 Tl. reines Wasser 1 Tl. Gips. Die Gegenwart von Chlornatrium im Wasser erhöht die Löslichkeit so beträchtlich, daß 400 Tl. einer gesättigten Kochsalzlösung 3,27 Tl. Gips auflösen. Dagegen wird die Lösungsfähigkeit des Gipses in Wasser bei Gegenwart von Magnesiumsulfat erheblich vermindert. In einer gesättigten Lösung von Magnesiumsulfat

¹⁾ Ber. d. deutsch. chem. Ges. 2, 1869, S. 697.

²⁾ Im Widerspruch hiermit steht die Tatsache, daß im Dolomitgebirge zunächst der kohlensaure Kalk aus dem Gestein ausgelaugt wird. Der Dolomit wird hierbei zellig, zerfällt schließlich, und es bleibt ein magnesiumreicheres Produkt („dolomitische Asche“) in Sandform zurück. Betreffs Erklärung dieser Erscheinung s. Teil IV, Die Prüfung der Kalksteine und Dolomite.

ist der Gips nahezu unlöslich. Mit zunehmender Temperatur vermindert sich seine Löslichkeit.

Löslichkeit des Chlornatriums. Die Löslichkeit des Kochsalzes in Wasser steigt mit dessen Temperatur. Mit steigendem Kochsalzgehalte erhöht sich der Siedepunkt und vermindert sich der Gefrierpunkt der Lösung.

Es lösen 100 Teile Wasser bei folgenden Temperaturen nach C. folgende Mengen Kochsalz:

bei -15°	32,73	Teile
„ -10°	33,49	„
„ -5°	34,22	„
„ 0°	35,52	„
„ 5°	35,63	„
„ 9°	35,74	„
„ 14°	35,87	„
„ 25°	36,13	„
„ 40°	36,64	„
„ 60°	37,25	„
„ 80°	38,22	„
„ 100°	39,61	„
„ $109,7^{\circ}$	40,30	„

Chlormagnesium ist außerordentlich leicht löslich: 1 Teil löst sich in 0,6 Teilen kaltem und 0,273 Teilen heißem Wasser.

Schwefelsaures Magnesium (Bittersalz), das sich neben Chlormagnesium in den natürlichen Solen in beträchtlicher Menge findet, ist zwar weniger löslich als dieses, aber löslicher als Kochsalz, und zwar lösen 100 Teile Wasser:

bei 0°	26,9	Teile
„ 10°	31,5	„
„ 20°	36,2	„
„ 30°	40,9	„
„ 40°	45,8	„
„ 100°	73,8	„

Schwefelsaures Natrium (Glaubersalz). 100 Teile Wasser lösen:

bei 0°	5,02	Teile
„ $11,67^{\circ}$	10,12	„
„ $17,91^{\circ}$	16,73	„
„ $28,76^{\circ}$	37,35	„
„ $32,73^{\circ}$	50,65	„
„ $40,15^{\circ}$	48,78	„
„ $70,61^{\circ}$	44,35	„
„ $103,17^{\circ}$	42,65	„

Die Löslichkeit nimmt also von 33° an wieder ab.

Von Chlorkalium und schwefelsaurem Kalium lösen 100 Teile Wasser:

	Chlorkalium	Schwefelsaures Kalium
bei 0°	32,0 Teile	7,354 Teile
„ 10°	33,4 „	9,406 „
„ 20°	37,4 „	11,114 „
„ 30°	40,1 „	12,968 „
„ 40°	42,8 „	14,763 „
„ 50°	45,5 „	16,495 „
„ 60°	48,3 „	18,169 „
„ 70°	51,0 „	19,752 „

Der Verlauf des chemischen Prozesses, welchem die einzelnen Gesteinsbestandteile unter der Wirkung der atmosphärischen Niederschläge bezw. des Grundwassers unterliegen, kann ein zweifacher sein.

Die zersetzbaren Mineralien verwittern

- a) unter Neubildung chemisch inaktiver Zersetzungsprodukte: einfache chemische Verwitterung, oder
- b) unter Neubildung solcher Zersetzungsprodukte, welche ihrerseits eine weitere Umbildung des Mutterminerals oder eine Zerstörung anderer Bestandteile des Gesteins bewirken: komplizierte chemische Verwitterung.

Ein Beispiel für die einfache chemische Verwitterung liefert die Umwandlung von Eisenkarbonat in Eisenoxydhydrat; ein solches für die komplizierte chemische Verwitterung, die Oxydation des Eisenkieses in einem kalkhaltigen Gestein, unter Zersetzung des letzteren durch die bei der Oxydation ausgeschiedene Schwefelsäure.

Die chemische Wirkung der Bodenfeuchtigkeit und des Grundwassers.

Die Bodenfeuchtigkeit enthält infolge der in beständiger Verwitterung befindlichen mineralischen Bestandteile des Bodens sowie der darin stattfindenden Zersetzung organischer Reste mancherlei besondere Stoffe, welche auf die Verwitterung der Gesteine von erheblichem Einfluß sein können.

Je nach der Beschaffenheit des Bodens kommen hier folgende chemische Verbindungen in Betracht:

Kohlensäure Alkalien, entstanden aus der Zersetzung von Alkali-Tonerdesilikaten. Sie lösen amorphe Kieselsäure und in geringer Menge auch tonige Substanzen. Überdies wirken sie zersetzend auf Alkali-Tonerdesilikate und Kalk-Magnesiumsilikate und unterstützen auf diese Weise die Verwitterung der Silikate durch kohlensäurehaltiges Wasser.

Kalziumbikarbonat, durch Auflösung des im Boden ursprünglich vorhandenen Kalkes in kohlensäurehaltigem Wasser entstanden. Es zersetzt, nach Bischof, Alkali-Tonerdesilikate unter Bildung von

Kalziumkarbonat und Alkalikarbonat. Auch wirkt es lösend auf Eisenoxydhydrat.

Magnesiumkarbonat findet sich in dolomitischen Bodenarten. Seine Lösung nimmt nach Bischof Eisenoxydhydrat in sich auf.

Gips kommt in manchen Bodenarten teils als ursprünglicher Bestandteil, teils als Zersetzungsprodukt vor. Die Lösung von Kalziumsulfat wirkt zersetzend auf Magnesiumkarbonat unter Bildung von Kalziumkarbonat und Magnesiumsulfat.

Kohlensäure, die im Bodenwasser in erheblich größerer Menge gelöst ist als im Regenwasser. Wie bereits oben ausgeführt wurde, enthält die Grundluft in wenig humusreichem Boden 25mal, in humusreichem Boden 90mal mehr Kohlensäure als die atmosphärische Luft. Da 1 Vol. Wasser bei 10° C und 760 mm Druck 1,1847 Vol. Kohlensäure zu absorbieren vermag, so darf angenommen werden, daß die Bodenfeuchtigkeit in humushaltiger Erde mit Kohlensäure vollständig gesättigt ist. Die Zersetzungen, welche das kohlensäurehaltige Regenwasser zu bewirken vermag, finden daher unter der Einwirkung der Bodenfeuchtigkeit in wesentlich verstärktem Maße statt.

Humussäuren. Unter dieser Bezeichnung mögen hier alle jene organischen Säuren verstanden werden, welche aus dem Fäulnisprozeß der pflanzlichen Reste hervorgehen, wie Ulmin- und Huminsäure, Apokrensäure usw.

Die Humussäuren bilden mit Eisenoxydhydrat in Wasser unlösliches humussaures Eisen; auch verbinden sie sich mit Alkalien, sowie namentlich mit Ammoniak. In letzterer Form finden sie sich vorzugsweise im Erdreich. Das Ammoniumsalz zersetzt das Kalziumbikarbonat und bildet humussauren Kalk.

Ammoniak, entstanden aus dem Fäulnisprozeß organischer Reste. Bei Gegenwart von kohlensäurehaltigem Wasser zersetzt Ammoniak phosphorsauren Kalk.

Salpetersäure ist hier ebenfalls ein Produkt der Verwesung stickstoffhaltiger organischer Reste. Die freie Säure zersetzt namentlich die Karbonate, sowie die Kalkmagnesiumsilikate unter Bildung von Nitraten. In manchen Bodenarten finden sich überdies: Salmiak, Chlornatrium und Chlormagnesium.

Chlornatrium. Es zersetzt Kalksilikat unter Bildung von Natronsilikat und Chlorkalzium. Auch erhöht es die Löslichkeit von kohlensaurem Kalk, phosphorsaurem Kalk und Gips in Wasser. Kohlensäurehaltiges Wasser mit 2% NaCl löst 0,2% Kalziumkarbonat.

Chlorkalium. Es übt dieselbe Wirkung wie das Chlornatrium aus.

Chlormagnesium. Wirkt zersetzend auf Kalksilikate, Eisenoxydulsilikate und tonige Substanzen und erhöht die Löslichkeit von kohlensaurem Kalk in Wasser.

Kalziumsulfat. Wirkt zersetzend auf Magnesiumkarbonat unter Bildung von Kalziumkarbonat und Magnesiumsulfat.

Magnesiumsulfat. Zersetzt Kalk-, Eisenoxydul- und Tonerdesilikate und erhöht die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes in Wasser.

3. Die physikalischen Grundlagen der Grundwasserkunde (Hydromechanik)

11. Kapitel

Der auf einen Teil der Flüssigkeitsoberfläche ausgeübte Druck pflanzt sich im Innern der Flüssigkeit nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fort.

Eine tropfbare Flüssigkeit kann in einem offenen Gefäße nur dann im Gleichgewichte sein, wenn ihre freie Oberfläche eine horizontale Ebene bildet.

Denkt man sich eine Flüssigkeitsmasse durch Horizontalebene in beliebig viele parallele Schichten zerlegt, so wird jede Schicht durch das Gewicht der darüber befindlichen Massen gedrückt. Der Druck nimmt also mit der Tiefe unter dem Flüssigkeitsspiegel zu und ist der Druckhöhe direkt proportional. Der Druck auf die vertikale Seitenwand eines Gefäßes wird durch qhs ausgedrückt, worin q die gedrückte Oberfläche, h die Entfernung ihres Schwerpunktes vom Flüssigkeitsniveau und s das spezifische Gewicht darstellt.

Der Druck der Flüssigkeit auf einen beliebigen Teil des Bodens oder auf irgend ein Flächenelement eines irgendwie gekrümmten Gefäßes ist gleich dem Drucke einer zylindrischen Flüssigkeitssäule, welche das gedrückte Flächenstück zur Grundfläche und die Druckhöhe zur Höhe hat.

Sind zwei Gefäße unten durch eine Querröhre verbunden und mit derselben Flüssigkeit gefüllt, so kann diese nur dann im Gleichgewichte sein, wenn das Niveau in beiden Gefäßen gleich hoch steht. Bei ungleichem Niveau müssen sie nach derjenigen Seite strömen, von welcher sie den geringeren Druck erleiden.

Enthalten zwei kommunizierende Röhren Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewichte, so müssen die Höhen der im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeitssäulen ihren spezifischen Gewichten umgekehrt proportional sein.

Gießt man zwei mischbare Flüssigkeiten, z. B. eine Sodalösung und reines Wasser, vorsichtig so übereinander, daß anfänglich die leichtere Flüssigkeit über der schwereren gelegen ist, so findet infolge der Molekularattraktion auch bei vollständiger Ruhe des Gefäßes eine von Schicht zu Schicht allmählich fortschreitende Vermischung beider Flüssigkeiten

statt, indem ihre Moleküle sich gegenseitig durchdringen, bis endlich die ganze Flüssigkeit gleiche Konzentration und chemische Zusammensetzung zeigt (Diffusion).

Die Geschwindigkeit der Diffusion wird außerordentlich verlangsamt, wenn es sich nicht um freie Flüssigkeit handelt, sondern um solche, die die Zwischenräume eines sehr feinkörnigen Mediums, z. B. feinen Sand, erfüllen. Ein Gefäß voll Sand von 6 dcm Höhe, dessen untere Hälfte mit konzentrierter Chlormagnesiumlauge, dessen obere Hälfte mit reinem Wasser gefüllt war, zeigte nach 3 Monaten im oberen Teile noch kein und nach 6 Monaten erst ganz geringe Mengen von Chlor.

Wird in dem Boden oder der Wand eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes eine Öffnung angebracht, so strömt die Flüssigkeit aus derselben hervor mit einer Geschwindigkeit, die mit der Druckhöhe wächst. Die Ausflußgeschwindigkeit ist gleich der Endgeschwindigkeit, welche ein Körper erlangen würde, wenn er vom Flüssigkeitsniveau bis zur Ausflußöffnung frei herabfiel. Es ist, wenn h die Druckhöhe bezeichnet, die Ausflußgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{2gh}$$

und demnach proportional der Quadratwurzel aus der Druckhöhe.

Die Ausflußmenge beträgt, wenn w die Größe der Öffnung und v die Ausflußgeschwindigkeit ist,

$$wv = w \sqrt{2gh}$$

Die wirklich beobachtete Ausflußmenge ist indessen immer etwas geringer.

II. Eigentliche Grundwasserkunde

1. Die Entstehung des Grundwassers

12. Kapitel

Begriffsbestimmungen

1. Wir verstehen unter Grundwasser (ground water, level water, nappe d'eau souterraine, eau phréatique, aqua di livello), im Gegensatz zum Oberflächenwasser, alles unter der Erdoberfläche befindliche, auf natürlichem Wege dorthin gelangte flüssige Wasser. Wir trennen dabei in keiner Weise, wie andere Autoren es vielfach tun, die sich in lockerem, durchlässigem Gebirge ohne undurchlässige Deckschicht bewegendes Wasser weder von denen, die unter abschließender, undurchlässiger

Schicht stehen, noch auch von den Wassern, die in Spalten und Klüften unserer festen Gesteine verlaufen.

So hat z. B. Haas¹⁾ den Begriff Grundwasser auf die Wasseransammlungen in lockeren und losen, also nicht in festen Gesteinen beschränken wollen. Er schreibt: Der Entstehung nach sind Quell- und Grundwasser dasselbe, soweit dieses letztere nicht durch Oberflächenwasser, als Flüsse, Seen usw., infiltriert wird, denn beide kommen durch das Eindringen der Atmosphärlinien zustande. Aber die wasserführenden Schichten sind anders beschaffen, locker beim einen, fester und anstehender Fels beim andern, so daß allein schon vom geologischen Standpunkte aus eine Unterscheidung beider Vorkommnisse gerechtfertigt ist.

Steuer²⁾ will für das, was wir als Grundwasser bezeichnen, den Begriff „Bodenwasser“ einführen und diesen Begriff dann weiter trennen in Grundwasser, Sickerwasser, Schichtwasser und Kluftwasser. Er definiert diese Begriffe wie folgt:

Grundwasser ist das in lockeren und losen, hauptsächlich in diluvialen, seltener in tertiären und alluvialen Ablagerungen vorkommende Bodenwasser von gleichmäßiger, annähernd dem Jahresmittel entsprechender Temperatur, das frei von mechanisch suspendierten organischen und anorganischen Bestandteilen ist, und dessen chemische Zusammensetzung bei einer gewissen Gleichmäßigkeit keine Stoffe enthält, die auf frische von außen kommende Verunreinigungen hinweisen.

Sickerwasser sind die infolge der atmosphärischen Niederschläge von oben oder die aus Flüssen und Seen eindringenden Bodenwässer, die nicht oder noch nicht die Eigenschaften des Grundwassers besitzen.

Schichtwasser ist dasjenige Bodenwasser, welches teils infolge seiner Schwere, teils infolge der kapillar wirkenden Kräfte die von Ursprung an dem Gestein eigenen Poren und Hohlräume erfüllt und durchzieht.

Kluftwasser endlich ist dasjenige Bodenwasser, welches sich in den sekundär entstandenen Klüften der festen Gesteine sammelt und weiter bewegt.

Ich führe diese Unterscheidungen nur als Beispiele an, um zu zeigen, wie unhaltbar sie sind. Die erste Unmöglichkeit liegt in der Unterscheidung nach der geologischen Formation; ein Bodenwasser in einem an der Oberfläche verbreiteten oligozänen Grünsande ist nach Steuer ein Grundwasser; gehört aber der lose Grünsand der Kreideformation an, so ist es ein Schichtwasser. Ein Wasser in einem Buntsandsteinkonglomerat ist ein Schichtwasser, in einem tertiären ein Grund-

¹⁾ Haas, Quellenkunde.

²⁾ Steuer, Die Entstehung des Grundwassers im hessischen Ried. Festschrift zum 70. Geburtstag von A. v. Koenen, Stuttgart 1907.

wasser. Die Unterscheidbarkeit des Wassers ist demnach bedingt durch die Möglichkeit der Altersbestimmung der es einschließenden Schichten, was natürlich ein Unding ist. Ferner ist es ganz unmöglich, Grenzen zu ziehen zwischen den einzelnen Begriffen, vor allem zwischen Sickerwasser und Grundwasser. Wie nennt man ein Wasser, welches in porösem und zugleich klüftigem Gestein enthalten ist? Oder soll man in diesem Falle in einer vollkommen zusammenhängenden Wassermasse Kluft- und Schichtwasser trennen? Es ist ferner nur nötig, darauf hinzuweisen, daß unzählige Male Schicht- und Kluftwasser aus festem Gestein in lose Trümmergesteine übertritt und umgekehrt, und daß die chemische Zusammensetzung eines Wassers weder vom Alter, noch davon abhängt, ob die Gesteine aus lockeren Trümmern bestehen oder fester Felsen sind, sondern ausschließlich von der mineralischen Zusammensetzung der vom Wasser durchwanderten Gesteine, um die Unhaltbarkeit und Unzweckmäßigkeit aller solcher Trennungen des unterirdischen Wassers darzutun.

Die Grundwasser- und Quellenkunde beschäftigt sich mit der Entstehung, dem Verlauf und dem Wiederzutagetreten des unterirdischen Wassers und mit allen Erscheinungen seines chemischen und physikalischen Verhaltens. Die Grundwasserkunde bildet also einen Zweig der Lehre vom Wasser im allgemeinen, die sich teilt: bezüglich des atmosphärischen Wassers in Meteorologie, bezüglich des oberirdisch fließenden Wassers in Flußkunde oder Potamologie, bezüglich des stehenden Süßwassers in Seenkunde oder Limnologie und bezüglich des Meereswassers in Meereskunde oder Ozeanographie. Hilfswissenschaften der Grundwasserkunde sind Geologie, Chemie und Physik; erstere mit Rücksicht auf die petrographische Zusammensetzung und die Lagerungsform der Schichten, in welchen sich das Wasser bewegt, die Chemie rücksichtlich der chemischen Zusammensetzung der vom Wasser durchwanderten und von ihm mehr oder weniger angegriffenen und ausgelaugten Gesteine, und die Physik rücksichtlich der hydrostatischen und hydrodynamischen Erscheinungen, welche die Bewegung des Grundwassers uns bietet.

Unter Grundwasserspiegel verstehen wir die Oberfläche des flüssigen Wassers unter der Erdoberfläche (A B C in Fig. 45)¹⁾. Dieser Ausdruck ist identisch mit der ebenfalls oft angewandten Bezeichnung Grundwasserwelle.

Die Schicht, welche flüssiges Wasser enthält, sei es nun in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen losen Trümmern bei lockeren

¹⁾ In allen Figuren dieses Werkes ist Undurchlässigkeit der Schichten durch die verschiedensten Schraffuren, Durchlässigkeit im kleinen durch Einzelzeichen, Durchlässigkeit im großen durch Maschensignaturen und die Wasserführung einer Schicht durch feine horizontale unterbrochene Linien bezeichnet worden.

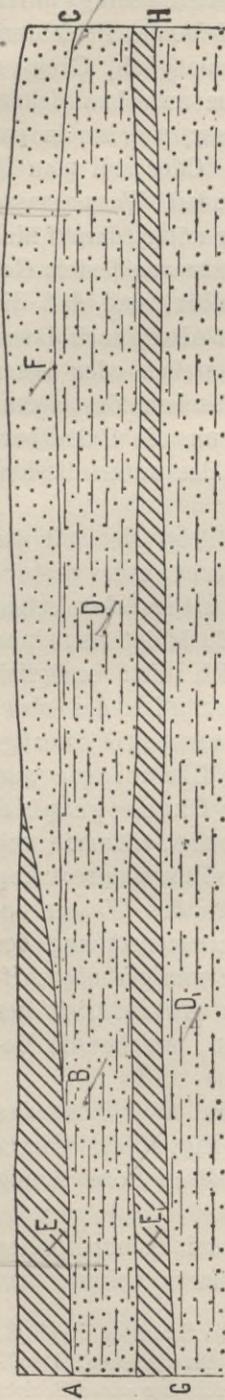


Fig. 45

Bildungen, sei es in Klüften, Spalten und Fugen bei festen, an sich undurchlässigen Gesteinen, bezeichnen wir als Grundwasserträger (D und D_1 in Fig. 45).

Die Schicht, welche sich infolge ihrer Undurchlässigkeit der weiteren Bewegung des Grundwassers, sei es von oben nach unten, sei es in seitlicher Richtung, entgegensetzt und die Bewegung hemmt, bezeichnen wir als Grundwasserstauer (E und E_1 in Fig. 45).

Die Linie, welche die jeweiligen höchsten Punkte des Grundwasserspiegels miteinander verbindet, heißt Grundwasserscheide. Sie verläuft in Figur 45 durch den Punkt F. Von ihr fließen, genau wie bei oberirdischen Wasserscheiden, die Grundwasser nach zwei verschiedenen, senkrecht zur Wasserscheide stehenden Richtungen.

Eine mit Wasser erfüllte bestimmte Schicht, in welcher durch Brunnen oder durch Bohrungen Wasser erschlossen werden kann, bezeichnen wir als einen Grundwasserhorizont.

Finden sich, durch wasserfreie Schichten getrennt, zwei oder mehr Grundwasserhorizontale übereinander, so sprechen wir von Grundwasserstockwerken (in D und D_1 der Fig. 45).

Jeden Austritt des Grundwassers in flüssiger Form an der Erdoberfläche bezeichnen wir als Quelle (Fig. 46). Wir vermeiden dieses Wort und alle seine Zusammensetzungen in bezug auf solches Wasser, welches nur in der Tiefe sich findet, ohne die Oberfläche zu erreichen. Eine Quelle kann deshalb niemals erbohrt werden.

Die Linie, auf der wasserführende Schichten zu Tage austreichen, auf der also das Grundwasser in Gestalt von Quellen oder ähnlichen Erscheinungen zu Tage tritt, bezeichnen wir als Quellenhorizont oder Quellenlinie. Wir beschränken diesen Ausdruck auf das wirkliche Zutagetreten des

Grundwassers und wenden ihn nicht, wie vielfach geschieht, auch auf solche Wasser an, die nur durch Bohrungen in der Tiefe erschlossen sind. Für diese gilt vielmehr ausschließlich die Bezeichnung: Grundwasserhorizont.

Die Oberfläche eines jeden Grundwasserspiegels hat entweder luft-erfülltes, durchlässiges oder für Luft wenig, für Wasser gar nicht durchlässiges Gebirge unmittelbar über sich. Die erstere Art von Wasser bezeichnen wir als gewöhnliches Grundwasser oder Grundwasser mit luftbedeckter Oberfläche (B C in Fig. 45), die zweite Art als artesisches oder Druckwasser (A B und G H in Fig. 45).

Unter einem Grundwasserprofil verstehen wir die Summe der in einem senkrechten Querschnitt durch einen Grundwasserträger vorhandenen, mit Wasser erfüllten oder erfüllbaren Hohlräume.

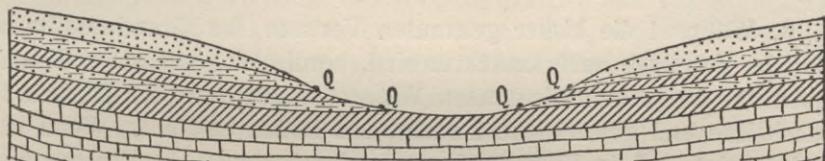


Fig. 46

13. Kapitel

Der Grundwasserhaushalt

Der Haushalt des Grundwassers setzt sich, um im Bilde zu bleiben, in Ausgabe und Einnahme aus folgenden Posten zusammen:

a) Verlust.

1. Abfluß aus Quellen. Jahraus, jahrein entströmen dem Grundwasser an zahllosen Stellen der Erdoberfläche zu Tage tretende Wassermengen, die wir als Quellen bezeichnen. Die so zu Tage geförderten Wassermengen sind entweder jahraus, jahrein gleichbleibend oder sie stehen in Abhängigkeit von den Jahreszeiten, sind also unter meteorologischen Einflüssen stehenden Veränderungen unterworfen.

2. Weitere, ebenfalls sehr große Mengen von Wasser gehen dem Grundwasser dadurch verloren, daß die Grundwasserströme auf ihrem Wege an offen fließendes Wasser herantreten und mit demselben in dem Bette des Flusses selbst sich vereinigen.

3. Eine dritte Verlustquelle beruht auf dem Wasserverbrauch der Vegetation. Sobald das Grundwasser in so geringer Tiefe unter der Oberfläche steht, daß die Wurzeln der Gewächse entweder direkt an das Grundwasser herantreten oder ihm sich so weit nähern, daß sie kapillar gehobenes Grundwasser erreichen können, entziehen sie während

der Vegetationsperiode ununterbrochen dem Boden Grundwassermengen, die zum Teil zum Aufbau des Pflanzenkörpers Verwendung finden, zum anderen Teil durch Verdunstung aus den Organen der Pflanze in die Atmosphäre zurückgelangen. Besonders groß wird dieser Verlust in den Niederungsgebieten, die mit dichter Grasvegetation bedeckt sind, also in den Wiesen und Mooren.

4. Ein weiterer, wenn auch wahrscheinlich nicht bedeutender Verlust an Grundwasser ist auf die Verdunstung der Oberfläche des Grundwassers in durchlässigen Bildungen zurückzuführen.

5. Weitere, aber ebenfalls unerhebliche Grundwassermengen werden verbraucht durch chemische Prozesse, beispielsweise durch die Umwandlung wasserfreier in wasserhaltige Silikate, durch die Bildung wasserhaltiger löslicher Salze und durch die Erzeugung kolloidaler Verbindungen.

6. Während die bisher genannten Verluste des Grundwassers auf natürliche Vorgänge zurückzuführen sind, beruht eine sechste und letzte Abgabe auf den sehr bedeutenden Wassermengen, die der Mensch für haushaltliche und gewerbliche Zwecke dem Boden entzieht. Wenn man berücksichtigt, daß in Kulturländern der durchschnittliche Verbrauch an Wasser im menschlichen Haushalt, einschließlich der Haustiere, auf den Kopf der Bevölkerung mit mindestens 50 Liter pro Tag und Kopf anzuschlagen ist, so bedeutet das für das Deutsche Reich allein 3 Millionen Kubikmeter. Dazu kommt eine wahrscheinlich ebenso große Menge, die für industrielle Zwecke verbraucht wird, und eine ebenfalls sehr erhebliche Menge von Wasser, die im Interesse bergbaulicher Betriebe dem Boden entzogen und den oberflächlich fließenden Gewässern zugeführt wird. Ein Wasserbedarf von täglich 5—10 000 Kubikmetern ist in zahlreichen Industrien das gewöhnliche. Die Elberfelder Farbenwerke beispielsweise verbrauchen eine Wassermenge, die für die Wasserversorgung der Stadt Köln ausreichend sein würde. Es gibt ferner bergbauliche Unternehmungen, die in einem Tage 100—150 000 Kubikmeter Wasser dem Boden entziehen, eine Wassermenge, die für den Wasserbedarf einer Stadt von 1—1½ Millionen Einwohnern ausreichend ist. Die gesamte Menge von Wasser, die allein im Deutschen Reiche täglich dem Boden entzogen wird, ist deshalb mit 6—8 000 000 Kubikmetern wahrscheinlich nicht zu gering veranschlagt. Diese Annahme entspricht, gleichmäßig auf die Fläche des Deutschen Reiches verteilt, im Jahre einer Wasserschicht von 4—5½ mm, beträgt also noch nicht 1% der jährlichen Niederschläge. Auch indirekt trägt der Mensch zur Verminderung des Grundwassers oder mindestens zur Verminderung der Grundwasserbildungsbedingungen bei durch landwirtschaftliche Meliorationsarbeiten, Drainage, Entwässerung von Sümpfen und Mooren, Arbeiten, durch die gleichfalls erhebliche Wassermengen vor Vollendung ihres eigentlichen Kreislaufes

dem Boden wieder entzogen und den fließenden Oberflächenwassern wieder zugeführt werden.

b) Einnahme. Den großen Wasserverlusten, die das Grundwasser durch die angegebenen Faktoren ununterbrochen erfährt, steht ein Zuwachs nur durch drei Vorgänge gegenüber:

1. Durch Versickerung der atmosphärischen Niederschläge im Boden (vergl. 15. Kap.).

2. Durch die Kondensation von Wasserdämpfen aus der unterirdischen Atmosphäre (vergl. 15. Kap.).

In beiden Fällen handelt es sich um Wassermengen, die im gewöhnlichen Kreislauf des Wassers sich befinden und auf dem Umwege von Abfluß, Verdunstung und Niederschlag wieder in den Boden zurückgelangen.

3. Demgegenüber steht ein Zuwachs an Wasser, welches zum ersten Mal in den Kreislauf des Wassers eintritt und aus großen Tiefen der Erde stammt, aus denen es durch Entgasung durchwässerter, glühender, flüssiger Massen frei wird. Diese Wassermengen, für welche E. Sueß den Namen „juveniles Wasser“, im Gegensatz zu allem übrigen als „vados“ bezeichneten, eingeführt hat, gelangt zunächst, in Form überhitzter Wasserdämpfe emporsteigend, in Gebiete, in denen es so weit abkühlt, daß der Wasserdampf sich verflüssigen kann. Dieses juvenile Wasser dürfte kaum irgendwo in reiner Form bis an die Erdoberfläche gelangen, sondern immer mit vadosem Wasser vermischt sein, dem es dabei eine erhöhte Temperatur verleiht. In dem Abschnitt über die Wärmeverhältnisse des unterirdischen Wasser (22. Kap.) wird über dieses juvenile Wasser noch Weiteres zu sagen sein.

Es muß angenommen werden, daß der Grundwasserhaushalt in Ausgabe und Einnahme balanciert, d. h., daß sich im Lauf unendlicher Zeiten ein solcher Gleichgewichtszustand herausgebildet hat, daß der Zuwachs von oben her dem Verlust durch die unter a) 1—5 angeführten Faktoren das Gleichgewicht hält. Durch die Grundwassermengen, die durch den Menschen dem Boden entzogen werden, wird eine Störung im Gleichgewicht des Haushaltes nur scheinbar und nur örtlich herbeigeführt, und in Wirklichkeit wird durch die künstlich dem Boden entzogenen Wassermengen keine Verminderung der übrigen Ausgabemengen herbeigeführt. Wo eine starke Wasserentnahme aus dem Boden stattfindet, versagen Quellen, vermindert sich der Zufluß des Grundwassers in den offen fließenden Gewässern und werden die unmittelbaren Einwirkungen der Vegetation im Sinne einer Verminderung des Grundwassers zum Teil dadurch beseitigt, daß der Grundwasserspiegel sinkt und die Pflanzenwurzeln nicht mehr aus dem Grundwasser ihren Bedarf entnehmen können, wodurch natürlich Veränderungen des Kulturzustandes der betreffenden Flächen herbeigeführt, Moore trocken gelegt und Wiesen in ackerbaufähiges Land umgewandelt werden.

14. Kapitel

a) **Geschichtliche Entwicklung der Anschauungen über die Entstehung des Grundwassers¹⁾**

Der Widerspruch der Meinungen über die Entstehung des unterirdischen Wassers ist so alt wie die menschliche Kultur und wir begegnen ihm zuerst bei den Hellenen.

Plato kommt zu dem Schlusse, daß die sämtlichen Gewässer des Landes dem Ozean entstammen, und daß sie nach ihrem Laufe auf der Erde in ihn zurückkehren, durch eine große Öffnung in ihm, den Tartaros, den Eingeweiden der Erde zugeführt werden, und von da aus von neuem ihren Kreislauf beginnen.

Höher schon steht die Auffassung von Aristoteles. Seine Anschauungen knüpfen an den ihm wohlbekanntem Höhlenreichtum seiner verkarsteten Heimatgebirge an; er sieht, wie durch die Verdunstung das Wasser vom Boden verschwindet und in den oberen kalten Schichten der Atmosphäre sich wieder verdichtet. In gleicher Weise denkt er sich den Vorgang in den Höhlen des Gebirges: die hier vorhandene Kälte verwandelt die Luft zu flüssigem Wasser, dieses sinkt zu Boden und bildet ausgedehnte Seen im Bergesinnern, und aus ihnen werden die Quellen und Bäche gespeist. Die Vorstellung, daß nicht nur die Luft sondern auch die Erde sich in Wasser verwandeln kann, hängt eng mit den Anschauungen der alten Philosophen von der Verwandtschaft der Elemente zusammen und begegnet uns verschiedentlich vom klassischen Altertume bis ins 19. Jahrhundert.

Thales von Milet ist gleichfalls der Meinung, daß das Wasser der Quellen und Ströme dem Meere entstammt und stellt sich vor, daß es von den Winden aus dem Meere in die Erde hineingetrieben und in ihr durch die Schwere der darauf drückenden Gesteine zum Emporsteigen in die Berge gezwungen werde.

Ganz ähnlichen Anschauungen begegnen wir, wenn wir die römischen Schriftsteller, die sich mit naturwissenschaftlichen Dingen beschäftigt haben, ins Auge fassen. In seinem Lehrgedichte „De rerum natura“ konstruiert Lucretius Carus einen vollkommenen Kreislauf des Wassers zwischen Meer und Quell. Er läßt das Seewasser durch eine Art Filtration, bei der es von seinen salzigen Bestandteilen befreit wird, im Boden emporsteigen, in den Flüssen zu Tage treten, mit ihnen ins Meer zurückfließen und dort seinen Lauf von neuem beginnen.

¹⁾ Zum Teil nach Haas, Quellenkunde.

Sehr eingehend hat Seneca der Jüngere die Frage nach dem Ursprunge der Quellen untersucht. Er nimmt mit Aristoteles das Vorhandensein ausgedehnter Hohlräume im Schoße der Erde an, in welchen durch die in ihnen vorhandene Finsternis und Kälte die Luft in derselben Weise in Wasser verwandelt wird, wie man das auch an der Erdoberfläche an kühlen, dunklen Stellen beobachten könne. Ebenso hält er eine Verflüssigung bestimmter fester Teile der Erde für möglich, und sieht eine dritte Quelle zur Speisung der unterirdischen Wasserbehälter in ihrer Verbindung mit dem Meere.

Hoch über allen Genannten steht, als einziger Vertreter moderner Anschauungen bei den alten Kulturvölkern des Mittelmeergebietes, Marcus Vitruvius Pollio, ein Zeitgenosse des Augustus, der in seinem Werke, „de architectura“, uns eine den modernen Auffassungen sich nähernde Quellentheorie geschenkt hat. Nach ihm entstehen Grundwasser und Quellen durch das Regen- und Schneeschmelzwasser, welches so lange in die Erde versinkt, bis es durch Stein-, Erz- oder Tonlager aufgehalten und gezwungen wird, sich nach den Seiten hin einen Ausgang zu suchen. Insbesondere das auf den Bergen niedergefallene Wasser vermag nach ihm bis zu bedeutenden Tiefen in die Erde einzudringen.

Eineinhalb Jahrtausend vergingen ohne nennenswerten Fortschritt; erst vom 16. Jahrhundert an tauchen bald hier bald da die schüchternen Anfänge der neuen Forschungsmethode auf, auf der die Größe der heutigen Naturwissenschaft beruht; das Beobachten in der Natur, das Wägen und Messen, und das Vergleichen der gewonnenen Zahlen ersetzt die rein philosophisch-spekulative Verarbeitung der mehr durch scharfsinniges Nachdenken als durch sorgsames Beobachten gewonnenen Ergebnisse.

Von 1577 bis 1644 lebte in Brüssel der Arzt J. B. Helmont. Er vertritt die Meinung, daß der Kern der Erde aus einem reinen, in allen seinen Teilen von einer unerschöpflichen Wassermenge durchdrungenen Sande besteht, der wiederum von einer einfachen Rinde von Erde, Gesteinen und gewissen Sandlagern umhüllt ist, deren einige sogar bis an die Oberfläche unseres Planeten reichen. Dieser Sand bildet das große Filter, durch welches die Natur die nie versiegenden Schätze ihrer klaren Bäche zum Nutzen des Erdkörpers hindurchfließen läßt. Derselbe besitzt eine treibende, bildende Kraft, die Erzeugerin einer allgemeinen Bewegung des im Sande enthaltenen Wassers, und diese Bewegung muß stattfinden ohne Rücksicht auf höhere und tiefere Lage, so daß das Wasser nach allen Seiten des Sandes hinzuströmen gezwungen ist. Sämtlichen Teilen des Sandes wohnt diese belebende und treibende Kraft inne, sogar denjenigen, welche bis an die Erdoberfläche

reichen und bis zu den Bergspitzen sich erheben. Daher werden überall fließende Wasser hervorgebracht und die Hitze der Sommerzeit bleibt darauf ohne jeden Einfluß. Aber sobald die Wasser dem Bereiche der belebenden Kraft des Sandes durch ihren Austritt an die Erdoberfläche entzogen sind, müssen sie sich dem Gesetze der Schwere anbequemen und so lange niedrigeren Stellen der Erdoberfläche zuströmen, bis das Meer sie in seinem Schoße aufnimmt. Das Meerwasser aber dringt ohne Unterlaß ein in die Tiefen der Erde, um zu dem reinen Sande des Erdinnern zu gelangen und das abfließende Wasser zu ersetzen. So rinnt auch im menschlichen Körper das Blut nach allen Richtungen von unten nach oben und von oben nach unten ohne jede Rücksicht auf die Schwerkraft; tritt es aber durch eine Wunde aus dem Körper heraus, so verliert es seine selbständige Bewegungskraft und folgt dem Gesetze der Schwere.

Hier wird der physiologische Prozeß des Kreislaufes des Blutes im tierischen Körper von einem Arzte in Vergleich gestellt mit der Wasserbewegung im Erdkörper. Andere Gelehrten aber gingen viel weiter, beschränkten sich nicht auf Vergleiche, sondern nahmen an, daß die Erde tatsächlich ein riesenhaftes Lebewesen sei, in seinem Innern mit Organen versehen, deren Funktionen denen des tierischen Organismus mehr oder weniger gleichen. In den im Jahre 1619 zu Linz erschienenen „*Harmonices mundi libri quinque*“ spricht der große Astronom Kepler seine Auffassung dahin aus, daß die Erde als ein großes Tier das Wasser des Meeres dauernd einatme, in seinem Körper verdaue und assimiliere, und die Grundwasser und Quellen als Endprodukte dieses Stoffwechsels wieder ausscheide. Noch im 19. Jahrhundert haben solche phantastischen Ideen in einem mit allem Rüstzeug der damaligen Wissenschaft versehenen, verdienten Gelehrten einen begeisterten Verteidiger gefunden. Zuvor aber wollen wir die Meinungen einiger Zeitgenossen Keplers prüfen.

Georg Agricola, der im 16. Jahrhundert zur Begründung einer mineralogischen und geologischen Wissenschaft so Großes geleistet hat, handelt in seinem 1549 erschienenen Werke „*de ortu et causa subterraneorum*“ auch vom Ursprunge des Wassers in der Erde und kommt zu dem Ergebnisse, daß ein Teil des Wassers von der Oberfläche her durch Ritzen und Spalten der Felsen in die Tiefe dringt; dies sind die Wasser, welche die Bergleute Tagewasser nennen, was aber diese als Grundwasser bezeichnen, ist nicht auf solchem Wege in die Erde gekommen, sondern durch einen anderen eigentümlichen Prozeß erzeugt, indem aus der Tiefe aufsteigender Wasserdampf zur Kondensation gelangt ist.

Eine andere Hypothese zur Erklärung der viel untersuchten Erscheinung knüpft an den unter dem Namen Cartesius bekannten fran-

zösischen Physiker Descartes an; nach ihm gibt es im Innern der Erde eine Menge von Höhlen, die durch unterirdische Kanäle mit der See in Verbindung stehen; auf diesen Wegen findet das Meerwasser Zutritt zu den Tiefen der Erde und wird hier durch die Wärme des Erdkernes zum Verdunsten gebracht. Die aufsteigenden Dämpfe aber werden in höher gelegenen Höhlen an den Wandungen derselben kondensiert, fließen zusammen und erzeugen so die Quellen.

Eine Menge von Gelehrten des 17. und 18. Jahrhunderts haben diese Anschauungen verfochten und wider die dagegen erhobenen Einwände, wie z. B., daß durch die salzigen Verdampfungsrückstände jene Höhlen längst vollständig mit Salz erfüllt sein müßten, verteidigt. Ich will dafür nur ein Beispiel anführen. In der Akademie der Wissenschaften in Bordeaux wurde im Jahre 1740 ein Preis auf die beste Lösung unserer Frage gesetzt und dem Prof. Kühn in Danzig verliehen; seine „gelehrte und mit vieler Mathematik verzierte“ Abhandlung erschien 1746 deutsch unter dem Titel: Vernünftige Gedanken über den Ursprung der Quellen und des Grundwassers. Er sucht zunächst nachzuweisen, daß das Grundwasser unmöglich von atmosphärischen Tagewässern hergeleitet werden könne, und liefert dann seine eigene Theorie dahin: „das Seewasser wird von Meeresschlünden verschluckt und läuft dann unter dem festen Lande hin; hier verbreitet es sich durch viele Gänge und Äste bis unter die Bergketten, wo es in der Tiefe an Höhlen, Klüften und röhrrhaften Erdlagen nicht mangelt; in diesen wird das unterirdische Seewasser beinahe auf dem ganzen Wege vermittle der überall unter der Erde befindlichen inneren Wärme zu einer unmerklichen Verdunstung gebracht, welche Dünste durch die klüftigen Erdlagen bis in höhere Höhlen heraufsteigen, sich hier an die Gewölbe anhängen, dann durch abschüssige Kieslagen in einem nicht sonderlich tiefen Wasserschatz sich ansammeln, nun ohne Unterlaß hervordringen und am Fuße der Berge die Quellen bilden; das in dem Wasserschatz überflüssige Wasser läuft in tiefere Wassergründe und daher entstehen die niederen Grundwasser. Unterdessen wird das zum Teil verdampfte Wasser viel salziger und schwerer als das Seewasser; es bildet die Bergsoole, diese läuft durch andere Äste in das Meer zurück, treibt vermöge ihrer Schwere das Wasser aus der Stelle und stürzt sich in Gestalt eines speienden Meeresstrudels in die Tiefen des Meeres“.

Auch der Jesuitenpater Athanasius Kircher, einer der scharfsinnigsten Naturbeobachter des 17. Jahrhunderts (1601—80), kommt in seinem 1717 in Amsterdam gedruckten „Mundus subterraneus“ auf das Meer als die Urquelle des im Innern der Erde zirkulierenden Wassers zurück. Er baut in diesem bedeutenden und inhaltreichen Werke unter anderem eine umfangreiche Theorie des Vulkanismus und der Zirkulation des Wassers in der Erde auf. Das Erdinnere ist eine feurige Masse,

umschlossen von einer festen Rinde, aber auch in dieser finden sich eine Reihe von kleinen feurig-flüssigen Massen, die er als Pyrophyllacien bezeichnet; sie sind es, welche durch bis zur Oberfläche reichende Kanäle die vulkanische Tätigkeit an der Erdoberfläche bedingen. Die modernste aller Vulkantheorien, die Stübel'sche, ist im wesentlichen eine in die Sprache der modernen Wissenschaft übertragene Wiederholung der Kircherschen Ideen, und die Pyrophyllacien des gelehrten Jesuiten entsprechen durchaus den peripherischen Herden der Stübel'schen Theorie. Zwischen den Pyrophyllacien liegen in der festen Erdrinde verteilt zahlreiche große Hohlräume, die mit Wasser erfüllt sind, die Hydrophyllacien. Sie erhalten ihr Wasser aus dem Meere, welches in ungeheuren Schlünden, auf der Oberfläche durch verderbenbringende Strudel bezeichnet, in die Tiefe eindringt. Die Scylla und Charybdis und der norwegische Maalström sind solche Einbruchsstellen des Meerwassers. Aus den Hydrophyllacien gelangt das Wasser auf doppelte Weise wieder empor; entweder wird es durch die Hitze der benachbarten Pyrophyllacien zum Verdampfen gebracht, steigt empor und erzeugt an der Oberfläche die heißen Quellen, oder es wird von den Gesteinen aufgesogen und auf kapillarem Wege in höhere, der Erdoberfläche nahe gelegene große Hohlräume befördert, die zumeist das Innere der Berge bilden. In einer öfters reproduzierten Abbildung (Fig. 47) gibt Kircher einen Einblick in das Innere der Erde, wie es in seinem Geiste sich abmalt. Wir sehen die hohen Berge mit Seen erfüllt, die durch starke, aus ihrer Mitte heraus sich erhebende Springquellen gespeist werden, während andererseits die Ströme des Landes aus denselben Quellen hervorbrechen. Kircher beschreibt ein Experiment, welches die Möglichkeit des Aufsteigens des Wassers in dem Gebirge beweisen soll. Er behauptet, eine kleine Säule von Gips verfertigt und oben schüsselförmig ausgehöhlt zu haben. Darin habe das Wasser sich angesammelt, welches vom Fuße der im Wasser stehenden Säule bis in ihre Spitze emporgezogen sei. Lulofs wiederholte den Versuch Kirchers und kam zu der Überzeugung, daß jener sein Experiment bloß erfunden habe, und Perrault stellte die Grenzbeträge der Kapillarität für Sand und Kies fest und zeigte, daß das kapillar aufgesaugte Wasser niemals größere Ansammlungen in höherem Niveau bilden könne.

Nachdem wir so eine Reihe zum Teil sehr merkwürdiger Anschauungen kennen gelernt haben, wollen wir nun die Frage prüfen, wie die heute allgemein herrschende Lehre von dem Zusammenhange zwischen Grundwasser und atmosphärischen Niederschlägen entstanden und auf welche Männer sie in der Hauptsache zurückzuführen ist.

Der Kunsttöpfer Bernhard Palissy spricht in seinem „Discours admirable de la nature des eaux et fontaines tant naturelles qu'artificielles“, 1650 in Paris erschienen, aus, daß das Vorhandensein der

Quellen auf der Aufsaugung der Regen- und Schneewasser durch das feste Erdreich beruhe. Solange sickere das Wasser durch letzteres hindurch, bis es eine wasserundurchlässige Gesteins- oder Tonschicht finde, welche es am ferneren Eindringen hindere und es zwingt, sich wieder



Fig. 47

einen Ausweg aufzusuchen. 1656 erscheint im Haag eine Abhandlung von J. Vossius: *de Nili et aliorum fluminum origine*. Der Verfasser erhebt darin energischen Widerspruch gegen diejenigen, die das Wasser der Flüsse aus ungeheuren unterirdischen Wasserbecken hervorquellen lassen, und stellt an die Spitze des 5. Kapitels seiner Erörterungen

Satz, daß alle Flüsse aus dem Zusammenlauf der Regenwasser ihren Ursprung nehmen, *omnia flumina ex collectione aquae pluvialis oriri*, und er erörtert darauf in völlig zutreffender Weise die Frage, woher in den Gebirgen die das flache Land weitaus übertreffende große Zahl von Quellen stamme. Auch der Däne Bertholin leitet in seiner 1701 in Kopenhagen erschienenen Abhandlung *de fontium et fluminum origine ex pluviis* die Quellen und die Grundwasser von den Atmosphärlilien ab. Aber wie es so oft bei wichtigen, epochemachenden Theorien der Fall ist, so ist auch diese nicht nach ihren ersten Urhebern Vitruvius, Palissy oder Vossius, sondern nach dem Manne genannt worden, dem es zuerst gelang, ihr in weiteren Kreisen Anerkennung zu verschaffen, nach dem französischen Physiker Mariotte, dem gelehrten Prior des Klosters St. Martin sous Beaune in Burgund. Dabei ist freilich nicht zu vergessen, daß Mariotte der erste war, der durch exakte Messungen und Berechnungen seiner Anschauung eine reelle Unterlage verlieh. Seine erste Veröffentlichung erschien im Jahre 1686, seine gesammelten Werke wurden 1717 in Leyden gedruckt. Er führt darin folgendes aus: Die Grundwasser entstehen durch die atmosphärischen Niederschläge, welche in die feinen Kanäle der Erde eindringen und in den gegrabenen Brunnen sich sammeln. Fällt jenes Wasser auf Hügel oder Berge, so dringt es in die Oberfläche ein, insbesondere, wenn diese zwischen Gerölle und Baumwurzeln eine Menge feiner Risse enthält, bis es auf festes Gestein kommt, darin nicht eindringen kann und sich daher seitwärts einen Weg bahnt. Daß das atmosphärische Wasser zur Speisung der Quellen völlig ausreicht, ergibt sich aus einer leicht anzustellenden Berechnung; außerdem bemerkt man stets, daß die Quellen bei regnerischem Wasser zunehmen, nach anhaltender Dürre aber ganz oder zum Teil versiegen. Selbst Flüsse verlieren zuweilen $\frac{5}{6}$ ihres Wassergehaltes, und wenn gewisse Quellen dieser Veränderung weniger unterworfen sind, so liegt dieses daran, daß sie sich große Behälter ausgehöhlt haben, aus denen nur ein spärlicher Teil anhaltend ausfließt. Mariotte geht allen den Einwendungen, die gegen diese Theorie gemacht werden, energisch zu Leibe; er zeigt, daß die Regenwasser tatsächlich in die Erde eindringen und bringt als Kontrollbeispiel die Gewölbe der Pariser Sternwarte, von deren Decke das in den Boden eingedrungene Sickerwasser mit einer den jeweiligen Regenmengen ziemlich proportionalen Tropfenzahl herabfällt. Er stellt in Dijon einen Regenmesser auf und ermittelt als mittlere jährliche Niederschlagsmenge 19 Zoll $2\frac{1}{3}$ Linie. Dann berechnet er in allerdings ungewöhnlich grober Weise das Niederschlagsgebiet der Seine zu 3000 Quadratlieues und die Menge der darauf niederfallenden Atmosphärlilien unter Annahme von nur 15 Zoll Regenhöhe zu 714 Milliarden Kubikfuß Wasser. Am Pont Royal ermittelt er weiterhin die Elemente für eine Bestimmung der im

Jahre dieses Profil passierenden Wassermengen der Seine und findet dieselbe gleich 105 Milliarden Kubikfuß, also noch nicht dem sechsten Teile der in dem Gebiete niederfallenden Atmosphärien.

Besonders in Frankreich erwachsen Mariotte zahlreiche Gegner, wie Perrault, de la Hire, Sedileau; dazu nenne ich Derham und Woodward in England, Lulofs in Holland, Kästner in Deutschland; ich muß aber verzichten, auf nähere Einzelheiten dieses wissenschaftlichen Kampfes einzugehen. Ich wende mich vielmehr dem Manne zu, dem das Verdienst gebührt, die Mariottesche Theorie auf noch breiterer Grundlage ausgebaut und für ihre Annahme durch die große Mehrzahl der Meteorologen und Physiker gesorgt zu haben. Es ist das de la Metherie mit seiner 1797 erschienenen „Theorie der Erde“. Neben den wässerigen atmosphärischen Niederschlägen sieht er in der Kondensation der Nebel und Wolken in den kühleren Bergregionen eine Hauptquelle der irdischen Niederschläge, und die Beobachtung, daß selbst künstliche Erdanhäufungen, wie Dämme und Festungswerke, ausreichend sind zur Erzeugung und Speisung einer perennierenden Quelle, bestärkt ihn in seinen Anschauungen. Indem er der Kondensation des atmosphärischen Wasserdampfes durch die Gebirge eine wichtige Rolle bei diesem Prozesse zuteilt, nimmt er die Anschauungen des Engländers Halley wieder auf, der durch Beobachtungen auf St. Helena auf den nächtlichen Tau als eine bedeutende und wichtige Quelle des Bodenswassers gekommen war, und bereits im Jahre 1674 in den Philosophical Transactions seine Beobachtungen veröffentlicht hatte. De la Metherie hat bereits Untersuchungen über die verschiedene Durchlässigkeit der Gesteine angestellt; nach ihm hat die Kalkerde nur wenige Verwandtschaft zu dem Wasser der Hydrometeore, der Quarzsand gar keine, weswegen erstere dasselbe nur wenig, letzterer gar nicht zurückhält; durch Tonlagen, selbst gemischte, dringt es aber nicht. Hiernach fließt ein Teil des gefallenen Regens sogleich ab, ein anderer befeuchtet den Boden, verdunstet und ernährt die Pflanzen, ein dritter dagegen dringt ein, wird in ungleicher Tiefe zurückgehalten und bildet dort eine Art von See, aus welchem das Wasser allmählich am Abhange des Hügels abfließt. Harte Steinmassen, namentlich die der sogenannten Urgebirge, wirken hierbei wie Tonschichten und nötigen das Wasser, auf ihrer Oberfläche abzufließen, die sekundären Gebirgsarten dagegen sammeln das Wasser in ihren Spalten, bis dasselbe irgendwo einen Ausweg findet und die reichen Quellen bildet, deren einige sogar im Meere selbst zum Vorschein kommen. Aus der Wirkung solcher undurchdringlichen Tonlager werden dann auch die sogenannten artesischen Brunnen erklärlich; zugleich aber sind viele Gründe vorhanden, welche vermuten lassen, daß ein Teil des atmosphärischen Wassers in das Innere der Erde dringe, daß es in die Gegenden der unterirdischen Vulkane gelangen könne und

dort durch Verdampfung den Ursprung der heißen Quellen bedinge. Dies der Kern der Ausführungen de la Metheries.

Nachdem so in vollem Umfange die Grundlagen für eine der modernen Anschauungen von der Entstehung des Grundwassers und der Quellen geschaffen waren, trat vor mehr als zwei Menschenaltern noch einmal ein Gelehrter für die phantastischen Anschauungen Keplers über die Lebensfunktionen der Erde in die Schranken.

Das war Christian Keferstein. Am 22. Februar 1821 las er in der naturforschenden Gesellschaft zu Halle eine Abhandlung, die 1827 im 5. Bande seiner Zeitschrift „Teutschland, geognostisch-geologisch dargestellt“, zur ausführlichen Veröffentlichung unter dem Titel gelangte: „Versuch einer neuen Theorie der Quellen überhaupt und insbesondere der Salzquellen“. Der gelehrte Verfasser, der um die Entwicklung der geologischen Wissenschaft sich große Verdienste erworben hat, verwirft hier auf das entschiedenste die seit langen Jahren von der Mehrzahl der Gelehrten angenommene Mariottesche Quellentheorie und stellt eine neue auf, von der er selbst sagt, daß sie kein bloßes Spiel der Phantasie oder bloß durch Spekulation gefunden sei, sondern daß sie aus der Untersuchung und vorurteilslosen Betrachtung der Natur sich von selbst dargeboten habe.

Als die herrschende Auffassung seiner Zeit, welcher die allermeisten Naturforscher und besonders die experimentierenden Physiker huldigen, stellt er den Satz auf, daß alle Grundwasser und Quellen ihren Ursprung bloß und allein atmosphärischen Tagewässern verdanken, die sich vermöge ihrer Schwere durch die Poren, Ritzen und Spalten der Erdschichten, die man als die Schenkel einer hydrostatischen Röhre ansehen kann, ziehen, auf wasserdichten Erdschichten fortlaufen, an niederen Punkten und durch andere Trümmer und Klüfte, welche man als die entgegengesetzten Schenkel der Röhre anzusehen hat, wieder in die Höhe bis an die Oberfläche steigen, und zwar nach dem hydrostatischen Gesetze, daß gleichartige Flüssigkeiten in zusammenhängenden Röhren von jeder Gestalt, Lage und Weite der Schenkel in den Schenkeln gleich hoch stehen. Gegen die verschiedenen Stützen der herrschenden Meinung zieht Keferstein nun energisch ins Feld. Zunächst bestreitet er, daß das Regenwasser überhaupt tiefer als einige Fuß in den Boden eindringt und beruft sich dafür auf Zeugen, die nur durch ihr hohes Alter für seine Zeit noch Bedeutung haben durften, auf Seneca und Agricola, sowie auf die Ansichten der Gärtner und Bauern. Sodann seien selbst Sande von mittlerem Korne dem Wasser gegenüber so schwer durchlässig, daß man für Sandsteine, Kalksteine, Porphyre und andere feste Gesteine erst recht an der Durchlässigkeit zweifeln müsse. Wären sie aber so durchlässig, wie die Anhänger der herrschenden Lehre es glauben, so müßten ja alle unsere Meere, Seen

und Flüsse im Innern der Erde verschwinden, und die Erde selbst könne dann überhaupt kein Wasser mehr führen, und ihre Hohlräume müßten sämtlich mit Wasser erfüllt sein; ebensowenig läge Grund vor zu der Annahme, daß die Grundwasser vom Meere aus oder durch ein im Innern der Erde befindliches Zentralreservoir gespeist würden. Wenn aber die Grundwasser nicht von oben in die Erde dringen und auch nicht aus einer ewigen Quelle von unten abgeleitet werden können, so bleibt nichts anderes übrig, als anzunehmen, daß sie in der Erde, da wo wir sie entspringen sehen, selbst erzeugt werden, und zwar gerade so, wie sie sich uns zeigen, mit ihrer konstanten Qualität, Quantität und Temperatur, mit ihren festen und flüssigen Bestandteilen. Keferstein sucht nun nachzuweisen, daß alle Gesteine atmosphärische Luft in sich aufnehmen, sie zum Teil absorbieren oder verändern und ein irrespirables Gas daraus erzeugen, welches im Gebirge aus allen Gesteinsritzen ausgestoßen wird. Eine Folge dieses Prozesses ist der Verlust eines großen Theiles des Sauerstoffes. Da eine solche Sauerstoffentziehung aber durch bloße mechanische Einwirkung der Gesteine nicht erklärt werden kann, so ist man zu der Annahme gezwungen, daß hier eine allen Gesteinen der Erde eigentümliche und innewohnende Kraft vorliegt, und daß demnach die Erdrinde als solche das Vermögen besitzen muß, die atmosphärische Luft in sich zu ziehen und sie hierbei in irrespirable Luft zu verwandeln. Da nun die Erde ununterbrochen große Mengen von Gasen, Kohlensäure, Wasserstoff und Stickstoff, und zwar häufig in Verbindung mit Wasser ausstößt, so muß das Einziehen atmosphärischer und das Ausstoßen irrespirabler Luft sich gegenseitig bedingen und das Produkt einer einzigen Tätigkeit sein; da nun nach Kefersteins Annahme das Grundwasser nicht von außen in die Erde hineingekommen sein kann, daher in der Erde selbst gebildet sein muß, und da es in unmittelbarstem Konnex mit den irrespirablen Gasarten steht, die sich in der Erde bilden, so hält er es kaum für zweifelhaft, daß das Wasser durch denselben Prozeß entsteht wie die Gasarten. Dieser ganze Vorgang aber ist mit dem Atmungsprozeß der organischen Körper nicht nur vergleichbar, sondern er ist direkt das Atmen der Erde. Wie die gesamte Oberfläche der Tiere und Pflanzen am Stoffwechsel beteiligt ist, und wie dabei vom Körper atmosphärische Luft eingesogen, aber Wasserdunst, Kohlensäure und Stickstoff ausgestoßen wird, so atmet auch die Erde und erzeugt dabei als Nebenprodukt ihres Stoffwechsels das Wasser. Obwohl nun die gesamte Erdoberfläche diesen Atmungsprozeß unterhält, so sind doch gewisse Teile mit speziellen Funktionen ausgerüstet, so daß dadurch gewisse Verschiedenheiten in der Zusammensetzung der Stoffwechselprodukte, hier also der Gasarten, sich erklären. Die Umwandlung der atmosphärischen Luft in Kohlensäure und Wasser aber faßt Keferstein nicht als einen chemischen

Umsetzungsvorgang auf, sondern er erblickt darin einen Prozeß der Umwandlung eines Elementes in ein anderes, und spricht es aus, daß dieser von ihm als *generatio aequivoca* der Erde bezeichnete Vorgang eine Folge einer uns noch geheimnisvollen Kraft ist, die in gleicher Weise den Körpern der Tiere und Pflanzen, wie dem Riesenleibe der Erde inne wohnt. Die ihm wohlbekanntes Gleichmäßigkeit in der chemischen Zusammensetzung der Gase und Salze in den einzelnen Quellen führt ihn aber noch zu viel weiter gehenden Schlüssen. Wie die Elemente der Luft einerseits in der Salpetersäure, andererseits im Ammoniak enthalten sind, wie also aus der Luft Säuren sowohl wie Basen hervorgehen können, und wie ferner durch die Lebenstätigkeit der Körper aus der Luft nicht nur Kohlenstoff und Wasser, sondern auch eine ganze Reihe von anderen chemischen Elementen, besonders Alkalien, durch Umbildung stets und fortwährend erzeugt werden, so vermag auch die Erde aus der eingeatmeten Luft in ihren verschiedenen Organen die verschiedensten Salze in wechselnder Mischung zu erzeugen; da nun die Funktionen bestimmter Teile des Erdkörpers ununterbrochen und stetig sind, so werden infolgedessen auch die Quellen von unveränderlicher Zusammensetzung sein. Die Änderungen ihrer Ergiebigkeit aber, die einem befangenen Beurteiler von den Mengen der atmosphärischen Niederschläge abhängig zu sein scheinen könnten, erklären sich vielmehr so, daß die innere Atmosphäre, die an Menge ja die äußere weitaus übertreffen muß, ihrerseits jene beeinflusst, daß gesteigerte Tätigkeit der Erdkörperorgane, vermehrte Erzeugung von Grundwasser durch dieselben einen lebhaften Einfluß auf die äußere Atmosphäre ausübt und die Entstehung größerer Mengen von Niederschlägen bedingt und auslöst. Selbst die Erdbeben und die gewaltigen Wirkungen der vulkanischen Kräfte bringt Keferstein in Beziehung zur Tätigkeit seiner angenommenen Erdorgane; wenn dieselben nämlich ihre Funktionen in großer Tiefe ausüben, oder wenn sie mit vielen und festen Gesteinen bedeckt sind, so werden die Stoffe sich häufen, die Hitze wird sich vermehren, das Wasser dampfförmig werden, die Gesteine umher werden gelöst, geschmolzen, endlich wird die drückende Kraft übermächtig, es erfolgen Erdbeben, Erhebungen, Zerreißen, Lavaergüsse und Vulkane.

In Meinecke, Spindler und dem schlesischen Prof. Müller hat Keferstein Anhänger und Erweiterer seiner Hypothese gefunden, aber von den Fachgenossen wurde sie abgelehnt und Berzelius bemerkt dazu ironisch spöttelnd, daß die Erde mit gar vielen Nieren versehen sein müsse, um die unendliche Mannigfaltigkeit der Quellen zu produzieren.

Erst vor 30 Jahren erstand der Mariotteschen Theorie noch einmal ein Gegner, der mit großer Energie gegen den angeblichen Dogmenglauben von der Entstehung des Grundwassers Sturm lief. Auf der XVIII. Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure sprach der

Obmann des deutschen Hochstiftes, Dr. Otto Volger, in einem Vortrage: „die wissenschaftliche Lösung der Wasser-, insbesondere der Quellenfrage“ es aus, daß dem von Pettenkofer kurz dahin formulierten Satze: „Alles Wasser in der Erde rührt her von Regenwasser“ der andere entgegenzustellen sei: „Kein Wasser des Erdbodens rührt vom Regenwasser her“. Volger kommt, nachdem er alle die uns bekannt gewordenen Gelehrten des Altertumes und Mittelalters, von Seneca bis de la Hire, als Zeugen für die Richtigkeit seiner Behauptungen angerufen hat, zu der Forderung, die bisherige Quellenlehre umzustoßen und durch eine neue zu ersetzen. Als diese neue Lehre stellt er den Satz auf, daß das Grundwasser ausschließlich durch die Kondensation von Wasserdampf in der Erde entsteht. Die mit Wassergas beladene warme Luft der oberirdischen Atmosphäre tritt, den Schwankungen des Luftdruckes folgend, in das Innere der Erde ein, erfährt dort in den tieferen, kühleren Bodenschichten eine starke Abkühlung und scheidet denjenigen Teil des gasförmigen Wassers, der bei dieser Temperaturerniedrigung einen Überschuß darstellt, aus. Der Volgerschen Theorie erwachsen in Hahn und Wollny Gegner, während sie in allerjüngster Zeit von König, Haedicke und anderen wieder aufgenommen wurde und sich auch im Auslande, z. B. in Rußland, zahlreiche Anhänger erworben hat. (Vergleiche folgendes Kapitel.)

15. Kapitel

Grundwassertheorien

Aus den geschichtlichen Ausführungen des vorigen Kapitels geht hervor, daß über die Entstehung des Grundwassers heute zwei Theorien sich gegenüberstehen, die man kurz als

- a) Infiltrationstheorie und
- b) Kondensationstheorie

bezeichnen kann.

a) Die Infiltrationstheorie. Sie behauptet, daß die Gesamtheit des Grundwassers durch atmosphärische Niederschläge erzeugt wird, die auf die Erde niederfallend und zum Teil in den Boden eindringend die Speisung und Erneuerung des Grundwassers bewirken. Die Niederschläge kommen auf die Erde in flüssiger Form als Regen und Tau und in fester Form als Schnee, Hagel und Reif. Die Gesamtheit der auf den Festlandsmassen der Erde niederfallenden Wassermenge beträgt im Jahre 122 500 Kubikkilometer, die sich auf im ganzen 145 000 000 Quadratkilometer verteilen. Wenn man sich diese Regenmenge über den kontinentalen Teilen der Erde als eine einheitliche Schicht ausgebreitet denkt, so würde man zu einer Niederschlagshöhe über den Landmassen kommen, die 850 mm betragen würde. In Wirklichkeit aber ist gerade

diese Zahl natürlich nur an beschränkten Stellen der Erdoberfläche anzutreffen und die Regenmengen sind in den einzelnen Ländern der Erde ganz außerordentlichen Schwankungen unterworfen. Von den Wüstengebieten unserer Erde, in denen manchmal nur in jahrelangen Zwischenräumen Regen fällt, bis zu den Gebieten höchster Niederschläge, in welchen im Laufe des Jahres eine Regenmenge von 12000 mm niederprasselt (Assam), kennen wir alle Übergänge. Selbst in Europa haben wir ganz gewaltige Differenzen, denn in weiten Gebieten des südöstlichen Rußland in der Gegend des Kaspischen Meeres und nördlich vom Kaukasus belaufen sich die Niederschläge auf nur 110 bis 120 mm, während andererseits in den regenreichsten Gebieten Europas, in Schottland und in den Cevennen, Regenhöhen bis zu 3400 mm vorkommen. In Norddeutschland besitzen die Gebiete geringster Niederschläge eine Regenhöhe zwischen 400 und 500 mm (untere Oder, untere Saale, Posen, Westpreußen), während die höchsten Niederschläge mit 800—900 mm in Schleswig angetroffen werden. In West- und Süddeutschland liegen Gebiete sehr geringer Niederschläge im Mittelrheingebiete von Mannheim bis Koblenz und Gießen, im Maingebiet zwischen Würzburg und Koburg und im Donaugebiete bei Donauwörth (unter 600). Als zweites Gesetz der Regenverteilung kommt dazu, daß mit zunehmender Meereshöhe die Menge der Niederschläge eine erhebliche Steigerung erfährt. Auf dem Brocken beispielsweise treffen wir die doppelte bis dreifache Niederschlagsmenge an, wie in den tiefer gelegenen Gebieten am Fuße des Harzes, und auf den höchsten Erhebungen von Schwarzwald und Vogesen ebenfalls dreimal höhere Niederschläge, wie in der Rheintalebene. Diese gewaltigen Unterschiede in der Menge der Niederschläge sind naturgemäß auch für die Speisung der unterirdischen Wasserschätze von ganz erheblicher Bedeutung. Einen vortrefflichen Überblick über die Verteilung der Niederschläge gewähren die Niederschlagskarten, von denen für Deutschland die von Hellmann¹⁾ rühmend erwähnt sein möge. Ich gebe sie in einer Verkleinerung auf ein Fünftel 1:9000000 wieder unter gleichzeitiger Zusammenziehung einiger von Hellmann unterschiedener Stufen (Tafel I).

Das Wasser, welches als Regen, Hagel, Schnee, Reif und Tau auf die Erde niederfällt, hat ein dreifaches Schicksal:

- a) ein Teil der Niederschläge geht durch Verdunstung sogleich wieder in die atmosphärische Luft zurück;
- b) ein zweiter Teil wird auf der Erdoberfläche sogleich den offenen Wasserläufen zugeführt und von diesen weiter befördert;
- c) ein dritter Teil endlich dringt in den Boden ein.

¹⁾ Regenkarte von Deutschland auf Grund zehnjähriger Beobachtungen (1893 bis 1902) von 3000 Stationen entworfen von G. Hellmann. Maßstab 1:1800000. Berlin 1906 bei Dietrich Reimer (Ernst Vohsen).

Eine Lehrmeinung, die so alt wie falsch und bis heute noch nicht ganz ausgerottet ist, sagt, daß von den Niederschlagswassern je ein Drittel von diesen drei Vorgängen betroffen wird. Um zu erkennen, wie falsch diese besonders in Kreisen der Techniker weit verbreitete Anschauung ist, müssen wir in eine nähere Prüfung der uns heute zu Gebote stehenden Zahlenwerte für die einzelnen Faktoren eintreten.

Wenn wir annehmen, daß sich das Grundwasser in einem Gleichgewichtszustande befindet und daß ebensoviel, wie durch Speisung hinzukommt, ihm durch Abfluß wieder entzogen wird, so haben wir in den Wassermengen, die durch die Flüsse ins Meer befördert werden, die Summe des oben unter b und c angeführten Wassers, abzüglich der durch Verdunstung den offenen Wasserflächen wieder entzogenen Wassermengen. Kennen wir die in jedem einzelnen Flußgebiete niederfallenden jährlichen Wassermengen einerseits, und die von diesen Flüssen an ihrer Mündung wieder ins Meer beförderten andererseits, so gibt uns die Differenz beider Zahlen die Summe des durch Verdunstung nach längerer oder kürzerer Zeit in die Atmosphäre zurückgelangenden Wassers an. Für diese Verdunstung der Niederschläge kommen in den verschiedenen Gebieten unserer Erde ganz verschiedene Verhältnisse in Betracht; einmal muß der Betrag der Verdunstung abhängig sein von der absoluten Menge der Niederschläge, dann von der Temperatur des betreffenden Gebietes und endlich von dem mittleren Sättigungsdefizit der atmosphärischen Luft, d. h. von dem Unterschiede ihres wirklichen und möglichen Gehaltes an Wasserdampf. Daß aber auch in kalten Klimaten und in der kühleren Jahreszeit die Verdunstung eine große Rolle spielt, können wir bei uns sehr deutlich erkennen, wenn wir eine während einer langen Kälteperiode unverändert gebliebene Schneedecke aufmerksam beobachten. Wir nehmen dann wahr, daß der Schnee mehr und mehr zusammenschrumpft und schließlich ganz verschwindet, ohne daß durch Tauwetter zuvor eine Überführung in den flüssigen Zustand stattgefunden hätte.

Sodann ist von außerordentlicher Bedeutung für den Betrag der Verdunstung die Art, in welcher die Vegetation den Boden bedeckt. Je größer die Oberfläche ist, die der Benetzung durch die Niederschläge anheimfällt, um so stärker ist die Verdunstung. Fällt der Regen auf einen Laubwald nieder, so werden die Tropfen zunächst von den Blättern der Bäume aufgefangen, und es dauert längere Zeit, ehe sie von hier auf den Boden niederfallen. Dauert in diesem Falle der Regen nicht lange an, so kann es leicht geschehen, daß der gesamte Betrag des Wassers von den Blättern aus durch Verdunstung in die Luft zurückgeht. Wenn wir dagegen den Nadelwald betrachten, so ist hier infolge der eigentümlichen Form der Belaubung ein rasches Abfließen des Wassers von den Bäumen und ein Benetzen des Bodens auch bei ge-

ringeren Regenfällen viel eher möglich. Der Nadelwald wird also einen geringeren Anteil der Niederschläge durch Verdunstung an die Luft zurückgeben als der Laubwald. Felder, Grasländereien und Wiesen können infolge ihrer dichten Bodenbeschattung das einmal bis in den Boden gelangte Regenwasser besser festhalten, während sie wegen ihrer großen Benetzungsoberfläche bei schwachem Regen fast alles niedergefallene Wasser verdunsten lassen; Äcker, die unbestellt und offen daliegen, lassen aber der gänzlich mangelnden Beschattung wegen einen guten Teil davon wieder verdunsten. Wir sehen also, daß ein und dasselbe Gebiet zu den verschiedenen Jahreszeiten ganz verschiedene Bedingungen für die Aufnahme des Wassers im Boden darbietet: der Laubwald anders im Sommer als im Winter, der Nadelwald anders als der Laubwald, der Acker anders in Saat stehend, als unbestellt, die Wiese anders, wenn sie hohen Graswuchs trägt, als wenn sie kurz geschnitten ist. Ferner ist es für den Betrag der Verdunstung von hoher Bedeutung, ob die Hauptmenge der Niederschläge in Zeiten niedergeht, in denen das Sättigungsdefizit groß oder klein ist, denn in ersterem Falle wird ein viel größerer Teil der Niederschläge durch sofortige Verdunstung in die Atmosphäre zurückkehren als im zweiten. Weiterhin kommt aber auch in Betracht, in welcher Art die Niederschläge erfolgen, ob als kurze ausgiebige Platzregen oder als langsame, ruhige, andauernde sogen. Landregen, sowie die Länge der regenfreien Pausen zwischen den einzelnen Niederschlägen. Bei Platzregen ist natürlich der verdunstende Prozentsatz der Niederschläge sehr viel größer als bei Landregen. So kommen für die Verdunstung des Wassers innerhalb eines und desselben Gebietes die allerverschiedensten Möglichkeiten in Betracht.

Sehr verschieden ist auch die Wassermenge, deren die verschiedenen Kulturpflanzen zu ihrer Ernährung benötigen. Sie beträgt, einschließlich des von den Pflanzen verdunsteten Wassers, täglich für Wiesen- und Kleefelder 3,1—7,3 mm, für Hafer 3—5, für Mais 3—4, für Getreide 2,26—2,8 mm, für Reben 0,9—1,3 mm, für Tannenwald 0,5—1,0 und für Eichenwald 0,5—0,8 mm Wasser, berechnet als gleichmäßige Schicht über der gesamten von der betreffenden Kultur eingenommenen Fläche.

Wie sehr die Exposition, d. h. die Himmelsrichtung, in welcher ein Boden geneigt ist, die Verdunstung beeinflusst, kann man in augenfälliger Weise an Einschnitten ostwestlich laufender Eisenbahnen oder an den Hängen ebenso verlaufender kleiner Täler erkennen: die der Sonnenbestrahlung ausgesetzte Nordseite trägt fast immer eine ganz andere Pflanzendecke und zwar eine üppigere, grünere, als die nach Norden schauende südliche Böschung. Im sandigen Nadelwaldboden pflegt die unbestrahlte Südseite mit Beerenkräutern, die viel stärker verdunstende Nordseite mit Heidekraut bewachsen zu sein.

Es ist eine weitverbreitete, aber irrige Meinung, daß der Wald die Infiltration begünstigt, die Entwaldung also eine Verminderung der Grundwasserbildung im Gefolge hat. Es ist vielmehr nach den sorgfältigen Untersuchungen Ototzkij's als bewiesen anzusehen, daß der Waldbau die für die Speisung des Grundwassers ungeeignetste Kulturform ist. Er verhindert nicht nur die Infiltration, sondern befördert die Verdunstung und entzieht dem Boden große Mengen von Wasser, so daß unter dem Walde der Grundwasserspiegel tiefer liegt, als in benachbarten Gebieten, ja selbst tiefer im geschlossenen Walde, als in kleinen Lichtungen.

Einen Überblick über das Verdunstungsmittel innerhalb großer Gebiete gewährt uns die oben angegebene Vergleichung der Abflußmengen mit den Niederschlagsmengen eines bestimmten Gebietes. Murray¹⁾ hat für die 33 größten Ströme der Erde berechnet, wie groß die Menge der in ihrem Einzugsgebiete fallenden Niederschläge und der durch die Flüsse an ihren Mündungen dem Meere zurückgegebenen Wassermasse ist.

Ich gebe diese Tabelle auf S. 90 wieder. Ihre beiden letzten Spalten sind von mir hinzugefügt und lassen erkennen, wie groß in Teilen vom Hundert für jedes dieser Flußgebiete der Verdunstungsbetrag ist.

Er beträgt in 5 Fällen weniger als 50%, in 3 Fällen 50—60, in 6 Fällen 60—70%, in 10 Fällen 70—80%, in 6 Fällen 80—90%, in 3 Fällen über 90%. Selbst im günstigsten Flußgebiete, dem der Rhone, beträgt die Verdunstung noch immer mehr als $\frac{1}{3}$. Der Durchschnittswert für das Gesamtgebiet aller 33 Ströme und damit für ein ungeheures Gebiet der festländischen Erde stellt sich für den Verdunstungsanteil auf 79,1%, also auf fast $\frac{4}{5}$!

Für einen deutschen Fluß liegen genaue Untersuchungen für die Saale vor. Ule²⁾ hat den Betrag für Versickerung und offenen Abfluß zu je 15%, für Verdunstung auf 70% festgestellt. Bei dem Betrage der Verdunstung ist hier wie in allen übrigen Fällen der Verbrauch durch die organische Welt mit einbezogen.

Die Beträge der Verdunstung sind also außerordentlich verschieden. Fast vier Fünftel der auf der Erdoberfläche niederfallenden 122500 cbkm Niederschläge (und nicht ein Drittel, wie die alte Lehrmeinung behauptet) gehen durch Verdunstung wieder in die Atmosphäre zurück und befinden sich ununterbrochen in dem kurzen Kreislauf zwischen ihr und der Erdoberfläche; und nur 20% machen den größeren

¹⁾ Scottish Geogr. Magazine 1887.

²⁾ W. Ule, Zur Hydrographie der Saale. Forschungen zur deutschen Landes- u. Völkerkunde, Bd. X, 1897, S. 1—55.

Kreislauf durch, nämlich entweder durch die Erde oder unmittelbar in die Flüsse und zum Meere. Von diesen 20% gehen nun aber für die Bodenspeisung noch alle Wassermengen ab, die unmittelbar nach ihrem Auffallen auf die Erdoberfläche durch Bäche und Flüsse abgeführt

Lage der Mündung	Name des Flusses	Einzugsgebiet in englischen □-Meilen	Jährl. Regenmenge in engl. cb.-Meilen	Jährl. Abfuhr durch den Fluß in engl. cb.-Meilen	Versickerung und offener Abfluß in %	Verdunstung in %
50—60° N	Rhein	32 600	19,500	10,100	51,8	48,2
	Oder	51 100	14,700	2,500	17,0	83,0
	Niemen	36 450	10,355	3,783	26,5	63,5
	Weichsel	65 800	19,908	5,657	28,3	71,7
40—50° N	St. Lorenz	565 200	338,967	87,312	25,8	74,2
	Donau	320 300	198,736	67,511	33,9	66,1
	Po	27 100	23,887	13,322	55,7	44,3
	Wolga	592 300	152,384	43,736	28,8	71,2
	Seine	23 250	10,266	5,469	53,3	46,7
	Rhone	34 850	22,439	14,066	62,7	37,3
	Dniepr	197 450	56,093	22,195	39,5	60,5
	Loire	42 600	18,218	7,818	42,9	57,1
30—40° N	Dniestr	30 950	8,792	3,274	37,2	62,8
	Yang-tse-kiang	689 100	408,872	125,043	30,6	69,4
	Hoangho	387 150	117,711	28,591	24,3	75,7
	Nil	1 293 050	892,120	24,334	2,7	97,3
20—30° N	Pei-ho	65 000	22,354	1,650	7,3	92,7
	Mississippi	1 285 300	673,064	125,603	18,6	81,4
	Rio Grande	232 300	113,655	12,676	11,2	88,8
	Indus	360 050	104,416	26,032	25,0	75,0
10—20° N	Ganges	588 450	548,791	43,263	6,9	93,1
	Magdalena	92 900	116,746	59,451	51,0	49,0
	Irawaddi	181 950	180,849	82,299	45,5	54,5
	Kistna	81 300	61,025	14,776	24,1	75,9
0—10° N	Godavery	154 850	95,924	16,841	17,5	82,5
	Orinoco	429 700	603,397	122,242	20,2	79,8
Äquator	Amazonas	2 229 900	2 833,830	527,951	18,6	81,4
0—10° S	San Francisco	212 909	218,459	22,197	10,2	89,8
	Kongo	1 540 800	1 213,044	419,291	34,5	65,5
20—30° S	Orange	267 150	50,913	21,875	43,1	56,9
30—40° S	Olifant	14 300	2,472	0,679	27,4	72,6
	Rio de la Plata	994 900	904,687	188,740	20,8	79,2
	Uruguay	151 000	130,890	32,136	24,5	75,5
Durchschnitt					20,9	79,1

werden; auch dieser Betrag ist naturgemäß großen Schwankungen unterworfen und im wesentlichen abhängig von der geologischen Beschaffenheit der obersten Bodenschicht und von dem Relief des betreffenden Gebietes. Wenn wir eine tischgleiche Ebene vor uns haben, auf der Regenwasser

niederfällt, so ist bei dem Mangel jeglichen Gefalles ein oberirdisches Abfließen nicht möglich, es kann ein solches nur dann eintreten, wenn eine gewisse Mindestneigung vorhanden ist. So sehen wir, daß das Gebirgsland ganz wesentlich in bezug auf diesen oberirdischen Abfluß bevorzugt ist vor dem Flachlande. Infolgedessen nehmen wir wahr, daß, wenn ein starker Regen im Gebirge niedergeht, schon nach Verlauf von Minuten die Gewässer anzuschwellen beginnen, und daß Gebirgsbäche, welche dünne Wasserfäden enthielten, sich bis zum Rande füllen können, um dann ebenso schnell zu ihrer gewöhnlichen geringen Wasserführung zurückzukehren. Hier haben wir ein Beispiel für einen außerordentlich hohen Prozentsatz von oberirdisch abfließendem Wasser. Aber nicht in jedem Gebirge ist dieser Prozentsatz ein so großer, er hängt vielmehr wieder ab von dem größeren oder geringeren Grade der Durchlässigkeit der Oberflächen-Schichten. Auf einem aus undurchlässigen tonigen Schichten bestehenden Gebirgen wird ein großer Teil des niederfallenden Wassers sofort durch die oberirdischen Wasserläufe abgeführt werden. Dagegen können die größten Regenmassen spurlos verschwinden in Gebieten, die geeignet sind zur Aufnahme von Wasser, z. B. Kalkstein und poröser Sandstein. Dann wieder spielt auch die Vegetation eine bedeutende Rolle. Auf Gebirgsabhängen, an denen kahle Felder liegen, ist das Abfließen des Wassers außerordentlich erleichtert, wo dagegen üppiger Rasen und Wiesen- oder Torfbildungen den Boden überkleiden, da kann die Vegetation ein größeres Quantum von Wasser festhalten. Ebenso sind in den Ebenen, wo die Neigungsverhältnisse geringer, die Tendenz zum Abfließen unbedeutend ist, wesentliche Unterschiede durch die Bodenbeschaffenheit der Oberfläche bedingt. Schichten, die geeignet sind, große Wassermassen zu absorbieren, können die größten Regenmassen aufnehmen, ohne sie oberirdisch abfließen zu lassen; Löß-, Kies-, Gips-, Kalk- und Kreide-Plateaus sind hierfür geeignete Gebiete, während in solchen Gebieten, in denen tonige undurchlässige Schichten die Oberfläche bilden, auch bei geringer Neigung des Bodens stärkere Wassermassen oberirdisch dem nächsten Wasserlaufe zufließen können, bei völliger Ebenheit aber große versumpfte Flächen entstehen. Es ist ganz unmöglich, die Menge des oberirdisch abfließenden und des in die Tiefe eindringenden Wassers genau zu messen, um so weniger, als auch noch die jahreszeitlichen Unterschiede sich geltend machen. Ein und derselbe Boden kann im Sommer geeignet sein, große Mengen von Wasser aufzunehmen, im Winter dagegen kann derselbe Boden durch Gefrieren zu einer undurchdringlichen Schicht werden für die Schneesmelzwasser und die Niederschläge, und diese müssen entweder verdunsten oder oberirdisch abfließen. So entstehen manchmal Regenschluchten in einem Gebiete höchster Durchlässigkeit, wo man sich vergebens fragt, wie die Wassermengen zusammenkommen konnten. Das Rätsel löst sich aber

sehr leicht, wenn man sich vor Augen hält, daß solche Wasseransammlungen immer in der Periode der Schneeschmelze entstehen, wenn der Boden noch gefroren ist und das Wasser nicht in die Tiefe versinken kann, oder bei Wolkenbrüchen, wenn die niederstürzenden Wassermassen selbst auf sehr durchlässigen Böden keine Zeit haben, in den Boden einzudringen.

Nur ein Hilfsmittel besitzen wir, um eine gewisse Vorstellung von diesem Vorgange zu gewinnen, das ist das Verhältnis der Wassermengen, die ein Fluß bei Hochwasser befördert, zu denen, die er bei Mittel- und Niederwasser abführt. Im Hochwasser kommt die ungeheure Menge des oberirdisch abfließenden Wassers zum Ausdruck, im Niederwasser der völlige Mangel jenes und die starke Verminderung der Grundwasserspeisung. Unter der wohl sicher zutreffenden Annahme, daß der Grundwasserhaushalt der Erde sich im Gleichgewichte befindet, daß soviel Wasser aus der Erde in Form von Quellen oder als unmittelbare Grundwasserspeisung der Flüsse wieder zu Tage tritt, wie dem Grundwasser zugeführt wird, darf man mit Recht annehmen, daß die Wassermengen, die unsere Flüsse nach langen, an Niederschlägen armen Zeiten führen, ganz und gar dem Grundwasser entstammen; im normalen Mittelwasser sind immer noch oberirdisch abgeflossene atmosphärische Wasser enthalten; im extremen Niederwasser drückt sich bereits verminderte Quellenergiebigkeit aus. Wir werden also wohl nicht allzusehr daneben greifen, wenn wir das Mittel zwischen Mittelwasser und Niedrigwasser eines Flusses als die Wassermenge ansehen, die dem Flusse durch Grundwasserspeisung zugeführt wird. Dann ist der Unterschied zwischen dieser auf das Jahr berechneten Wassermenge und der gesamten, vom Flusse im Laufe eines Jahres dem Meere zugeführten Wassermenge gleich dem oberirdisch abfließenden und unmittelbar in die Flüsse gelangenden Anteile der atmosphärischen Niederschläge.

Auch solche Zahlenwerte liegen für einige Flüsse bereits vor. So verhielt sich Niederwasser zu Hochwasser beim Rheine

in Graubünden wie 1 : 70,

bei Basel wie 1 : 14,

am Niederrhein wie 1 : 7,

bei der Mosel oberhalb Metz wie 1 : 98,

bei der Loire wie 1 : 312.

Die unmittelbare Ermittlung des Versickerungsbetrages ist mit sehr großen Schwierigkeiten verbunden, weil die bisher konstruierten Versickerungsmesser (Lysimeter) den natürlichen Verhältnissen niemals ganz entsprechen können. Höfer¹⁾ hat eine Zusammenstellung der in

¹⁾ Grundwasser und Quellen. Eine Hydrogeologie des Untergrundes. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn 1912, S. 37—40.

dieser Hinsicht bis jetzt angestellten Versuche und Ermittlungen gegeben, die ich im folgenden wiedergebe.

„Das Lysimeter von Ebermayer¹⁾ würde den Verhältnissen in der Natur am ehesten entsprechen, wenn es aus gewachsenem Boden entsprechend tief hergestellt werden würde. Es wurde eine quadratische Grube von 2 m Seitenlänge und 1,2 m Tiefe mit einem muldenförmigen Boden und einer Abflußröhre in Zement wasserdicht gefaßt und mit Erde gefüllt. Unter dem Boden ist behufs Zugang zu den Meßgefäßen, welche das Sickerwasser auffangen, ein Stollen hergestellt. Ebermayer fand folgende Werte:

Bodenart	Sickerwasser in Prozenten der Regenhöhe					Regen- höhe mm
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr	
Torf	64,0	11,0	49,0	99,0	53,0	865
Humusreiche Gartenerde	6,9	4,6	2,8	7,1	5,2	958
„ „	6,7	2,1	0,6	4,7	3,1	958

Auch aus der Menge der Niederschläge und des Wassers aus den Drainagen wollte man die Versickerungsmenge bestimmen; da jedoch die Drains zu seicht liegen, so liefern auch diese Bestimmungen für unsere Zwecke keine absoluten, sondern nur relative Werte. Aus diesen Vergleichszahlen, die Charnock und v. Möllendorff fanden, geht hervor, daß sowohl im dolomitischen als auch im Tonboden der Höchstwert der Versickerung im Winter, der Mindestwert im Sommer, bei Lehm im Herbst ist. Die Versuche mit Lysimetern ergaben übereinstimmend, daß im nackten, unbedeckten Boden die Sicker mengen stets größer sind als im Grasboden, und zwar ist es gleichgültig, ob ersterer Sand, Lehm oder Torf ist; dabei zeigte sich, daß Sand die größte, Lehm die geringste Durchlässigkeit besitzt, was nach dem früher Mitgeteilten nicht überrascht.

Untersuchungen im großen ergaben überdies, daß Wälder das Sickerwasser mehr herabmindern als Wiesen und andere mit Rasen bedeckte Flächen, und bestätigten, daß der kahle oder mit Moos bedeckte Boden für die Versickerung am günstigsten ist.

Nach Ebermayers Untersuchungen im großen in den Jahren 1886 und 1887 mit 958 bzw. 634 mm Regenhöhe kamen folgende Wassermengen in Prozenten des Niederschlages zur Versickerung:

¹⁾ Einfluß des Waldes und der Bestandesdichte auf die Bodenfeuchtigkeit und Sickerwassermengen.

	1886	1887
	%	%
Durch den mit Moos bedeckten Boden .	7,0	6,2
Durch vegetationslosen Boden	5,1	3,5
Im Buchenwaldboden	4,1	2,9
Im Fichtenwaldboden	3,0	1,5

Es ist also die Sickerwassermenge im regenärmeren Jahre prozentuarisch überall kleiner, was sich daraus erklärt, daß in beiden Jahren die Verdunstungs- und Absorptionsmenge gleich groß gewesen sein dürfte, weshalb 1887 weniger Wasser in den Boden drang. Überdies übt eine größere, gut verteilte Wassermenge einen größeren Druck nach abwärts aus, wodurch die Infiltration befördert wird.

Sind für eine Quelle das Fanggebiet F in Quadratkilometern und die jährliche Niederschlagsmenge h in Metern bekannt, so ist die eingesickerte Regenmenge Q pro Sekunde ein Bruchteil von $F \cdot h$, also $Q = \gamma \cdot F \cdot h$. γ wird Infiltrationskoeffizient genannt (11—35%). Nach Lauterburg¹⁾ ist im mitteleuropäischen Flachland (3,5—11° Neigung) und in mittelsteilen Geländen die größte Wassermenge pro Sekunde (ausschließlich von den Niederschlägen gespeist) $Q = 0,007$ bis $0,01 F \cdot h$ ccm/sek also $\gamma = 0,007$ bis $0,01$, die kleinste Wassermenge, welche nur nach mehreren Dezennien auftritt, $Q_1 = \alpha_1 Q$ und das Immerwasser $Q_0 = \alpha_1 \alpha_0 Q$. Die Werte der Koeffizienten α_1 und α_0 sind aus nachstehender Tabelle zu entnehmen.

Art des Landes	Untergrund						
	Undurchlässig		Mitteldurchlässig		Sehr durchlässig		
	mittelsteil	flach	mittelsteil	flach	mittelsteil	flach	
Geschlossene Waldungen, trockener Geröllboden, steiniges und sandiges, wüstes Gebiet	α_1	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,75
	α_0	0,5		0,6		0,7	
Aufgebrochen. Kulturland und leichtes Gehölz	α_1	0,35	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65
	α_0	0,5		0,5		0,5	
Wiesen und Weideland	α_1	0,25	0,35	0,35	0,45	0,45	0,55
	α_0	0,6		0,6		0,6	
Kahles Felsengebiet	α_1	0,20	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50
	α_0	0,3		0,3		0,3	

¹⁾ Allg. Bauztg. 1887, S. 18.

Bei horizontaler Oberfläche beträgt die Menge der Versickerung gegenüber jener der Regenhöhe in Prozenten:

	Im Mittel %	Kleinste Menge %
In sand- und kieshaltiger Ackererde	23,5	9,6
In Kreidemergel	38,3	25,9
In Tonboden	37,9	29,2
	(28,1—43,9)	(14,5—38,8)
In Lehmboden	51,2	44,2
	(41,0—60,0)	(37,1—50,2)
In lehmigem Sandboden	40,5	28,2

Beckers Untersuchungen geben für die Quellen des Odenwaldes $\gamma = 0,00168$ und für jene des Schwarzwaldes $\gamma = 0,00136$.

Ist Q_1 das kleinste Normalwasser, d. h. jenes Bach- und Flußwasser, welches ausschließlich von den Quellen und dem Grundwasser gespeist wird, pro 1 qkm, so ist nach Iszkowskis Angaben:

Flußgebiet	Mittlere Regen- höhe mm	Fläche qkm	Q_1 in 1 Sek.	γ
Loire bis oberhalb Tours	750	42 600	6,34	0,008 45
Rhone oberhalb der Saône-mündung	1100	21 000	8,24	0,007 49
Rhein vor der Mündung in den Bodensee	1142	6 620	7,57	0,006 63
Elbe bis Altenzaun	600	157 400	3,81	0,006 35
Oder bis zur Warthemündung	550	99 273	3,30	0,006 00
Seine bis Nantes	683	61 900	4,06	0,005 94
Donau bis Wien	830	97 920	4,57	0,005 50
Weichsel bis zur Mündung	630	181 708	3,42	0,005 43
Weser bis Bremen	710	40 000	3,81	0,005 37
Garonne bis Toulouse	1200	10 500	6,34	0,005,28
Memel bis Tilsit	620	100 000	3,17	0,005,11
Im Durchschnitt	—	—	—	0,006 14

Wenn man γ , das sich auf φ in Sekunden bezieht, in Prozente der jährlichen Regenhöhe umrechnet, so würden in Mittel- und zum Teil Westeuropa im großen Durchschnitt 19,358%, im Höchsthalle 26,639% und im Mindestwert 16,109% der gefallenen Niederschläge versickern. Daraus ergibt sich, daß die früher erwähnte alte praktische Drittelregel vollends unzutreffend ist, und daß im großen Durchschnitt kaum ein Fünftel der Regenhöhe endgültig einsickert, d. h. das Bodenwasser bzw. die Quellen speist.

Beschreibung des Quellengebietes	Allgemeine Durchlässigkeit des Untergrundes und durchschnittliche Neigung des Terrains									
	sehr undurchlässig			mitteldurchlässig			sehr durchlässig			
	sehr steil	mittelsteil	flach	sehr steil	mittelsteil	flach	sehr steil	mittelsteil	flach	
I. Alpenregion.										
1. Gletscher- und Firngebiet, ziemlich flache Schutthalden; lockerer Schutt- und Geröllboden und dicht bewaldetes Gebiet, überhaupt stark wasserschluckendes Terrain . . .	1,1—2	1,3—2,7	—	1,9—3,2	2,3—3,9	—	3,4—6,4	3,5—5,47	—	—
2. Aufgebrosenes Kulturland und leichtes Gehölz.	1,50	2,08	—	2,08	2,68	—	2,68	3,27	—	—
3. Weideland	1,07	1,79	—	1,8	2,50	—	2,50	3,21	—	—
4. Kahles Felsgebiet	0,36	0,72	—	0,72	1,07	—	1,07	1,43	—	—
II. Hügelland und Niederung.										
1. Geschlossene Waldung; lockerer Schutt- und Geröllboden; steinige oder sandige Ödung .	—	1,1—2,26	1,3—2,55	—	1,9—3,23	2,3—3,8	—	2,8—4,5	3,3—5,2	—
2. Aufgebrosenes Kulturland und leichtes Gehölz	—	1,70	2,20	—	2,20	2,70	—	2,70	3,18	—
3. Wiesen und Weideland	—	1,47	2,06	—	2,06	2,65	—	2,65	3,13	—
4. Kahles Felsgebiet (kommt in Niederungen selten vor)	—	0,60	0,90	—	0,90	1,20	—	1,20	1,47	—

Lauterburg gibt für 1 qkm als kleinste Quellenergiebigkeiten in Sekundenlitern die auf S. 96 abgedruckte Übersicht.

Alle diese Erwägungen führen uns zu dem allgemeinen Schlusse, daß weit mehr als die Hälfte, vielfach mehr als drei Viertel der Niederschläge wieder verdunstet, daß im Mittel weit weniger als ein Viertel in den Boden eindringt, und daß der Rest zum unmittelbaren oberirdischen Abflusse gelangt.

b) Die Kondensationstheorie. Sie bestreitet, daß auch nur ein Tropfen des Grundwassers aus den atmosphärischen Niederschlägen herrührt, und behauptet, daß die Ergänzung des Grundwassers ausschließlich durch Verdichtung des in der unterirdischen Atmosphäre gelösten Wasserdampfes erfolgt. Sie geht von der bekannten Tatsache aus, daß die atmosphärische Luft nur eine ganz bestimmte, mit zunehmender Temperatur wachsende Menge von Wasser in Gestalt von Wasserdampf enthalten kann, und daß nach erfolgter Sättigung bei Herabminderung der Temperatur eine Ausscheidung des überschüssigen Wasserdampfes in fester Form erfolgt; weiter von der Tatsache, daß die Atmosphäre nicht an der Erdoberfläche endigt, sondern sich unter ihr fortsetzt, alle Hohlräume der Gesteine völlig erfüllend. Da nun aber die Zunahme der Temperatur erst in einer gewissen Tiefe unter der Erdoberfläche beginnt, und da weiter infolge von barometrischen Schwankungen, Temperaturunterschieden und Zusammensetzungsverschiedenheiten ein ununterbrochener und lebhafter Austausch zwischen der äußeren und der unterirdischen Atmosphäre stattfindet, so muß naturgemäß in den Zeiten, in denen eine wärmere, mit Wasserdampf beladene Luft die kühleren Erdschichten passiert, eine Verdichtung eines Teiles dieses Dampfes erfolgen. Ich gebe im folgenden eine tabellarische Zusammenstellung der Wassermenge, die bei vollständiger Sättigung in einem Kubikmeter Luft bei verschiedenen Temperaturen enthalten sein kann, und der Wassermenge, die bei Abkühlung um eine bestimmte Anzahl von Graden zur Ausscheidung gelangen muß.

Temperatur	— 10°	— 5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°
Höchster Wasserdampfgehalt in Grammen im cbm	2,3	3,4	4,9	6,8	9,4	12,7	17,1	22,8
Bei einer Abkühlung um 5° werden ausgeschieden		1,1	1,5	1,9	2,6	3,3	4,4	5,7

Die Abkühlung gesättigter Luft von 25° auf 10° führt also zur Ausscheidung von 13,4 g Wasser aus einem Kubikmeter, oder zur Kondensation von 1 l Wasser müssen rund 75 cbm Luft diesen Abkühlungsvorgang durchmachen. Es handelt sich also um dieselbe Verdichtung und Verflüssigung des Wasserdampfes unterhalb der Erdoberfläche, die wir an ihr selbst als Tau und Reifbildung und an den Fenstern unserer Wohnungen als Beschlag flüssiger Wassertröpfchen beobachten. Haedicke¹⁾ hat gezeigt, wie man diese Art der Entstehung flüssigen Wassers als eleganten Vorlesungsversuch vorführen kann.

Auf der Schale einer geeigneten Wage befindet sich ein mit trockenem Sande oder einem anderen entsprechenden Material gefüllter Glas- oder Blechzylinder, dessen Inhalt möglichst kühl zu halten ist. Er ist aus diesem Grunde von einer Kupferschlange durchzogen, deren Ablauf in einen Becher führt. Mit Hilfe eines leicht beweglichen Schlauches ist die Kühlschlange mit einem Behälter verbunden, der mit einer Kältemischung gefüllt ist. An drei Thermometern kann man die Temperatur dieser Kältemischung, des ablaufenden Kühlwassers und des Inhaltes des Zylinders beobachten. Die Menge des kondensierten Wassers ist an dem Ausschlag der Schalen zu erkennen. Bei einem Inhalt von 5 cbdm erhält man unter günstigen Umständen bis zu 4 g die Stunde, also genügend, um die Kondensation während des Vortrages mit Sicherheit nachweisen zu können.

Hochinteressant ist bei diesem Versuch die energische Wirkung der Diffusion²⁾. Um den trockenen Sand am Herausfallen zu hindern, muß der Zylinder naturgemäß luftdurchlässig abgeschlossen werden. Aus diesem Grunde befindet sich auf dem Sande zuerst eine Scheibe von einem ganz losen Gewebe, dann eine solche von Drahtgewebe und hierauf ein mit einigen Löchern versehener Holzdeckel. Durch diesen Abschluß kommuniziert also die Luft im Innern des Zylinders mit der äußeren; und trotz dieses Abschlusses ergänzt sich durch die Wirkung der Diffusion die Feuchtigkeit in dem eingeschlossenen Sande nach Maßgabe der Kondensation.

Ein kleines Beispiel mag dies erläutern. Die Luft im Zimmer habe einen Taupunkt von 10° , d. h. sie beginnt, auf 10° abgekühlt, Wasser abzusetzen; bei einer Außentemperatur von 10° würden die Fenster beschlagen. Nach der Tabelle enthält sie unter diesen Verhältnissen 9,4 g Wasser in einem Kubikmeter. Beträgt nun die Temperatur im Sandzylinder 7° , so stellt sich der Feuchtigkeitsgehalt der darin enthaltenen Luft nach der Tabelle auf 7,5 g. Sie muß also

¹⁾ H. Haedicke, Die Entstehung des Grundwassers. Bayr. Industrie- und Gewerbeblatt 1907.

²⁾ Dieses Gebiet wird in interessanter Weise behandelt von Metzger, Die Dampfkraft als Ursache der Grundwasserbildung.

9,4—7,5 = 1,9 g Wasser abgeben, weil sie bei 7° nicht mehr als 7,5 g/cbm zu halten vermag. Nun beträgt aber der Inhalt des Sandzylinders nur 5 cbdm. Rechnet man die Poren zu 40%, was für eine Korngröße bis zu etwa 1 mm zutreffen würde, so haben wir es mit $0,4 \cdot 5 = 0,2 \text{ cbdm} = 0,0002 \text{ cbm}$ Luft zu tun, die also nur $0,0002 \cdot 1,9 = 0,00038 \text{ g}$ Wasser abzusetzen imstande sind. Bei einer beobachteten Gewichtszunahme von 4 g würde also der Wasserinhalt von etwa dem 11000fachen Inhalt des Sandzylinders, also von 2,1 cbm Luft durch die Wirkung der Diffusion in den Sandzylinder hineinwandern müssen, um die beobachtete Gewichtszunahme von 4 g zu veranlassen. Oder — wenn wir den weiteren Vergleich mit dem Inhalt des Sandzylinders umgehen wollen: um 4 g Wasser unter den angegebenen Feuchtigkeits- bzw. Temperaturverhältnissen zu erhalten, brauchen wir $\frac{4}{1,9} = 2,1 \text{ cbm}$ Luft.

Neuerdings hat Prof. Dr. Meydenbauer¹⁾ in Godesberg in richtiger Würdigung der Bedeutung der Kondensationstheorie versucht, die unleugbaren Schwächen der Volgerschen Theorie durch die folgende Annahme zu beseitigen: nach ihm wird die Luftfeuchtigkeit nicht durch eigentliches Wassergas gebildet, sondern durch die sog. „Dunstabälle“, die kugelförmig sind und durchaus aus flüssigem Wasser bestehen; aus solchen Dunstabällen, deren Durchmesser von 0,02 bis 0,006 mm wechselt, bestehen alle Wolkenelemente nach den Forschungen von Aßmann u. a. Sie bleiben infolge gegenseitiger Abstoßung frei in der Luft schweben; kommen sie aber mit ihr in den Boden, so schlagen sie sich durch Adhäsion auf der Oberfläche der einzelnen Bodenteilchen dann nieder, wenn deren Wandungen sich so weit nähern, daß die ihnen aufsitzenden dünnen Wasserschichten zusammenfließen und sich zu flüssigem Wasser vereinigen können. Er schreibt am angeführten Orte:

„Es ist die Form der Zwischenräume innerhalb eines aus Teilstücken zusammengesetzten Körpers, die das Ansammeln von Dunstabällen und das Auftreten von Feuchtigkeit und tropfbarem Wasser aus der freien Luft bewirkt. Die Dunstabälle haben die mit Übergang aus dem Gaszustand in den tropfbaren Zustand verbundene Wärmeabgabe schon vollzogen. Sie sind entstanden bei Abkühlung wasserhaltiger Luft durch Ausstrahlung oder bei Begegnung mit kälteren Luftschichten, welche die freiwerdende Wärme aufnehmen. Damit ist der gegen die Annahme Volgers vom Niederschlag der atmosphärischen Feuchtigkeit als Ursache des Grundwassers erhobene Einwand hinfällig geworden, und es steht der weiteren Verfolgung der Tatsache nichts mehr im Wege. Die Bildung des Niederschlages hat mit Wärmewirkungen nichts mehr zu

¹⁾ Die Entstehung des Grundwassers. Zeitschr. des Verbandes deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine, Jahrg. 1, Nr. 5, 1912, S. 41.

tun und ist nur abhängig gemacht von der Menge und Größe der in der Luft schwebenden Dunstbälle, sowie der für ihren stetig vor sich gehenden Niederschlag gegebenen Zeit. Der auf der Erdoberfläche stattfindende Niederschlag durch Regen ist dabei völlig gleichgültig und wirkt ganz für sich. Er verläuft nur in unseren Klimaten mit dem Niederschlag im Boden ziemlich parallel. Eine Verwechslung beider ist um so eher möglich, als die Ergebnisse sich häufig im Grundwasser vereinigen. Wem der Hauptanteil daran zuzuschreiben ist, hängt sehr von örtlichen Verhältnissen ab, und ist bei fließenden Gewässern überhaupt nicht mehr zu entscheiden.“

Es würden also besonders feinporige, aber durchlässige Gesteine sich für diese Art der stetig und unabhängig von Temperaturunterschieden vor sich gehenden Kondensation besonders eignen. Es ist dabei auch daran zu denken, daß bestimmte Gesteine im Pflaster, in Hauswänden usw. bei feuchter Luft, also bei geringem oder gar nicht vorhandenem Sättigungsdefizit naß werden, während andere Gesteine zur gleichen Zeit völlig trocken bleiben.

Die Anhänger der beiden skizzierten Theorien über die Erzeugung des Grundwassers stellen sich z. T. auf einen höchst einseitigen Standpunkt. Die völlige Ausschließung der einen Theorie durch die Anhänger der anderen muß aber selbstverständlich ein Irrtum sein. Wissen wir doch nur zu gut, daß auf beide angegebenen Weisen Wasser in die Erde hineingelangen oder in ihr erzeugt werden kann; es kann sich also nur darum handeln, die relativen Mengen beider abzuschätzen oder ein Urteil darüber zu gewinnen, welche Art der Grundwassererneuerung in einem bestimmten Gebiete die wichtigere Rolle spielt.

In stark zerklüfteten Kalk- und Sandsteingebirgen sehen wir, wie alle Niederschläge sofort im Boden verschwinden. Hier spielt also der oberirdische Abfluß keine große Rolle und die Verdunstung kann nur kurze Zeit wirken. Wir haben also in solchen Gebirgen Fälle, in denen ein außerordentlich großer Bruchteil des Wassers zur Speisung des Grundwassers Verwendung findet. Andererseits sind eine Reihe von Beispielen bekannt, in denen tatsächlich eine Kondensation von Wasserdampf in unterirdischen Hohlräumen stattfindet. Das beste Beispiel bieten die bekannten Eishöhlen, deren Eiswachstum ja ganz und gar auf diesem Vorgang beruht. Wenn wir aber zu einer Würdigung der relativen Mengen des Grundwassers kommen wollen, die auf beide Erscheinungen zurückzuführen sind, so stehen wir da einer außerordentlich großen Schwierigkeit gegenüber, weil es bis heute noch keine Möglichkeit gibt, exakte Messungen in dieser Hinsicht vorzunehmen.

Ein zweiter Umstand, der gegen die ausschließliche Anwendbarkeit der Versickerungstheorie spricht, ist der, daß in zahlreichen Fällen die Beobachtung gemacht worden ist, daß ein Ansteigen des Grundwassers

auch dann eintritt, wenn keine Niederschläge erfolgt sind, sondern wenn nur eine niederschlagsarme Periode trüben Wetters mit hohem Sättigungsgrade der Luft geherrscht hat. Es ist klar, daß dann die Bedingungen für die Kondensation außerordentlich günstig, für die Infiltration aber die denkbar schlechtesten sind, und daß ein in solchen Perioden erfolgreicher Anstieg des Grundwassers sehr zugunsten des Mitwirkens der Kondensation spricht.

Ein dritter nicht minder wichtiger Umstand ist folgender: In einer Anzahl von Fällen ist bereits der Nachweis gelungen, daß die einem ganz bestimmten Niederschlags- und Einzugsgebiet entsprechenden Abflußmengen größer sind als die in dem betreffenden Gebiete fallenden Niederschläge, oder doch ihnen mindestens so nahe kommen, daß für die Verdunstung und für den Verbrauch durch die Vegetation nur sehr wenig übrig bleibt. So hat Intze für das 4,5 qkm umfassende Niederschlagsgebiet der Remscheider Talsperre eine die Niederschläge übertreffende Ablaufmenge festgestellt¹⁾, und Stille hat uns gezeigt, daß der Abfluß der Paderquellen hinter der gesamten Niederschlagsmenge ihres Einzugsgebietes so wenig zurückbleibt, daß die Differenz für den notwendig anzunehmenden Verdunstungsbetrag viel zu gering ist. Andererseits hat er das Einzugsgebiet der Paderquellen so genau begrenzen können, daß ein Übertritt von Wasser aus benachbarten, nicht mit in Rechnung gezogenen Gebieten ausgeschlossen erscheint. Da aber, wie wir oben sahen, der Anspruch, den die Verdunstung an die Niederschläge macht, sehr erheblich ist, so ergibt sich ein Defizit, welches nur durch eine andere Art der Grundwasserernährung zu erklären ist. Herr Prof. Dr. Stille hat mir brieflich seine Übereinstimmung mit diesen Ausführungen mitgeteilt und schreibt, daß er nur in der Kondensation im Volgerschen Sinne eine Möglichkeit für die Erzeugung dieses Wasserüberschusses erblicken könne.

Besonders geeignet für solche Untersuchungen, die in größerem Umfange, als dies bisher geschehen ist, zur Ausführung kommen sollten, sind natürlich solche wasserspendenden Gebiete, bei denen durch die Oberflächengestaltung eine scharfe Begrenzung des Niederschlagsgebietes gegeben und durch den geologischen Bau die Möglichkeit ausgeschlossen ist, daß Wasser aus Gebieten außerhalb des Niederschlagsgebietes auf unterirdischem Wege zutreten kann. Solche Gebiete sind isolierte aus durchlässigem oder klüftigem Gestein bestehende Berge oder Hügel, die von undurchlässigen Gesteinen so unterlagert werden, daß die obere Grenze des undurchlässigen Gesteins eine geschlossene Linie an der Erdoberfläche bildet, das Nährgebiet also vollkommen isoliert ist. Fernere

¹⁾ Im März 1888 fielen 762300 cbm Niederschläge, während der offene Abfluß 800630 cbm betrug.

Voraussetzung ist, daß der Wasserinhalt eines solchen Gebietes in einer oder wenigen gut meßbaren Quellen abfließt. Muldenförmig gelagerte Kalksteine auf undurchlässiger, ringsum freier Unterlage, oder klüftige

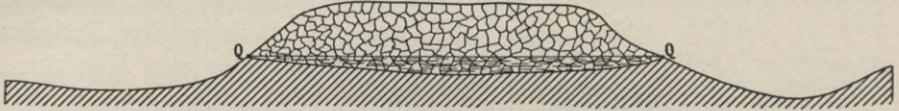


Fig. 48

Eruptivmassen in einer Lagerung, wie sie der Querschnitt (Fig. 48) andeutet, bieten für solche Untersuchungen die beste Gelegenheit.

Einige sehr lehrreiche Beispiele führt Haedicke¹⁾ aus dem Sauerlande an, nämlich einige Bergkuppen von äußerst beschränktem Umfange,

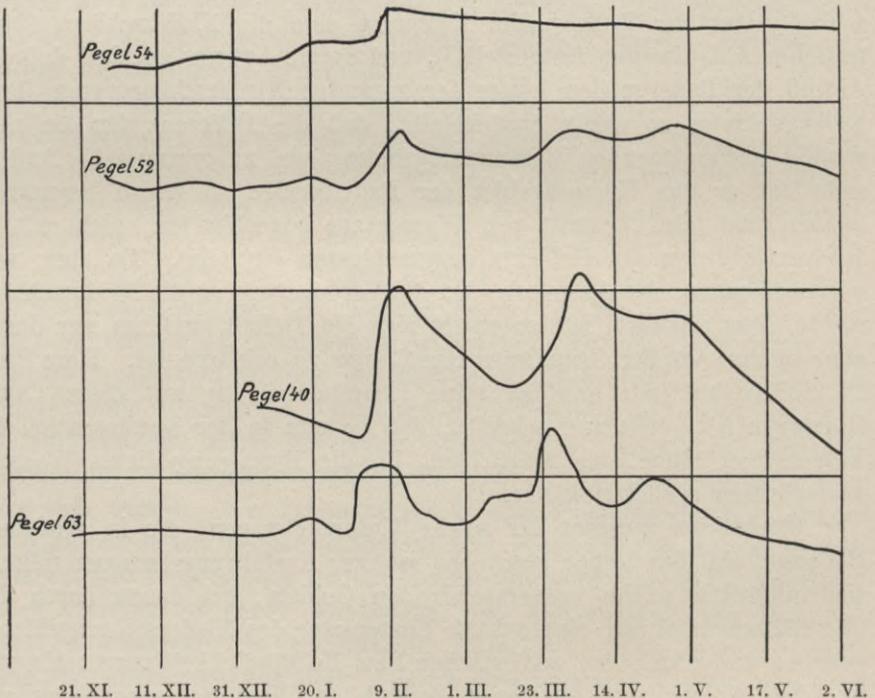


Fig. 49

denen aber immerfort, auch in langen Trockenperioden, Quellen entfließen, ohne daß die Möglichkeit eines Zufließens von Wasser aus entferntem Gebiete vorläge. Dahin gehört die Lahnquelle auf dem Lahnkopfe, die Lennequelle auf dem Astenberge und die Siegquelle. Das Niederschlagsgebiet der Lahnquelle beträgt nur $\frac{1}{4}$ qkm und ist teils mit

¹⁾ Haedicke, a. a. O.

Wiese, teils mit Wald bedeckt, so daß die Infiltration nur eine sehr geringe Rolle spielen kann. Leider liegen für diese und ähnliche Gebiete mit sehr beschränktem Nährgebiete und reichlichem und andauerndem Quellenabflusse noch keinerlei zahlenmäßige Feststellungen der Niederschläge und des Quellenabflusses vor.

Es ist ferner von Wichtigkeit, daß man bisweilen in einem größeren Gebiete ein plötzliches rapides Ansteigen des Grundwassers innerhalb weniger Tage beobachten kann, für welches weder die Niederschläge noch aus weiterer Entfernung heranströmendes Grundwasser zur Erklärung herangezogen werden kann. So beobachtete ich in der Niederlausitz ein an zahlreichen Beobachtungspunkten in Pegelbohrlöchern genau festgestelltes rapides Ansteigen des Grundwassers um 3—8 Dezimeter, entsprechend einer Wasserschicht von 120—320 mm, also bis zur Hälfte des gesamten Jahresniederschlages in der ersten Februardekade. Ich gebe die Grundwasserkurven von vier solchen Pegelbohrlöchern, die die Gleichzeitigkeit und Plötzlichkeit der Erscheinung deutlich erkennen lassen, in Fig. 49.

Wie wichtig aber das Studium dieser Frage ist, welche enorm praktische Bedeutung ihre Lösung besitzt, erhellt schon aus der einfachen Betrachtung, daß in einem durch Kondensation entstandenen Grundwasser die Anwesenheit von Keimen ausgeschlossen sein muß, die der Anhänger der reinen Versickerungstheorie überall argwöhnen muß. Liegt doch auch in der großen Armut vieler unserer Grundwässer an Keimen schon allein ein schwerwiegendes Argument zugunsten der Kondensation und gegen die ausschließliche Versickerung.

Wir kommen also zu dem Schluß, daß beide Theorien unzweifelhaft ihre Berechtigung haben und beide Entstehungsarten des unterirdischen Wassers nebeneinander existieren.

16. Kapitel

Die Formen des Wassers im Boden

Das Wasser tritt im Boden in drei Aggregatzuständen auf, in fester, flüssiger und gasförmiger Gestalt, außerdem noch chemisch gebunden. In der festen Form, als Eis, lernen wir es in unserm Klima in jedem Winter als eine vorübergehende Erscheinung der oberen Erdschichten kennen. In weit größerem Umfange aber begegnet uns das Eis in jenen Gebieten, in denen die mittlere Temperatur unter den Gefrierpunkt sinkt, also im nördlichen Asien und im nördlichen Amerika. Hier kennen wir große Gebiete, in denen bis zu Tiefen von 100 m alles im Boden vorhandene Wasser gefroren ist und den losen Boden als natürliches Zement in ein Felsgestein umgewandelt hat, welches mit dem

Namen Steineis bezeichnet wird. Infolge der Sonnenbestrahlung taut im Sommer die oberste Schicht dieses Steineises regelmäßig auf, so daß selbst in solchen Gebieten eine üppige Vegetation und das Auftreten von Wäldern möglich ist.

Eine zweite Form, in der das Eis unter der Erdoberfläche auftritt, ist die Anhäufung in Hohlräumen des Erdkörpers, die als Eishöhlen bezeichnet werden. Allen diesen Eishöhlen gemeinsam ist eine Öffnung, die sich im obersten Teile des Hohlraumes befindet. Infolgedessen fällt die jeweils kälteste Außenluft durch die Öffnung in die Höhle hinein und verdrängt die in ihr befindliche wärmere Luft, so daß schließlich im Laufe eines jeden Jahres eine mit der Temperatur des kältesten Tages beladene Luft den Sieg in der Höhle behaupten wird. Wärmere Luft kann nicht eintreten, die kühlere Luft kann nicht entweichen, und nur sehr langsam findet durch die enge Öffnung ein Austausch der Wärmeverhältnisse statt. Infolgedessen liegt die Temperatur einer solchen Höhle, nachdem einmal ihre Wandungen eine genügende Abkühlung erfahren haben, während des größten Teiles des Jahres unter dem Gefrierpunkte, und ein Teil des Wasserdampfes muß zur Abscheidung gelangen. Diese Abscheidung erfolgt, wenn auch in geringem Umfange, durch lange Zeiträume hindurch und ergibt eine Anhäufung von Eis, die viele Meter Mächtigkeit erreichen kann.

Die Richtigkeit dieser Auffassung wird bestätigt durch das Vorhandensein künstlicher Eishöhlen, in denen sich der Prozeß der Eisbildung durch Kondensation unter unseren Augen vollzieht. Dahin gehören die heute als Kühlkeller zahlreicher Brauereien benutzten ehemaligen unterirdischen Steinbrüche in dem Lavastrome bei Niedermendig in der Eifel.

Das flüssige Wasser kommt in zweierlei Formen im Boden vor: einmal in kapillarer Form als unendlich dünner Überzug der einzelnen Hohlraumwandungen aller Gesteine bis zu einer gewissen Tiefe hinab, (vergl. den letzten Satz auf dieser Seite und den Schluß von Kapitel 17), und sodann in tropfbarflüssiger Form. Der Unterschied beider besteht darin, daß das tropfbarflüssige Wasser die Hohlräume der Gesteine völlig erfüllt, während das kapillare Wasser sie nur als unfühlbaren Hauch überkleidet. Dieses kapillar in den Gesteinen vorhandene Wasser wird mit dem Namen Bergfeuchtigkeit bezeichnet und spielt eine sehr wichtige Rolle in der Technik (vergl. die Bemerkungen auf S. 106). Die Bergfeuchtigkeit scheint auf die obersten Schichten der Erdkruste bis zu einer Tiefe von höchstens 1 km beschränkt zu sein, da in dieser oder vielerorts schon in geringerer Tiefe alle Gesteine staubtrocken zu sein pflegen¹⁾.

¹⁾ Weinschenk, Gesteinskunde.

Nur die tropfbarflüssige Form des Wassers im Boden ist Gegenstand der Grundwasser- und Quellenkunde. Aber das Kapillarwasser spielt trotzdem eine erhebliche Rolle, da es, wie wir gesehen haben, an der Verminderung des Wasserschatzes der Erde und an seiner Zuführung zur Vegetation stark beteiligt ist.

Das gasförmige Wasser haben wir in seinem einen Teile, nämlich in dem in der atmosphärischen Luft durch Verdunstung erzeugten Wasserdampf schon kennen gelernt. Dazu kommt aber noch eine zweite Form des Wasserdampfes, die nicht durch Verdunstung, sondern durch Erhitzung des Wassers erzeugt wird. Dieser Anteil des Wasserdampfes befindet sich in aufsteigender Bewegung, er kommt aus der Tiefe der Erde aus den magmatischen Herden, in denen sich das mit Flüssigkeit gesättigte Magma in flüssigem Zustande befindet und wird dann nach dem Vorschlage von Ed. Süëß als juveniles Wasser bezeichnet, oder entsteht durch Einwirkung der erhöhten Tiefentemperatur auf absteigendes Grundwasser. Die bei der Entgasung des Magmas freiwerdenden Stoffe, vor allen Dingen der Wasserdampf, gelangen auf Klüften und Spalten in höhere Erdschichten und kommen in den meisten Fällen mit dem dort zirkulierenden Grundwasser zusammen, auf das sie ihrerseits ihre Hitze übertragen. Bei der Besprechung der heißen Quellen werden wir diesen Mechanismus im einzelnen kennen lernen.

Die Annahme, das glutflüssige Magma sei mit Wasser und Gasen gesättigt, ist neuerdings von A. Brun¹⁾ bezüglich des Wassers energisch bestritten worden. Während man bis vor kurzem allgemein annahm, daß unter den reinvulkanischen gasförmigen Exhalationen der Wasserdampf die wichtigste Rolle spiele, nach Deville sogar zu 99% darin vertreten sei, sucht Brun nachzuweisen, daß alle diese Gasausströmungen ursprünglich völlig wasserfrei seien; alles in ihrer Begleitung auftretende Wasser sei meteorischen Ursprunges und entweder in die Tiefe eingedrungenes und bei Berührung mit dem Magma in Dampf verwandeltes Sickerwasser oder aus der umgebenden feuchten Atmosphäre aufgenommen. Bisher hat die Brunsche neue Lehre noch keine allgemeine Anerkennung, wohl aber vielfachen Widerspruch gefunden.

Die letzte Form, das chemisch gebundene Wasser, welches in fester chemischer Verbindung in den wasserhaltigen Silikaten und Salzen auftritt, sowie in zahlreichen organischen Verbindungen enthalten ist, ist für uns nicht von Bedeutung.

¹⁾ Recherches sur l'exhalaison volcanique. Genf 1911.

2. Physikalisches Verhalten der Gesteine an sich gegenüber dem Wasser

17. Kapitel

Wasseraufnahmefähigkeit und Leitungsvermögen der Gesteine

Nach ihrer Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, festzuhalten und weiterzuleiten, können wir unsere Gesteine in eine Reihe von Gruppen einteilen, die mit solchen Gesteinen beginnt, die das Wasser weder in nennenswerten Mengen aufzunehmen, noch weiterzuleiten vermögen, und mit solchen endigt, die große Mengen von Wasser aufschlucken und es mit Leichtigkeit weiter fortleiten können.

	Liter im cbm
Quarz und Quarzit . . .	0,08
Gips	1,5
Feldspat	0,1
Feuerstein	0,12
Granit	0,5— 8,6
Serpentin	5,6
Syenit	5,6—13,8
Gabbro	6,0— 7,0
Porphyr	4,0—13,0
Basalt	6,3— 9,5
Marmor	1,1— 5,9
Tonschiefer	5,4— 7,0
Kieselschiefer	8,5— 9,1
Gneis	3,0

1. Einen ausgezeichneten Typus der ersten Gruppe stellt der Granit dar. Wenn man ein frisch dem Steinbruch entnommenes Stück Granit wägt und es nach völligem Abtrocknen an der Luft abermals wägt, so erhält man eine kleine Gewichtsabnahme, die auf das aus dem Gestein entwichene Wasser zurückzuführen ist. Dieses im Gestein enthaltene Wasser wird mit dem Namen Bergfeuchtigkeit bezeichnet und ist allen Gesteinen, allerdings in verschiedener Menge, eigen. Diese Bergfeuchtigkeit beeinflusst wesentlich die technischen Eigenschaften des Gesteins. Die meisten Gesteine sind viel leichter bearbeitbar, viel bequemer in bestimmte Formen zu bringen (Pflastersteine, Schieferplatten), wenn sie noch ihre Bergfeuchtigkeit besitzen. Auch die Härte des Gesteins ist im bergfeuchten Zustande vielfach eine viel geringere als im trockenen, so daß viele Sandsteine, Schiefer, Tuffe u. a. sich im

bergfeuchten Zustände leicht mit der Säge schneiden lassen, der sie sonst einen energischen Widerstand entgegensetzen. Die Menge des Wassers, welche ein Mineral oder Gestein in dieser Form aufzunehmen vermag, ist schwankend. Die vorstehende Tabelle nach Lueger (Die Wasserversorgung der Städte, I, S. 217) gibt einen Überblick über diese Erscheinung:

Zu diesen als undurchlässig und als außerordentlich wenig wasseraufnahmefähig zu bezeichnenden Gesteinen gehören alle unsere hohlraumfreien massigen kristallinen Eruptivgesteine und die weit-aus meisten metamorphen kristallinen Schiefer, sowie alle kristallinen Sedimentgesteine, z. B. der Marmor und der Quarzit.

2. Eine zweite Gruppe von Gesteinen wird von solchen gebildet, die das Wasser in erheblichen Mengen aufzunehmen vermögen, aber nicht imstande sind, es weiterzuleiten. Ein typisches Beispiel ist der plastische Ton. Wenn wir einen Würfel von völlig lufttrockenem Ton mit Wasser betropfen, so wird dieses begierig aufgesaugt und verschwindet sofort, während gleichzeitig der Tonwürfel an Kantenlänge zunimmt. Mit dieser Zugabe von Wasser kann man bis zu einem gewissen Moment fortfahren, bis zu dem Augenblick nämlich, in welchem der Ton das Maximum von Wasser, welches er zu beherbergen vermag, in sich aufgenommen hat. Jeder folgende Tropfen, der jetzt noch hinzukommt, dringt nicht mehr in den Ton ein, sondern bleibt auf der Oberfläche des Würfels als Flüssigkeit stehen, und auf seiner Unterseite fließt kein Tropfen Wasser ab. Der Ton hält also das aufgenommene Wasser außerordentlich energisch fest und wird durch Aufnahme einer ganz bestimmten Wassermenge gegenüber neuem Wasser zu einem vollständig undurchlässigen Gestein. Die Wassermasse, die von derartigen Gesteinen aufgenommen werden kann, ist außerordentlich viel größer als die der kristallinen undurchlässigen Gesteine. Die durchschnittliche Wasseraufnahmefähigkeit unserer tonigen Gesteine liegt zwischen 30 und 50%. Zu dieser Gruppe gehören nicht nur die reinen plastischen Tone, sondern auch eine große Anzahl von tonigen Gesteinen, die andere Beimengungen enthalten und dadurch in ihrem petrographischen Charakter wesentlich beeinflusst werden. So vermögen die Tone eine sehr große Menge von Sand aufzunehmen und zwar mehr als die Hälfte ihres Gesamtgewichts, ohne die Eigenschaft der Wasserundurchlässigkeit zu verlieren. Durch Aufnahme von fein verteiltem kohlen-sauren Kalk gehen die Tone in Mergel über. Auch diese Veränderung beeinflusst die Wasseraufnahmefähigkeit höchstens in günstigem Sinne, und dasselbe ist der Fall, wenn bei der Aufnahme von Dolomit und Gips eine Umänderung des Tones in Dolomitmergel und Gipsmergel erfolgt. So nimmt Flammenmergel und Liasmergel 475 Liter, ein kieselhaltiger Ton von Bresse sogar 525 Liter pro cbm auf.

Daß alle diese Gesteine trotz ihrer großen Wasseraufnahmefähigkeit undurchlässig sind, hat seine Ursache darin, daß infolge der außerordentlichen Kleinheit ihrer Hohlräume das aufgenommene Wasser kapillar mit großer Energie festgehalten wird. Diese wasserhaltende Kraft kann aber durch entsprechenden Druck, z. B. einer darüber lastenden Wassersäule, mehr oder weniger überwunden werden und dann erlangen selbst solche Gesteine einen gewissen Grad von Durchlässigkeit. So erklärt es sich, daß rings von Ton umschlossen Sandlinsen mit Wasser gefüllt sein können. Theoretisch gibt es also tatsächlich keine absolut undurchlässigen Gesteine, aber für die Zwecke der Praxis kann man ihnen die Bezeichnung undurchlässig ruhig belassen.

Es gibt aber noch eine zweite Art von Gesteinen, die die gleichen Eigenschaften wie die Tone besitzen, nämlich die organischen Humusgesteine, der Torf und die Braunkohle. Beide besitzen eine ganz außerordentlich große Wasseraufnahmefähigkeit, welche mehr als die Hälfte des Gewichts im bergfeuchten Zustande betragen kann, und beide sind nach völliger Sättigung mit Wasser weiterem Wasser gegenüber außerordentlich wenig leitungsfähig. In frisch angelegten Torfstichen kann man beobachten, daß die Grube bis mehrere Meter unter dem Grundwasserspiegel trocken niedergebracht werden kann, während in einer älteren benachbarten, nur durch eine 3 dm dicke Zwischenwand getrennten Grube das Wasser bis nahe an die Oberfläche reicht; erst nach Tagen oder Wochen vermag es die dünne trennende Wand zu durchdringen oder von unten nachzudringen, ein Beweis für die ungewöhnlich schlechte Wasserleitungsfähigkeit des Torfes.

3. Eine dritte Gruppe wird gebildet von Gesteinen, die das Wasser ebenfalls mit großer Begier und in großen Mengen aufschlucken, aber beim Hinzukommen von immer neuen Wassermassen dieselben, der Schwere folgend, langsam nach unten hin entweichen lassen. Solche Gesteine besitzen also ein langsames Leitungsvermögen für das flüssige Wasser. Ein gutes Beispiel bildet unter den festen Gesteinen die Schreibkreide, unter den losen Gesteinen der Löß. Die Schreibkreide vermag je nach ihrer wechselnden Zusammensetzung 144—439 Liter Wasser im cbm aufzunehmen und es dann beim Hinzukommen weiterer Mengen fortzuleiten, allerdings so langsam, daß für die Zurücklegung einer Vertikalstrecke von 1 m etwa zwei Tage Zeit erforderlich sind. Auch die oolithischen Kalksteine besitzen ein sehr erhebliches Wasseraufnahmevermögen (136 bis 170 Liter im cbm), manche Dolomite sogar über 200 Liter, wogegen dichte Kalksteine und Dolomite nur 15—25 Liter im cbm aufzunehmen vermögen.

Noch viel größer ist die Wasseraufnahmefähigkeit des Lösses. Er vermag die Hälfte seines Volumens zu verschlucken, aber infolge der

großen Feinheit seiner einzelnen Körner erfolgt auch bei ihm die Weiterbeförderung des Wassers in die Tiefe nur mit großer Langsamkeit.

Es scheint indessen, als ob aus dem Löß überhaupt kein Wasser an den tieferen Untergrund abgegeben wird, oder höchstens dann, wenn die Mächtigkeit der Lößdecke nur einige dm beträgt; bei größerer Mächtigkeit scheint alles vom Löß aufgenommene Wasser in ihm unter dem Einflusse der Verdunstung, der Kapillarität und der wasserverbrauchenden Vegetation in der Lößdecke selbst in bald auf- bald absteigender Bewegung sich zu befinden.

4. Die vierte Gruppe von Gesteinen endlich sind die leicht durchlässigen, die große Wassermengen aufzunehmen und mit Leichtigkeit fortzuleiten vermögen. Zu ihnen gehören alle im Kapitel 3 behandelten Trümmergesteine, soweit ihre Korngröße über ein bestimmtes Maß hinausgeht.

Wenn man Sande der verschiedensten Korngröße auf ihre Durchlässigkeit gegenüber dem Wasser prüft, so findet man, daß bei einer ganz bestimmten Größe der einzelnen Körner eine vollständige Umkehrung der physikalischen Eigenschaften eintritt, und zwar liegt nach den Versuchen von Atterberg diese Grenze bei 0,2—0,1 mm. Während alle diese Korngröße übertreffenden Sande das Wasser leicht durchlassen, sind die Sande von der genannten Korngröße an abwärts dem Wasser gegenüber zunächst schwer durchlässig und dann fast vollständig undurchlässig, sobald sie sich selbst mit Wasser vollständig gesättigt haben. Diese Eigenschaft hängt naturgemäß zusammen mit der Größe der Poren, die bei diesem Korndurchmesser nur noch die Aufnahme von kapillarem Wasser ermöglicht. Infolgedessen können wir unsere sandigen Bildungen direkt in durchlässige und undurchlässige nach der Korngröße einteilen. Der Grad der Durchlässigkeit ist, wie schon daraus hervorgeht, ebenfalls abhängig von der Korngröße des Trümmergesteins. Ein Gestein ist also um so leichter durchlässig, das Wasser bewegt sich in ihm um so schneller, je größer die einzelnen Elemente sind.

Dagegen ist die Wasseraufnahmefähigkeit bei losen Sanden von der Korngröße verhältnismäßig wenig abhängig, solange die einzelnen Körner einigermaßen gleiche Größe besitzen. Sie beträgt:

für Kies von 4—7 mm Durchmesser	. 367 l im cbm
für Feinkies von 2—4 mm Durchmesser	360 l „ „
für Grobsand von 1—2 mm Durchmesser	360 l „ „
für mittelkörnigen Sand von $\frac{1}{4}$ —1 mm Durchmesser 396 l „ „
für feinen Sand unter $\frac{1}{4}$ mm Durchmesser	420 l „ „

In den zu Sandsteinen verkitteten Sanden ist die Wasseraufnahmefähigkeit durchaus abhängig von der Art der im Kapitel 2 besprochenen

Kornbindung, d. h. von der Größe und Beschaffenheit der Hohlräume, und schwankt zwischen 6,2 und 269 Liter, so daß unter diesen Gesteinen sich alle Übergänge von fast undurchlässigen und nahezu wasserfreien bis zu äußerst aufnahmefähigen und leicht leitenden Bildungen befinden.

Auch die Geschwindigkeit, mit welcher sich ein in einem Grundwasserträger ausgehobenes Loch mit Wasser füllt, ist ein gutes Kennzeichen für seine geringere oder größere Durchlässigkeit. In einem groben Kiese füllt sich das Loch während des Grabens und in demselben Momente mit Wasser, in welchem der Spaten den Kies aushebt, während man in feinen, namentlich aber in lehmigen Sanden bis zu erheblicher Tiefe, bisweilen einen halben Meter und mehr unter dem Grundwasserspiegel in anscheinend trockenem Boden gräbt. Erst ganz allmählich entstehen an den Wandungen der gegrabenen Öffnung feine Wasserfäden, die sich im untersten Teile langsam sammeln, aber erst nach 24 Stunden oder mehr einen Beharrungszustand ihres Spiegels erreichen. Messungen solcher künstlich freigelegten Wasserspiegel sollten deshalb immer erst zwei Tage nach der Aufgrabung erfolgen, abgesehen natürlich von den Fällen, wo der Wasserträger ganz grob ist.

Wie außerordentlich bedeutungsvoll diese Eigenschaften der Wasserdurchlässigkeit und Wasserundurchlässigkeit sind, haben uns zahlreiche technische Unternehmungen der letzten Jahrzehnte gezeigt, beispielsweise die Tunnelbauten. Bei der Ausführung des Mont Cenis-Tunnels wurden die jenen Berg zusammensetzenden kristallinen Gesteine so wasserarm angetroffen, daß das für den Bohrbetrieb erforderliche Wasser von außen hineintransportiert werden mußte, während bei andern Bauten, vor allem bei dem zuletzt ausgeführten Simplon-Tunnel, die zuzutenden Wassermengen die Ausführung des Baues gerade in seiner letzten Periode fast in Frage stellten. Die Arbeiten für eine Versuchsstrecke eines einmal zwischen Frankreich und England geplanten Tunnels unter dem Kanal wurden in der tönigen Kreide vorgetrieben, die den Untergrund des Kanals bildet, und zwar so, daß das Dach des Tunnels nur durch eine wenige Meter mächtige Gesteinsschicht von dem Wasser des Kanals getrennt war. Trotz des gewaltigen darauf lastenden Wasserdruckes kam nicht ein einziger Tropfen Wasser durch diese Gesteinsschicht hindurch.

Auch in den Schiefertönen der Steinkohlenformation in England hat man solche Beobachtungen an Stellen gemacht, wo die Strecken unter dem Meeresspiegel vorgetrieben sind und so wenig weit vom Meeresboden entfernt liegen, daß man in der Grube das Rollen des Brandungsgerölles hören kann. Auch hier dringt trotz der großen Nähe des Meeres nicht ein Tropfen Wasser in die Strecken ein.

Es hat übrigens den Anschein, daß die Wasserführung der Gesteine nicht in ungemessene Tiefen in die Erde hinuntergeht, sondern

daß sie in einer an den verschiedenen Stellen nicht übereinstimmenden Tiefe nach unten hin endigt, wahrscheinlich weil der gewaltige Gebirgsdruck die Poren und Klüfte des Gesteins so vollständig zum Schluß bringt, daß alle Gesteine praktisch undurchlässig werden. So hat man z. B. in den tiefen Gruben von Prziham die Beobachtung gemacht, daß von einer Tiefe von 800 m an die Wasserführung in den Gesteinen ein Ende hat.

18. Kapitel Die Kapillarität

Wenn man eine dünn ausgezogene Glasröhre in ein Gefäß mit gefärbtem Wasser eintaucht, so erkennt man, daß innerhalb der Röhre das Wasser über den eigentlichen Wasserspiegel des Gefäßes emporsteigt, und bei der Wahl von Haarröhrchen verschiedenen Durchmessers erkennt man ebenso leicht, daß der Aufstieg des Wassers in den einzelnen Röhrchen um so größer ist, je dünner dieselben sind. Für die Höhe, bis zu welcher das Wasser in einer solchen Röhre aufzusteigen vermag, ist in erster Reihe deren Durchmesser, in zweiter Reihe die Temperatur maßgebend. Nennen wir den Durchmesser d , die Temperatur nach Celsius t , so ist die Steighöhe $h = \frac{30(1-0,002t)}{d}$, wobei h und d in Millimetern ausgedrückt sind. Für eine Röhre von 1 mm Durchmesser und 15° C ergibt sich $h = \frac{30(1-0,03)}{1} = 29,1$, oder wenn wir t nicht berücksichtigen, $= 30$ mm. Bei $\frac{1}{10}$ mm Röhrendurchmesser und gleicher Temperatur erhebt sich die Steighöhe auf 291 cm. Einer Steighöhe von rund 3 m würde also theoretisch ein Durchmesser des kapillaren Hohlraumes von $\frac{1}{100}$ mm entsprechen.

Die Eigenschaft der Gesteine, das Wasser in feinen Hohlräumen über seinen Spiegel hinaus, der Schwerkraft entgegen, emporzuziehen, wird mit dem Namen Kapillarität bezeichnet. Ihren Betrag bei den natürlichen Gesteinen und Bodenarten festzustellen ist rechnerisch naturgemäß nicht möglich, weil die Größe der kapillaren Hohlräume in einem und demselben Gebilde außerordentlich mannigfaltig ist; wohl aber gibt es Mittel, die Kapillarität experimentell zu bestimmen. Man benutzt zu diesem Zwecke die in der folgenden Figur 50 gegebene Anordnung, in welcher 100 cm lange Röhren von 2 cm lichtigem Durchmesser am unteren Rande mit feinem Mull verschlossen sind, der durch einen Kautschukring festgehalten wird. Die Röhren werden unter gelindem Aufklopfen mit völlig lufttrockenem Boden (Sand, Kies, Ton) gefüllt und alsdann in senkrechter Stellung 1 bis 2 cm tief in eine mit Wasser gefüllte Glaswanne B eingesenkt. Um ein freies Schweben des unteren

Röhrenendes im Wasser zu ermöglichen, wird in entsprechender Höhe ein Kautschukring E über die Röhren gezogen. Nun beobachtet man, wie das Aufsteigen des Wassers in den Kapillaren erfolgt, was in allen Fällen an den Färbungsunterschieden des benetzten und unbenetzten Bodens leicht zu erkennen ist. Dieses Aufsteigen erfolgt zuerst schnell, dann immer langsamer. Der wahre Betrag der Kapillarität ist erst dann erreicht, wenn innerhalb 24 Stunden ein weiterer Anstieg nicht mehr erfolgt.

Aus den theoretischen Ausführungen geht hervor, daß die Einwirkung der Kapillarität um so höher ist, je kleiner der Durchmesser der einzelnen das Gestein zusammensetzenden Stückchen ist. In den

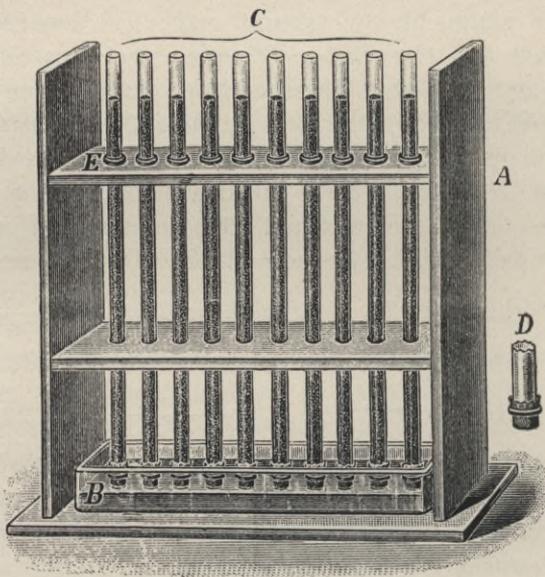


Fig. 50

groben Schotter- und Kiesbildungen hört die Kapillarität beinahe auf, wirksam zu sein; ihre obere Grenze liegt bei einem Durchmesser der kleinsten Körner von etwa 5 mm. Dagegen erlangt in den mittelkörnigen Sanden, in denen Körner von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{10}$ mm Durchmesser sich mengen, die Kapillarität bereits eine derartige Kraft, daß der Aufstieg des Wassers hier bis zu 0,4 m betragen kann. Werden die Sande noch feiner oder etwas tonig, so steigt der Betrag der Kapillarität bis zu 1 m an. In rein tonigen Gesteinen beobachtet man Werte bis nahezu 2 m, und noch höhere bei solchen Böden, die im Ton noch größere Mengen organischer Humusstoffe enthalten. In ihnen wird das Wasser oft über 2 m hoch emporgehoben.

Nach den Untersuchungen von Atterberg¹⁾ beträgt die Kapillarität bei einem Körnerdurchmesser des Sandes von

5,0—2,0 mm . . .	25 mm
2,0—1,0 „ . . .	66 „
1,0—0,5 „ . . .	131 „
0,5—0,2 „ . . .	246 „
0,2—0,1 „ . . .	428 „
0,1—0,05 „ . . .	1055 „
0,05—0,02 „ . . .	1860 „

Es ist klar, daß diese Eigenschaft der Kapillarität, die dem Versinken des Wassers im Boden entgegenarbeitet und dieses an der Oberfläche festhält, für die Vegetation von außerordentlicher Bedeutung ist, insofern, als sie bei mäßiger Tiefe des Grundwassers in trockenen Zeiten die für die Pflanzen unentbehrlichen Wassermengen aus der Tiefe emporhebt, was in Böden wegfällt, in denen die Kapillarität nicht wirksam sein kann oder gering ist. Dagegen ist eine den Betrag der Kapillarität erheblich überschreitende Lage des Grundwasserspiegels unter den tiefst reichenden Pflanzenwurzeln für die Vegetation natürlich ganz bedeutungslos, ein Umstand, der vielfach verkannt wird und deshalb im Interesse der Land- und Forstwirtschaft zu ungerechtfertigten Einsprüchen gegen Wasserentnahmen aus großen Tiefen und zu jeder Grundlage entbehrenden Rechtsstreiten geführt hat. In den gröberen Gesteinen überwiegt die Wirkung der Schwerkraft demnach die Kapillarität ganz bedeutend, während es sich in den tonigen Böden umgekehrt verhält.

19. Kapitel

Das Porenvolumen der Gesteine und seine Bestimmung

Die Wasseraufnahmefähigkeit eines jeden Gesteins ist unmittelbar abhängig von der Größe der Hohlräume, die sich in ihm finden. Das Verhältnis zwischen einer bestimmten Gesteinsmasse und den von ihr eingeschlossenen Hohlräumen kann entweder nach dem Gewicht, besser aber nach dem Volumen bestimmt werden. Das Gewichtsvolumen eines Gesteins bestimmt sich nach der Formel: $\frac{p_2 - p_1}{p_1}$, darin bezeichnet p_1 das Trockengewicht einer bestimmten Gesteinsmenge und p_2 das Gewicht der gleichen Menge vollständig mit Wasser gesättigten Gesteins. Haben wir beispielsweise die ein Gefäß erfüllende Sandmenge zu 700 g und

¹⁾ Atterberg, Die rationelle Klassifikation der Sande und Kiese. Chemiker-Zeitung 1905, Nr. 15.

das Gewicht derselben vollkommen mit Wasser gesättigten Sandmenge zu 1000 g ermittelt, so ergibt sich nach dieser Formel $\frac{1000-700}{700} = \frac{3}{7}$,

d. h. der Sand vermag $\frac{3}{7}$ seines Gewichtes an Wasser zu beherbergen. Zur Bestimmung des allein brauchbaren Porenvolumens bedient man sich

der Formel $\frac{v_{II}}{v_I}$, darin bezeichnet v_I das Volumen der Gesteinsmenge

und v_{II} das Volumen der von ihr aufgenommenen Wassermasse. Fülle ich beispielsweise ein Gefäß von 1 Liter = 1000 ccm Inhalt mit trockenem Sand und fülle dann so lange Wasser zu, bis dessen Spiegel mit der Oberfläche des Gefäßes genau abschneidet, so kann ich, wenn ich das zugegebene Wasserquantum beispielsweise zu 400 ccm ermittelt habe, feststellen, daß das Porenvolumen des Sandes $\frac{400}{1000} = \frac{4}{10} = 40\%$

beträgt. Die Aufnahmefähigkeit der Gesteine für Wasser ist von größter Bedeutung und schwankt innerhalb ganz außerordentlicher Grenzen. Am geringsten ist sie bei Graniten, kristallinem Marmor, Tonschiefern, Kieselschiefern und dichten Sandsteinen, in denen sie weniger als 10 ccm in 1 cbcm beträgt. In lockeren Sandsteinen beträgt dieser Wert zwischen 100 und 300, in den meisten nicht kristallinen Kalksteinen zwischen 100 und 200, in der Kreide von 200 bis über 400, in Kiesen und Sanden zwischen 360 und 420 und in manchen sandig-lehmigen Böden bis zu 550 ccm im cbcm.

Die Bestimmung des Porenvolumens in wasseraufnahmefähigen Gesteinen ist häufig mit Schwierigkeiten insofern verknüpft, als die Bestimmung des Volumens der Versuchsprobe schwierig ist. Man kann sich in diesem Falle so helfen, daß man z. B. bei Löß sich 2 Stücke von gleichem Gewichte, das wegen der unvermeidlichen Fehlerquellen nicht zu klein sein darf (wenigstens $\frac{1}{2}$ kg), schneidet. Das eine Stück zerbricht man in kleine Stücke und führt diese in einen Meßzylinder ein, der einen Liter faßt und bis 500 ccm mit Wasser gefüllt ist. Der Löß zerfällt im Wasser, die in ihm eingeschlossene Luft entweicht und der Wasserspiegel steigt um eben so viel an, wie der Festraum des eingeführten Löß beträgt. Diese Zahl in ccm ausgedrückt nennen wir a. Dann geben wir aus einem graduierten Gefäße auf das zweite Stück Löß tropfenweise so lange Wasser zu, bis der Löß vollständig mit Wasser gesättigt ist. Die dazu erforderliche ccm-Zahl nennen wir b. $a + b$ ist dann das Rohvolumen der Lößprobe und $\frac{b}{a + b}$ das Porenvolumen.

Eine Zusammenstellung des Porenvolumens einer größeren Zahl von lockeren Gesteinen gibt Wintgens¹⁾:

¹⁾ Beitrag zur Geologie von Nordholland. 1911, S. 68.

Grober Flußsand	25—14	0/0
Sandkörner, gleich groß	37	„
„ ungleich groß	29	„
Sehr grober Sand mit Kies	38	„
Grenzwerte für Sand	40—28	„
Mittelkies Durchmesser 7 mm	37	„
Feinkies „ 4 „	36	„
Grobsand „ 2 „	36	„
Mittelsand „ 1 „	40	„
Feinsand „ $\frac{1}{3}$ „	42	„
Weißer ausgeglühter Sand	24—23	„
Feiner grauer Lehm	34	„
Grober dunkelfarbiger Lehm	31	„
Brauner Ton	44	„
Schwarzer humoser Ton	37	„
Schwarze Gartenerde	28	„
Ton	50	„
Ton (30 ^{0/0}) unter 3 Atm. Druck	23	„
Schwerer Y-Ton	50	„
Sehr toniger Boden	46	„
Humusarmer toniger Boden	48	„
Humusarmer, sandiger Lehmboden	50	„

Nach einer indirekten Methode kann man das Porenvolumen ermitteln, wenn man zunächst das spezifische Gewicht des Gesteins und alsdann sein Volumengewicht feststellt. Das spezifische Gewicht eines Bodens wird nach einer besonderen Methode mittels eines Pyknometers bestimmt, wohingegen man das Volumen- oder Litergewicht eines Bodens in folgender Weise ermittelt: Man füllt einen 100 Kubikzentimeter enthaltenden Meßzylinder mit lufttrockenem, in seiner natürlichen Beschaffenheit unverändertem Boden, den man in kleinen Portionen hineinbringt und durch sanftes Aufschlagen des Gefäßes auf eine Korkunterlage so lange verdichtet, bis eine Volumenverringernng nicht mehr stattfindet. Ein solches Verfahren ist naturgemäß nur möglich bei einem nicht übermäßig tonigen und nicht übermäßig humosen Boden, vor allem bequem also bei Schottern, Kiesen und Sanden der verschiedensten Korngrößen. Zugleich bestimmt man von einer besonderen Probe das bei 100° C entweichende hygroskopische Wasser und ermittelt nun durch Wägung das Gewicht der Substanz, zieht davon den Anteil des hygroskopischen Wassers ab und erhält durch Multiplikation mit 10 das Gewicht eines Liters des Bodens. Dividiert man dieses durch das Gewicht des gleichen Volumens Wasser, so erhält man das scheinbare spezifische Gewicht. Dividiert man dieses scheinbare spezifische Gewicht des Bodens durch

das wirkliche, so drückt der Quotient die Porosität, d. h. das Porenvolumen des Bodens aus, also die Räume, welche bei Böden von trockener Beschaffenheit durch Luftteilchen eingenommen werden.

20. Kapitel

Die Bestimmung des Grundwassergefälles

Das Gefälle des Grundwassers. Zur Bestimmung des Grundwassergefälles ist es nötig, die Oberfläche des Grundwasserspiegels innerhalb des zu untersuchenden Gebietes an einer größeren Anzahl von Stellen, deren Zahl von der Gleichmäßigkeit der Neigung der Grundwasseroberfläche abhängt, zu untersuchen. Diese Beobachtungen sind entweder in vorhandenen Brunnen anzustellen oder, wenn diese nicht in genügender Zahl vorhanden sind, in besonders zu diesem Zwecke niedergebrachten, verrohrten Bohrlöchern. Letztere sind dann selbstverständlich in planmäßiger Weise so anzusetzen, daß sie die zu untersuchende Fläche mit einem gleichmäßigen Netze überdecken; alsdann wird durch Nivellement die Lage der Terrainoberkanten bei jedem Bohrloche oder Brunnen festgestellt und hierauf die Tiefenlage des Wasserspiegels unter der Terrainoberfläche gemessen.

Man kann sich dazu der verschiedensten Methoden bedienen. Bei geringer Tiefe des Grundwassers und weitem, offenem Brunnenschacht genügt häufig die unmittelbare Messung mit einem Zentimeterbandmaß oder einem Zentimetermaße oder auch mit einer gewöhnlichen Stange, an der man dann die ermittelte Tiefe nachmessen kann. Für tiefe Brunnen und für Bohrlöcher sind dagegen andere Hilfsmittel anzuwenden. In Bohrlöchern kann man bei geringer Tiefe sich mit bestem Erfolg eines Schwimmers mit aufgesetzter hölzerner Meßstange bedienen. Die Einteilung der Meßstange ist so angeordnet, daß ihr Nullpunkt mit der Eintauchebene des Schwimmers zusammenfällt. Letzterer ist ein zylindrischer, unten halbkugelförmiger Kupferhohlkörper, der unmittelbar mit der Meßstange verbunden ist. In tieferen Bohrlöchern und Brunnen verfährt man entweder so, daß man an einem Zentimetermeßband von genügender Länge einen schweren zylindrischen Körper, ein Uhrgewicht oder ähnliches anhängt, und nun das Meßband so lange abrollen läßt, bis die Unterseite des Lotes eben die Oberfläche des Wassers berührt.

In offenen Brunnen kann man, selbst bei großer Tiefe diesen Moment deutlich an der Kräuselung der Wasseroberfläche erkennen. Bei Bohrlöchern, tiefen Brunnen oder solchen mit sehr kleiner Öffnung kann man bei Sonnenlicht sich mit Vorteil eines Spiegels bedienen, mit dessen Hilfe man einen Sonnenstrahl in den Brunnen oder das Bohrloch hineinfallen läßt, wobei man die leiseste Bewegung der Wasser-

oberfläche beim Aufstoßen des Meßapparates auf dieser deutlich wahrnehmen kann.

Ist die Verwendung dieses Hilfsmittels nicht möglich, so benutzt man zur Tiefenmessung die sogenannte Wasserpfeife (Fig. 51)¹⁾. Sie besteht aus einem hohlen, unten offenen, oben mit einer Pfeifenöffnung versehenen Metallzylinder, dessen Außenwand von Zentimeter zu Zentimeter mit wasseraufnahmefähigen Rillen versehen ist. Beim Eintauchen in das Wasser wird die Luft verdichtet, entweicht durch die Pfeifenöffnung und erzeugt einen deutlich wahrnehmbaren Pfiff. Man läßt den Apparat an der Kette, die von Meter zu Meter mit unterscheidenden Merkmalen versehen ist und deren Nullpunkt mit dem Nullpunkt der Pfeife zusammenfällt, schnell in das Wasser hinunter, bis der Pfiff ertönt. Alsdann stellt man an der Kette die Tiefe fest, zieht heraus und addiert zu der ermittelten Tiefe die unterhalb des Nullpunktes gelegene Zahl der nicht mit Wasser gefüllten Rillen. Ist der Apparat zu tief eingetaucht und sind alle Rillen gefüllt, so trocknet man ihn ab und wiederholt die Messung ein zweites Mal, wobei man, nach den Erfahrungen des ersten Versuches, in der Lage sein wird, die Kette an der gewünschten Stelle anzuhalten.

Muß man sich in unvorhergesehenen Fällen mit einfachen Hilfsmitteln begnügen, so kann man einen Bindfaden nehmen, an dessen unteren Teil eine Stange angebunden wird, und diese mit Kreide bestreichen. Die Eintauchtiefe ergibt sich dann leicht aus dem Gegensatz zwischen der in feuchtem Zustande grauen, in trockenem weißen Farbe der Kreide. Auch kann man das untere Ende der Stange mit Zeitungspapier umwickeln, an dem man ebenfalls an der Durchfeuchtung genau erkennen kann, wie tief es eingetaucht war.

Durch unmittelbare Messung kann man nur die relative Lage des Grundwasserspiegels unter der Erdoberfläche feststellen. Um für mehrere Brunnen oder für ein größeres Gebiet vergleichbare Werte zu erhalten, muß man alle Werte auf einen gemeinsamen Nullpunkt beziehen.

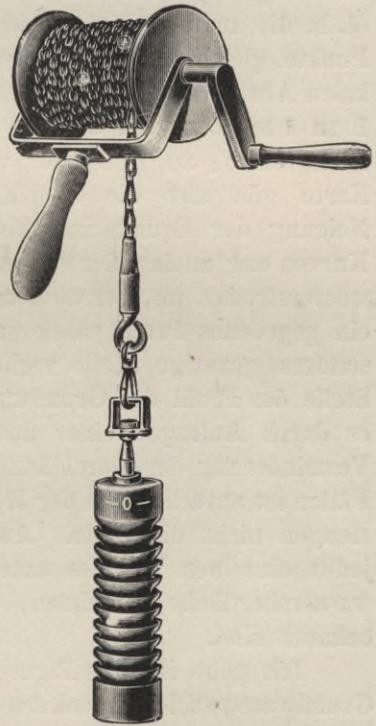


Fig. 51

¹⁾ Zu beziehen von P. Altmann, Berlin N, Louisenstr.

Am besten ist es, dabei von Normal-Null auszugehen und durch ein Nivellement, beginnend an dem nächstgelegenen trigonometrischen Punkte, die Höhenlage sämtlicher Punkte festzulegen, auf die die einzelnen Wasserbohrungen sich beziehen. Ist kein auf N. N. bezogener Ausgangspunkt in der Nähe vorhanden, so begnügt man sich mit einem angenommenen Nullpunkt, indem man irgend einen künstlichen oder natürlichen festen Punkt inmitten des zu untersuchenden Gebietes als Nullpunkt annimmt und auf ihn alle ermittelten Werte bezieht.

Nach diesen beiden Zahlenwerten berechnet man die absolute Höhenlage des ermittelten Grundwasserspiegels für die einzelnen Orte (d. h. die auf den Meeresspiegel bezogene Höhe) und verbindet nun die Punkte gleichen Grundwasserstandes durch Linien von gleichem vertikalen Abstände, also beispielsweise durch solche von 5 zu 5 m oder von 1 zu 1 m, oder bei dichtem Beobachtungsnetze und geringem Gefälle auch von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ m oder von Dezimeter zu Dezimeter. Eine solche Karte gibt also die Oberfläche, die Richtung und den Grad der Neigung der Grundwasserwelle für das betreffende Gebiet. Wo die Kurven eng aneinander rücken, zeigen sie ein starkes Gefälle des Grundwasserstromes an, verraten also, daß hier bedeutendere Wassermengen ein gegebenes Profil passieren, und daß eine zur Wasserentnahme besonders günstige Stelle vorliegt, oder aber, daß an der betreffenden Stelle das Profil des Grundwasserträgers eine Verkleinerung erfährt, sei es durch Aufragen einer undurchlässigen Gesteinsbarre, sei es durch Verminderung der Durchlässigkeit des Wasserträgers. In diesen beiden Fällen ist natürlich von der Möglichkeit der Gewinnung größerer Wassermengen nicht die Rede. Aus einer solchen Karte läßt sich dann für jeden einzelnen Teil des untersuchten Gebietes das Gefälle der Grundwasseroberfläche berechnen, da ja nunmehr Neigung und Entfernung bekannt sind.

Ich gebe in den Figuren 52 und 53 zwei Beispiele von solchen Grundwasserschichtlinienkarten. Figur 52 stellt das Gebiet des Zentralfriedhofes bei Stahnsdorf im Südwesten von Berlin im Maßstabe von 1 : 15000 mit Grundwasserschichtlinien im Abstände von 25 zu 25 cm dar. Das Gebiet ist in der denkbar vollkommensten Weise hydrographisch untersucht worden, nämlich durch 54 auch in unserer Fig. 52 eingetragene Bohrungen, die in einem Quadratnetze mit gegenseitigem Abstände von 200 m niedergebracht und ein Jahr lang durch wöchentliche Messungen in bezug auf die Schwankungen des Wasserspiegels untersucht sind. Diese Karte gibt die Grundwasserverhältnisse eines diluvialen, also aus glazialen Schichten aufgebauten, verhältnismäßig kleinen Hochflächenstückes an. Die zweite Karte (Fig. 53) zeigt die Bewegung des Grundwassers in einem der großen norddeutschen Urstromtäler in 1 : 100000. Es handelt sich um den als „Fiener Bruch“

bezeichneten westlichsten Teil des Glogau-Baruther Urstromtales zwischen Ziesar und Genthin in der Provinz Sachsen. Als Unterlage der Schichtliniendarstellung dient das Generalstabsblatt Burg. Die das Urstromtal begrenzenden diluvialen Hochflächen sind durch schräge Schraffierung von diesem unterschieden. Die Schichtlinien folgen einander in Abständen von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ m, während sie in der Originalkarte (A. Thiem, Vorarbeiten zur Wasserversorgung der Stadt Magdeburg, 1901) in 1 : 50000 einander in Abständen von 10 zu 10 cm folgen.

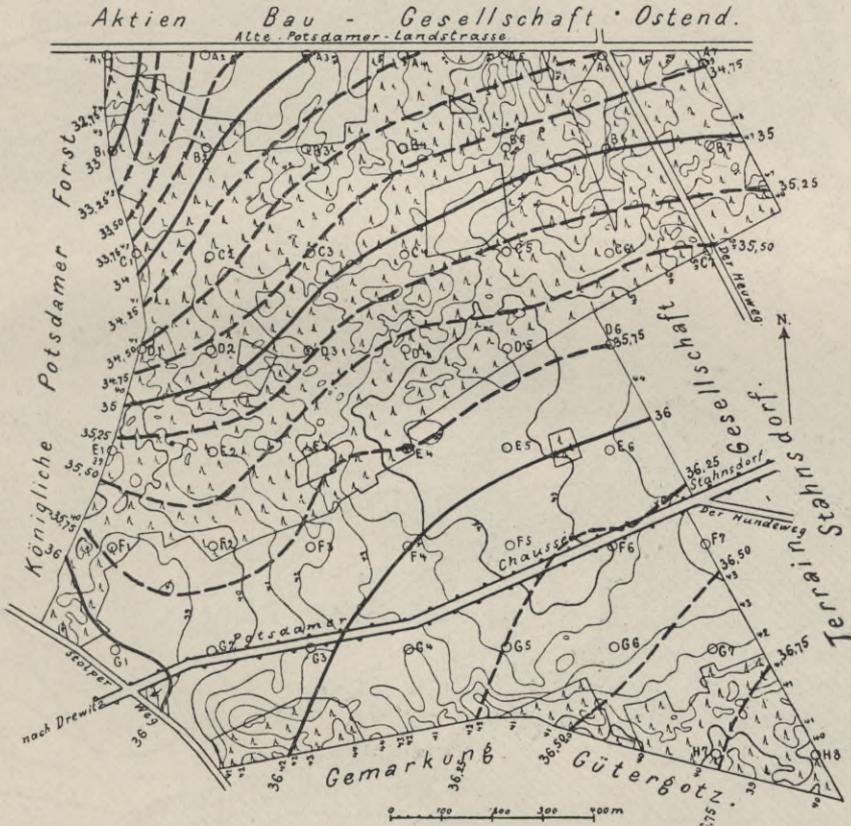


Fig. 52. Grundwasserhöhenlinien im Gebiete des Zentralfriedhofes bei Stahnsdorf, südwestlich von Berlin von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ m. Maßstab 1 : 15000.

Man ist nicht immer in der Lage, in so genauer Weise und für ein so großes Gebiet Richtung und Gefälle des Grundwassers zu bestimmen, weil häufig die für die zahlreichen Bohrungen erforderlichen Geldmittel nicht zur Verfügung stehen. In diesem Falle kann man beide Werte ermitteln durch drei Bohrlöcher, die nicht in einer Geraden liegen, nach dem Satze, daß die Lage einer Ebene im Raume durch drei nicht in einer Geraden liegende Punkte bestimmt wird. Den Abstand dieser

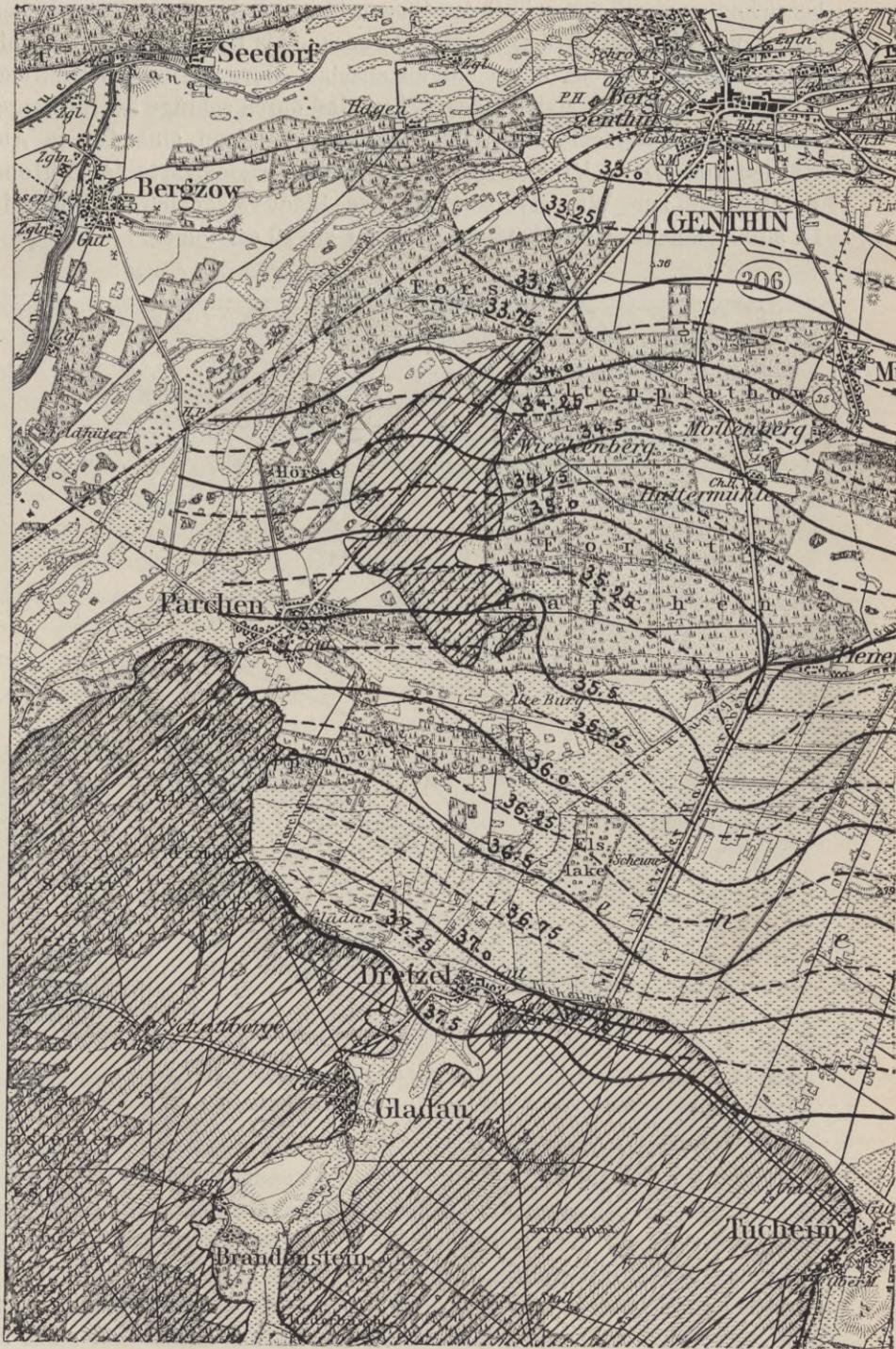
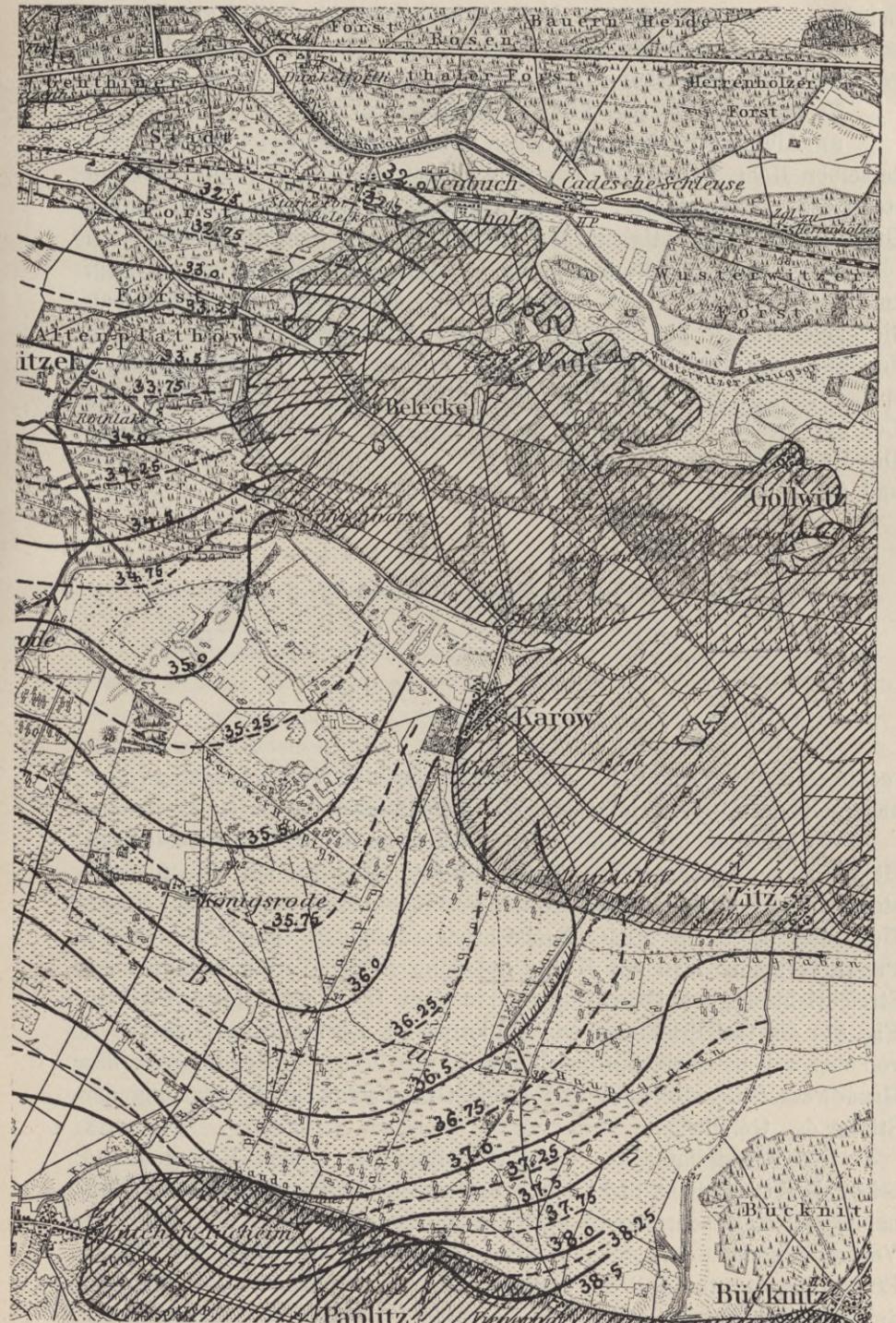


Fig. 53. Grundwasserhöhenlinien von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ m im Gebiete



des Fiener Bruches bei Genthin. Maßstab 1 : 100 000

Bohrlöcher darf man nicht zu klein, jedenfalls nicht unter 50 m wählen, um nicht bei zu geringen Spiegelunterschieden den Meßfehlern einen zu großen Einfluß einzuräumen.

Es sind alsdann drei Fälle möglich:

a) Alle drei Punkte zeigen den Grundwasserspiegel in vollkommen derselben Höhe. Daraus läßt sich schließen, daß das Grundwasser ein stehendes Becken bildet, dessen Ergiebigkeit naturgemäß von seiner Größe und der Mächtigkeit der wasserführenden Schicht abhängig ist.

b) An zwei Punkten liegt die Grundwasseroberfläche gleich hoch, am dritten dagegen höher oder tiefer. In diesem Falle verbindet man die beiden Punkte gleicher Höhe A und B miteinander und hat dann in der Richtung der Verbindungslinie das Streichen des Grundwasserspiegels, d. h. die Lage einer Horizontalen in seiner Oberfläche. Ein Lot auf dieser Linie ergibt uns die Richtung des Gefälles (Fig. 54). Die Höhendifferenz des Wasserspiegels zwischen dem dritten Punkte C und den beiden gleich hohen Punkten A und B einerseits und der lot-

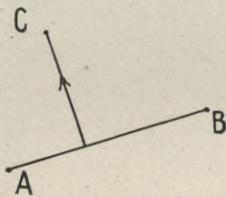


Fig. 54

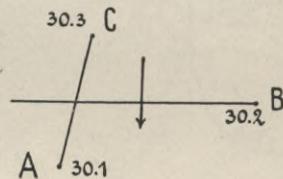


Fig. 55

rechte Abstand des dritten Punktes C von der Verbindungslinie A B andererseits gestatten in einfachster Weise die Berechnung des Gefällwinkels.

c) An allen drei Punkten liegt das Grundwasser in verschiedener Höhe. Man verbindet (Fig. 55) den höchsten Punkt C mit dem niedrigsten Punkte A und ermittelt auf der Verbindungslinie den Punkt, dessen Höhe derjenigen des dritten Beobachtungspunktes B entspricht. Diesen Punkt verbindet man mit B und hat dann in der Verbindungslinie die Streichrichtung des Grundwassers, in dem Lot darauf (dem Pfeil in Fig. 55) die Gefällrichtung und im lotrechten Abstände des Punktes A von dieser konstruierten Streichlinie, sowie in der Höhendifferenz des Grundwasserspiegels bei A und B die Grundlagen zur Bestimmung der Stärke des Gefälles.

Die Feststellung des Grundwassergefälles, seines Betrages und seiner Richtung dient nicht allein der zweckmäßigen Auswahl der Entnahmestellen, sondern kann auch für die Erkennung der Herkunft von Verunreinigungen und für die Vermeidung solcher Verwendung finden. Einen interessanten Fall der ersten Art erwähnt H. Höfer: Der Brunnen der Eisenbahnstation Wolfsberg (Kärnten), welcher zur Speisung der Lokomotiven diente, führte ein ungewöhnlich hartes Wasser, das härter

war, als das der Brunnen im nachbarlichen unteren Stadtteile. Mittels der geodätischen Methode (durch Konstruktion der Grundwasserschichtlinien) wurde die Stromrichtung bestimmt, welche vom Bahnbrunnen aufwärts auf eine kleine Mulde führte, in welcher die Asche von Schwefelkies führender Kohle abgelagert wurde. Der Regen und das Schmelzwasser des Schnees laugten aus dieser Halde die Sulfate, insbesondere Gips aus und führten sie dem Grundwasser zu. Man verlegte den Bahnbrunnen abseits von dieser Stromrichtung, und die früheren großen Schwierigkeiten wegen der starken Kesselsteinbildung der Lokomotiven waren behoben.

In ähnlicher Weise kann man bei geplanten Wasserversorgungen nach Ermittlung der Strömungsrichtung erkennen, ob in ihr stromaufwärts irgendwelche Anlagen vorhanden sind, die die Beschaffenheit des Grundwassers ungünstig beeinflussen können.

21. Kapitel

Die Ermittlung des Reibungswiderstandes der Gesteine

Wenn man das Porenvolumen und die Mächtigkeit des Wasserträgers kennt, so kann man zwar die in einem Grundwassergebiete überhaupt vorhandene Wassermenge berechnen, nicht aber die Menge, welche ein gegebenes Profil in einer gewissen Zeiteinheit durchfließt. Da aber gerade dieser Zahlenwert für viele praktische Zwecke von Bedeutung ist, so müssen wir in eine genauere Betrachtung darüber eintreten, welchen Weg man zu seiner Gewinnung einschlägt. Die Wassermenge, welche ein gegebenes Profil in einem Grundwasserträger in einer Sekunde durchfließt, hängt natürlich, abgesehen vom Gefälle, dessen Ermittlung wir bereits im 20. Kapitel besprochen haben, von dem Betrag der Reibung ab, welche die einzelnen Wasserteilchen im Wasserträger erleiden, und diese wieder von der Größe der einzelnen Teile des Wasserträgers selbst. Es ist von vornherein klar, daß ein Gestein mit größeren Hohlräumen, z. B. ein grober, sandfreier Schotter, viel schneller vom Wasser durchflossen wird als ein feiner Sand, dessen Porenvolumen vielleicht ebenso groß ist wie dasjenige des Schotters. Es muß aber bei der geringen Größe der einzelnen Sandkörner die Reibung so groß werden, daß trotz des großen Porenvolumens die Bewegung des Wassers gehemmt wird. Das ist beispielsweise der Fall bei allen tonigen Gesteinen, die zwar eine große Wassermenge aufnehmen vermögen, aber wegen zu geringer Größe ihrer Poren und der dadurch bedingten starken Reibung nicht imstande sind, das Wasser weiter zu leiten. Die Korngröße, bei welcher letzteres eintritt, liegt

bei 0,1 mm. Alle sandigen Bildungen mit geringerem Korndurchmesser werden also praktisch zu nahezu undurchlässigen Gesteinen.

Eine Berechnung des Reibungswiderstandes ist nur unter der Voraussetzung eines sich völlig gleichbleibenden Wasserträgers möglich, d. h. wenn alle Körner des Sandes gleiche Gestalt und Größe besitzen. Wenn wir uns ein Gefäß mit Kugeln gefüllt denken, so können wir berechnen, wie groß der freie Raum zwischen den Kugeln, also das Porenvolumen ist, und wie groß die Oberflächen der Kugeln sind, die den Widerstand erzeugen und die Bewegung des Wassers beeinflussen. Es berechnet sich das Porenvolumen v in einem solchen Gefäß, wenn Länge l , Breite b und Höhe h gegeben sind, für Kugeln zu $bhl(1-0,73) = 0,27 bhl$. Daraus geht hervor, daß das Porenvolumen von der Größe der Kugeln völlig unabhängig ist. Die Oberfläche der Kugeln f berechnet sich zu $f = n \pi d^2$, worin die Kugeln $= \sqrt{2} \cdot \frac{b l h}{d^3}$ sind. Die

Ausführung dieser Rechnung ergibt $f = 4,44 \cdot \frac{b l h}{d}$. Der Wert d im Divisor zeigt, daß die Summe der Kugeloberflächen nicht mehr vom Kugeldurchmesser unabhängig, sondern ihm umgekehrt proportional ist. Die weitere Verfolgung der Wasserbewegung in einem solchen mit Kugeln erfüllten Kasten lehrt uns, daß die Bewegung des Wassers in einem solchen Medium sich vollzieht, als wenn sie in einer Röhre erfolgte, und daß die Geschwindigkeit der Wasserbewegung nicht von der Größe des Raumes, den die Kugeln einnehmen, abhängt, bezw. von dem gesamten Querschnitt des Grundwasserstromes, sondern von dem Gefälle und dem Durchmesser der Kugeln.

Da nun in der Natur solche Verhältnisse nicht vorkommen, sondern vielmehr immer ein nach Gestalt und Größe ungleichmäßiges Material als Wasserträger vorliegt, können wir im allgemeinen die Geschwindigkeit u des Grundwassers als $k \cdot a$ bezeichnen, wobei a den Gefäll-Quotienten und k einen lediglich durch die Erfahrung gewonnenen oder experimentell zu gewinnenden, von der Größe der Sand- und Kieskörner und dem Mengenverhältnis der größeren und kleineren Körner abhängigen und daher immerfort wechselnden Koeffizienten darstellt. Diese Gleichung kommt der Wahrheit um so näher, je geringer u ist, d. h. je kleiner bei konstantem Gefälle der Wert von k , bezw. der Durchmesser der einzelnen Sandkörner ist. Die praktische Bestimmung von k erfolgt durch Benutzung des zu prüfenden Sandes als Filter (Fig. 56). In einem bei a mit Abfluß versehenen Gefäß, welches in seinem oberen Teile halbiert ist, wird in der einen Hälfte das Filtermaterial eingefüllt, welches durch ein Drahtsieb von dem darunter befindlichen Wasser getrennt wird. Fülle ich das Gefäß bis oben mit Wasser und lasse dann dieses durch a abfließen, so muß eine Druck-

differenz h nötig sein, um das über dem Filtersande stehende Wasser durch den Sand, dessen Höhe gleich l sei, hindurchzupressen. Man kann dann setzen: $h = l\alpha = \frac{l u}{k}$ und $k = \frac{l u}{h}$. Die Geschwindigkeit u läßt sich in diesem Falle beobachten. Hat man nämlich das Porenvolumen des Sandes ermittelt, so ergibt sich daraus die Wasser durchlassende Fläche des Filters, die wir mit F bezeichnen. Multipliziert man diese Fläche mit der Geschwindigkeit, so folgt das pro Sekunde durchfließende Wasserquantum $Q = F u$ und man erhält durch Elimination von u aus den beiden Gleichungen: $k = \frac{1 Q}{F h}$, worin alle Größen bekannt sind.

Es beträgt dieser Wert k beispielsweise für einen Sand von $\frac{1}{4}$ mm Korngröße 0,00025, für einen groben Sand von 2 mm Durchmesser 0,002, und er kann in sandfreien Kiesen mit durchschnittlich 5 cm Durchmesser auf 0,05 steigen.

Hat man den Koeffizienten k bestimmt für ein Material, welches Träger eines Grundwasserstromes ist, so ergibt sich bei einem Gefälle α die Geschwindigkeit u nach der oben bereits angeführten Formel $u = k \alpha$ und die in einem gegebenen Querschnitt passierende Grundwassermenge $Q = F u$, worin F den für die Wasserpassage freien Querschnitt zwischen den einzelnen Körnern des Wasserträgers bedeutet.

Beispiel. Ein Grundwasserstrom bewegt sich auf undurchlässiger Unterlage in einem Neigungsverhältnis 1 : 100, wobei $\alpha = 0,01$ ist, und in einem Schotter, dessen Koeffizient $k = 0,01$ sein soll (Kies von 1 cm Korndurchmesser). Dann ist $u = 0,0001$ m in der Sekunde.

Ist der Schotter 10 m mächtig und hat der Wasserträger quer zur Fließrichtung des Wassers eine Breite von 100 m, so haben wir einen Querschnitt von 100 qm, von dem $\frac{1}{4}$ für das Wasser offen sei, also 250 qm. Dann ist die in der Sekunde abfließende, d. h. das Profil passierende Wassermenge $250 \cdot 0,0001 = 0,025$ cbm. Einem derartigen Grundwasserstrom könnten also täglich $24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,025 = 24 \cdot 90 = 2160$ cbm Wasser entzogen werden.

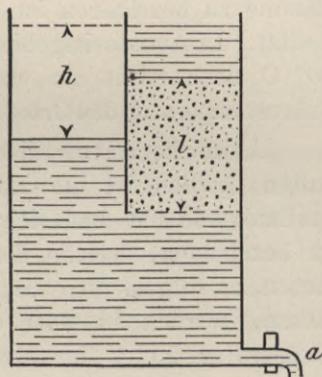


Fig. 56

22. Kapitel

Die Wärmeverhältnisse des Grund- und Quellwassers

Alle Grundwässer und Quellen werden nach ihren Wärmeverhältnissen unterschieden in zwei große Gruppen, je nachdem ihre Temperatur höher ist als die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes oder hinter ihr zurückbleibt. Mit der mittleren Jahrestemperatur stimmt in den meisten Gegenden die Bodentemperatur in einer Tiefe von 20 bis 30 m unter der Erdoberfläche annähernd überein. Infolgedessen ist der Begriff einer warmen Quelle oder eines warmen Grundwassers, der ein solches bezeichnen soll, dessen Temperatur über das Jahresmittel hinausgeht, abhängig von der mittleren Jahreswärme des betreffenden Gebietes und zwar in so großem Umfange, daß in Polargebieten mit einer mittleren Wärme von 0°C ein Wasser als „warm“ oder als Therme zu bezeichnen ist, welches eine gleichmäßige Wärme von 1°C besitzt. In Äquatorialgebieten dagegen können Quellen und Wasser von 20°C noch nicht als warm bezeichnet werden, sobald die mittlere Jahrestemperatur des Ortes ihres Auftretens diesen Betrag noch übersteigt.

Abweichend von dieser geologischen Definition der warmen und kalten Quellen ist die balneologische. In der Bäderkunde und Heilquellenkunde hat man sich daran gewöhnt, nur solche Quellen als warm zu bezeichnen, welche dem Gefühle diesen Eindruck erwecken. Um diesen zu allgemeinen Begriff der balneologischen Thermen genauer zu fassen, werden in dem deutschen Bäderbuch¹⁾ alle Quellen, deren Temperatur 20°C übersteigt, als warme Quellen bezeichnet. Da in dem genannten Buche nur Deutschlands Mineralquellen berücksichtigt sind, so sind die Abweichungen dieser Bestimmung von der geologischen bei weitem nicht so erheblich, wie sie sein würden, wenn auch Polar- und Äquatorialgebiete besprochen wären. Bei dem allgemeinen Charakter dieses Werkes müssen wir uns auf eine allgemeinere Unterscheidung der warmen und kalten Gewässer einigen und deshalb der geologischen Definition den Vorzug geben.

Wenn man Gelegenheit hat, die Temperatur einer Quelle oder eines Grundwassers dauernd zu beobachten, so kann man feststellen, daß ihre Wärme entweder eine gleichmäßige ist oder daß sie schwankt; ersteres Wasser hat Gümbel als heterotherm, letzteres als homotherm bezeichnet. Gleichmäßige Wärme beweist — wenn sie annähernd gleich der mittleren Jahrestemperatur ist —, daß das Wasser sich längere Zeit in einer mäßigen Tiefe unter der Erdoberfläche bewegt hat, in

¹⁾ Deutsches Bäderbuch, bearbeitet unter Mitwirkung des Kaiserl. Gesundheitsamtes. Leipzig, J. J. Weber, 1907.

welcher es den Einflüssen der sommerlichen Wärme und der Kälte des Winters nicht mehr ausgesetzt gewesen ist. Quellen, deren Wärme gleichmäßig ist und unter der mittleren Jahrestemperatur liegt, sind nur möglich, wenn das Wasser stark und dauernd abgekühlte Gebiete passiert hat, wenn es beispielsweise mit Gletschereis oder mit Eisansammlungen in unterirdischen Hohlräumen oder mit den von beiden durchkälten Gesteinen in Berührung gekommen ist. Gleichmäßige Wärme einer Quelle, deren Betrag über das Jahresmittel hinausgeht, zeigt uns an, daß das Wasser Schichten berührt hat, die unterhalb der sogenannten indifferenten Zone liegen (d. i. unter der Zone gleichmäßiger, dem Jahresmittel entsprechender Bodentemperatur).

Regelmäßige Schwankungen in der Temperatur zeigen an, daß sich das Wasser in der Nähe des Beobachtungsortes so nahe unter der Erdoberfläche befunden hat, daß es unter der Einwirkung der Sonnenbestrahlung eine Erwärmung und unter dem Einfluß der Winterkälte eine Abkühlung erfahren hat. Je größer die Schwankungen sind, die während eines Jahres zur Beobachtung gelangen, desto näher muß das beobachtete Wasser der Oberfläche liegen oder vor ganz kurzer Zeit gelegen haben. Fällt die höchste Temperatur des Wassers mit der wärmsten Jahreszeit, die niedrigste mit der kältesten Periode zusammen, so darf man schließen, daß die Beobachtungsstelle sehr nahe an dem Punkte liegt, an welchem die jahreszeitlichen Wärmeschwankungen das Grundwasser am unmittelbarsten beeinflussen, d. h. dem Punkte, an welchem es der Erdoberfläche am meisten genähert ist. Verschieben sich aber die Zeiten, d. h. wird die größte Wärme des Grundwassers erst eine gewisse Zeit nach der größten Erwärmung an der Erdoberfläche beobachtet, die niedrigste Temperatur entsprechend lange nach der kältesten Periode des betreffenden Winters, so ist eine um so größere Entfernung des Beobachtungspunktes von dem Gebiete größter Annäherung des Wassers an die Erdoberfläche anzunehmen, und zwar um so mehr, je größer der Zeitunterschied wird. Ein ausgezeichnetes Beispiel des thermischen Grundwasserverhaltens bieten die Verhältnisse des Stahnsdorfer Südwestfriedhofes bei Berlin. Durch dieses Gebiet bewegt sich ein Grundwasserstrom, dessen Neigungsrichtung aus der schon oben gegebenen Karte (Fig. 52) als eine im allgemeinen süd-nördliche zu erkennen ist. Die nachstehende Karte (Fig. 57) gibt nun an, wie groß die Überdeckung des Grundwassers mit nicht wasserführenden Schichten ist, und zwar geben die starken Linien die Mächtigkeit der Überdeckung von m zu m, entsprechend den diesen Linien beigeetzten Zahlen. Die Karte läßt erkennen, daß diese Bedeckung im südlichen und südwestlichen Teile des Geländes am geringsten (unter 3 m), im nördlichen Teile dagegen am größten (9—14 m) ist. Die Karte Fig. 58 endlich gibt die Wärmeschwankungen für das ganze Gebiet durch Linien

gleicher Temperaturschwankungen und zwar von Grad zu Grad an. Außerdem ist der Betrag der Wärmeschwankungen an jedem einzelnen Beobachtungspunkte (diese sind über die ganze Fläche in gegenseitigen Abständen von 200 m verteilt) in Fig. 58 eingeschrieben. Ein Vergleich dieser und der vorhergehenden Figur läßt erkennen, daß die Wärmeschwankungen um so größer sind, je geringer die Überdeckung des Grundwassers ist (z. B. $7\frac{1}{4}^{\circ}$ bei Bohrloch G_1 bei einer Überdeckung

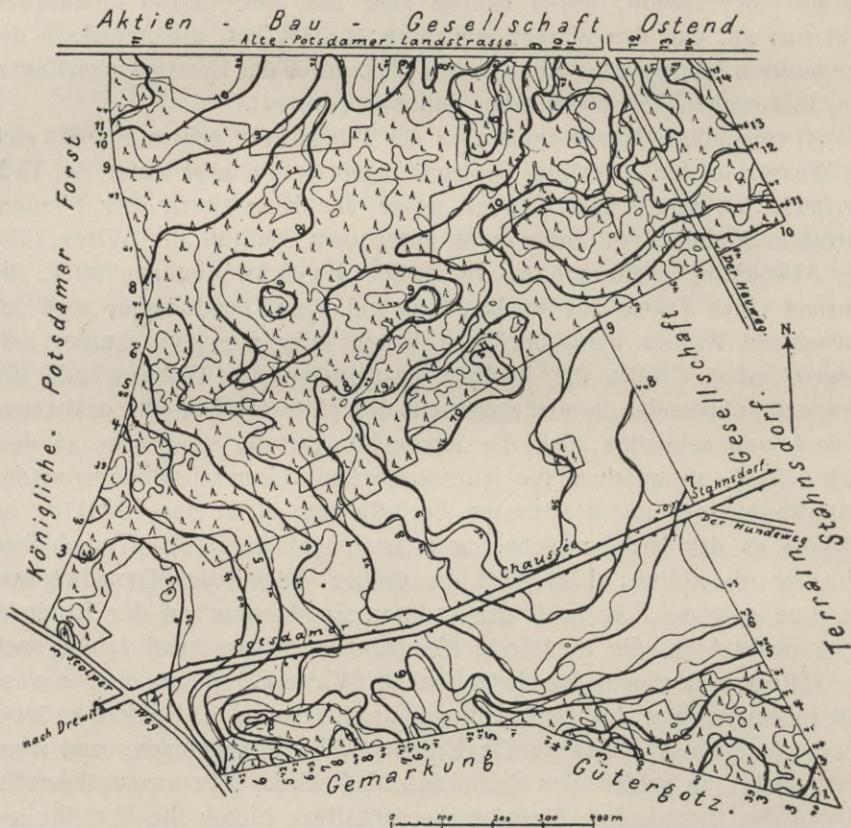


Fig. 57. Mächtigkeit der das Grundwasser bedeckenden Bodenschichten im Gebiete des Zentralfriedhofes bei Stahnsdorf, dargestellt durch Mächtigkeitslinien von m zu m. Maßstab 1 : 15000

von weniger als 3 m), und daß in den Gebieten höchster Überdeckung die jährlichen Schwankungen auf $\frac{3}{4}^{\circ}$ hinabgehen. Andererseits lehrt ein Vergleich der Figuren 52 und 58, daß die Kurven gleicher Schwankungen durchaus nicht so verlaufen wie die Kurven des Grundwassergefälles, sondern sich in ganz anderer Richtung erstrecken. In den Gebieten höchster Unterschiede der Wärme des Grundwassers fällt die höchste Temperatur in die Monate August und September. Je weiter wir uns

von diesem Punkte entfernen, um so geringer werden die Wärmeunterschiede und um so größer wird der zeitliche Abstand zwischen den höchsten Oberflächen- und Grundwassertemperaturen, bis endlich die Temperaturmaxima in den Winter, die Minima in den Hochsommer fallen. Daraus geht hervor, daß das erwärmte Wasser seine Wärme nicht fort-pflanzt in der Richtung der Fließbewegung des Grundwassers, sondern daß ein Wärmeausgleich nach allen Richtungen hin stattfindet, so daß

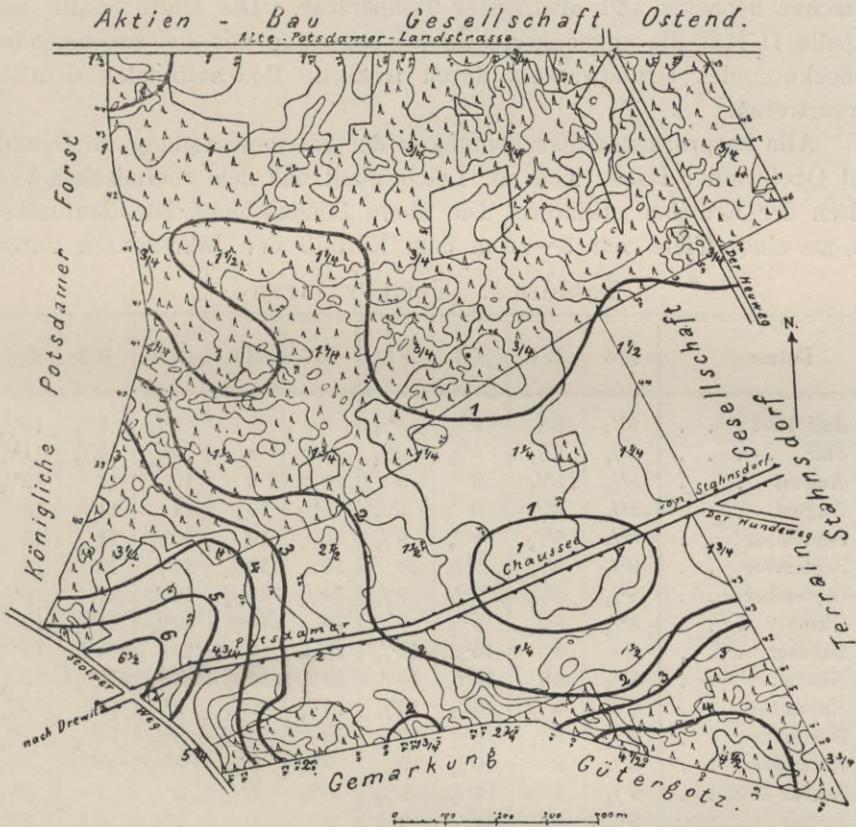


Fig. 58. Wärmeschwankungen im Grundwasser des Stahnsdorfer Zentralfriedhofes dargestellt durch Linien gleicher Temperaturdifferenzen. Maßstab 1 : 15 000

nicht allein die Mächtigkeit der überlagernden Schichten, sondern auch die Entfernung vom eigentlichen Gebiet intensivster Durchwärmung die wichtigste Rolle im Wärmeregime eines solchen Grundwassergebietes spielt. Das Zutreffende dieser Folgerung geht am besten aus den beiden folgenden Tabellen hervor. Die erste gibt für 9 Brunnen, deren Lage sich aus Fig. 52 ergibt, die Schwankungen der Temperatur während eines Beobachtungsjahres an und in Fettdruck die Höchsttemperaturen, während Tabelle II für alle Beobachtungspunkte den Betrag der höchsten

Temperatur, das Datum derselben, den zeitlichen Abstand der letzteren von einem angenommenen Tage des Hochsommers (1. August) und die Mächtigkeit der das Grundwasser an der betreffenden Stelle überdeckenden Bodenschichten angibt. Je näher dem Gebiete flachsten Grundwassers ein Beobachtungsbrunnen sich befindet, um so höher ist in ihm die Wärmespannung im Grundwasser, je weiter davon entfernt, um so später tritt das Maximum ein und um so geringer wird der Unterschied zwischen höchster und niedrigster Temperatur. Die letzte Spalte von Tabelle II läßt die angenäherte Übereinstimmung mit der zunehmenden Bedeckung des Grundwassers durch trockene Bodenschichten deutlich hervortreten.

Alle besprochenen Erscheinungen der Wärmeverteilung im Grund- und Quellwasser lassen sich mit Leichtigkeit aus dem thermischen Verhalten der Erdrinde erklären. Die obere Bodenschicht ist allenthalben bis zu einer Tiefe von 5—10 m dem Einfluß der Jahreszeiten unter-

Tabelle I. Temperaturen

Datum	A 5	D 1	E 3	F 3	G 7	H 8	H 6	H 2	G 1
7. Juli 1904 . . .	8 ¹ / ₂	8	9	8 ³ / ₄	9	9	9 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	10 ³ / ₄
21. Juli	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	8 ³ / ₄	9	9	9 ³ / ₄	10 ¹ / ₂	11 ³ / ₄
4. August	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	9	9	9	9	10	11	12 ¹ / ₄
18. August	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	9	9 ¹ / ₂	9 ³ / ₄	10	11	11 ¹ / ₂	13
1. September	8 ¹ / ₂	8 ³ / ₄	9 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	10	10	10 ¹ / ₂	12	13
15. September	8 ¹ / ₂	8 ³ / ₄	9 ³ / ₄	10	10	10 ¹ / ₄	10 ¹ / ₄	12	13
29. September	8 ³ / ₄	8 ³ / ₄	9 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	10 ¹ / ₄	10 ¹ / ₂	10 ¹ / ₂	12	12 ¹ / ₂
13. Oktober	8 ³ / ₄	8 ³ / ₄	9 ¹ / ₂	9	10	10 ¹ / ₂	10 ³ / ₄	11 ³ / ₄	12
27. Oktober	9	9	10 ¹ / ₂	10 ¹ / ₂	10 ¹ / ₂	10	10	11 ¹ / ₂	12
10. November	8 ¹ / ₂	9 ¹ / ₄	10 ¹ / ₂	10 ¹ / ₄	10 ¹ / ₄	10 ¹ / ₂	9 ¹ / ₄	11 ³ / ₄	10 ¹ / ₄
24. November	9	9	10 ¹ / ₄	10 ¹ / ₄	10 ¹ / ₄	9 ¹ / ₄	9 ³ / ₄	10 ³ / ₄	10 ¹ / ₂
8. Dezember	9 ¹ / ₄	9 ¹ / ₄	10 ¹ / ₄	10 ¹ / ₄	10	9 ¹ / ₄	9 ¹ / ₂	10 ¹ / ₄	9 ³ / ₄
22. Dezember	9 ¹ / ₄	9	10 ¹ / ₄	10	9 ³ / ₄	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	8 ³ / ₄
5. Januar 1905	9 ¹ / ₄	9	10 ¹ / ₄	9 ³ / ₄	9 ³ / ₄	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₄	9	8 ¹ / ₄
19. Januar	9 ¹ / ₄	8 ³ / ₄	10	9 ¹ / ₂	9	8	7 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	7 ¹ / ₄
2. Februar	9 ¹ / ₄	9	10	9 ¹ / ₂	9	8	7 ¹ / ₂	8	6 ¹ / ₂
16. Februar	9 ¹ / ₄	8 ³ / ₄	9 ³ / ₄	9 ¹ / ₄	8 ³ / ₄	7 ¹ / ₂	6 ³ / ₄	7 ¹ / ₂	6
2. März	9 ¹ / ₄	8 ³ / ₄	9 ³ / ₄	9	8 ¹ / ₄	7 ¹ / ₄	6 ¹ / ₂	7	5 ³ / ₄
16. März	9	8 ¹ / ₄	9 ¹ / ₂	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₄	7	6 ¹ / ₄	6 ³ / ₄	5 ³ / ₄
30. März	9	8 ¹ / ₄	9 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	8	7	6 ¹ / ₄	6 ³ / ₄	6
13. April	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₂	9 ¹ / ₄	8 ¹ / ₂	7 ³ / ₄	7	6 ¹ / ₄	7	6 ¹ / ₄
27. April	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂	7 ¹ / ₄	6 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂	6 ¹ / ₂
11. Mai	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₄	9 ¹ / ₄	8 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂	7	7 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂
25. Mai	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	9	8	7 ³ / ₄	7 ³ / ₄	7	7 ³ / ₄	8
8. Juni	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₄	7 ³ / ₄	7 ³ / ₄	7 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	8 ³ / ₄
22. Juni	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	9 ¹ / ₄	8 ¹ / ₂	8	8	8 ¹ / ₄	9	9 ³ / ₄
6. Juli	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	9	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	8 ³ / ₄	10 ¹ / ₂
Spannung:	3 ¹ / ₄	1 ¹ / ₄	1 ³ / ₄	2 ¹ / ₂	3	3 ³ / ₄	4 ¹ / ₂	5 ¹ / ₄	7 ¹ / ₄

Tabelle II

Nr. der Bohr- löcher	Max. in ° C	Datum	Tage nach 1. 8.	Tiefe unt. Oberfläche m	Nr. der Bohr- löcher	Max. in ° C	Datum	Tage nach 1. 8.	Tiefe unt. Oberfläche m
G 1	13 ¹ / ₂	8. 9.	39	2,1	G 5	9 ³ / ₄	1. 12.	122	8,0
H 8	10 ¹ / ₂	29. 9.	60	2,8	E 6	9 ³ / ₄	10. 11.	102	8,3
H 6	11	18. 8.	18	2,9	C 1	8 ³ / ₄	20. 10.	81	8,4
H 2	12	1. 9.	31	3,1	D 6	10	24. 11.	116	8,5
H 7	10 ³ / ₄	8. 9.	39	3,2	C 4	9 ³ / ₄	17. 11.	109	8,7
F 1	11 ¹ / ₂	1. 9.	31	3,4	A 5	9 ¹ / ₄	1. 12.	122	8,7
G 2	11 ³ / ₄	15. 9.	46	3,6	B 4	9 ¹ / ₄	24. 11.	116	8,9
F 2	11 ³ / ₄	29. 9.	60	3,9	B 5	9 ¹ / ₄	1. 12.	122	8,9
E 1	10	20. 10.	81	3,9	B 2	9	15. 12.	137	8,9
H 5	10	1. 9.	31	4,2	F 6	9 ³ / ₄	17. 11.	109	9,0
G 7	10 ¹ / ₂	27. 10.	88	5,4	A 4	9	24. 11.	116	9,0
G 4	10 ¹ / ₂	13. 10.	74	6,0	D 4	9 ¹ / ₄	1. 12.	122	9,1
F 3	10 ¹ / ₂	20. 10.	81	6,0	A 3	9 ¹ / ₂	27. 10.	88	9,3
D 1	9 ¹ / ₄	20. 10.	81	6,2	E 5	9 ³ / ₄	10. 11.	102	9,5
G 3	10 ¹ / ₂	27. 10.	88	6,3	F 5	9 ³ / ₄	8. 12.	130	9,5
F 7	10 ¹ / ₂	27. 10.	88	6,3	C 7	9 ¹ / ₄	8. 12.	130	9,5
H 3	9 ¹ / ₄	10. 11.	102	6,6	E 4	9 ³ / ₄	29. 12.	151	9,8
H 4	9 ¹ / ₂	13. 10.	74	6,7	B 6	9 ¹ / ₂	8. 12.	130	10,0
E 2	9 ¹ / ₂	27. 10.	88	6,8	B 1	8 ³ / ₄	26. 11.	179	10,0
D 2	9 ¹ / ₂	20. 10.	81	7,0	C 5	9	17. 1.	109	10,3
G 6	10	27. 10.	88	7,0	D 5	9 ³ / ₄	22. 12.	144	10,5
E 3	10 ¹ / ₃	27. 10.	88	7,6	A 1	9 ¹ / ₄	8. 12.	130	10,7
F 4	10	10. 11.	102	7,6	A 2	9 ¹ / ₂	3. 11.	95	11,1
D 3	9 ¹ / ₄	13. 10.	74	7,9	A 6	9 ¹ / ₂	3. 11.	95	11,3
B 3	9	17. 11.	109	7,9	C 6	9 ¹ / ₂	12. 1.	165	11,3
C 2	8 ³ / ₄	6. 10.	67	8,0	B 7	9 ¹ / ₄	11. 5.	285	11,8
C 3	10	13. 10.	74	8,0	A 7	9 ¹ / ₂	18. 5.	292	13,9

worfen, sie wird im Sommer erwärmt und im Winter abgekühlt, aber diese Einflüsse hören bei der genannten Tiefe auf und es beginnt die sogenannte indifferente Zone, die nicht genau, aber doch annähernd die Temperatur des Jahresmittels des betreffenden Ortes besitzt. Geht man noch tiefer, so beginnt überall eine Zunahme der Temperatur. Mit Hilfe von zahlreichen Beobachtungen in tiefen Bohrlöchern und Bergwerken ist es möglich gewesen, die Schichtenstärke zu bestimmen, innerhalb der die Temperatur im Durchschnitt um 1° anwächst. Diese Schichtenmächtigkeit wird als die geothermische Tiefenstufe des betreffenden Ortes bezeichnet. Sie ist im Mittel zu 30 m anzunehmen, obwohl sich örtlich bedeutende Abweichungen geltend machen, die auf bestimmte Einwirkungen zurückzuführen sind, so daß die geothermische Tiefenstufe an manchen Orten auf 10—12 m herabgeht, um an anderen Stellen auf 50—60 m anzusteigen. Die Vermutung, daß die geothermische Tiefenstufe einen mit der Tiefe zunehmenden Wert besäße, ist

noch nicht erwiesen, wird im Gegenteil durch die Ergebnisse der Wärmemessungen in dem tiefsten Bohrloche der Welt bei Czuchow anscheinend widerlegt. Diese Zunahme der Temperatur nach der Tiefe bedingt es, daß die Gesteinsschichten in 1 km Tiefe bereits eine Temperatur von nahezu 40° und in 3 km Tiefe die Wärme des siedenden Wassers besitzen, so daß Gewässer, welche mit Gesteinen dieser Tiefe in Berührung kommen, notwendig bis über den Siedepunkt erhitzt werden müssen.

Die Wärme der von uns als warme Quellen oder Thermen bezeichneten Bodengewässer kann drei verschiedene Ursachen haben:

a) Die erste Ursache kann eine durch chemische Umsetzungsvorgänge erzeugte, den Gesteinen mitgeteilte und von ihnen auf das Wasser übertragene Temperaturerhöhung sein. Es ist bekannt, daß viele chemische Vorgänge, namentlich Oxydations- und Hydratbildungsprozesse, mit dem Freiwerden erheblicher Wärmemengen verbunden sind. Es ist aber nicht wahrscheinlich, daß diese Vorgänge in den oberen Teilen der Erdrinde in solchem Umfange statthaben, daß sie einen nennenswerten Beitrag zur Temperaturerhöhung des unterirdisch zirkulierenden Wassers zu liefern vermöchten. Zu diesen wärmeerzeugenden Vorgängen gehören auch die im Gebiete der Braun- und Steinkohlenformation gelegentlich auftretenden unterirdischen Flözbrände, durch die naturgemäß eine starke lokale Temperaturerhöhung herbeigeführt wird, die selbstverständlich auch die in der Nähe solcher brennenden Gebirgsteile zirkulierenden Wässer beeinflusst.

b) Eine außerordentlich viel wichtigere Ursache erhöhter Quelltemperatur haben wir in denjenigen Wärmemengen zu erblicken, welche uns, je tiefer wir uns in das Erdinnere hineinbewegen, in um so höherem Maße als eine der Erdkruste innewohnende Eigenschaft begegnen. Beim Abteufen von Schächten, beim Bergbaubetriebe, beim Durchbohren großer Gebirgsstöcke, wie der Alpen, mittels Tunnels und bei der Niederbringung von tiefen Bohrlöchern hat man die Beobachtung gemacht, daß die Temperatur von der Erdoberfläche nach dem Innern zu eine nicht überall gleiche, aber im allgemeinen gleichmäßige Zunahme erfährt. Kommen nun auf einem der verschiedenen Wege, die wir in den nächsten Abschnitten kennen lernen werden, die Grundwässer von der Oberfläche her auf durchlässigen geneigten Schichten oder Klüften in große Tiefen, so nehmen sie die Temperatur des daselbst befindlichen Gesteins, bezw. der entsprechenden geothermischen Tiefenstufe an, und wenn sie auf einem möglichst raschen Wege wieder die Oberfläche erreichen können, so ist der Wärmeverlust während dieses Aufstieges in den meisten Fällen kein vollständiger, so daß das betreffende Wasser mit einer die Temperatur gewöhnlicher Quellen mehr oder weniger überschreitenden Wärme an die Oberfläche gelangt.

Dieses einfach beim Durchstreichen geothermisch erwärmter Gesteinsschichten sich erhaltende Grundwasser wird demnach um so höhere Temperaturen annehmen,

1. je weiter der von ihm erreichte tiefste Punkt von der Erdoberfläche entfernt ist;
2. je kleiner die geothermische Tiefenstufe des Gebietes ist;
3. je rascher die aufsteigende Bewegung bis zur Oberfläche sich vollzieht;
4. ein je schlechterer Wärmeleiter das bei dieser Aufwärtsbewegung passierte Gestein ist.

c) Die wichtigste Ursache aber für die Temperatur der warmen Mineralquellen liegt in großer Tiefe des Erdinnern und ist zurückzuführen auf die noch im Glutflusse befindlichen vulkanischen Massen daselbst.

Wir haben bei der Besprechung der Herkunft des Wassers gesehen, daß eine gewisse Menge desselben dauernd aus den vulkanischen Tiefen der Erde zur Oberfläche emporsteigt. Dieses Emporsteigen aber kann in den tieferen Schichten sich nur in Dampfform vollziehen. In höheren Schichten werden die Wasserdämpfe kondensiert und gelangen, getragen und gestoßen von dem fortgesetzt nachdrängenden Ersatze aus der Tiefe, schließlich an die Oberfläche mit Temperaturen, die unter Umständen (wenn auch bei uns in Deutschland heute nicht mehr vorkommend) den Siedepunkt erreichen oder ihm doch sehr nahe liegen. Die Abkühlung, welche diese vulkanischen Wässer auf ihrem Wege erfahren, und die Temperatur, mit welcher sie an die Oberfläche treten, sind von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängig:

1. von der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus der Tiefe sich emporbewegt, also mit anderen Worten von der Menge und Stoßkraft der treibenden und vorwärts drängenden Wasserdämpfe;
2. von der Gestalt der Wege, die es passiert (Quellröhren mit kreisförmigem Querschnitte erhalten die Temperatur des Wassers besser auf der Höhe, als enge Spalten mit lang ausgedehnten, abkühlend wirkenden Wänden);

3. davon, ob das heiße Wasser unvermischt an die Oberfläche gelangt, oder ob es auf seinem Wege weniger warmes oder gar kaltes Grundwasser antrifft und durch Vermischung mit ihm an Wärme einbüßt. Der erstere Fall dürfte kaum irgendwo sich nachweisen lassen und ist auch an und für sich in hohem Maße unwahrscheinlich. Alle Wege, auf denen diese sogenannten juvenilen Wasser in die oberen Teile der Erdrinde gelangen können, sind mit gewöhnlichem vadosen Wasser erfüllt und Vermischungen beider müssen notwendig die Folge sein; ja man kann sogar aussprechen, daß der Menge nach die vadosen Wasser immer weitaus über den juvenilen Anteil vorherrschen müssen

Was in bezug auf thermisches Verhalten vom Grundwasser gesagt ist, gilt natürlich genau ebenso auch für Quellen. Albert Heim schreibt mir darüber:

„Ganz gute Quellen aus Tiefen von 10—30 m haben oft konstante Temperatur, entsprechend der mittleren Bodentemperatur der Gegend, gleich der mittleren Lufttemperatur $+ \frac{1}{2}$ bis 3 oder mehr Graden, je nach der Dauer der Schneebedeckung.

Viele Quellen schwanken in ihrer Temperatur um $1-3^{\circ}$ nach der Temperatur des Versickerungswassers, Eindringen der jahreszeitlichen Wärme und Kälte.

Manche Quellen sind im Winter wärmer als im Sommer. Im Winter gibt die gefrorene Oberfläche kein Wasser nach unten ab, alles Wasser kommt aus tieferen Vorräten. Im Winter kommt das warme Versickerungswasser des Sommers, im Sommer das kältere der Schneeschmelze zum Vorschein.“

Die Wärme der Quellen nimmt mit zunehmender Meereshöhe ab, aber weniger stark als die mittlere Jahrestemperatur. Daubrée¹⁾ gibt eine Übersicht über 28 Quellen im Elsaß in den Vorbergen und den Vogesen und stellt die Abnahme der Temperatur mit zunehmender Meereshöhe in der nebenstehenden graphischen Darstellung zusammen (Fig. 59), in welcher die senkrechten Linien

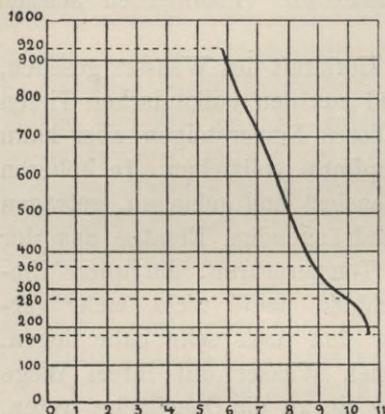


Fig. 59

Celsiusgrade, die wagerechten dagegen Höhen in Metern bezeichnen.

Die Kurve der Temperaturabnahme bildet keine gerade Linie, sondern zeigt für die Höhen von 280—360 m eine Einbuchtung. Unterhalb dieser Höhe fällt die Temperatur um 1° auf 200 m Erhebung, von 280—360 m auf 120 m Erhebung, von 360—920 m wiederum um 1° auf je 200 m. Auch die Quellen des Kaiserstuhlgebirges übertreffen die mittlere Jahrestemperatur um $2,6^{\circ}$. Im Aveyron fand Boisse eine Abnahme der Quelltemperatur um 1° auf 135 m Erhebung, in den Bayrischen Alpen stellte Gumbel eine Abnahme um 1° für 272 m und im Fichtelgebirge für 222 m fest.

Beobachtungen der Quelltemperaturen können, wenn sie durch längere Zeit durchgeführt werden, über eine ganze Anzahl von Fragen Aufschluß geben. Dahin gehört der Zusammenhang von Grundwasser oder Quellen mit oberirdisch fließenden Gewässern. Albert Heim berichtete mir mündlich über einen Fall, in dem der Verdacht des Zu-

¹⁾ Daubrée, Les eaux souterraines à l'époque actuelle, S. 424.

sammenhanges einer starken Schuttquelle mit einem vorüberfließenden Bache durch regelmäßige Temperaturmessungen als unbegründet nachgewiesen werden konnte. Während die Temperatur des Baches zwischen 0 und 12° schwankte, besaß die Quelle eine Sommer und Winter unveränderliche Temperatur. Andererseits wurde bei einem Probepumpen aus dem Grundwasser, nahe der Elbe, südlich von Magdeburg, im Winter, als das Flußwasser längere Zeit eine Temperatur von 0° besaß, beobachtet, daß die Grundwasserwärme während des Pumpens innerhalb kurzer Zeit von 10° auf 7° sank, während gleichzeitig der Chlorgehalt, der für das Elbwasser sehr charakteristisch ist, sich hob.

Es empfiehlt sich daher in Fällen, in denen, wie beim Bergbau in der Nähe von Flüssen, die Frage des Eintritts von Flußwasser in das Grundwasser zu entscheiden ist, ein Probepumpen und eine starke Absenkung des Grundwasserspiegels in nächster Nähe des Flusses zu einer Zeit auszuführen, in der dessen Temperatur entweder sehr niedrig oder sehr hoch ist und von der des Grundwassers stark abweicht. Man stellt dann durch genaue und während längerer Zeit täglich durchgeführte Temperaturmessungen fest, ob bei starker Senkung des Grundwasserspiegels die Temperatur des Grundwassers im Winter fällt, resp. im Hochsommer steigt, oder ob sie unverändert bleibt. Im letzteren Falle darf man annehmen, daß das Flußbett dicht ist und kein Flußwasser in den künstlich geschaffenen Senkungstrichter hineingelangt.

Wenn in einen Tunnel Wasser einbricht, so kann auch hier die Temperaturbeobachtung wichtige Schlüsse gestatten:

Besitzt das Wasser anfangs eine hohe Temperatur und fällt dieselbe schnell, so darf man daraus folgern, daß das den Tunnelzufluß speisende Reservoir sich rasch leeren wird, denn die Senkung des Wasserspiegels in den wassererfüllten Räumen des Gebirges erfolgt dann so schnell, daß das von oben nachströmende kalte Wasser keine Zeit findet, die Gesteinstemperatur anzunehmen. Schardt hat über solche Fälle aus der Praxis des Simplontunnels berichtet.

3. Das Grundwasser in lockeren durchlässigen Bildungen

23. Kapitel

Die Bewegung des Grundwassers im Boden bei Abwesenheit undurchlässiger Decken oder Einlagerungen

Das in den Boden eindringende Wasser ist zuerst ausschließlich der Schwere unterworfen, die es senkrecht nach unten führt. Wie dieser Prozeß des Wanderns in die Tiefe sich vollzieht, können wir uns klar

machen, wenn wir eine Glasröhre mit trockenem, weißem Quarzsand füllen und alsdann etwas Wasser darauf geben. Wir sehen dann, daß sich der Sand durch Benetzung grau färbt, daß die graue Färbung abwärts wandert und an einer bestimmten Stelle Halt macht. In dem über dieser Grenzlinie liegenden Sande sind jetzt sämtliche Körner mit einem dünnen Häutchen von kapillarem Wasser (vergl. 18. Kap.) überzogen, ohne daß die Poren zwischen den einzelnen Sandkörnern vollständig mit Wasser erfüllt wären. Das Wasser kann nun nicht weiter in die Tiefe wandern, weil es an den einzelnen Körnern kapillar energisch festgehalten wird. Geben wir weiteres Wasser hinzu, so setzt der Prozeß sich fort, und erst wenn die Benetzung des Sandes sich bis zum Grunde der Röhre vollzogen hat, kann weiter hinzugefügtes Wasser die Hohlräume zwischen den einzelnen Körnern erfüllen. Derselbe Prozeß vollzieht sich in der Natur, und wir erkennen daraus, daß eine vorhergehende Benetzung der Oberflächen der einzelnen Körner des Wasserträgers erforderlich ist, um das Wasser als Flüssigkeit in die Tiefe weiter zu leiten. Nur bei feinkörnigen Wasserträgern, d. h. bei Sanden unter $\frac{1}{2}$ mm Korngröße vollzieht sich indessen dieser Benetzungsprozeß mit einer gewissen Gleichmäßigkeit und zwar genügt bei solchen Sanden eine die Wassersäule um das Fünffache überschreitende Sandmächtigkeit, um alles Wasser kapillar festzuhalten. Bei allen gröberen Sanden aber und vermutlich in den meisten natürlichen Fällen vollzieht sich der Versickerungsvorgang in der Weise, daß zwar zuerst das Wasser alle Bodenteilchen gleichmäßig benetzt, daß sich aber dann das weitere Eindringen des Wassers in den Boden auf einzelnen, wurzelförmig sich verzweigenden Wegen geringsten Reibungswiderstandes vollzieht. Auf diese Weise können mit verhältnismäßig geringen Wassermengen lange Versickerungsleitungen von dem in den Boden eindringenden Wasser geschaffen werden. Diese Wanderung des Wassers in die Tiefe geht nun so lange vor sich, bis undurchlässige Gesteine das Wasser aufhalten, oder bis es an einen bereits vorher erzeugten Spiegel von flüssigem Grundwasser kommt. Jetzt endigt die Vertikalbewegung, das Wasser folgt von jetzt an ausschließlich der Fließrichtung des Grundwassers, und diese wieder ist in jedem einzelnen Falle, so lange der Wasserträger eine gleichartige Beschaffenheit besitzt, demjenigen Teile des Geländes zugekehrt, in welchem durch die Erosion die tiefsten Taleinschnitte und damit die Zapfstellen für das Grundwasser gegeben sind, in letzter Linie also der tiefsten dieser Anschnittslinien der Gesteine der Erdrinde, der Meeresküste.

Wenn das Wasser auf dem oben beschriebenen Wege in die Tiefe wandert, so ist es notwendig, daß gleichzeitig eine Verdrängung von Luft aus den Hohlräumen stattfindet, die das Wasser einnehmen will. Diese Luft entweicht in kleinen Blasen nach oben, und zwar nehmen, wie spezielle Untersuchungen gezeigt haben, diese Luftblasen ihren Weg

durch besondere Kanäle, die sich zwischen denen des absteigenden Wassers hindurchbewegen.

Die Bewegungsgesetze, denen das Wasser im Boden folgt, können wir uns am besten vergegenwärtigen, wenn wir uns klar machen, daß das Grundwasser genau denselben physikalischen Gesetzen zu folgen gezwungen ist wie das oberirdisch fließende Wasser, und daß es uns infolgedessen genau dieselben verschiedenartigen Erscheinungsformen darbieten muß. Wie wir an der Erdoberfläche große Massen stehenden Wassers besitzen, die wir als Seen bezeichnen, so kennen wir auch im Untergrunde stehende Wasser (Fig. 60) und bezeichnen sie entsprechend als Grundwasserseen. Wir erkennen sie daran, daß ihr Spiegel überall

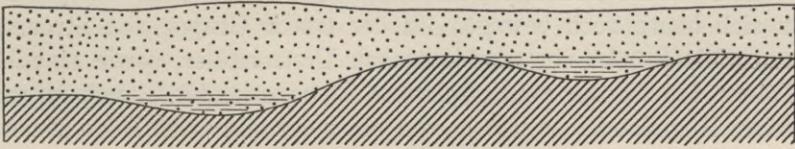


Fig. 60. Grundwasserseen

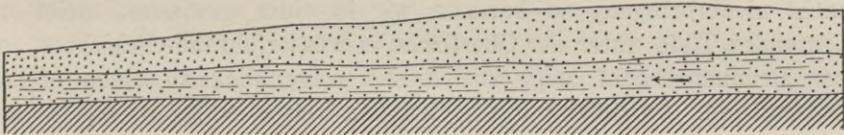


Fig. 61. Grundwasserstrom

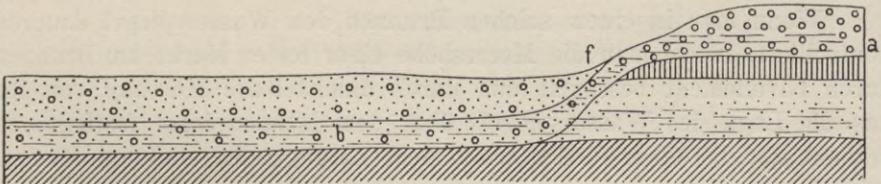


Fig. 62. Grundwasserfall

in der gleichen Ebene, also horizontal liegt. Unseren großen Strömen entsprechen breite Ströme von Bodenwasser, die wir Grundwasserströme (Fig. 61) nennen, und den in engen Schluchten und Klammern hinfließenden Flüssen an der Erdoberfläche stehen im Grundwasser solche Wasserläufe gegenüber, die in den Klüften und Spalten des festen Gesteins ihren Weg nehmen. Ebenso gibt es Gebiete, in welchen sich das Grundwasser mit großer Geschwindigkeit bewegt, Gebiete, die deshalb den oberirdischen Stromschnellen entsprechen. An anderen Stellen wieder beobachten wir, daß das Grundwasser sich aus einem höheren Niveau in ein tiefer gelegenes mit steilem Gefälle hinab bewegt (bei f in Fig. 62), so daß wir sogar für die oberirdischen Wasserfälle im Grundwasser ein vollkommenes Gegenstück besitzen.

24. Kapitel

Das Grundwasser in toten Tälern

Am einfachsten und am leichtesten verständlich spielen sich die Bewegungsvorgänge im Grundwasser in großen und breiten, bis zu größerer Tiefe mit durchlässigen Bildungen erfüllten Stromtälern ab. Wir können deren zwei verschiedene Arten unterscheiden, nämlich einmal die Teile der Urstromtäler (vergl. 3. Kap.), die heute als tote Täler daliegen, d. h. von keinem ihrer Größe entsprechenden Flüsse mehr benutzt werden, sondern nur von kleinen Wasserläufen durchzogen werden, und sodann solche Flußtäler, in denen der ihrer Größe entsprechende Strom sich heute noch bewegt. Zu der ersten Gruppe von Stromtälern gehören viele Stücke der norddeutschen Urstromtäler, sowie eine Reihe von Tälern des ehemals vergletscherten Alpenvorlandes. Auch im mitteldeutschen Hügellande, soweit es von einer der diluvialen Inlandeisdecken überzogen war, fehlen solche alten, heute verlassenen Täler nicht. Wenn wir in einem solchen mit Sand und Kies erfüllten Tale einen Brunnen-schacht niederbringen, so kommen wir in einer gewissen, meist unbedeutenden Tiefe unter der Oberfläche in wasserführende Schichten, und unser Brunnen-schacht zeigt von diesem Augenblick an einen offenen Wasserspiegel. Vertiefen wir den Brunnen weiter, so behält das Wasser seine ursprüngliche Oberfläche bei, die Höhe der Wassersäule im Brunnen nimmt entsprechend seiner wachsenden Tiefe zu.

Wenn man in einem solchen Brunnen den Wasserspiegel dauernd kontrolliert, indem man die Meereshöhe einer festen Marke am Brunnen durch Nivellement bestimmt und durch unmittelbare Messung von ihr aus die Lage des Wasserspiegels über dem Meeresspiegel festlegt, so erkennt man bei einer fortlaufenden Beobachtungsreihe, daß der Wasserspiegel keine feste Lage einnimmt, sondern sich auf und ab bewegt. Man kann diese Bewegung durch Kurven darstellen, indem man als Abszissen die Zeitabschnitte und als Ordinaten die Wasserstände einträgt. Verbindet man die einzelnen Ordinaten mittels einer Linie, so erhält man eine die Bewegung des Grundwasserspiegels genau wiedergebende Kurve oder Zickzacklinie, die um so genauer wird, je öfter die Beobachtungen ausgeführt werden. Man kann tägliche, wöchentliche, 14tägige und monatliche Beobachtungen der Grundwasserspiegels-höhe anstellen, und es ergeben sich daraus immer einfachere Kurven, indem die feineren Schwankungen des Grundwasserspiegels immer weniger zum Ausdruck gelangen. In Fig. 63 oben gebe ich drei Kurven eines und desselben Wasserspiegels, von denen a auf wöchentlichen, b auf 14tägigen, c endlich auf monatlichen Beobachtungen beruht. Deutlich erkennt man aus diesen drei Kurven den Wert häufigerer

Messungen zur Erkennung der kleineren Schwankungen. Ist die Bewegung des Grundwassers sehr regelmäßig, so wird durch Häufung der Messungen das Bild der Kurve nicht wesentlich verändert, wie dies die beiden unteren Kurven in Fig. 63 erkennen lassen, von denen die obere a auf vierwöchentlichen, die untere b auf 14-tägigen Messungen des gleichen Grundwasserspiegels beruht.

Die Wahl der Abstände der Abszissen für die Beobachtungszeiten und des Höhenmaßstabes für die senkrechte Bewegung des Grundwassers ist von großer Bedeutung für die Lesbarkeit, Verständlichkeit und Übersichtlichkeit der erhaltenen Spiegelkurven. Wählt man die Abszissenabstände zu groß und nimmt man gleichzeitig für die Höhe des Grundwassers einen kleinen Maßstab, so erhält man lang gestreckte, wenig leserliche Kurven, die sich dem Beschauer zu leicht als sehr horizontale

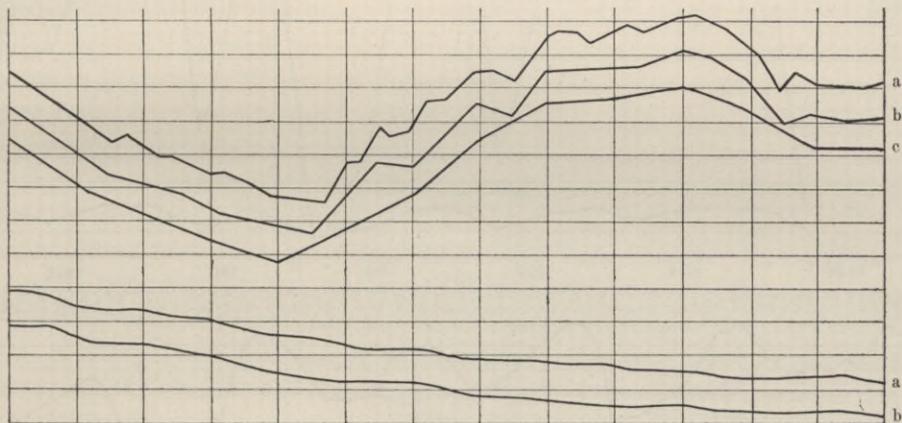


Fig. 63

Linien darstellen und die Spiegelgänge nur schwer erkennen lassen. Wählt man umgekehrt zu kurze Abszissenabstände bei großem Höhenmaßstabe, so erhält man Zerrbilder nach der andern Richtung. Empfehlenswert ist für die zeichnerische Herstellung von Grundwasserkurven die Zeichnung auf Millimeterpapier in der Weise, daß eine Jahreskurve in der Horizontalen $1\frac{1}{2}$ mal so lang wird, wie ein Meter des Höhenmaßstabes.

Wählt man beispielsweise für die einzelnen Monate einen Abstand der Ordinaten von 5 mm, so wird sich eine Jahreskurve über 6 cm Länge erstrecken; 1 m Höhe der Spiegelschwankungen würde dann 4 cm entsprechen, d. h. wir würden für die Höhen den Maßstab 1 : 25 benutzen. Für Demonstrationszwecke wird man solche Darstellungen vergrößern, beispielsweise auf den Maßstab 1 : 5, wobei dann eine Jahreskurve eine Länge von 30 cm erhält. Für Veröffentlichungen

genügt ein kleinerer Maßstab, etwa 1 : 75 für die Höhen, wobei eine Jahreskurve eine Länge von 2 cm erhält (Kurve 1 in Fig. 64).

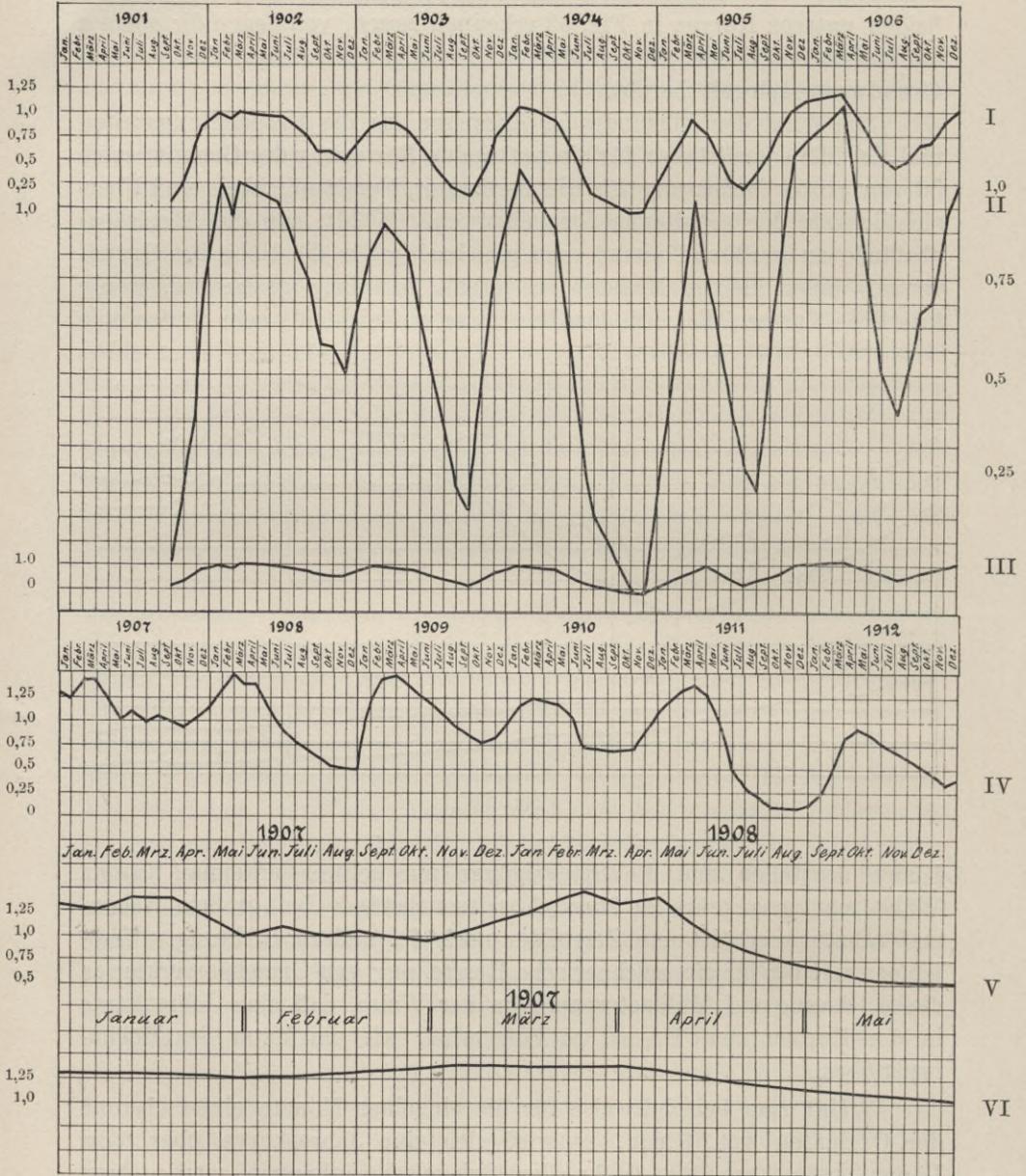


Fig. 64

In der oberen Hälfte der Fig. 64 ist eine und dieselbe Kurve in 3 Maßstäben der Höhe bei gleichbleibender Länge der Zeitabszissen wieder-

gegeben, und zwar in der obersten Kurve in 1 : 75, in der mittleren in 1 : 25, in der unteren endlich in 1 : 300. Man erkennt sofort, daß die Verflachung der dritten Kurve ihre Leserlichkeit und Übersichtlichkeit erheblich beeinflußt, während die mittlere Kurve ein Zerrbild in der andern Richtung ergibt.

Um zu zeigen, wie sehr ein ungeschickt gewählter Maßstab das Kurvenbild zum Zerrbilde machen kann, gebe ich in der unteren Hälfte von Fig. 64 bei gleichem Maßstabe für die Höhen eine und dieselbe Kurve in 3 verschiedenen Maßstäben für die Länge, und zwar ist in der mittleren Kurve ein Jahr 3mal so lang, in der unteren 15mal so lang wie in der oberen Kurve mit ihrem günstigen und die Übersichtlichkeit erhöhenden Maßstabe.

Die Gestalt einer Grundwasserkurve ist abhängig von der Speisung des Grundwassers und es fallen daher ihre Erhebungen im allgemeinen zusammen mit den Zeitläufen, in welchen eine kräftige Speisung des Grundwassers möglich ist, also mit niederschlagsreichen Perioden, mit starken Schneeschmelzen, mit Zeiten lang andauernder starker Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit, dagegen die Senkungen der Grundwasserkurve mit langen niederschlagsarmen oder mit ganz trockenen Perioden. Genauere Angaben über die Schwankungen des Grundwassers finden sich in einem späteren Kapitel.

Überwacht man in einem und demselben Gebiete eine größere Anzahl nahe beieinander gelegener Brunnen in der beschriebenen Weise, so erhält man die Unterlage zur Anfertigung von Karten der Oberfläche des Grundwassers in den verschiedenen Schwankungsperioden. Man trägt zu diesem Zwecke die einzelnen Beobachtungspunkte maßstäblich in einen Plan ein, setzt die einzelnen Höhen des Grundwasserspiegels dazu und verbindet nun alle Punkte gleicher Höhe so miteinander, wie wir dies im 20. Kapitel kennen gelernt haben. Die Abstände der einzelnen Schichtlinien des Grundwassers wird man um so kleiner wählen, je geringer im allgemeinen die Unterschiede der einzelnen Brunnen sind. Bei starkem Gefälle wird man die Kurven von Meter zu Meter, bei schwachem von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ m, und bei ganz schwachem Gefälle von $\frac{1}{10}$ zu $\frac{1}{10}$ m ziehen. Aus solchen Karten kann man ohne weiteres die Bewegungsrichtung und das Gefälle des Grundwassers ablesen, und zwar darf man als Bewegungsrichtung eine Linie ansehen, die rechtwinklig zu den Schichtlinien steht, und als Neigung der Grundwasseroberfläche den Quotienten aus dem Vertikal- und Horizontalabstande der einzelnen Schichtlinien.

Lassen sich derartige Grundwasserbeobachtungen nun über die ganze Breite eines Tales ausdehnen, so wird das so gewonnene Material es ermöglichen, eine Grundwasserkarte eines Stückes der gesamten Talfläche zu konstruieren, wie dies beispielsweise in Fig. 53 geschehen

ist. Dann werden wir eine Bewegung des Grundwassers in zwei Richtungen kennen lernen. Wir werden sehen, daß es einmal von den Talrändern her nach der Mitte des Tales hinfließt, und sodann, daß es im inneren Teile des Tales seinen Weg in der Richtung der Neigung desselben nimmt, und daß der Abstand der Grundwasserlinien in der Talmitte, d. h. das Gefälle des Grundwasserstromes ziemlich genau mit dem der Oberfläche des Tales übereinstimmt. Diese doppelte Bewegung des Grundwassers in unseren großen Flußtälern hängt zusammen mit dem Ansteigen der Talränder gegen die sie begrenzenden Hochflächen und mit dem Umstande, daß eine Speisung des Grundwassers von den Hochflächen her eine sehr häufige Erscheinung ist. Aus diesen beiden Bewegungen ergibt sich eine mittlere Resultante in der Art der Wasserbewegung, wie sie in der folgenden Darstellung (Fig. 65) schematisch durch Pfeile bezeichnet ist.

Beobachtet man hingegen, daß das Grundwasser in der Nähe der Talränder sich wesentlich in der Richtung des Tales und nicht nach der Talmitte hin bewegt, so darf man daraus auf die Geringfügigkeit oder das völlige Fehlen von Zuflüssen zum Grundwasser aus der Hochfläche schließen.

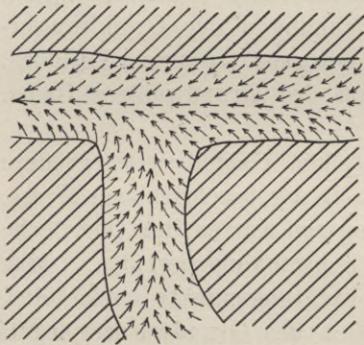


Fig. 65

Die alten Urstromtäler des norddeutschen Flachlandes sind in diluviale Schichten eingesenkt oder schneiden nur ganz flach noch in die ebenfalls aus ganz lockeren Bildungen bestehenden tertiären Gesteine ein. Ihre Wasserführung bewegt sich in Sanden und Kiesen, die nach oben hin nur ausnahmsweise durch dünne diluviale oder

alluviale (Talton- oder Flußschlick-)Schichten bedeckt sind. Anders verhalten sich die alten Täler im ehemals vergletschert gewesenen Randgebiete der mitteldeutschen Gebirge. Sie sind zum größten Teil in tertiäre oder noch ältere Gesteine eingeschnitten und nur ausnahmsweise beiderseits von Diluvium begrenzt. Ich wähle als gut untersuchtes Beispiel die Umgebung von Leipzig¹⁾.

Wie die Karte Fig. 66 angibt, wird die Umgebung von Leipzig bis Wurzen hin heute durchfurcht von den Tälern der Mulde im Osten, der Elster mit den Nebenflüssen der Parthe und Pleiße im Westen. Während der Eiszeit aber entwickelte sich, zum Teil unter der stauenden Einwirkung des im Norden vorliegenden Inlandeises, ein vom

¹⁾ G. Thiem, Grundwasserströme bei Leipzig und deren Ausnutzung. Journ. für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1911, Nr. 32.

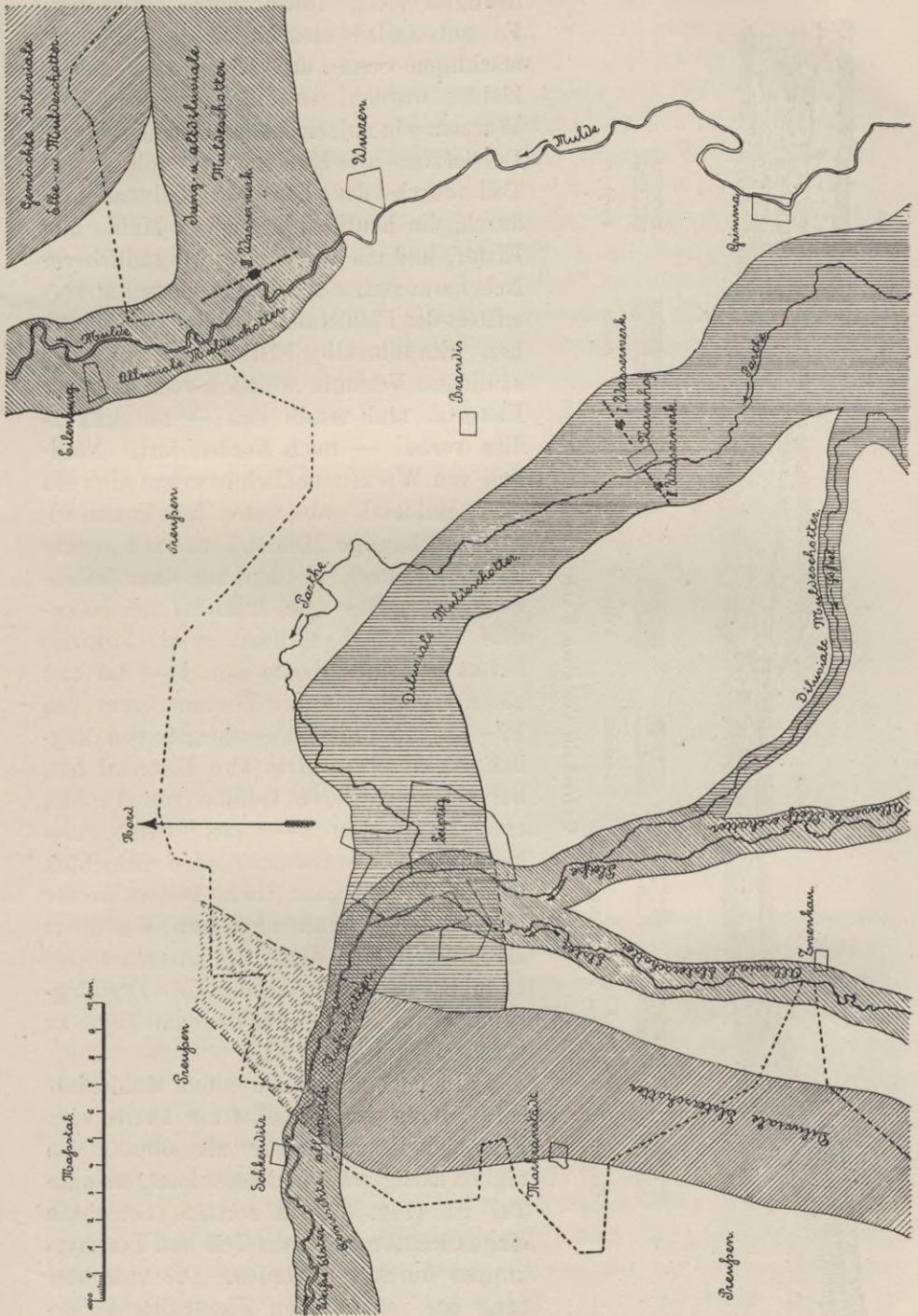


Fig. 66

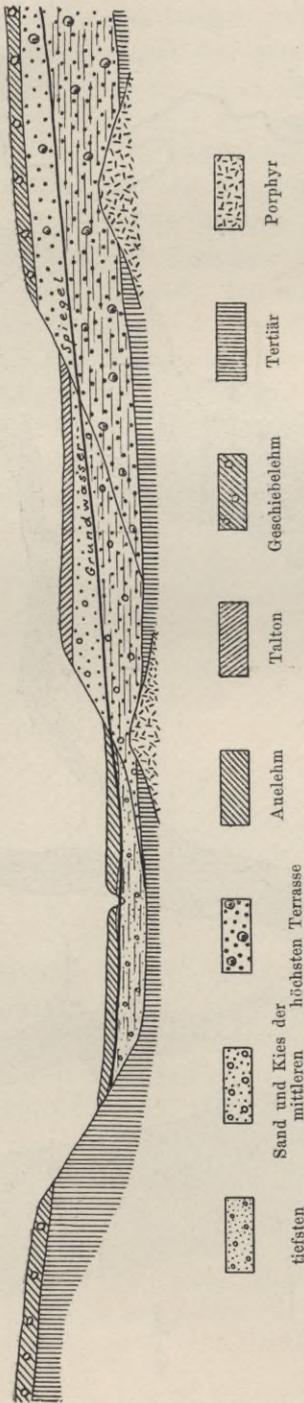


Fig. 67. Querschnitt des alten Muldelaufes bei Wurzen

heutigen völlig abweichendes Talsystem. Es entstanden alte Muldetäler, die mit mächtigen Sand- und Kiesmassen ausgekleidet wurden, sowohl im Norden von Wurzen, wie zwischen Grimma und Leipzig. Der letztere alte Muldelauf vereinigte, zum Teil durch das heutige Parthetal hindurch, die heutigen Täler von Mulde und Elster, und ein zweiter, etwas südlicherer Nebenarm stellte durch das Gösseltal vermittels des Pleißetales dieselbe Verbindung her. Ein diluviales Elstertal lag mit nord-südlichem Verlaufe westlich vom heutigen Elstertal und setzte sich — an Schkeuditz vorbei — nach Norden fort. Nördlich von Wurzen endlich bewegte sich ein altes Muldetal, von Osten her kommend, auf das heutige Muldetal zu und lenkte in diesem nach Norden hin über Eilenburg um. Das alte Muldetal bei Naundorf (zwischen Grimma und Leipzig) liefert bei einer Breite von 4—5 km und einer Mächtigkeit des Wasserträgers von 12—18 m eine Wassermenge von täglich 80000 cbm. Das alte Elstertal hat, bei einem mittleren Gefälle von 1 : 500, eine Breite von 5—6 km. Seine Auskleidung mit wasserführenden Schichten ist im Westen ganz flach, besitzt in der Mitte 5—6 m und im Osten bis 20 m Mächtigkeit, von denen die unteren 10 bis 12 m Grundwasser führen. Die Ergiebigkeit ist auf 15—20000 cbm am Tage zu veranschlagen.

In dem nördlichen alten Muldelaufe bei Wurzen wurde bei 4 km Breite eine Ergiebigkeit von mehr als 60000 cbm täglich nachgewiesen. Dieses letztgenannte Tal ist (Fig. 67) in tertiäre Schichten eingeschnitten, die zum Teil von Porphyrkuppen durchragt werden. Die Aufschüttung der sehr groben Kiessedimente erfolgte in mehreren übereinanderliegenden

Terrassen. Die das Grundwasser führenden Schichten sind auf der tiefsten Terrasse von alluvialem Schlick, auf der mittleren von jung-diluvialen Flußton und auf der oberen von Geschiebemergel überkleidet. Der sie durchfließende Grundwasserstrom besitzt ein Gefälle von 1 : 90 und verläuft genau in der Richtung des Tales, woraus zu schließen ist, daß er keinen nennenswerten Zufluß aus den angrenzenden Hochflächen erhält.

Wieder ganz anders verhalten sich die alten eingedeckten Täler im Gebiete der alpinen Vorlandvergletscherung, die dort eine allgemeine Verbreitung besitzen. Sie sind z. T. in die diluvialen Schichten selbst eingeschnitten, zum größeren Teil aber bewegen sie sich in festen Gesteinen (Gneis, Trias, Jura oder Molasse). Der Freundlichkeit von Prof. Alb. Heim in Zürich verdanke ich Profildarstellungen und Beschreibungen einiger charakteristischer derartiger alter Täler, die vor der

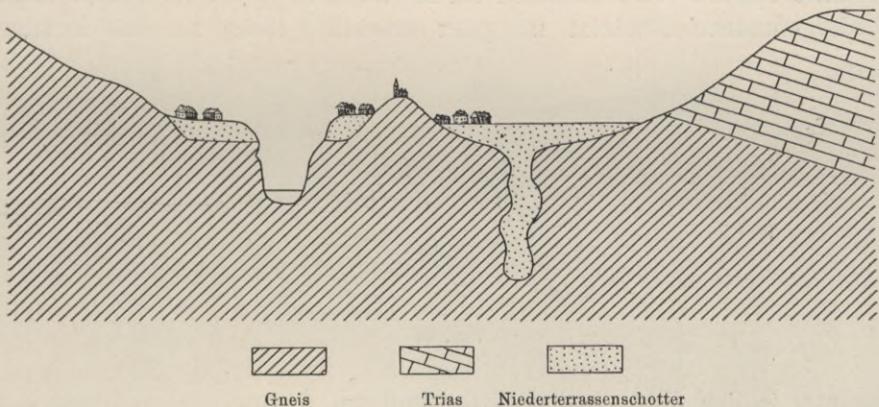


Fig. 68

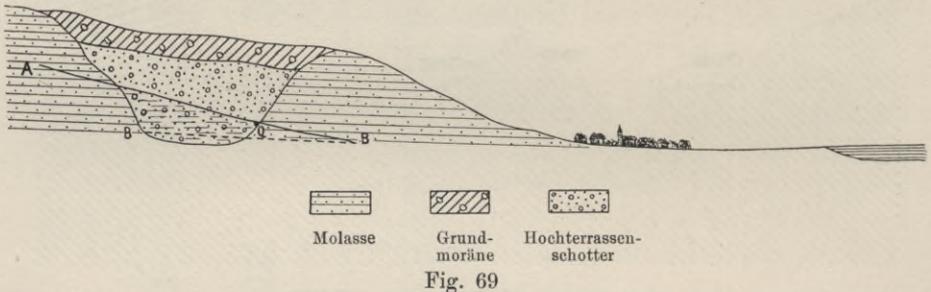
letzten Eiszeit von den Flüssen erzeugt, während dieser mit Sedimenten zugeschüttet und nachher von dem betreffenden Flusse nicht wiedergefunden wurden. Fig. 68 stellt die Verhältnisse eines im Gneis eingeschnittenen alten Rheinlaufes bei Lauffenburg dar, der tief unter das junge Erosionstal des heutigen Rheins hinabreicht und mit Niederterrassenschotter erfüllt ist.

Fig. 69 stellt die Verhältnisse bei Küßnacht bei Zürich dar. Ein in der Molasse eingeschnittenes altes Tal ist unten mit fluvio-glazialen Kiesen ausgefüllt, die mit einer das Tal völlig einebnenden Moräne überdeckt sind. Quer über den Verlauf dieses alten Tales läuft ein neues Erosionstal, dessen Gefällrichtung durch die Linie AB unserer Figur angegeben ist. Da, wo dieser Talweg den tiefsten Punkt seines Schnittes mit dem alten Tal besitzt, lag früher eine große Quelle (Q). Durch einen in der Richtung BB getriebenen Stollen wurde der Grund-

wasserreichtum dieses alten abgedeckten Tales angezapft und nutzbar gemacht.

Alle die alten tiefen Rinnen in den Flußgebieten des Rheins vom Bodensee bis Basel, der Limmat vom Züricher See bis zum Rhein, der Aare vom Thuner See bis zum Rhein sind in ihrem unteren Teil mit Hochterrassenschotter ausgekleidet, darüber lagert Moräne und schließlich Niederterrasse. Diese alten Terrassen liegen durchaus nicht immer unter dem jetzigen Flußtal, sondern der heutige vielfach epigenetische Flußlauf verläßt sie häufig und kreuzt sie vielfach und an den Kreuzungsstellen sieht man alsdann bei Niederwasser im Strome das Grundwasser des alten, eingedeckten Tales in Gestalt von Quellen in den jetzigen Flußlauf einbrechen. Das allgemeine Profil ist meistens so, wie es in der Fig. 70 dargestellt ist.

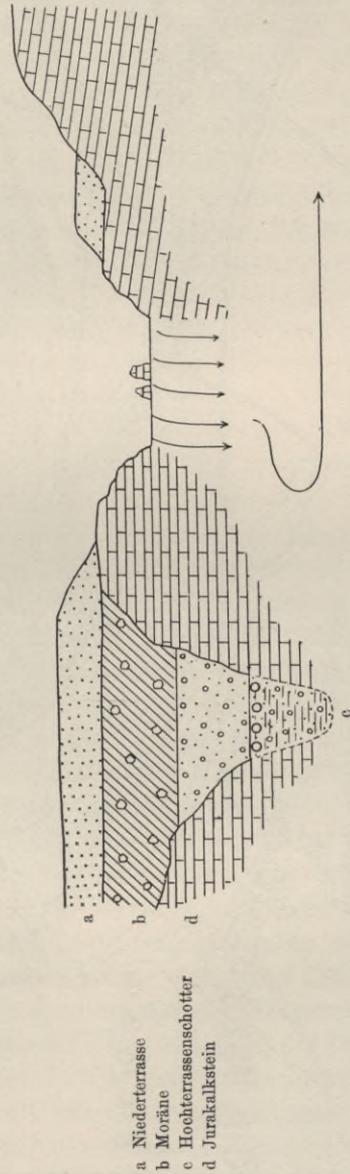
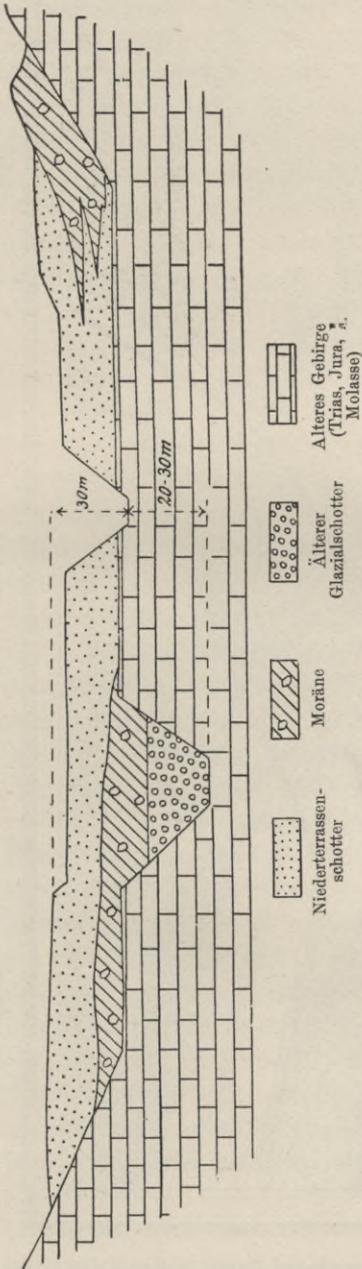
Ein sehr schönes Beispiel bietet die in dem Profil Fig. 71 dargestellte Gegend von Neuhausen am Rhein. Das alte, vom Flusse nicht wiedergefundene Rheintal ist ganz erheblich tiefer als das heutige



Rheintal in den Jura eingeschnitten und mit fluvioglazialen Kiesen der vorletzten Vergletscherung, also dem Hochterrassenschotter, und darüber mit Grundmoräne der letzten oder Würmeiszeit ausgekleidet. Die Hochterrassenschotter sind mit mächtigen Grundwassermassen erfüllt, die an den durch kleine Kreise bezeichneten Stellen für den Ort Neuhausen gewonnen werden. Bei Baden, oberhalb Schaffhausen am Rhein und noch an vielen Stellen finden sich solche alten Flußläufe, die bis 25 m unter die Sohle des heutigen Flußtales hinabreichen und Ströme ausgezeichneten Grundwassers führen, die 40 cbm Wasser und mehr in der Minute zu liefern vermögen und für die Wasserversorgung von Schaffhausen, Baden und anderen Orten benutzt werden. Herrn J. Hug verdanke ich darüber folgende nähere Mitteilungen:

Fig. 72 zeigt uns den Verlauf der Grundwasserströme des alten Rhein- und Glattales in der Gegend der Glattmündung, zusammengestellt aus den Aufschlüssen an den Uferhalden der Flüsse, aus Grundwasserquellen und zahlreichen Tiefbohrungen. Die Grundwasserströme bewegen sich hier in den Kiesausfüllungen der Täler aus der vorletzten Inter-

glazialzeit. Der Kies reicht z. B. im Glattal 21 m unter den heutigen Fluß herab, der Grundwasserstrom weist hier eine Tiefe von 21 m bei



einer Breite von 700 m auf. Berücksichtigen wir, daß der Wasserträger ein gut durchlässiger Kies ist, so kann man auf das Vorhandensein eines sehr großen Grundwasserstromes rechnen.

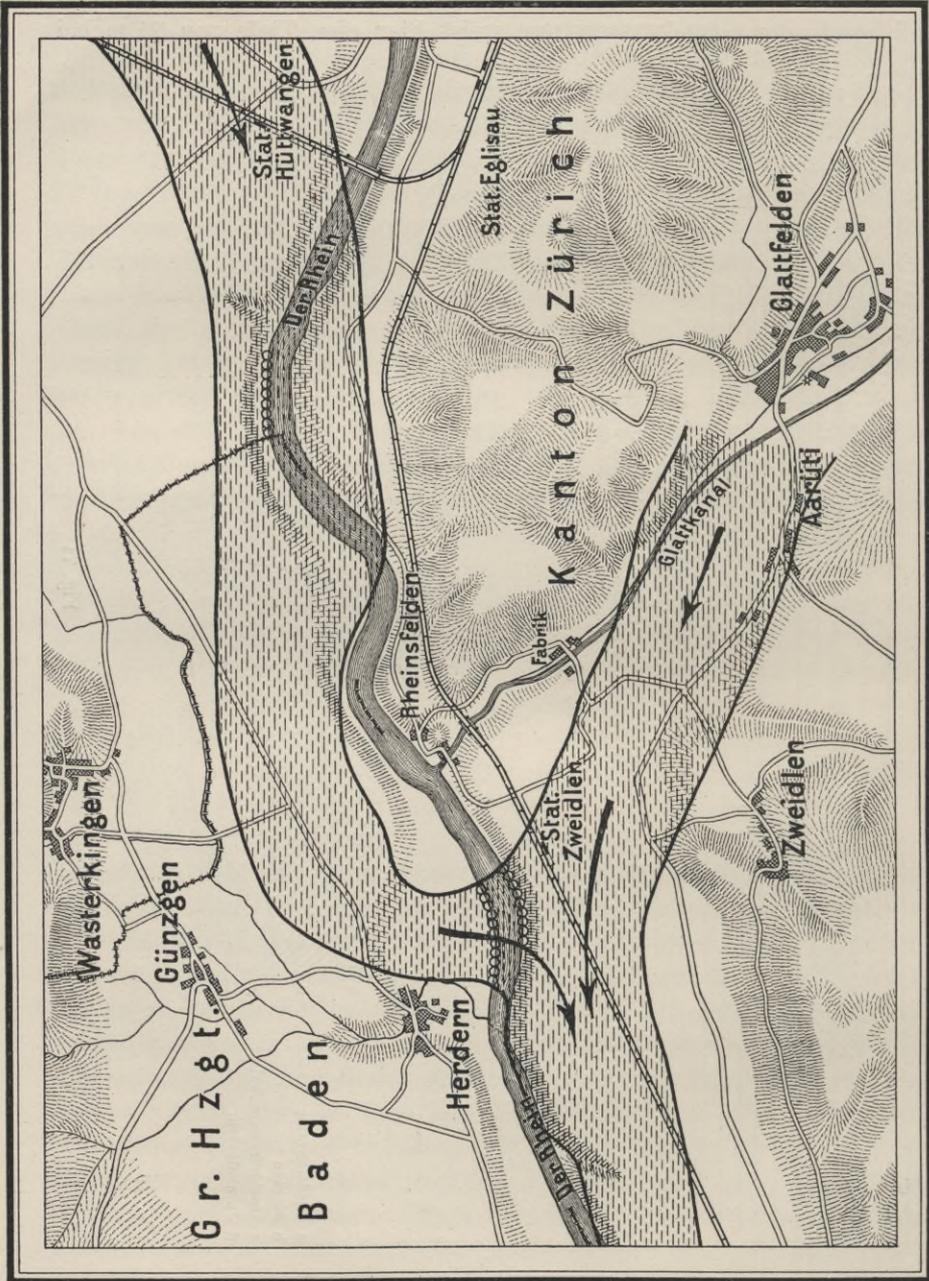


Fig. 72. Grundwasserströme auf der Bahn der interglazialen Täler an der Rhein-Glatt-Mündung 20 km nördlich von Zürich

Die zahlreichen Kreuzungen zwischen heutigen und alten Flußläufen bringen es mit sich, daß die Grundwasserströme an einzelnen Stellen tief angeschnitten werden. Hier können wir denn mit Sicherheit am entsprechenden Flußufer eine mächtige Grundwasserquelle erwarten; besonders bei niedrigem Wasserstande im Winter läßt sich nicht selten auf einer Strecke von 200 und mehr m fast ununterbrochen aus dem Flußkies rieselndes warmes Grundwasser beobachten oder mit dem Thermometer in den Uferregionen des Flusses nachweisen.

Fig. 72 zeigt drei solcher Einmündungsstellen, natürlich ergießt sich dabei jeweilen nur ein Teil des Grundwasserstromes in den Fluß, die Hauptmasse fließt im Kiesprofil unter dem Flusse weiter.

25. Kapitel

Das Grundwasser in lebenden Tälern

Einige neue Erscheinungen der Grundwasserbewegung in einfachen Verhältnissen lernen wir kennen, wenn wir unsere großen Flußtäler betrachten, die nicht wie die eben besprochenen als tote Täler daliegen, sondern von einem ihrer Größe entsprechenden Flusse durchströmt werden. Wir nehmen auch hier wieder ein Tal an, welches mit einem durchlässigen Wasserträger von größerer Mächtigkeit erfüllt ist. Ob auf diesem eine oberflächlich lagernde, dünne Schlickdecke vorhanden ist oder nicht, ist für die uns hier beschäftigende Frage gleichgültig, denn alle unsere heutigen großen Flußtäler sind, selbst in ihrem Unterlauf, in ihren tieferen Teilen mit Sanden der verschiedensten Korngröße ausgekleidet, und die tonige Decke, die die Hochwasser des Flusses an der Oberfläche ausgebreitet haben, bildet in ihnen allen nur eine Haut von verhältnismäßig sehr geringer Mächtigkeit. Wir müssen bei diesen Tälern unterscheiden zwischen dem alluvialen Flußtal, d. h. dem vom Flusse benutzten und bei Überschwemmungen in seiner ganzen Ausdehnung von ihm ausgefüllten Gebiete¹⁾, und einer höheren Talstufe, dem Hochgestade, welches gewöhnlich den größten Teil des Gesamttales einnimmt und über dem Hochwassergebiete des Flusses lagert. Infolgedessen entbehrt das Hochgestade auch der im Überschwemmungsgebiet geschaffenen, oberflächlichen Schlickdecke. Die Sand- und Kiesmassen im Untergrunde des Alluvialtales stehen mit denen des Hochgestades in unmittelbarem Zusammenhange (vergl. Fig. 67); infolgedessen geht die Grundwasserführung dieser Sande ohne jede Unterbrechung aus der höheren in die tiefere Talstufe durch. Wir finden auch in diesen Tälern dieselben Gesetze wie in den im vorigen Kapitel behandelten, aber sie

¹⁾ Wobei natürlich von künstlicher Einengung des Überschwemmungsgebietes durch Eindeichung abzusehen ist.

sind hier beeinflußt durch den Fluß, der durch diese Täler fließt und als wesentlicher Regulator des Grundwasserstandes auftritt. Im normalen Zustande, also bei Mittelwasser des Flusses, bewegt sich das Grundwasser wie in den toten Tälern nach der Mittellinie des Tales zu und dann in dieser abwärts. Da aber in dieser Mittellinie sich nun ein offenes Wasser bewegt, so ergießt sich selbstverständlich ununterbrochen ein Teil des Grundwassers in den offenen Strom hinein und wandert mit ihm weiter. Die Folge davon ist, daß sich der Spiegel des Grundwassers zu dem des Flusses in innige Beziehung setzt, so daß beide ein unteilbares Ganzes bilden, dessen tiefste Stelle eben der offene Spiegel des Flusses darstellt. Wir beobachten infolgedessen, daß das Grundwasser vom Flusse aus ganz langsam quer zur Stromrichtung nach den Talrändern hin ansteigt. Der Betrag dieses Ansteigens ist durchaus abhängig von dem Querschnitt des Tales und von der Höhenlage seiner Randpartien gegenüber dem tiefsten inneren Teile. Je schmaler ein Tal ist, um so schneller, je breiter, um so langsamer steigt die Oberfläche des Grundwassers vom Flusse aus nach den Rändern hin an.

Dieses Verhältnis erleidet jedoch sofort eine Änderung, wenn das Wasser des Flusses selbst zu steigen beginnt. Da die Hochwasser unserer Ströme meist sehr schnell einsetzen und vielfach durch Vorgänge beeinflußt werden, die auf das Grundwasser keine Einwirkung ausüben, so hat dieses aus sich selbst heraus keine Veranlassung, seinerseits entsprechend dem Stromwasser ebenfalls zu steigen. Das Grundwasser kann also nicht mehr in den Fluß hineinfließen, da letzterer jetzt höher liegt, als das angrenzende Grundwasser, und es muß daher eine Umkehrung des vorher beschriebenen Vorganges eintreten, d. h. es wird entweder ein Teil des Flußwassers in das tiefer gelegene Grundwasser abfließen, oder, was zumeist der Fall ist, letzteres stauen. Es wird also von diesem Augenblicke an im Grundwasser zuerst ein Ansteigen entlang dem Flusse und dann eine der vorherigen entgegengesetzte Bewegung erzeugt werden, nämlich eine landeinwärts vordringende Welle, die in den dem Flusse am nächsten gelegenen Brunnen am schnellsten, unter Umständen schon nach Stunden, in weiter entfernt gelegenen Gebieten sich langsamer, nach Tagen oder vielleicht erst nach Wochen bemerkbar macht. Das Vorrücken dieser Welle landeinwärts kann sogar noch andauern, wenn der Fluß selbst seinen höchsten Stand bereits überschritten hat. Wenn der Fluß wieder zur normalen Wasserführung zurückgelangt ist, tritt durch Umkehrung der Grundwasserbewegung diese Welle langsam wieder zurück.

Steht der Hauptfluß unter anderen meteorologischen Faktoren wie seine Nebenflüsse, so wird durch das Hochwasser des Hauptflusses das Wasser der Nebenflüsse gestaut, aus dem Hauptstrom fließt in den Nebenfluß eine Hochwasserwelle rückwärts, flüßaufwärts, und erzeugt

nun ihrerseits eine vom Nebenfluß ausgehende, sekundäre, entgegengesetzte Grundwasserwelle, so daß in einem breiten Grundwasserstrom, der von einem System solcher Flüsse durchzogen wird, die verwickeltesten Formen der Grundwasserbewegung auftreten können.

Ein treffliches Beispiel für alle diese Erscheinungen bietet uns die breite oberrheinische Tiefebene zwischen Basel und Mainz. Das Gebiet dieser Tiefebene stellt einen typischen Grabeneinbruch dar. Zwischen den Vogesen einerseits und dem Schwarzwald andererseits ist zwischen nordsüdlich verlaufenden, gewaltigen Verwerfungsspaltenzügen ein breiter Streifen der Erdrinde in die Tiefe gesunken. In diesem Senkungsgebiet hat nach mannigfachen vorhergegangenen Schicksalen der Rheinstrom seinen Weg genommen und gewaltige Massen von Schottern und Sanden abgelagert. Die Eiszeit hat diesen Schichten ihre Spuren eingegraben, sie hat Terrassen von verschiedener Höhenlage aufgeschüttet und glaziale Sedimente der lokalen Gletscher der beiden Randgebirge zusammen mit jenen Schottern abgelagert, dazwischen haben mächtige Lößdecken sich gebildet, und als Gesamtergebnis haben wir eine enorme Ablagerung meist durchlässiger Schichten, die das ganze Tal — wieder abgesehen von der dünnen Schlickdecke des heutigen Alluvialtales — in seiner vollen Breite von 30 km überkleiden. Mit diesen Schottern und Sanden wechseln tonige Einlagerungen und in den höheren Teilen des Tales glaziale Bildungen, Moränenablagerungen und Löß. Die einzelnen aus den Vogesen und dem Schwarzwald herzufließenden Flüsse haben sodann noch vor ihrer Mündung in das Haupttal große Deltas aufgeschüttet, die den älteren Ablagerungen aufgesetzt sind. Durch dieses große Tal fließt nun neben dem Rhein noch eine ganze Reihe anderer Flüsse, teils das Tal durchquerend und dem Hauptflusse zueilend, teils, wie die Ill, auf lange Strecken ihm parallel laufend. Durch alle diese Erscheinungen sind die Vorbedingungen für eine außerordentlich reiche und mannigfaltige hydrographische Entwicklung gegeben. Die Sand- und Kiesmassen, die das Tal auskleiden, überschreiten stellenweise eine Mächtigkeit von 100 m, während sie an anderen Stellen, wo ältere, undurchlässige Gesteine emporragen, auf wenige Meter, ja sogar auf Null reduziert sein können. Man bleibt aber jedenfalls nicht hinter dem Durchschnitt zurück, wenn man für die mittlere Mächtigkeit der durchlässigen Schichten des Rheintales 15 m annimmt. Dann erhält man bei der mittleren Breite von 30 km einen Querschnitt von wenigstens 450 000 qm, eine Fläche, die ungefähr 800 mal so groß ist wie der Wasserquerschnitt des Rheins bei Mittelwasser. Die Sedimente, die das Rheintal auskleiden, sind zum großen Teile grobkörnige Schotter von meist steiniger Natur. Daneben finden sich feinere Sande und sogar Feinsande in mannigfaltigstem Wechsel. Während die groben Schotter ein Porenvolumen von ungefähr $\frac{1}{3}$ ihrer Masse besitzen, haben die feinsten Bildungen nur

ein Porenvolumen von $\frac{1}{8}$. Die Ermittlung des Porenvolumens am ausgehobenen und eingeschüttelten Boden liefert nach Daubrée viel geringere Resultate als die Untersuchung am Rheinschotter auf natürlicher Lagerstätte. Wenn man nämlich einen Kubikmeter Rheinkies ausschachtet und in einem Maßgefäß wieder einschlemmt, so erhält man ein Massendefizit, das bis zu $\frac{1}{4}$ des Ganzen ansteigen kann. Dadurch wird bewiesen, daß die Rheinkiese bei weitem nicht das Mindestmaß von Raum einnehmen, welches bei ihren Größenverhältnissen möglich ist, sondern daß sie außerordentlich sperrig lagern, so daß das Porenvolumen erheblich viel größer ist, als die Untersuchung es ergibt. Wenn man diesen Umstand berücksichtigt, so bleibt man sicherlich erheblich hinter dem Durchschnittswert zurück, wenn man als mittleres Porenvolumen jener 15 m mächtigen Schicht $\frac{1}{4}$ der Masse annimmt. Dann sind von den 450 000 qm wasserführenden Querschnittes 112 500 für die Aufnahme von Wasser disponibel, d. h. in jedem einen Meter breiten Streifen quer über das Rheintal hinüber sind bis zur mittleren Tiefe von 15 m 112 500 cbm Wasser vorhanden. Wenn man sich einen Streifen von 1 km Breite quer über das Tal herausgeschnitten denkt, so ist die Wassermenge innerhalb dieser Fläche so groß, daß der Rhein bei Mittelwasser 32 Stunden ununterbrochen fließen müßte, um diese Schottermassen mit Wasser aufzufüllen. Die Bewegung des Grundwassers ist außerordentlich rasch, ein Ersatz des Wassers bei Entnahme stellt sich sofort ein, so daß eine Senkung des Grundwasserspiegels erst bei größeren Entnahmen bemerkbar wird. Die Grundwasser, die in den Schottern und Sanden des Rheintales zirkulieren, werden selbstverständlich von dem mächtigen Strome, der sein Bett in sie eingesenkt hat, außerordentlich stark beeinflußt. Wenn der Rhein steigt, so erfolgt eine Aufstauung des Grundwassers nach den Seiten hin, und die Grundwasser-oberfläche in der Tiefebene läßt in den Brunnen ein Ansteigen wahrnehmen, welches, je näher dem Flusse, um so mehr zeitlich mit dessen Steigen übereinstimmt, je weiter entfernt von ihm, sich um so später und in um so abgeschwächerem Maße zu erkennen gibt. Die Steigungsperioden des Rheins werden nicht durch die Niederschläge beeinflußt, die auf der oberrheinischen Tiefebene fallen, denn der Rhein tritt bei Basel bereits mit einer gewaltigen Wassermenge in die Tiefebene ein, so daß die kleinen Flüsse seinen Wasserstand nicht mehr wesentlich beeinflussen können. Er unterliegt vielmehr den meteorologischen Vorgängen in den Alpen, und seine Hochwässer sind wesentlich durch die Schneeschmelzen des Hochgebirges bedingt. Darum treten sie in Zeiten ein, in denen in den benachbarten Gebieten Trockenperioden herrschen und deren eigene Flüsse mit Niederwasser gehen. Aus dieser großen Verschiedenheit der Hochwässer des Hauptflusses gegenüber denen der Nebenflüsse ergeben sich nun interessante Wechselbeziehungen, wie sie

bereits oben angedeutet sind. So fließt beispielsweise die Ill auf einer langen Strecke dem Rheine parallel. Hat der Rhein Hochwasser, so wandert von ihm quer über das die beiden Flüsse trennende Gebiet eine unterirdische Grundwasserwelle der Ill zu, erreicht sie nach einer gewissen Zeit und fließt in sie hinein. Liegen im Zwischengebiet tiefere Terraineinschnitte, so können diese Grundwasserwellen sogar in künstlichen oder natürlichen Wasserläufen an die Oberfläche gelangen und oberirdisch ihren Weg weiter nehmen.

Ferner aber geht durch Rückstau ein Steigen der Nebenflüsse vor sich, die dann auch an das Grundwasser abgeben oder dieses stauen. Geht umgekehrt der Rhein mit Niederwasser, seine Nebenflüsse mit Hochwasser, so findet eine vollständige Umkehrung des Vorganges statt.

Die Wechselbeziehungen zwischen einem Flusse und dem Grundwasser des von ihm durchflossenen Tales können zu eigenartigen Schaukelbewegungen im Grundwasser führen. Wenn nämlich ein Fluß sich teilt und mit seinen Armen eine große Insel einschließt, so stellt



Fig. 73



Fig. 74

sich in dieser ein Grundwasserspiegel ein, der sich von dem mittleren Teile der Insel aus nach beiden Seiten gegen das offen fließende Wasser hin senkt. Den Kern der Insel bildet also jetzt ein Wellenberg. Steigt der Fluß schnell an und erhebt sich sein Hochwasserspiegel über den höchsten Punkt jenes ursprünglichen Wellenberges, so tritt infolge Eintritts des Flußwassers in das Grundwasser jetzt innerhalb der Insel eine vollständige Umkehrung der Grundwasseroberfläche ein und sie wird zu einer Mulde, so daß ihr innerer Teil im Anfange des umgekehrten Vorganges eine Einsenkung darstellt. Dabei ist natürlich die absolute Höhenlage des inneren Teiles der Grundwasseroberfläche in beiden Fällen völlig gleich geblieben. Die beiden oben stehenden Fig. 73 und 74 erläutern diese Erscheinungen, die beispielsweise im Reintal bei Köln durch E. Kaiser beobachtet worden sind.

Die eben geschilderten Verhältnisse erfahren eine tiefgreifende Veränderung, sobald der Fluß nicht in seinem natürlichen, in das Tal eingesenkten Bette dieses durchfließt, sondern wenn er durch Dämme künstlich eingengt ist. In diesem Falle erfolgt bei allen schnell-

fließenden und reichlich Sand und Kies transportierenden Flüssen in verhältnismäßig kurzer Zeit eine Aufhöhung des Flußbettes zwischen den Deichen. Der Fluß kann seine Senkstoffe nicht mehr über die ganze Breite des Tales abladen, sondern muß sie alle in dem künstlich eingeeengten Profile weiter transportieren. Die Aufhöhung des Flußbettes zwingt selbstverständlich zu einer fortdauernden Erhöhung der Deiche. So ist es gekommen, daß beispielsweise die Oder bei Küstrin sich in 1 $\frac{1}{2}$ Jahrhunderten zwischen ihren Deichen so aufgehöhht hat, daß ihr Spiegel heute stellenweise bis zu 4 m höher liegt als die Oberfläche des benachbarten Talbodens. Noch viel beträchtlicher ist dieses Emporwachsen bei von alters her eingedeichten Flüssen, wie z. B. beim Po, dessen Spiegel in der Gegend von Ferrara heute in der Höhe des zweiten Stockes der Häuser liegt. Natürlich ist unter diesen Verhältnissen ein Zuwandern des Grundwassers zum Flußwasser völlig ausgeschlossen, und die Abwanderung des Flußwassers in das Grundwasser kann sich nur so vollziehen, daß von dem künstlich gehobenen Flusse aus das Wasser vertikal abfließt und sich nach Erreichung der Grundwasser-oberfläche des Tales langsam seitlich verbreitet. Es liegt hier derselbe Fall vor wie in künstlich aufgestauten Seen auf durchlässigem Grunde, bei denen auch die Wasserfläche des Sees in keiner Beziehung steht zum Grundwasser, sondern erheblich höher liegt. Trotzdem aber wird hier eine Verbindung zwischen Grund- und Seewasser hergestellt durch eine senkrecht die Unterlage des Sees durchwandernde Wassersäule. Natürlich übt diese Wassersäule einen gewissen Druck auf das Grundwasser aus und vermag dahin zu wirken, daß bei starker Erhöhung durch Hochwasser das Grundwasser emporgedrückt und eine Überflutung des Talbodens herbeigeführt wird, ohne daß ein unmittelbarer Eintritt von Stromwasser in die Niederung erfolgt.

Nicht in allen Fällen tritt Flußwasser in das Grundwasser ein, sobald dessen Spiegel tiefer liegt als der Flußspiegel. Es gibt vielmehr außerordentlich zahlreiche Flüsse, besonders in Gebieten mit geringem Oberflächengefälle, in denen eine natürliche Dichtung des Flußbettes durch anorganischen Schlamm und durch organische Substanzen, Algenvegetation u. a. statt hat. Eine derartige Auskleidung des Flußbettes hindert einen Übertritt von höher stehendem Grundwasser in den Fluß nicht, wohl aber die umgekehrte Bewegung bei steigendem und den des Grundwassers übertreffendem Flußwasserspiegel. In zahlreichen Fällen haben praktische Erfahrungen bei künstlichen Senkungen des Grundwasserspiegels in der Nähe von Flüssen die absolute Dichtigkeit der Flußbetten kennen gelehrt. Der später noch zu besprechende ausgedehnte Senkungstrichter des Braunkohlentagebaues Marga bei Senftenberg verläuft auf einer Strecke von einigen Kilometern unter dem Fluß-
bette der Schwarzen Elster, ohne daß diese auch nur einen Tropfen

Wasser nach unten abgibt, während ein ihr parallel fließender und von ihr gespeister künstlicher Graben auf seiner ganzen innerhalb des Senkungstrichters gelegenen Strecke trocken gelegt ist. Bei dem Bau der Plötzenseer Schleusen bei Berlin für den sog. Großschiffahrtsweg wurde der Grundwasserspiegel künstlich sehr bedeutend gesenkt und es zeigte sich, daß unter dem Schiffahrtskanale zwischen Kanalsohle und gesenktem Grundwasserspiegel vollkommen trockener Sand lag, daß also die Selbstdichtung des Kanalbettes eine vollkommene war. Jedenfalls bestehen enge Beziehungen zwischen der Undurchlässigkeit der Flußbetten einerseits und der Strömungsgeschwindigkeit, also dem Gefälle und der Korngröße der Sedimente andererseits. Die gleiche Unabhängigkeit zwischen offenem Wasser und Grundwasser gilt auch für unsere Seen. Teils durch organischen Schlamm, teils durch tonige Trübe aus den in sie mündenden Flüssen werden in der großen Mehrzahl unserer Seen natürliche Abdichtungen geschaffen, die wie ein Ventil wirksam sind, indem sie zwar dem Grundwasser den Zutritt zum See gestatten, aber umgekehrt einen nennenswerten Abfluß des Seewassers in etwaiges tiefer gelegenes Grundwasser durchaus verhindern.

Daß die Auskleidung eines Fluß-, Bach- oder Seebettes mit Sinkstoffen zwar den Zutritt von Grundwasser zum offenen Wasser gestatten, aber die Abwanderung von offenem Fluß- oder Seewasser in den Untergrund verhindern kann, können wir durch folgenden Versuch uns klar machen: wenn wir den durchlöcherten Boden eines engmaschigen Siebes mit zahlreichen kleinen Stanniolblättchen in mehrfacher Lage bedecken und das Sieb dann mit Wasser füllen, so hindert die Stanniolschicht das Wasser am Entweichen nach unten. Tauchen wir dann das mit Wasser gefüllte Sieb in ein Gefäß mit Wasser ein, so daß das Wasser im Sieb höher steht, als das des Gefäßes, so wird ebenfalls kein Wasser aus dem Siebboden heraustreten, weil das Wasser im Siebe einen Überdruck besitzt und die Stanniolblättchen fest auf den Boden des Siebes aufpreßt. Erst wenn wir das Sieb soweit in das Gefäß eintauchen, daß der Wasserspiegel in letzterem höher steht, als im Siebe, wird unter dem Überdrucke des äußeren Wassers die Stanniolschicht sich heben und der Wasserspiegel im Siebe steigen.

Der Wasserspiegel im Siebe entspricht dem des Flusses oder Sees, die Stanniolblättchen der natürlichen Schlammabdichtung, der Siebboden dem Sanduntergrunde des Flusses oder Sees und das Wasser in dem Eintauchgefäße dem Grundwasser. Solange das Flußwasser höher steht, als das benachbarte Grundwasser, wird kein Grundwasser in den Fluß einwandern und kein Flußwasser in das Grundwasser abwandern können. Erst wenn der Flußpiegel unter den des Grundwassers sinkt, wird das letztere soviel Überdruck besitzen, um die leichte dichtende Tonhaut des Fluß- oder Seebettes ein wenig anzuheben und durch Übertritt in

das offene Wasser einen Druckausgleich herbeizuführen. Sobald beide Spiegel auf diese Weise wieder in Übereinstimmung gebracht sind, hört auch der Zutritt von Grundwasser in den Fluß wieder auf und der letztere wird wieder undurchlässig. Ein Austritt von Flußwasser in das Grundwasser aber ist bei gut gedichtetem Untergrunde des ersteren so gut wie ausgeschlossen.

So ist beispielsweise das Sinken des Schlachtensees und der Krummen Lanke im Grunewalde bei Berlin wahrscheinlich nicht auf eine direkte Abwanderung des Seewassers in den durch die Charlottenburger Wasserwerke in seinem Grundwasserspiegel gesenkten Untergrund zurückzuführen, sondern darauf, daß der frühere Überdruck des Grundwassers über das Seewasser und der damit zusammenhängende fortdauernde Eintritt von Grundwasser in die Seen seit der Senkung des Grundwasserspiegels aufgehört hat. Da die Seen keinen oberirdischen Zufluß besitzen, so werden sie heute nur noch durch die Niederschläge gespeist. Diese aber sind nicht ausreichend, um die Verdunstung der offenen Seenflächen auszugleichen und infolgedessen sinken die Seen fortdauernd um denselben Betrag, um welchen die Verdunstungshöhe die Niederschlagshöhe überwiegt, d. h. um durchschnittlich $\frac{1}{3}$ m im Jahre. Eine direkte Abwanderung des Seewassers nach unten ist durch die dichte und mehr als 10 m mächtige Faulschlammauskleidung der Seen verhindert. Wäre dies nicht der Fall, so wären die genannten beiden Seen heute wahrscheinlich schon vollständig trocken gelegt. Ihr Sinken wird aufhören, sobald ihr Spiegel mit dem Grundwasserspiegel in einer Ebene liegt.

26. Kapitel

Das Grundwasser in diluvialen Hochflächen

Ein weiteres lehrreiches Beispiel der Wasserbewegung in durchlässigen Schichten lernen wir kennen, wenn wir solche mächtigen Anhäufungen lockerer Trümmergesteine betrachten, die Flächen vom Charakter der Hochflächen aufbauen. Der Unterschied solcher Hochflächen gegenüber den Flußtäälern ist im wesentlichen begründet in den erheblich viel höheren Beträgen der eingesenkten Wasserläufe. Während in unseren breiten Flußtäälern die Einsenkungen des alluvialen in den diluvialen Talboden im allgemeinen nur wenige Meter betragen, steigt die Erosionswirkung der Flüsse in den Hochflächen auf 10, 20, 100 und mehr Meter an. Ausgezeichnete Beispiele dieser Art bieten uns einmal die großen, aus sandigen Schichten aufgebauten Hochflächen, die vor den Endmoränen Norddeutschlands liegen und im 3. Kapitel als Sander beschrieben sind, und sodann die völlig gleichartigen Aufschüttungen fluviatil-

glazialen Charakters, die sich an die diluviale Alpenvergletscherung im Norden und Süden anschließen. In solchen hochgelegenen durchlässigen Sand- und Kiesgebieten bewegt sich genau wie in den Flußtälern ein Grundwasserstrom, und zwar entspricht seine Bewegung im allgemeinen derjenigen der Oberfläche, ist also in Norddeutschland gewöhnlich nach Süden hin, auf das nächste große Urstromtal zu, in den Alpen mehr oder weniger rechtwinklig zum Gebirgsrande gerichtet. In diesen Sandmassen sind nun Täler eingeschnitten, die auf langen Strecken ihres Weges mit stehendem Wasser, mit Seen oder Torfmooren, erfüllt sind und in den Zwischenstücken fließendes Wasser beherbergen, welches zum Teil ebenfalls durch mächtige Flachmoore hindurch seinen Weg nimmt. Reicht der Grundwasserträger bis unter die Sohle jener Täler bzw. Seenketten, folgt also die erste wasserstauende undurchlässige Schicht erst unter ihnen, so bilden diese Seenketten und Täler genau ebenso wie die Flüsse unserer breiten Täler die natürliche Entwässerungslinie des Hochflächengrundwassers, und dieses setzt sich zum Wasserspiegel jener Seen genau ebenso in Beziehung, wie das Grundwasser der Täler zu dem der sie durchfließenden Flüsse. In der Hauptrichtung

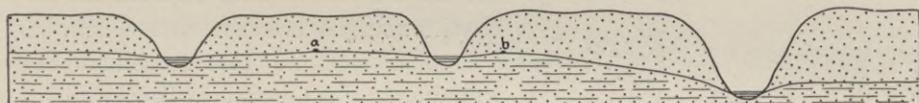


Fig. 75

des Grundwasserstromes, also in der durch die eingeschnittenen Täler und Seen angedeuteten Richtung, zeigt uns also ein Querschnitt durch ein solches Gebiet eine außerordentlich flachgeneigte und gleichmäßige Grundwasseroberfläche, quer zur Fließrichtung dagegen und über die Täler hinweg eine im Anschluß an die Seen bzw. Täler parabolisch ansteigende und dann im allgemeinen eben verlaufende Oberfläche des Grundwassers.

Diese großen sandigen und kiesigen Hochflächen sind allermeist von einem ganzen System von Tälern durchzogen, die z. T. als Seenketten entwickelt sind, und die zwischen je zwei von ihnen liegenden Hochflächenstücke bilden sich ihre Grundwassergleichgewichtslage in der Weise heraus, daß sich in ihnen eine Linie entwickelt, von der aus sich das Wasser nach beiden Seiten, den beiden Tälern zu senkt. Diese Linie, welche die höchsten Punkte des Grundwassers miteinander verbindet, entspricht völlig der Wasserscheide der oberirdischen Gewässer und wird dementsprechend auch als Grundwasserscheide bezeichnet. Liegen in einem Querschnitt die beiden entwässernden Talzüge in gleicher Meereshöhe (links in Fig. 75), so liegt im allgemeinen die Grundwasserscheide in der Mitte zwischen ihnen (bei a), liegt dagegen

die eine Senkette oder Talsenke höher als die andere (rechter und mittlerer Einschnitt in Fig. 75), so rückt die Grundwasserscheide der ersteren sehr viel näher und zwar um so näher, je größer der Unterschied in der Höhenlage ist (bei b). Fig. 75 erläutert beide Fälle dieses gegenseitigen Verhaltens.

Es ist infolgedessen das Grundwasser in solchen Flächen in einer Höhenlage zu erwarten, welche diejenige der benachbarten Talböden bzw. Seenflächen um einen gewissen Betrag überschreitet.

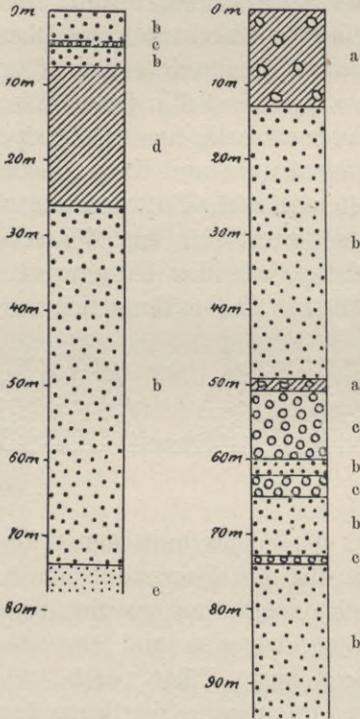


Fig. 76

Fig. 77

a Geschiebemergel, b Sand, c Kies, d Tonmergel, e feiner Sand

Wenn eine mächtige Sandaufschüttung große, geschlossene von der Erosion nur ganz schwach angeschnittene Gebirgskörper bildet, und wenn tief eingreifende Erosion nur an den Rändern solcher Körper zu finden ist, so liegt der Grundwasserspiegel gewöhnlich außerordentlich tief und ist erst in einer Tiefe zu erwarten, die etwas geringer ist als die Höhenlage der im Gebiete tiefster Erosion zu beobachtenden Wasseraustrittsstellen.

Ein Beispiel hierfür bildet der Fläming in der Gegend zwischen Jüterbog und Magdeburg. Dieser Höhenrücken, der bis zu 200 m Meereshöhe ansteigt, besteht ganz überwiegend aus sandigen Aufschüttungen von mehr als 100 m Mächtigkeit, in denen nur ganz untergeordnete und nach den Seiten sich rasch auskeilende undurchlässige Bildungen, Geschiebemergel und Ton, eingeschaltet sind. Das Profil zweier Bohrungen in der Nähe der höchsten Punkte des Fläming bei Wiesenburg

und Hagelberg (Fig. 76 und 77) lehrt den Aufbau kennen. Die eigentliche Hochfläche des Fläming ist außerordentlich wenig gegliedert, und die flachen, kleinen Täler in ihr sind allermeist Trockentäler und dienen nur periodisch den abziehenden Schneeschmelzwässern zum Bett, und selbst diese Gewässer pflegen in dem außerordentlich durchlässigen Boden zu verschwinden. So liegt südlich von Wiesenburg ein ganzes Meßtischblatt von $2\frac{1}{2}$ Quadratmeilen Größe (Stackelitz), aus welchem nicht ein einziger Tropfen fließenden Wassers austritt. Ein von Norden aus der Gegend von Wiesenburg kommender Bach verschwindet in der Mitte des Blattes im tiefen Sande und die Fortsetzung seines Tales

liegt ebenfalls als Trockental da. Im Randgebiet des Fläming dagegen hat die Erosion tiefe Einschnitte geschaffen. In einer Zone von etwa 1 Meile Breite begegnet uns eine ungewöhnlich reiche Gliederung; es treten zahlreiche Täler mit immer wieder sich verzweigenden Nebentälern auf. Dieses ganze Talsystem ist in seinen oberen Teilen durchaus trocken und wird ebenso wie die Täler der eigentlichen Hochfläche nur periodisch vom Wasser benutzt. Erst in etwa 80 m Höhe über dem Meeresspiegel, 25—30 m über dem Talboden des im Norden den Fläming begrenzenden großen Urstromtales, beginnt die Wasserführung der Täler. Wenn wir uns von den Punkten jener oben im Profil gegebenen Bohrungen bei Wiesenburg und Hagelberg ein Profil nach dem Urstromtale hin konstruieren und zwar im Zuge eines jener sich unmittelbar an das Dorf Hagelberg anschließenden Trockentäler, so sehen wir oberhalb der Stadt Belzig bei Q in Fig. 78 die Wasserführung der Täler beginnen in einer Meereshöhe von etwa 80 m, und dementsprechend finden wir das Grundwasser in dem genannten Bohrloche bei Hagelberg erst in einer Tiefe von etwa 100 m. Die Verbindung jener



Fig. 78. Grundwasserverhältnisse des Hohen Fläming

beiden Punkte ergibt uns die ungefähre Lage der Grundwasserwelle (Fig. 78).

Die Grundwasserscheide in aus durchlässigen Gesteinen aufgebauten Hochflächen ist von der oberirdischen Gewässer in den meisten Fällen unabhängig, was bei hydrologischen Untersuchungen oft nicht genügend berücksichtigt wird.

Ich verweise in dieser Richtung auf das bereits oben gegebene Beispiel des Stahnsdorfer Friedhofs, wo ein Grundwasserstrom in die tiefgelegene Südostecke des Gebietes eintritt und dasselbe mit einem Gefälle nach Nordwesten durchwandert (vergl. Fig. 52), obwohl gerade in dieser Richtung das Gelände ansteigt. Hier wirkt die im Norden vorliegende Senke, die vom Teltowkanal benutzt wird, als ein Regulator des Grundwassers und der Grundwasserstrom der Hochfläche fließt mit gleichmäßigem Gefälle unter der sich wölbenden darüber liegenden Hochfläche ihm zu. In Fig. 79 ist jenes Gebiet mit der oberirdischen Wasserscheide (gestrichelte Linie) und in Fig. 80 der Verlauf des Grundwassers unter dieser in der Richtung zum Teltowkanale dargestellt. Letzteres Profil reicht von dem Gebiete in der Mitte zwischen Gütergotz und dem Friedhofs im Süden bis zum Tale des Teltowkanals im Norden.

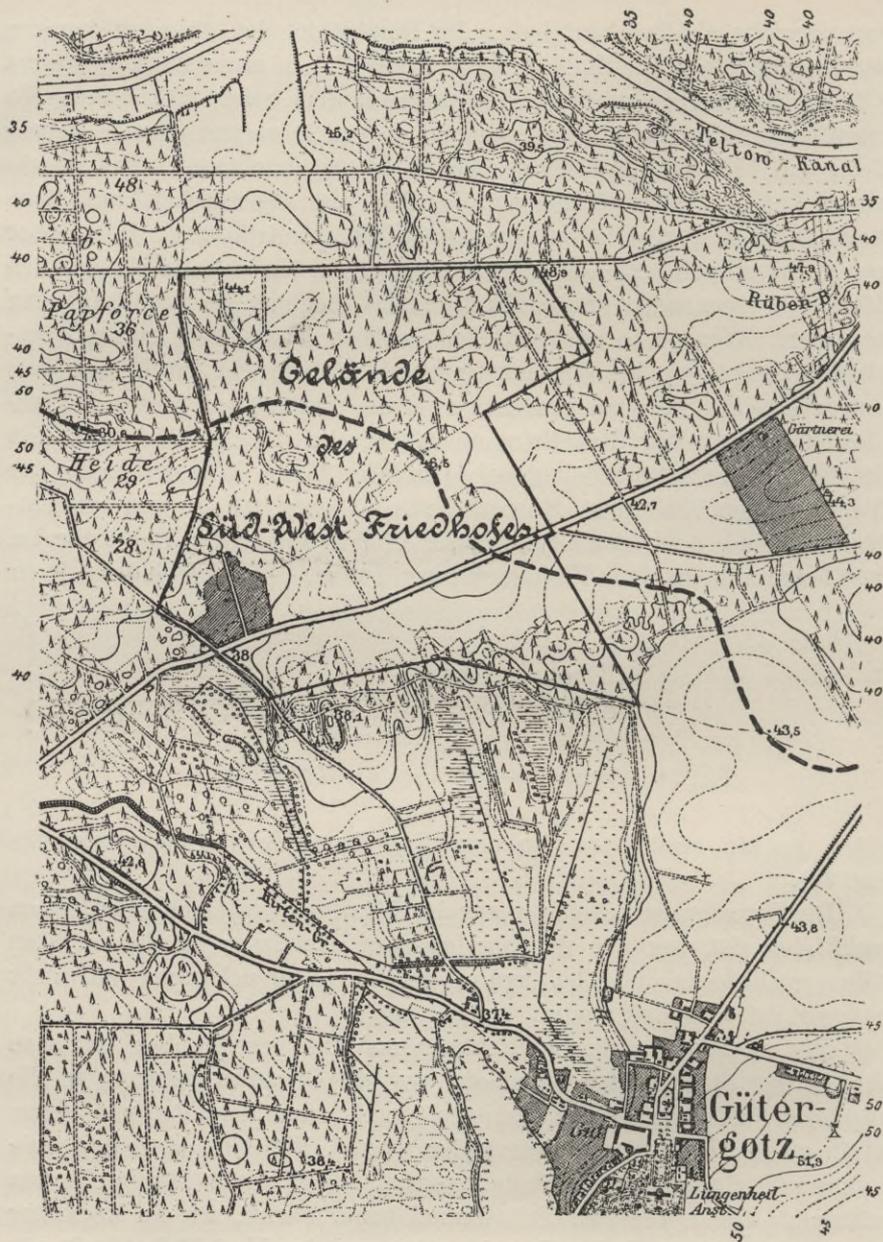


Fig. 79

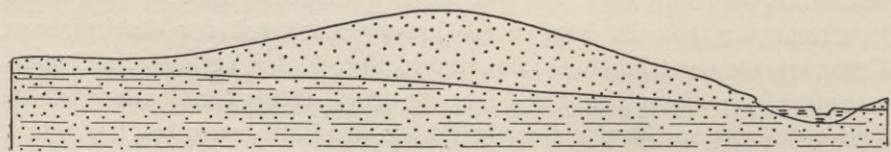


Fig. 80

27. Kapitel

Das Grundwasser in Dünengebieten

Wir haben bereits die außerordentlich große Verbreitung der Dünen sowohl an den Küsten der Meere wie auch im Binnenlande kennen gelernt. Sie liegen stets an der Oberfläche, gehören daher zu der Gruppe von Gesteinen, die wir bisher in bezug auf ihre Wasserführung betrachtet haben. Sie unterscheiden sich von diesen nur durch ihre Feinkörnigkeit und die Gleichkörnigkeit des Wasserträgers. Diese Feinkörnigkeit und die mit ihr verbundene starke Reibung sind die Ursachen einer uns hier zum ersten Male entgegretenden Erscheinung. Während in den bisher betrachteten Gebieten mit großer Durchlässigkeit der Grundwasserspiegel sich immer als eine mehr oder weniger vollkommene Ebene gezeigt und in bestimmter Richtung geneigt erwiesen hat, machen wir bei der Untersuchung der Dünengebiete in bezug auf die Höhenlage des Grundwasserspiegels die Beobachtung, daß dieser eine flachwellenförmige Oberfläche besitzt und daß flache Rücken und Senken miteinander abwechseln (Fig. 81). Wenn wir die Gestalt der Grundwasseroberfläche mit der



Fig. 81. Grundwasserspiegel in Dünengebieten

der Dünenoberfläche vergleichen, so erkennen wir unzweifelhafte Beziehungen beider, denn unter den Dünenhügeln und -Kämmen finden wir Grundwasseranschwellungen und -Rücken und unter den Dünensenken und -Tälern liegen Grundwasserbecken und -Rinnen. Die Grundwasseroberfläche bietet uns also ein allerdings stark abgeschwächtes Spiegelbild der Dünenoberfläche. Infolge dieser unregelmäßigen Wasseroberfläche unter den Dünen begegnet uns das Wasser in einem solchen Gebiet oft in recht auffälliger Weise. An den Küsten unserer Ostsee findet man oft kaum 100 m von der Küste entfernt in der hohen Stranddüne von den Fischern angelegte Wasserlöcher, die aus einer in den Sand eingegrabenen Tonne ohne Boden bestehen. Man kann beobachten, daß in ihnen das reine, klare, schmackhafte Dünenwasser mehrere Meter über dem Ostseespiegel liegt. Daß es in der Tat ausschließlich die stark vermehrte Reibung ist, die eine Ausgleichung des Grundwasserspiegels in dem gesamten Dünengebiet verhindert, geht daraus hervor, daß in Gebieten mit gröber gekörnten Grundwasserträgern ein solcher unbedingter Zusammenhang zwischen der Gestalt der Erdoberfläche und der des Grundwassers sich nicht feststellen läßt (vergl. voriges Kapitel).

28. Kapitel

Die Beziehungen des Süßwassers zum Salzwasser in durchlässigen Küstengebieten

Da die Dünengebiete sich sehr häufig an die Küsten unserer Meere und damit an große Salzwasseransammlungen anschließen, so bieten sie eine vorzügliche Gelegenheit, die gegenseitigen Beziehungen zwischen Salzwasser und Süßwasser kennen zu lernen.

Besonders die Arbeiten im holländischen Dünengebiet, wo zum ersten Male in größerem Maßstab der Versuch gemacht wurde, das Grundwasser der Dünengebiete für die Versorgung von Städten, wie Amsterdam, Delft, den Haag, in Anspruch zu nehmen, haben uns lehrreiche Einblicke in diese wechselseitigen Beziehungen verschafft. Et-

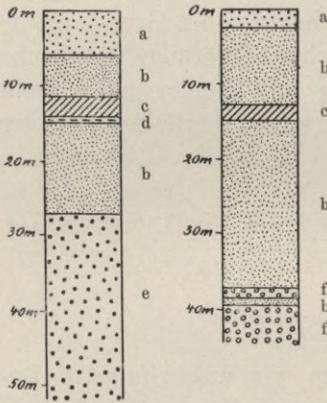


Fig. 82

a Düne, b feiner Seesand, c Schlick,
d Torf, e grober diluvialer Sand,
f diluvialer feiner Kies

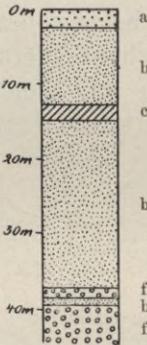


Fig. 83

was andere Verhältnisse treten uns da entgegen, wo Düneninseln rings von Salzwasser umflossen sind, wie dies in der in Inseln aufgelösten östlichen Fortsetzung der holländischen Festlandsdünenkette von Terschelling bis Wangeroog der Fall ist. Wir beginnen mit der Betrachtung des letzteren Falles, für den die von mir studierten Verhältnisse der Insel Norderney typisch sind.

Die Ostfriesischen Inseln sind aufgebaut oberhalb des Meeresspiegels aus Dünen, von sehr unregelmäßiger Gestalt, mit ausgedehnten Dünentälern und von sehr wechselnder Höhe, die bis zu mehr als 20 m ansteigt, aber im Mittel etwa

nur 10—15 m beträgt. Darunter folgt feiner Sand, vielfach mit Torf- und Schlickeinlagerungen bis zu 30 m und mehr unter dem heutigen Meeresspiegel, was auf eine in alluvialer Zeit erfolgte Senkung hinweist, und darunter glaziale Sande von mittlerer Korngröße. Die Profile zweier Brunnenbohrungen auf der Insel Norderney mögen als Beispiel (Fig. 82 und 83) hier angeführt sein.

Trotz der Nähe des Meeres und trotz ihrer meist geringen Ausdehnung führen diese Inseln bis in ziemliche Tiefen Süßwasser, welches für die Wasserversorgung der Inselbevölkerung früher völlig ausreichte. Als aber durch den zunehmenden Badeverkehr im Sommer der Wasserbedarf auf ein Vielfaches des früheren answoll, machte man die unliebsame Beobachtung, daß der Chlorgehalt des Wassers stieg und schließlich eine Höhe erreichte, die die Verwendbarkeit des Wassers zu

Trinkzwecken erheblich in Frage stellte. Die folgende Darstellung Fig. 84 gibt einen Überblick über dies Anwachsen des Chlorgehaltes, während der Hochsaison der Jahre 1908 und 1909 in Norderney.

Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse durch tiefere Bohrungen ergaben dann in ausgesprochenster Weise das Vorhandensein von Salzwasser unter dem Süßwasser, und die zunehmende Versalzung des Brunnenwassers im Sommer war demnach auf das Zuströmen des tieferen Salzwassers in den Brunnen zurückzuführen. Das Prinzip, nach welchem sich Süßwasser und Salzwasser auf diesen Inseln gegenseitig einstellen, ist zuerst von dem Ende 1912 verstorbenen Baurat Alexander Herzberg¹⁾ im Jahre 1886 und 3 Jahre später unabhängig davon von Badon Ghijbens²⁾ richtig erkannt worden. Es beruht auf dem hydrostatischen Gleichgewicht von zwei untereinander mischbaren,

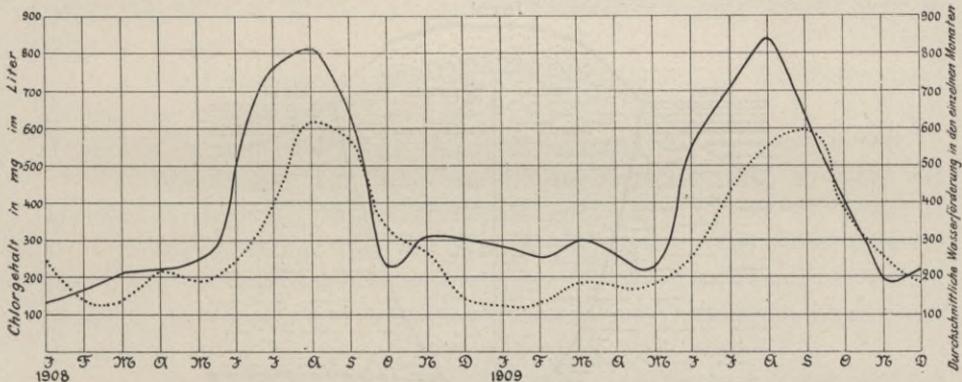


Fig. 84. Beziehungen zwischen Chlorgehalt des Wassers (punktiert) und Entnahmemenge (ausgezogen)

im spezifischen Gewicht verschiedenen Flüssigkeiten in kommunizierenden Gefäßen.

Wintgens³⁾ schreibt darüber folgendes:

Das spezifische Gewicht der Flüssigkeiten 1 und 2 sei G_1 und G_2 und die Differenz der beiden Flüssigkeitsspiegel, nachdem der Gleichgewichtszustand eingetreten ist, sei H m., so wird die Scheidungsfläche der beiden Flüssigkeiten in einer Tiefe von $h_1 = \frac{G_2}{G_1 - G_2} H$ m. unter dem Flüssigkeitsspiegel 1 liegen.

¹⁾ A. Herzberg in einem Gutachten für die Regierung in Aurich 1886. Später veröffentlicht in: Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, 44. Jahrg. 1901, S. 815.

²⁾ Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam. Tijdschrift v. h. Kon. Instituut van Ingenieurs. Instituutsjahr 1888-'89, pag. 12. 's Gravenhage 1889.

³⁾ P. Wintgens, Beitrag zu der Hydrologie von Nordholland. Diss. Freiberg 1911, S. 12 u. 13.

Ein derartiger Gleichgewichtszustand wird nun eintreten zwischen dem Meerwasser, welches den aus Sand zusammengesetzten Untergrund einer Insel oder eines Küstenstriches durchdringt, und dem Süßwasser, das sich infolge der atmosphärischen Niederschläge an der betreffenden Stelle angesammelt hat; auch hier wird das spezifisch leichtere Süßwasser auf dem schwereren Meerwasser schwimmen und die Kontaktfläche nach unten drängen.

Nimmt man für das spezifische Gewicht von Süßwasser 1,000, für das von Meerwasser 1,024 an, und ist weiter H der Grundwasserstand und h_1 die Höhendifferenz zwischen dem Meeresspiegel und der tiefer gelegenen Süß-Salzwassergrenze, so berechnet man h_1 aus der Formel:

$$h_1 = \frac{1,000}{0,024} H = 42 H. \text{ m.}$$

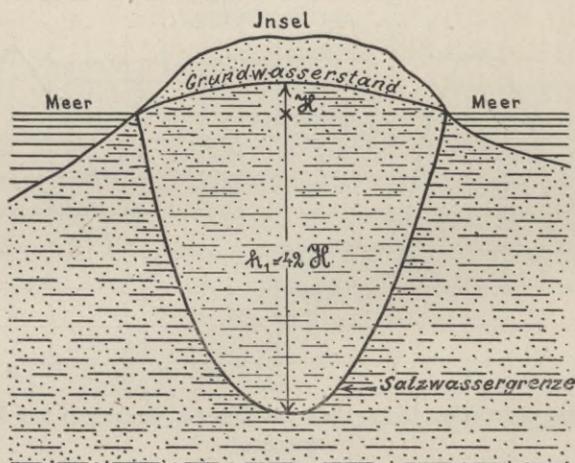


Fig. 85

In Fig. 85 sind diese Verhältnisse in einem stark überhöhten Profile dargestellt.

Ein vollkommenes statisches Gleichgewicht wird aber nie zustande kommen, weil in den höheren Schichten auf gleichem Niveau das Süßwasser unter einem höheren Druck steht als das Meerwasser. In diesen Schichten wird denn auch fortwährend Süßwasser nach der Meeresseite wegfließen, das durch den Regenfall ersetzt wird.

Die Existenz dieses Seitenabflusses bedingt weiter, daß der Einfluß der Diffusion, welche durch die Anwesenheit des Sandes sehr gehemmt wird, auf eine schmale Zone beschränkt bleibt.

Theoretisch reicht also an einer Stelle, an der der Süßwasserspiegel des Grundwassers sich $1\frac{1}{2}$ m über den Meeresspiegel erhebt, das Süßwasser bis in eine Tiefe von 63 m unter den Meeresspiegel hinab. In unserem Falle, auf Norderney, wurde die obere Salzwassergrenze 50 bis

60 m unter dem Meeresspiegel angetroffen, während die Süßwasser-oberfläche 1—1 $\frac{1}{2}$ m über demselben liegt.

Der Vorgang der zunehmenden Versalzung bei gesteigerter Wasserentnahme gestaltet sich nun so, daß durch das Pumpen des Wassers entweder ein Senkungstrichter an der Oberfläche gebildet wird, falls das wasserführende Schichtensystem frei von weit durchgehenden, schwer durchlässigen oder undurchlässigen Bildungen ist, oder daß eine Druckerniedrigung in dem unter solchen undurchlässigen Schichten befindlichen Süßwasser eintritt. In beiden Fällen müssen nach obigem hydrostatischen Gesetz die Berührungsflächen von Süß- und Salzwasser sich nach oben verschieben. Damit gelangt die Diffusionszone in den Bereich des Saugers der Pumpen und die Versalzung des Süßwassers beginnt mit zunehmender Druckerniedrigung sich zu steigern. Aus dieser Erkenntnis heraus ergibt sich für die Anlagen zur Wasserversorgung solcher Gebiete folgende Regel:

1. Die Entnahmehrunden sind dahin zu legen, wo der Süßwasserspiegel am höchsten über dem Meeresspiegel ansteigt, d. h. im allgemeinen nicht nahe der Küste, sondern vorzugsweise im inneren Teil.

2. Der Einbau der Filter in die Bohrbrunnen muß so weit wie möglich oberhalb der Salzwassergrenze erfolgen.

3. Die Zahl der Brunnen ist so zu wählen, daß jeder einzelne von ihnen bei maximaler Beanspruchung nur so viel Wasser zu liefern braucht, daß durch die dadurch hervorgerufene Druckerniedrigung das Salzwasser nicht bis an den Sauger herangezogen wird.

4. Der gegenseitige Abstand der Brunnen ist so zu wählen, daß die Senkungstrichter, bezw. die Flächen der Druckerniedrigung sich gegenseitig nicht schneiden.

Ganz anders liegen die Verhältnisse im Gebiete der holländischen Festlandsdünen und ihres Hinterlandes. Die geographischen und geologischen Verhältnisse sind nach Wintgens¹⁾, dem ich bei der Darstellung dieser Verhältnisse folge, diese:

Der an der Westseite der Zuiderzee und der Linie Naarden-Utrecht-Vreeswijk gelegene Landesteil gehört zu jenen typischen niederländischen Gegenden, die infolge ihrer tiefen Lage und der hierdurch bedingten künstlichen Abwässerungen, bis weit über die Landesgrenzen hinaus unter den Namen Polderland eine gewisse Berühmtheit erlangt haben.

Die Bodenhöhe dieses Polderlandes schwankt zwischen 0 bis 6 m — A. P. (A. P. = Amsterdamer Pegel).

Gewöhnlich liegt das Gelände also tiefer als die rings umherliegenden Kanäle und kanalisierten Flüsse und kann daher nur durch künstliche Entwässerung vor einer sonst unvermeidlichen Überschwemmung gesichert werden.

¹⁾ Beitrag zur Hydrologie von Nordholland, Dissertation, Freiberg i. S. 1911.

Vermittels großer Entwässerungsanlagen wird das Grundwasser in den Poldern auf einem bestimmten Niveau gehalten; in Zeiten großer Trockenheit kann dieses jedoch nur durch Zufuhr von Außenwasser gesehen.

Meist teilt man die Polder in folgende Hauptklassen ein:

1. In solche, deren tiefe Lage der Eindeichung und der Einsenkung — eine natürliche Folge der künstlichen Entwässerung — des grobenteils aus Torf zusammengesetzten Bodens zuzuschreiben ist.

2. In solche, welche infolge der Trockenlegung ehemaliger Seen entstanden sind, auf Holländisch „droogmakerijen“ genannt.

Hydrologisch betrachtet, unterscheidet man die Polder nach den Ausführungen von Eug. Dubois, in tiefe und untiefe, je nachdem der Grundwasserspiegel zwischen 4 und 6, oder 1,5 und 2,5 m unter A. P. schwankt.

Bei einigen, in der Nähe des Meeres oder größerer Flüsse gelegenen Poldern kann das überflüssige Wasser, welches durch Regenfall, Zufuhr und Infiltration in die Polder hineindringt, unmittelbar in das Außenwasser abgeführt werden; die Abfuhr der meisten Polder dagegen geschieht auf sog. „Boezems“, das sind untereinander in freier Verbindung stehende Kanäle und Teiche, deren Wasserstand annähernd auf einem bestimmten Niveau gehalten wird und die ihrerseits entweder unmittelbar oder mittelbar in die Außenwasser ausmünden.

Das Boezem-Wasser wird in trockenen Zeiten durch Zufuhr von meist brackigem Außenwasser vermehrt; hierdurch ist die chemische Beschaffenheit, namentlich der Chlorgehalt, großen Schwankungen ausgesetzt.

Während an der Südseite und die Küsten der Zuiderzee entlang schwere Deiche oben erwähntes Polderland vor dem Hereindringen des Außenwassers schützen, zieht sich an den Küsten der Nordsee ein Dünengürtel hin, der hier und da eine Breite von 4000 m erreicht, stellenweise schmaler ist, ja sogar an einer Stelle bei Putten vollständig fehlt.

Die höchsten Spitzen erheben sich in der Nähe der Stadt Haarlem bis zu ungefähr 60 m über den Meeresspiegel; die mittlere Erhebung der Dünen dürfte aber kaum 10 m über A. P. betragen.

Von dem Tieflande sind die Dünen durch einen schmalen Streifen niedrigen Sandbodens geschieden.

Der Boden des oben erwähnten Teiles der Niederlande besteht aus horizontal abgelagerten Schichten rezenten Alters, die bis 10—30 m Tiefe unter A. P. herunterreichen und aus Moor, Ton und feinen marinen Sanden zusammengesetzt sind.

Die Reihenfolge der Schichten ist meistens unregelmäßig, da nicht nur ihre horizontale Ausdehnung beschränkt ist, sondern auch die verschiedenen Schichten an kein bestimmtes Niveau gebunden sind.

Eine Ausnahme machen jedoch zwei Torflager, die zirka 20, bzw. 11—13 m tief liegen, sich über eine große Fläche verfolgen lassen und im Gegensatz zu den jüngeren meist durchweg als aus Flachmoor entstanden aufgefaßt, nach Dubois jedoch teilweise aus Hochmoorpflanzen zusammengesetzten Torflagern, als ein Produkt von Hochmoor angesehen werden müssen. Ihre Anwesenheit läßt auf eine frühere höhere Lage des Landes schließen. Die Entstehung des unteren Lagers, welches besonders in der Provinz Nordholland eine große Ausdehnung besitzt, muß ungefähr zusammenfallen mit dem Anfang des jetzigen geologischen Zeitalters; das zweite obere Lager dehnt sich mehr nach Süden aus und ist etwas jüngeren Datums.

Die Oberfläche des Polderlandes bildet vielfach ein rezenter Torf, der, obwohl infolge der künstlichen Entwässerung ein wenig zusammengeschrumpft, immerhin noch eine ansehnliche Mächtigkeit besitzt. Sein Wassergehalt beträgt durchschnittlich 90%. Er kann durch eine Schicht jüngeren Seesandes oder mit Ton bedeckt sein.

Westfriesland und die seit dem Jahre 1876 trockengelegten IJ-Polder sind von einem jüngeren marinen Ton und Sand überlagert, während den Ufern der ehemaligen Flüsse, der Vecht und dem alten Rhein entlang, vereinzelt schmale Streifen Flußlehm vorkommen.

Unter den Dünen sind die oberen alluvialen Schichten meistens als mariner Sand ausgebildet. Der Dünen sand selbst enthält vereinzelt kleine, in alten Dünenebenen abgesetzte Torflager und Humus. Die tieferen alluvialen Gebilde sind auch hier, ebenso wie unter dem Polderland, vorwiegend zusammengesetzt aus feinem Sand und sandigen Ton- und Lehmschichten.

Unter diesen alluvialen Schichten hat sich das Diluvium zu einer Höchstmächtigkeit von etwa 200 m entwickelt.

Das Diluvium wird meistens durch die Kies enthaltende, sogenannte Eemschicht eröffnet, die reich an marinen Muscheln ist und daher auch wohl Grobe- oder Muschelschicht genannt wird.

Lorié gliedert das Diluvium von oben nach unten in:

A. Sanddiluvium.

1. Marine Ablagerung (Eemschicht).
2. Fluviatile Ablagerung.

B. Kiesdiluvium.

Das Kiesdiluvium besteht aus Sand, mit Kies und Geröllen von den verschiedensten Dimensionen durchsetzt; stellenweise ist auch echter Blocklehm angetroffen worden.

Das Ganze ist eine typische Glazial- resp. Fluvioglazialbildung. Der Sand des Sanddiluviums enthält weniger Kies und Gerölle.

In den so beschaffenen Gebieten findet nun ein Abfluß des Süßwassers nicht nur nach dem Meere hin, sondern infolge der unmittelbaren Nähe des tiefen Polderlandes auch nach diesem niedrigen Gebiete statt.

Der Weg, den das Wasser bei eben erwähnter Zirkulation nimmt, wird bestimmt durch den Widerstand der verschiedenen Schichten.

Nur ein äußerst geringer Teil wird ja durch die oberen wenig durchlässigen alluvialen Schichten unmittelbar nach dem Polderland abfließen, während der bei weitem größere Teil durch das Alluvium hindurchsickern wird, um weiter durch den diluvialen Sand in horizontaler Richtung dem Polderland zuzuströmen und hier wieder in vertikaler Richtung emporzusteigen. Aber auch das Salzwasser wird der Schwerkraft folgen und nach dem niedrigen Gebiet abfließen.

Da mit der Bewegung des Salz- und Süßwassers Druckverlust verknüpft ist, welcher sich am deutlichsten über und unter den schwer durchlässigen Schichten zeigt, bedarf es wohl kaum einer weiteren Erörterung, daß das auf dem statischen Gleichgewicht beruhende Prinzip von Badon-Ghijben hier einer großen Modifikation unterzogen wird.

Die Lage der Scheidungsfläche zwischen Salz- und Süßwasser kann jetzt nicht mehr ohne weiteres aus dem Unterschied des Meer- und Grundwasserstandes geschlossen werden, sondern sie wird in jedem Vertikal abhängen von der Druckhöhendifferenz zwischen dem unten strömenden Salzwasser und dem unmittelbar darauf schwimmenden Süßwasser; in diesem Falle also dem Süßwasser im diluvialen Sande.

Stellen also in Fig. 86 A und B die Linien des relativen Gefälles des tiefegelegenen Süß- bzw. Salzwassers vor, und werden deren Höhen, bezogen auf A. P., mit a_x und b_x bewertet, so wird die Salzwassergrenze liegen in einer Tiefe von:

$$h_1 = 42 (a_x - b_x) \text{ m}$$

unterhalb der Linie B oder:

$$h_1 - b_x = 42 (a_x - b_x) - b_x \text{ Meter unter A. P.}$$

Der Verlauf der Linien des relativen Gefälles, wie auch die Lage vom höchsten Punkt der Linie A, also die Wasserscheide zwischen den Zonen, welche in das Meer, und jenen, welche in das Polderland abwässern, wird große örtliche Verschiedenheiten aufweisen. Er wird wesentlich von der Höhe des Grundwasserstandes, den geologischen Verhältnissen des Bodens und der Tiefe der benachbarten Polder abhängen. Außerdem macht sich der Einfluß der Gezeiten bis in ziemlich großer Entfernung von der Küste geltend. Auch ist der Wasserstand der Brunnen kleineren Schwankungen ausgesetzt, die dem Barometerstand entsprechen, jedoch entgegengesetzter Richtung sind.

Über die Folgen, die eine tiefe Drainierung oder eine Tiefwasserentziehung vermittelt Brunnen, die bis in den oberen diluvialen Sand hinunterreichen, auf den Verlauf der Gefälllinien, sowie auf die Tiefe der Salzwassergrenze ausüben wird, äußert sich Wintgens folgendermaßen:

Beide werden naturgemäß eine Druckerniedrigung des Süßwassers in dem diluvialen Sande, sowohl über als unter der zweiten Lehmsschicht, hervorrufen. Hierdurch wird nicht nur ein entsprechendes Steigen der Süßwassergrenze verursacht, sondern an allen in dem diluvialen Sande gelegenen benachbarten Stellen, wo das Wasser unter einem höheren Druck steht, wird eine Strömung nach dem Gebiet der Wasserentnahme

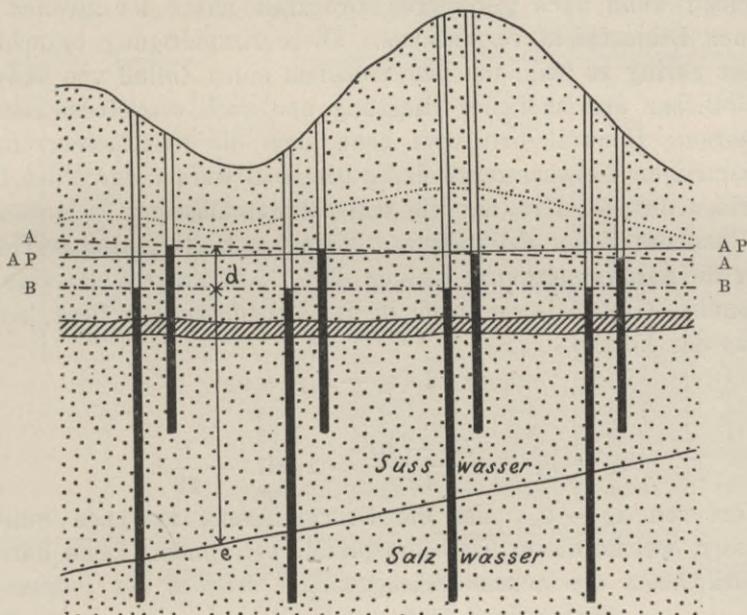


Fig. 86

hin herbeigeführt. Bei einer derartigen Wasserentziehung wird es angebracht sein, den Druckabfall des Wassers, das die schlecht durchlässigen Formationen enthalten, auf ein solches Maß einzuschränken, daß der seitliche Abfluß nach dem Meere und den Poldern auf ein Minimum reduziert wird, ohne indessen ganz aufzuhören. In Anbetracht der Tatsache, daß eine Wasserentziehung bis in große Tiefe unter der Entnahmestelle wahrnehmbar ist, ist die Lage der Salzwassergrenze unter oder in der tieferen diluvialen Lehmformation die wünschenswerteste.

Der große Unterschied im Durchlässigkeitsvermögen zwischen dem diluvialen Sande und der Tonformation gibt uns die Gewähr, daß sogar

eine sehr tiefe Drainierung nicht den Druckabfall im diluvialen Sande hervorrufen kann, der erforderlich ist, um ein Zuströmen des Salzwassers von der Meeresseite oder von unten herbeizuführen. Die geringe Wassermenge, die durch den Ton infolge der tiefen Drainierung emporsteigt, kann durch den gut durchlässigen Sand hindurch leicht ergänzt werden, ohne daß hier ein großer Druckunterschied erforderlich ist.

Aber sogar eine Tiefwasserentziehung vermittelt Brunnen, welche bis in den Sand zwischen den schlecht durchlässigen Formationen hinunterreichen, wird nicht leicht eine Versalzung des Wassers verursachen können. Die infolge einer derartigen Wasserentnahme entstehende Druckerniedrigung des Wassers zwischen den schlecht durchlässigen Schichten wird einen wenn auch geringeren Druckfall unter der zweiten tiefer gelegenen Lehmschicht verursachen. Diese Erniedrigung braucht aber nur sehr gering zu sein, um hier trotzdem einen Zufluß von Süßwasser aus nördlicher und südlicher Richtung und auch von Meerwasser herbeizuführen. Unzweifelhaft wird denn auch die Salzwassergrenze bei einer derartigen Tiefwasserentziehung bestimmt werden durch den Druckunterschied des Wassers, das die schlecht durchlässigen Schichten enthalten, und des tiefen Salzwassers. Nimmt man als geringste Tiefe, zu welcher die Salzwassergrenze steigen darf, 75 m unter A. P., eine Tiefe, wo genannte Grenze immer noch in der Lehmformation liegt, so kann man aus der Formel

$$h_1 = 42 (a_x - b_x) - b_x$$

oder:

$$a_x - b_x = \frac{75 - b_x}{42} = 1,667 - \frac{1}{42} b_x$$

den Wert von $a_x - b_x$, also die Druckdifferenz zwischen Süß- und Salzwasser, welche dieser Tiefe entspricht, berechnen. Denn durch das Zustandekommen des neuen Gleichgewichts erleidet der jetzige Wert von b_x nur eine geringe Änderung, die den Faktor $\frac{1}{42} b_x$ unwesentlich beeinflußt.

Vergleicht man die in dieser Weise ermittelten Werte mit den momentan vorhandenen Druckunterschieden des Süßwassers zwischen den beiden schlecht durchlässigen Schichten einerseits und dem tiefen Salzwasser andererseits, wie in der oberen Tabelle S. 171 geschehen ist, so stellt sich heraus, daß eine erhebliche Druckerniedrigung des diluvialen Süßwassers über eine große Breite der Dünen möglich ist, ohne daß man ein Emporsteigen des Meerwassers zu fürchten braucht. Und daß ein derartiger Druckabfall, der natürlich so reguliert werden kann, daß kein seitlicher Zufluß von Meerwasser oder vom Brackwasser des Polderlandes stattfindet, imstande ist, einen sehr mächtigen Süßwasserstrom von Norden und Süden her in Bewegung zu setzen, wird durch den in

den Dünen wiederholt gemachten Befund gewährleistet, daß in den gebohrten Brunnen das Süßwasser oft bis 3 m über A. P. emporsteigt, sowie durch die auffallend geringen Druckhöhen, welche die bestehenden Tiefwasserleitungsanlagen erfordern.

Entfernung von der Küste in Metern	Wasserstand in bezug auf A. P. in den Brunnen hinunterreichend bis:				H = $a_x - b_x$	Tiefe der Salzwassergrenze in bezug auf A. P. $h_1 = 42 H - b_x$	
	zum Süßwasser oberhalb des alluvialen Tons	zum Süßwasser zwischen alluvialem Ton und diluvialem Lehm	zum Süßwasser unterhalb des Lehms a_x	zum Salzwasser unterhalb des Lehms b_x			
0	von 0,60 bis ± 3,50 + A. P. je nach Tiefe und Wasserstand der Drainkanäle	↑ + 0,67	—	↑	— 0,17	0,84	35,45
500		↑ + 0,89	—	↑	— 0,68	1,57	66,62
1000			+ 1,03		— 1,05	2,08	88,41
1500			+ 1,05		— 1,21	2,26	96,13
2000			+ 1,07		— 1,38	2,45	104,28
2500			+ 0,98		— 1,57	2,55	108,67
3000			+ 0,85		— 1,81	2,66	113,53
3500			+ 0,66		— 2,04	2,70	115,44
4000			+ 0,46		— 2,23	2,69	115,21
4500			+ 0,30		— 2,42	2,72	116,66
5000	+ 1,70	+ 0,13	+ 0,15	— 2,62	2,75	118,12	
6000	— 20 —	— 0,26	— 0,24	— 3,00	2,76	118,92	
7000		— 0,68	— 0,55	— 3,28	2,73	117,94	
8000		— 2,18	— 0,86	— 3,56	2,70	116,96	
8800		↓ — 3,68	— 1,02	↓ — 3,78	2,76	119,60	

Entfernung von der Küste in Metern	Augenblicklicher Druckunterschied zwischen tiefem Süßwasser und tiefem Salzwasser	Druckunterschied, wenn die Salzwassergrenze auf 75 m unter A. P. liegt	Mögliche Druckerniedrigung des diluvialen Süßwassers
0	0,84	—	—
500	1,57	—	—
1000	2,08	1,76	0,32
1500	2,26	1,76	0,50
2000	2,45	1,76	0,69
2500	2,55	1,75	0,80
3000	2,66	1,74	0,92
3500	2,70	1,74	0,96
4000	2,69	1,73	0,96
4500	2,72	1,73	0,99
5000	2,75	1,72	1,03
6000	2,74	1,71	1,03

In der vorstehenden Tabelle sind die beobachteten Druckänderungen und die daraus resultierenden Verhältnisse der Lage der Grenze zwischen Süß- und Salzwasser und das Sinken dieser Grenze mit zunehmender Entfernung von der Küste übersichtlich zusammengestellt.

29. Kapitel

Die Beziehungen des Grundwassers zu oberirdischen Wasserläufen

In vielen Gebieten ist die Erneuerung des Grundwassers und sein Ersatz von offenen Gewässern her von erheblicher Bedeutung, namentlich da, wo im großen durchlässige Gesteine von Flüssen ohne undurchlässige oder schwer durchlässige trennende Zwischenschichten passiert werden. Daß aber auch in Gebieten lockerer quartärer und tertiärer Gesteine dieselben Erscheinungen auftreten können, haben wir bereits bei der Besprechung der großen Flüsse und ihres Verhaltens bei Hochwasser kennen gelernt. Aber auch ganze Bäche und kleine Flüsse können auf diese Weise verschwinden. So entwässert, um nur einige Beispiele heranzuziehen, auf der Höhe des Fläming das Becken von Wiesenburg (ca. 180 m ü. M.) durch einen ziemlich wasserreichen Bach, der südlich vom genannten Orte bei Försterei Spring total verschwindet, während sein Tal sich noch eine erhebliche Strecke als Trockental fortsetzt. Das eigentliche Grundwasser liegt hier wahrscheinlich mehr als 50 m unter der aus sehr durchlässigen groben Sanden und Kiesen in großer Mächtigkeit aufgebauten Hochfläche. Auch nördlich von Wiesenburg deutet der Ortsname Verloren Wasser auf einen verschwindenden Wasserlauf hin. Das Meßtischblatt Stackelitz, an dessen Nordrande der Flecken Wiesenburg liegt, gehört infolgedessen zu den wenigen Gebieten Norddeutschlands, in die zwar erhebliche Wassermengen hineinfließen, aus denen aber oberirdisch nicht ein Tropfen abfließt. v. Linstow¹⁾ berichtet, daß der vom sogenannten halben Mond kommende Bach westlich der Chaussee Kemberg-Düben auf einer Strecke von 380 m vollständig in Boden verschwindet, und nach Seubert zeigt der Würmfluß auf der Münchener Hochfläche dieselbe Erscheinung.

Daß solche Flußversinkungen in Gebieten lockerer diluvialer und tertiärer Trümmergesteine nicht allgemeiner auftreten, liegt wahrscheinlich an der Selbstdichtung der Flußbetten. Denn nicht nur unsere natürlichen Flüsse und Bäche, sondern auch künstliche Kanalbetten werden allmählich durch tonigen Schlamm und niedersinkende, äußerst feine organische Massen völlig abgedichtet. Dies tritt besonders klar

¹⁾ v. Linstow, Die Tertiärbildungen auf dem Gräfenhainichen-Schmiedeberger Plateau. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für 1908, Teil II, Heft II, S. 296.

in die Erscheinung, wenn in Gebieten solcher Flußläufe Niederziehungen des Grundwassers bis unter das Niveau des Flusses erfolgen. Bei den im Jahre 1909 ausgeführten Arbeiten für den Schleusenbau in Plötzensee wurde der Grundwasserspiegel soweit gesenkt, daß viele Brunnen in Charlottenburg ihr Wasser verloren. Die ausgeführten Arbeiten zeigten, daß unterhalb des Kanalbettes, das nicht einmal nach unten hin künstlich abgedichtet ist, vollkommen trockener Sand lag und daß kein Tropfen Kanalwasser nach unten hin abwandern konnte. In derselben Weise zeigten die Entwässerungsarbeiten auf dem Tagebau der Braunkohlengrube Marga bei Senftenberg, daß der ausgedehnte, im 32. Kapitel eingehender besprochene Senkungstrichter dieser Grube unter dem Elsterflusse hindurchgeht, ohne daß letzterer dadurch irgendwelchen Wasserverlust erleidet.

Sehr großartig sind die Flußversinkungen in Gebieten, in denen klüftige Sandsteine, Laven, Kalksteine und Dolomite auftreten. Wir können vier Formen der Hohlraumbildungen unterscheiden, welche solche Gesteine für die Aufnahme von darüberfließenden Gewässern geeignet machen: 1. Natürliche Einsturztrichter, 2. mehr oder weniger vertikal begrenzte natürliche Schächte, 3. Spaltenzüge und 4. Höhlen aller möglichen Formen. Im Kapitel über die Durchlässigkeit der Gesteine im großen sind diese Erscheinungen bereits besprochen worden. In Lavaströmen sind es einmal die Porosität und sodann die zahllosen Erstarrungsspalten und durch ausfließende, flüssige Lava entstandenen Höhlen, die ihre Wasseraufnahmefähigkeit bedingen. In Sandsteingebieten versinken beispielsweise zahlreiche Flüsse des Felsengebirges in den Black Hills und Big Horn Mountains da, wo der zur Kreideformation gehörende Dakota-Sandstein in einem langgestreckten Streifen hoch oben im Gebirge zum Ausstrich gelangt. Hier verschwinden Wassermengen, die dann weit im Osten als artesische Ströme wieder zutage befördert werden.

Für das Versinken von offenen Gewässern im Kalkstein liefern uns alle Gebiete klüftiger Kalksteine, vor allen Dingen also solche der Kreide, des Jura, der Trias, des Devons, ausgezeichnete Beispiele. So verschwindet z. B. bei Bellegarde die ganze Rhone in der untersten der drei von ihr überströmten, etwas geneigt lagernden Kalksteinbänke des Urgonien. Bei Bayeux verschwinden die Aure und die Drôme im Oolith auf einer Strecke von 40 m Länge bei Niederwasser, von 80 m Länge bei Hochwasser, und kommen erst wieder zum Vorschein in etwa 4 km Entfernung und zwar aus denselben Schichten, in denen sie verschwanden. Im Jurakalk ist das Verschwinden des Iton bemerkenswert, das auf jeder Landkarte zu erkennen ist. Er ist ein Nebenfluß der Eure und entspringt in etwa 280 m Meereshöhe. Sein Wasser verliert er bei Villalet. Die Wassermenge auf seinem 88 km langen Laufe ist in dem umstehenden Profile nach Daubrée (Fig. 87) durch eine Kurve

dargestellt, an welcher die beiden Hauptverluststellen ohne weiteres zu erkennen sind. Im Flußbett finden sich stellenweise sogenannte Enttonnoirs oder Bétouires, Einsturztrichter bis 80 cm Durchmesser und bis 16 m Tiefe, in welchen die Hauptmasse des Wassers verschwindet. In welcher Weise hier das Kalksteingebirge von Hohlräumen durchzogen ist, zeigte sich bei Steinbruchsarbeiten, bei denen ein Kanal von 2,9 : 1,75 m Durchmesser in 18,7 m Tiefe angefahren wurde. In ihm bewegte sich eine Wassermenge von 507 Sekundenlitern mit einer Geschwindigkeit von 6 m in der Minute. Daß die Erweiterung der Wasserzuführungswege hier noch nicht ruht, beweist ein im Jahre 1880 entstandener Einsturzschat von 20 m Tiefe und 2 m Durchmesser.

Ein ausgezeichnetes Beispiel unterirdisch abfließender Gewässer bietet auch die Gegend von Noiraigue am Neuchâtel See¹⁾. Das Hochtal Les Ponts liegt in einer Meereshöhe von etwa 1000 m, und da

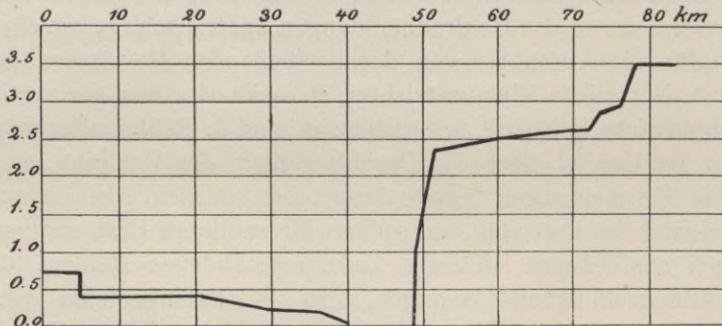


Fig. 87. Versickerungskurve des Itonflusses
Links Wasserführung in cbm, oben Lauflänge in km

die in seinem Gebiete niederfallenden Atmosphäriken einen Abfluß nicht besitzen, durch tonige Unterlagen im Hochtale selbst aber festgehalten werden, so ist das Resultat davon eine gänzliche Vermoorung und Vertorfung des Beckens, welche bisweilen 6 m mächtig werden kann und für die Bewohner dieser Gegend in ökonomischer Beziehung nicht ohne Bedeutung ist, denn das Torfmaterial dient ihnen zur Heizung und wird sogar in die umliegenden Teile des Gebirges exportiert. An den Rändern dieser Hochtalmulde jedoch sind große Sprünge, Klüfte und Spalten im Gestein vorhanden, welche mit der Oberfläche durch eigentümliche, trichterförmige Öffnungen, die sogenannten Emposieux, in Verbindung stehen. Diese letzteren Gebilde liegen nicht etwa unregelmäßig zerstreut an den Muldenrändern, sondern folgen meist den größeren, das Gebirge durchsetzenden Verwerfungsspalten und können an der Erdoberfläche einen Durchmesser von 100 m erreichen. Durch solche

¹⁾ Haas, Quellenkunde, S. 33.

Emposieux erhalten das Hochtal Les Ponts und alle ähnlich gebauten ihren Abfluß. Wenn das in der Talmulde sich ansammelnde Wasser an deren Rändern das Niveau dieser Trichteröffnungen erreicht hat, stürzt es durch diese hindurch und gelangt in die Spalten hinein, die es dann, oftmals mehrere Hundert Meter tiefer, in Gestalt von Quellen wieder abgeben. In unserem Falle tritt das von Les Ponts kommende flüssige Element etwas über 300 m tiefer in unmittelbarer Nähe des Dorfes Noiraigue im Traverstale, Kanton Neuenburg, am Fuße einer gewaltigen Felswand als mächtiger Quellstrom wieder ans Tageslicht. Entladet sich im Hochtale von Les Ponts einmal ein starker Gewitterregen, so ist das an der Ergiebigkeit der Quelle von Noiraigue sofort zu bemerken. Schon einige wenige Stunden darnach fließt sie mit verstärkter Kraft und ergießt schmutzige und trübe Wasserströme, denn, wie Heim treffend bemerkt, sind derartige Quellen eigentlich nur unterirdische Bäche. Herrscht aber längere Zeit hindurch große Trockenheit im Sammelgebiete einer nach solchem Muster gebauten Quelle, so wird ihr Abfluß stets geringer und geringer, bis er schließlich ganz versiegt. Im Verlauf des Sommers 1893, der sich besonders in Süddeutschland und in der Schweiz durch die ungemein geringe Menge seiner Niederschläge ausgezeichnet hat, war der Ausfluß an der Noiraigue-Quelle auf ein Minimum herabgesunken. Statt des großartigen Wasserstroms, welcher sonst aus der Felswand herausquoll und imstande war, schon wenige Meter von seinem Ursprunge entfernt Mühlräder und Turbinen in Bewegung zu setzen, kam ein trübes und nichtssagendes Wasseräderlein heraus.

Ein weltberühmtes Beispiel im Kalkgebirge versinkender Flüsse bietet der Teverone, der Anio der Alten, bei Tivoli im Sabinergebirge. Oberhalb der Stadt verschwindet der Fluß völlig und kommt in einer Reihe prachtvoller Wasserfälle unterhalb der Stadt wieder aus dem Felsen herausgestürzt (Fig. 88).

Von wirtschaftlich bedeutungsvollen Folgen ist die Donauversinkung bei Möhringen und Tuttlingen. In dem Kalkstein des weißen Jura sinken hier die Wasser in die Tiefe und zwar so, daß bei Niederwasser die Donau völlig verschwindet und bei Hochwasser einen sehr großen Teil ihres Wassers abgibt, der etwa auf 2000 Sekundenliter geschätzt wird. Diese Wassermengen treten wieder zutage nicht im Donaugebiet, sondern im Rheingebiet in der mit etwa 4000 Sekundenlitern ausströmenden Aach-Quelle. Der lange vermutete Zusammenhang beider Erscheinungen wurde im Jahre 1877 dadurch festgestellt, daß Knop 200 Ztr. Kochsalz in die versinkenden Donauwasser, an der Hauptversinkungsstelle einführte. Sie traten, nach 16 Stunden beginnend und während einer Dauer von 74 Stunden, in der Aach-Quelle wieder an die Oberfläche. Mit Schieferöl und Fluoreszin sowie mit Schwimmkörpern angestellte Versuche hatten dasselbe Ergebnis.

Am Südwestende der Stadt Plaue in Thüringen tritt unmittelbar am Rande und im Niveau der Talaue neben der Landstraße in einer kleinen Höhle der dort anstehenden Wellenkalkfelsen eine Quelle mit

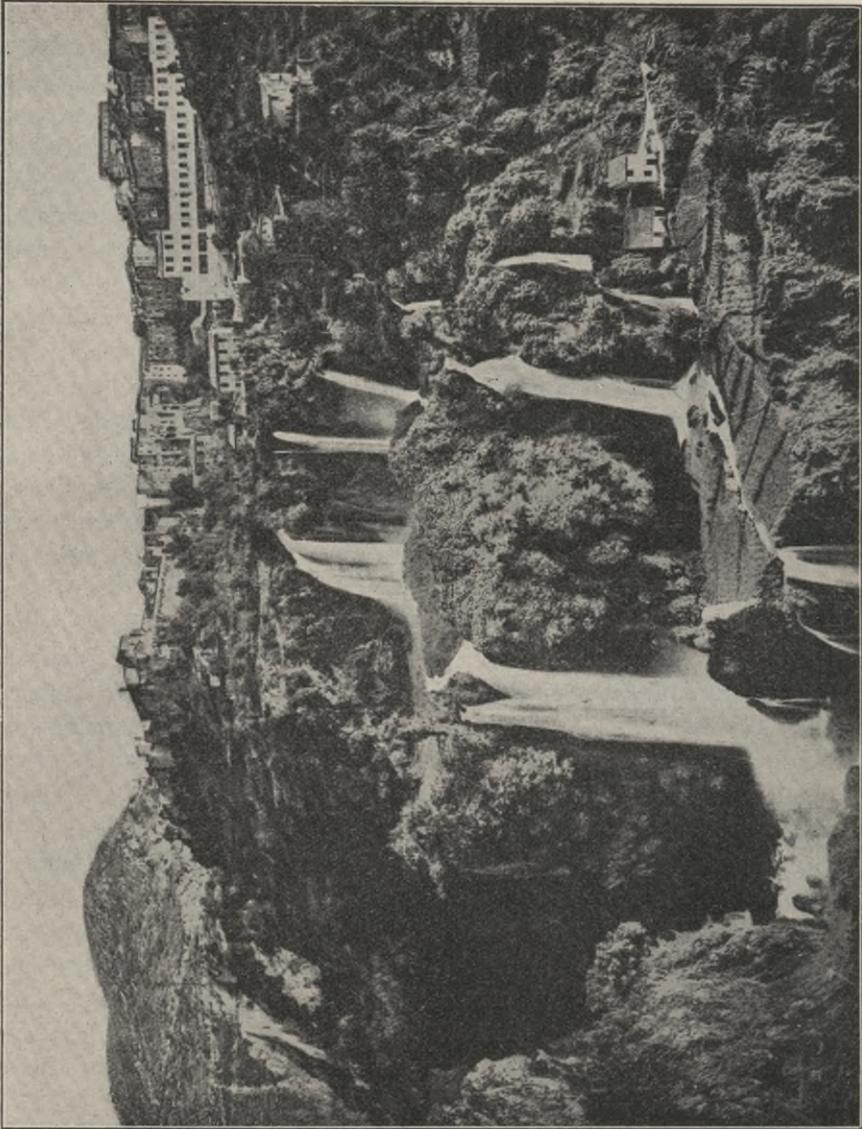


Fig. 88. Wiedertzutreten des Teverone bei Tivoli

einer ungewöhnlichen Fülle frischen Wassers hervor, die imstande war, auch in den trockensten Jahren dauernd die nur 200 m unterhalb gelegene Mühle zu treiben. Die Entstehung dieser Quelle ist zurückzuführen auf die im Tale fließende Wilde Gera. Von Liebenstein ab

ist das Flußbett meist trocken und nur an einzelnen Stellen stehen kleine Wasserpfützen. Die Grenzschichten des untersten Wellenkalkes und die Myophorienschichten stehen als Kalkplatten im Flußbette zutage. Das Wasser sinkt in Liebenstein unter diese hinab bis in die Nähe der Rötgrenze und muß da, wo diese undurchlässigen Schichten ihr bisher sanftes Einfallen nach NO. verlassen, um, wie es südlich von Plauke der Fall ist, mit steilerem, südwestlichem Einfallen wieder zutage zu treten, ebenfalls wieder an die Oberfläche gelangen, wobei es auffällig ist, daß dieses Wiederzutagetreten nicht im Flußbett selbst erfolgt.

Über das Verhalten des Limmatflusses bei Zürich verdanke ich Herrn Dr. J. Hug nachstehende Ausführungen:

Zwischen Zürich und dem Vorort Altstetten dehnt sich eine breite Kiesebene aus, es ist ein Schotterfeld des Lintgletschers aus einer Rückzugsetappe der letzten Vergletscherung. Durch den Kies bewegt sich ein Grundwasserstrom, mit einer Tiefe von mindestens 20 m. Am rechten Ufer des Schotterfeldes hat sich die Limmat einige Meter tief eingeschnitten.

In diesem Grundwassergebiete sind in verschiedener Entfernung vom Flusse Brunnen angelegt, von deren Wasser chemische Untersuchungen vorliegen. In der folgenden Tabelle ist ihre Karbonathärte zusammengestellt und zwar nach ihrer Entfernung vom Flusse geordnet.

	Fluß	Brunnen			
		I	II	III	IV
Entfernung vom Fluß in m . . .	—	50	450	1000	1300
Gehalt an kohlensaurem Kalk in deutschen Härtegraden . . .	7	9,5	13	16	17

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich unzweideutig der Einfluß des Flußwassers auf den Grundwasserstrom. Je näher wir an den Fluß kommen, um so geringer wird die Härte des Grundwassers, was nur auf eine Beimischung von infiltriertem weichem Flußwasser zurückgeführt werden kann. Beim Brunnen I in einer Entfernung von 50 m dürften nach der chemischen Zusammensetzung nicht weniger als 80% des Wassers aus dem Flusse stammen; nach außen nimmt der Einfluß der Infiltration immer mehr ab.

Weitere sehr sorgfältige Untersuchungen über Verschwinden von Oberflächengewässern und ihre Ursachen hat Soyka¹⁾ angestellt, dem ich in den nächsten Seiten dieses Abschnittes folge. Er unterscheidet zwischen 1. sogenannten oberflächlichen Gerinnen und 2. den eigentlichen Flüssen.

¹⁾ Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse. Von Dr. Isidor Soyka, Geogr. Abh. Bd. II, Heft 3 Wien 1888.

1. Auf Hochebenen, in Gebirgsgegenden finden wir oberflächliche Gerinne, die entweder als oberflächliche Abflüsse oder Überläufe von Wasseransammlungen oder Seen aufzufassen sind, oder aber sie sind durch Terraineinschnitte zutage tretendes Grundwasser, in letzterem Falle dadurch entstanden, daß in einem Terraineinschnitt der Grundwasserspiegel im durchlässigen Terrain bloßgelegt ist und das hierauf folgende Gefälle des Grundwassers größer ist, als das Gefälle des durch den Einschnitt gebildeten Wasserlaufes.

Derartige Gerinne fließen nun oft in einem lockeren für Wasser durchlässigen Terrain, hoch über dem Niveau des Grundwassers und geben in ihrem Laufe allmählich Wasser an dasselbe ab.

Auf diese Weise kann es schließlich zum vollständigen Verschwinden eines derartigen Wasserlaufs kommen, indem er seinen Wasserreichtum allmählich vollständig an das Grundwasser abgibt. Hierfür finden wir ein schönes, gut studiertes Beispiel am Hachinger Bach, einem kleinen Wasserlauf auf der Münchener Hochebene.

Dieser Bach entsteht auf die oben geschilderte Weise, daß in einem Terraineinschnitt der Grundwasserspiegel im durchlässigen Terrain bloßgelegt ist, und sich nun eine Ungleichheit im Gefälle des Wasserlaufes und dem des Grundwassers einstellt. Im oberen Teile des Hachinger Baches liegen die benachbarten Grundwasserstände höher als der Bachspiegel, die Horizontalkurven biegen bachaufwärts um, der Bach empfängt Wasser. Im weiteren Verlaufe tritt der Bach in ein Stadium der Indifferenz ein, hier können die Grundwasserhorizontalen, ohne ihren kontinuierlichen Lauf zu ändern, mit dem Bachspiegel in Zusammenhang gebracht werden; beide Wasserspiegel liegen im Niveau, das Grundwasser hört auf, different zu sein. Darauf folgt ein Stadium der Abnahme. Der Grundwasserstand liegt tiefer als der betreffende Bachwasserstand, und hier verschwindet schließlich der Bach, er hat seinen Wasserreichtum wieder dahin abgegeben, woher derselbe stammte, in den allgemeinen Grundwasserstrom der Hochebene.

Diesem Verhalten entsprechen auch die Resultate der Messungen der Wassermenge.

Nach Gümbels Messungen (1866), sowie nach den 1875 von Salbach bei einem weitaus größeren Wasserreichtum vorgenommenen Bestimmungen führte der Bach an den verschiedenen Stellen seines Laufes folgende Wassermengen in der Minute:

1866	1875
An der Kotmühle 5,6 cbm	Beim Eintritt in Oberhaching . . 6,4 cbm
Unterhalb der Bachmühle 8,6 „	Beim Austritt aus Furth . . . 21,0 „
Im Dorfe Unterhaching 4,9 „	In Taufkirchen hinter der Kirche 30,0 „
Im Dorfe Unterbiberg 1,9 „	Im Dorfe Unterhaching 22,0 „
In den Wiesen unterhalb 1,7 „	Im Dorfe Unterbiberg 4,6 „
Im Dorfe Perlach 1,1 „	Im Dorfe Perlach 4,0 „

Die Abnahme betrug auf dieser Strecke bis zu $\frac{7}{8}$ der gesamten Menge und schließlich verliert sich der Bach wieder vollständig.

Durch solche oberflächlichen Gerinne wird nun natürlicherweise der Zufluß zum Grundwasser beeinflusst, und es kann auf diese Weise leicht ein lokal begrenzter heftiger Niederschlag, dadurch, daß er in einem offenen Gerinne rasch nach abwärts geführt, zu Anschwellungen des Grundwassers führen, die nicht von lokalen Niederschlägen abhängig sind; doch wird sich dies nicht auf größere Strecken verbreiten.

2. Anderer Art sind jedoch die Beziehungen, die zwischen dem Stande und den Schwankungen des Grundwassers und denen der Flüsse im allgemeinen bestehen. Diese letzteren können in viel deutlicherer Weise die Bewegung des Grundwassers modifizieren. Durch längere Zeit wurde an der Anschauung festgehalten, daß die Flüsse infolge der Durchlässigkeit ihres Bettes Wasser an den Untergrund abgeben, daß dieses unter dem Begriff Seihwasser sich abwärts und seitlich in den Untergrund infiltriert. E. Sueß spricht sich, diese Anschauung berichtigend, über das Verhältnis zwischen Grund- und Flußwasser folgendermaßen aus: Man begnügt sich damit, einen Fluß als die Vereinigung einer größeren oder geringeren Anzahl von kleineren Fließchen, von Bächen und Quellen anzusehen, welche ihr Wasser in einem gemeinsamen Bette fortwälzen, man betrachtet den Wasserlauf lediglich als eine Erscheinung der Erdoberfläche, ohne zu bedenken, daß, wenn er wirklich nur der Erdoberfläche angehören würde, notwendigerweise jeder Niederschlag der Atmosphäre, welcher sein Becken trifft, sofort abfließen und daher jeder Fluß zur Schneetau- und Regenzeit noch viel größere Anschwellungen zeigen müßte, als er ohnehin zeigt, während in der trockenen Jahreszeit selbst das größte Flußbett nahezu trocken sein müßte.

Aber nur in den selteneren Fällen, welche überhaupt nur bei kleineren Flußlinien bekannt sind, gräbt sich ein Fluß sein Bett der ganzen Länge nach in wasserdichtem Boden, z. B. in plastischem Ton. Dann ist allerdings der ganze Wasserlauf eine Erscheinung der Oberfläche und es treten wirklich jene oben erwähnten großen Schwankungen auf. Bei weitem die Mehrzahl der Flüsse ist aber wenigstens auf einem Teil ihres Laufes begleitet von einem bald namhaften breiteren, bald schmälern Streifen von losen Aufschüttungen, den sogenannten Alluvien; selten sind die älteren Schichten, an welche sich die Alluvien anschmiegen, ebenfalls von losen Gesteinen, z. B. von Sand oder Geröllen, gebildet. Dann ist aber das Wasser nicht nur in der sichtbaren Flußrinne, sondern auch in den Alluvien und den dieselben begrenzenden Schichten enthalten, und zwar ist der Boden zu beiden Seiten des Flusses bis zu einem Niveau mit Wasser angefüllt, das, wie gezeigt werden wird, allerdings in gewisser Beziehung zum

Wasserstände im Flusse selbst steht, das aber unterirdisch dem Flusse zuströmt.

Da nun dieses Zuströmen durch die Zwischenräume des losen Bodens unverhältnismäßig viel langsamer vor sich geht als in offener Rinne, und Verzögerungen von Wochen und Monaten eintreten können zwischen dem Niederfallen eines Wassertropfens auf durchlassenden Boden und seinem Eintritt in den Fluß, so bildet der Abfluß des Grundwassers großartige Ausgleichsapparate, welche während der nassen Jahreszeit große Mengen von Feuchtigkeit zurückhalten und dafür während der Dürre fortfahren, den Fluß zu speisen.

Das Ansteigen des Grundwasserspiegels vom Flusse aufwärts ist wohl der sprechendste Beleg dafür, daß das Grundwasser den Flüssen zuströmt.

Innerhalb Münchens erhob sich im Jahre 1876 der mittlere Grundwasserstand auf eine Entfernung von ca. 1500 m um ca. 7 m über das Flußniveau. In Zürich¹⁾ stand 1855 der Spiegel der Limmat ca. 120 m unterhalb des Niveaus des Grundwassers der hochgelegenen Vorstadt Fluntern. In Paris²⁾ betrug 1854 das mittlere Gefälle des Grundwassers gegen die Seine 1 auf 1000 m, in den der Seine unmittelbar benachbarten Partien 1 auf 100 m, während das Gefälle der Seine selbst nur 1 auf 20000 beträgt. In Wien hat Sueß³⁾ ein Ansteigen der Wasserstände in den Brunnen vom Flusse gegen den Rand des Hochbezirkes hin aus der Härte des Brunnenwassers erschlossen; er fand diese in den Brunnen des Donaubezirks überall viel höher als die des Donauwassers. Diese größere Härte kann nun weder durch den Alluvialschotter des Alluvialgebietes der Donau, der fast ausschließlich aus Quarzgeschieben und Geröllen von kristallinen Felsarten besteht, noch aus dem aus Sandstein bestehenden Diluvialschotter des übrigen Teils des Donaubezirks herkommen und nur durch die anderweitigen Quellen dieser Wasserschicht, nämlich durch die direkten atmosphärischen Niederschläge oder durch die längs des Randes des Donaubezirkes in denselben mündenden Sickerwasser des Hochbezirkes, oder durch das Hinzutreten anderer härterer Infiltrationswasser herbeigeführt werden, so daß also die Härte des Brunnenwassers des Donaubezirks durch dem Flusse zuströmende Grundwasser veranlaßt wird; erst dort, wo wirklich Wasser vom Flusse her in den Boden versickert und sich mit dem Grundwasser vermischt, tritt eine Verminderung der Härte ein. Tardy⁴⁾

¹⁾ Pettenkofer, Fünf Fragen aus der Ätiologie der Cholera. Pappenheims Monatsschrift für exakte Forschungen auf dem Gebiete der Sanitätspolizei, 1859.

²⁾ Delesse, Carte géologique souterraine de Paris et carte hydrologique de Paris.

³⁾ E. Sueß, Der Boden von Wien.

⁴⁾ Tardy, Géologique des nappes aquifères des environs du Bourg-en-Bresse. Mém. soc. des sc. nat. de Saône et Loire. V. 3. 1884.

gelangt in seinen Studien über den Kalkgehalt der Quellenwässer in der Gegend von Bourg-en-Bresse (Ain) ebenfalls zu dem Resultate, daß der Kalkgehalt dieser Quellen und Flüsse bedingt wird durch den Zufluß der Sickerwässer je nach den Schichten, welche das Wasser liefern, aber auch je nach den Jahreszeiten, d. h. den Wassermengen, welche zum Auffallen gelangen. Höchst interessant sind ferner die Untersuchungen von Sueß über das Verhältnis des Grundwassers auf einer $13\frac{1}{4}$ Meilen langen Strecke zwischen Pest und Szolnok, einem Teile jener Niederung, die sich zwischen Donau und Theiß fern von jedem Gebirge und mitten zwischen zwei Flüssen hinzieht¹⁾. Auf dieser Strecke stößt man etwa 45 km von der Donau und 55 km von der Theiß entfernt auf einen Punkt, an dem der Grundwasserspiegel 42 m über den Donauspiegel und 60 m über den Theißpiegel sich erhebt. Nach beiden Seiten hin findet nun ein nahezu ununterbrochenes Herabsinken der Brunnenstände gegen den Spiegel der beiden genannten Ströme zu statt, die als natürliche Sammelkanäle, als Entwässerungsadern dieser Abdachung des Grundwassers aufzufassen sind, und wo uns der höchste Punkt jene Erhebung der undurchlässigen Schicht andeutet, die zur Bildung der unterirdischen Wasserscheide geführt hat. Aber auch in Berlin sieht man deutlich das Zuströmen des Grundwassers zum Flusse sowohl beim höchsten als auch beim tiefsten Grundwasserstande. Das Grundwasser hält also in seiner Strömung nicht bloß die Richtung zu den Wasserläufen ein, sondern bewegt sich noch nach einer zweiten Richtung, indem es von den Seitenabhängen der Berge nach den Wasserläufen der Täler, in welchen sich die Flüsse die niedrigste Stelle gesucht haben, abfließt, also in der Richtung der Diagonale, allerdings meist mit Überwiegen einer Richtung.

Jedoch ganz ohne Einfluß und Rückwirkung auf das Grundwasser erscheinen die Flüsse nicht. Die Schlußfolgerungen, die Sueß an die Schwankungen in der Härte des Wassers in Wien knüpft, führen bereits zur Annahme einer Einsickerung von Flußwasser in die lockeren Bodenschichten zu beiden Seiten des Flusses. Eine ähnliche Erfahrung hat man auch mit dem der Loire zuströmenden Grundwasser gemacht. Als seinerzeit die Zuleitung des Loireflusses nach Paris vorgeschlagen und auf die zeitweiligen Trübungen der Loire hingewiesen wurde, wurde der Vorschlag gemacht, man solle Drain-Kanäle längs der Loire anlegen und aus diesen filtriertes Wasser nach Paris führen. Zum Zwecke dieses Projektes schritt man an die Untersuchungen der Brunnen längs des Flusses. Es zeigte sich, daß man dieselben in zwei Gruppen teilen konnte, nämlich in solche, welche in unmittelbarer Nähe des Flusses gelegen sind und sich trüben, so oft der Fluß sich trübt, also auf einem

¹⁾ E. Sueß, Über das Grundwasser der Donau. Österreich. Revue, 1866.

Gebiete stehen, in welchem ein Drainkanal seinen Zweck nicht erreichen würde und solche, welche allerdings reines Wasser liefern, welches aber aus einem wechselnden Gemenge von Flußwasser und Grundwasser besteht. Eine Reihe von Härtebestimmungen an den Brunnen der Loire lehrte ferner 1. daß, so oft der Härtegrad eines Brunnens sich dem Härtegrade der Loire nähert, dieser Brunnen, wie die Loire selbst der Trübung ausgesetzt ist, daß also hier Infiltrationswasser vom Flusse her vorhanden ist; 2. wenn das Wasser eines Brunnens verhältnismäßig klar bleibt während einer Trübungsperiode der Loire, dasselbe einen viel höheren Härtegrad besitzt als der Fluß und ein dem Flusse zuströmendes Grundwasser repräsentiert¹⁾.

Wir haben diese zwiefachen und scheinbar gegensätzlichen Beziehungen der Flüsse zum Grundwasser auf die Lagerung des Flußbettes mit Rücksicht auf die wasserführenden und undurchlässigen Schichten zurückzuführen, und können hier im allgemeinen zwei verschiedenartige Typen unterscheiden:

1. In jenem Falle, in welchem das Flußbett tief in die undurchlässige Schicht einschneidet, so daß die undurchlässige Schicht in nicht unbedeutender Höhe demselben seitlich überlagert erscheint, erfolgt der Abfluß so hoch über dem Flußniveau, daß das letztere die Abflußstelle gar nicht zu erreichen vermag; das Wasser fließt also jederzeit in die Tiefe ab ohne jegliche Behinderung, es wird trotz der Schwankungen des Flußwasserstandes an dem Niveau des Grundwassers keine Änderung erfolgen können. Ein vorzügliches Beispiel hierfür bietet uns ein Vergleich der jeweiligen Wasserstände des Münchener Grundwassers und der Isar in München. Die Isar schneidet bei München tief in den Flink ein und hoch oberhalb der Isar ist der Abfluß des Grundwassers gelegen. Deshalb haben denn auch die Umgestaltungen, die sich im Laufe der Zeit an dem Flußbett der Isar herausgebildet haben, auf das Grundwasser in München keinen merklichen Einfluß gehabt.

Vergleichen wir die mittleren Wasserstände der Isar und des Grundwassers in München und zwar nur die jährlichen Schwankungen, so tritt dies aufs deutlichste hervor. Als Vergleichsobjekt dient der Grundwasserspiegel des Brunnens im physiologischen Institute in München, an einer Stelle, ca. 1500 m westlich von der Isar entfernt, 521,28 m über dem Meeresspiegel, während der Nullpunkt des Isarpegels, des Bogenhausener Pegels, sich 504,234 m über dem Spiegel des Adriatischen Meeres befindet.

¹⁾ Drittes Mémoire des Seinepräfekten über das Wasser von Paris vom 20. April 1860.

	Grundwasserstand in m über dem Adriat. Meere	Isar-Wasserstand in m über dem Adriat. Meere
1869	515,39	503,28
1870	,25	3,28
1871	,40	3,19
1872	,22	3,04
1873	,25	2,82
1874	,15	2,46
1875	,26	2,60
1876	,85	2,57
1877	,76	2,40
1878	,81	2,45
1879	,58	1,98
1880	,75	1,91
1881	,78	1,44
1882	,34	1,17
1883	,40	0,90
1884	,11	0,87
1885	,11	0,47

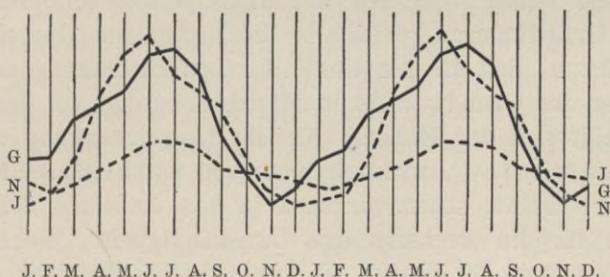


Fig. 89

Doppeljahresperiode für die Schwankungen des Grundwassers (G), des Niederschlages (N), und der Isar (J) in München.

Das Niveau des Grundwasserstandes ist in München an der hier in Betracht gezogenen Stelle (1,5 km von dem Isarufer) im Jahre 1889 um 12,1 m höher als das der Isar; während nun in den späteren Jahren nur unbedeutende Schwankungen in dem Grundwasserstande auftreten und erst im Jahre 1875 ein stärkeres und andauerndes Ansteigen des Grundwasserniveaus sich einstellt (mit einer Amplitude von ca. 0,7 m), zeigt dagegen der Isarwasserspiegel ein fast kontinuierliches und viel rascheres Absinken um mehr als 3,0 m, so daß 1885 das Grundwasserniveau 14,6 m höher ist als das Isarniveau; die relative Erhebung des Grundwasserniveaus über das der Isar hat also um 2,5 m zugenommen.

Vergleichen wir auch noch die Jahresperiode des Isarwasserstandes mit der des Grundwasserstandes in München.

Jahresperiode des Grund- und Isar-Wasserstandes
in München 1856—85

	Jahresperiode:	
	des Grundwassers in m über dem Adriat. Meere	des Isar-Wasserstandes in m über Nullpegel
Januar	515,402	—1,59
Februar	,417	—1,56
März	,482	—1,31
April	,501	—0,85
Mai	,521	—0,58
Juni	,582	—0,55
Juli	,592	—0,69
August	,567	—0,83
September	,453	—0,94
Oktober	,367	—1,31
November	,324	—1,50
Dezember	,352	—1,61
Amplitude	0,268 m = 1	1,060 m = 4

Es zeigt dieser Vergleich der Jahresperiode der Isar und des Münchener Grundwassers gleichfalls die mangelnde Übereinstimmung; abgesehen davon, daß die Amplitude der Isarschwankung mehr als das Vierfache der des Grundwassers in München beträgt (in der Zeichnung Fig. 89 verhält sich der Maßstab für die Isarschwankung zu dem des Grundwassers wie 4 : 1), wodurch schon ein unmittelbarer Einfluß ausgeschlossen erscheint, sehen wir auch in den einzelnen Schwankungen die Beweise für die wechselseitige Unabhängigkeit. Wohl steigen in den ersten Monaten des Jahres bis Juni gleichmäßig Isar und Grundwasser an, nun aber zeigt sich weiter ein Ansteigen des Grundwassers, während die Isar bereits von da an stark abzusinken beginnt. Es erklärt sich dies einfach daraus, daß die Isar, die ihr Wasser entfernteren Gebirgen entnimmt, bis zum Juli durch die starke Schneeschmelze reichlich gespeist wird, die einen viel größeren Einfluß hat als die Niederschläge, denn diese bleiben noch im Juli-August auf ihrem Maximum, während die Isar schon bedeutend zu sinken beginnt. Man könnte nun wohl denken, daß dieses Nachgehen in dem Ansteigen des Grundwassers darauf zurückzuführen ist, daß eben die Isar gewissermaßen durch Anstauung und Infiltration das Grundwasser beeinflusst, und daß sich infolgedessen eine Verspätung in dem Ablaufe der Erscheinung beim Grundwasser zeigen mußte. Allein dem widerspricht das weitere Verhalten.

Vom Monate August an beginnt das Grundwasser sich viel rascher zu senken als die Isar, so daß der tiefste Stand des Grundwassers um

ein bis zwei Monate früher sich einstellt, als jener des Flusses, aber es erfolgt das Wiederansteigen des Grundwassers im Winter auch wieder früher als das der Isar, ist auch viel steiler, offenbar ist hier das Grundwasser auch wieder von der Schneedecke beeinflusst, welche den Boden vor der Verdunstung und vor dem Einfluß der Windbewegung schützt.

2. In jenen Fällen aber, wo das Flußbett sich innerhalb des durchlässigen Bodens befindet, hoch über der undurchdringlichen, wassertragenden Schicht, oder nur eben auf dieser letzteren aufruhend, ändern sich die Drainageverhältnisse des Bodens — also die Grundwasserstände in der Nachbarschaft der Flüsse — mit jeder Veränderung des Flußniveaus. Die Höhe des im Boden befindlichen Wassers wird natürlich abhängig sein von der Höhe, in welcher sich der Abfluß — hier das Flußniveau — befindet. Der Vorgang wird sich ungefähr in folgender Weise abspielen.

Steigt das Niveau des Flusses, so wird zunächst so lange von seiten desselben Wasser in den Boden einsinken, bis das Grundwasser soweit gestiegen ist, daß sein Niveau den Flußspiegel wieder um jene Höhe überragt, die nötig ist, um den Widerstand im Boden zu überwinden und das Wasser in abfließender Bewegung zu erhalten.

Eigentümliche Verhältnisse können sich in diesem Falle bei sehr raschen Anschwellungen der Flüsse bei Hochwasser entwickeln. In diesen Fällen wird das Flußwasser wohl rasch bis zu einer gewissen Höhe in den Boden eindringen, allein schließlich an dem nachrückenden angestauten Grundwasser einen Widerstand vorfinden und dieses gewissermaßen vor sich hertreiben und das Niveau desselben erhöhen. Auf diese Weise kann es vorkommen, daß sich z. B. auf Inseln, die fast vollständig vom Flusse überflutet sind, aus dem betreffenden Brunnen eine Wassersäule über das Niveau des Flußhochwassers erhebt, welche nichts anderes ist, als das angestaute Grundwasser und welches sich auch durch seine physische und chemische Beschaffenheit (Farbe, Klarheit) von dem Wasser der Hochflut unterscheidet. Es sind derartige Vorkommnisse z. B. auf der Theben-Karlsdorfer Insel (bei Preßburg) 6 m über der Donau bei Anlage der dortigen Grundwasserbrunnen beobachtet worden, und es spielen diese Verhältnisse natürlich eine große Rolle mit Rücksicht auf die Frage, ob und wie tief das Flußwasser unter solchen Verhältnissen in den Boden eindringt, ob und in welcher Menge es sich dem Grundwasser beimengt, denn durch diese künstliche Anstauung des Grundwassers wird dasselbe bis zu einer solchen Höhe gehoben, daß es mitunter dem Flußwasser den Eintritt in den Boden verwehrt, und da das letztere bei solchen Hochfluten rasch abfließt, so werden in der Tat keine allzugroßen Mengen Flußwasser in den Boden eindringen.

Sinkt nun wieder das Flußniveau, so vertieft sich damit gewissermaßen die Drainage, der Abfluß des Grundwassers wird beschleunigt, und das Grundwasser fällt so lange, bis wieder das Gleichgewicht zwischen Höhe des Grundwassers einerseits und Reibung im Boden und Tiefe des drainierenden Flußbettes andererseits hergestellt ist. Das Grundwasser wird also die Schwankungen des Flusses mitmachen, nur werden diese etwas verspätet im Grundwasser zum Ausdruck kommen müssen, da ja der Widerstand im Boden zu überwinden ist.

Der Einfluß des Flußwasserstandes auf die Schwankungen des Grundwasserstandes wird natürlich am größten sein in der unmittelbarsten Nachbarschaft des Gerinnes; je weiter entfernt von demselben, desto mehr muß sich die Wirkung verspäten und infolgedessen auch abschwächen. Man sieht dies sehr deutlich aus den Verhältnissen in Straßburg, wo sich ein deutlicher Zusammenhang mit dem Flußwasser ergibt. Wir sehen da, daß die Ill in dem durchlässigen Rheindiluvium verläuft und ebenso auch der Rhein. Das Grundwasser strömt wohl auch hier langsam dem Flusse zu, folgt jedoch dessen Schwankungen, besonders denen der Ill. Ein sehr leicht verständliches und interessantes Bild gibt eine vergleichende graphische Darstellung der Rhein- und Illschwankungen mit denen des Grundwassers¹⁾.

In Fig. 90 sind nach den Untersuchungen von Gruner und Thiem die Pegelstände des Rheins, der Ill, sowie fünf Nortonischer Röhren oder Brunnen in der Zeit vom 18. November bis 22. Dezember 1874 aufgetragen. Das erste Grundwasserbohrloch ist nur 100 m, das zweite 500 m, das dritte 1100 m vom Rheine entfernt, das vierte Bohrloch ziemlich in der Mitte zwischen Rhein und Ill, das fünfte der Ill ganz nahe. Sobald der Rhein steigt, steigt auch das Grundwasser. In den ersten drei Bohrlöchern ist das Steigen um so geringer und erfolgt um so später, je weiter das Grundwasser vom Rhein entfernt ist. In dem vierten Bohrloch ist nur noch ein gleichmäßiges und langsames Steigen des Grundwassers bemerkbar. In der Nähe der Ill macht sich dann wieder der größere Einfluß letzterer auf das Niveau des ihr nahe gelegenen Grundwasserspiegels bemerkbar. Es weist diese Beobachtung darauf hin, daß wir es hier in der Tat mit einer Nachwirkung des Flußwasserstandes zu tun haben. Dieser ziemlich unmittelbare und mächtige Einfluß des Flusses auf die Grundwasserschwankungen kann nun dazu führen, daß der natürliche Rhythmus, der aus dem Wechselverhältnis zwischen Niederschlag und Sättigungsdefizit sich ergibt, entweder beibehalten wird, und nur noch im verstärkten Maße sich ausprägt, oder aber, daß er durch den Fluß mehr oder weniger vollständig alteriert wird. Es wird dies von dem jeweiligen Rhythmus der Fluß-

¹⁾ Topographie der Stadt Straßburg. Straßburg 1885.

wasserschwankungen abhängen und wir werden wieder zwei Fälle zu unterscheiden haben:

A. Der erste Fall ist der, daß die Schwankungen des Flusses selbst von denselben meteorischen Faktoren beeinflusst sind, wie die des Grundwassers. Dieselben wirken nur auf die Flüsse viel unmittelbarer ein, da nicht die Behinderung durch den Erdboden eintritt. Es werden infolgedessen die Schwankungen des Flusses viel unmittelbarer erfolgen

18. November 30. 1. Dezember 22.

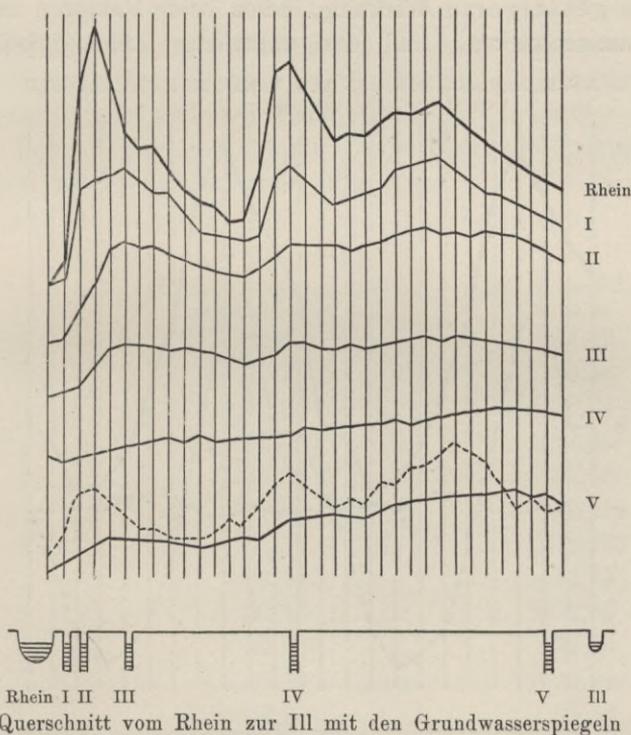


Fig. 90. Schwankungen des Rheins, der Ill und des Grundwassers bei Straßburg vom 18. Nov. bis 22. Dez. 1874

I Grundwasser am Napoleonsrhein (Weißes Haus), vom Rhein 0,1 km entfernt. II Grundwasser auf der Sporeninsel, 0,5 km vom Rhein. III Grundwasser in der Buchau, 1,1 km vom Rhein. IV Grundwasser in der Nachtweid, 33 km vom Rhein. V Grundwasser im Ostwald, Haus 96, 6,7 km vom Rhein. Gestrichelt: Schwankungen der Ill am Pegel zwischen Illkirch und Ostwald, 7,4 km vom Rhein.

und wohl auch in den meisten Fällen viel größer sein. Dort nun, wo auf den Fluß keine anderen klimatischen Faktoren einwirken, als solche, die auch auf das Grundwasser sich geltend machen, wo also auch dieselben Wechselbeziehungen zwischen den den Fluß speisenden Niederschlägen und dem Sättigungsdefizit bestehen, wie dies bei den Flüssen der Ebene der Fall ist, wird der Einfluß auf den Rhythmus des Grundwassers sich hauptsächlich nach dieser Richtung hin äußern, daß dadurch die Wirkungen sowohl des Niederschlags als auch des Sättigungs-

defizits erhöht werden; denn wenn der Niederschlag gleichzeitig dem Grundwasser zugute kommt und auch den Fluß anschwellen macht, so wird dadurch das Ansteigen des Grundwassers sowohl durch Zufluß als auch durch Stauung vermehrt, und wenn umgekehrt das erhöhte Sättigungsdefizit zur Verminderung des Grundwassers beiträgt und gleichzeitig zum Abschwellen des Flusses, so wird dadurch der Grundwasserstand nicht bloß durch den Verlust, sondern auch durch den nun gesteigerten Abfluß vermindert. Wir haben also in diesem Falle eine kombinierte gesteigerte Wirkung, indem beide Faktoren in demselben Sinne zusammenwirken, und das natürliche Abhängigkeitsverhältnis

J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D. J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D.

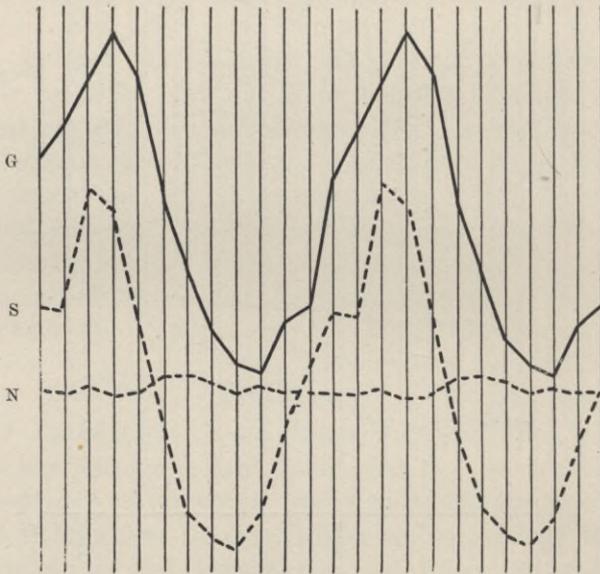


Fig. 91

Doppeljahresperiode des Grundwassers (G), des Spreepiegels (S), und des Niederschlages (N) zu Berlin

erscheint nicht gestört, sondern nur etwas in einer gewissen Verzerrung, Vergrößerung.

B. Anders ist es jedoch, wenn auf den Fluß klimatische Faktoren wirken, die anderer Natur sind, als jene, welche auf den Grundwasserstand einwirken. Dies ist bei jenen Flüssen der Fall, die aus dem Gebirge kommen, und bei denen einestheils die veränderten meteorologischen (besonders Niederschlags-) Verhältnisse des Gebirges zur Geltung gelangen, sodann aber auch die Verspätung, die sich durch die massenhaften Schneeablagerungen in den Zuflüssen der Flüsse während der ersten Jahresmonate äußern. In diesem Falle wird zur Zeit der Schneeschmelze den Flüssen eine Wassermenge zugeführt, die von früheren

Monaten herrührt und nun ein derartiges Anschwellen der Flüsse bewirkt, daß wir dafür in den Niederschlagsverhältnissen der Ebene in den Zuflüssen des Grundwassers derselben vergebens nach einer Analogie suchen.

Außerdem werden bei diesen vom Gebirge her gespeisten Flüssen auch noch die quantitativ abweichenden Verhältnisse der Niederschläge in Betracht zu ziehen sein, die größere Menge und die Steigerung der Sommerniederschläge, die dann das Sättigungsdefizit so reichlich überwiegen.

1. Nehmen wir nun wieder einige konkrete Beispiele und zwar zunächst für den ersten Typus, wo gleichartige meteorische Faktoren auf das Grundwasser und den Fluß einwirken, so finden wir solche zunächst in Berlin. Hier besteht die größte Übereinstimmung zwischen Grundwasser- und Flußwasserstand (Fig. 91).

Jahresperiode des Grund- und Spree-Wasserstandes in Berlin
1870—85

	Grundwasserstand über dem Meere in m	Mittl. Spree-Wasserstand in m
Januar	32,72	32,49
Februar	32,79	32,48
März	32,88	32,71
April	32,96	32,66
Mai	32,88	32,48
Juni	32,69	32,29
Juli	32,56	32,16
August	32,45	32,11
September	32,40	32,09
Oktober	32,38	32,14
November	32,47	32,29
Dezember	32,50	32,38
Amplitude	0,580 m = 1	0,620 m = 1,07

Nach der geologischen Beschaffenheit des Bodens von Berlin ist hier ein Infiltrationsgebiet vorhanden und ist das Gefälle des Grundwassers zum Flusse nur sehr gering, es muß also ein jedes Steigen der Spree ein Anstauen und eine seitliche Infiltration im Gefolge haben, ein jedes Absinken einen gesteigerten Abfluß. Die Kurve des Grund- und Flußwasserstandes zeigt, daß die beiderseitigen Wasserstände nach ihrem Rhythmus und sogar nach der Amplitude außerordentlich übereinstimmen. Nur gehen die Änderungen und Schwankungen des Flusses denen des Grundwassers um rund einen Monat voran, weil ja eben die Anstauung sowohl, als auch der Abfluß nur allmählich sich im Boden auf weite Strecken geltend machen kann. Gerade die eigentümliche Bodengestaltung Berlins erklärt es, warum hier auch in bezug auf die

Amplitude eine außerordentliche Übereinstimmung herrscht (die Maßstäbe für Grundwasser und Spree sind die gleichen).

In Berlin werden, entsprechend dem großen Einflusse des Flusses auf die Grundwasserverhältnisse, auch durch die den Schiffahrtszwecken dienenden Anlagen manche Abweichungen in den Grundwasserverhältnissen künstlich geschaffen. Durch die Stauung, die das Wasser des Schiffahrtskanales zwischen den Schleusen erfährt, bildet sich eine gewisse Verschiedenheit zwischen dem Grundwasserniveau der Nord- und Südrandzone der Niederstadt. Der Grundwasserstand, sowohl der höchste als der niedrigste, nimmt südlich von der Spree beständig ein höheres Niveau ein als nördlich, auch sind die Schwankungen auf dieser Seite viel geringer. Die Folgen der Schleusenstauung treten auch

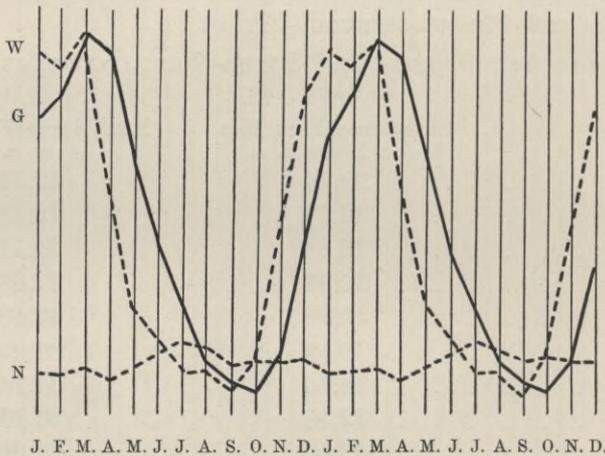


Fig. 92

Doppeljahresperiode des Weserspiegels (W), des Grundwassers (G) und des Niederschlages (N) in Bremen. (Der Maßstab für die Weser verhält sich zu jenem für Grundwasser und Niederschlag wie 3,5 : 1.)

dauernd in Infiltrationen des Untergrundes, selbst beim tiefsten Grundwasserstand zutage. Das Wasserniveau bildet hier einen 1—1,2 m sich erhebenden abgestumpften Kegel, dessen Kuppel vom Niveau des Schleusengrabens gebildet wird und der nach beiden Seiten hin sehr steil abfällt, 1,2 auf 20 m nach Norden, 1,3 auf 33 m nach Süden. Aber auch die aus andauernden Hochwasserständen hervorgehende Hebung des Grundwasserspiegels in der Umgebung der oberen Spree hat eine Infiltration des Bodens mit Spreewasser zur Folge, die das Eintreten des Wassers in die Kellergeschosse und Häuser verursacht und als sanitärer Nachteil empfunden wird¹⁾.

Der Fluß ist in Berlin wohl zum größten Teile ein Produkt der Ebene und es wirken weder die Faktoren des Gebirges auf ihn ein,

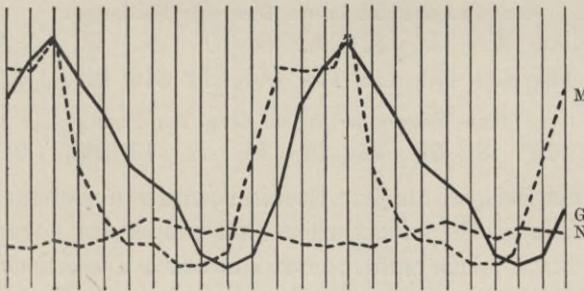
¹⁾ Berliner Festschrift. 1886.

noch größere Nebenflüsse, so daß wirklich die Übereinstimmung sich sogar auf die Amplitude erstreckt.

Etwas anders sind schon die Verhältnisse in Bremen (Fig. 92). Wohl haben wir auch hier die große Übereinstimmung der Jahresperioden, aber nicht mehr in der Jahres-Amplitude. Die Amplitude des Flusses in Bremen ist eine ca. $3\frac{1}{2}$ mal so große als die des Grundwassers. Dies hat wohl seinen Grund darin, daß wir es hier mit einem mächtigen Strome zu tun haben, dessen Schwankungen große Dimensionen annehmen und auf den zu gleicher Zeit auch noch die Schwankungen großer Nebenflüsse übertragen werden.

Jahresperiode des Grund- und Weser-Wasserstandes
in Bremen. 1872—84

Grundwasserstand in cm über dem Wasserpegel:												
J.	F.	M.	A.	M.	J.	Jl.	A.	S.	O.	N.	D.	Amplitude:
83	88	98	95	78	63	54	44	40	38	43	64	0,600 m = 1
Weser-Wasserstand ¹⁾ in cm über dem Pegel:												
173	158	182	91	25	3	-16	-16	-30	-7	60	147	2,120 m = 3,5



J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D. J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D.

Fig. 93.

Doppeljahresperiode für den Mainspiegel (M), das Grundwasser (G) und den Niederschlag (N) zu Frankfurt a. M. Der Maßstab für den Mainspiegel verhält sich zu jenem des Grundwassers und Niederschlages wie 2,5 : 1.

Ganz interessante und eigentümliche Verhältnisse bietet Frankfurt a. M. (Fig. 93), entsprechend seinem geologischen Bau²⁾. In Frankfurt a. M. ruht auf einer mächtigen Tertiärschicht das Diluvium, aus Sand und Kies bestehend, welchem dann die alluvialen Bildungen und der Riethboden aufliegen; dabei dacht sich die undurchlässige Schicht

¹⁾ Jahrbücher für bremische Statistik.

²⁾ Frankfurt a. M. in seinen hygien. Verhältnissen und Einrichtungen. 1881. Festschrift, darin: Bodenverhältnisse von Dr. C. Koch, ferner: Geologische Tektonik der Umgebung von Frankfurt a. M. und: Die Tertiärletten und Mergel in der Baugrube des Frankfurter Hafens von F. Kinkelin, Bericht der senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft. 1885.

von Nordost nach Südwest etwas unregelmäßig ab, so daß bald einzelne Einsenkungen, bald Vorwölbungen auftreten. Das unterirdische Wasser, das auf dieser Fläche zum Abfließen gelangt, fließt ebenfalls in der Richtung von Nordost nach Südwest dem Main zu, ohne jedoch für gewöhnlich eine besonders mächtige Ansammlung zu zeigen. Das Bett des Mains zeigt nun ein besonderes Verhalten. Das Tertiär streicht knapp über dem Mainspiegel aus. Bei gewöhnlichem Wasserstande kann also das Grundwasser ohne weiteres zum Main abfließen, sein Abfluß wird in diesem Falle vom Main gar nicht beeinflußt. Dagegen muß bei Hochwasserstand, sowie der Main über diese Linie emporsteigt, sofort eine Stauung, eine Infiltration eintreten; die Kurve zeigt nun wieder die Übereinstimmung in dem Verlauf der Schwankungen, die aber doch keine vollständige ist; besonders der Abfall scheint dafür zu sprechen, daß in der Tat der stauende Einfluß nur bis zu einer gewissen Höhe geht; von seinem höchsten Stande im März fällt der Main sehr schnell, das Grundwasser jedoch sehr viel langsamer.

Jahresperiode des Grund- und Main-Wasserstandes
in Frankfurt a. M. 1879—85

Grundwasserstand in cm über dem Mainpegel:												
J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Amplitude:
442	449	453	445	439	431	428	424	415	414	416	429	0,390 m = 1
Main-Wasserstand in cm über dem Pegel:												
103	106	120	64	48	36	36	26	26	43	73	105	0,960 m = 2,4

2. Als ein Beispiel für jene Beeinflussung von seiten eines Flusses, der nicht bloß durch die klimatischen Faktoren seines engeren Gebietes, sondern auch durch solche entfernterer, klimatisch abweichender Gegenden getroffen wird, dienen noch die Beziehungen des Donaukanals zum Grundwasserstande im Donaugebiete Wiens (Fig. 94). In Wien werden sich allerdings entsprechend der eigentümlichen Konfiguration der undurchlässigen Schicht mehrfache Bilder in den Beziehungen des Grundwassers zu den meteorologischen Faktoren und dem Flusse geltend machen. In der unmittelbarsten Nachbarschaft des Donaukanales wird aber ein analoges Verhältnis bestehen, wie z. B. in Berlin, und das wird auch ersichtlich bei dem Vergleiche, den wir nach zehnjährigen Messungen zwischen dem Donaukanal und einem benachbarten Brunnen der Rossauer Kaserne (I), vornehmen (vgl. folgende Tabelle); dieser Brunnen, der ca. 300 m vom Kanal entfernt ist und dessen Sohle —1,29 m unter der Donau gelegen ist, stimmt vollständig mit den Schwankungen des Donaukanales überein. Wir sehen in beiden Fällen eine im Monate März sich kundgebende Anschwellung, die wohl auf ähnliche Verhältnisse zurückzuführen ist, wie die des Grundwassers in Salzburg, auf die lokale Schneeschmelze, wir sehen sodann ein hochgradiges

Ansteigen des Grundwassers bis in den Monat Juli, offenbar von der Schnee- und Gletscherschmelze im Gebirge herrührend, sodann ein rapides Absinken bis zum Monat November. Da der Brunnen sich in großer Nähe der Donau befindet, so ist der Rhythmus beider überaus übereinstimmend, sowohl nach der Amplitude als auch nach der Zeit, und es spricht sich kaum eine Verspätung aus.

Wien, Jahresperiode 1876—85:

	Donaukanal	Grundw. d. Brunnen		Niedersch.	Sättigungsdef.
	m	I	II	m	mm
Januar . .	—0,357	1,52	1,33	31,06	0,67
Februar .	+0,055	1,51	1,36	42,45	0,97
März . . .	+0,408	1,82	1,55	44,93	1,85
April . . .	+0,128	1,65	1,56	52,64	2,94
Mai . . .	+0,689	2,03	1,62	90,04	3,69
Juni . . .	+0,670	2,45	1,74	63,40	4,82
Juli . . .	+0,865	2,55	1,71	75,40	5,81
August . .	+0,536	2,35	1,70	75,10	4,86
September	+0,194	2,07	1,61	46,10	3,19
Oktober .	—0,136	1,77	1,54	59,45	1,60
November	—0,343	1,37	1,44	49,98	1,04
Dezember	—0,233	1,47	1,40	51,01	0,65
Mittel . .	0,231	1,71	1,55	56,8	2,13
Amplitude	1,222 m = 3,0	1,18 m = 2,9	0,410 m = 1	58,98 mm	5,16 mm
Jahressumme	—	—	—	681,6	—

Höhe des Terr. über dem Nullpunkt des Pegels der Ferdinandsbrücke ¹⁾	Höhe des Terrains über dem Adriat. Meere	Tiefe der Brunnensohle unter dem Boden	Höhe der Brunnensohle über dem Adriat. Meere ²⁾	Die Brunnensohle liegt unter (—) dem Nullpunkt des Donauegels	Horizontale Entfernung vom Donaukanale
---	--	--	--	---	--

Brunnen I Rossauer-Kaserne:

8,43	165,247	9,72	155,527	—1,290	ca. 300 m
------	---------	------	---------	--------	-----------

Brunnen II Rennweger-Kaserne:

15,91	172,727	18,65	154,077	—2,740	ca. 1050 m
-------	---------	-------	---------	--------	------------

Bei dem zweiten Brunnen, dem der Rennweger-Kaserne, ca. 1050 m vom Donaukanal entfernt und mehr in der Nähe der Wien, die aber, da sie in undurchlässigem Boden einschneidet, von keinem Einflusse auf das Grundwasser ist, tritt jenes Verhältnis zutage, das sich bei den Grundwasserverhältnissen von Straßburg so deutlich ausspricht, die Abschwächung des Einflusses mit der Entfernung. Der Rhythmus

¹⁾ Der Nullpunkt des Pegels bei der Ferdinandsbrücke beträgt 156,817 m.

²⁾ Diese Zahlen weichen von den in den „monatlichen Übersichten der Ergebnisse von hydrometrischen Beobachtungen“ angeführten aus dem Grunde ab, weil in diesen letzteren der Donauegel an der Ferdinandsbrücke mit 159,77 m angenommen ist.

ist hier zwar noch derselbe wie am Donaukanal, doch treten schon etwas größere Unregelmäßigkeiten auf und die Amplitude ist bereits auf $\frac{1}{3}$ reduziert.

Es geht nun aus diesem Verhältnisse zwischen Grundwasserstand und Flußwasserstand in den klimatischen Gebieten dieser Kategorie hervor, daß wir hier aus dem Grundwasserstande nicht direkt auf die abgelaufenen Veränderungen in der Bodenfeuchtigkeit schließen dürfen, wie in jenen Gegenden, wo das Grundwasser ganz unabhängig ist vom Flusse, oder wo der Fluß und das Grundwasser denselben klimatologischen Einflüssen ausgesetzt sind. Es hat diese Auffassung ihre große

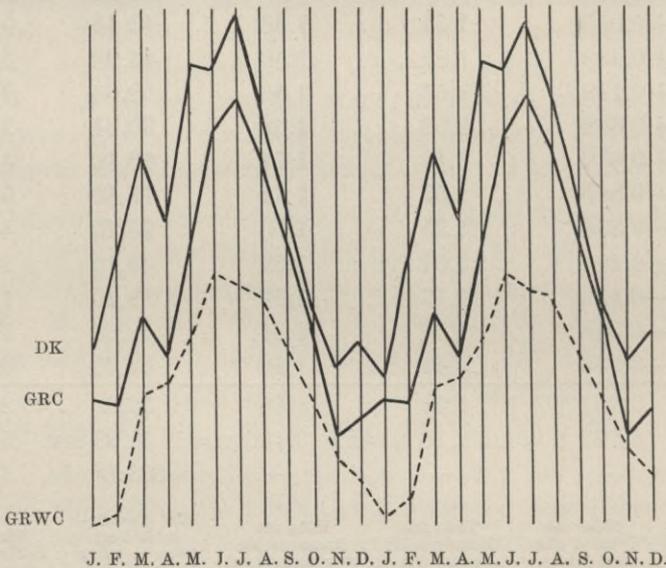


Fig. 94

Doppeljahresperiode der Schwankungen des Spiegels vom Donaukanale (DK) und des Grundwassers in der Rossauer-Kaserne (GRC) und Rennweger-Kaserne (GRWC) in Wien.

epidemiologische Bedeutung und Pettenkofer war der erste, der hierauf hingewiesen hat.

Die Jahre 1876—85 waren sehr regenreich, so daß die durchschnittliche Regenmenge, 681,6 mm im Jahre, jene aus langjährigen (34 Jahre Hann) Beobachtungen gewonnene, welche nur die Höhe von 595 mm beträgt, weit übertrifft. Auch die Amplitude ist nach diesen langjährigen Beobachtungen eine viel kleinere, 37 mm. Das läßt darauf schließen, daß auch das Sättigungsdefizit in Wien, für eine mehrjährige Periode berechnet, ein noch höheres sein dürfte.

30. Kapitel

Die Schwankungen des Grundwassers

Auch über die Schwankungen des Grundwassers hat J. Soyka¹⁾ ausführliche Untersuchungen veröffentlicht, von denen ich im folgenden das für uns wichtige fast unverändert wiedergebe, ohne den Standpunkt des Verf. in allen Einzelheiten, so z. B. rücksichtlich der ausschließlichen Entstehung des Grundwassers aus den Niederschlägen, zu teilen.

Für die Frage nach dem Zusammenhange zwischen Niederschlag und Grundwasser darf man weder die Tension der Luft, noch die relative Feuchtigkeit berücksichtigen. Dadurch, daß mit der steigenden Temperatur die Kapazität der Luft für Wasserdampf zunimmt, können die Angaben der absoluten Feuchtigkeit für die Beurteilung der Trockenheit der Luft, das heißt, ihrer Fähigkeit, noch Wasser aufzunehmen und die Verdunstung zu befördern, in keiner Weise verwertet werden.

Auch die relative Feuchtigkeit, wie sie bisher berechnet wird, gibt keinen richtigen Maßstab für die Fähigkeit der Luft, noch Wasserdampf aufzunehmen. Die relative Feuchtigkeit gibt uns den jeweiligen Feuchtigkeitszustand der Luft in Prozenten an, aber in Prozenten der jeweilig vorhandenen Wasserkapazität. Diese Wasserkapazität ist aber entsprechend der Temperatur außerordentlich wechselnd, und deshalb können diese Prozentzahlen der relativen Feuchtigkeit keinen übereinstimmenden Wert haben, sie müssen bei den verschiedenen Temperaturgraden einen ganz verschiedenen ziffernmäßigen Ausdruck finden.

Ein viel richtigerer Maßstab dagegen für den jeweiligen Feuchtigkeitszustand der Luft ist das sogenannte Sättigungsdefizit, ein Ausdruck für diejenige Menge Wasserdampf, welche von der Luft, entsprechend ihrem vorhandenen Feuchtigkeitsgrade und ihrer Temperatur, noch aufgenommen werden kann.

Wir gelangen zur Feststellung des Sättigungsdefizits auf folgendem einfachen Wege: Bei einer bestimmten Temperatur kann die Luft eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Die Menge dieses aufgenommenen Wasserdampfes wird entweder durch sein Gewicht oder durch die Tension gemessen. Diese Spannung, Tension (P), entspricht also demjenigen Wassergehalte, welchen die Luft bei einer entsprechenden Temperatur bei voller Sättigung mit Wasserdampf aufgenommen hat. In der Regel ist nun die Luft nicht völlig mit Wasserdampf gesättigt, sie enthält meist weniger, als sie bei der bestimmten Temperatur auf-

¹⁾ Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse von Dr. Isidor Soyka. Geogr. Abhandl. Bd. II, Heft 3, Wien 1888.

zunehmen vermag, und dementsprechend ist auch die Spannung des Wasserdampfes, die Tension, eine geringere. Bezeichnen wir diese nun mit p , so erhalten wir aus der Differenz $P-p$ jene Menge Wasserdampf, welche bei dieser Temperatur und diesem Wassergehalt von der Luft noch aufgenommen werden könnte, also das sogenannte Sättigungsdefizit. Dieses Sättigungsdefizit ist nun wohl ein Index für die Verdunstungsvorgänge in der Natur, für die Trockenheit der Luft. Es stellt gewissermaßen die Resultierende dar aus allen meteorologischen Faktoren, wie Temperatur, Niederschlag, Windbewegung; es ist ein Maßstab für die Intensität der Verdunstungsvorgänge und läßt uns diese Vorgänge jedenfalls viel deutlicher erkennen, als dies die relative Feuchtigkeit tut.

Wie wenig die relative Feuchtigkeit geeignet ist, uns einen richtigen Maßstab für die Verdunstung zu geben, kann eine kleine Rechnung lehren.

Denken wir uns Luft von verschiedener Temperatur, aber stets von gleicher relativer Feuchtigkeit, so erhalten wir für die vorhandene Wassermenge und das daraus resultierende Sättigungsdefizit folgende Werte:

		Absoluter Wassergehalt in mm								
Temperatur der Luft	Relat. Feuchtigkeit:	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
	100%	2,10	3,11	4,60	6,53	9,17	12,70	17,39	23,55	31,39
	90%	1,89	2,79	4,14	5,88	8,25	11,43	12,05	21,19	28,25
	70%	1,47	2,17	3,22	4,55	6,48	8,89	9,38	16,45	21,98
	50%	1,05	1,55	2,30	3,26	4,58	6,35	6,69	11,77	15,69
	30%	0,63	0,93	1,38	1,95	2,76	3,81	4,02	7,05	9,42
	10%	0,21	0,31	0,46	0,65	0,92	1,27	1,34	2,35	3,14

		Sättigungsdefizit in mm								
Temperatur der Luft	Relat. Feuchtigkeit:	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
	100%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	90%	0,21	0,32	0,46	0,65	0,92	1,27	1,34	2,30	3,13
	70%	0,63	0,94	1,38	1,98	2,69	3,81	4,01	7,10	9,41
	50%	1,05	1,56	2,30	3,27	4,59	6,35	6,70	11,78	15,70
	30%	1,47	2,18	3,22	4,58	6,41	8,89	9,37	16,50	21,97
	10%	1,89	2,80	4,14	5,88	8,25	11,43	12,05	22,20	28,25

Wir sehen, daß bei gleichem Prozentgehalt relativer Feuchtigkeit nicht bloß der Wassergehalt der Luft entsprechend der höheren Temperatur ein bedeutend höherer sein kann (bei einer Temperaturdifferenz zwischen -10 und +30 Grad sogar mehr als der 15fache),

sondern auch, daß in demselben Maße das Sättigungsdefizit variiert. Ein Ansteigen der Temperatur von 0 auf 30 Grad erhöht bei gleichbleibender relativer Feuchtigkeit das Sättigungsdefizit um das Sechs- bis Siebenfache; und umgekehrt hat zum Beispiel eine Luft von 25 Grad Celsius und 90 Prozent relativer Feuchtigkeit und eine solche von 0 Grad und nur 50 Prozent relativer Feuchtigkeit dasselbe Sättigungsdefizit (2,3 mm).

Während uns also das Sättigungsdefizit in seinen Zahlen bereits direkt über den jeweiligen Zustand der Luft orientiert, bedürfte es bei den Zahlen der relativen Feuchtigkeit stets einer Umrechnung mit Rücksicht auf die Beobachtungstemperaturen, um einen richtigen Schluß zu erhalten.

Das Sättigungsdefizit bildet im Vereine mit dem Niederschlag jenen Faktor, von dessen Schwankungen der jeweilige Grundwasserstand beeinflußt wird, und wir können gerade aus dem wechselseitigen Verhältnisse dieser beiden meteorologischen Momente die Gesetze für den zeitlichen Ablauf der Grundwasserschwankungen feststellen.

Wir werden in bezug auf das Grundwasser im allgemeinen einfache Verhältnisse haben und können für unsere Gegend, Mitteleuropa, zwei Typen feststellen, nach welchen der Ablauf der Erscheinungen, der Ablauf der Jahresschwankungen bei dem Grundwasser, sich gestalten muß.

Die Monate Mai bis August, dieselben, die als die regenreichsten anzusehen sind, sind nach dieser Tabelle doch wieder diejenigen, die die größte Gelegenheit zur Verdunstung geben; es bleibt dieses Verhältnis ziemlich konstant, ob das Sättigungsdefizit ein großes oder geringes ist, da es hauptsächlich von der Temperaturperiode abhängig ist. Die Differenzen aber, die in der absoluten Höhe und in der Amplitude gelegen sind, lassen sich teils auf den großen Regenreichtum, teils auf die Einwirkung des Meeres zurückführen.

Wir sehen also, daß hier zwei Faktoren einander entgegenarbeiten, die nun beide einen ziemlich gleichmäßigen Verlauf zeigen; würden beide einander die Wagschale halten, würde entsprechend der gesteigerten Verdunstung und Austrocknung im Sommer genau die entsprechend größere Regenmenge niederfallen, so müßte das Resultat dieser Erscheinung vollkommen im Gleichgewichte sein, d. h. das Grundwasser würde gar keine Schwankungen innerhalb des Jahres zu zeigen brauchen. Da dies aber nicht der Fall ist, so wird das Resultat dieser beiden Aktionen schließlich zugunsten jenes Faktors ausschlagen, welcher im Überwiegen ist. Es wird sich also um das wechselseitige Verhältnis der absoluten Regenmengen und der absoluten Verdunstungsgrößen handeln. Dort, wo sehr massenhafte Niederschläge im Sommer

niederfallen und gleichzeitig ein niedriges Sättigungsdefizit sich einstellt, sei es wegen der durch die Niederschläge herabgesetzten Temperatur, sei es auch infolge dieser Niederschläge selbst, werden eben die Niederschläge dem Verlauf der Grundwasserschwankungen ihren Charakter aufprägen, dort hingegen, wo die Niederschläge absolut gering sind, dagegen ein höheres Sättigungsdefizit sich einstellt, da wird der Verlauf der Grundwasserschwankungen von diesen Faktoren beherrscht werden.

Wir hätten also zwei Typen in bezug auf den Verlauf dieser Erscheinungen.

1. Hohe absolute Menge des Niederschlages und geringes Sättigungsdefizit, die Jahresschwankung des Grundwassers wird durch den Jahresverlauf des Niederschlages beherrscht.

2. Geringe absolute Menge des Niederschlages, hohes Sättigungsdefizit, die Jahresschwankung des Grundwassers folgt der des Sättigungsdefizites.

Wir können diese Behauptung an einigen Beispielen erhärten und zunächst als Repräsentanten des ersten Typus München wählen, eine Stadt, in welcher das Studium der Grundwasserfrage durch Pettenkofer bereits im Jahre 1856 begonnen wurde, und die ob ihrer höheren Lage (519 m über dem Meere) und ihrer Gebirgsnähe bereits zu den regenreichen gehört. Relativ mächtige Niederschläge über 800 mm¹⁾ im Jahre, mit einer mittleren Jahrestemperatur von 7,36° C und entsprechend diesen beiden Faktoren mit einem relativ niedrigen Sättigungsdefizit, 1,6 mm, bezeichnen den klimatischen Charakter dieser Stadt. Als Repräsentant des zweiten Typus sei Berlin gewählt, das mitten in der Ebene nur 30 m über dem Meere gelegen ist, mit einer jährlichen durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 594 mm in 166 Tagen, einer mittleren Jahrestemperatur von 9,1° C und einem Sättigungsdefizit von 3,0 mm (Mayer)²⁾ resp. 2,7 mm (Soyka 1870/85).

Wenn wir nämlich die Kurve des Niederschlags verfolgen in ihrem zeitlichen Ablauf, in der Entfaltung ihrer sogenannten Jahresperiode, so finden wir, daß sie im großen und ganzen in Mitteleuropa insofern einen einheitlichen Charakter trägt, als ihre relativ größten Maxima, sowie die Minima eine große zeitliche Übereinstimmung zeigen. Nach Hann hat die Regenverteilung in Mitteleuropa einen gemäßigt kontinentalen Charakter, der in einem einfachen gut ausgeprägten Sommer-Maximum der Niederschläge besteht.

¹⁾ Nach Lang: 69jährige Beobachtungen. Beobachtungen der k. meteorologischen Anstalten in Bayern. IV, 1882.

²⁾ Meteorologische Zeitschrift 1887, S. 117.

Jährliche Regenverteilung in Mitteleuropa nach Hann¹⁾
(in Prozenten)

Monat	NW-Deutschld. ohne Küste	Mittel- Deutschland	Süd- Deutschland	Nordschweiz	Deutsche Ostseelände	Pos., Brandb. schles. Ebene	Böhm., Mähr., Schl., W.-Gal.	Galiz. Bukow. Siebenbürgen	Ungar. Ebene	Alpen. Österr. Salzb. O.-Stm.	Nord-Tirol, Vorarlberg	Südseite der Tauern	Süd-Tirol	NW-Kärnten, Krain
Dezember . . .	9	8	7	6	8	7	7	6	8	6	7	6	6	8
Januar . . .	7	6	6	5	6	6	5	4	6	5	5	4	5	6
Februar . . .	7	6	6	5	5	6	6	5	5	5	4	3	3	5
März . . .	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	5	6	7
April . . .	7	7	7	8	6	7	7	7	7	7	8	7	8	7
Mai . . .	8	9	10	10	8	9	10	12	11	10	9	10	11	9
Juni . . .	10	11	11	12	11	12	13	15	12	12	12	12	10	9
Juli . . .	11	12	11	11	13	13	12	14	11	13	13	12	11	9
August . . .	10	11	11	12	12	12	12	11	10	13	12	12	11	9
September . .	8	7	8	8	9	8	8	7	6	9	9	10	9	10
Oktober . . .	8	8	8	9	8	7	6	6	8	6	7	10	11	11
November . .	8	8	8	7	8	7	7	6	9	7	7	8	9	10

Mit Ausnahme von NW-Kärnten und Krain sehen wir in allen hier verzeichneten Gebieten ein Vorwiegen der Niederschläge in den Monaten Mai-August, mitunter auch noch im September.

Diese erhebliche Steigerung der relativen Niederschlagsmenge in den Sommermonaten müßte sich nun auch im Bodenwasser bemerkbar machen, und dies zu einer gesteigerten Ansammlung und dementsprechend zu einem Steigen veranlassen. Aber dem wirkt eben die im Sommer gesteigerte Verdunstung entgegen. Nach den Berechnungen Mayers²⁾ gestaltet sich die Jahresperiode des Sättigungsdefizits in den einzelnen Monaten folgendermaßen:

Jährlicher Gang der Tages-Mittel des Sättigungsdefizites

Ort	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Ampl.
Berlin . . .	0,7	1,1	1,9	3,1	4,9	6,0	6,4	4,8	4,0	1,8	1,2	0,7	3,0	5,7
Posen . . .	0,6	0,8	1,4	2,4	4,0	4,9	5,4	3,9	3,4	1,5	0,8	0,5	2,5	4,9
Breslau . . .	0,7	1,0	1,7	2,8	3,9	5,0	5,9	4,4	3,8	2,0	1,2	0,7	2,7	5,2
Kassel . . .	0,6	1,0	1,8	2,9	4,3	4,4	4,7	3,7	2,5	1,4	1,1	0,7	2,4	4,1
Kiel . . .	0,3	0,4	0,7	1,6	2,7	3,0	2,7	3,0	1,3	0,9	0,5	0,3	1,4	2,7
Hamburg . . .	0,4	0,6	1,3	2,5	3,8	4,2	3,6	3,2	2,3	1,2	0,7	0,4	2,0	3,8
Borkum . . .	0,5	0,4	0,8	1,4	1,8	2,3	3,7	2,4	1,4	1,1	0,8	0,4	1,4	2,3

Innerhalb der 30 Jahre von 1856—1885 zeigten die beobachteten Brunnen in München folgende Schwankungen (Tabelle S. 200). Die Zahlen bedeuten den Abstand des Grundwasserniveaus von der Ober-

¹⁾ Hann, Klimatologie, S. 483.

²⁾ Mayer, Meteorologische Zeitschrift, 1887.

fläche, dem Fixpunkte, in Metern. Bis zum Jahre 1868 gehören die Zahlen zum Karlstraßenbrunnen. Aus diesem Grunde sind in jeder dieser Periode Maxima und Minima bezeichnet. Die größte Monatsamplitude betrug 1,113 (1856/68), resp. 1,388 m.

Abstände des Grundwassers von der Oberfläche

Jahr	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1856	—	—	5,818	6,013	6,037	5,999	5,882	5,955	6,072	6,183	6,226	—
1857	6,174	6,218	6,183	6,130	6,115	5,745	5,882	6,139	6,241	6,197	6,270	6,329
1858	6,372	6,445	6,387	6,042	6,037	6,086	6,101	5,993	6,057	6,072	5,955	5,901
1859	5,899	5,940	5,853	5,832	5,555	5,546	5,724	5,803	5,847	5,949	5,920	5,876
1860	5,876	5,730	5,584	5,634	5,750	5,672	5,657	5,569	5,584	5,473	5,561	5,686
1861	5,628	5,409	5,444	5,458	5,517	5,380	5,143	5,307	5,648	5,730	5,841	5,838
1862	5,847	5,584	5,569	5,648	5,686	5,689	2,736	5,692	5,730	5,800	5,882	5,949
1863	5,826	5,759	5,853	5,911	5,809	5,692	5,619	5,699	5,891	5,978	6,028	6,101
1864	6,147	6,139	6,042	5,920	5,818	5,599	5,309	5,365	5,555	5,721	5,832	5,920
1865	5,876	5,788	5,803	5,867	5,934	5,838	5,853	5,928	6,080	5,256	6,334	6,393
1866	6,364	6,291	6,188	5,969	5,911	5,847	5,794	5,648	5,648	5,718	5,847	5,803
1867	5,701	5,380	5,196	4,962	5,015	4,971	5,120	5,292	5,254	5,283	5,376	5,350
1868	2,263	5,212	5,263	5,336	5,374	5,234	5,365	5,404	5,569	5,709	5,800	5,733
1869	5,732	5,834	5,873	5,787	5,734	5,866	5,825	5,662	6,015	6,170	6,199	5,972
1870	5,876	5,974	5,928	5,812	5,963	6,085	6,190	6,118	6,116	6,229	6,091	5,977
1871	4,854	5,580	5,484	5,685	5,605	5,765	5,816	5,896	6,067	6,142	6,265	6,358
1872	6,288	6,200	6,009	6,172	5,119	5,702	5,729	5,590	6,068	6,223	6,276	6,289
1873	6,194	6,258	6,086	6,058	6,066	5,731	5,679	5,764	5,907	6,110	6,215	6,276
1874	6,326	6,334	6,246	6,165	5,716	5,663	5,898	6,047	6,176	6,301	6,339	6,340
1875	6,260	6,165	5,917	5,747	5,917	6,027	6,001	6,058	6,188	6,180	6,023	5,779
1876	5,579	5,667	5,086	5,010	4,998	5,227	5,215	5,424	5,568	5,682	5,819	5,837
1877	5,833	5,579	5,352	5,323	5,370	5,436	5,446	5,167	5,304	5,592	5,838	5,955
1878	5,549	5,320	5,346	5,265	5,236	5,285	5,468	5,571	5,502	5,499	5,738	5,898
1879	5,614	5,740	5,711	5,756	5,595	5,578	5,577	5,556	5,583	5,853	5,917	5,930
1880	5,738	5,023	5,880	5,802	5,723	5,586	5,427	5,287	5,328	5,459	5,077	5,168
1881	5,162	5,323	5,402	5,464	5,584	4,970	5,318	5,512	5,631	5,794	5,860	5,921
1882	5,569	6,047	6,132	6,184	6,168	6,104	6,074	5,899	5,963	5,904	5,982	5,184
1883	5,746	5,885	6,010	6,100	6,122	5,850	5,647	5,714	5,840	5,811	5,899	5,889
1884	5,855	5,982	6,143	6,028	6,115	6,588	5,147	5,098	6,241	6,270	6,208	6,329
1885	6,340	6,340	6,189	6,239	6,197	6,174	6,000	6,259	6,140	6,101	6,059	5,952
Mittel	5,878	5,863	5,798	5,779	5,759	5,698	5,688	5,713	5,827	5,913	5,956	5,928

Diese Zahlen bedeuten den Abstand von dem 521,28 m über dem Meere sich erhebenden Fixpunkte des Brunnens. Durch Subtraktion von dieser Größe erhalten wir die Angaben für die Grundwasserschwan- kungen umgewandelt in Höhenkoten über dem Meere. In nach- folgender Tabelle finden sich ferner: die Jahresperiode der Grund- wasserschwan- kungen, die Jahresperiode des Niederschlages und die des Sättigungsdefizites. Die Jahresperiode des Niederschlages ist aus den langjährigen Beobachtungen Langs¹⁾ berechnet. Das Sättigungs-

¹⁾ Beobachtungen der k. meteorologischen Stationen in Bayern, IV, 1882.

defizit ist hier, sowie bei allen folgenden Tabellen, auf dem einfachen Wege berechnet, daß für jeden einzelnen Monat die der mittleren Temperatur entsprechende höchste absolute Feuchtigkeit in Millimetern bestimmt und von derselben das Monatsmittel der beobachteten absoluten Feuchtigkeit abgezogen wurde. Aus diesen für jeden einzelnen Monat gewonnenen Differenzen wurde sodann das Mittel gezogen. Man erhält dadurch noch nicht vollkommen genaue Werte, dazu müßte man für jede einzelne der drei Tagesbeobachtungen diese Manipulation wiederholen, allein für unseren Zweck, den Rhythmus und die Größe unter gewissen Extremen miteinander zu vergleichen, genügt schon diese Methode¹⁾.

Jahresperiode von Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdefizit in München 1850—85

	Grundw. in m über dem Adr. Meere	red. auf das • Min. 515,324 = 0	Niederschlag mm	Sättigungs- defizit mm
Januar	515,402	0,018	35,0	0,18
Februar	,417	,083	29,1	0,42
März	,482	,158	48,4	0,86
April	,501	,177	55,5	1,84
Mai	,521	,197	77,8	2,43
Juni	,582	,258	112,1	3,11
Juli	,592	,268	111,8	3,54
August	,567	,243	101,7	3,23
September	,453	,129	71,7	2,06
Oktober	,367	,043	54,4	0,94
November	,324	,000	50,5	0,41
Dezember	,352	,028	45,8	0,22
Jahresmittel	515,463	0,133	66,1	1,60
Amplitude	0,268	0,268	83,0	2,36

Zum graphischen Ausdruck dieser und der folgenden Jahresperiode wurde eine Darstellung in der Form eines Doppeljahres gewählt, indem das Durchschnittsjahr in unmittelbarer Folge zweimal hintereinander aufgetragen wird. Diese Darstellung hat den Vorteil, daß sie die Jahresperiode nicht willkürlich unterbricht. Sie läßt die Periodizität der Erscheinungen unabhängig von dem zufälligen Jahresanfang erkennen. Es kann daher eine jede beliebige nicht gerade mit dem Januar

¹⁾ Mayer, Meteorologische Zeitschrift, 1885, 1887. Deneke, Zeitschrift für Hygiene I.

beginnende Jahresperiode herausgehoben werden, ohne daß dieselbe gerade mit dem Schlusse des Jahres unterbrochen wird.

Die Jahresperiode des Grundwassers zeigt nun einen sehr deutlichen Rhythmus (Fig. 95). Wir haben ein scharf abgesetztes Maximum im Sommer, Mai-August, und ein entsprechend scharf ausgeprägtes Minimum, das in die Herbst- und Wintermonate Oktober-Januar fällt. Wenn wir nun diese Periode mit der des Niederschlages vergleichen, so sehen wir einen Parallelismus, der sich besonders in dem Eintritt der Maxima ausprägt. Die Maxima der Niederschläge fallen in dieselben Monate, wie die des Grundwassers. Dann folgt, vom August angefangen, ein rascher Abfall, der beim Grundwasser jedoch früher

J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D. J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D.

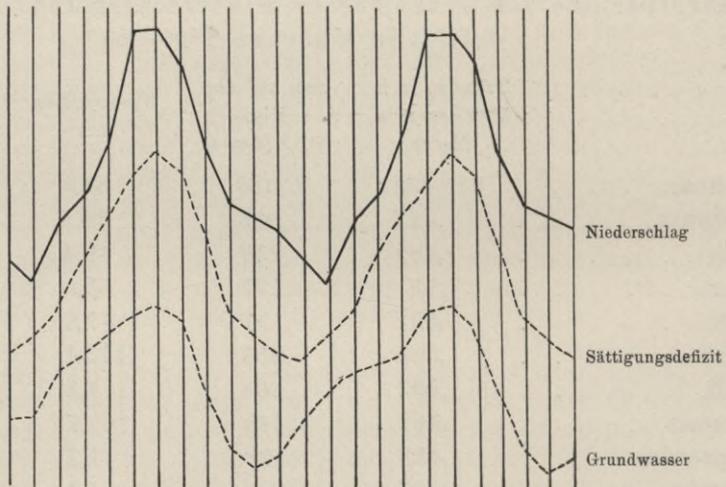


Fig. 95. Doppeljahresperiode des Niederschlages, des Sättigungsdefizits und des Grundwassers zu München

sein Ende erreicht als beim Niederschlag. Das Grundwasser hat seinen tiefsten Stand im November erreicht. Der Niederschlag zeigt sein Minimum erst im Februar. Die Kurve fällt vom November ab noch immer, wenn auch etwas langsamer. Die Erklärung für diese Inkongruenz ergibt sich nun mit außerordentlicher Deutlichkeit aus dem wechselseitigen Verhalten des Niederschlages und Sättigungsdefizits. Das Sättigungsdefizit ist wohl in den Monaten Mai-August am höchsten, es kann aber keine direkt den Grundwasserstand erniedrigende Wirkung äußern, einmal deshalb, weil um diese Zeit die Niederschläge zu mächtig sind und also den Verlust, den das Bodenwasser durch Verdunstung erleidet, reichlich kompensieren, dann auch, weil sich die Wirkung des Sättigungsdefizits im Grundwasser verspätet äußern muß, entsprechend

dem oben geschilderten Gange der Bodenverdunstung. Mit dem Ausfallen, der Verringerung der Niederschläge von September bis November kommt nun diese Wirkung der Verdunstung, vielleicht auch die des gesteigerten Abflusses infolge Austrocknung des das Grundwasser aufnehmenden Wasserlaufes, zur Geltung und das Grundwasser sinkt. Es sinkt so lange, bis das Sättigungsdefizit seine geringste Intensität erreicht. Nun kommt eine Reihe von Monaten, Dezember bis Februar, wo zwar der Niederschlag sein relatives Minimum erreicht, wo aber das Grundwasser wieder zu steigen beginnt. Eine Berücksichtigung des Sättigungsdefizits gibt hierüber vollkommene Aufklärung. In diesen drei Monaten, Dezember bis Februar, hat das Sättigungsdefizit seine geringste Intensität, es sinkt vielleicht auf 0, beträgt im Januar durchschnittlich nur 0,18 mm. Die Verdunstung aus dem Boden wird also fast vollständig aufgehoben, wozu jedenfalls eine eventuelle Schneedecke auch noch beitragen wird, und die Folge davon ist, daß die Niederschläge, die trotz ihres relativen Minimums absolut immer noch eine genügende Quantität repräsentieren, weder zur Verdunstung noch zur Sättigung von ausgetrockneten Bodenschichten verbraucht werden, und so kann das Grundwasser trotz Abnahme des Niederschlages wieder ansteigen, weil das Sättigungsdefizit in diesen Monaten ebenfalls seinen höchsten Stand erreicht.

Ganz anders ist der Ablauf dieser Erscheinungen in Berlin.

Die Grundwasserverhältnisse in Berlin bieten kein so einfaches Bild, wie die auf der bayerischen Hochebene und in München. Die Stadt Berlin liegt mit ihrem älteren Teile in einem der bereits oben (S. 22) besprochenen Urstromtäler, nämlich dem Warschau-Berliner Tale, welches (vergl. das Profil Figur 11) bis zu der großen Tiefe von 20—50 m mit groben Sanden und Kiesen erfüllt ist. Gegen die Talränder hin lagern sich undurchlässige Tone und Geschiebemergelbänke ein und in den das Tal beiderseits begrenzenden Hochflächen des Barnim und Teltow sehen wir eine mehrfache Wechsellagerung von glazialen Sanden und Kiesen mit Tonmergeln und Geschiebemergeln. Während in den Hochflächen das Grundwasser sehr tief steht, findet es sich in den groben Talsanden des Urstromtales in geringer Tiefe und reicht hier hinunter bis zu den ersten undurchlässigen Schichten, die bisweilen diluviales, vielfach aber auch miozänes (Kohlenletten) oder gar mitteloligozänes (Septarienton) Alter besitzen. Die im nachstehenden angeführten Grundwasserbeobachtungen beziehen sich auf den im Urstromtale sich flußabwärts und der Spree zu bewegenden Grundwasserstrom.

Die Jahresperiode für das Grundwasser in Berlin wurde aus den 16jährigen Beobachtungen gewonnen, die an 37 Brunnen in Berlin angeschlossen wurden, und entsprechend diesem Zeitraume ist dann auch die

Jahresperiode des Niederschlages und des Sättigungsdefizits festgestellt worden¹⁾ (Fig. 94).

Jahresperiode des Grundwassers, des Niederschlages und des Sättigungsdefizits in Berlin 1870—85.

	Grundwasser in m über dem Meere	Red. auf das Min. 32,38 = 0	Niederschlag mm	Sättigungs- defizit mm ²⁾
Januar	32,72	0,34	40,3	0,71
Februar	32,79	0,41	34,8	0,91
März	32,88	0,50	46,6	1,55
April	32,96	0,58	32,1	2,73
Mai	32,88	0,50	39,8	3,95
Juni	32,69	0,31	62,2	5,13
Juli	32,56	0,18	66,2	5,64
August	32,45	0,07	60,2	4,83
September	32,40	0,02	40,8	3,77
Oktober	32,38	0,00	57,5	1,72
November	32,47	0,09	44,5	1,01
Dezember	32,50	0,12	46,2	0,59
Jahresmittel	32,64	0,28	47,6	2,71
Amplitude	0,58	0,58	33,1	5,05

Nach dieser Tabelle oder der graphischen Darstellung (Fig. 96) scheint nun jeder Zusammenhang zwischen Niederschlag und Grundwasser vollständig zu fehlen. Der höchste Grundwasserstand fällt in die Monate März-Mai, in jene Zeit, in welcher der Niederschlag sein Minimum erreicht, und der tiefste Grundwasserstand im Oktober fällt mit dem zweiten Niederschlagsmaximum zusammen; das Niederschlagsmaximum selbst, das ebenso wie in München in die Sommermonate Juni-August fällt, ist nicht imstande, das in diesen Monaten rapid erfolgende Absinken des Grundwassers zu verhindern. Vergleichen wir dagegen die Kurve des Grundwassers mit der des Sättigungsdefizits, abermals unter Beachtung des Umstandes, daß die Vorgänge der Verdunstung sich verspätet im Boden äußern müssen, so sehen wir eine außerordentliche Übereinstimmung. Mit einer gewissen Verschiebung stellt die Kurve des Grundwassers genau die umgekehrte Kurve des Sättigungsdefizits dar. Dem

¹⁾ Die betreffenden meteorologischen Angaben für die einzelnen Monate, aus denen dann die Mittel berechnet werden, sind den „Statistischen Jahrbüchern der Stadt Berlin“ und der „Preußischen Statistik“ entnommen.

²⁾ Es weicht diese Jahresperiode von der nach Mayer gegebenen in den absoluten Werten etwas ab, was sich aus der verschiedenartigen Berechnung und aus dem verschiedenen Beobachtungszeitraum erklärt. Doch sind die Abweichungen so gering daß die Jahresperiode in ihrem Charakter durchaus nicht verändert erscheint.

größten Sättigungsdefizit, das in die Monate Mai-August fällt, folgt mit zweimonatiger Verspätung das tiefste Absinken des Grundwassers in den Monaten Juli bis Dezember, und dem niedrigsten Sättigungsdefizit der Monate November-Februar folgt ebenfalls mit ein- bis zweimonatiger Verspätung der höchste Grundwasserstand der Monate Januar bis Mai.

Wie sehr gerade diese Wechselbeziehungen zwischen Niederschlag und Sättigungsdefizit je nach Vorwiegen des einen oder des anderen Faktors sich geltend machen, geht auch noch aus dem Vergleiche der einzelnen klimatischen Elemente von Berlin und München hervor (Fig. 97).

Der Niederschlag von Berlin ist bedeutend (um ca. 30 Prozent) geringer als der in München; er zeigt aber auch keinen so aus-

J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D. J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D.

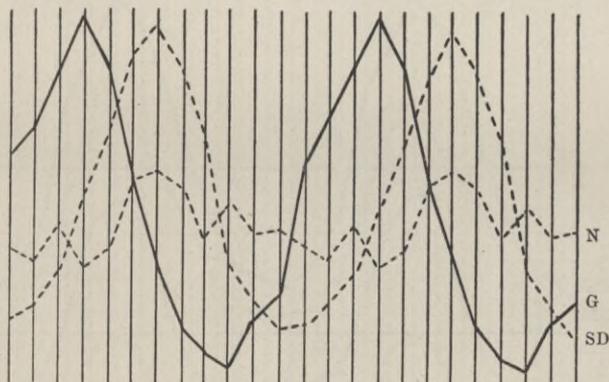


Fig. 96

Doppeljahresperiode des Grundwassers (G), des Niederschlages (N) und des Sättigungsdefizites (SD) in Berlin

gesprochenen Rhythmus; der Gegensatz zwischen Regenperiode und Trockenperiode und die Amplitude seiner Schwankung ist viel geringer als in München. Schon deshalb kann der Einfluß auf das Grundwasser sich nicht so scharf ausprägen, dagegen ist das Sättigungsdefizit in Berlin ein höheres als das in München. Die Luft in Berlin ist viel trockener als in München, sowohl im Durchschnitt als auch in den einzelnen Monaten. Das Sättigungsdefizit in Berlin erniedrigt sich auch im Winter nie so tief wie in München. Sein Minimum im Dezember beträgt noch 0,59, während das Minimum in München im Dezember nur 0,18 beträgt. Auch Lossen¹⁾ gelangt bei seinen Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse Berlins zu dem Resultate, daß das eingesickerte Wasser im Sommer und Herbst zum größten Teile der Verdunstung anheimfällt.

¹⁾ Der Boden der Stadt Berlin, 1879 in: Reinigung und Entwässerung Berlins.

Gerade aber wegen dieses Überwiegens des Sättigungsdefizites und wegen der Geringfügigkeit und der weniger typischen Verteilung des Niederschlages machen sich diese Extreme auch in den Grundwasserschwankungen viel stärker geltend, und die Folge ist, daß die Amplitude des Grundwassers eine viel höhere ist als in München: 0,580 m in Berlin und nur 0,268 m (also kaum halb so groß) in München; doch hat hierauf das Verhältnis zum Flusse jedenfalls einen großen Einfluß.

Zu dem durch Berlin vertretenen Typus der Grundwasserschwankungen, bei welchen der Hochstand im Frühjahr, der Tiefstand im Herbst eintritt, seien die Städte Frankfurt a. M., Brünn und Bremen als weitere Beispiele angeführt, für den durch München dargestellten

J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D. J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D.

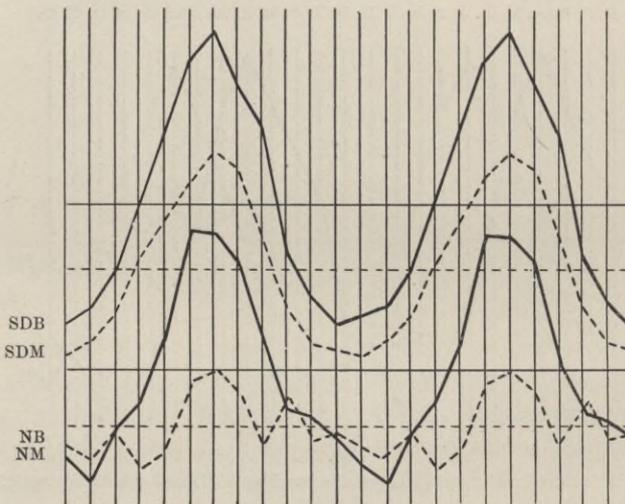


Fig. 97

Doppeljahresperiode des Sättigungsdefizites in Berlin (SDB) und München (SDM)
des Niederschlages zu Berlin (NB) und zu München (NM)

Typus dagegen Salzburg, Gera und Innsbruck. Die große Übereinstimmung der Grundwasserbewegung der oben benannten vier Orte des ersten Typus zeigt Fig. 98 unten; das Fehlen einer direkten Abhängigkeit dieser Kurven von den Niederschlägen lehrt in überzeugender Weise ein Vergleich der unteren mit den oberen Kurven.

Die Übereinstimmung in den meteorologischen Elementen dieser vier Städte ist eine fast überraschende (Fig. 98). Das Grundwasser zeigt überall seinen tiefsten Stand in den Monaten August bis November, den höchsten Stand in den Monaten Januar bis April, resp. Mai, ebenso aber zeigt die Niederschlagskurve den analogen Typus, wie die auf Fig. 97 graphisch dargestellte Niederschlagskurve Berlins. In den Monaten Juni-August ist das Maximum der Niederschläge, dem im

Monate Oktober (resp. November, Brünn¹⁾) ein zweites folgt. Das Minimum fällt sodann in die Monate Januar bis April (mit einer kleinen Depression). Auch die durchschnittliche Regenmenge, 547—654 mm,

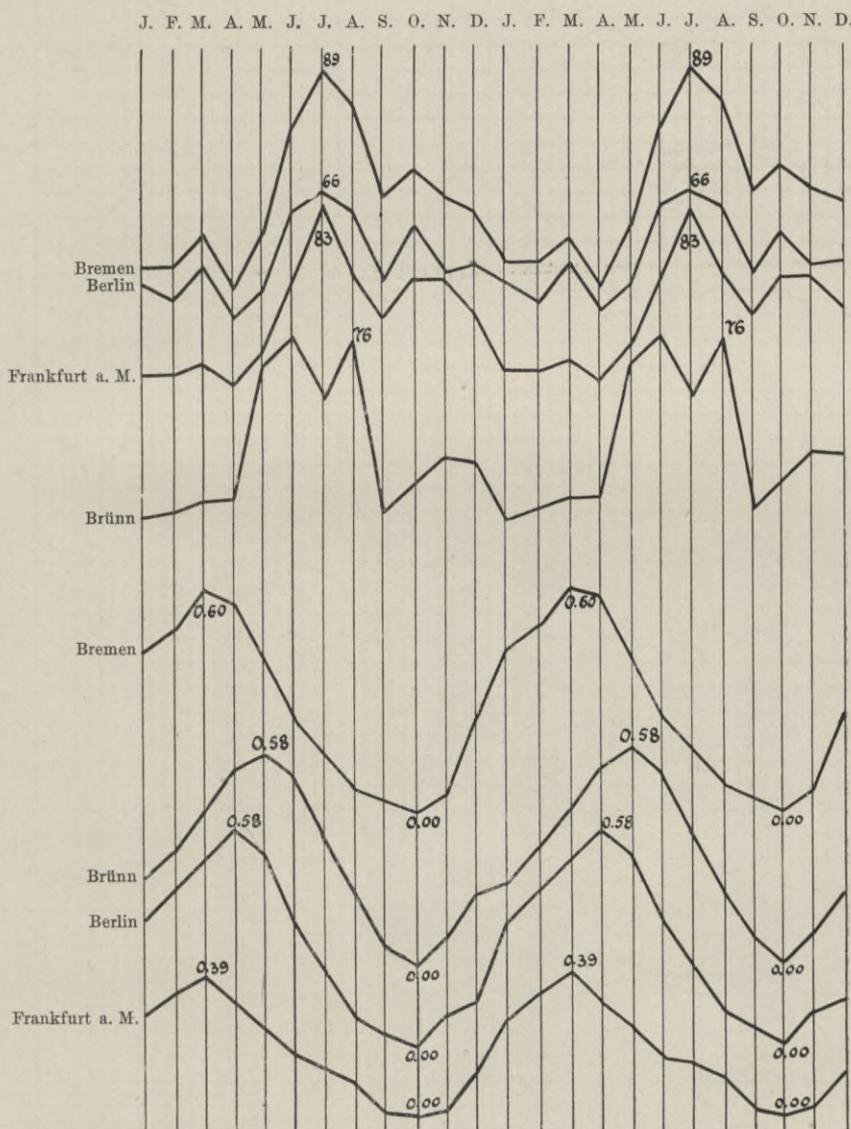


Fig. 98. Doppeljahresperiode des Niederschlages (oben) und der Grundwasserschwankungen (unten) in Frankfurt a. M., Berlin, Brünn und Bremen

sowie die Amplitude 34—60,1 mm ist in ziemlicher Übereinstimmung. Dasselbe gilt endlich auch vom Sättigungsdefizit; hier dürfen wir die

¹⁾ Liznar, Das Klima von Brünn. Verh. des naturw. Vereines, Brünn, XXIV.

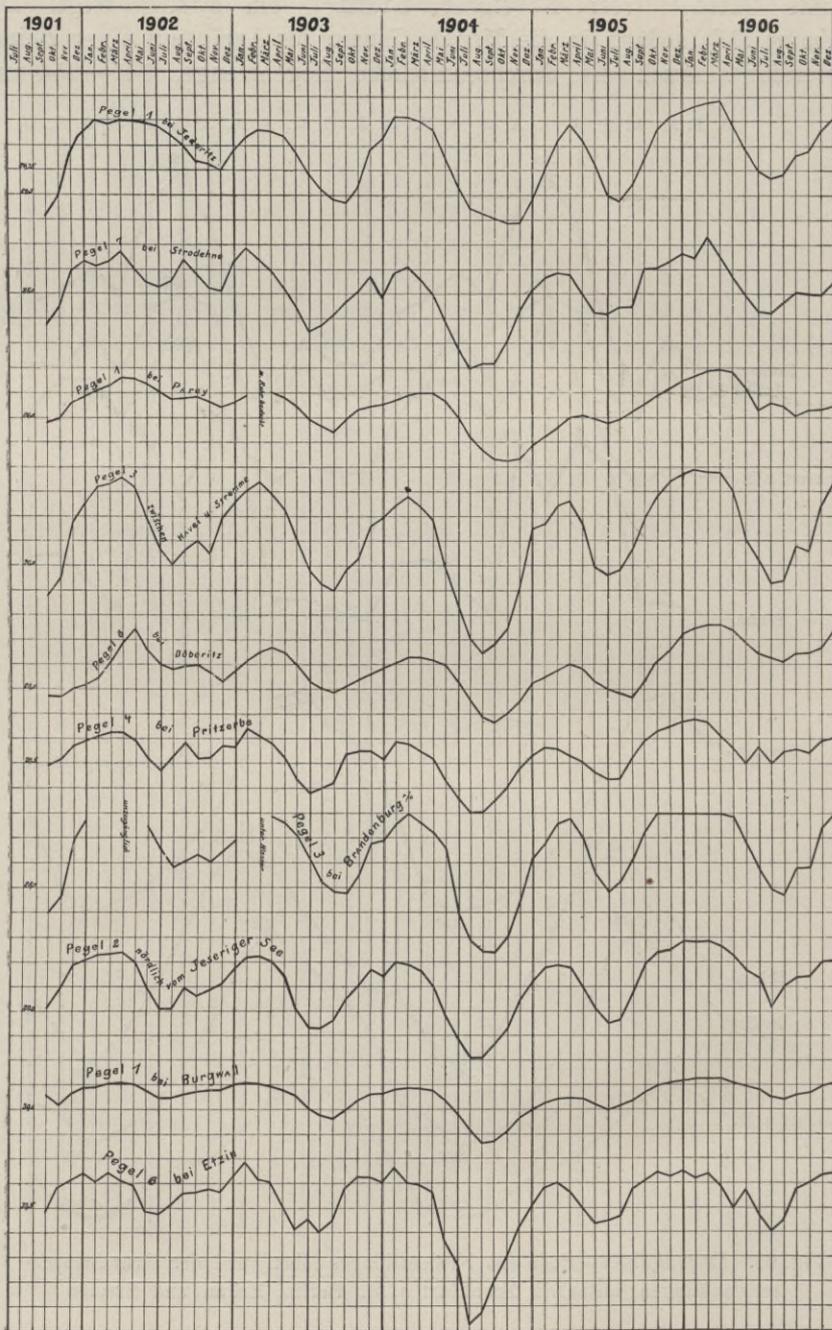


Fig. 99

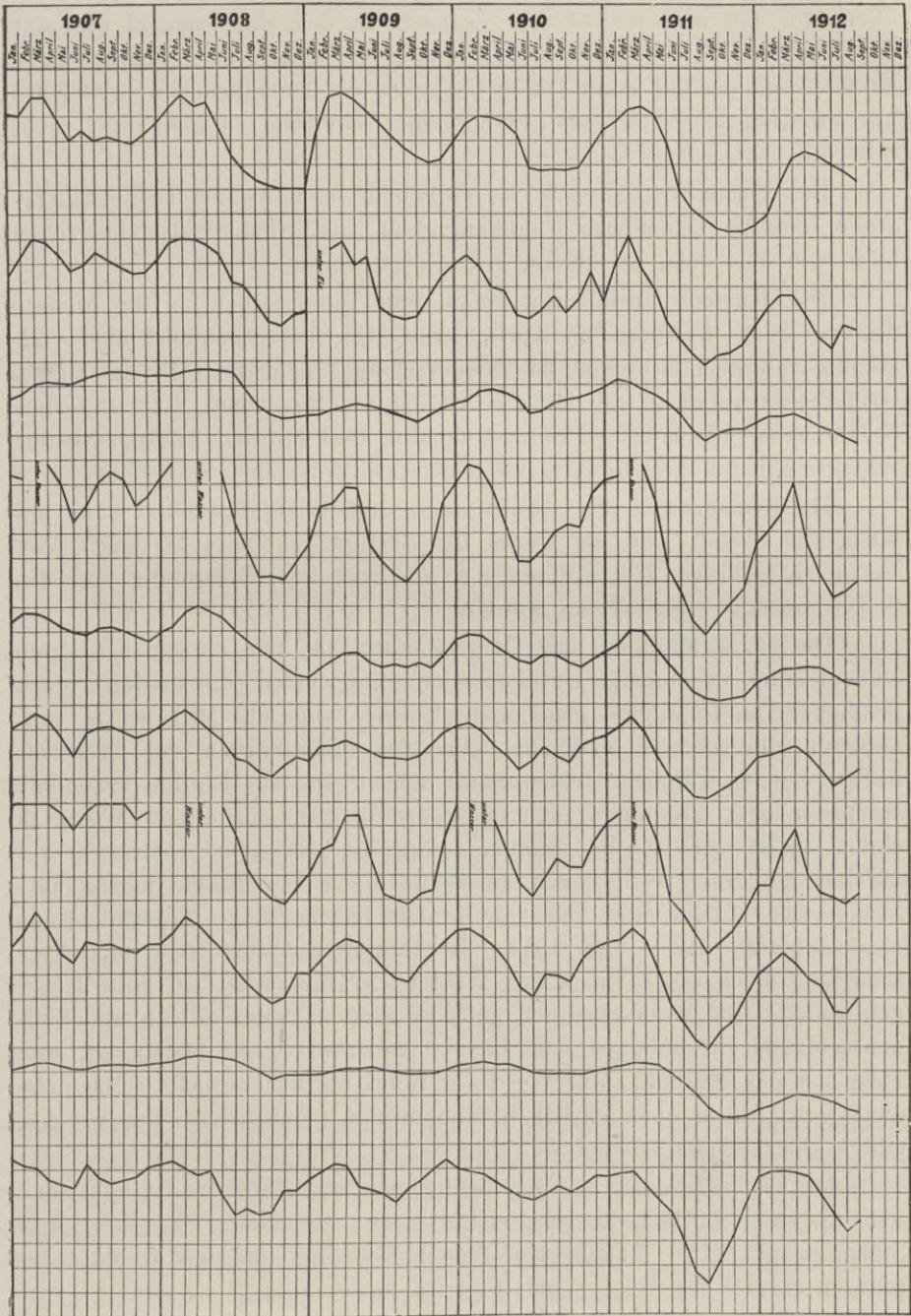


Fig. 99

Übereinstimmung weniger in dem Jahresrhythmus suchen, da dieser überhaupt ein gleicher ist, als vielmehr in dem Jahresmittel und der Amplitude. Die Jahresmittel schwanken in diesen drei Städten (von Bremen standen mir keine Daten bezüglich des Dunstdruckes zu Gebote) nur zwischen 2,5—2,8, resp. 3,6 und die Amplitude ist gleichfalls nicht sehr different, 4,7—5,9.

Bei diesem Verhalten ist es einleuchtend, daß beim Grundwasserstand dieselbe scheinbare Unabhängigkeit vom Niederschlag herrschen muß, wie dies oben bei Berlin geschildert wurde.

Der höchste Grundwasserstand fällt allenthalben in die Monate Januar, resp. Februar bis April, resp. Mai, korrespondiert also vollständig mit dem Minimum der Niederschläge; dagegen fällt der tiefste Grundwasserstand in die Monate August bis November, teils mit dem Niederschlagsmaximum der Sommermonate, teils mit dem zweiten Niederschlagsmaximum des Monats Oktober, resp. November zusammen.

Bei Beziehungen des Grundwassers zum Sättigungsdefizit kann mit Rücksicht darauf, daß die Kurve des Sättigungsdefizits in diesen vier Vergleichsobjekten fast vollkommen identisch ist, vollständig auf das S. 193 Gesagte hingewiesen werden.

Die Schwankungen des Grundwassers in den einzelnen Jahren sind ziemlich erheblichen Unterschieden unterworfen; die in den vorangehenden Darstellungen gegebenen Kurven sind als Mittelwerte aufzufassen, die von den wirklichen einzelnen Jahreskurven recht beträchtlich abweichen können. Insbesondere macht sich der Einfluß besonders trockener oder besonders feuchter Jahre in ganz auffälliger Weise in einem tiefen Sinken der Minima oder in kräftigem Ansteigen der Maxima geltend. Wir haben in Deutschland in diesem Jahrhundert zwei Jahre gehabt, die sich durch eine enorm lange Trockenperiode auszeichneten, 1904 und 1911. In letzterem Jahre kam als Verschärfung noch ein schneearmer Winter 1911/12 dazu. In ganz Norddeutschland und wahrscheinlich auch in großen Teilen Mittel- und Süddeutschlands fiel infolgedessen das Grundwasser ganz bedeutend, und zwar lag das Minimum um $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ m tiefer als das normale. Ich habe diese Verhältnisse übersichtlich in einer Studie¹⁾ dargestellt, aus welcher einiges hier wiedergegeben sei.

Die Doppelfigur 99 auf den beiden vorhergehenden Seiten gibt eine vom September 1901 bis September 1912 reichende Darstellung des Spiegelganges einer Anzahl von Pegelbohrlöchern aus dem Gebiete der unteren Havel, deren Lage aus Fig. 100 hervorgeht.

¹⁾ K. Keilhack, Grundwasserstudien, V. Der Einfluß des trockenen Sommers 1911 auf die Grundwasserbewegung in den Jahren 1911 und 1912. Zeitschr. f. prakt. Geol. XXI, 1913, S. 29—42.

Es bezeichnet	I	den Pegel 1	bei Jederitz
	II	" "	7 " Strodehne
	III	" "	1 " Parey
	IV	" "	3 zwischen Havel und Strunne
	V	" "	6 bei Döberitz
	VI	" "	4 " Pritzerbe
	VII	" "	3 " Brandenburg a. H.
	VIII	" "	2 nördlich vom Jeseriger See
	IX	" "	6 bei Etzin.

Diese sehr lehrreiche Zusammenstellung läßt folgendes erkennen:

1. Selbst in einem geologisch sehr einheitlichen Gebiete, unter nahezu völlig übereinstimmenden meteorologischen Bedingungen zeigt

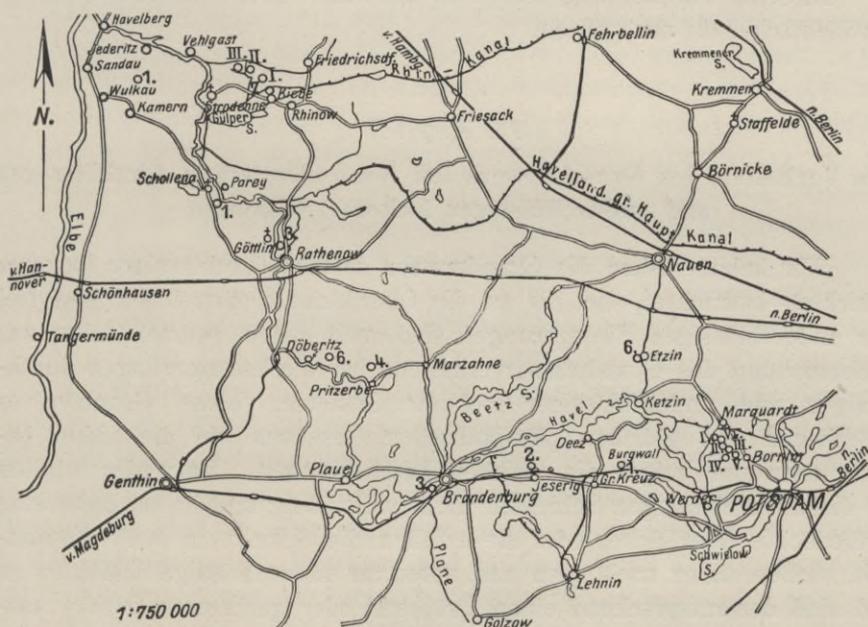


Fig. 100

Lage der Grundwasserpegel im Havellande

der Verlauf des Grundwassers an den einzelnen Beobachtungspunkten durchaus keine genaue Übereinstimmung im gleichen Beobachtungszeitraume. Weder die Maxima noch die Minima fallen zeitlich genau zusammen; die Unterschiede zwischen höchstem und niedrigstem Wasserstande weisen ebenfalls große Unterschiede auf.

2. Die einzelnen Pegelkurven gleichen sich in einer Reihe aufeinander folgender Beobachtungsjahre ebenfalls nicht genau, sondern zeigen nur eine gewisse Übereinstimmung im Typus. So zeigen die Pegel III und IX in fast allen Jahren sehr geringe Spannungen, d. h.

Unterschiede zwischen höchstem und niedrigstem Wasserstande, während I, IV u. a. in jedem Jahre kräftige Schwankungen zeigen.

3. Der Einfluß der beiden trockenen Jahre 1904 und 1911 macht sich bei sämtlichen Pegeln geltend in einem auffällig tiefen Minimum am Ende der genannten Jahre, welcher auf den ersten Blick in die Augen fällt. Während aber die Grundwassersenkung von 1904 im folgenden Jahre infolge eines für die Grundwasserspeisung sehr günstigen Winters 1904/05 vollständig beseitigt ist, zeigt sich die Senkung von 1911 auch im darauf folgenden Sommer noch in ausgesprochenster Weise, indem das Minimum ebenfalls noch um 0,2—0,4 m hinter dem der normalen Jahre zurückbleibt, was zweifellos auf den schneearmen Winter 1911/12 zurückzuführen ist.

Dieselbe Erscheinung ließ sich an zahlreichen anderen Punkten Norddeutschlands nachweisen.

31. Kapitel

Das Verhalten des Grundwassers bei Wechsellagerung durchlässiger und undurchlässiger lockerer Schichten

Wir haben bisher die Grundwasser solcher durchlässiger lockerer Schichten betrachtet, die bis an die Oberfläche emporreichen und frei von undurchlässigen Einlagerungen sind, und gehen nunmehr über zur Untersuchung des Grundwasserverhaltens bei Wechsellagerungen durchlässiger und undurchlässiger lockerer Gesteine. Diese Grundwasser unterliegen den gleichen physikalischen Gesetzen wie die bisher besprochenen und zeigen die gleichen Erscheinungen. Entweder erfüllen sie die undurchlässigen Schichten nicht vollständig und haben dann eine luftbedeckte Oberfläche, oder sie erfüllen die Schicht in ihrer Gesamtheit, stoßen daher nach oben und unten an undurchlässige Schichten an und sind dementsprechend einem größeren oder geringeren Drucke ausgesetzt, also in artesisches oder Druckwasser umgewandelt. Unterhalb der tiefsten von der Erosion erreichten Stelle, letztenfalls also unterhalb des Meeresspiegels, muß sich alles luftbedeckte, gewöhnliche Grundwasser in Ruhe befinden, da es tiefer gelegene Gebiete, denen es zufließen könnte, eben nicht mehr geben kann. Dagegen kann artesisches Wasser selbst unterhalb des Meeresspiegels, also in viel tiefer gelegenen Gebieten der Erdrinde, sich fließend bewegen, und zwar kann diese Bewegung entweder nach oben oder nach unten gerichtet sein, je nach der Lage der wasserführenden Schicht gegenüber dem Punkte oder der Linie, auf der das artesisches Wasser zutage tritt. Da nun in zahllosen Fällen das Grundwasser Schichten erfüllt, die über die tiefste natürliche Zapfstelle emporragen und anderseits tief unter sie hinabreichen, so ist

der Fall sehr häufig, daß in einem mit Grundwasser erfüllten Schichtensystem der untere Teil sich in Ruhe befindet, also einen Grundwassersee darstellt, während der obere Teil des Grundwassers in Bewegung ist und sich über das stehende Wasser hinwegbewegt. Dabei erfolgt der Übergang vom stehenden zum fließenden Grundwasser ganz allmählich.

Die Lagerungsverhältnisse durchlässiger und undurchlässiger Gesteine können, soweit sie für die Wasserführung von Bedeutung sind, folgende Fälle aufweisen:

1. Durchlässige und undurchlässige Schichten wechsellagern unter gleichzeitiger Verbreitung der einzelnen Schichten über große Flächen hinweg:

- a) die Schichten lagern ganz oder nahezu horizontal,
- b) die Schichten sind gegen die Horizontalebene erheblich geneigt.

2. Durchlässige und undurchlässige Schichten wechsellagern in der Weise, daß die einen in den anderen Einlagerungen bilden, die nur auf verhältnismäßig kurze Strecken aushalten und sich dann auskeilen. In diesem Falle ist es meist nicht von erheblicher Bedeutung, ob die Schichten horizontal liegen oder sich in geneigter Stellung befinden. Dagegen ist es von sehr erheblicher Bedeutung für die Wasserführung, ob

- a) durchlässige Bildungen Einlagerungen von undurchlässigen enthalten, oder ob
- b) undurchlässige Bildungen Einlagerungen von durchlässigen enthalten.

1. Wechsellagerung durchlässiger und undurchlässiger lockerer Gesteine, bei welcher die einzelnen Schichten beiderlei Art eine erhebliche horizontale Erstreckung besitzen, tritt uns besonders in Gebieten entgegen, die aus tertiären und quartären Gesteinen aufgebaut sind, in Deutschland also vor allen Dingen im ganzen norddeutschen Flachlande, in der oberrheinischen Tiefebene und in dem weiten Tertiärgebiete der bayrisch-schwäbischen Hochebene zwischen Juragebirge und Alpen.

In den breiten Alluvialtälern der großen Ströme wechsellagern undurchlässige Flußschlicke und Auelehme mit durchlässigen Flußsand; in den wesentlich aus eiszeitlichen Ablagerungen bestehenden Diluvialgebieten des nordeuropäischen Flachlandes herrschen sandig-kiesige Schichten vor, aber ihnen sind mächtige und oftmals weithin sich ausdehnende Bänke von undurchlässigen oder schwer durchlässigen Mergel-sanden, Tonmergeln und Geschiebemergeln eingelagert, während im Diluvium des Alpenvorlandes grobe Schotter und Kiese die durchlässigen, Grundmoränenbildungen die mehr oder weniger undurchlässigen Bildungen vertreten. In der Tertiärformation endlich begegnet uns eine außerordentlich mannigfaltige Wechsellagerung von durchlässigen Quarzsanden, Quarzkiesen, Quarzschottern und Grünsanden einerseits, mit undurchlässigen Tonen, Tonmergeln, Kohlenletten, Flaschentonen, Kaolinen,

Tegeln und ähnlichen Bildungen, teils im Meere, teils im Süßwasser entstanden, andererseits. Dazu kommen aber auch schon im süddeutschen und schweizerischen Tertiär feste Gesteine, Sandsteine, Quarzite, Konglomerate und Kalksteine, deren Verhalten gegenüber dem Wasser uns erst im 32. Kapitel beschäftigen wird.

Das Auftreten lockerer Gesteine ist aber nicht auf die bisher genannten jüngeren Formationen der Erde beschränkt, sondern begegnet uns gelegentlich auch noch in mesozoischen Schichten. Dahin gehören die in der Kreideformation weit verbreiteten lockeren Quarzsande, Glaukonitsande und Tone, und die besonders im norddeutschen Dogger und Lias z. T. sehr mächtigen losen Quarzsande. Dagegen sind in den nun nach unten folgenden triasischen und noch älteren Schichten zwar noch undurchlässige, nicht in festes Gestein umgewandelte Tone der verschiedensten Art weit verbreitet, aber durchlässige lockere Sande und Kiese begegnen uns hier in Schichten von nennenswerter Mächtigkeit und Ausdehnung nicht mehr.

Den lockeren Sanden und Kiesen in bezug auf das Verhalten gegenüber dem Wasser völlig gleich sind solche Sandsteine und Konglomerate, in denen die Kornbildung einem der S. 13 aufgeführten Typen 4, 5, 7 oder 9 entspricht.

Haben wir nun in einem solchen System durchlässiger und undurchlässiger Schichten den oben unter a genannten Fall der ganz oder nahezu horizontalen Lagerung der Schichten, so wird die oberste wasserführende Schicht in den meisten Fällen ein Grundwasser mit luftbedeckter Oberfläche, also gewöhnliches Grundwasser, enthalten; alle tieferen durchlässigen Schichten aber müssen infolge der Einschiebung undurchlässiger Bänke ein unter Druck stehendes, also artesisches Wasser enthalten, dessen Verhältnisse uns erst vom 34. Kapitel an beschäftigen werden. Nur wenn die oberste wasserführende Schicht von einer undurchlässigen Decke überlagert und in ihrer vollen Mächtigkeit mit Grundwasser erfüllt ist, verliert dieses seine Eigenschaft der luftbedeckten Oberfläche und dann führt das gesamte Schichtensystem ausschließlich artesisches Wasser.

Ist dagegen (Fall 1b) ein solches System durchgehender, abwechselnd durchlässiger und undurchlässiger Schichten mehr oder weniger geneigt, so wird das Grundwasser in jeder einzelnen wasserführenden Schicht in einer gewissen Strecke unter luftbedeckter Oberfläche sich befinden, also gewöhnliches Grundwasser darstellen, während es bei weiterem Sinken der Schicht nach oben hin an die im Hangenden folgende undurchlässige Schicht anstoßen und dadurch in Druckwasser sich umwandeln wird. Die beiden folgenden Figuren 101 und 102 veranschaulichen die einfachsten Arten dieser unter 1a und 1b dargestellten Beziehungen. In Fig. 101 führt die Schicht a gewöhnliches Grundwasser,

während das Wasser der Schichten b und c unter einem wenn auch noch so geringen Drucke steht, also artesisch ist. In Fig. 102 enthalten alle vier wasserführenden Schichten a—d in ihrem oberen Teile gewöhnliches Grundwasser, im unteren Teile dagegen, links von den punktierten senkrechten Linien, Druckwasser.

Für die größere oder geringere Wasserergiebigkeit solcher mit undurchlässigen wechsellagernder durchlässiger Schichten kommt deren Mächtigkeit, der Grad ihrer Durchlässigkeit, ihre räumliche Ausdehnung und der Umfang ihres Nährgebietes in Frage, Faktoren, die für jeden einzelnen Fall zu prüfen sind und eine allgemein gültige Regel aufzustellen nicht gestatten.

2a. Ein hydrographisch wichtiger Umstand ist es, daß jede geologische Schicht früher oder später endigt und durch eine andere ersetzt

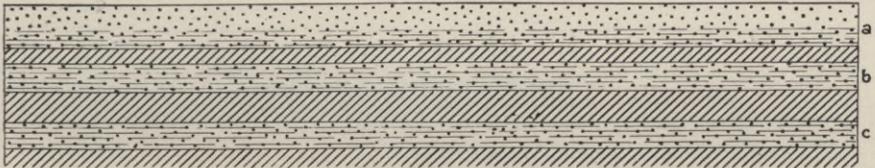


Fig. 101

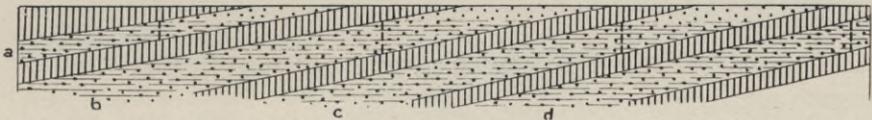


Fig. 102

wird, und daß dieses Endigen, welches als Auskeilen bezeichnet wird, oftmals rasch erfolgt und der betreffenden Schicht nur eine unbedeutende räumliche Entwicklung gestattet. Auf diese Weise entstehen linsenförmige Schichtenkörper, die nun in ähnlich beschaffenen, oft aber auch in ganz verschieden zusammengesetzten Gesteinen eingelagert sind. Als hydrographisch wichtig wollen wir die beiden Grenzfälle betrachten:

- a) Linsenförmige undurchlässige Schichten in durchlässige eingelagert,
- b) Linsenförmige durchlässige Schichten in undurchlässige eingelagert.

a) Der Einfluß der in den Figuren 103 bis 105 angedeuteten Lagerungsverhältnisse ist abhängig von dem Grundwasserstande:

1. dieser steht höher als die Einlagerung (Fig. 103),
2. er steht in einer Ebene mit der Einlagerung (Fig. 104),
3. er steht tiefer als die Einlagerung (Fig. 105).

a1. In diesem Falle umspült das Wasser die undurchlässige Linse und diese verhält sich gleichgültig, nur daß sie der unter ihr stehenden Wassermenge die Möglichkeit der Luftbedeckung entzieht und sie in Druckwasser umwandelt. Auf die Oberfläche dieses Grundwassers unter der Linse wird ein Druck ausgeübt gleich dem einer Wassersäule, deren Höhe gleich dem Höhenunterschiede zwischen dem allgemeinen Wasserspiegel und der Unterkante der undurchlässigen Schicht ist. In Bohrungen kann in solchen Fällen aus der Übereinstimmung des Wasserspiegels im Bohrloche vor Erreichung und nach Durchbohrung der undurchlässigen Schicht der Zusammenhang des unter und über ihr stehenden Wassers leicht erkannt werden. Solche Fälle sind häufig in den großen Kies- und Sandablagerungen des glazialen Diluviums und beispielsweise in zahlreichen Berliner Brunnenbohrungen beobachtet worden, wo gewöhnlich linsenförmige Geschiebemergelmassen die un-

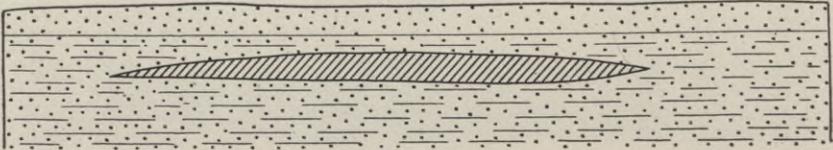


Fig. 103

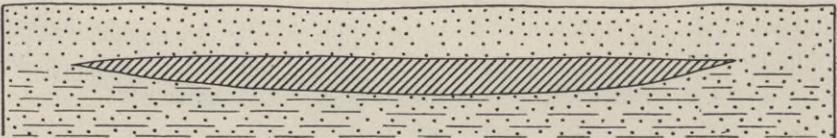


Fig. 104

durchlässige Einlagerung darstellen. Auch die Tone und Kohlenletten der Braunkohlenformation bilden sowohl im Miozän wie auch im Eozän vielfach keine sehr weit durchgehenden Horizonte, besonders wenn ihre Mächtigkeit nicht erheblich ist. Darum stehen auch häufig die Wasser über und unter einem Kohlenflöz auf Umwegen miteinander im Zusammenhange, selbst wenn sich im Hangenden oder Liegenden des Flözes noch Ablagerungen von Kohlenletten befinden.

a2. Liegt der Wasserspiegel ebenso hoch wie die undurchlässige Linse (Fig. 104), so wird ihn ein über letzterer angesetzter Brunnen erst nach Durchbohrung der undurchlässigen Schicht erreichen; er wird unter mäßigem Drucke stehen, dessen Betrag, und damit das Ansteigen des Wassers im Brunnen, abhängen wird von dem Höhenunterschiede zwischen der Oberfläche des Grundwassers im luftbedeckten Spiegelgebiete und der Unterkante der undurchlässigen Einlagerung.

a3. Steht der Wasserspiegel dagegen in einem durchlässigen Schichtensystem, in dem eine undurchlässige Linse eingelagert ist, tiefer als diese (Fig. 105), so kann die Linse unter Umständen Anlaß zu einem kleinen selbständigen, höheren Wasserhorizont werden, der je nach seiner Ausdehnung nur zeitweilig oder immer vorhanden ist. Nur dann, wenn die Ränder der undurchlässigen Einlagerung eine gewisse schüsselförmige Aufwölbung nach oben besitzen, muß auch bei geringem Umfange dieses Grundwasser dauernd vorhanden sein. Der Überschuß eines solchen höheren Grundwassers muß über die Ränder der undurchlässigen Linse abfließen und wie die Traufe von einem Dach zum tieferen Hauptwasserhorizont niedersinken. In Bohrungen zeigt sich ein solches Verhältnis daran, daß der Wasserspiegel der tieferen Schichten durch-

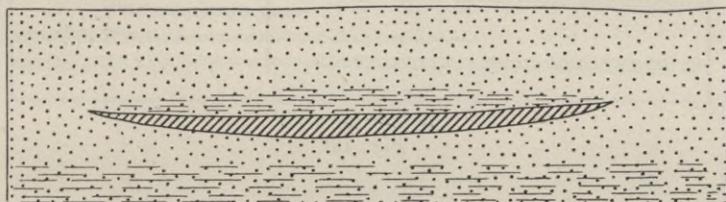


Fig. 105

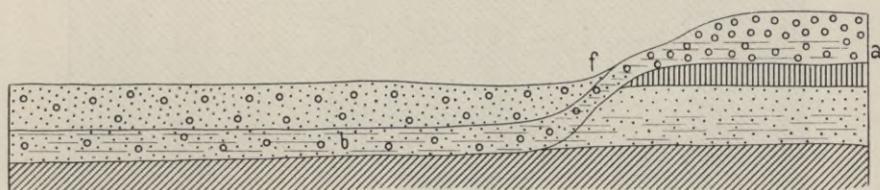


Fig. 106

aus nicht mit dem der höheren in einem Niveau steht, und die Stelle, an welcher ein solches senkrechtes Niederfallen eines höheren Grundwassers zu einem tieferen erfolgt, wird bisweilen von zwei unmittelbar nebeneinander stehenden Brunnen gekennzeichnet, von denen der eine einen erheblich höheren Wasserspiegel besitzt als der andere. Die Erscheinung, daß das Wasser über die Ränder eines Wasserträgers hinweg einem tieferen Grundwasserhorizonte zuströmt, kann im übrigen auch dadurch erzeugt werden, daß ein fortlaufend aus durchlässigen und undurchlässigen Schichten bestehendes System durch die Erosion abgeschnitten wird und daß dann das so entstandene Tal später wieder durch neue Sedimente aufgefüllt wird. Solche Fälle sind an der Grenze des Lausitzer Grenzwalles gegen das Lausitzer Urstromtal beobachtet worden und erläutern sich aus dem vorstehenden, aus einer Reihe von Bohrungen- und Brunnen-Beobachtungen abgeleiteten Profile (Fig. 106).

Von wie großer Bedeutung es sein kann, ob eine undurchlässige Schicht innerhalb wasserführender Sedimente sich rasch nach allen Seiten hin auskeilt oder weiterhin durchgeht, mag noch an dem folgenden Profile nach Fuller gezeigt werden (Fig. 107).

Ein bei a niedergebrachter Brunnen erhält sein Wasser aus einem nach oben durch eine undurchlässige Schicht abgedeckten Wasserträger und ist trotzdem gegen Infektionen von oben bzw. von der Seite her nicht völlig geschützt (rechts von a), da die undurchlässige Schicht sich bald auskeilt. Dagegen ist der Brunnen b, der sein Wasser unterhalb einer weithin durchgehenden undurchlässigen Schicht entnimmt, in dieser Hinsicht vollkommen gesichert.

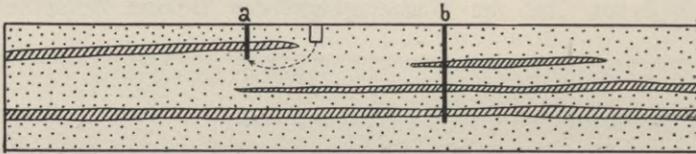


Fig. 107

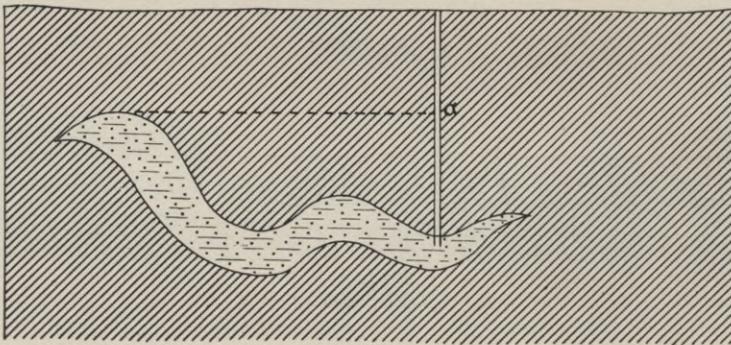


Fig. 108

2b. Liegen Linsen durchlässigen Gesteins in schwer durchlässigem oder undurchlässigem, so können sie immerhin Wasser führen. Dieses kann in ihnen von dem Augenblick ihrer Entstehung an vorhanden gewesen sein, oder es ist nachträglich sehr langsam und während großer Zeiträume, unter Umständen während vieler Jahrtausende infiltriert worden. In beiden Fällen ist die Möglichkeit eines schnellen Ersatzes so gut wie ausgeschlossen, und jede größere Entnahme aus einem solchen Vorrat zehrt vom Kapital. Ihre Aufschließung durch Bohrungen kann sogar den Anschein vorhandenen Druckwassers erwecken, wenn nämlich, wie in obenstehender Fig. 108 angedeutet, solche Schichten nicht horizontal liegen, sondern irgendwie aufgerichtet sind und an einer ihrer tieferen Stellen angezapft werden. Alsdann würde des Wasser im Bohr-

loche bis zum Punkte a in dem in Fig. 108 angenommenen Falle emporsteigen. Die wasserwirtschaftliche Bedeutung solcher Vorkommen hängt natürlich von ihrer Ausdehnung und Beanspruchung ab. Kleine, wasserhaltige Kieslinsen in undurchlässigen Schichten, z. B. im Geschiebemergel, können unter Umständen für einen Hausbrunnen vollständig ausreichen, während sie bei starker Inanspruchnahme durch Fabriken in kürzester Frist leer gepumpt werden können.

Ein gutes Beispiel solcher Vorkommnisse sind Einlagerungen von Sanden und Kiesen in den Grundmoränen und Tonen des Glazialdiluviums in Norddeutschland. Auf dem Gute Kl. Schwalg auf der Masurischen Seenplatte südlich Goldap wurde eine Bohrung in dem dort enorm mächtigen Geschiebemergel bis zu einer Tiefe von 65,5 m niedergebracht. Hier wurden 4 m Sand und Kies mit reichlich Wasser angetroffen. Die außerordentlich starke Entnahme aus dem Brunnen für Brennereizwecke bewirkte bereits nach wenigen Wochen ein rapides Sinken des Ertrages und ein darauf folgendes plötzliches völliges Ver-

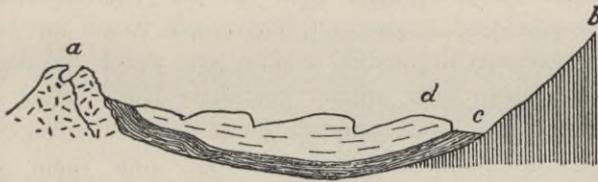


Fig. 109. Profil durch die Umgebung von Fürstenfeld (nach D. Stur).
a Trachyt, b kristallinisches Gebirge, c Sande, Sandstein und Kalke der sarmatischen Stufe,
d Tegel mit Sandeinlagerungen

siegen des Brunnens. Die Weiterführung der Bohrung ergab, daß unter den 4 m Kies abermals Geschiebemergel bis zu einer Tiefe von 117 m folgte. Auch beim Bau des Kaiser Wilhelm-Kanales sind verschiedentlich beim Durchstechen der Grundmoränenlandschaft derartige wasserführende Sand- und Kieseinlagerungen von oftmals geradezu bizarrer Umgrenzung in dem schwer durchlässigen mächtigen Geschiebemergel angetroffen worden.

Werden solche Einlagerungen mächtig und erreichen sie große Ausdehnung, so können sie naturgemäß auch für größere Entnahmen nutzbar gemacht werden, da alsdann trotz des äußerst langsamen Ersatzes ein Versiegen unter normalen Umständen ausgeschlossen ist. Im Tertiär finden sich ähnliche Verhältnisse bei Fürstenfeld in Steiermark, die von Stur¹⁾ beschrieben sind und die ich nach Haas' Quellenkunde wiedergebe.

In Fig. 109 sehen wir zunächst die allgemeinen geologischen Verhältnisse des hier in Frage kommenden Gebietes dargestellt, und zwar

¹⁾ D. Stur, Geologische Verhältnisse der wasserführenden Schichten des Untergrundes in der Umgegend der Stadt Fürstenfeld in Steiermark. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanstalt. 1883, XXXIII.

in einem Durchschnitte, der parallel mit dem Abfall der Alpen von Süden nach Norden gezogen ist. Dem kristallinen Gebirge aufgelagert finden wir eine vorherrschend aus Sand, Sandstein und Kalk zusammengesetzte Schichtenreihe, welche von einer, je nach der Örtlichkeit verschieden mächtigen Ablagerung von einem grauen Ton, Tegel genannt, überdacht wird, die an vielen Stellen gewiß über 100 m mächtig ist. Der Tegel bildet hauptsächlich das hügelige Terrain der Gegend und bedeckt die erstgenannte Schichtenreihe so vollständig, daß sie, außer durch Aufschlüsse in Steinbrüchen, wie bei Hartberg, nirgends zu sehen sein würde, hätte sie nicht die Trachytmasse des Gleichenbergs gehoben und daselbst ans Tageslicht gebracht, wodurch eine Art muldenförmiger Ausbildung dieser Ablagerungen hervorgerufen wurde, welche für die Wasserführung der ganzen Gegend von Bedeutung ist. Die Schichtenreihe *c* ist es, welche durch ihre lockere Beschaffenheit die über den Ostabfall der Alpen herabfließenden Niederschläge bei Hartberg beispielsweise und andern hierzu geeigneten Stellen aufsaugen und weiterleiten kann, so daß sich an der Grenze zwischen dieser Schichtenreihe und dem wasserundurchlässigen Tegel ein reiches unterirdisches Wasserreservoir ausbilden muß, das durch die Tegelmasse am Ausfließen lokal mehr oder minder gehindert wird. Aber über diesem Wasserhorizont liegen noch andere, denn auch die Tegelmasse führt Wasser, weil sie nämlich geschichtet ist und mehr oder minder horizontal verlaufende Lagen von tonigem Sand enthält. Diese Sandlagen oder „Sandleisten“ haben jedoch innerhalb der Mulde keine ausgedehnte Verbreitung, besitzen vielmehr nur eine beschränkte Ausdehnung, so daß die kleinsten nur 2—5 cm mächtig sind und sich nur über eine Fläche von wenigen Quadratmetern erstrecken, andere aber eine Dicke von 10—20 cm erreichen und eine Flächenausdehnung von mehreren 100 qm erlangen können. Auch sind oft mehrere derartige Sandleisten, so namentlich bei Brunnengrabungen, übereinander festgestellt worden, die bald in kürzeren, bald in längeren Abständen von 10, 20 m und mehr übereinander folgen. Diese Sandleisten sind nun ebenfalls wasserführend, wahrscheinlich in erster Linie infolge der Infiltration von oben her durch die feinen Risse im Tegel, aber die in ihnen enthaltenen Wassermassen sind je nach ihrer Dicke und Ausdehnung, und je nach der Gelegenheit, sich mit Wasser zu füllen, bald ganz unbedeutend, bald ganz beträchtlich. Nie jedoch vermag die Menge des in den Sandleisten enthaltenen Wassers so bedeutend zu werden, wie in der unteren Schichtenreihe *c*, weil sie, wie schon betont, stets nur eine mehr oder minder lokale Ausbreitung und Bedeutung besitzen. Fig. 110 zeigt uns den Durchschnitt durch den Untergrund der auf solchem von Sandleisten durchzogenen Tegel erbauten Stadt Fürstenfeld und eine Anzahl von Brunnen, welche im

Weichbilde der Stadt selbst, sowie in deren Umgebung niedergestoßen wurden, um das Wasser der Sandleisten zu gewinnen. Anfangs flossen sämtliche erbohrte Quellen sehr kräftig und zeigten bis 5 m Steighöhe, nach und nach jedoch verminderte sich die Menge des gespendeten Wassers, versiegt ist aber noch keine einzige. Einige von ihnen sind sogar andauernd von recht großer Ergiebigkeit.

Ein großartiges Beispiel einer mächtigen Linse wasserführenden Gesteines innerhalb undurchlässiger Bildungen bietet ein Vorkommen im Steinkohlengebiet des nördlichen Frankreich, der sogenannte Torrent d'Anzin¹⁾. In dem nordfranzösischen Kohlengebiete bei Anzin werden die Ablagerungen des produktiven Karbons überlagert von mächtigen, der Kreide und dem Tertiär angehörigen Schichtenkomplexen, den so-

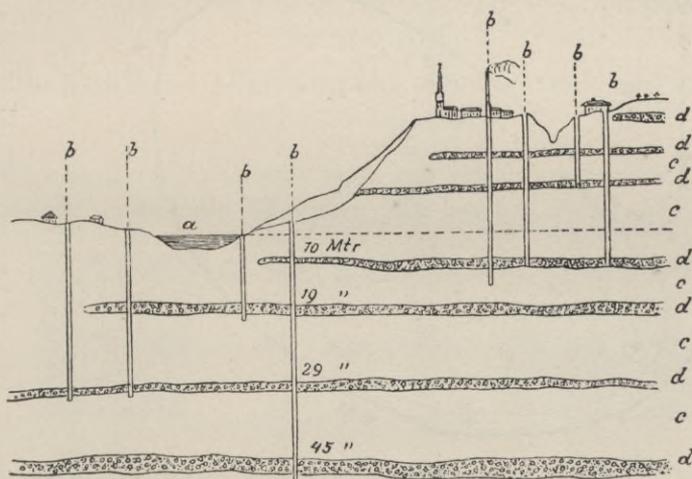


Fig. 110. Durchschnitt durch den Untergrund von Fürstenfeld in Steiermark (nach D. Stur).

a Feistritzfuß, b Brunnenschächte, c Tegel, d Sandeinlagerungen in c

genannten „Morts-terrains“. Zu unterst derselben finden wir eine im Durchschnitt 9 m mächtige sandige Bildung, deren Dicke aber auch nur 2—3 m, andernteils wiederum bis 14 m betragen kann. Es ist dieselbe ein Glied der Sande und Tone von Hautrage, wie ein französischer Geologe, Omalius d'Halloy, diese letzteren, in Flandern, im Hennegau und in den Ardennen entwickelten Sedimente der untersten Kreideformation genannt hat. Die in Frage kommende Abteilung dieser Schichten ist sehr wasserführend, und zwar beträgt nach verschiedenen Beobachtungen ihr Porenvolumen etwa 40%. Ihre horizontale Ausdehnung ist ziemlich bedeutend und umfaßt 26,5 qkm; sie bildet auf dem Kohlengebirge eine Art elliptischer Schale, deren größere Achse von SW. nach NO. streicht und etwa 7750 m Länge hat, während die

¹⁾ Nach Haas, Quellenkunde, S. 60—62.

kleinere Achse, welche nordsüdlich verläuft, 4375 m lang ist. Diese mit Wasser durchtränkte Schicht verursacht einen förmlichen unterirdischen See von größerer Ausdehnung, der von dem sehr ergiebigen Quellenhorizont in den darüber lagernden Sedimenten ganz und gar unabhängig ist, von diesem letzteren übrigens durch mächtige und sehr reine Tonbildungen der turonen Kreide, die sogenannten „dièves“ getrennt wird. Der Bergmann des französischen Nordens hat diese unterirdische Wasseransammlung den Torrent d'Anzin genannt, denn dadurch, daß dieselbe an verschiedenen Orten durchfahren werden mußte, um zur Kohle zu gelangen, und ferner durch den Umstand, daß die nicht allzu seltenen

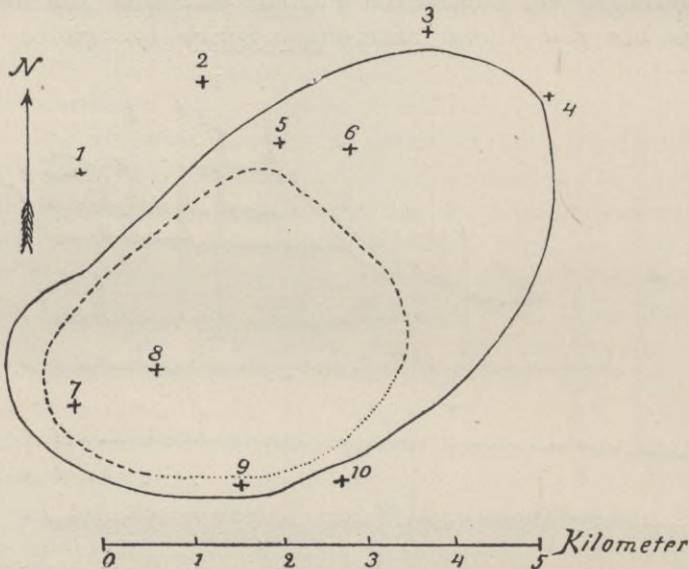


Fig. 111. Der Torrent d'Anzin nach Daubrée.

Die ausgezogene Linie zeigt den Umfang des Grundwasserbeckens 1840, die punktierte Linie den von 1880. 1 Havelny, 2 Bellain, 3 Aubry, 4 St. Vast, 5 Oisy, 6 H rin, 7 Denin, 8 Wavrechain, 9 Haulchin, 10 Prouvy

Einbrüche ihrer Wassermassen in die Kohlsch chte zuweilen unsägliches Elend verursacht und Tod und Verderben mit sich gebracht haben, ist sie ihm gut bekannt. In seinem Roman *Germinal* hat Zola eine solche Katastrophe meisterhaft geschildert.

Seit mehr als 60 Jahren ist man an der Arbeit, den Torrent d'Anzin auszupumpen, was aus dem Grunde anfnglich ist, weil er, wie ziemlich sicher festgestellt ist, nur sehr spärlichen Zuwachs an Wasser erhält, so daß das in der Sandschicht angesammelte Wasser den Infiltrationsbetrag von Jahrhunderten oder wahrscheinlich schon von Jahrtausenden darstellt. Gewaltige Maschinen sind im Laufe der vergangenen Jahrzehnte aufgestellt und einige Schächte zu dem Zweck abgeteuft worden, den Torrent d'Anzin trocken zu legen. Es ist dies

denn auch allmählich gelungen, weil die spärliche Wasserzufuhr mit den ausgepumpten Mengen nicht gleichen Schritt halten kann. Vor dem Beginne des Unternehmens bedeckte die wasserhaltige (nicht die gesamte) Sandfläche 24,374 qkm, im Jahre 1867 war sie schon auf 18,335 qkm reduziert, am 1. Dezember 1880 betrug sie nur noch 13,225 qkm. Dieses Verhältnis von früher zu jetzt geht deutlich aus Fig. 111 hervor. Um 1880 wurden im Jahre etwa 206000 cbm Wasser ausgepumpt. Das Maximum wurde im Jahre 1861 mit 1800000 cbm gefördert. Vom Jahre 1856 bis Ende des Jahres 1868, also innerhalb 13 Jahren, sind im ganzen 10229000 cbm Wasser aus dem Torrent d'Anzin gezogen worden.

32. Kapitel

Die künstliche Absenkung des Grundwassers und ihre Begleiterscheinungen

Wenn man einem Grundwasser mit luftbedeckter Oberfläche, das in durchlässigen lockeren Bildungen sich bewegt, durch Abpumpen aus

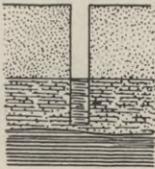


Fig. 112

Grundwasserspiegel im Zustande
der Ruhe

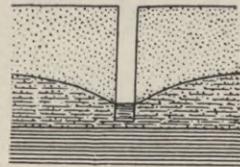


Fig. 113

Abgesenkter Grundwasserspiegel

einem Brunnen, Bohrloche oder Schachte eine größere Wassermenge entzieht, so sinkt sein Spiegel, und zwar um so beträchtlicher, je größer die Menge des ausgepumpten Wassers in einer Zeiteinheit ist. Wenn dem Brunnen fortdauernd eine sich gleichbleibende Wassermenge entzogen wird, so stellt sich in ihm nach einiger Zeit ein neuer fester Wasserspiegel ein (Fig. 112 u. 113); sein Abstand gegen den ursprünglichen wird als bleibende Absenkung bezeichnet. Sie ist bei gleichem Durchmesser der Brunnen und bei gleichen geförderten Wassermengen um so größer, je schwerer durchlässig, und um so geringer, je leichter durchlässig der Wasserträger ist. In sehr groben Schottern ist es bei mäßiger Wasserentnahme überhaupt nicht möglich, den Grundwasserspiegel um einen meßbaren Betrag zu senken. In einem sehr feinkörnigen Grundwasserträger dagegen erzeugen schon geringe dauernde Wasserentnahmen unter Umständen eine Absenkung von mehreren

Metern. Diese Absenkung des Grundwasserspiegels aber macht sich nun nicht nur an der Entnahmestelle selbst bemerkbar, sondern auch in ihrem weiten Umkreise. Ist ein dauernd abgepumpter Brunnen oder ein ebensolches Bohrloch umgeben von einer größeren Anzahl nicht beanspruchter Brunnen oder Bohrlöcher, so kann man in diesen die

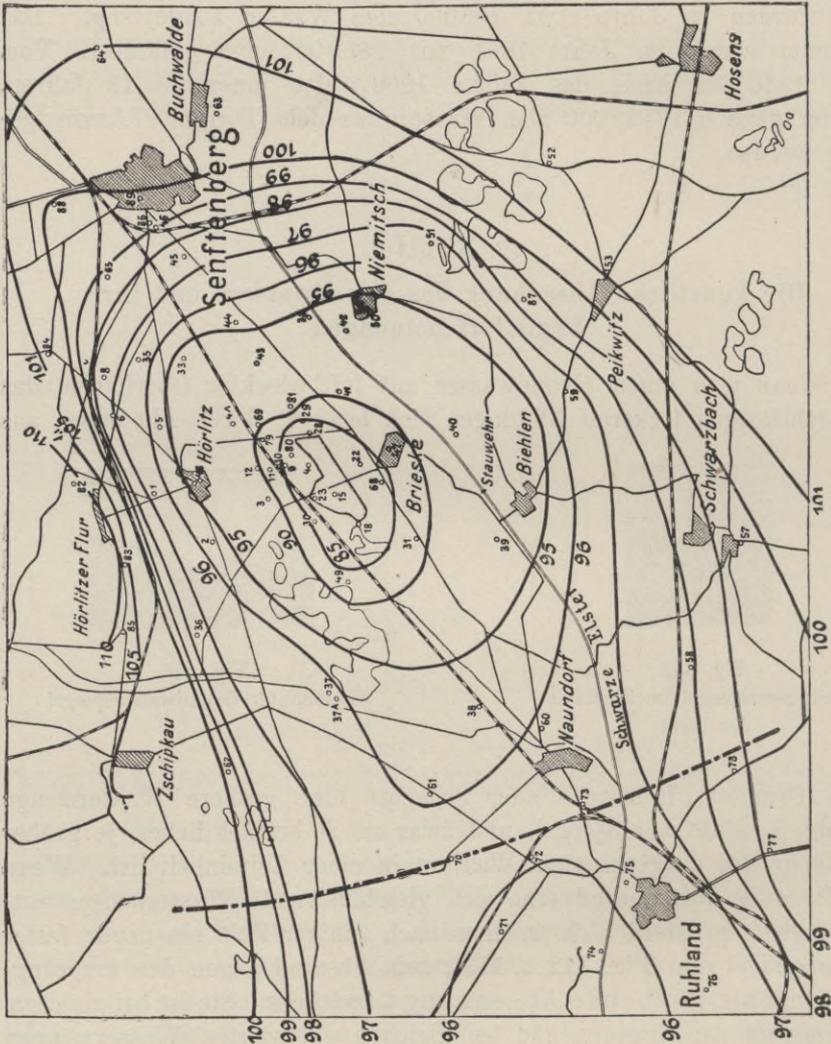


Fig. 114. Schichtlinienkarte eines Senkungstrichters im Lausitzer Urstromtale.

1 : 75 000

Wirkung und den Betrag der Absenkung durch gleichzeitige Messungen erkennen, und alsdann genau in derselben Weise wie bei unbeeinflussten Grundwasser eine Schichtlinienkarte des abgesenkten Grundwassers herstellen (Fig. 114). Wir erkennen dann, daß der Betrag der Absenkung in den als Pegelbohrlöcher oder Pegelbrunnen bezeichneten

kontrollierten Brunnen um so größer wird, je näher sie dem abgepumpten Brunnen liegen, und daß die Senkung allmählich nach außen hin unmerklich in den unveränderten Grundwasserspiegel übergeht. Die durch einen solchen künstlichen Eingriff in das Grundwasser erzeugte Vertiefung bezeichnet man als Senkungstrichter. Er besteht aus einem inneren steilen und einem äußeren flacheren Teile; dies weist von vornherein auf eine parabolische Gestalt der Senkungskurven hin, die sowohl durch die theoretische Berechnung, wie durch die Ergebnisse praktischer Untersuchungen bestätigt wird. Der senkrechte Querschnitt eines Senkungstrichters zeigt um so steilere Böschungen, je schwerer durchlässig der Wasserträger ist, und eine um so größere Verflachung, je leichter das Wasser ihm zufließen kann, je durchlässiger also das wasserführende Gestein ist. Der horizontale Querschnitt des Senkungstrichters ist bei kleinen Entnahmen immer annähernd kreisförmig, bei großen Entnahmen dagegen nur in Grundwasserseen. Im ersteren Falle spielt bei dem kleinen von ihm eingenommenen Raume die Neigung der

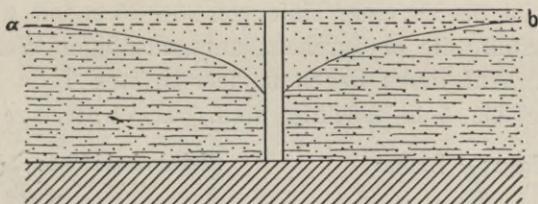


Fig. 115. Senkungstrichter bei ebenem Grundwasserspiegel

Grundwasseroberfläche keine Rolle mehr. Ist dagegen die Senkung eine größere, deren Einfluß über ein Gebiet von mehreren Quadratkilometern sich erstreckt, oder ist das Gefälle des Grundwassers sehr beträchtlich, so erhält der Senkungstrichter eine elliptische Form, und zwar liegt die Längsachse der Ellipse in der Fließrichtung des Grundwasserstromes. Bei völlig oder annähernd ebener Oberfläche des Grundwasserspiegels ist der Senkungstrichter vollkommen symmetrisch gebaut (Fig. 115), d. h. die ihn bezeichnenden und in ihm liegenden Schichtlinien ordnen sich mehr oder weniger konzentrisch um den Mittelpunkt und vereinigen sich zu geschlossenen Kurven wie Fig. 114 dies zeigt. Ist dagegen die Oberfläche des Grundwassers stark geneigt, so erhält der Senkungstrichter einen schiefen Querschnitt (Fig. 116). Den schiefen, unsymmetrischen Gesamtbau eines Senkungstrichters in schnell fließendem Grundwasser läßt Fig. 117 erkennen, die den Grundwasserspiegel bei Deisenhofen auf der oberbayrischen Hochebene südlich von München, und zwar links den Verlauf des unbeeinflussten Grundwassers und rechts den durch einen Probepumpversuch abgesenkten Grundwasserspiegel erkennen läßt.

Ein ganz hervorragendes Beispiel für das Studium der gesamten Absenkungs- und Bewegungsfragen des Grundwassers in einem sehr durchlässigen, sonst aber gänzlich unbeeinflussten Grundwasserträger bietet uns das südlichste der norddeutschen Urstromtäler in der Lausitz

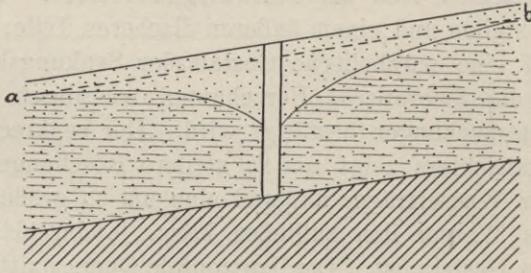


Fig. 116. Senkungstrichter bei geneigtem Grundwasserspiegel

bei Senftenberg. Dieses 10—15 km breite Urstromtal (vergl. das Profil Fig. 10 S. 25) ist bis zu einer Tiefe von 20—25 m mit glazialen Sanden und Kiesen erfüllt, die in durchaus unregelmäßiger Weise miteinander wechsellagern. Auf ihnen liegen in dem tiefsten Teile des Tales noch Torfmoore, die bis 5 m mächtig sind. Die Unterlage der diluvialen

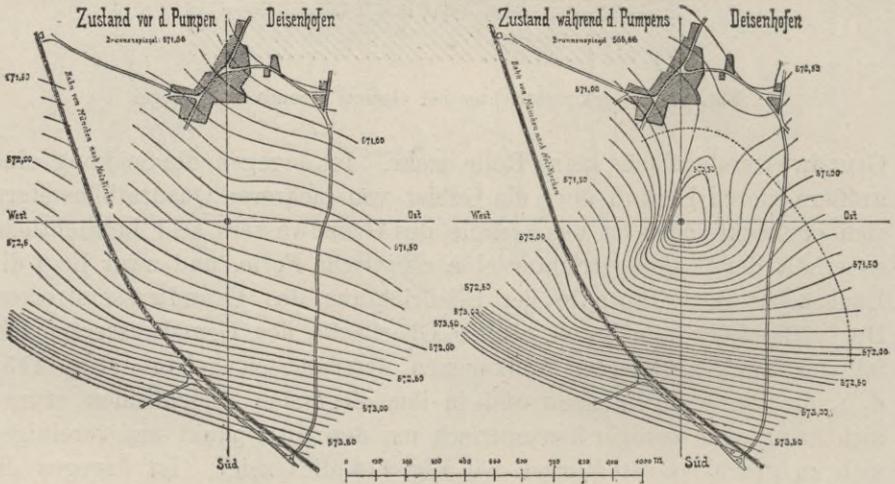


Fig. 117. Horizontalkurven des Grundwassers um den Deisenhofer Brunnen

Talsande und Kiese, der Aufschüttungen der glazialen Schmelzwasserströme, wird von einem 10—12 m mächtigen Braunkohlenflöz gebildet. Dieses Flöz wird stellenweise durch einen wenig mächtigen, undurchlässigen Kohlenletten vom Talsand getrennt; auch seine Unterlage besteht aus einem 1—1½ m mächtigen, ebenfalls nicht durchgehenden Kohlenletten. Alsdann folgen feine, glimmerreiche Tertiärsande. Da

auch die Braunkohle selbst sehr klüftig ist und das Wasser außerordentlich schnell leitet, so haben wir es hier bis zu einer Tiefe von 40 m mit durchlässigen Bildungen zu tun, in denen die beiden eingelagerten Lettenschichten wegen ihres mehrfach sich wiederholenden seitlichen Auskeilens keine wesentliche Rolle spielen. In diesem ursprünglich bis

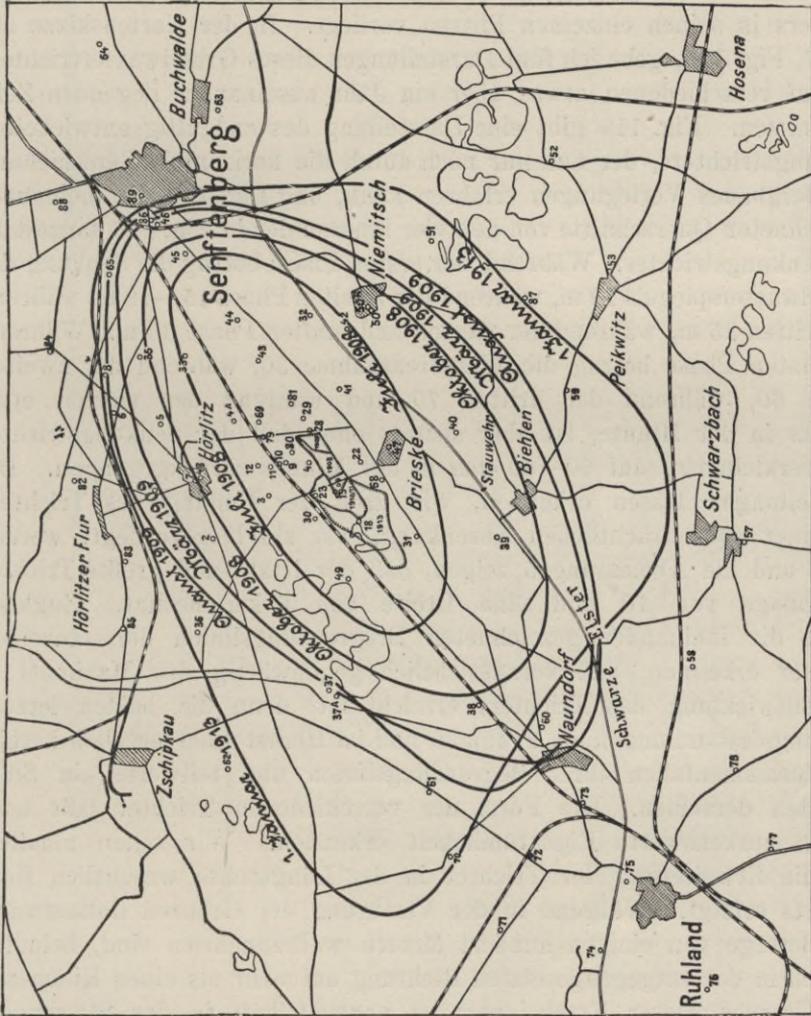


Fig. 118. Fünf aufeinander folgende Zustände eines großen Senkungstrichters im Lausitzer Urstromtale

zu 1—3 m Tiefe unter der Oberfläche mit Wasser erfüllten Gebirge ist im Jahre 1908 ein sehr ausgedehnter Braunkohlentagebau eröffnet worden, bei dessen Niederbringung selbstverständlich das in sämtlichen Schichten bis zur Sohle des Tagebaues, also bis zur Tiefe von 32 m vorhandene Wasser durch 10 elektrische Kreiselpumpen von je 10 cbm Minutenleistung ausgepumpt werden mußte. Wir haben es hier mit einer

Senkung des Grundwasserspiegels zu tun, deren Betrag schließlich mehr als 30 m ausmachte. Von der Grubenverwaltung ist in einem Umkreise um den Tagebau bis zu 10 km eine große Anzahl von Pegelbohrlöchern niedergebracht worden, in denen der Wasserspiegel von zehn zu zehn Tagen durch auf N. N. bezogene Messungen überwacht wird, so daß hier ein reiches Beobachtungsmaterial für die Entwicklung des Senkungstrichters in seinen einzelnen Phasen vorliegt. In der Kartenskizze auf S. 227, Fig. 118, gebe ich fünf Darstellungen dieses Grundwassertrichters zu fünf verschiedenen etwas über ein Jahr auseinander liegenden Zeitabschnitten. Fig. 119 gibt eine Darstellung des endgültig entwickelten Senkungstrichters, der nun nur noch durch die horizontale Verschiebung des Bergbaues Verlegungen erfahren kann, und Fig. 120 die ineinander gezeichneten Querschnitte von den vier inneren der in Fig. 118 dargestellten Senkungstrichter. Während der ersten Phase betrug die Senkung des Grundwasserspiegels 12 m, während der zweiten Phase 15—18 m, während der dritten 25 m, während der vierten und fünften Phase 30 m. Während der ersten Phase betrug die Wasserentnahme 30, während der zweiten Phase 60, während der dritten 70 und während der vierten etwa 75 cbm in der Minute, ist aber später, ohne daß der Senkungstrichter sich verkleinerte, auf 50—60 cbm in der Minute zurückgegangen. Die Darstellungen lassen erkennen, wie groß der Umfang des Trichters bei einer so beträchtlichen Absenkung, wie sie hier vorliegt, werden kann, und die Abmessungen zeigen, daß der letzte und größte Trichter eine Länge von 10 und eine Breite von 6 km besitzt. Zugleich lassen die ineinander gezeichneten Begrenzungslinien der einzelnen Trichter erkennen, daß voraussichtlich gegenwärtig das Maximum in der Entwicklung des Trichters erreicht ist, denn die beiden letzten Senkungsfeststellungen im Frühjahr und im Herbst 1909 ergeben bereits ein Zusammenfallen ihrer Begrenzungslinien und teilweise ein Sich-Scheiden derselben. Die Form der verschiedenen Trichter läßt noch eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit erkennen. Wir sehen nämlich, daß die Erweiterung der Trichter in der Längsachse wesentlich flußabwärts erfolgt. Während in der Verlegung der Grenzen flußaufwärts nur Beträge von einigen hundert Metern wahrzunehmen sind, belaufen sie sich in der entgegengesetzten Richtung auf mehr als einen Kilometer. Die Ursache dieser Erscheinung ist unzweifelhaft in der Strömungsrichtung des Grundwassers zu suchen. Dieses strömt von Osten her und infolgedessen findet auf dieser Seite ein dauernder Ersatz des dem Trichter zufließenden Wassers und nur eine geringere Vergrößerung desselben statt. Flußabwärts dagegen wandert eine bereits gesenkte Grundwasserwelle und infolgedessen kann hier erst auf viel größerer Strecke durch Zufluß von den Seiten her ein Ersatz für das durch Abpumpen entnommene Grundwasser und ein Wiederauffüllen des Grundwasser-

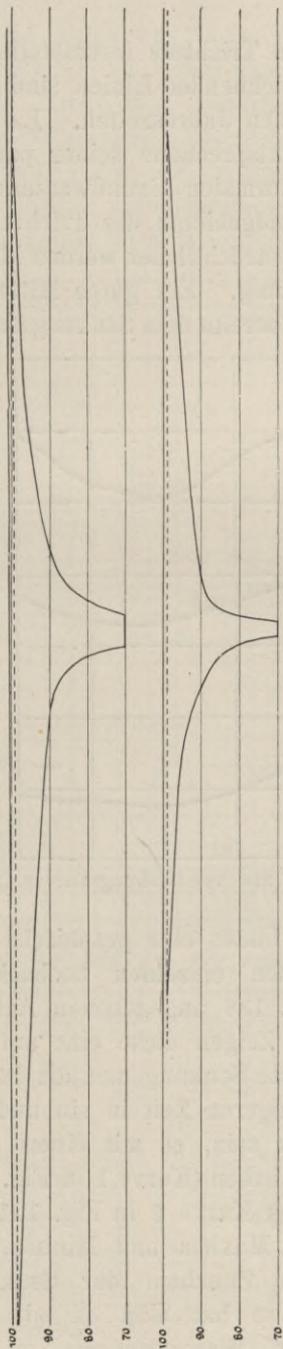


Fig. 119. Längs- und Querschnitt des Senkungstrichters vom August 1909 der Fig. 118

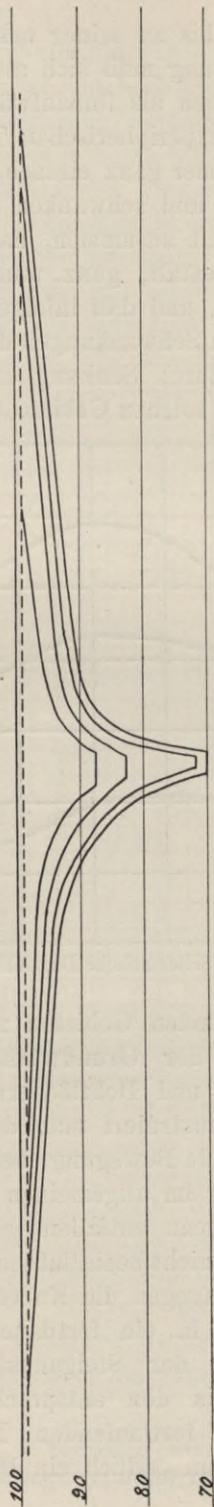


Fig. 120. Querschnitt der inneren vier Senkungstrichter der Fig. 118

stromes bis zu seiner ursprünglichen Höhe eintreten. Die Einwirkung der Senkung muß sich also in dieser Richtung sehr viel weiter bemerkbar machen als flußaufwärts.

Die peripherischen Teile eines solchen Trichters festzustellen, ist nicht immer ganz einfach, und die ihn bezeichnenden Linien sind etwas unsicher und schwanken in den verschiedenen Jahreszeiten. Es hängt dies damit zusammen, daß der Trichter, entsprechend seiner parabolischen Gestalt, ganz unmerklich in den normalen Grundwasserspiegel übergeht, und daß infolgedessen in den Randgebieten des Trichters die normalen Schwankungen des Grundwassers beträchtlicher werden können, als die durch Senkung erzeugte Niederziehung. Ein gutes Mittel, um in einem solchen Gebiete unbeeinflusste von bereits dem Senkungstrichter

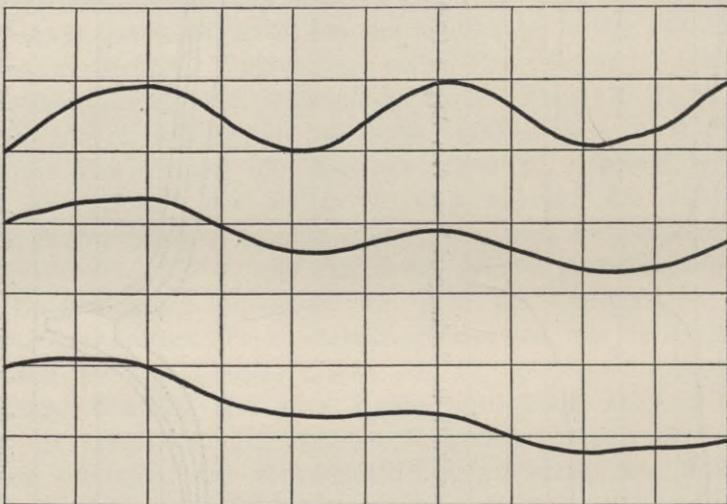


Fig. 121. Schematische Darstellung von normalen (1) und von Senkungskurven (2 u. 3)

zuzählenden Gebieten zu unterscheiden, bildet eine graphische Darstellung der Grundwasserbewegung in den einzelnen beobachteten Brunnen und Bohrlöchern. In der auf S. 138 angegebenen Art und Weise konstruiert man derartige Kurven. Zeigen diese eine auf- und absteigende Bewegung, bei welcher die tiefste Senkung und die höchste Erhebung im allgemeinen während einer längeren Zeit in ein und dasselbe Niveau entfallen, so darf man sicher sein, es mit einem durch Senkung nicht beeinflussten Gebiet zu tun zu haben (Kurve 1 in Fig. 121). Zeigen dagegen die Kurven das Bild, wie es Kurve 2 in Fig. 121 darstellt, d. h. ein fortdauerndes Sinken der Maxima und Minima, eine Abnahme der Steigungsbeträge und eine Zunahme der Senkungsbeträge in den entsprechenden Perioden, so hat man es mit einer mäßigen fortlaufenden Niederziehung des Wasserspiegels zu tun. Erhält man endlich ein Bild, wie es Kurve 3 in Fig. 121 zeigt, wobei

in den Schwellungsperioden nur mehr eine Verebnung der Kurve sich einstellt, im übrigen aber ein fortdauerndes Sinken zu beobachten ist, so ist die durch künstliche oder natürliche Absenkung herbeigeführte Niederziehung des Grundwasserspiegels als eine sehr beträchtliche anzusehen. Legt man derartige Beobachtungskurven so übereinander, daß die Zeitabszissen sich decken, so kann man ausgezeichnet erkennen, in welcher Weise die Wellenberge und -Täler des normalen Grundwassers (Kurve 1) in einem unter sonst gleichen Bedingungen stehenden Senkungsgebiet sich widerspiegeln. Die Sättel des normalen Grund-

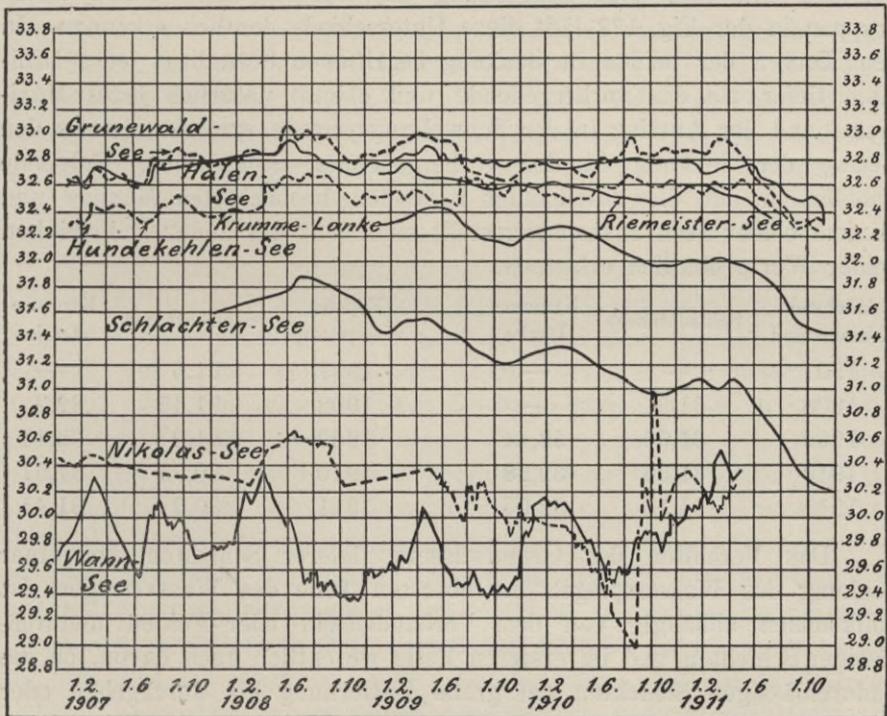


Fig. 122. Kurven des Spiegelganges der Seen im Grunewald bei Berlin

wassers bzw. die aufsteigenden Äste seiner Kurve erscheinen dann entweder stark verflacht oder nur noch als Verebnungen, d. h. als Perioden, in denen die gleichmäßige Senkung des Grundwasserspiegels durch eine Pause unterbrochen wird, während die Mulden des normalen Grundwassers, d. h. die absteigenden Äste der Kurve, durch fortdauernde Senkungsperioden im Niederzugsgebiet vertreten werden. Der Vergleich der drei Kurven unserer Fig. 121 zeigt diese Zusammenhänge in augenfälliger Weise.

Das gleiche Verfahren kann man auch anwenden, um zu erkennen, ob ein See, dessen Spiegel im durchlässigen Boden liegt und

mit dem Grundwasserspiegel zusammenhängt, sich im Zustande dauernder Senkung befindet oder nicht. Besonders wenn mehrjährige regelmäßige Pegelmessungen vorliegen, läßt sich die Frage mit großer Sicherheit beantworten. Ich habe bei Anwendung dieser Methode auf die Seen des Grunewaldes bei Berlin¹⁾ feststellen können, daß der nordöstliche Teil der Seen ein Kurvenbild des Spiegelganges zeigt, welches in seinem gleichmäßigen Auf- und Abstiege lediglich die jährlichen Schwankungen des Grundwassers widerspiegelt, während der Spiegelgang des Schlachtensees und der Krummen Lanke auf fortdauernde Senkung hinweist. Die Darstellung des Spiegelganges beider Seengruppen in der Fig. 122 läßt diese Unterschiede deutlich erkennen. In den Kurven der beiden in Senkung begriffenen Seen liegt jedes Minimum tiefer als das vorhergehende und ebenso natürlich jedes Maximum, und der Anstieg in der Schwellungsperiode erreicht niemals den Betrag der Senkung in der vorhergehenden Sinkperiode. Folgende Tabelle, in der die aufeinander folgenden beobachteten Maxima und Minima beider Seen zusammengestellt sind, läßt das andauernde Sinken beider Werte deutlich erkennen.

Höchster Wasserstand	Schlachtensee	Krumme Lanke	Tiefster Wasserstand	Schlachtensee	Krumme Lanke
1907	—	—	1907	31,6	—
1908	31,9	—	1908	31,45	32,3
1909	31,55	32,44	1909	31,2	32,14
1910	31,35	32,28	1910	30,95	31,97
1911	31,10	32,03	1911	30,2	31,45

Das Verhalten des Grundwassers tieferer Schichten bei einer Senkung des Wasserspiegels im obersten Teile des Wasserträgers ist vollkommen abhängig von dem Vorhandensein oder Fehlen undurchlässiger Schichten und im ersteren Falle wesentlich auch davon, ob die undurchlässigen Schichten auf große Entfernung hin durchgehen oder ob sie lückenhaft und unterbrochen sind. Eine Art der Einwirkung von Spiegelsenkung an der Oberfläche des Grundwassers auf das Grundwasser tieferer Schichten haben wir bereits bei der Erörterung der Beziehungen zwischen Süß- und Salzwasser in den Küstengebieten kennen gelernt. Eine andere Beziehung von großer Wichtigkeit spielt eine Rolle in bergbaulicher Beziehung und zwar bei der Ausbeutung von nutzbaren Lagerstätten im Tagebaubetriebe, bei dem behufs Trockenlegung der Lagerstätte eine sehr bedeutende Herabziehung des Grundwasserspiegels oftmals notwendig ist. Ist nun die Lagerstätte selbst undurchlässig oder wird sie von einer undurchlässigen Schicht unmittelbar unterlagert, unter der abermals wassererfüllte, durchlässige Schichten

¹⁾ Keilhack, Grundwasserstudien IV, Z. f. prakt. Geol. 1912, Heft 11.

folgen, so haben wir es in einem solchen Falle mit zwei getrennten Wasserträgern zu tun und können das ganze System als „Wasserstockwerk“ bezeichnen. Untersucht man vor Beginn des künstlichen Senkungsprozesses durch Pegelbohrlöcher den Wasserspiegel der oberen und das Druckniveau der unteren wasserführenden Schicht, und ergibt sich dabei ein erheblicher Unterschied, so darf man annehmen, daß der untere Wasserhorizont unter anderen hydrostatischen Bedingungen steht als der obere, und daß eine Senkung des Grundwassers keine Veränderung in den Druckverhältnissen des unteren Wasserhorizontes zur Folge haben wird. Steigt dagegen in einem bis in den unteren Horizont niedergebrachten Pegelbohrloche der Grundwasserspiegel bis genau zur Höhe des oberen Grundwasserspiegels auf, so sind zwei Fälle möglich: a) Entweder beruht die Übereinstimmung von Pegelhöhe des oberen und Druckhöhe des unteren Wassers auf dem Vorhandensein gleicher hydrostatischer Bedingungen oder b) sie ist nur zufällig und die hydrostatischen Gesetze beider Horizonte sind voneinander verschieden.

Damit steht in Zusammenhang die Frage, ob beim Abbau der Lagerstätte bis auf das Liegende das Wasser der darunter folgenden Schichten einen starken Druck ausüben wird und die Gefahr des Ersaufens der Anlage vorliegt oder nicht. Welcher von beiden Fällen vorliegt, wird sich am einfachsten ermitteln lassen, wenn man während der Absenkungsarbeiten im oberen Wasserspiegel den unteren fortwährend durch Pegelbohrlöcher kontrolliert. Folgt der Wasserspiegel des unteren Horizontes langsam dem Sinken des oberen, so ist anzunehmen, daß beide Grundwasserhorizonte miteinander in Verbindung stehen. Je ausgedehnter diese Verbindung ist, um so rascher wird der Druck im unteren Horizont, entsprechend der Senkung des oberen, zurückgehen. Je weniger umfangreich diese Verbindung ist oder je größer der Umweg ist, auf dem der Ausgleich sich vollziehen kann, mit um so beträchtlicherer Verlangsamung wird das Druckniveau des unteren Horizontes dem sinkenden Spiegel des oberen folgen. Und besteht endlich gar keine Verbindung zwischen beiden Horizonten, so wird das Druckniveau des unteren Horizontes seine ursprüngliche Höhe beibehalten, mag auch der obere Horizont noch so stark künstlich gesenkt werden.

Zwei ausgedehnte Braunkohlenreviere im südlichen Teile Norddeutschlands bilden Typen für beide Erscheinungen. Im Unterflöz der Niederlausitz sinkt das Druckniveau der liegenden Wasser mit der Absenkung der hangenden, und im Meuselwitzer Braunkohlenrevier bleibt der Wasserdruck im Liegenden vollkommen gleichmäßig, auch wenn das Wasser im Hangenden bis zur unteren Grenzfläche der Kohle gesenkt wird. Im ersten Falle sind Wassereinbrüche aus dem Liegenden ausgeschlossen, im letzteren sehr zu fürchten.

Eine andere Frage, die mit der künstlichen Absenkung von Grundwasserspiegeln in Beziehung steht, ist die nach dem Verhalten von oberirdischen Gewässern, also von Flüssen, Bächen, Kanälen, Gräben und Seen, innerhalb eines Senkungsgebietes.

Ich habe bereits im 29. Kapitel bei Besprechung des Zusammenhanges zwischen Grundwasser und oberirdisch fließendem Wasser auf solche Fälle hingewiesen und bemerke hier noch, daß die praktische Lösung der Frage, ob aus dem Flusse voraussichtlich Wasser einem benachbarten Bergbaugebiete, in dem der Grundwasserspiegel sehr stark gesenkt wird, zufließen kann und wird, sich ausschließlich auf dem Wege des Versuches lösen läßt. Man verfährt zu diesem Zwecke folgendermaßen: In der Nachbarschaft des Flusses, d. h. in einem Abstände von 50—100 m von diesem, werden ein oder mehrere Brunenschächte so tief niedergebracht, daß der Grundwasserspiegel 10—12 m höher liegt als die Sohle des Brunenschachtes. Sodann werden auf zwei im Brunnen rechtwinkelig sich schneidenden Linien, deren eine den Fluß überquert, in Abständen von 25, 50, 100 und 200 m vom Brunnen je vier Pegelbohrlöcher niedergebracht; hierauf wird durch starkes Pumpen in dem oder den Brunnen der Wasserspiegel um den Betrag von 8—10 m gesenkt und diese Niederziehung des Spiegels durch einige Wochen fortgesetzt. Während dieses Versuches, für welchen am zweckmäßigsten der kälteste Wintermonat oder der heißeste Sommermonat verwendet werden, überwacht man durch täglich zweimalige Messungen den vorher einnivellierten Wasserspiegel in den Entnahmebrunnen und in sämtlichen Pegelbohrlöchern, sowie die Wassertemperatur in beiden sowie im offenen Flusse. Die Temperaturprüfung muß mit Thermometern erfolgen, die Ablesungen von $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ ermöglichen und künstlich träge gemacht sind (z. B. durch Einwickeln der Kugel in Wachs) oder mit Minimumthermometern mit einer zwischen 0 und 20° liegenden Skala. Die Beobachtungen in den Pegelbohrlöchern gestatten eine genaue Konstruktion des Senkungstrichters; wobei dessen Verlauf unter dem Flusse und jenseits desselben einen wertvollen Anhalt für die Beurteilung der natürlichen Undurchlässigkeit des Flußbettes gewähren kann.

Die Temperaturbeobachtung gestattet gleiche Schlüsse, denn da das Grundwasser eine gleichmäßige Temperatur hat, die weit höher ist als die des winterlichen und weit niedriger als die des sommerlichen Flußwassers, so wird man aus dem Sichgleichbleiben der Wärme des gepumpten Grundwassers auf das Fehlen von zuwanderndem Flußwasser, dagegen aus einer sich steigernden Abnahme der Grundwasserwärme im Winter, bezw. einer Zunahme im Sommer, auf den Eintritt von Flußwasser schließen dürfen. Temperaturbeobachtungen ermöglichen sogar eine Berechnung der relativen Menge des zusetzenden Flußwassers.

Bezeichnet Q das geförderte Wasser mit der Temperatur t
 Q_1 das darin enthaltene Flußwasser „ „ „ „ t_1
 Q_2 „ „ „ „ Grundwasser „ „ „ „ t_2
 so ist:

$$Q = Q_1 + Q_2 \text{ und } t \times Q = t_1 \times Q_1 + t_2 \times Q_2$$

Hieraus ergibt sich:

$$Q_1 = \frac{Q(t - t_2)}{t_1 - t_2}; \quad Q_2 = Q \cdot \frac{(t_1 - t)}{t_1 - t_2}$$

Setzen wir, um die gesuchten Werte sogleich in Prozenten zu erhalten, die geförderte Grundwassermenge gleich 100 mit einer Temperatur von 6° , und besitzt das Flußwasser eine Temperatur von 2° , das unbeeinflusste Grundwasser eine solche von 9° , so ist nach obiger Formel der Grundwasseranteil

$$Q_1 = \frac{100(6 - 9)}{2 - 9} = \frac{300}{7} = 42,8\%$$

und der Grundwasseranteil

$$Q_2 = \frac{100(2 - 6)}{2 - 9} = \frac{400}{7} = 57,2\%$$

Schließlich kann man in solchem Falle zur Erhöhung der Sicherheit auch noch einen Färbungsversuch ausführen, indem man in den Fluß etwas oberhalb der Pumpstelle eine größere Menge Uraninlösung hineinbringt und alsdann in der weiter unten eingehender beschriebenen Weise das Wiederauftreten des Farbstoffes in dem Pumpwasser zu erkennen versucht (vgl. Kapitel 65).

Ausführliche theoretische Erörterungen über die Gesetze der Spiegel-senkung bei künstlichen Entnahmen finden sich bei Lueger, Die Wasserversorgung der Städte, S. 417 ff. und bei Kyrieleis, Über Grundwasserabsenkung bei Fundierungsarbeiten, Berlin, Julius Springer 1911.

4. Das Grundwasser in festen, an sich undurchlässigen und nur im großen durchlässigen Gesteinen

33. Kapitel

Das Grundwasser im gewöhnlichen festen Gebirge

Wenn auch ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Bewegung des Grundwassers im festen, zerklüfteten und dadurch im großen durchlässigen Gestein und derjenigen im lockeren, im kleinen durchlässigen Gestein nicht besteht, so ergeben sich doch praktisch recht erhebliche

Abweichungen durch die außerordentliche Verschiedenheit in Form und Größe der mit Wasser erfüllten Hohlräume. Während im lockeren Trümmergestein die wasserführenden Hohlräume ein engmaschiges Netzwerk bilden, rücken im festen Gestein die wassererfüllten Klüfte bald weit auseinander, bald liegen sie dichtgedrängt, bald sind sie von haardünnere Feinheit, bald weite, offene Klüfte. Dazu kommt als ein weiterer Unterschied, daß mehr oder weniger horizontale Verbindungen der einzelnen Klüfte entweder fehlen oder stark zurücktreten, so daß diese Spaltenwasser in Hohlräumen aufgespeichert sind, die man ganz allgemein als Begrenzung prismatischer oder zylindrischer Gesteinskörper auffassen kann. In den zur Spaltenbildung geeigneten Gesteinen, also vor allem in Eruptivgesteinen und von Sedimenten in Kalksteinen, Dolomiten, kristallinen Schiefen und Sandsteinen, stehen die Klüfte im allgemeinen senkrecht zur Schichtung. Läuft diese ungestört horizontal, so bilden die Klüfte ein Netzwerk senkrechter Spalten, liegen die Schichten geneigt, so stehen die Klüfte schief und stehen die Spalten auf Kopf, so verlaufen die Klüfte horizontal. Das alles gilt natürlich nur für den Fall, daß die Zerklüftung der Gesteine schon eingetreten war, bevor das Gestein disloziert wurde, so daß die ursprünglich senkrechten Spalten erst durch die später erfolgte Faltung, Aufrichtung oder Störung in ihre heutige geneigte Lage gebracht sind. Sind die Klüfte und Spalten dagegen erst während und nach der Faltung und Dislokation der Gesteine entstanden, so verlaufen sie vorwiegend senkrecht.

In Eruptivgesteinen fallen natürlich diese Unterschiede fort, hier ist die Ausbildung der Diaklasen abhängig von den verschiedensten Faktoren und wechselt mit den verschiedensten Gesteinen nach Anordnung, Richtung und Ausmaß (säulenförmig in vielen Basalten, plattig in vielen Phonolithen, bankig in den einen, unregelmäßig klotzig in den anderen Graniten).

Die Wasserführung der an sich undurchlässigen geschichteten Gesteine ist auf die sie durchsetzenden Schichtfugen und auf die in ihnen auftretenden Klüfte, Spalten und Risse beschränkt, und zwar ist die letztere Gruppe von Trennungsflächen für die Wasserbewegung weitaus bedeutungsvoller. Wie bei den lockeren, durchlässigen Gesteinen, müssen wir auch bei den festen Gesteinen wieder unterscheiden, ob ein Gestein in sehr erheblicher Mächtigkeit durch Zerklüftung wasseraufnahmefähig ist oder ob es durch Einlagerungen gänzlich undurchlässiger, also spaltenfreier Gesteine unterbrochen wird oder mehrfach mit solchen wechselagert. Es ist ferner zu unterscheiden, ob eine derartige wasserführende Gesteinsfolge ihre undurchlässige Unterlage über dem tiefsten Taleinschnitte des Gebirges besitzt, oder ob die untere Grenze der zerklüfteten Schicht erst tief unter dem tiefsten Erosionsniveau folgt. Im letzteren

Falle kann die Wasserführung der klüftigen Gesteine bis zur undurchlässigen Schicht hinabreichen, selbst wenn diese erst hunderte von Metern unter dem tiefsten Taleinschnitte liegt.

Unbedingt voraussetzen darf man aber eine Wasserführung in solchen tief unter der Erosionsbasis liegenden Schichten nicht, und die Erfahrung hat in den verschiedensten Fällen gezeigt, daß eine als sicher angenommene Wasserführung sonst in dieser Hinsicht vollkommen zuverlässiger Gesteine bzw. Horizonte überraschenderweise fehlte und daß das Gestein sich als vollkommen wasserfrei erwies.

Dieser Erscheinung können verschiedene Ursachen zugrunde liegen: Entweder wird durch die auflagernden Gesteinsmassen auf die tieferen Schichten ein derartig starker Druck ausgeübt, daß die Diaklasen des Gesteins nur latent vorhanden und hermetisch verschlossen sind, so daß für eine Wasserführung gar kein Platz übrig bleibt; häufig dürfte wohl der Fall vorliegen, daß offene und damit wasserführende Klüfte ursprünglich auch in diesen tieferen Teilen der betreffenden Gesteine vorhanden waren, daß aber diese Klüftigkeit später wieder dem Gestein verloren gegangen ist. Dies kann auf doppelte Weise erfolgt sein:

a) Durch chemische Ausscheidungen können mineralische Neubildungen erfolgt sein, die die vorhandenen Klüfte vollständig ausgekleidet und verheilt haben, was am häufigsten durch Quarz, Kalkspat, Aragonit oder Erze erfolgt.

b) Die Ausfüllung der Klüfte ist auf mechanischem Wege eingetreten, indem die vom Wasser mitgeführten tonigen Trübungen, die entweder vom Wasser von der Oberfläche mit herbeigebracht sind, oder der chemischen Auflösung des Nebengesteins entstammen, sich in den tieferen Teilen des wasserführenden Gebirges abgelagert haben, so daß die Klüfte mit tonigen Massen vollständig ausgefüllt sind. Derartige Lettenklüfte sind eine ungemein häufige Erscheinung und in den verschiedensten Gesteinen, Eruptivgesteinen, kristallinen Schiefen und Kalksteinen beobachtet. Die Ablagerung dieser die Klüfte verstopfenden, tonigen Teile unterbleibt da, wo das Gesteinswasser sich in Bewegung befindet, das heißt also oberhalb der durch die tiefsten Zapfstellen hindurchlaufenden Ebene, und wie wir später sehen werden, auch noch in einer gewissen Zone (der passiven Zone) unterhalb dieser Ebene. Erst unterhalb der passiven, noch in Bewegung befindlichen Zone stagnieren die Wasser vollkommen (neutrale Zone), und erst hier kann dann die allmähliche Ausfüllung der Spalten erfolgen.

Spätere Veränderungen wasserführender Klüfte können aber auch entgegengesetzter Natur sein, das heißt, es kann eine nachträgliche Erweiterung eintreten. Meist erfolgt sie durch chemische Lösung (Korrosion), selten mechanisch durch unterirdische Erosion. Besonders in Kalksteinen und Dolomitgebirgen ist die Erweiterung der Spalten eine

häufige Erscheinung, die wir im nächsten Kapitel bei der Besprechung der Wasserverhältnisse verkarsteter Gebirge noch näher betrachten werden.

Für die Entstehung von Klüften und Spalten im undurchlässigen Gestein und damit für ihre Wasserführung ist die geologische Vergangenheit des betreffenden Gebietes ein Umstand von großer Bedeutung. Wenn weit ausgedehnte Tafeln sedimentärer Gesteine große Gebiete in völlig ungestörter Lagerung überkleiden, so ist die Zerklüftung gewöhnlich auf die der Erdoberfläche näheren Teile beschränkt und nimmt mit zunehmendem Abstände von dieser rasch ab. Ist das Gebiet aber Gegenstand starker tektonischer Bewegungen gewesen, sind die Gesteinsmassen aufgerichtet, gefaltet, verworfen oder überschoben,

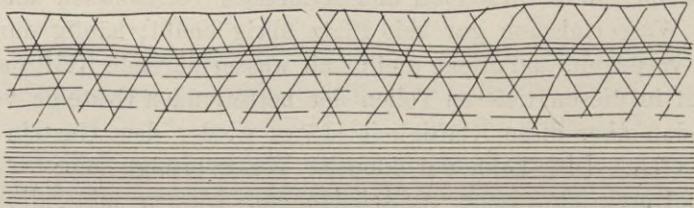


Fig. 123

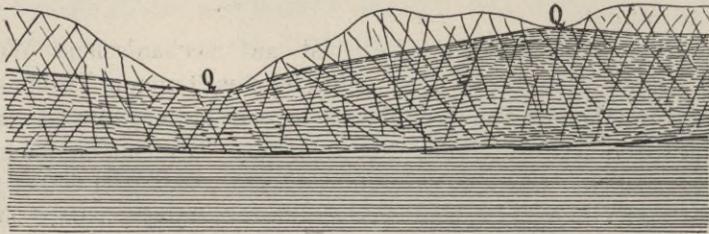


Fig. 124

so kann man auf eine starke Zertrümmerung der Gesteine, auf reichliche Bildung von Klüften und Spalten, auf ein beträchtliches Hinabgehen dieser Erscheinungen unter die Erdoberfläche und damit auf eine stärkere Wasserführung an sich dazu geeigneter Gesteine auch in größerer Tiefe rechnen.

Für die von Dawkins ausgesprochene Meinung, daß die Sättel eines Faltengebietes spaltenreicher seien, als die Mulden, habe ich Bestätigungen aus eigener Anschauung bisher nicht gewonnen, vielmehr beide Lagerungsformen gleichmäßig durch Klüfte ausgezeichnet gefunden.

Die Abstände der einzelnen Diaklasen voneinander können außerordentlich verschieden sein: Manche Gesteine sind von einem so engmaschigen Netze von wasserführenden Rissen und Klüften durchsetzt, daß jeder Brunnen in bestimmter Tiefe auf Wasser trifft (Fig. 123) und

daß das Grundwasser in jedem Taleinschnitt zutage tritt (bei Q in Fig. 124). Die beiden Figuren 123 und 124 stellen die Grundwasserverhältnisse in den großen Kreidehochflächen der Champagne nach Daubrée dar. In anderen Gebieten wieder sind die vielleicht auch sehr zahlreich vorhandenen Klüfte nur als Haarrisse entwickelt, die nicht klaffen und deshalb auch für Wasserführung ungeeignet sind, während die stärkeren als Wasserträger in Frage kommenden Klüfte nur in größeren Abständen voneinander auftreten. Setzen die stärkeren Spalten in diesem Falle schief durch das Gestein hindurch, so hat eine Wasserbohrung bessere Aussichten, das Wasser anzutreffen, als wenn die Spalten senkrecht stehen. In dem zweiten Falle kann es leicht kommen, daß eine Bohrung in einem ringsum von wasserführenden Spalten umgebenen prismatischen Gesteinskörper niedergebracht wird und von oben bis unten in völlig trockenem Gestein steht. (Vergl. dazu das Kapitel über Sprengungen in Bohrlöchern.) In solchen Fällen können auch unmittelbar benachbarte Bohrungen ganz verschiedene Resultate liefern. So berichtet van Ysendick, daß bei Lea Bridge Station in England ein Schacht von 200 Fuß Tiefe und eine Anzahl von seiner Sohle aus nach allen Richtungen vorgetriebener Strecken kein Wasser antrafen, während eine in demselben Schachte in 150 Fuß Tiefe aufgefahrene Strecke eine wasserführende Kluft antraf, die täglich 13000 Kubikmeter Wasser zu schütten vermochte. Whitaker berichtet aus Suffolk, daß drei nahe benachbarte Brunnen das Wasser in 202, 380 und 580 Fuß, also in ganz beträchtlich verschiedenen Tiefen antrafen. Meist wird man in solchen Fällen beobachten, daß das in so verschiedener Tiefe erbohrte Wasser bis zu einer ziemlich gleichmäßigen, dem allgemeinen Grundwasserspiegel des Gebietes entsprechenden Höhe in dem Bohrloche emporsteigt, woraus dann auf eine mehr oder weniger vollkommene Verbindung der einzelnen Spalten zu schließen ist.

In manchen Fällen aber steigen solche erbohrten Kluftwasser nicht oder nicht weit genug empor. Die Ursache dafür kann in einer Verstopfung der Spalten durch Tonpfropfen liegen, die aus der Auflösung kristalliner Gesteine oder toniger Kalksteine oder Dolomite als Rückstandsbildungen herrühren und an geeigneter Stelle der Spalten, beispielsweise bisweilen mit Knicken verbundenen Einengungen ihres Querschnittes, abgelagert sind, die Verbindung der unter ihnen stehenden Spaltenwasser mit den darüberstehenden völlig verhindern und einen hydrostatischen Auftrieb des Wassers unmöglich machen.

Die Bewegungsgeschwindigkeit des Grundwassers in im großen durchlässigen Gestein ist außerordentlich viel größer als die im lockeren Trümmergestein. Es hängt dies naturgemäß mit der verminderten Reibung in ersterem zusammen; während man die Bewegung des Wassers in einem lockeren Wasserträger, also zum Beispiel in einem

Sande, mit der des Wassers in einem Sandfilter vergleichen kann, entspricht diejenige im klüftigen Gestein viel eher der Bewegung in einem Röhrennetz. Das drückt sich auch in den für die Geschwindigkeit der Grundwasserbewegung ermittelten Zahlen aus, die in sehr feinkörnigen Wasserträgern mit starker Reibung auf weniger als 1 m am Tage, ja selbst auf einige cm herabgehen kann, während bei dem im klüftigen Gestein sich bewegenden Wasser Geschwindigkeiten bis zu mehreren km am Tage beobachtet sind.

Schon unter normalen Verhältnissen, d. h. in einem von sehr zahlreichen Klüften und Spalten durchschwärmten Wasserträger, beobachtet man Abweichungen der Höhenlage des Wasserspiegels in den einzelnen Brunnen, die sich nicht durch die Fließbewegung des Grundwassers und die daraus resultierende Neigung zur Oberfläche nach einer bestimmten Richtung hin erklären. Solche abnormen Höhenunterschiede treten besonders stark bei kräftigen Niederschlägen in die Erscheinung. Man kann dann beobachten, daß Niederschläge von 2 cm Höhe den Wasserspiegel einzelner Brunnen um mehrere dm zu verändern vermögen. Diese Erscheinung hängt damit zusammen, daß in engen Spalten die Reibung größer ist als in weiten, daß bei einer Verengung einer solchen breiten, zur Fortführung größerer Wassermengen sonst wohl geeigneten Spalte ein Stau und dadurch eine Aufstauung des rückwärts, also stromaufwärts gelegenen Spaltenwassers eintreten muß; und daß der Aufhöhungsbetrag eines solchen Staus umso größer werden muß, je weniger Spalten zur Fortführung des zugeführten, in den Boden versinkenden atmosphärischen Wassers zur Verfügung stehen. Eine in dieser Beziehung immer weiter fortschreitende Differenzierung in den Spiegelhöhen benachbarter Grundwasser führt uns schließlich zur vollständigen Verneinung eines zusammenhängenden Grundwassers und zu Verhältnissen, wie wir sie im nächsten Kapitel in den Karstländern kennen lernen werden.

Wenn ein Fluß parallel dem Hauptdiaklasensystem eines geschichteten Gesteins verläuft, so kann man vielfach die Beobachtung machen, daß die bedeutendsten und wasserreichsten Diaklasen das Tal begleiten, das heißt, unter dem Talboden oder unmittelbar neben ihm in den Randgebieten des Tales ihren Verlauf nehmen. Besonders gilt dies für Kalksteingebirge, weil hier die Erweiterung der Spalten durch chemische Auflösung eine hervorragende Rolle spielt und weil naturgemäß im Gebiet der Flußtäler eine derartige Auflösung am frühesten einzusetzen vermag.

In Eruptivgesteinen ist die Verteilung der Spalten eine wesentlich andere, als in den Sedimenten. Wenn wir absehen von der minder wichtigen, auf säulenförmiger oder plattiger Absonderung beruhenden Zerklüftung, dann können wir feststellen, daß bei den meisten Eruptiv-

gesteinen, vor allen Dingen bei Tiefengesteinen, die Auflösung des Gesteins in einzelne Blöcke durch Spalten erfolgt, die in Abständen von mehreren bis zu vielen Metern einander folgen, und daß diese Spalten entweder senkrecht stehen oder unter verschieden steilem Winkel in die Tiefe niedersetzen. Diese Spalten haben meist nur einen geringen Durchmesser, klaffen oftmals — besonders in der Tiefe — nur wenig und liefern dementsprechend meist nur unbedeutende Wassermassen, die zwar für einzelne Siedelungen vollständig ausreichen können, aber für industrielle Zwecke meist gänzlich unzulänglich sind.

Bei der großen Unregelmäßigkeit der Spaltenverteilung im Gestein ist der Erfolg von Wasserbohrungen meist geradezu Glückssache. F. G. Clapp¹⁾ zeigt in Fig. 125, wie in einem Granitgebiete (im Staate Maine) unter Umständen ein Brunnen bis zur Tiefe von einigen hundert Fuß, ohne einen Tropfen Wasser zu finden, niedergebracht werden kann (B, D, S), während ein benachbarter Brunnen mehrere Spalten antreffen und von ihnen gespeist werden kann. In solchem Falle kann der Wasserertrag eines Brunnens eine starke Steigerung erfahren, andererseits aber ist es dann auch möglich, daß eine tiefere, wasserleere Spalte angebohrt wird, die das Wasser höherer Spalten abzuzapfen vermag. Infolge aller dieser Unregelmäßigkeiten kann es leicht kommen, daß von zwei nur 15 m voneinander entfernten Brunnen der eine einen vollkommenen Erfolg, der andere einen vollkommenen Mißerfolg darstellt. Clapp hat auch den Versuch gemacht, Zahlenwerte für beide Gruppen von Bohrungen zu erlangen, und vermöchte folgende Tabelle aufzustellen:

Ertrag (Gallonen in der Minute)	Zahl der Brunnen mit Tiefen von					Zahl der Brunnen
	50—100 Fuß	100—200 Fuß	200—300 Fuß	300—400 Fuß	über 400 Fuß	
1—5	7	5	2	2	—	16
6—10	5	1	—	—	—	6
11—50	6	7	5	—	—	18
über 50	1	1	1	—	—	3
Erfolgreich, Ertrag unbekannt	19	6	3	—	1	29
Zu wenig Wasser . .	2	2	3	—	1	8
Wasser unbrauchbar .	—	—	—	1	—	2
Zahl der Brunnen	40	22	15	3	2	82
Erfolgreich in Proz.	95	91	73	67	50	87

Danach waren 87% der im Granitgebiete ausgeführten Brunnenbohrungen von ausreichendem Erfolge begleitet. Clapp rät, keine Bohrung vor Erreichung einer Tiefe von 60 m einzustellen, kann aber nach seinen

¹⁾ Occurrence and composition of well waters in the granites of New England. — U. S. Geol. Surv. Water-Supply Paper 258, S. 40.

statistischen Erfahrungen ein Hinausbohren über diese Grenze nicht empfehlen. Bleibt eine Bohrung auf 60 m Tiefe erfolglos, so kann man mit großer Sicherheit auf Erfolg rechnen, wenn man in zirka 30 m Abstand von der ersten eine zweite Bohrung niederbringt.

Wir haben schon oben angedeutet, daß in einem von einem Tal-system durchschnittenen Grundwassergebiete die untere Grenze des bewegten, also fließenden Wassers nicht durch die Ebene gegeben ist, in welcher die tiefste Grundwasseraustrittsstelle oder Quelle liegt, es ist vielmehr durch die Versuche von D'Andrimont nachgewiesen, daß auch unterhalb dieser Ebene teils abwärts, teils aufwärts gerichtete Bewegungen im Grundwasser sich vollziehen. Eine schematische Darstellung dieser Bewegungsvorgänge gibt Fig. 126 nach D'Andrimont¹⁾. Die von ihm erzielten Resultate wurden gewonnen durch Einführung von Kaliumpermanganat-Körnern an bestimmte, miteinander korrespon-

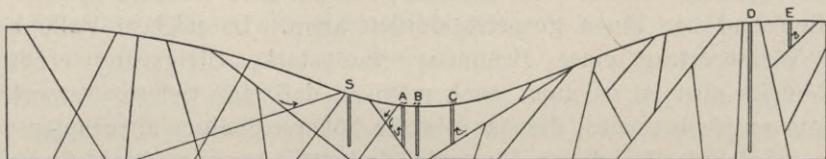


Fig. 125

dierende Punkte des Grundwasserträgers und durch Verfolgung der von ihnen erzeugten Farbfäden. Er schreibt darüber:

1. „In dem einfachsten Falle einer Grundwasseransammlung im Gebiete eines Tales und unter dem Einfluß des letzteren bildet der von dem Wassermolekül beschriebene Weg (trajectoire) eine regelmäßige Kurve, deren Wölbung nach oben gerichtet ist.“

2. „Die meisten Hydrologen haben, ohne Einwendungen zu erheben, angenommen, daß man in einem freien Grundwasser einen aktiven und einen passiven Teil unterscheiden kann. Nach der angegebenen Definition ist der aktive oder bewegliche Teil eines Grundwassers oberhalb der Horizontalebene zu suchen, die durch den tiefsten, als Abfluß des Grundwassers gehenden Punkt gelegt werden kann. Der passive Teil, der an der allgemeinen Bewegung des Grundwassers nicht teilnimmt, würde dann unterhalb der gleichen Ebene liegen.“

D'Andrimont hat nun aus seinen Versuchen zeigen können, daß die Kennzeichnung des passiven Teils, wie sie vorgeschlagen und allge-

¹⁾ R. D'Andrimont, Note préliminaire sur une nouvelle méthode pour étudier expérimentalement l'allure des nappes aquifères dans les terrains perméables en petit. Soc. géol. de Belgique, XXXII, Mém. S. 115.

mein angenommen ist, fehlerhaft ist, und nachgewiesen, daß auch unterhalb der gedachten Ebene starke, teils abwärts, teils aufwärts gerichtete, im Sinne der Pfeile in Fig. 126 verlaufende Bewegungen stattfinden, und daß man deswegen die Grenze des in vollkommener Ruhe befindlichen Grundwassers erheblich tiefer verlegen muß. Er schlägt vor, den Ausdruck „aktiv“ für den Teil des Grundwassers beizubehalten, der

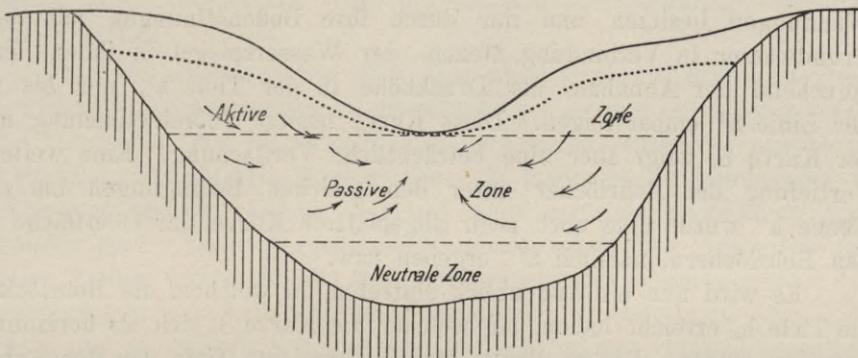


Fig. 126

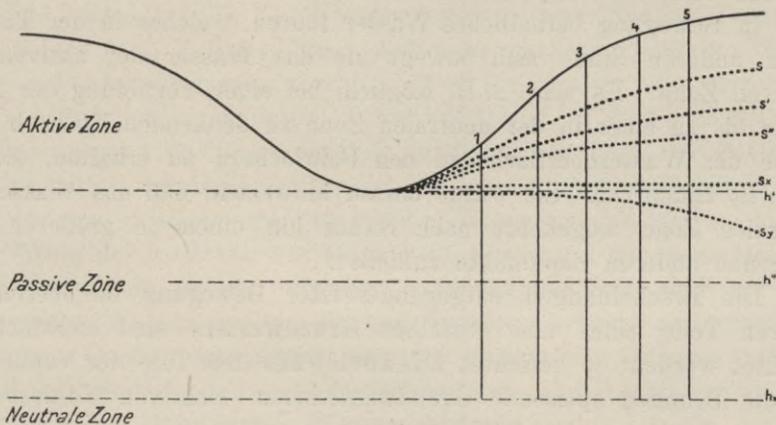


Fig. 127

oberhalb der durch die Zapfstelle gelegten Ebene sich befindet, den Ausdruck „passiv“ auf den Teil zu übertragen, der sich in einer durch die aktive Zone veranlaßten Bewegung befindet, und nun eine dritte Zone zu unterscheiden, die ich als „neutral“ bezeichnen werde, in der das Grundwasser wirklich ruht oder eine von den der aktiven Zone völlig unabhängige Bewegung besitzt, eine Zone, deren obere Begrenzungsebene erheblich viel tiefer liegt, als man früher annahm. D'Andri-
mont hat auch den Versuch gemacht, die Tiefenlage der oberen Grenze

der neutralen Zone zu ermitteln (Fig. 127). Er schreibt darüber: „Wir wissen, daß die Oberfläche des Grundwassers von einer konvexen Kurve S von mehr oder weniger parabolischer Gestalt gebildet wird. Diese Kurve kann festgelegt werden durch eine Bohrlochsreihe 1. 2. 3. 4. 5., die nur eben bis zum Grundwasserträger hinabreicht. Vertiefen wir dieselben Brunnen bis zu einer durch die Horizontale h angedeuteten Ebene, so wird, wenn diese Bohrlöcher undurchlässige Wandungen besitzen und nur durch ihre Bodenöffnungen mit dem Grundwasser in Verbindung stehen, der Wasserspiegel in ihnen, entsprechend der Abnahme der Druckhöhe in der Tiefe h^1 , nur bis zu der Linie S^1 emporsteigen. Diese Kurve besitzt Übereinstimmung mit der Kurve S , zeigt aber eine beträchtliche Verflachung. Eine weitere Vertiefung der Bohrlöcher unter den gleichen Bedingungen bis zur Ebene h'' würde eine noch mehr abgeplattete Kurve der Oberfläche in den Bohrlöchern, nämlich S'' , ergeben usw.“

Es wird nun ein Augenblick eintreten, in welchem die Bohrlöcher die Tiefe h_x erreicht haben, bei welcher die Kurve S_x sich als horizontal erweisen würde. Die in diesem Moment erreichte Tiefe der Bohrlöcher wird der Grenze zwischen der passiven und der neutralen Zone unserer Fig. 122 und 123 entsprechen. Es kann indessen auch diese neutrale Zone in Bewegung befindliches Wasser führen, welches in der Tiefe in einem anderen Sinne sich bewegt als das Wasser der aktiven und passiven Zone. Es wäre z. B. möglich, bei einer Vertiefung der Bohrlöcher bis zu einer in der neutralen Zone zu denkenden Ebene h_y eine Kurve der Wasseroberfläche in den Bohrlöchern zu erhalten, die der Linie S_y entspricht. Sie würde darauf hinweisen, daß das Wasser der neutralen Zone umgekehrt nach rechts hin einem in größerer Tiefe gelegenen anderen Zapfpunkte zufließt“.

Die Erscheinungen entgegengesetzter Bewegung im oberen und unteren Teile eines und desselben Grundwassers sind mehrfach beobachtet worden; so berichtet Dienert¹⁾ aus dem Tale der Vanne, daß der die Brunnen speisende Grundwasserstrom sich von Nordost nach Südwest bewegt, während das darunter auf Spalten sich bewegende Tiefenwasser einen von Norden nach Süden gerichteten Verlauf besitzt. Beide Horizonte sind nur durch eine schwache Schicht geringerer Durchlässigkeit voneinander getrennt. Selbst entgegengesetzte vertikale Bewegungen auf einer und derselben Spalte, oder wenigstens auf einem und demselben Spaltensystem sind beobachtet worden. So berichtet Schardt aus der Praxis des Simplontunnels, daß auf einer im Tunnel angefahrenen Spalte sowohl aufsteigende wie absteigende Wasser, beide von ganz verschiedener Temperatur, angetroffen wurden.

¹⁾ F. Dienert, Hydrologie agricole, Paris 1907.

Ein in seinen Grundwassergesetzen gut studiertes Gebiet klüftigen, festen, massenhaftes Wasser führenden Gesteins ist das Kreideplateau zwischen Paderborn und dem Eggegebirge. Stille¹⁾ schreibt darüber: „Hier sind den in den klüftigen Plänerkalken zirkulierenden Wassern die Wege durch die tektonischen Verhältnisse des Gebietes gewiesen, und nur in den Gebirgstteilen, wo es an lang aushaltenden tektonischen Spalten fehlt, scheinen die Wege des Wassers allein durch unterirdische Erosion bedingt zu sein.

Wie ein Spaltensystem sich aus einer großen Anzahl einzelner parallel verlaufender Spalten zusammensetzt, so besteht ein Wassersystem im Untergrunde der Plänerhochfläche aus vielen einzelnen, annähernd gleichsinnig gerichteten Wasserfäden, die hier und da miteinander in Verbindung stehen, vielfach aber auf weite Strecken unabhängig voneinander sind. Diese gegenseitige Unabhängigkeit der Wasserführung zweier Spalten kommt in den Niveaudifferenzen des Wassers und in den verschiedenen physikalischen und chemischen Verhältnissen zum Ausdruck, und es entspringen aus benachbarten Spalten ein und desselben Systems Quellen, die in bezug auf Wärme, Trübung, Chlorgehalt völlig voneinander verschieden sind.

Die jeweilige Höhe des Wasserspiegels in einer Spalte ist von den Bedingungen des Zuflusses und Abflusses abhängig und der Zufluß wieder von der Terrainentwicklung über der Spalte, von ihrem Zusammenhange mit sogenannten „Schwalglöchern“, in denen das Wasser der oberirdischen Bachläufe versinkt, und von der Lage der Spalte im Spaltenbündel. Letzteres erklärt sich daraus, daß die randlichen Spalten eines Systems im allgemeinen die größten Wassermengen führen, da sich die Abflüsse der zwischen den Hauptspaltensystemen liegenden Gebirgspartien zunächst in sie ergießen. Dementsprechend sind in einer Quellenreihe, die aus Spalten ein und desselben Systems entspringt, die randlichen Quellen im allgemeinen die stärksten. Dagegen ist der Abfluß aus den Spalten von der schwereren oder leichteren Passierbarkeit für das zirkulierende Wasser abhängig.“

In solchen Gesteinsreihen, die infolge ihrer tonigen Beschaffenheit von vornherein der Eigenschaft der Klüftigkeit entbehren, oder in denen die durch tektonische Bewegungen erzeugten Klüfte und Spalten durch den auf das Gestein ausgeübten Gebirgsdruck längst wieder verschlossen sind, vor allen Dingen also in den paläozoischen Schiefergebieten, in denen die Schiefergesteine durchaus vorherrschen, sind die Bedingungen für die Gewinnung von Wasser außerordentlich ungünstig. Die an ihrer

¹⁾ Stille, Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiet der Paderquelle zu Paderborn. Abhandl. d. Preuß. Geol. Landesanstalt. Neue Folge, Heft 38.

Oberfläche zu plastischem Tone verwitternden Schiefer erzeugen eine vollkommen undurchlässige Oberfläche, auf welcher die Niederschlagswasser nicht eindringen können, und bei der mangelnden Zerklüftung vermag auch aus anderen benachbarten, dem Wasser gegenüber günstiger sich verhaltenden Gesteinsreihen kein Wasser überzutreten. Darum sind derartige Schiefergebiete mit ihrer Wasserversorgung zumeist sehr übel daran. Hier bieten die einzige Möglichkeit der Wassergewinnung stärkere Einlagerungen spröder Gesteine, seien es nun Eruptivgesteine oder Quarzite oder kristalline Kalke, die infolge ihrer völlig anderen Beschaffenheit die Fähigkeit besitzen, die Spalten, die bei Gelegenheit gebirgsbildender Prozesse in ihnen sich bildeten, offen zu halten.

Wenn derartige Einlagerungen bei nicht allzugeringer Mächtigkeit auf ansehnliche Länge sich verfolgen lassen, und in die Tiefe gehen, so kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit darauf rechnen, Wasser aus ihnen zu gewinnen. Ein derartiges Schiefergebiet sind weite Teile des Sächsisch-Thüringischen Hügellandes, des sogen. Vogtlandes. In diesem Gebiete gelang es mir, in einer mächtigen Einlagerung steil einfallender kambrischer Quarzite, die bei Greiz das Elstertal überqueren, durch drei auf 70—100 m niedergebrachte Bohrlöcher eine so große Wassermenge aufzuschließen, daß daraufhin für die Stadt Greiz an Stelle des bisher benutzten, hygienisch recht bedenklichen Oberflächenwassers eine vollkommene Tiefenwasserversorgung eingerichtet werden konnte. In solchen Fällen werden die Bohrungen zur Aufschließung des Wassers zweckmäßigerweise an solchen Punkten angesetzt, an denen die Haupterosionstäler des Gebietes derartige Einlagerungen queren. Man ermittelt die Streichrichtung der Einlagerung und ihren Einfallwinkel und ist dann in der Lage, die Bohrlöcher so anzusetzen, daß sie zunächst durch die hangenden undurchlässigen Tonschiefer hindurchgehen und alsdann in größerer Tiefe in die klüftigen Gesteine eindringen. Da der Wasserspiegel solcher Kluftwasser im allgemeinen mit dem des Talgrundwassers übereinstimmen wird, so ist die natürliche Folge ein Auftrieb des Wassers im Bohrloche bis nahe an die Oberfläche.

Aus den angeführten Punkten geht bereits hervor, daß die Ausbildung eines einheitlichen Grundwasserspiegels im festen Gestein sich nicht so einfach vollziehen kann, wie in den lockeren, durchlässigen Gesteinen, daß eine ganze Reihe von Ursachen, starke Änderung der Reibung durch Verengung, ja selbst durch weitgehende Verstopfung der wasserführenden Spalten und Klüfte, durch Gabelung bewirkte Trennung und Wiedervereinigung der Spalten, die Kreuzung mehrerer Spaltensysteme von verschiedener Stärke, ihre Wirkung in dem Sinne ausüben, daß sie der Entwicklung eines einheitlichen Grundwasserspiegels entgegenarbeiten.

Je gleichmäßiger ein Gestein zerklüftet ist, je geringer der Abstand und je gleichmäßiger die lichten Weiten der einzelnen wasserführenden Spalten sind, um so einfacher gestaltet sich die Oberfläche des Grundwassers; je unregelmäßiger der Verlauf der Spalte, je wechselnder ihre Weite, je unterschiedlicher ihre Abstände, je geringer die Zahl der Verbindungswege zwischen den einzelnen Spalten ist, um so schwieriger wird es dem Grundwasser gemacht, einen einheitlichen Spiegel zu erzeugen.

Wenn schließlich die Unregelmäßigkeiten dieser Art sich immer mehr steigern, was besonders in Kalk- und Dolomitgebirgen der Fall ist, so erhalten wir die extremen Fälle der Wasserbewegung im klüftigen Gestein, bei denen von einem Grundwasserspiegel, in dem bisher von uns gebrauchten Sinne, überhaupt nicht mehr die Rede sein kann. Diese Verhältnisse werden wir im nächsten Abschnitte bei der Betrachtung der verkarsteten Gebirge näher kennen lernen.

34. Kapitel

Die hydrographischen Verhältnisse verkarsteter Gebirge¹⁾

Eine ganz besondere Besprechung verdienen die Verhältnisse in denjenigen Gebirgsländern, die man unter dem morphologischen Begriffe der „Karstländer“ zusammenfaßt. Diese Gebiete unterscheiden sich von anderen einmal durch ihre charakteristischen Oberflächenformen und sodann durch die eigentümliche Art der unterirdischen Wasserzirkulation, die in einem verwickelten System von Gerinnen sich vollzieht.

Karstgebirge finden sich in allen geographischen Breiten und der Verkarstung können Gesteine aller möglichen Formationen unterworfen sein.

Wesentlich ist aber die Gesteinsbeschaffenheit insofern, als ein gewisses Maß von Wasserlöslichkeit der Gesteine unbedingte Voraussetzung ist. Infolgedessen sind die Karstlandschaften im allgemeinen auf Kalkstein- und Dolomitgebirge beschränkt, wengleich untergeordnete Vorkommnisse dieser Art auch an Gips- und Salzgebirge geknüpft sein können. In Europa begegnen uns Karstgebirge in größerer Verbreitung auf der Balkanhalbinsel entlang der Adria von Krain bis Griechenland, im nördlichen Ungarn, in Italien, Spanien und Südfrankreich.

Alle Erscheinungen der Verkarstung treten da am stärksten auf, wo das verkarstungsfähige Gebirge eine große Mächtigkeit besitzt und selbst die tiefsten Erosionstäler die nicht verkarstungsfähige Unterlage

¹⁾ Wesentlich nach Dr. Fr. Katzer: Karst und Karsthydrographie. Sarajewo 1909.

nicht mehr erreichen. Solche Gebilde werden als „tiefer Karst“ bezeichnet und stehen im Gegensatze zum „flachen Karst“, in dem das verkarstungsfähige Gestein nur eine verhältnismäßig geringe Platte auf der nicht verkarstungsfähigen Unterlage bildet. In letzterem wird diese Unterlage entweder am Grunde der Erosionstäler freigelegt, oder sie nimmt größere, zusammenhängende Flächen ein, auf denen in Gestalt isolierter Platten die verkarstungsfähigen Gesteine auflagern. Am Aufbau der europäischen Karstgebirge beteiligen sich vom Devon bis zum Miozän Kalkgesteine aller Formationen; in der Hauptsache aber solche des Tertiärs und der Kreide.

Alle Karsterscheinungen erklären sich durch das Zusammenwirken von Erosion und Auflösung der Gesteine im Wasser. Besondere Reinheit der Kalke und Dolomite ist für ihre Verkarstungsfähigkeit nicht erforderlich, es gibt vielmehr typische verkarstete Gesteine, in denen der nicht aus Karbonaten bestehende Anteil $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der Gesteinsmasse ausmacht.

Es sind vier verschiedene Formen der Oberfläche, die die eigentümliche Morphologie der Karstlandschaft bedingen, nämlich:

1. Karren und Schratzen,
2. Dolinen oder Trichter,
3. Uvalas oder Karstmulden und
4. Poljen oder Karstbecken.

Die Karren sind Riefen, Rinnen, Furchen und Gräben, die durch dazwischen aufragende Rücken, Grate, Kämme und Säulen voneinander geschieden werden. Sie sind mechanischen Ursprungs und durch die Spülwirkung des auffallenden und abrinnenden Wassers entstanden.

Unter Dolinen oder Karstrichtern versteht man Einsenkungen von trichter- oder schüsselförmiger Gestalt mit kreisrunden oder ovalen Umrissen, welche die Karstflächen oft in erstaunlich großer Zahl bedecken. Ihre Größe schwankt in verhältnismäßig engen Grenzen, ihr Durchmesser beträgt zumeist 20—25 m und die Tiefe 5—15 m, doch finden sich auch zahlreiche kleine Dolinen, die nicht einmal 10 m Durchmesser haben. Solche von mehr als 300 m Durchmesser gehören zu den Seltenheiten. — Ihre Menge beträgt in weiten Gebieten 100 bis 200 auf den Quadratkilometer.

Die Frage der Entstehung, ob durch Einsturz oder durch subaërische Erosion, oder wie Katzer will, durch glaziale Auskolkung entstanden, ist noch außerordentlich strittig und soll uns hier nicht weiter beschäftigen.

Die Uvalas oder Karstmulden sind Hohlformen, die beträchtlich größer sind als die Dolinen und ihre Entstehung entweder der mechanischen Ausräumung oder der Tektonik der betreffenden Gebiete ver-

danken. Jedenfalls stellen sie keine Zwischenform zwischen den Dolinen und den Poljen dar.

Die Poljen oder Karstbecken sind zum allergrößten Teile tektonisch vorgezeichnete Einsenkungen, das heißt, sie schließen sich an Störungen an, die entweder einseitige Verwerfungen oder Überschiebungen oder echte Grabenbrüche oder komplizierte Scharungen von Bruchlinien sein können. Diese Störungen aber sind nur indirekt für die Entstehung der Poljen verantwortlich zu machen, indem sie die Erosion wirksamer zur Geltung kommen lassen und die Talbildung befördern, denn jeder Polje ist einmal ein offenes Tal mit oberirdischer Entwässerung gewesen und ist erst durch in späterer Zeit nach seiner Bildung eingetretene tektonische Vorgänge zum geschlossenen Polje geworden.

Eine andere Eigentümlichkeit der Karstlandschaft besteht in dem Auftreten von teils senkrechten, teils geneigten Hohlräumen von verschiedenem Querschnitte, die als „Ponore“ bezeichnet werden und für die nunmehr zu besprechende Hydrologie der Karstgebiete von großer Bedeutung sind. Sie sind in der Lage, große Wassermassen aufzunehmen und werden dann als „Schluckschlünde“ bezeichnet, oder sie werfen Wassermassen aus und führen dann den Namen von „Speischlünden“.

In hydrographischer Beziehung beruht die wichtigste Eigentümlichkeit des Karstes in seinen unterirdischen Gerinnen. Es sind spalten-, röhren- und grottenförmige Hohlräume von verschiedenster Gestalt und Größe und mit den verschiedensten Gefällverhältnissen, bald verworren verzweigt und seltsam miteinander verbunden, bald isoliert und voneinander unabhängig, unter- und nebeneinander in tausendfach wechselnder Weise das Gestein durchziehend. Sie sind es, in welchen sich die unterirdische Zirkulation des Karstes vollzieht. Hierin liegt ihre große Bedeutung, denn sie bedingen den hydrographischen Unterschied zwischen Karst und Nichtkarst.

Im Nichtkarst versickert das Niederschlagswasser, welches vermöge der Porosität oder der Zerklüftung der Gesteine in die Erde eindringen kann, allmählich und von der ganzen Oberfläche aus ziemlich gleichmäßig in die Tiefe, wo es sich entweder mehr und mehr zersplittert und in Bergfeuchtigkeit auflöst oder wo es sich, eine undurchlässige Schicht erreichend, ansammelt und, dem Gefälle der Schicht folgend, fortbewegt.

Im Karst hingegen erfolgt die Einsickerung des Niederschlagswassers sehr rasch, weil die klaffenden Klüfte viel Wasser aufzunehmen imstande sind, und sie erfolgt insofern unregelmäßig, als sich die Versickerung alsbald auf jene Klüfte konzentriert, welche durch die mechanische Erosion und chemische Dissolution der durch sie hindurchrinnenden Wassermenge zu Röhren und Grotten erweitert und zu Sammelkanälen des aus seitlichen Klüften zusetzenden Wassers werden.

Solcherweise entstehen die Karstgerinne, in welchen die Fortbewegung des Wassers nicht lediglich in der Gefällsrichtung wie bei einem Grundwasserstrom erfolgt, sondern in welchen sie dem statischen Gesetze der kommunizierenden Röhren unterliegt, aus dem sich infolge der zahllosen Möglichkeiten der gegenseitigen Zusammenhänge und der unendlichen Mannigfaltigkeit der Form der Gerinne alle merkwürdigen Erscheinungen der Karsthydrographie erklären.

Das ist der hydrographische Kardinalunterschied zwischen dem tiefen Karst und dem Nichtkarst: im Karst gibt es kein einheitliches, sich über weite Flächen im Zusammenhange ausbreitendes Grundwasser, sondern das Bodenwasser sammelt sich in verschiedenartig gestalteten, verzweigten Gerinnen, die, zu komplizierten Systemen vereinigt, ihre gesonderten unterirdischen Einzugsgebiete besitzen und das Karstgebirge in den verschiedensten Tiefenlagen durchziehen. Je seichter der Karst wird, desto mehr nähert er sich in seinem hydrographischen Verhalten dem Nichtkarst, da sich die Gerinne in die undurchlässige Unterlage der Karstplatte nicht fortsetzen können und infolgedessen die Wirksamkeit des Gesetzes der kommunizierenden Röhren an der Gesteinsgrenze aufhört. Das von den bis zu dieser Grenze vorgedrungenen Gerinnen zugeführte Wasser trachtet, sich auf der undurchlässigen Unterlage in der Fläche auszubreiten, und kann schließlich eine zusammenhängende Grundwassermenge in gleicher Weise bilden, wie sie im durchlässigen, nicht verkarstungsfähigen Gebirge entsteht. Ist dieses Stadium im seichten Karst erreicht, so beginnt der Übergang vom Karst zum Nichtkarst.

Im Gegensatz zu dieser Auffassung des Karstgerinnes als Grundelement der Karsthydrologie hat A. Grund¹⁾ eine Hypothese aufgestellt, nach welcher unter dem gesamten Karst ein einheitliches und zusammenhängendes Grundwasser vorhanden sein soll, mit dessen Hilfe er alle im Karst vorhandenen hydrographischen Erscheinungen glaubt erklären zu können. Die periodischen Quellen des Karstes sollen versagen, wenn der Karstwasserspiegel unter ihre Austrittshöhe hinabsinkt, und die dauernd fließenden Quellen sollen ein Beweis dafür sein, daß das Karstwasser dauernd höher steht, als die Austrittsstellen der Quellen. Hoher Karstwasserstand sollte die periodischen Flüsse speisen, während bei tiefem Karstwasserstand nur diejenigen Flüsse noch Wasser führen, die unter das tiefste Karstwasserniveau sich eingeschnitten haben, und die Seebecken im Karst sollen sich nur dann füllen, wenn das Karstwasser höher ansteigt, als sie selbst liegen.

Katzer hat den meines Erachtens überzeugenden Nachweis geführt, daß die Voraussetzungen dieser Karstwasserhypothese unrichtig sind,

¹⁾ A. Grund, Die Karsthydrologie. Studien aus West-Bosnien. Geogr. Abhandlungen. Herausgegeben von A. Penck, Band 7, Heft 3, Leipzig 1903.

und daß eine große Reihe von Erscheinungen durch die Schwankungen eines unter ausgedehnten Karstflächen hindurchziehenden, einheitlichen Karstwasserspiegels nicht erklärt werden können. — Dahin gehört z. B. die Tatsache, daß von an dem gleichen Gehänge entspringenden Quellen mehrfach die tiefer gelegenen früher versiegen als die höher gelegenen; daß im gleichen Karstmassiv ständige und intermittierende Quellen nebeneinander auftreten; daß intermittierende Quellen im Karst überhaupt möglich sind; daß von unter geologisch gleichen Verhältnissen nahe beieinander und in ziemlich gleicher Höhe auftretenden Quellen die einen auf Niederschläge rasch, die anderen gar nicht reagieren, die einen in kurzer Zeit nach jedem Regen, die anderen niemals trübe werden.

Ganz besonders spricht gegen die Karstwasserhypothese das Verhalten mancher Schluckschlünde in unter Wasser gesetzten Karstbecken. Sie zeigen nämlich vielfach eine dem Druck der darüber stehenden Wassermassen entsprechende, gesteigerte Schluckkraft. Ponore, die in der Trockenheit ganz außer Tätigkeit sind oder nur ein geringfügiges Wasserquantum aufzunehmen haben, schlucken während der Überschwemmung des Poljes Wassermengen, die einem starken Fluß gleichkommen, weshalb sich auch über solchen Schlünden gewaltige Wirbel bilden. Dieses Verhalten ist mit der Karstwasserhypothese unvereinbar. Würde nämlich die Inundation durch das flächenweise gleichmäßige Steigen eines allgemeinen Karstwassers bewirkt werden, dann müßte, sobald der Karstwasserspiegel über die Schlundmündungen aufgestiegen wäre, die Schluckfähigkeit der Ponore vollkommen aufhören. Es ist dabei ganz gleichgültig, ob der Ponorschlund senkrecht, geneigt oder wagerecht ist. Sobald das von unten auftretende Karstwasser sich über ihn erhoben hätte, wäre er völlig außer Funktion gesetzt. In Wirklichkeit verhalten sich die Ponore aber gerade entgegengesetzt, indem sie trotz der Inundation weiter Wasser schlucken und zwar umso mehr, je höher die Inundation im Polje steigt!

Auch die Tatsache, daß von mehreren im gleichen Poljenboden befindlichen Ponoren die einen immer nur als Schluckschlünde, die anderen nur als Speischlünde und die dritten zeitweilig als Schluck-, zeitweilig als Speischlünde wirken, läßt sich durch die Grundsche Karstwasserhypothese nicht erklären.

Würde ein einheitliches, von unten aufsteigendes Karstwasser existieren, dann müßten alle in gleicher Höhenlage befindlichen Ponore zu ungefähr gleicher Zeit aufhören, Wasser aufzunehmen. Es dürfte dann zu Beginn der Inundation nur Speischlünde, aber keine Schluckschlünde und umgekehrt bei zurückgehender Überschwemmung nur Schluckschlünde, aber keine Speischlünde geben. Beides widerspricht durchaus der Wirklichkeit.

Das Grundelement der Karsthydrographie ist das Karstgerinne (Fig. 128 und 129). Immer nimmt es seinen Ausgang von einem Gesteinsrisse, einer Schichtfuge oder einer Kluft. Das einsickernde Nieder-

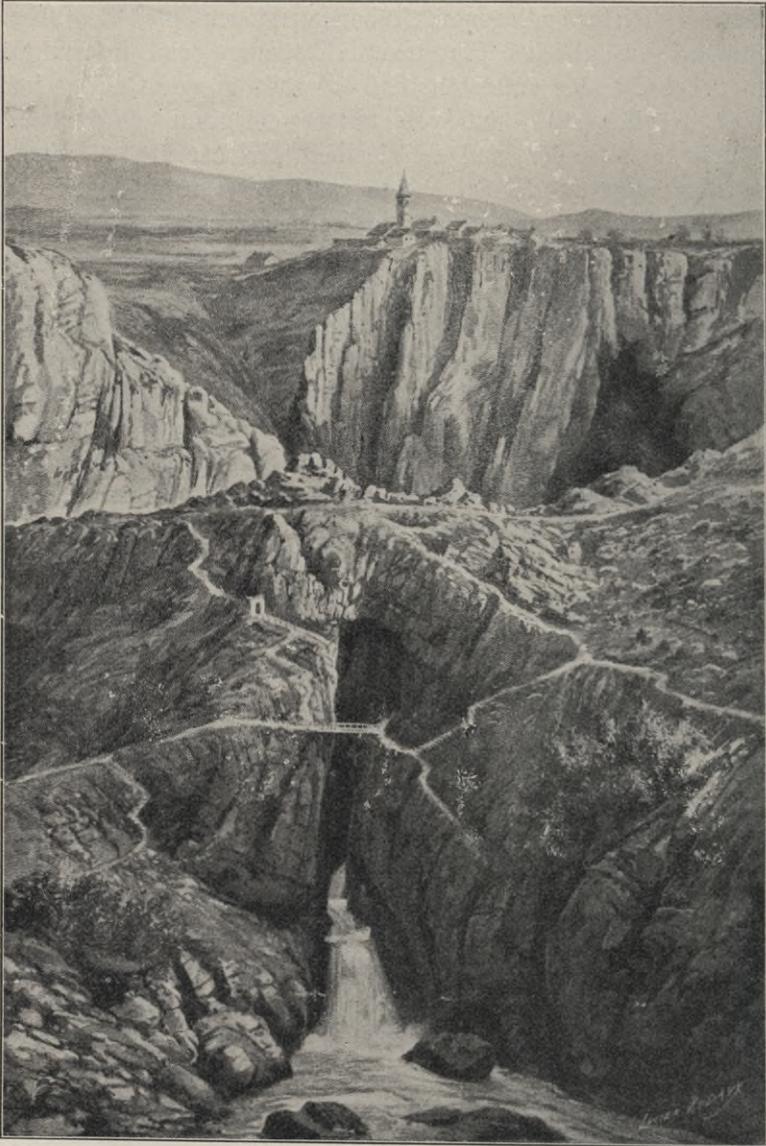


Fig. 128. Zutage tretendes Karstgerinne bei St. Canzian. Nach Martel

schlagwasser erweitert eine solche Spalte an der geeignetsten Stelle, wodurch das Sickerwasser rascher in die Tiefe geleitet wird, das infolgedessen dort auch eine größere Korrosions- und Erosionsarbeit ver-

richten kann. Es trifft eine andere Kluft, geht dieser nach, erweitert sie ebenfalls und verbindet sich mit anderen Sickeradern, durch welche verstärkt es dann die lösende und ausnagende Tätigkeit in größerem Maßstab fortsetzen kann. Die Fortbewegung des Wassers erfolgt natürlich nicht nur nach der Tiefe zu, sondern je nach der Beschaffenheit der Klüfte, entsprechend dem hydrostatischen Druck, gelegentlich auch aufwärts, und wenn einmal Gerinne durchgewaschen sind, dann

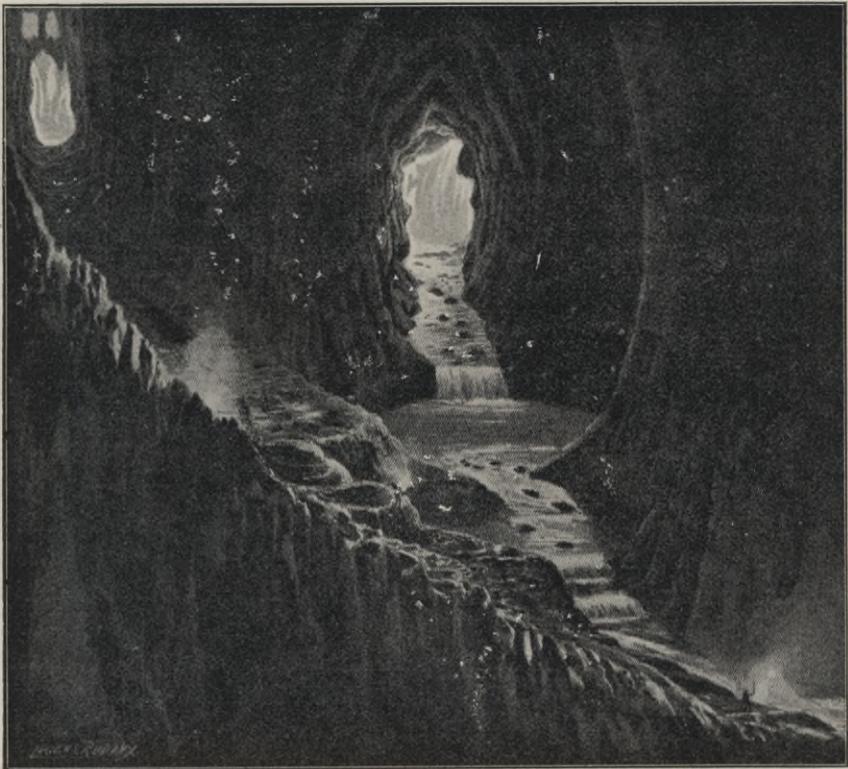


Fig. 129. Unterirdisches Karstgerinne bei St. Canzian. Nach Martel

gelangt das Gesetz der kommunizierenden Röhren zur Geltung. Dieses Gesetz ermöglicht das Aufsteigen des selbst in große Tiefen hinabgesunkenen Wassers wieder bis zur Höhe seines Ursprunges, und wenn der Aufstieg durch unklüftiges Gestein verlegt ist, kann durch intermittierendes Aufsprudeln oder durch Dissolution unter ständigem Druck auch im gesunden Gestein ein Gerinne ausgehöhlt werden, welches dann wie eine ausgemeißelte Röhre den Fels durchzieht.

Überall, wo im verkarsteten Gebirge ein Aufschluß geschaffen wird, sei es durch einen natürlichen Einschnitt oder durch künstliche

Abtragung, werden Karstgerinne entweder angeschnitten, so daß sie dann frei ausmünden, oder sie werden in ausgedehnter Weise bloßgelegt, so daß man ihre eigenartige Beschaffenheit und ihren verästelten Verlauf auf einer größeren Erstreckung beobachten kann. Da die tiefsten natürlichen Einschnitte im Karste die Flußtäler, Poljen und steilen Meeresufer sind, so gelangen dort die Karstgerinne auch am leichtesten und zahlreichsten zur Beobachtung.

Es ist nicht daran zu zweifeln, daß das ganze Karstgebirge ähnlich wie in seinen der Beobachtung zugänglich gewordenen oberflächlichen Partien auch in seinen Tiefen von Karstgerinnen durchschwärmt wird. Die durch einen zufälligen Aufschluß freigelegten Gerinne enthüllen eben nur, wie das dem Auge verborgene Innere des verkarsteten Gebirges aussieht und wie die Wege der unterirdischen Wasserzirkulation beschaffen sind. Man kann daraus unmittelbar ersehen, in welcher Weise sich das im zerklüfteten Karstgestein eingesickerte Niederschlagswasser in Gerinnen sammelt; wie eigentümlich und wechselvoll gestaltet diese Gerinne sind und wie verworren sie oftmals durcheinander greifen.

Die meisten haben eine schlauchartige, bizarr gewundene Form; andere sind einfache glatte Röhren; viele erweitern sich sackförmig oder gehen in Höhlen und Grotten über; andere hingegen verengen sich und scheinen sich gänzlich auszukeilen oder in ein Gewirr von Klüften aufzulösen. Viele sind leer und erweisen sich deutlich als außer Gebrauch gesetzte Wassergerinne: die Sickeradern, welche sie einstmals füllten, sind entweder vertragen oder werden jetzt direkt drainiert oder leiten das Sickerwasser an ihnen vorbei in größere Tiefen. Andere Gerinne führen nach jedem Dauerregen Wasser, sind also noch imstande, einzelne Sickerstränge an sich zu ziehen. Derartige Gerinne pflegen nicht selten mit Kalksinterrinden ausgekleidet und dadurch stark verengt zu sein, oder sie enthalten nur in Anschwellungen kegel- und zapfenförmige Stalaktiten. Wieder andere Gerinne sind vollkommen erfüllt mit feingeschlammtem, oft zart geschichtetem Sediment oder mit Lehm, welchem kantige Brocken des Karstgesteines (Kalk oder Dolomit) eingeknetet sind, oder aber mit Terra-Rossa-artigem Erdreich, das Gerölle von ortsfremden, offensichtlich von weither eingeschwemmten Gesteinen enthält. Die mit Sediment ausgefüllten Gerinne können dem zusitzenden Sickerwasser immerhin Durchlaß gewähren, aber nur wie durch ein langsam wirkendes Filter, wodurch sie für die Beschaffenheit mancher Karstquellen von Wichtigkeit sein können. Manche Gerinne endlich führen immerwährend Wasser, sind also trotz der Bloßlegung gewissermaßen ständig aktiv. Gerinne von Höhlenform, die eine schwankende, in der Sommerdürre geringfügige, zur Regenzeit reichliche Wassermenge führen, sind oft bis tief in das Gebirge hinein verfolgbar; die dauernd mächtige

Wassermassen in Form großer Karstquellen, Fluß- und Stromquellen, zutage fördernden Gerinne sind dagegen in der Regel nur auf kurze Entfernungen vom Quellentor oder gar nicht zugänglich.

Für alle diese angedeuteten Verhältnisse bietet jedes Karstgebiet zahllose Belege.

Die Entstehung der Karstgerinne knüpft naturgemäß in den allermeisten Fällen an Klüfte (Fig. 130) oder an Schichtfugen (Fig. 131) an, wogegen Durchbohrungen des vollkommen gesunden Gesteins sehr stark zurücktreten. Die Schichtfugengerinne verlaufen auf der Schichtfläche selten parallel, sondern vereinigen sich oder streben auseinander, wobei sie ihren Querschnitt entweder wesentlich beibehalten oder oftmals sehr

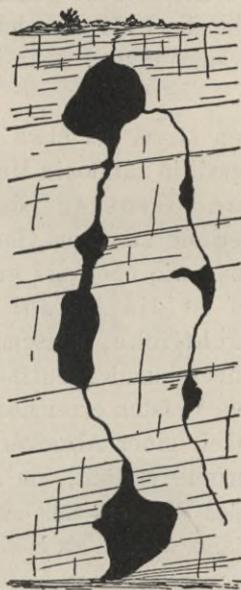


Fig. 130. Klufftgerinne

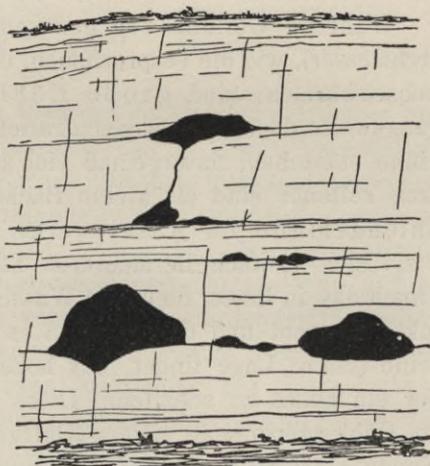


Fig. 131. Schichtfugengerinne

stark verändern. Sie können auf der gleichen Schicht in das Gebirge tief hineinziehen oder bald an Querklüfte auf- oder abwärts gelangen, sie können auch wurzelförmig sich in dünne Wasseradern auflösen oder gebirgseinwärts in einen größeren Hohlraum führen, oder aber umgekehrt aus dem Gebirge heraus an lichter Weite zunehmen und als namhafte Grotten ausmünden.

Ebenso wechsellvoll ist das Verhalten der Klufftgerinne. Man kann beobachten, wie sich auf einer eine ganze Schichtenreihe durchsetzenden Kluft offenbar dort, wo sie mehr klaffend war, durch das rieselnde Sickerwasser ein gleichmäßig röhrenförmiges Gerinne ausgebildet hat, während an einer anderen Kluft ein Gerinne von sehr ver-

änderlichem Querschnitt entstanden ist, welches in geschlängelttem Verlauf auf der Kluftfläche zur Tiefe zieht. Öfters setzt ein Gerinne an einer Querkluft an, springt dann an der Kreuzung mit einer Schichtfuge auf diese über, setzt über mehrere Klüfte hinweg, weitet abermals eine Kluft aus und zieht ihr entlang, solcherweise einen eigenartig staffelförmig gewundenen Verlauf annehmend.

Solange die Karstgerinne der unterirdischen Wasserzirkulation dienen, können sie, wie erwähnt, mechanisch vertragen oder aber durch Sinterausscheidungen ausgeheilt werden, wodurch das Gebirge wieder eine Verfestigung erfährt. In einem von durchströmendem Wasser völlig ausgefüllten Gerinne kann ein Sinterabsatz nur äußerst langsam stattfinden, weil die Verdunstung des kalkbeladenen Wassers sehr gehemmt ist. Hingegen überkrusten sich Gerinne, in welche die Luft ausreichenden Zutritt hat, zumal also solche, welche frei ausmünden, sehr bald mit Kalksinterrinden und Stalaktiten.

Während Gerinne von geringen Dimensionen (1 cm bis etwa 1 m Durchmesser), wie die besprochenen, den Karst überall in zahlloser Menge durchschwärmen, sind große Höhlengänge und Grotten, die ja vorzugsweise durch eine Konzentration der Kleingerinne zu einem Hauptgerinne entstehen, naturgemäß viel seltener, ebenso wie obertags große Flüsse seltener sind als kleine Bäche. Immerhin ist die Anzahl der Höhlengerinne im Karste eine sehr beträchtliche, umsomehr, als sie sich vielfach in mehreren Stockwerken übereinander entfalten, da auch das in ihnen fließende Wasser jeweils dem tiefsten erreichbaren Punkte zustrebt und daher, wenn es die Möglichkeit einer Absickerung in eine tiefere Lage findet, das höhere Höhlengerinne verläßt, um sich tiefer ein neues zu schaffen. Diese Ablenkung des Wassers aus einem alten Höhlengerinne in tiefere Kluftgerinne, die dann wieder zu Höhlengerinnen ausgearbeitet werden, braucht keineswegs mit großen Gefälleknicken verbunden zu sein, weshalb auch gelegentlich die verlassenen Höhlengerinne unweit und in geringer Höhe über den gegenwärtigen unterirdischen Flußgerinnen ausmünden.

Von Wichtigkeit ist der Umstand, daß sich die Höhlengerinne des Karstes sehr häufig an Verwerfungen anschmiegen und dadurch in ihrem Verlauf gewissermaßen tektonisch vorgezeichnet erscheinen. Es ist dies begreiflich, weil Verwerfungen mit Gesteinszertrümmerungen verbunden zu sein pflegen, welche eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit bedingen oder aber selbst klaffende Hohlräume schaffen, die vom Sickerwasser leicht zu Gerinnen umgewandelt werden können.

Für die Tiefe, in welche die unterirdischen Karstgerinne hinabsetzen können, läßt sich keine Grenze feststellen; sie können in ihrer ganzen Ausdehnung hoch über der Sohle der Taleinschnitte bleiben,

können aber auch hunderte von Metern unter die Talsohlen, ja unter den Meeresgrund hinabreichen. Beweise dafür sind die zahlreichen Quellen mit kräftigem Auftrieb am Meeresgrunde entlang des dalmatischen Karstgeländes¹⁾. Und daß es sich tatsächlich und ausschließlich um Gerinne handelt, welche Festlandwasser in die Tiefe leiten, beweist u. a. die vom Herrn Landeskulturoberingenieur K. Hofeneder mitgeteilte Tatsache, daß nach Eintritt von Überschwemmungen im Popovo polje vom Grunde des Meerbusens von Slano trübe Wassersäulen aufsteigen, welche das Meerwasser so verfärben, daß fremde Schiffe den Kurs ändern in der Annahme, daß an den betreffenden Stellen Untiefen bestehen. Der durch die Inundation des Poljes bewirkte hydrostatische Überdruck verursacht offenbar eine kräftige Durchspülung des im Busen von Slano ausmündenden Gerinnsystems und einen gewaltigen Auftrieb des daraus auf dem Meeresgrunde aufquellenden Süßwassers, welches durch längere Zeit mit den abgeschwemmten Trübstoffen beladen bleibt. Daß derartige Tatsachen die Karstwasserhypothese als absolut unmöglich erscheinen lassen, braucht wohl nicht erst bemerkt zu werden.

Die vorstehenden Darlegungen über die Karstgerinne könnten noch durch viele Einzelheiten erweitert werden; das in Kürze Vorgebrachte dürfte jedoch zur Charakteristik der Gerinne und ihrer Funktion ausreichen. Im Profil Fig. 132 werden die wichtigsten Erscheinungen der Karsthydrographie aus der verschiedenartigen Verbindung der unterirdischen Gerinne, aus dem Einfluß der wechselnden Niederschlagsmenge und aus der dadurch sowie durch die äußerst variable Gestalt der Gerinne, durch das Spiel kommunizierender Röhren, das Heberprinzip und durch Saugwirkungen bedingten Förderung oder Hemmung der intramontanen Wasserzirkulation erläutert. Es ist dies ein Vertikalschnitt, aus welchem die Erklärung mancher Erscheinungen nicht so deutlich zu entnehmen ist, als wenn er noch mit einem Horizontalschnitt kombiniert werden würde. Es gilt dies namentlich von der Verzweigung eines Gerinnsystems in einer mehr oder weniger horizontalen Ebene.

Die Hauptsache ist, um es nochmals zu wiederholen: Die ganze spezielle Hydrographie des Karstes spielt sich durch Vermittlung von unterirdischen Gerinnsystemen ab, die das Karstgebirge in den verschiedensten Horizonten unregelmäßig durchziehen. Einen kontinuierlichen Kluftwasserspiegel mit gleichmäßigem einheitlichem Gefälle gibt es im tiefen Karst nicht, und alle auf der Annahme eines solchen Karstwassers beruhenden Deduktionen sind irrig und können in hydrotechnischen Fragen nur zu Enttäuschungen führen.

¹⁾ Eine Quelle beim Kap St. Martin bricht 700 m unter dem Meeresspiegel hervor. Keilhack, Grundwasserkunde. 2. Aufl.

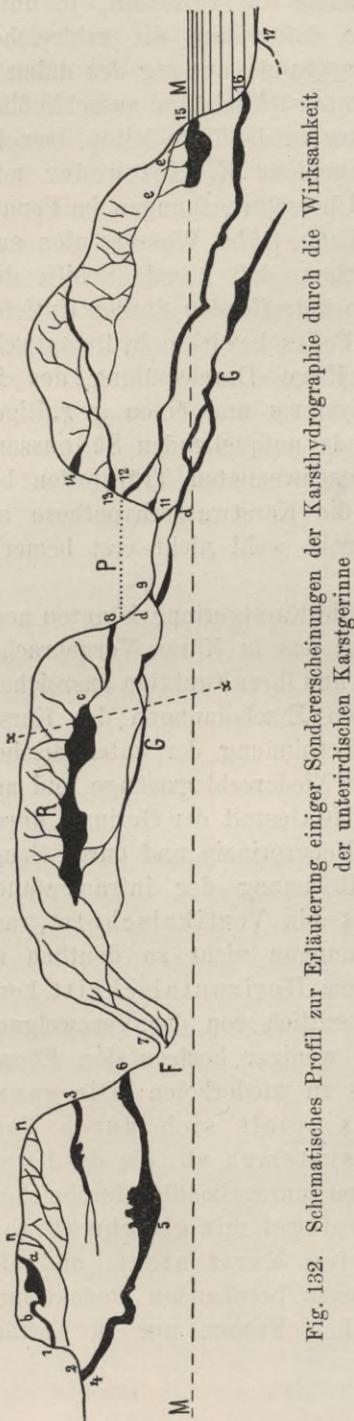


Fig. 132. Schematisches Profil zur Erläuterung einiger Sonderscheinungen der Karsthydrographie durch die Wirksamkeit der unterirdischen Karstgerinne

1 Intermittierende (aussetzende) Quelle. Hat das Wasser im Hohlraum a eine solche Höhe erreicht, daß das gebogene Gerinne b als Heber zu wirken beginnen kann, dann rinnt das Wasser so lange, bis der Vorrat in a erschöpft ist. Hernach dauert es wieder eine gewisse Zeit (Stunden, Tage, Wochen, Monate), bis sich a wieder zur Heberhöhe angefüllt hat, worauf die Quelle abermals zu rinnen beginnt.

2 Ständige Karstquelle, die aus dem Niederschlagsgebiet n-n ausreichend genährt wird.

3 Verlassenes trockenes Höhlengerinne (Gehängegrotte).

4 Flußschwinde, 5 Höhlengerinne, 6 große Karstquelle; alle drei in unmittelbarem Zusammenhang.

7 Zahlreiche kleine Karstquellen, die den Fluß F ernähren. Die tiefer gelegenen können leichter versiegen als die höchste, weil diese mit dem Reservoir R in unmittelbarer Verbindung steht.

8 Intermittierende große Karstquelle, die so lange Wasser in das Polje P zuführt, als der Wasserspiegel im Reservoir R durch ausreichende Zusicke rungen über c erhalten wird. Sie versiegt, wenn der Wasserspiegel unter c sinkt. Würde das Gelände bis zu x-x aberodiert, dann würde das Reservoir R ein aufgeschlossenes Grottengerinne werden und mit einem Tor ins Freie ausmünden.

9 und 10 Wechselschlünde, welche in der Regel als Schluckschlünde das Polje P entwässern helfen, aber umgekehrt Wasser in das Polje zu bringen, wenn der Zufluß in das Gerinne G so groß ist, daß er durch die Haupttröhre bei d nicht bewältigt wer-

den kann und daher Wasser durch die Gerinneabzweigungen auch zu 9 und 10 gedrängt wird. Der Ponor 9 wird seiner Lage nach naturgemäß früher ein Speischlund als 10, welcher unter Umständen jahrelang nur als Schluckschlund wirksam ist, ehe er sich wieder bei sehr großem Wasserandrang als Speischlund betätigt.

11 und 12 sind ausschließlich Saugschlünde, Ponore, die nur Wasser aufnehmen, aber keines zutage fördern. 11 wirkt ständig, 12 erst dann, wenn der Wasserspiegel im Polje darüber hinaus gestiegen ist (etwa bis zu der punktierten Linie). In diesem Falle wird die submarine Quelle 16 kräftig rinnen und dadurch intermittierend werden.

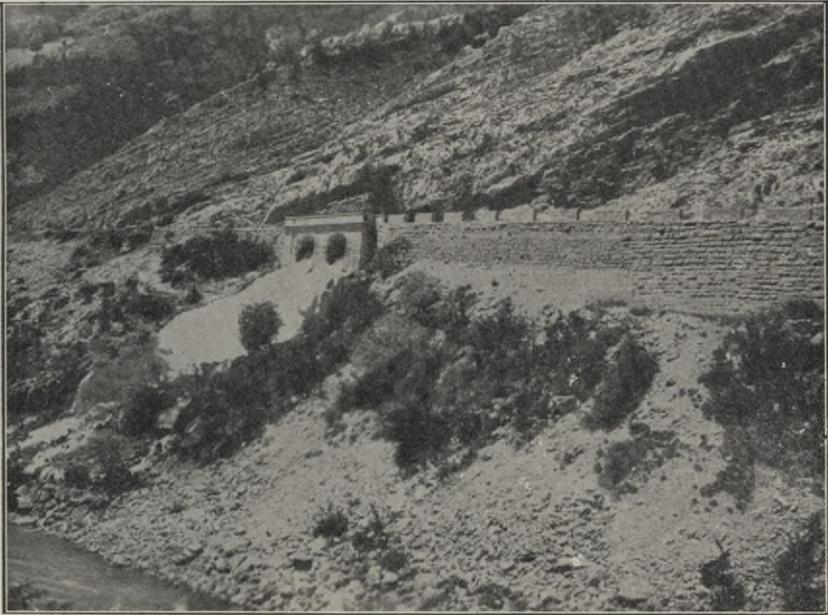


Fig. 133. Komadina-Quelle

13 eine viel höher als die Schluckschlünde gelegene Dauerquelle, eine Erscheinung, die in Poljenumrandungen sehr häufig ist und ganz unmöglich wäre, wenn die Dauerquellen von einem flächenweise von unten aufsteigenden Karstwasser gespeist sein sollten. Aus dem Höhlengerinne 14 wird Wasser nur dann in das Polje rinnen, wenn der Zufluß so stark ist, daß er durch 13 nicht ganz abgeleitet werden kann. 11 und 13 zeigen, wie übereinander befindliche Gerinne die Entwässerung des gleichen Karststockes in ganz verschiedenen Richtungen besorgen können.

15 Eine Brackwasserquelle (sog. Meermühle), die sich aus der Wirksamkeit des Saugdruckes in e in der bekannten Weise erklärt.

16 Submarine Süßwasserquelle von stark wechselnder Er-
giebigkeit (aus dem bei 12 angegebenen Grunde).

17 Eine vom tiefen Meeresgrund aufsteigende Süßwasser-
quelle, welche, wenn die Ponore 9 und 10 aus dem Polje P Wasser



Fig. 134. Vrioštica-Quelle

schlucken und das Gerinne heftig durchgewaschen wird, eine lokale
Trübung des Meeres bewirken kann.

In Fig. 133—135 gebe ich drei Abbildungen typischer Karstquellen,
die ich der Freundlichkeit von Herrn Dr. Friedrich Katzer in Serajewo
verdanke. Fig. 133 stellt die Komadinaquelle auf der rechten Narenta-
seite unterhalb Jablanica in der Herzegowina dar. Diese prächtige
Karstquelle im Narentadefilee kommt aus bankigen, oolithischen, viel

Krinoidenstielbrocken enthaltenden, wahrscheinlich dem Jura angehörenden Kalken und ihr Abfluß ist teilweise durch die Straße verbaut, stürzt aber in einem herrlichen schäumenden Wasserfalle zur Narenta herab.



Fig. 135. Tihaljina-Quelle

Fig. 134 gibt ein Bild der Vrioštica-Quelle bei Vitina, NW von Ljubuški in der Herzegowina bei Mittelwasser. Die Quelle strömt als starker Bach aus dem über 5 m hohen Felsentore aus Eozänkalk hervor.

Fig. 135 stellt nach einer Aufnahme von Ing. Andreasch die Tihaljina-Quelle in der Herzegowina nahe der dalmatinischen Grenze nordwestlich von Ljubuški bei Mittelwasser dar. Dr. Katzer schreibt mir dazu folgende erläuternde Worte:

Aus dem etwa 10 m hohen Felstor, über welchem in der Nordwand des Felskessels noch mehrere verlassene Ausmündungen von Grottengerinnen vorhanden sind, strömt die Tihaljina als mächtiger Bach hervor. Bei Hochwasser, im Frühjahr und nach lange anhaltendem Regen, ist sie ein reißender Fluß; bei Tiefwasser, nach andauernder Dürre, ein bescheidenes, sich zwischen dem Schutt mühselig hindurchschlängelndes Bächlein.

Die Tihaljina gilt als die wieder zutage tretende Fortsetzung der Vrlika, welche das Polje (Karstbecken) von Imotski (in Dalmatien) durchströmt und im herzegowinischen Anteile dieses Polje, am Süden des sog. Bijelo Polje unweit Drinovci, im Sajnovac-Ponor (Schluckschlund) verschwindet. Die direkte Entfernung von diesem zur Tihaljina-Quelle beträgt nur 2 km. Das vom unterirdischen Karstgerinne durchzogene Gebirge gehört der Kreide an.

Der Tihaljina-Fluß gabelt sich einige Kilometer von der Quelle abwärts und der Hauptarm heißt dann Mlade-Bach; der weitere Unterlauf des Flusses etliche Kilometer vor seiner Einmündung in die Narenta (unterhalb Capljina) führt den Namen Trebežat.

5. Artesisches Wasser

35. Kapitel

Begriffsbestimmungen und Geschichtliches

Unter artesischem oder Druckwasser verstehen wir, wie schon oben im 12. Kapitel ausgeführt, im Gegensatze zu dem gewöhnlichen Grundwasser mit luftbedeckter Oberfläche alles Grundwasser, dessen Oberfläche nicht mit durchlässigem luftgefülltem, sondern mit undurchlässigem Gestein grenzt. Wenn letzteres wasseraufnahmefähig ist, wie z. B. die Tongesteine, so ist es natürlich bis zur vollen Sättigung damit erfüllt und dann erst recht undurchlässig. Ganz gleichgültig ist die Gestalt der Grundwasseroberfläche: sie kann wagrecht liegen oder unter allen Winkeln bis fast zur senkrechten Stellung geneigt sein; sie kann eben sein oder gekrümmt in allen nur denkbaren Formen.

Zu jedem Druckwasser gehört ein Nährgebiet, in welchem der Wasservorrat sich ergänzt, und ein Abflußgebiet, in dem das Druckwasser an die Erdoberfläche als Quelle gelangt oder mit gewöhnlichem luftbedecktem Grundwasser sich vermischt. Man kann diese drei Gebiete als ein Druckwassersystem zusammenfassen. In jedem Druckwassersysteme führen Nährgebiet und Abflußgebiet gewöhnliches Grundwasser mit luftbedeckter Oberfläche; beim Nährgebiete ist dies unbedingte Voraussetzung, weil eine Speisung sonst ausgeschlossen wäre; beim Abflußgebiete ebenfalls, weil sonst der artesische Druck fortauern würde. Völlig fehlen darf keines der drei Glieder eines solchen Systems, wohl aber können ihre Abmessungen äußerst verschiedene Werte besitzen: das Nährgebiet kann gegenüber dem Druckgebiet riesengroß und winzig klein sein; von diesem Verhältnis hängt die Ergiebigkeit des artesischen Stromes ab. Dagegen sind Nährgebiet und Abflußgebiet selbstverständlich einander wenn auch nicht in der Größe, so doch in der Ergiebigkeit ähnlich.

Das Druckgebiet braucht räumlich nicht zwischen Nähr- und Abflußgebiet zu liegen, wengleich es in den meisten Fällen so sein wird. Es ist aber auch möglich, daß das Druckgebiet einen allseitig geschlossenen Körper darstellt und daß der Überschuß des Nährgebietes, ohne erst das Druckgebiet zu durchwandern, unmittelbar als Quelle wieder abfließt. Dann bildet das Druckwassergebiet gewissermaßen ein Anhängsel des Systems. Dies ist z. B. der Fall in Fig. 137, in welcher das Nährgebiet zwischen A und B und der Abfluß bei B liegt, während das Druckgebiet ein in der Tiefe allseitig geschlossenes Wasserreservoir darstellt.

Die Oberfläche jedes artesischen Wassers steht unter einem gewissen Druck. Die Druckhöhe ist abhängig von der Höhenlage des Wasserspiegels im Nährgebiete, von der Höhenlage des Abflusses und von dem Reibungsverluste des Wassers. Die Druckhöhe kann gemessen werden in Bohrlöchern an dem Betrage des Aufsteigens des Wassers in den Röhren, wobei diese gegebenenfalls erheblich über die Erdoberfläche zu verlängern sind, oder bequemer durch an der Oberfläche in die Bohrröhren eingebaute Manometer, die den Wasserdruck in Atmosphären angeben. Ein Druck von einer Atmosphäre entspricht dabei einem Auftriebe von 10 m. Im ersteren Falle sagt man z. B., das Wasser hat einen Auftrieb von 15 m über Gelände, im letzteren, der Wasserdruck beträgt an der Erdoberfläche $1\frac{1}{2}$ Atmosphären.

Die Druckhöhe des artesischen Wassers wird auch als sein piëzometrisches Niveau bezeichnet. Eine durch die sämtlichen Druckhöhenpunkte eines artesischen Wassers gelegte Ebene bezeichnen wir als seine Druckebene. Die einzelnen Teile einer Druckebene können entweder über der Erdoberfläche liegen, oder sie fallen in die Erde hinein. Erstere Gebiete, in denen das Druckwasser aus Bohrlöchern

frei über Tage ausfließen würde, werden als positive Druckebenenstücke, letztere, in denen das Wasser mehr oder weniger weit unter der Erdoberfläche zurückbleiben würde, als negative Druckebenenstücke bezeichnet. In der Grenzlinie beider steigt das Wasser genau bis zur Erdoberfläche empor.

Die Druckhöhe des artesischen Wassers kann in derselben Weise wie die Oberfläche des luftbedeckten, gewöhnlichen Grundwassers durch Schichtlinien dargestellt werden, die man als Linien gleichen artesischen Druckes oder als Wasserdruckschichtlinien bezeichnet.

Die Kunst, durch Bohrungen oder Brunnen Wasser zu erschließen, welches unter eigenem Drucke in der erbohrten Röhre bis nahe an die Erdoberfläche emporsteigt oder gar über dieselbe abfließt, ist uralte. Die Ägypter besaßen sie bereits in vorchristlicher Zeit und von letzteren hatte Moses es gelernt, „Wasser aus dem Felsen zu schlagen“. Schon 2000 Jahre v. Chr. waren die Oasen von Theben, Gharb und Dachel mit zahllosen der Bewässerung dienenden artesischen Brunnen durchsetzt, deren Tiefe bis zu 2—300, ja nach dem Berichte Olympiodors (erste Hälfte des 5. Jahrh. v. Chr.) sogar bis 500 Ellen betragen haben soll. In Europa wurde diese Kunst erst im 12. Jahrhundert und zwar zuerst in Artois im südlichen Frankreich eingeführt. Der um 1126 gegrabene Brunnen im Karthäuserkloster zu Lillers in Artois ist der älteste artesische Brunnen Europas. Daher haben derartige Brunnen den Namen artesische erhalten. Die geringe Entwicklung der Bohrtechnik und die großen Kosten, welche solche Bohrungen verursachten, hinderten lange ihre Verbreitung; erst aus dem 17. Jahrh. werden artesische Brunnen aus den Gebieten von Modena, Bologna und Niederösterreich erwähnt; aber seit ungefähr 75 Jahren hat die fortgeschrittene Bohrtechnik ihre Zahl in allen Teilen der Erde ganz erstaunlich vermehrt, so daß die Menge des auf diese Weise zutage geförderten Wassers heute Ströme von gewaltiger Größe liefern würde.

Ausführliche Angaben über die Geschichte der artesischen Brunnen finden sich in: C. Corazza, Geschichte der artesischen Brunnen, Leipzig und Wien, Fr. Deuticke 1902.

36. Kapitel

Lagerungsformen der Gesteine zur Erzeugung artesischen Wassers

Die einfachste und verständlichste, in Lehrbüchern am meisten verbreitete Darstellung der Entstehung artesischen Wassers ist die aus der muldenförmigen Lagerung der Schichten sich herleitende. Sie ist aber weit weniger verbreitet, als die zahlreichen anderen Lagerungs-

formen der Gesteine, die zur Erzeugung von Druckwasser führen und die wir in folgender Weise einteilen können:

1. Muldenförmige Lagerung,
2. Flexur,
3. Geneigte Lagerung wechselnd durchlässiger und undurchlässiger Schichten,
4. Anlagerung undurchlässiger Schichten,
5. Einlagerung undurchlässiger Schichten,
6. Nach oben abnehmende Durchlässigkeit konkordanter Schichten,
7. Spalten- und Hohraumbildung.

I. Muldenförmige Lagerung

Wir sehen in A eine muldenförmig gelagerte durchlässige Schicht, die in dieser wie in allen folgenden Abbildungen punktiert ist. Nach oben und nach unten hin wird sie begrenzt durch undurchlässige (schraffierte) Bildungen C und B. Die im Ausstrichsgebiete von A niederfallenden Wasser oder die über das Ausstrichsgebiet der durchlässigen

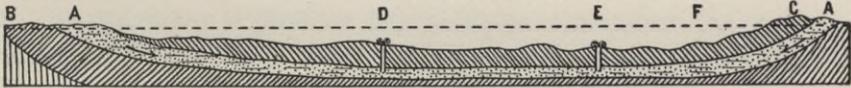


Fig. 136

Schichten hinweg fließenden Flüsse und Bäche geben ihr Wasser an die wasseraufnahmefähige Schicht ab und in dieser sinkt es in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung in die Tiefe. Es sammelt sich im tiefsten Teile der Mulde an, seine Oberfläche steigt allmählich höher und höher und im Laufe der Zeit kommt es schließlich zu einer vollständigen Sättigung der betreffenden Schicht mit Wasser. Wenn wir nun im Innern der Mulde ein Bohrloch niederbringen (D und E unserer Fig. 136), so würde dieses nach Durchstoßung der undurchlässigen Schicht C den Wasserträger erreichen. In dem Augenblick, wo dies geschieht, muß das Wasser über der Erdoberfläche im Bohrrohre zutage treten, da der Ansatzpunkt des Bohrloches tiefer liegt als die Oberfläche F des Grundwasserspiegels im Infiltrationsgebiete, die durch die punktierte Linie in Fig. 136 bezeichnet wird.

Eine derartige Entstehung artesischen Wassers kommt in der Natur tatsächlich vor. Wir werden diese Verhältnisse bei einem berühmten Beispiel, nämlich den artesischen Brunnen von Passy und Grenelle bei Paris, noch näher kennen lernen. Was aber ihre Verbreitung in der Natur anbetrifft, so spielt diese Lagerungsform eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle, gegenüber anderen und einfacheren, die wir ebenfalls noch näher zu betrachten haben werden.

Wenn wir bei der einfachen Muldenform stehen bleiben und zunächst die verschiedenen Möglichkeiten der Schichtenlagerung betrachten, so erkennen wir, daß es deren eine ganze Anzahl gibt. Zunächst einmal kann, wie es in Fig. 137 angedeutet ist, die wasserführende Schicht einer solchen Mulde sich in einer bestimmten Richtung auskeilen, das heißt immer dünner und dünner werden, bis sie schließlich endigt. Dann endet natürlich auch ihre Wasserführung, und die Möglichkeit der Erbohrung artesischen Wassers ist auf den wasserführenden Teil der Mulde, also auf die Strecke C—F unserer Figur beschränkt. In anderen Fällen,

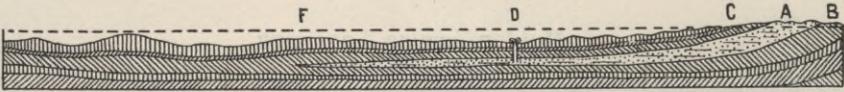


Fig. 137

wie ihn beispielsweise Fig. 138 darstellt, keilt sich die wasserführende Schicht nicht aus, sondern wird durch Veränderung ihres Charakters immer weniger wasseraufnahmefähig und schließlich undurchlässig. Bei sandigen Bildungen kann dieser Fall eintreten durch zunehmende Feinheit der einzelnen Körner oder durch Aufnahme toniger Teile, welche die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnern erfüllen, oder durch eine vollständige Verkittung des Sandes zu festem Sandstein. In diesen Fällen kann bei D noch artesisches Wasser erbohrt werden, während bei E in einem im übrigen sich völlig gleichbleibenden geologischen

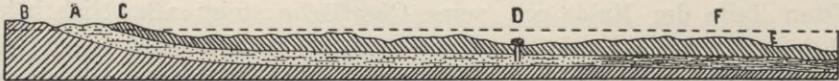


Fig. 138

Profile eine Bohrung erfolglos bleiben würde. Solche Verhältnisse erklären es, daß unter anscheinend gleichen geologischen Verhältnissen von zwei benachbarten Bohrungen die eine artesisches Wasser liefert, während die andere ergebnislos bleibt.

Erheben sich die Schichten im Innern der Mulde und im Hangenden des Druckwassers über den Ausstrich der wasserführenden Schicht (Fig. 143), so ist die durch F laufende Druckebene größtenteils negativ. Nur bei D könnte noch ausfließendes Wasser erbohrt werden, während bei m das Wasser weit unter der Erdoberfläche zurückbleiben würde.

Wenn in einer ringsum geschlossenen Schichtenmulde mehrfach durchlässige und undurchlässige Bildungen wechseln, so können ziemlich

mannigfaltige Verhältnisse eintreten, von denen einige in den folgenden drei Figuren vorgeführt sein mögen.

Wenn, wie Fig. 139 darstellt, die Mulde mit ihrem innersten Teile am tiefsten liegt und nach den Rändern hin ansteigt, so daß, je älter eine Schicht ist, sie in desto höherem Niveau zutage ausstreicht, so

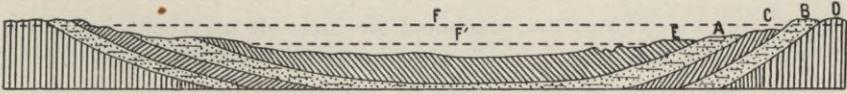


Fig. 139

wird die Steighöhe des in der Schicht A vorhandenen Grundwassers durch F' , die Steighöhe des in der Schicht B vorhandenen Grundwassers dagegen durch F bezeichnet, so daß aus einem tieferen, die Schicht B erreichenden Bohrloche das Wasser mit höherem Drucke austreten muß als aus einem flacheren, das nur bis in die Schicht A reicht. Der umgekehrte Fall ist in Fig. 140 dargestellt. Er tritt ein, wenn die Ränder

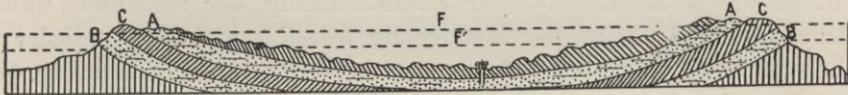


Fig. 140

der Mulde erniedrigt sind, so daß die tiefere Schicht B in einem niedrigeren Niveau zutage tritt als die Schicht A. Dementsprechend muß das in A erbohrte Wasser einen bis F reichenden Druck besitzen, während das in der Schicht B erbohrte Grundwasser nur bis F' aufsteigt. Ist in dem letztgenannten Falle die die beiden wasserführenden Schichten trennende Lage C nicht undurchlässig, sondern von Klüften



Fig. 141

und Spalten durchzogen (Fig. 141), so findet ein Austritt von Wasser aus der Schicht A in die Schicht B statt und gleichzeitig damit eine Erniedrigung des Druckniveaus der Schicht auf dasjenige der Schicht B. Bohrungen bei G und H werden nur dann ausfließendes Wasser liefern, wenn der Wasserverlust durch die Klüfte zwischen A und B nicht genügt, um das Druckniveau von A vollständig auf dasjenige von B zu senken.

2. Flexur

Eine der verbreitetsten Lagerungsformen der Gesteine, durch welche Druckwassergebiete erzeugt werden können, ist die sogenannte Flexur. Wie wir bereits auf S. 38 gesehen haben, besteht ihre wesentliche Eigenschaft darin, daß annähernd horizontal gelagerte oder doch nur ganz schwach geneigte Schichtengruppen sich plötzlich mehr oder weniger steil aufrichten, um, nachdem sie sich oft um recht bedeutende Beträge erhoben haben, wieder in die ungestörte Lagerungsform zurückzukehren. Selbstverständlich liegen in der Natur die Verhältnisse nicht so einfach; die Flexuren besitzen nicht den völlig ungestörten Bau, wie

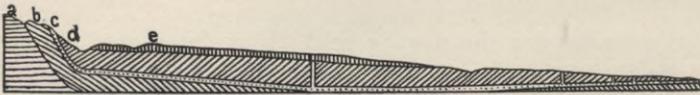


Fig. 142

ihn unsere schematische Abbildung zeigt. In den Gebieten ihrer intensivsten Aufrichtung, die uns zumeist als Gebirge entgegentreten, ist vielmehr durch die Erosion der Zusammenhang der Schichten unterbrochen, so daß die an der Aufbiegung beteiligten Schichtenglieder in mehr oder weniger großen Flächen zutage austreichen, wie es Fig. 142 darstellt. Nun brauchen nur in einer solchen in Flexurstellung befindlichen Schichtenfolge durchlässige mit undurchlässigen Schichten zu wechseln, um die Vorbedingung für die Schaffung artesischer Wasserhorizonte zu erfüllen. Der auf das Wasser in dem tieferen, horizontalen Schenkel der Flexur ausgeübte Druck ist um so höher, je stärker die



Fig. 143

Aufbiegung des Mittelschenkels ist und je höher über der Ebene sich die Ausstrichsfläche der durchlässigen Schichten befindet. Wenn durch nachträgliche Ablagerung von Schichten der Ausstrich des aufgebogenen Schenkels der Flexur in tieferem Niveau liegt als der ebene Teil, wie es Fig. 143 andeutet, so tritt der Fall ein, daß in vielen Bohrlöchern, z. B. m, das Wasser zwar noch aufsteigt, aber um einen mehr oder weniger erheblichen Betrag unter der Erdoberfläche zurückbleibt.

Die Wassermassen, die im Gebiete des Ausstrichs der durchlässigen Bildungen, sei es durch die Atmosphärien, sei es durch darüberhinweg sich bewegende oberirdische Gewässer infiltriert werden, sinken auf der Flexur in die Tiefe, strömen auf der nur wenig geneigten oder ganz

horizontal gelagerten Tafel vom Gebirge weg und erfüllen die durchlässigen Gesteinsbänke in ihrer ganzen horizontalen und vertikalen Erstreckung oder sie füllen die sämtlichen im Wasserträger vorhandenen Klüfte und Spalten aus, und der Druck, unter dem sie stehen, ist um so höher, je größer die Differenz der absoluten Höhe zwischen dem Sammelgebiet und dem mehr oder weniger horizontalen unterirdischen Wasserbecken ist. Flexuren von größerer Ausdehnung sind immer tektonischer Art, also durch Bewegungen der Erdkruste veranlaßt, während solche kleinen Umfanges auch durch die stauenden und faltenden Einwirkungen des Inlandeises hervorgerufen sein und so auch in den losen Schuttböden ehemals vergletscherter Gebiete ihre Rolle spielen können.

3. Geneigte Lagerung wechselnd durchlässiger und undurchlässiger Schichten

Selbst die Aufbiegung der Schichten in der Flexur ist entbehrlich für die Entstehung unterirdischen Druckwassers, da selbst die einfachsten

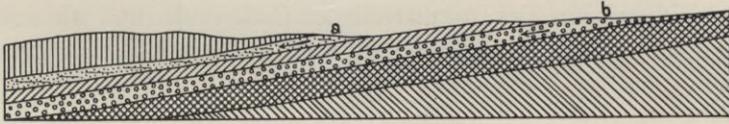


Fig. 144

Lagerungsformen durchlässiger und undurchlässiger Schichten alle Vorbedingungen zu erfüllen vermögen. Wenn wir annehmen, daß in einem Gebiete die Oberfläche nach irgend einer Richtung eine etwas schwächere Neigung besitzt als die unter ihr lagernden, nur wenig geneigten Schichten, und wenn unter diesen Schichten sich irgend welche Differenzen in der Durchlässigkeit zeigen, so kann artesisches Wasser erzeugt werden. In unserem Falle (Fig. 144) würden die durchlässigen Schichten a und b, welche zwischen durchlässigen Bildungen lagern, da, wo sie zutage austreichen, das Wasser in sich aufnehmen und es in der Richtung der flach geneigten Tafel in die Tiefe führen, aus der es durch Bohrungen allenthalben wieder an die Oberfläche oder in eine geringe Tiefe unter ihr befördert werden könnte.

4. Anlagerung undurchlässiger Schichten

Ein weiterer sehr einfacher Fall der Entstehung artesischen Wassers ist in Fig. 145 dargestellt. Es kann nämlich ein gewöhnlicher Grundwasserstrom dadurch zum artesischen Wasser werden, daß sich auf die durchlässigen Schichten eine undurchlässige Bank auflagert, die mit ihrer Unterkante bis zum Grundwasserspiegel hinunter reicht. Ein

solcher Fall tritt häufiger in den quartären Bildungen auf, wo undurchlässige Grundmoränen und Tonmergel die Rolle der wasserstauenden Schicht spielen.

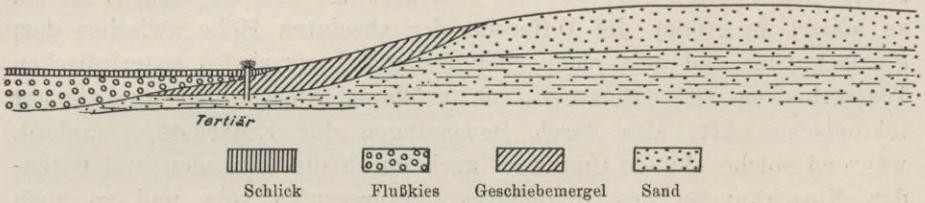


Fig. 145

5. Einlagerung undurchlässiger Schichten

Es ist nicht einmal nötig, daß die undurchlässigen Schichten, unter denen und durch die das Wasser unter Spannung gebracht wird, weithin durchlaufen. Es genügt sogar, wenn dieselben ausgedehntere Einlagerungen in sonst durchlässigen Bildungen darstellen. Gordon¹⁾ beschreibt unter Beigabe der nachstehenden Fig. 146 einen solchen Fall aus dem Untereozän des nordwestlichen Louisiana und südlichen Arkansas. Die Schichten sind vorwiegend sandig, mit unregelmäßigen

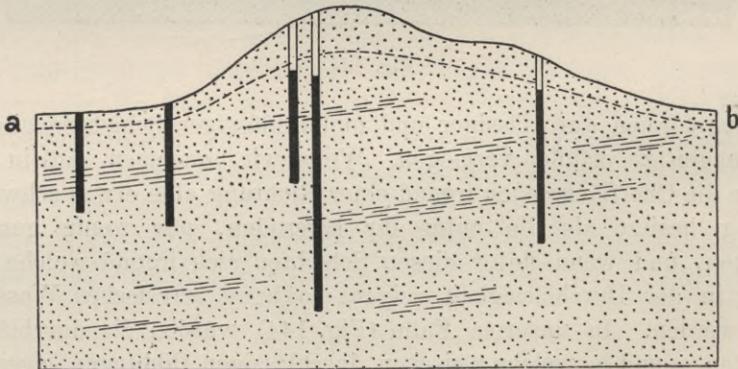


Fig. 146

zusammenhangslosen Toneinlagerungen. Das Wasser kann verhältnismäßig leicht an jede beliebige Stelle der Schichtenfolge gelangen und der hydraulische Auftrieb hängt weniger von der örtlichen Lage des Grundwasserspiegels ab als von seiner Lage am Ausstrich der wasserführenden Schichten. Auf diese Weise können, wie die schwarzen Füllungen in Fig. 146 dies andeuten, die einen Brunnen ihr piëzo-

¹⁾ Gordon, C. H., Geology and underground waters of northeastern Texas. U. S. Geol. Survey, Water Supply Paper 276. Washington 1911.

metrisches Niveau unter dem Grundwasserspiegel, die anderen (die beiden Bohrungen links in der Figur) dagegen über der Erdoberfläche besitzen.

6. Nach oben abnehmende Durchlässigkeit konkordanter Schichten

Selbst Unterschiede in der Leitungsfähigkeit und Durchlässigkeit können in einem petrographisch gleichartigen Schichtenkomplexe zur

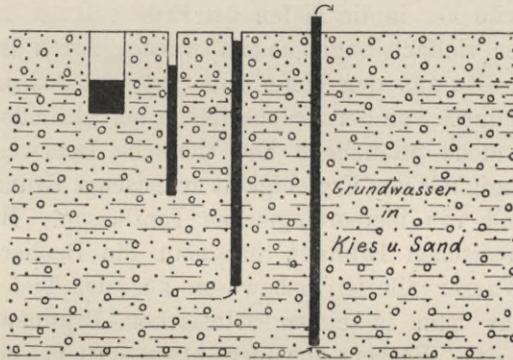


Fig. 147

Entstehung von Druckwasser führen. In Flußtälern mit kräftigem Gefälle nimmt von der Oberfläche nach der Tiefe die Korngröße der Ablagerungen und damit ihre Durchlässigkeit gewöhnlich zu und der Druckverlust des Wassers durch Reibung nimmt nach der Tiefe ab. Daher beobachtet man in solchen Fällen ein mit der Tiefe der Brunnen oder Bohrlöcher wachsendes Aufsteigen des Wassers (Fig. 147).

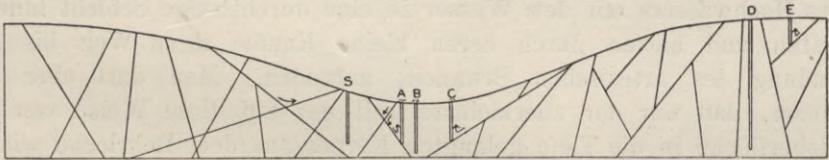


Fig. 148

7. Spalten- und Hohlraumbildung

Nicht minder einfach sind die Gesetze des artesischen Wassers in massigen zerklüfteten Gesteinen, deren Klüfte wassererfüllt sind. Wird in solchem Gestein, z. B. in klüftigem Granit, eine Bohrung niedergebracht (Fig. 148) und trifft dieselbe eine Kluft oder Spalte unterhalb des vom Spaltenwasser eingenommenen Niveaus an, so steigt das Wasser entweder bis über Tage empor, oder es bleibt um einen größeren oder kleineren Betrag unter der Oberfläche zurück, je nach der Höhenlage des Ansatzpunktes der Bohrung gegenüber dem Wasserspiegel in der speisenden Gesteinskluft.

37. Kapitel

**Die Herkunft des artesischen Wassers und
die Entstehung des hydrostatischen Druckes; Wärmeverhältnisse**

Es ist heute als feststehend anzusehen, daß das artesische Wasser von der Oberfläche her in die Tiefen der Erde gelangt und daß es nicht etwa, wie früher vielfach angenommen wurde, durch irgendwelche geheimnisvollen Kräfte aus der Tiefe emporgetragen wird. Es wird dies bewiesen einmal durch von der Erdoberfläche herrührende, im artesischen Wasser aufgefundene pflanzliche und tierische Lebewesen und sodann durch die Abhängigkeit der Ergiebigkeit artesischer Brunnen vom Grundwasserstande und von meteorologischen Einflüssen. Bei einer großen Anzahl von artesischen Brunnen hat man die Beobachtung gemacht, daß mit dem Wasser allerlei Lebewesen aus der Tiefe emporgetragen werden. So hat man in einem artesischen Brunnen in Tours beobachtet, daß das Wasser aus der etwa 110 m langen Brunnenröhre während mehrerer Stunden mit großer Mächtigkeit auslief und eine Menge feinen Sandes mit sich führte, in welchem sich Pflanzenstengel und Schalen von Land- und Süßwasserschnecken befanden. Unter den Pflanzenresten ließ sich *Galium uliginosum* erkennen, und unter den Schnecken konnten *Planorbis marginatus*, *Helix rotundata* und *Helix striata* festgestellt werden. Du Jardin schloß aus der Beschaffenheit der Reste, daß sie drei bis vier Monate vorher die Erdoberfläche verlassen hätten. Wahrscheinlich waren sie bei Gelegenheit eines Hochwassers mit dem Wasser in eine durchlässige Schicht hineingeraten und hatten durch deren kleine Kanäle ihren Weg bis zur Mündung des artesischen Brunnens gefunden. Man darf aber annehmen, daß nur der aller kleinste Teil der auf diese Weise von der Erdoberfläche in die Tiefe gelangten Körper aus dem Bohrloche wieder zum Vorschein kommt, während sich der größte Teil auf seinem Wege durch das Gestein an den verschiedensten Stellen festsetzen muß. Von einem Brunnen bei Bochum i. W. wurden aus 45 m Tiefe kleine, 8 bis 10 cm lange Fische ausgeworfen, obwohl sich in einem Umkreise von mehr als 10 km kein von Fischen bewohntes Gewässer vorfindet. Besonders bekannt geworden und genau untersucht ist der große Reichtum an Konchylien, Fischen und Süßwasserkrabben in den artesischen Brunnen der algerischen Sahara. Hier wurden mit dem artesischen Wasser kleine Süßwasserkrabben (*Telphusa*), Süßwasserschnecken und kleine Zaknkarpfen (*Cypriniden*) in größerer Menge zutage befördert und jeder Irrtum wurde dadurch ausgeschlossen, daß die Mündung des Brunnenrohres mit einem ringsum fest anliegenden engmaschigen Netze

verschlossen wurde, in dem die ausgeworfenen Lebewesen zurückgehalten wurden.

Der zweite Umstand, der ebenfalls in überzeugender Weise dafür spricht, daß die artesischen Wasser durch die atmosphärischen Niederschläge gespeist werden, ist die Abhängigkeit der Wassermenge von verschiedenen Faktoren der Erdoberfläche. So hat man bei dem Rollmannsbrunnen bei Herne, aus dem das Wasser frei ausfließt, in den 40er Jahren durch Messungen die Abhängigkeit der Ergiebigkeit von der Menge der atmosphärischen Niederschläge in den verschiedenen Jahren festgestellt. Dieser Brunnen lieferte in der Minute

im Jahre 1846	25,75	Kubikfuß	bei	25,16	Zoll	Regen
„ „	1847	21,8	„	„	21,8	„
„ „	1848	24,1	„	„	29,00	„
„ „	1849	20,7	„	„	24,7	„

Bei artesischen Brunnen, die in der Nähe des Meeres liegen, hat man ebenfalls Unterschiede im Ertrage unter der Einwirkung von Ebbe und Flut beobachten können. Der artesische Brunnen im Militärhospital zu Lille zeigt trotz der beträchtlichen Entfernung vom Meere den Wechsel von Ebbe und Flut an. Bei Fulham in der Nähe der Themsemündung lieferte eine 97 m tiefe Bohrung unter der Einwirkung der Flut 363 l, dagegen unter dem verminderten Drucke der Ebbe nur 273 l. Andere Brunnen, die noch näher zum Meere liegen, zeigen während der Flut ein frei ausfließendes Wasser, während ihr Spiegel während der Ebbe unter der Erdoberfläche zurückbleibt.

Das Wiederzutagetreten artesischen Wassers, sei es in künstlichen Bohrlöchern, sei es auf natürlichen Austrittswegen, ist unter allen Umständen auf den hydrostatischen Druck zurückzuführen. Es ist mehrfach der Gedanke ausgesprochen, z. B. von Jentzsch anlässlich der unten zu erwähnenden Katastrophe von Schneidemühl und von Torquist bezüglich der artesischen Gewässer im Paläozoikum des nördlichen Ostpreußen, daß der Auftrieb des Wassers auf dem Drucke der dem Wasserträger auflagernden undurchlässigen Schichten beruhe. Schon Stapff hat gezeigt, daß ein derartiges Auspressen von Wasser aus einer Schicht nur dann möglich ist, wenn die einzelnen Körner des Wasserträgers zermalmt werden, so daß sie ein geringeres Volumen einnehmen. Dies trifft aber niemals zu und deshalb ist die Annahme des hydrostatischen Druckes die einzig zulässige. Wenn Torquist glaubt, daß der Druck des artesischen Wassers in Ostpreußen im Falle dieser Annahme auf den Ural oder die Karpathen zurückzuführen sei, so ist das ungeheuer übertrieben, denn da die Austrittspunkte der in Frage kommenden Bohrungen bei Memel und Purmallen nur wenig über dem Meeresspiegel liegen und der Auftrieb des Wassers über die Erdoberfläche nur eine Anzahl von Metern beträgt, so genügt natürlich eine

Erhebung des Wasserspiegel im Hinterlande um 50 m vollkommen zur Erklärung der Erscheinung. Solche Gebiete aber, die sich über 100 und selbst über 200 m Meereshöhe erheben, gibt es in Ostpreußen selbst in hinreichender Menge. Es ist nicht wahrscheinlich, daß die wasserführende Schicht selbst zu der erforderlichen Höhe sich erhebt, wohl aber kann sie durch tektonische Störungen oder durch tiefgreifende glaziale Erosion in Verbindung treten entweder mit Wasser der Kreideformation oder noch wahrscheinlicher mit solchen des Glazialdiluviums, so daß der hohe Druck sich in einfachster Weise erklärt.

Jentzsch hat ferner die Meinung ausgesprochen, daß der Auftrieb des artesischen Wassers auf die kleinen mikroseismischen Pulsationen der Erde zurückzuführen, daß er also nicht hydrostatisch, sondern hydrodynamisch sei; für die Richtigkeit dieser Ansicht sind aber m. E. nicht die geringsten Beweise beigebracht.

Wenn wir den einfachsten Fall annehmen, daß in einem muldenförmig gebauten Schichtensystem durchlässige und undurchlässige Gesteine miteinander abwechseln, so bewegen sich die in letzteren versinkenden Wasser natürlich, der Schwere folgend, nach unten. Sobald sie oben und unten von undurchlässigen Bildungen begrenzt werden, können sie ihren Weg nicht mehr fortsetzen, sie stehen unter dem Druck der darüber liegenden Wassersäule und müssen sich wie in kommunizierenden Röhren entsprechend den Biegungen und Windungen der Schichten bald aufwärts, bald abwärts bewegen. Wenn ein solches Schichtensystem von der Erosion an einer Stelle angeschnitten wird, die tiefer liegt als der offene Wasserspiegel im Speisungsgebiet der Schichten, so müssen an dieser Stelle die Wasser als sprudelnde Quelle zutage treten. Werden die tieferen Teile einer solchen Mulde durch Bohrungen angezapft, so muß sich das Bohrloch bis zu einer dem Drucke entsprechenden Höhe mit Wasser füllen. Sehr viel häufiger tritt jedoch der Fall ein, daß das Wasser auf geneigten Schichten in der Tiefe lagert und seinen Weg so lange fortsetzt, bis das Schichtensystem durch eine Verwerfungslinie abgeschnitten wird oder bis es seitlich von undurchlässigen Eruptivgesteinsgängen oder -stöcken oder von Erzgängen abgeschnitten wird. In solchen Fällen dient entweder die Verwerfungsspalte selbst oder das entlang von Mineral- und Gesteinsgängen mehr oder weniger gelockerte Nebengestein als kommunizierende Röhre, durch die das Wasser unter Zurücklegung eines viel kürzeren Weges und selbstverständlich auch in viel kürzerer Zeit, als zum Abstieg erforderlich war, wieder an die Oberfläche gelangen kann.

Die Temperatur, mit welcher artesisches Wasser die Erdoberfläche erreicht, ist selbstverständlich abhängig von der Tiefe, bis zu welcher der es speisende Wasserstrom hinabgeht. Es wird eine um so höhere Temperatur haben, je beträchtlichere Tiefen das Wasser erreicht hat,

und zwar ist diese Temperatur zurückzuführen auf die der geothermischen Tiefenstufe (S. 130) entsprechende Wärmezunahme nach unten hin. Selbst bei Bohrlöchern von nur einigen hundert Metern Tiefe hat man Temperaturen beobachtet, welche die des gewöhnlichen Grundwassers um ein Bedeutendes überschreiten. Bei dem Brunnen von Grenelle z. B. beträgt die Temperatur, mit welcher das Wasser die Oberfläche erreicht, $27,6^{\circ}$ C. Bei dem fast 700 m tiefen Brunnen von Rehme beträgt die Temperatur des ausfließenden Wassers $33,6^{\circ}$ C. Noch viel bedeutendere Temperaturen kommen da vor, wo artesisches Wasser aus großer Tiefe verhältnismäßig schnell zutage emporsteigt. Derartige Wasser werden wir in späteren Kapiteln noch näher kennen lernen.

38. Kapitel

Messung der Druckverhältnisse und Wasserdruck-Karten

Artesisches Wasser steht an jeder Stelle unter einem bestimmten Drucke. Der Druck kann gemessen werden in Bohrlöchern und ausgedrückt werden durch die Höhe, bis zu welcher der Wasserspiegel im Bohrloche emporsteigt. Liegt dieser Steigpunkt oberhalb der Erdoberfläche, so müßte man, um den Auftrieb unmittelbar zu messen, das Bohrloch so weit nach oben verlängern, bis das Wasser nicht mehr oben ausfließt. Ein solches Verfahren ist aber nicht nötig; man kann den Druck unmittelbar an jeder beliebigen Stelle des Bohrloches messen, indem man auf letzteres einen Manometer aufsetzt und nun an dem Atmosphärendruck die Steighöhe des Wassers berechnet, wobei jede vom Manometer angezeigte Atmosphäre einem Auftriebe des Wassers von 10 m entspricht. Die Ebene, bis zu welcher das Wasser steigt, bezeichnen wir als sein piëzometrisches Niveau oder als seine Druckebene. Wenn wir in einem mit zahlreichen artesischen Brunnen versehenen Gebiete Gelegenheit haben, die Druckhöhe eines und desselben Stromes an einer großen Anzahl von Stellen zu ermitteln, so können wir uns in derselben Weise wie beim Grundwasser Linien und Flächen konstruieren, die wir als Wasserdrucklinien und -Flächen graphisch darstellen können. Die Fig. 149 auf S. 276 gibt ein derartiges Wasserdrucklinienbild aus der Lausitz in der Gegend zwischen Ruhland und Elsterwerda. Dort sitzen die artesischen Wasser innerhalb der Braunkohlenformation und sind nach oben hin von undurchlässigen tertiären Schichten bedeckt. Eine große Anzahl im Interesse der Ausbeutung der Braunkohle niedergebrachter Bohrungen ermöglichte die Herstellung einer Druckkarte für ein größeres Gebiet, die in vortrefflicher Weise die sehr verschiedenartig wechselnden Druckverhältnisse wiederspiegelt. Wo die Kurven einer solchen Karte sich zusammendrängen, ist es ein

Zeichen dafür, daß die Schichten, in denen sich das Wasser bewegt, außerordentlich schwer durchlässig sind. Wenn dagegen das Druckniveau in einer großen Fläche konstant bleibt, so liegt dies daran, daß der Grundwasserträger hier gleichmäßig durchlässig ist.

Außerordentlich interessant ist die im südwestlichen Teile der dargestellten Fläche liegende tiefe Depression des Druckniveaus, die mit einer sich auf längere Erstreckung durch die Braunkohlenformation

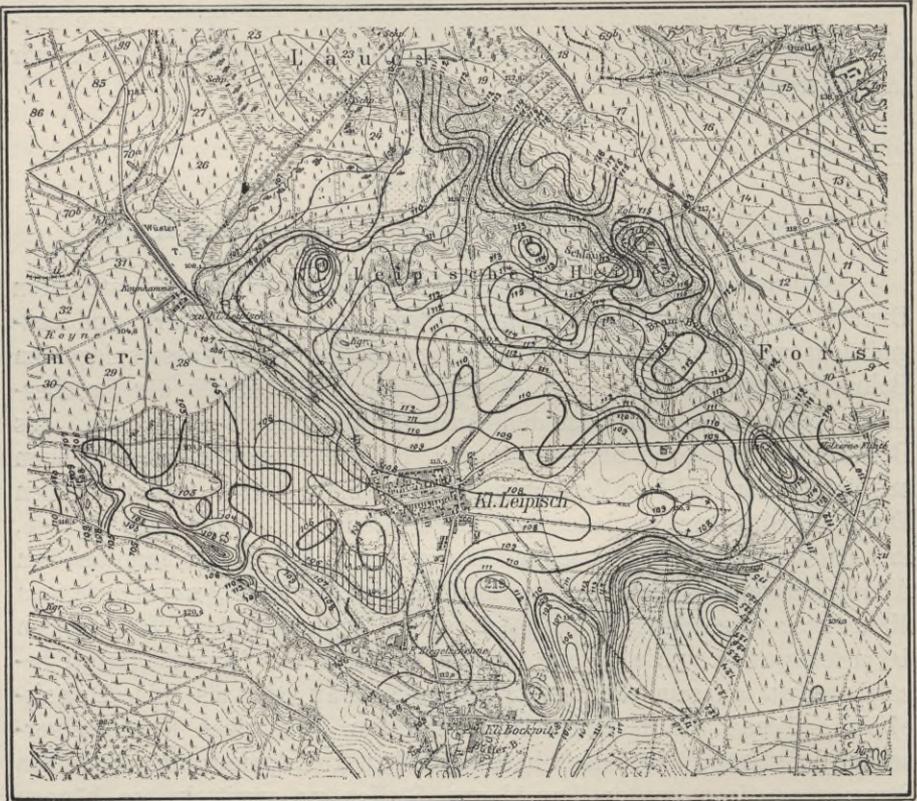


Fig. 149. Wasserdruckschichtlinien in dem Druckwassergebiete von Kl. Leipsch.
Die senkrecht schraffierte Fläche bezeichnet ein positives Druckgebiet.

Maßstab 1 : 50 000.

hindurchziehenden Zone intensivster Schichtenstörung zusammenfällt. Es wird dadurch bewiesen, daß durch solche Schichtenstörungen das gesamte Wasser-Regime so stark beeinflußt wird, daß auf der anderen Seite einer solchen Störung überhaupt kein Druckwasser mehr vorhanden ist. Der artesische Druck wird also durch eine derartige Schichtenstörung völlig ausgelöscht und das artesische Wasser geht in gewöhnliches luftbedecktes Grundwasser über.

Die Druckebene liegt nun unter der Erdoberfläche, wenn das aufsteigende Wasser nicht bis zu dieser gelangt, sie steigt über die Erdoberfläche empor im entgegengesetzten Falle, wenn das Wasser frei über Tage ausfließt. Wir bezeichnen erstere als negative, letztere als positive Oberflächenstücke. Auf der Linie, in der beide sich schneiden, muß natürlich das Wasser genau bis an die Erdoberfläche steigen. Ist die Oberfläche durch Höhenlinien dargestellt, die auf denselben Nullpunkt bezogen sind, wie die Druckhöhenlinien, so kann man durch unmittelbaren Vergleich beider die Grenze zwischen positiver und negativer Oberfläche genau festlegen. Aus dem Gesagten geht hervor, daß in einem Druckwassergebiete in einem Tale, welches in das Gelände tief eingeschnitten ist, eine Bohrung unter Umständen mächtig ausfließendes Wasser liefern kann, während dieses in einer benachbarten, auf der Hochfläche angesetzten Bohrung tief unter der Erdoberfläche zurückbleibt (vergl. Fig. 143). Die Steighöhe des Wassers über der Erdoberfläche ist natürlich außerordentlich großen Schwankungen unterworfen und erreicht in besonders günstigen Fällen, wie wir sie bei Besprechung der artesischen Wasserverhältnisse in den Staaten Nebraska und Dakota der Union noch kennen lernen werden, 200 m.

Die einfachen hydrostatischen Gesetze kommunizierender Röhren lassen sich nicht anwenden, wenn die Schichten, in denen sich das Grundwasser bewegt, keine geschlossene Mulde bilden, sondern wenn der absteigende Ast des Grundwasserträgers an irgend einer Stelle von der Erosion angeschnitten und gezwungen wird, als Quelle abzufließen.

An solchen Stellen vermag das artesische Wasser dauernd zu entweichen, und für den Abfluß tritt aus dem benachbarten Druckgebiete und schließlich aus dem Nährgebiete ein Ersatz ein, so daß es sich in solchen Fällen nicht um ein Reservoir mit stehendem Wasser, sondern um einen fließenden Druckwasserstrom handelt. Das Gesetz, nach welchem das Aufsteigen des Wassers in Bohrlöchern in diesem Falle erfolgt, läßt sich am besten aus dem in Fig. 150 dargestellten kleinen physikalischen Versuch verstehen. Das Gefäß A hat bei C einen Ausfluß, der am anderen Ende B durch einen Hahn geschlossen ist. Aus dem Abflußrohr B—C erheben sich drei Röhren von derselben Höhe wie A. Solange das Rohr B—C bei B geschlossen ist, steht das Wasser in den drei Röhren in derselben Höhe wie im Gefäß A. Sobald aber der Hahn B geöffnet wird, sinkt der Wasserspiegel in den Abflußröhren und zwar am stärksten in derjenigen, die B am nächsten liegt, am wenigsten in derjenigen, die A am nächsten liegt. Wenn wir diese

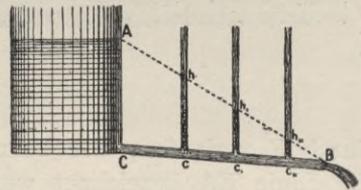


Fig. 150

Absenkungsniveaus miteinander verbinden, so erkennen wir, daß sie nahezu eine gerade Linie bilden, die den Wasserspiegel von A mit dem Ausflußpunkt B verbindet. Mit anderen Worten: der Druck in den einzelnen Röhren ist proportional dem Abstände der einzelnen Punkte c , c_1 , c_2 , von dem Ausflußpunkte bei B. Es ist klar, daß wir bei diesem einfachen Versuch in dem Wasserspiegel des Gefäßes A uns den gewöhnlichen Grundwasserspiegel des Nährgebietes vorzustellen haben, in C das Druckgebiet und in B das Abflußgebiet eines Druckwassersystems, und daß die Bohrungen durch die drei Röhren c , c_1 und c_2 dargestellt werden. Wir können daraus den Schluß ziehen, daß die Steighöhe des Wassers in den verschiedenen Teilen eines Druckgebietes große Unterschiede aufweisen kann, sobald dieses in seinen tieferen Teilen durch natürliche Quellen abgezapft wird. Zugleich erkennen wir daraus, wie sehr in einem solchen Falle die Erbohrung zutage tretenden Wassers eingeschränkt ist. So würde in dem in nachstehender Fig. 151 dargestellten Falle, in dem A das Nährgebiet und E einen natürlichen Quellenabfluß darstellt, die Drucklinie des artesischen Wassers nicht

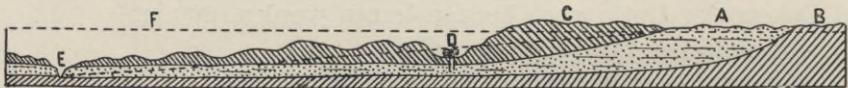


Fig. 151

durch F verlaufen, wie beim Fehlen des Abflusses E, sondern durch die Linie EA bezeichnet werden. Daraus geht klar hervor, daß die Druckebene negativ ist, bis auf eine kurze Strecke bei D, und daß nur an dieser Stelle zutage austretendes Druckwasser erbohrt werden könnte.

In unserem Versuch bildet die Wasserdrucklinie eine Gerade, und wenn wir uns die Abflußröhre durch eine rings um das Sammelgefäß herumlaufende Fläche von geringer Höhe ersetzt denken, so würden wir uns über ihm eine Druckfläche konstruieren können, die die Gestalt eines Kegelmantels besitzen würde. In der Natur liegen nun die Verhältnisse allerdings viel verwickelter. Hier fließt das Wasser nicht in einem von geraden Wänden begrenzten Kanal dahin, sondern innerhalb einer Schicht, die bald stärker, bald dünner wird, deren Neigung keine gleichmäßige ist, sondern sich bald stärker senkt, bald wieder etwas ansteigt oder auf größeren Strecken horizontal liegt. Besonders aber kommt als erschwerendes Moment die innere Reibung dazu, da ja innerhalb einer Schicht sich das Wasser nur auf unendlich gekrümmten Umwegen durch die zahllosen Poren, Lücken und Hohlräume des Gesteins hindurch bewegen kann. An der einen Stelle ist die durchlässige Bank grobkörnig und leitet das Wasser vortrefflich weiter. An einer anderen

Stelle werden die Zwischenräume klein und es entstehen unterirdische Stau. Noch an anderen Stellen wieder kann durch das Vorhandensein von schlauchartigen Höhlensystemen eine beträchtliche Annäherung an die Bedingungen des physikalischen Versuchs gewährleistet werden. Aus diesen Gründen sind die Drucklinien und Druckflächen über einem artesischen Wasserströme gekrümmt und von ziemlich verwickeltem Verlaufe, doch lassen sie sich beim Vorhandensein einer großen Anzahl von Bohrungen immerhin noch einigermaßen genau ermitteln und darstellen.

39. Kapitel

Die Ergiebigkeit artesischer Grundwasserströme

Wenn einem in artesischem Wasser niedergebrachten Bohrloche oder Brunnen durch Abpumpen Wasser abgezapft wird, so sinkt der Wasserspiegel genau in der gleichen Weise wie bei gewöhnlichem Grundwasser, aber die Gesetze der Senkung sind wesentlich verschieden; ihr Betrag bleibt gleich, wenn die entnommene Wassermenge sich gleich bleibt und steigt oder fällt mit ihr. Der Beharrungszustand bei einer bestimmten Entnahme, also die bleibende Absenkung, tritt außerordentlich schnell, meist schon nach einer Anzahl von Sekunden oder höchstens Minuten ein, also viel schneller als bei gewöhnlichem Grundwasser. In derselben Weise steigt nach Beendigung des Pumpens der Wasserspiegel in kürzester Frist wieder zu seiner ursprünglichen Höhe, ja infolge des mit heftigem Stoß von unten nachdrängenden Wassers sogar einen Augenblick über den ursprünglichen Wasserspiegel empor, um dann nach kurzer Zeit der Beruhigung wieder in dem alten Zustand zu verharren. Die Beziehungen zwischen dem Betrag der Senkung und der Menge des entnommenen Wassers sind leicht festzustellen. Man pumpt eine bestimmte Wassermenge in der Minute ab, fährt mit diesem Pumpen so lange fort, bis der Wasserspiegel konstant bleibt, und mißt dann den Betrag der Senkung. Hierauf vermehrt man die Wasserförderung, mißt wiederum ihren Betrag und den der Absenkung und wiederholt dieses Verfahren mehrere Male; man erlangt so eine Reihe von Zahlenwerten für die Beziehungen zwischen Ertrag und Absenkung oder vielmehr Druckerniedrigung. Trägt man als Abszissen die gepumpten Wassermengen, als Ordinaten die ermittelten Absenkungsbeträge auf, so erhält man eine Kurve, die sich der Geraden außerordentlich nähert, ein Resultat, zu dem Dru¹⁾ auf theoretischem Wege gelangt war. Dieses Gesetz gilt indessen nicht für die ganze Tiefe des Bohrloches, sondern nur für einen oberen Teil desselben, der um so

¹⁾ Société des Ingénieurs Civils, Séances du 1 Février et 7 Mars 1862.

größer wird, je größer der Durchmesser des Brunnens oder Bohrloches und je leichter durchlässig der Wasserträger ist. Es kann einem jeden Brunnen im günstigsten Falle nur so viel Wasser entzogen werden, wie bei einem gegebenen Drucke durch das Filter passieren kann. Da die Filterflächen sich bei gleicher Länge der Filter wie die Durchmesser der Brunnen verhalten, so ist eine Steigerung der Wassergiebigkeit mit letzteren selbstverständlich.

Ich gebe im folgenden ein Beispiel für die Ergiebigkeitsbestimmung eines artesischen Brunnens des eisenbahnfiskalischen Wasserwerkes von Wolmirstedt bei Magdeburg, den ich im Dezember 1909 mit Herrn Reg.-Baumeister Niemann auf Ergiebigkeit und Druckerniedrigung prüfte.

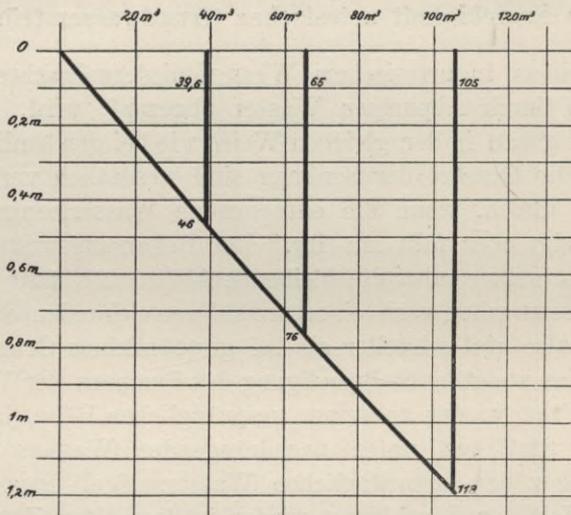


Fig. 152

Das Wasserwerk nutzt den im folgenden Kapitel eingehender beschriebenen Druckwasserstrom des Ohretales aus; die Brunnen stehen entlang der Eisenbahn rechtwinklig zum Ohreflusse in der Bewegungsrichtung des artesischen Stromes. Ein bei km 13,3 niedergebrachter Brunnen wurde mittels einer Lokomobile abgepumpt; die geförderten Wassermengen durchflossen einen Kasten und wurden an einem 30 cm breiten Überfall gemessen. Die jedem cm Wasserhöhe im Überfall entsprechende sec/l-Zahl war nach den Tabellen von Thiele berechnet. Die Beeinflussung der Umgebung des abgepumpten Brunnens wurde gemessen an Beobachtungsbrunnen bei km 13,4, 13,6 und 13,9.

Das Abpumpen des Brunnens begann am 6. XII. 09 vorm. 10 Uhr und dauerte bis zum 8. XII. 09 vorm. 5 Uhr. Die Wasserförderung betrug zwischen 105 und 115 cbm in der Stunde, wobei die Absenkung des Wasserspiegels 1,16 bis 1,28 m betrug. In dem 100 m entfernten

Brunnen I betrug die Absenkung 5 cm, in einem 25 m weiter entfernten Bohrloche war überhaupt keine Veränderung wahrzunehmen, noch viel weniger natürlich an den Brunnen bei km 13,3 und 13,9.

Der Beharrungszustand der Absenkung war wenige Sekunden nach Beginn des Pumpens erreicht. Wurde mit Pumpen aufgehört, so stieg der Wasserspiegel innerhalb 10 Sekunden zu seiner vormaligen Höhe empor.

Am 7. Dezember ließ ich den Schieber in der Druckrohrleitung der Lokomobile drosseln, bis der Überlauf am Brett im Maßkasten 7,5 cm betrug, entsprechend einer geförderten Wassermenge von 39,6 cbm/Std. Dabei betrug die Absenkung im Filter 46 cm. Dann wurde die Entnahme gesteigert und es wurden folgende Werte ermittelt:

bei $10\frac{1}{2}$ cm Überlauf, entsprechend 65 cbm/Std., betrug die Absenkung 75 cm,

bei $14\frac{1}{2}$ cm Überlauf, entsprechend 105 cbm/Std., betrug die Absenkung 118 cm.

Trägt man die cbm/Std. als Abszissen und die Absenkungen als Ordinaten auf, so entsteht die Kurve in Fig. 152, die von der theoretisch zu erwartenden graden Linie kaum abweicht.

Naturgemäß erreicht diese proportional der Entnahme sich vollziehende Absenkung ihr Ende in dem Augenblicke, in welchem die Leistungsfähigkeit des Brunnens erschöpft ist; das Eintreten dieses Momentes hängt ab vom Durchmesser des Brunnens, von der Durchlässigkeit des Wasserträgers und von der Gesamtfläche der Filterschlitzte. Man kann sie nur praktisch ermitteln, indem man die Wasserförderung so lange steigert, bis man ein Maximum erreicht hat; von diesem Augenblicke an sinkt der Wasserspiegel immer tiefer, ohne daß die geförderte Wassermenge sich vermehrt. Die Senkungskurve eines Brunnens, der über das Maß seiner Leistungsfähigkeit beansprucht wird, gewährt dann das obige Bild (Fig. 153).

Aus der ermittelten maximalen Ergiebigkeit eines artesischen Brunnens läßt sich die Geschwindigkeit berechnen, mit der das Wasser in das Filter eintritt. Man berechnet zu diesem Zwecke die gesamte durch die Filterschlitzte dargestellte durchlässige, d. h. offene Fläche des Filters in qdem und dividiert mit dieser Zahl in die in Litern ausgedrückte Sekundenförderung. Die Anwendung dieser Methode auf

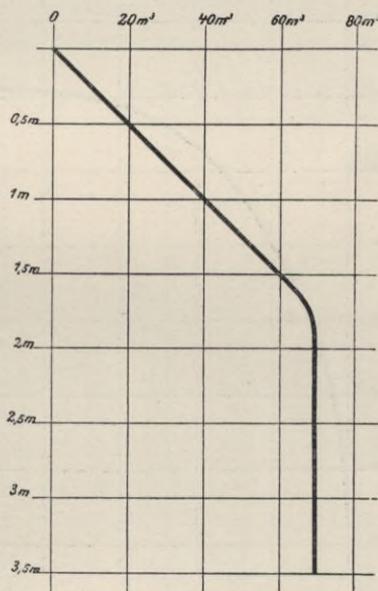


Fig. 153

unser Beispiel ergab für 30 sec/l = 110 cbm/St. 0,086 cm/sec und für 55 sec/l = 200 cbm/St. 0,157 cm/sec Geschwindigkeit. Es entspricht das einer Stundengeschwindigkeit von 31 bzw. 56,5 m.

Der Unterschied zwischen artesischem und gewöhnlichem Grundwasser fällt besonders stark in die Augen, wenn man die Erscheinungen der Bewegung des Wasserspiegels beim Beginne künstlicher Absenkung ins Auge faßt. Im artesischen Wasser stellt sich der Beharrungszustand

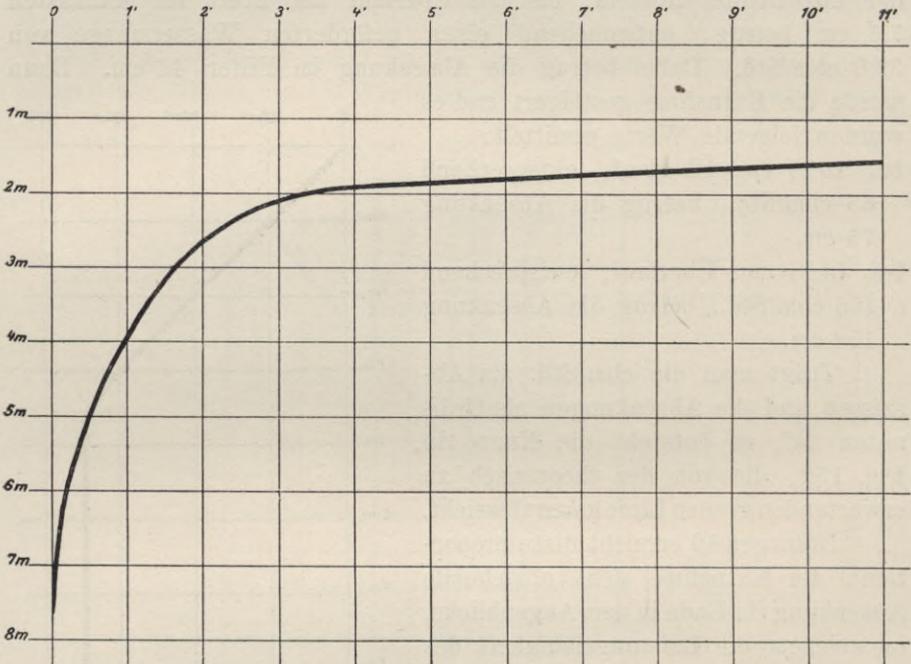


Fig. 154

nahezu augenblicklich ein. In einem im gewöhnlichen Grundwasser bis auf 7,05 m Tiefe abgesenkten Brunnen stieg das Wasser

nach 0,5 Min. auf 4,80 m	nach 4,5 Min. auf 1,90 m
„ 1,0 „ „ 4,00 „	„ 6,5 „ „ 1,78 „
„ 1,5 „ „ 3,25 „	„ 8,0 „ „ 1,72 „
„ 2,0 „ „ 2,65 „	„ 10,5 „ „ 1,67 „
„ 3,0 „ „ 2,22 „	„ 21,5 „ „ 1,45 „

Das ergibt die obige Kurve (Fig. 154), die mit der Kurve eines Senkungstrichters eine große Ähnlichkeit besitzt.

Sehr viel schneller vollzog sich das Sinken des Wasserspiegels im gleichen Brunnen bei erneutem gleichmäßigen Abpumpen. Bei Beginn auf 1,45 m stehend, fiel er

nach 10'' auf 2,75 m	nach 40'' auf 4,80 m
„ 20'' „ 3,55 „	„ 1' „ 5,60 „

nach 1' 20'' auf 6,08 m nach 2' auf 6,48 m
 „ 1' 40'' „ 6,37 „ „ 2' 20'' „ 6,58 „

Danach läßt sich diese Bewegung durch nachfolgende Kurve (Fig. 155) darstellen. Beide Kurven sind parabolisch, während die entsprechenden Linien bei artesischem Wasser sich als nahezu grade ergeben würden. Alle diese Unterschiede hängen natürlich damit zusammen, daß das artesische Wasser sich verhält wie das Wasser in einem Druckrohrnetze, das gewöhnliche dagegen wie das in einem Sandfilter.

Dieser Unterschied macht sich in besonders ausgesprochener Weise geltend, wenn man die Einwirkung einer künstlichen Entnahme aus beiden Arten von Wasser miteinander vergleicht. Wir haben im 32. Kapitel gesehen, daß im gewöhnlichen Grundwasser sich um den Entnahmepunkt ein Senkungstrichter entwickelt. Ganz anders im Druckwassergebiete. Hier strömen aus dem Nährgebiete mit außerordentlicher Geschwindigkeit als Ersatz für die entnommenen Wassermengen neue hinzu und die auch hier absolut unvermeidliche Spiegelsenkung vollzieht sich nicht in der Umgebung des Entnahmepunktes, sondern verteilt sich in gleichmäßiger Weise über das ganze Nährgebiet des Systemes. In ihm sinkt der Wasserspiegel während der künstlichen Entnahme ununterbrochen um einen Millimeter nach dem andern, und sobald die Entnahme größer wird als die Speisung, d. h. als der natürliche Zuwachs, wird die Spiegelsenkung im Nährgebiete aus einer relativen zu einer absoluten. Dann aber kann es kommen, daß eines Tages das Nährgebiet erschöpft und damit eine auf artesischem Wasser beruhende zentrale Wasserversorgung zerstört ist. Dies ist der Grund, weshalb manche Hydrotechniker Scheu tragen, größere Grundwasserversorgungen auf artesisches Wasser zu begründen. Wir werden im folgenden sehen, wie sich solche Gefahren vermeiden lassen.

Aus den vorausgegangenen Ausführungen ergeben sich für eine artesische Wasserversorgung folgende Grundsätze und vorbereitende Arbeiten:

Nachdem in mindestens drei nicht in einer graden Linie stehenden Bohrungen durch Messung der Druckhöhe die Fließrichtung des Wassers festgestellt ist, wozu man sich des bekannten Gesetzes bedient, daß durch drei Punkte die Lage einer Ebene im Raum gegeben ist

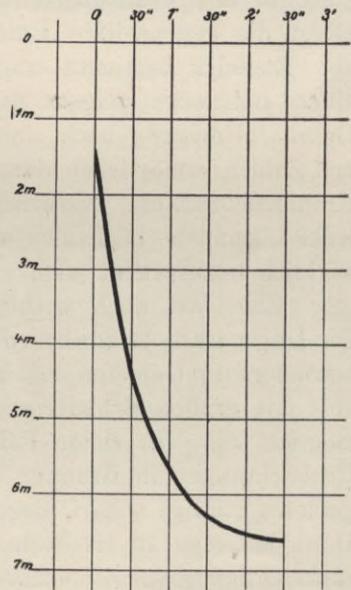


Fig. 155

(vergl. S. 122), ist man imstande, die Streichrichtung dieser Ebene zu bestimmen, das heißt die Lage einer in der Wasserdruckebene horizontal gelegenen Linie. In der durch diese Linie bezeichneten Richtung sind die für die Nutzbarmachung des artesischen Wassers anzulegenden Brunnen in der Regel niederzubringen, obgleich bei artesischem Wasser die Anordnung der einzelnen Entnahmebrunnen bei weitem nicht die Bedeutung besitzt, wie bei gewöhnlichem Grundwasser mit luftbedeckter Oberfläche. Sodann werden an geeigneten Stellen der gewählten Linie, am zweckmäßigsten an möglichst tief gelegenen Stellen, ein Probebrunnen mit durchlässiger Wandung und in seiner Umgebung nach allen Richtungen hin einige Pegelbohrlöcher niedergebracht; man ermittelt nun durch Abpumpen, wie groß der Betrag der Druckerniedrigung in den benachbarten Pegelbohrlöchern ist. Von diesem Betrag hängt die gegenseitige Entfernung der endgültigen Entnahmebrunnen ab. Zugleich bestimmt man, wie weit man die Wasserentnahme aus einem Bohrloche steigern kann, das heißt, wie weit man bei weiterer Druckerniedrigung noch eine Wasserzunahme erzielt. Die so gewonnenen Zahlen ermöglichen dann die Festlegung der Zahl der erforderlichen Entnahmebrunnen. Natürlich hat man deren Zahl so zu wählen, daß jeder Brunnen höchstens mit der Hälfte seiner vollen Ergiebigkeit wirklich beansprucht wird.

Eine fast noch wichtigere Vorarbeit besteht in der Feststellung der Lage und Ausdehnung des Nährgebietes. In manchen Fällen, besonders in Gebieten mit sehr verwickeltem geologischen Baue, wird dies mit großen Schwierigkeiten verknüpft, manchmal auch ganz unmöglich sein. In vielen Fällen wird sich aber unter Zuhilfenahme von Beobachtungen in Brunnen und Bohrlöchern die Ausdehnung des Nährgebietes leidlich scharf umgrenzen und seine Größe bestimmen lassen. Dann hat man zu ermitteln, wie groß im günstigsten Falle unter Berücksichtigung von offenem Abflusse, Verdunstung und jährlicher Niederschlagsmenge der jährliche Zuwachs des Grundwassers sein kann. Dieser Wert ist der aufzustellenden Bilanz des Grundwasserhaushaltes des betreffenden Druckwassersystems zugrunde zu legen, nach ihm ist die mögliche Höchstentnahme vorsichtig festzusetzen. Eine vorsichtige Wasserwirtschaft aber wird sich damit nicht begnügen, sondern wird versuchen, durch ein System von Pegelbohrlöchern das Nährgebiet dauernd zu kontrollieren, um je nach dem Verharren oder Sinken des Grundwasserspiegels die Menge des gewinnbaren Wassers entweder zu steigern oder zu verringern.

Auch das Abflußgebiet des Systems ist gründlicher Untersuchung wert, damit man in die Lage kommt, möglichst wenig Wasser ungenutzt entweichen zu lassen, sondern den jährlichen Zuwachs möglichst vollständig zu nutzen.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse, wenn es sich darum handelt, in einem bergbaulichen Betriebe ein Druckwassergebiet für unterirdischen Betrieb oder Tagebau geeignet zu machen. Solche Fälle kommen z. B. beim Braunkohlenbergbau vor und stellen dem Bergmann schwierige Aufgaben. Ist das Flöz unterlagert von einer wasserundurchlässigen Schicht und liegt erst unter dieser das Druckwasser, so ist es möglich, unter Anwendung von Vorsichtsmaßregeln das Flöz abzubauen, ohne das Druckwasser anzuschneiden. Doch ist dabei große Vorsicht geboten, denn sobald das Wasser unter nur einigermaßen stärkerem Druck steht, kann es nach Wegnahme der Hangendschichten eine abschließende Tondecke von mehreren Metern Mächtigkeit aufwölben und durchbrechen, was natürlich rettungslos zum Ersaufen der Grube führt. Liegt dagegen die das Wasser absperrende undurchlässige Schicht über der nutzbaren Lagerstätte, so steht diese völlig unter dem Einflusse des Druckwassers, und kann nicht eher abgebaut werden, ehe nicht der Druck bis auf das Liegende der Lagerstätte hinabgezogen worden ist. Dies kann nur dadurch geschehen, daß das Druckwasser in möglichst großer Fläche durch Abdeckung der undurchlässigen Schicht in luftbedecktes Grundwasser verwandelt wird und daß durch forcierte Wasserentnahme darin eine Reihe von Senkungstrichtern geschaffen wird, die sich erst unterhalb des Flözes schneiden. Will man ermitteln, wie viel Entnahmestellen anzulegen sind, um dieses Ziel zu erreichen, so verfährt man ebenso wie bei der Anlage für eine Wasserversorgung, das heißt, man bestimmt in einem Netz von Bohrungen den Betrag der durch die Entnahme an einer einzelnen Stelle bedingten Absenkung, konstruiert daraus die Gestalt des Senkungstrichters und kann daraus wiederum ermitteln, in welcher Tiefe bei bestimmten Entfernungen unter der Erdoberfläche die einzelnen Trichter sich schneiden. Am schnellsten geht natürlich die Entwässerung vonstatten, wenn man in der Lage ist, im Tagebaubetrieb einen Einschnitt von möglichst großem Durchmesser durch die undurchlässige wasserstauende Schicht niederzubringen und aus diesem das Wasser auszupumpen. Man vermeidet dadurch auch die große Gefahr, daß bei sehr starker Entnahme die einzelnen Körner des Wasserträgers vom Wasser mitgerissen werden und ein mit Unmassen von Sand beladenes Wasser gepumpt wird, wodurch außerordentlich schädliche Massendefekte unterhalb der Lagerstätte entstehen können.

Den kleinen Apparat in Fig. 150 können wir auch benutzen, um uns davon zu überzeugen, in welcher Weise zwei oder mehr auf demselben artesischen Wasserströme stehende Bohrungen einander beeinflussen. Daß eine solche Beeinflussung eintritt und zwar bisweilen auf ziemlich bedeutende Entfernung hin, ist eine schon längst bekannte Tatsache. Im Jahre 1842 wurde in Grenelle bei Paris ein mehr als

500 m tiefer artesischer Brunnen gebohrt, der bei einer in trockenen und feuchten Jahren sich vollkommen gleich bleibenden Ausflußhöhe von 72 m über dem Meeresspiegel eine Wassermenge von täglich 907 cbm lieferte. Im Jahre 1861 wurde in einer Entfernung von 3 km von diesem Brunnen, in Passy, eine zweite Bohrung in demselben artesischen Wasserstrom niedergebracht, welche diesen am 24. September antraf. Das Wasserquantum, welches der Brunnen von Grenelle jetzt lieferte, betrug am Tage darauf nur noch 806 cbm, am 26. September 778, am 27. September 720, am 3. Oktober 634, am 1. November 648, am 3. November 662 cbm. Seitdem ist das Wasser des Greneller Brunnens beständig abhängig von demjenigen in Passy; wurde dieser geschlossen, so erlangte jener seine alte Ausflußmenge wieder, und wurde aus diesem viel Wasser entnommen, so sank der Ertrag von jenem. Die gegenseitige Beeinflussung solcher Brunnen ist aber nun nicht allein von der Wassermenge abhängig, die über den Rand der Bohrröhre abfließt oder sich als Fontäne hoch in die Luft erhebt, sie ist vielmehr in gewissem Sinne auch in das Belieben des Menschen gestellt. Wenn wir uns auf

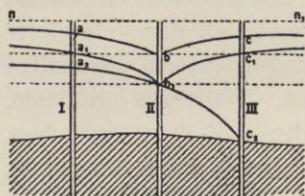


Fig. 156
Gegenseitige Beeinflussung
artesischer Brunnen

einer horizontalen Schicht, in welcher sich Druckwasser befindet, drei Bohrlöcher nebeneinander aufgesetzt denken, so wird in allen dreien das Wasser bis zu einem gleichen Niveau, welches durch die Linie nn_1 (Fig. 156) bezeichnet werden möge, emporsteigen. Wenn wir nun an diesen Bohrröhren in verschiedenen Höhen übereinander Zapfhähne anbringen, so sind wir in der Lage, den Wasserspiegel nicht nur in derjenigen Röhre, aus welcher das Wasser entnommen wird, zu senken, sondern auch den Wasserstand der beiden benachbarten Röhren zu beeinflussen. Wenn wir z. B. aus der mittleren Röhre zunächst bei dem Punkt b Wasser entnehmen, so wird in den beiden seitlichen der Wasserspiegel gesenkt auf die Punkte a und c . Umgekehrt wird man durch Entnahme von Wasser aus der Röhre I bei a_2 , aus der Röhre III unterhalb c_1 , den Ausfluß des Wassers aus der Röhre II bei b vollkommen unterdrücken können, wogegen Röhre II wieder Wasser liefern würde, wenn der Hahn bei b_1 geöffnet würde. Röhre III würde schließlich in der Lage sein, I und II sozusagen kalt zu stellen durch Öffnung eines Auslaufs bei c_2 . Diese gegenseitige Beeinflussung, die nun auch in der Natur, auf große Strecken hin, sich in sehr fataler Weise einstellen kann, ist für die Besitzer von artesischen Brunnen von nicht geringer Bedeutung, da nämlich die unmittelbare Nutzbarmachung des eigenen Brunnens d. h. das freie Ausfließen des Wassers ein Ende erreicht, wenn man selbst mit seiner Zapfstelle

an der Erdoberfläche angelangt ist, während in etwas tieferem Gelände stehende Brunnen dann noch in der Lage sind, die Druckebene weiter zu senken; daraus können empfindliche Eigentumsschädigungen erwachsen. Wenn beispielsweise eine Stadt auf einem ziemlich stark ansteigenden Gelände liegt, so ist es klar, daß diejenigen Brunnen, die an den tiefsten Stellen der Stadt liegen, über die größte Auftriebskraft des artesischen Wassers über die Erdoberfläche verfügen, und daß sie in der Lage sind, durch stark gesteigerte Entnahme dicht über der Oberfläche die Ergiebigkeit der zunächst darüber befindlichen Brunnen zu beeinträchtigen und die noch höher gelegenen aus artesischen Brunnen mit frei ausfließendem Wasser in solche zu verwandeln, in denen das Wasser nur noch bis zu einem gewissen Niveau unter Tage emporsteigt und im übrigen durch Pumpen gehoben werden muß.

In Amerika hat an manchen Orten, z. B. in Chicago, die Rücksichtslosigkeit der Bohrbrunnenbesitzer in einem und demselben Gebiete zu einem so erbitterten Konkurrenzkampfe geführt, daß schließlich aus allen ehemals frei ausfließenden artesischen Brunnen das Wasser aus immer größeren Tiefen durch Pumpen an die Oberfläche gebracht werden muß, ohne daß der Gesamtertrag gegen früher eine nennenswerte Steigerung erfahren hätte.

Aus dem Umstande, daß sich nahe beieinander gelegene artesische Brunnen gegenseitig in ihrer Ergiebigkeit beeinflussen, kann man weiter den Schluß ziehen, daß die Erhöhung der Wasserergiebigkeit eines enger begrenzten Gebietes durch Vermehrung der Bohrungen nur in sehr beschränkter Weise möglich ist. In dieser Hinsicht ist folgendes beobachtet worden: Wenn man aus dem Rohre eines artesischen Brunnens unterhalb des Punktes, bis zu welchem das Wasser unter natürlichem Druck aufsteigt, eine Abzapfung vornimmt, so kann man in einer Minute nur ein bestimmtes Maß von Wasser entnehmen. Wird der Durchmesser des Bohrrohres so vergrößert, daß sein Querschnitt sich verdoppelt, so erlangt man zwar eine Steigerung des Ausflusses, aber keine Verdoppelung desselben. Und wenn man in dem gleichen Gebiete zwei Bohrungen nebeneinander niederbringt, so ist das Erträgnis aus beiden zusammengenommen ebenso groß, als wenn nur ein Bohrloch da wäre, dessen Röhrenquerschnitt so groß ist wie derjenige jener beiden zusammengenommen. Durch Vermehrung der Bohrlöcher kommt man also nach kürzerer oder längerer Zeit an einem Punkte an, an dem die Ergiebigkeit ihr Maximum erreicht, und die Abteufung weiterer Bohrlöcher vermindert dann das Erträgnis der früher schon vorhandenen Brunnen um diejenige Wassermenge, die die neuen Bohrlöcher liefern. Aus diesem Vorgange ergibt sich die ökonomisch wichtige Regel, daß man nach Erlangung einer gewissen Wassermenge mit weiteren Bohrungen innerhalb desselben engeren Gebietes sich nur unnötige Kosten macht,

ohne den Ertrag zu vergrößern. Dieselben Beziehungen, wie zwischen artesischen Brunnen untereinander, bestehen auch zwischen natürlichen artesischen Quellen und Bohrungen, die in der Nähe der Quellen dem gleichen unterirdischen Strome Wasser entziehen. In dieser Beziehung liegen interessante Beobachtungen vor aus der Stadt San Antonio im Staate Texas, wo außerordentlich wasserreiche, natürliche artesische Quellen auftreten. Man hat dort auch eine Reihe von Bohrungen in den gleichen artesischen Strom niedergebracht, die einen sehr hohen Wasserertrag liefern; aber solange diese Brunnen fließen, vermindert sich der Abfluß aus den Quellen in einer auffällig wahrnehmbaren Weise, und er steigt wieder, wenn die Zapfhähne der Rohrbrunnen geschlossen werden.

40. Kapitel

Beispiele von Druckwassergebieten

I. Muldenförmiger Schichtenbau

Ein ausgezeichnetes Beispiel für die Entstehung von Druckwasser durch muldenförmigen Schichtenbau bietet das Pariser Becken. Man versteht unter diesem Namen eine ausgedehnte Ablagerung von Schichten, die mit der Juraformation beginnen, bis zum älteren Tertiär hinaufreichen und in ihrer Verbreitung und Lagerung eine vollkommene Mulde bilden, deren Ränder von gebirgsbildenden Massen älterer Gesteine in durchaus gestörten Lagerungsverhältnissen gebildet werden. Die natürliche Begrenzung dieser Mulde wird im Nordosten von den Ardennen und im Südosten von den Vogesen gebildet; dann folgt eine kurze Strecke, auf welcher die Juraschichten des Pariser Beckens mit denjenigen des Schweizerischen Jura in Verbindung stehen; weiter bildet die Grenze des Beckens im Süden das Massiv des Französischen Zentralplateaus, und im Südwesten, von jenem nur durch eine schmale Lücke bei Poitiers geschieden, ein System älterer paläozoischer und kristallinischer gefalteter Gebirge, welche die Bretagne und Normandie zusammensetzen. Damit haben wir aber das Pariser Becken noch nicht in seiner vollständigen Begrenzung kennen gelernt, es gehören vielmehr noch Teile des südlichen England dazu, weil der Kanal nur eine ganz unbedeutende jüngere Einsenkung innerhalb des Beckens darstellt, die bei einer geringfügigen Hebung des Landes unter Vereinigung der englischen und französischen Küsten verschwinden würde. Auch die Begrenzung durch paläozoische Gebirgsmassive setzt unter dem Kanal über die Normannischen Inseln nach Cornwall fort, und diese Halbinsel bildet ebenso wie Wales die nordwestliche Begrenzung der riesigen Bucht. In engem Zusammenhange mit dem Pariser Becken steht das Londoner, von jenem nur geschieden durch einen in der west-

nordwestlichen Fortsetzung des Ardennengebirges liegenden unterirdischen Rücken, der sich bei Boulogne durch das Zutagegehen von Jura, und in England im Kreidegebirge von Hastings an der Oberfläche verrät. Wenn man sich im Pariser Becken von irgend einer Stelle seines Randes nach dem Mittelpunkt zu, in welchem die französische Hauptstadt selbst liegt, bewegt, so kommt man immer von älteren auf jüngere Schichten, und zwar von den die Ränder des Beckens bildenden Juraschichten über ältere und jüngere Kreide zu den Eozän- und Oligozänbildungen in den inneren Teilen des Beckens. In dieser gewaltigen Meeresbucht, deren Ausdehnung in den verschiedenen geologischen Zeiten erheblich schwankte, fand eine Ablagerung der mannigfachsten Sedimente statt, die von den Gebirgsrändern des Beckens in dasselbe hineingeführt wurden, und so sehen wir denn in reichem Wechsel tonige, kalkige, mergelige und sandige Sedimente aufeinander folgen, und da dieses Becken nur verhältnismäßig wenig von späteren tektonischen Störungen und Bruchlinien heimgesucht wurde, so sind hier in der Tat außerordentlich günstige Bedingungen für die Entstehung artesischer Wasserhorizonte in der Lagerungsform der idealen Mulde gegeben. Da die Ränder der Mulde an den Randgebirgen verhältnismäßig hoch emporsteigen, während das Innere tiefer liegt, so sind für die in den peripherischen Teilen infiltrierten Wassermassen genügende Höhendifferenzen vorhanden, um bei der Auslösung des hydrostatischen Druckes durch Bohrlöcher das Wasser bis an die Oberfläche emporzutreiben. Wir haben schon mehrfach Gelegenheit gehabt, die so berühmt gewordenen Bohrungen von Grenelle und Passy zu erwähnen, von denen die erstere bis zu einer Tiefe von 540 m niedergebracht wurde und ein Wasser mit einer Temperatur von 26° lieferte. Aber durchaus nicht alle Bohrungen in diesem Becken brauchen in solche Tiefen hinabzugehen, um überfließendes Wasser zu erschließen, denn vielfach liegen — und dafür ist das Pariser Becken ein charakteristisches Beispiel — mehrere Wasser führende Horizonte übereinander, und in jedem einzelnen derselben steht das Wasser unter anderen, von der Höhenlage des Zufuhrgebietes abhängigen Spannungsverhältnissen, ja es kommt sogar vor, daß durch ein und dieselbe Bohrung mehrere Wasserhorizonte angetroffen werden, von denen der oberste ein unter so geringem Druck stehendes Wasser enthält, daß dasselbe die Oberfläche nicht zu erreichen vermag, während das Wasser des tiefst gelegenen Horizontes am höchsten über dieselbe emporsteigt. Solche Bohrlöcher, in denen das Wasser zwar aufsteigt, aber unter Tage stehen bleibt, sind fähig, jede beliebige Quantität von Wasser, welches dem Bohrloche von oben her zugeführt wird, zu verschlucken und in die Tiefe hinabzugeben, wie das ja nach den einfachen hydrostatischen Gesetzen gar nicht anders erwartet werden kann. Infolgedessen werden solche in Frankreich als „Boittouts“ be-

zeichnete Brunnen, die man im Deutschen wohl als Saug- oder Schluckbrunnen bezeichnen könnte, vielfach zur Entwässerung von versumpften Gebieten oder zur Ableitung von unbrauchbaren Gewässern verwendet. In der Nähe von Paris ist ein Fall bekannt, in welchem drei Wasserhorizonte von der angegebenen Beschaffenheit angetroffen wurden. Diese wurden durch Bohrröhrensysteme von verschiedener Weite in der Weise gefaßt, daß die weiteste und kürzeste Röhrentour bis zu dem obersten absorbierenden Wasserniveau, die innerste und längste bis zu dem tiefsten Wasserhorizont hinabreichte. Der mittlere Horizont lieferte ein zum Trinken ungeeignetes, aber für gewerbliche Zwecke brauchbares Wasser, während der tiefste ein treffliches Trinkwasser ergab. Es wurde also das aus dem innersten Rohre heraustretende Wasser für letzteren Zweck vollkommen verwendet, und das aus dem ringförmigen Raume zwischen dem innersten und dem mittleren Bohrröhre aufsteigende Wasser, soweit das Bedürfnis vorhanden war, für gewerbliche Zwecke verbraucht, während der Überfluß desselben in einfachster Weise in den äußeren ringförmigen Röhrenraum hineingeleitet wurde, durch welchen es spurlos in der Tiefe versank.

2. Flexur

Für die Erzeugung von Druckwasser durch tektonische Flexur bieten die Staaten Dakota und Nebraska in Nordamerika ein ausgezeichnetes Beispiel, wobei gleichzeitig eines der größten bekannten Druckwassergebiete der Erde erzeugt worden ist. Die vom Mississippi und Missouri durchflossene, riesige Ebene zwischen den Apalachen und dem Felsengebirge besteht aus einem ungeheuren Tafellande, in welchem sich eine vom Kambrium bis zum Tertiär reichende Schichtenfolge über Tausende von Quadratmeilen ausdehnt. In dem Umstande, daß diese Schichtentafel, die allerdings zum großen Teile unter jungglazialen Schuttmassen verborgen ist, sowohl von Kanada aus nach Süden zum Golf von Mexiko, wie auch vom Felsengebirge nach Osten hin eine schwache Neigung besitzt, liegen die Gründe für das Vorhandensein weitausgedehnter Wasserhorizonte, die aus den aufgebogenen Rändern dieser Schichtentafel im Felsengebirge ihre Zufuhr erhalten. Ein solches artesisches Gebiet von größerer Ausdehnung liegt in den Staaten Nord- und Süd-Dakota und lehnt sich nach Westen hin an die Big Horn Mountains und Black Hills an, die am weitesten nach Osten vorgeschobenen Ausläufer des Felsengebirges.

Die geologischen Verhältnisse beider Staaten sind ziemlich einfach und bleiben sich auf großen Gebieten völlig gleich. In der Nachbarschaft des Missouri wird die Oberfläche in einer Mächtigkeit von 40 bis 100 Fuß von Kiesen, Sanden und Tonen gebildet, die den großen Inlandeismassen der Glazialperiode ihre Entstehung verdanken. Sie

bedecken die Oberfläche so gleichförmig, daß die darunter folgenden Schichten nur an verhältnismäßig wenigen Stellen, besonders im Osten und Nordosten, zutage treten, während die Hauptquelle für unsere Bekanntschaft mit ihnen in den Aufschlüssen der zahlreichen Bohrungen enthalten ist. Diese haben uns gelehrt, daß unter dem Quartär in einer Mächtigkeit von mehr als 1000 Fuß Tone und Tonschiefer der Kreideformation folgen, die besonders in Süd-Dakota eine enorme Verbreitung besitzen. Nach Süden hin in den Gebieten des White River und durch ganz Nebraska hindurch schaltet sich zwischen diese Kreidetone und die jüngsten Bildungen der Oberfläche eine Folge von fetten oder sandigen Tonen des Tertiär ein, die beispielsweise in den Bad Lands auf große



Fig. 157. Oberflächenverbreitung des Dakota-Sandsteins in den Rocky Mountains (punktiert) und positiv piëzometrisches Gebiet in Dakota (vertikal schraffiert)

Erstreckungen hin die Oberfläche bilden. Sie besitzen da, wo ihre Mächtigkeit am größten ist, eine solche von 300—400 Fuß. Nördlich vom Cheyenne River und von da nach Norden und Osten durch Nord-Dakota hindurch sind die Kreidebildungen durch Sande und Sandsteine jungtertiären Alters überlagert, die als Laramieformation bezeichnet werden. Im südlichen Teil von Süd-Dakota enthalten die Kreidetone in sich eingeschlossen eine ausgedehnte Ablagerung von Kalkstein, den sogenannten Niobrarakalk, etwa 300 Fuß über der Basis der Kreidetone. Unter den Kreidetonen liegt eine verhältnismäßig wenig mächtige, aber über ungeheure Flächenräume sich erstreckende Schicht von Sand und Sandstein, welcher in regelloser Weise dünne Lagen von Ton und Eisensteinen eingeschaltet enthält. Diese außerordentlich wichtige Schicht,

welche infolge ihrer leichten Durchlässigkeit für das Wasser einen ausgezeichneten Wasserhorizont darstellt, wird als Dakotaformation und der Sandstein als Dakotasandstein bezeichnet. Im Osten, an der Grenze von Süd-Dakota gegen den Staat Iowa streicht in der Nähe des Missouri dieser Dakotasandstein zusammen mit einer ihm eingelagerten, mächtigen Quarzitmasse als ausgedehnter Quellenhorizont zutage aus.

Von hier bis zum Fuße des Felsengebirges liegen die Schichten in einer schwach gegen das Gebirge hin ansteigenden Ebene, während sie am Rande des Gebirges selbst in den Staaten Wyoming und Montana infolge einer Flexur ziemlich rasch ansteigen und in breiterem oder schmalere, mannigfach ausgebogenem Verlaufe die Oberfläche erreichen, und zwar in Höhenlagen, welche sich zwischen 3200 und 7000 Fuß bewegen, während die Großen Ebenen der beiden Dakota-Staaten nur etwa 2000 Fuß hoch liegen. Die Fig. 158 gibt ein außerordentlich stark verkürztes Profil der Lagerungsverhältnisse zwischen den Sioux Falls im äußersten Osten und der randlichen Aufbiegung der Schichten am Rande des Felsengebirges, erstreckt sich also über eine Breite von

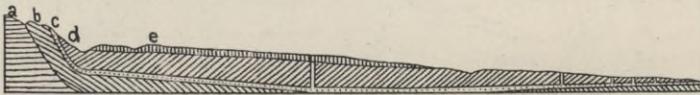


Fig. 158

$7\frac{1}{3}$ Längengraden, so daß das gesamte Profil eine Länge von fast 500 km besitzt. In der Kartenskizze (Fig. 157), die zugleich den nötigen Anhalt für die topographische Orientierung liefert, ist durch dichte Punktierung das Gebiet bezeichnet, in welchem die durchlässigen Schichten des Dakotasandsteins im Westen am Rande der Felsengebirge zutage treten und durch schräge Reißung der Austritt derselben Schichten im Osten am Missouri bei Sioux Falls gekennzeichnet. In den erstgenannten Gebieten, die bereits in den im Gegensatz zu den Großen Ebenen niederschlagsreichen Gebirgspartien liegen, sinken diejenigen Wassermengen in die Tiefe, welche, der natürlichen Abdachung des Dakotasandsteins nach Osten hin folgend, die zahllosen artesischen Brunnen von Dakota und Nebraska nebst den Nachbargebieten speisen. Von den atmosphärischen Niederschlägen, die auf diesen weiten, ausgedehnten Flächen niederfallen, wird nur ein kleiner Teil oberirdisch abgeführt, während der größere in dem das Wasser wie ein Schwamm aufsaugenden Sande und in den porösen Sandsteinen in die Tiefe hinabsinkt. Aber nicht nur der Regen und die Schneefälle des Gebirges dienen zur Speisung des unterirdischen Reservoirs, sondern auch die Flüsse, die von den höher gelegenen Teilen des Felsengebirges in großer Zahl herabkommen und dem Missouri zufließen, geben an den

Stellen, wo sie den Schichtenausstrich des Dakotasandsteins auf längeren oder kürzeren Wegstrecken zu passieren haben, einen großen Teil ihrer Wassermassen in die Tiefe ab, und dieser Wasserverlust ist so beträchtlich, daß ein Teil dieser Flüsse eine schon mit bloßem Auge wahrnehmbare Verminderung seiner Wassermassen beim Austritt aus diesen wasseraufsaugenden Gebieten, gegenüber dem Wasserreichtum beim Eintritt in dieselben, erkennen läßt. Im Gebiete der aufgebogenen, rasch in die Tiefe sich senkenden, durchlässigen Schichten versinken die Wässer rasch in die Tiefe, um dann in langsamem Fließen unterirdisch einen 500—600 km langen Weg zurückzulegen, bis sie im Osten in Form von starken Quellen wieder die Oberfläche erreichen. Diese Lagerungsverhältnisse der Schichten und der mit ihnen in Zusammenhang stehende Verlauf der unterirdischen Gewässer entsprechen vollkommen dem in Fig. 150 dargestellten kleinen physikalischen Apparate, aus dem wir die Gesetze des Wasserauftriebes eines artesischen Stromes in den verschiedenen Teilen seines Verlaufes abgeleitet haben.

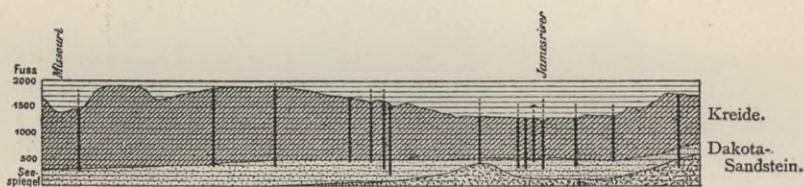


Fig. 159. Querprofil auf der Linie a—b der Abbildung 157

Wenn wir uns von dem etwa 1100 Fuß ü. M. gelegenen Quellenhorizonte am Missouri an der Grenze von Iowa bis zum Einflußgebiete in den Black Hills und Big Horn Mountains eine Ebene gelegt denken, so würde diese dem piézometrischen Niveau dieses Grundwasserstromes, d. h. der Höhe, bis zu welcher das Wasser in Bohrungen emporsteigen würde, entsprechen, wenn der Verlauf desselben durch die Schichten des Dakotasandsteins hindurch gleichmäßig wäre. Da aber durch die Unterschiede in der Korngröße des Gesteins, durch die bald zu- bald abnehmende Mächtigkeit der wasserführenden Schicht und durch die Einschaltung von tonigen Bänken in dieselbe erhebliche Differenzen in der Gleichmäßigkeit der Wasserbewegung erzeugt werden, so ist die anzunehmende Druckebene des Wassers keine vollkommene Ebene, sondern eine nach mehreren Richtungen hin flache Krümmungen aufweisende Fläche, und wenn wir uns diese Fläche in die von zahlreichen Flußtälern mehr oder weniger tief durchschnittene und an und für sich schon flach wellige Oberfläche der großen Ebenen der mehrfach genannten Staaten hineingelegt denken, so finden wir Gebiete, an welchen die Erdoberfläche über, und andere Gebiete, an welchen dieselbe unter

dem Druckniveau des artesischen Wassers zu liegen kommt. Daraus ergeben sich für die Bohrungen nach artesischem Wasser zwei ganz verschiedene Gebiete; in beiden wird zwar die unterirdische Wasserschicht durch Bohrungen allenthalben angetroffen, aber nur in den positiv piézometrischen Flächen erhebt sie sich aus den Bohrlöchern bis zu mehr oder weniger großer Höhe über die Erdoberfläche, während in den übrigen Gebieten von negativem Charakter das artesische Wasser



Fig. 160. Artesischer Brunnen mit zehnzölligem Rohre

zwar auch beträchtlich emporsteigt, aber in wechselnder Tiefe unter der Oberfläche sein Druckniveau erreicht und durch Pumparbeit weiter an die Oberfläche zu fördern ist. Die Zahl der artesischen Bohrungen in den beiden Dakota-Staaten ist eine so große, daß es möglich geworden ist, die Fläche mit positiv piézometrischem Niveau mit ziemlicher Sicherheit abzugrenzen. Sie ist in dem Orientierungskärtchen, Fig. 157, durch eine vertikale Schraffur bezeichnet worden, und es ergibt sich daraus, daß sie einmal als schmales Band dem Missouri folgt und sodann sich

in einem 80—120 km breiten Streifen von Norden nach Süden, vom Zusammenfluß des Missouri mit dem Niobrara River, entlang dem James River, nach Norden erstreckt. Die Kraft, mit welcher das artesische Wasser in diesem Gebiete aus den einzelnen Bohrungen heraustritt, und die Höhe, bis zu welcher es seinen Strahl in die Luft emporsendet, ist von der Höhenlage des Ansatzpunktes des Bohrloches abhängig, so zwar, daß der erbohrte Wasserstrahl sich um so höher erhebt, in je tieferem

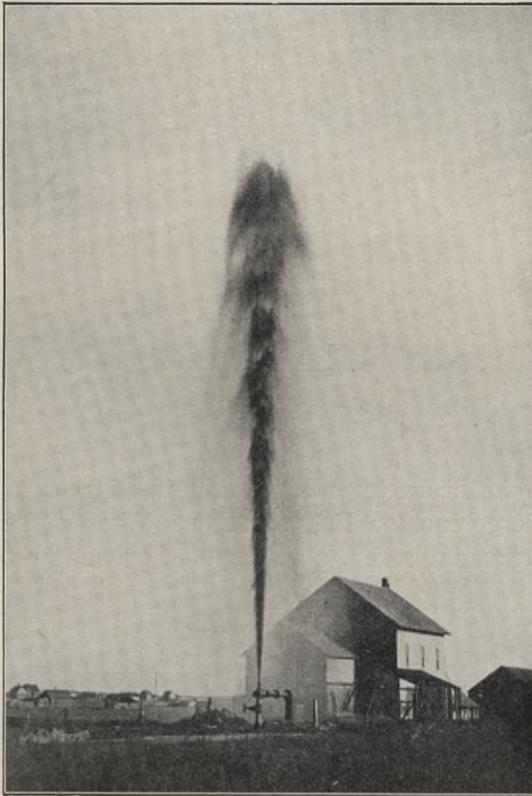


Fig. 161

Niveau der Ansatzpunkt des Bohrloches sich befindet. In dem Übersichtskärtchen, Fig. 157, ist eine Linie a b eingetragen, auf welcher eine große Zahl von artesischen Bohrungen zu dem Profil Fig. 159 vereinigt sind. Der senkrechte Maßstab dieses Profils ist bezeichnet durch die in Abständen von 100 zu 100 Fuß aufeinander folgenden Horizontalen, während die Länge des Profils 250 Kilometer beträgt. Die starken schwarzen senkrechten Linien des Profils bezeichnen die einzelnen Bohrungen, auf deren Ergebnisse das Profil selbst basiert ist, und die fein punktierten Linien in der oberen Verlängerung einer Anzahl dieser

Bohrlöcher geben die Höhe des natürlichen Auftriebes des Wassers an. Dieses Profil ist auch deswegen instruktiv, weil es das Verhältnis der positiv und negativ piézometrischen Niveaus zueinander angibt. Wir

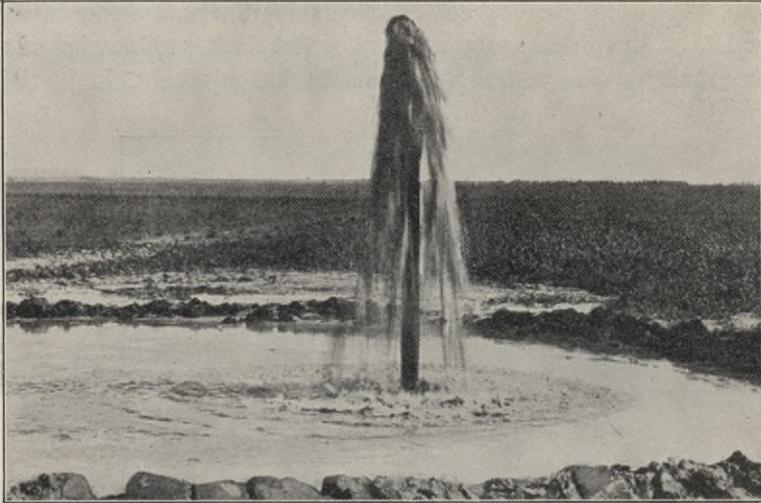


Fig. 162

sehen, daß die im hochgelegenen Terrain im linken, westlichen Teile des Profils niedergebrachten Bohrungen das Wasser eben noch bis an die Oberfläche gelangen lassen, aber nur über einen sehr geringen Druck-

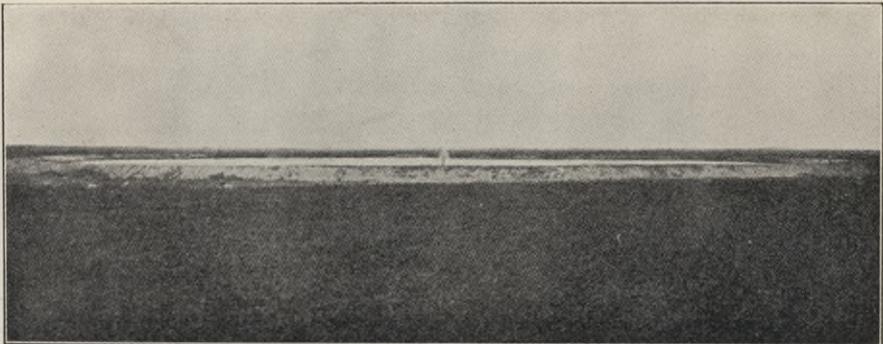


Fig. 163

überschuß verfügen, während in der muldenförmigen Einsenkung in der Mitte unseres Profils dieser Drucküberschuß ein ganz außerordentlicher ist und in den tiefsten Teilen 300—500 Fuß beträgt. Natürlich springen die artesischen Brunnen, die in diesen Gebieten erbohrt werden, nicht

bis zu dieser Höhe empor, wohl aber würden sie, wenn man das Bohrloch durch Aufsetzen von Röhren nach oben hin verlängern könnte, bis zu den angegebenen Höhen in ihm emporsteigen. Die Höhe, bis zu welcher die frei ausfließenden Fontänen sich in die Lüfte erheben,



Fig. 164

ist wiederum abhängig von dem Durchmesser der Bohrröhre, indem kleinere Röhren einen dünneren, aber unvergleichlich viel höheren Wasserstrahl liefern, als solche mit großem Durchmesser. Die beiden Figuren 160 und 161 geben ein anschaulicheres Bild, als jede Beschreibung es zu liefern vermag, von der ungeheuren Gewalt, mit

welcher die Druckwässer dieses Gebietes aus den Bohrlöchern empor-springen. An sehr zahlreichen Stellen werden, besonders in Süd-Dakota, diese Wassermassen zu großen Teichen gesammelt, indem um das Bohrloch herum ein das Wasser zurückhaltender Damm aufgeführt wird. Innerhalb dieses Dammes bildet sich ein künstlicher See, von dem das Wasser in Berieselungskanälen nach dem zu bewässernden Lande hin-geleitet und auf ihm verteilt wird. Die Fig. 162 und 163 zeigen uns im Bilde derartige, auf artesischem Wasser beruhende Berieselungs-anlagen. Wieder an anderen Stellen dienen die artesischen Wässer als natürliche Fontänen zum billigen Schmucke öffentlicher Plätze und An-lagen (Fig. 164).

3. Geneigte Schichtenlagerung

Auch für diese Art der Entstehung von Druckwasser bieten uns die Vereinigten Staaten von Nordamerika ein ausgezeichnetes Beispiel von überraschender Großartigkeit in bezug auf räumliche Entwicklung. Wir finden es südlich von den Großen Seen in den Staaten Wisconsin

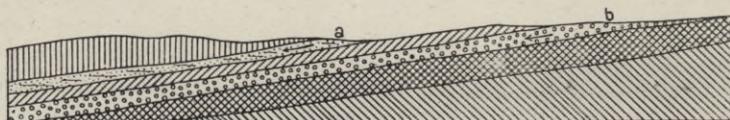


Fig. 165

und Illinois, von wo aus sich die Druckwasser führenden Gesteine weiter nach Süden erstrecken. Die hier lagernde Schichtentafel wird von paläozoischen Gesteinen gebildet, die mit dem Kambrium beginnen, das Silur in mächtiger Entwicklung, das Devon dagegen nur untergeordnet zeigen, worauf sich schließlich eine ausgedehnte und mächtige Masse von Sedimenten der Steinkohlenformation auflagert. Die Schichtentafel ist von Norden nach Süden ziemlich gleichmäßig geneigt und senkt sich etwas schneller als die Oberfläche in dem gleichen Gebiete, so daß die ältesten Sedimente, je weiter nach Süden, um so mehr von jüngeren Bildungen überlagert werden. Die älteste der paläozoischen Formationen, das Kambrium, ist mit seinem Ausstrich (die für unsere Betrachtung nicht weiter ins Gewicht fallenden jüngsten eiszeitlichen Bildungen, die das ganze Gebiet überkleiden, bleiben dabei unberücksichtigt) auf den Staat Wisconsin beschränkt, dann folgt in einem breiten Bande bis hinunter nach Ottawa die Silurformation mit ihren verschiedenen Gliedern, während das Kambrium in die Tiefe taucht, und schließlich sind im Hauptteile von Illinois bis hinunter zum Ohio die das Silur überlagern-den karbonischen Sedimente unter der Quartärdecke allein noch anzu-treffen. Ein von Norden nach Süden durch dieses Gebiet hindurch

gelegtes schematisches Profil zeigt also die in der Fig. 165 dargestellten Verhältnisse. Die Rolle des Dakotasandsteins der westlicheren Staaten spielen hier zwei verschiedene Sandsteinhorizonte, von denen der eine mächtigere, als Potsdam-Sandstein b in Fig. 165 bezeichnete, dem Kambrium angehört, während der etwas jüngere und weniger mächtige St. Peter-Sandstein a untersilurischen Alters ist. Die Verbreitung beider ist ohne weiteres aus der Karte Fig. 166 zu ersehen, welche zugleich die bedeutende räumliche Ausdehnung des Sammelgebietes erkennen läßt. Von den Nährgebieten aus bewegt sich das Wasser, entsprechend der Neigung der Tafel, in der Richtung nach Südosten und Süden, und wie in dem

zuerst beschriebenen Gebiete, so sehen wir auch hier das Ergebnis der Bohrungen durchaus abhängig von der Höhenlage des Ansatzpunktes der Bohrung, so daß ausfließende artesische Wässer und solche, die nur bis zu einem bestimmten Niveau im Bohrloche emporsteigen, in nahe beieinander gelegenen Gebieten mit verschiedener Meereshöhe abwechseln. Der wichtigere der beiden genannten Wasserhorizonte ist derjenige des Potsdam-Sandsteins, dessen Wasserkapazität an vielen Stellen 20—40 % seines Volumens beträgt, an anderen allerdings auch auf einige Prozente herabsinkt. Von etwas geringerer Wichtigkeit ist der St. Peter-Sandstein, da er nur etwa 60 m Mächtigkeit besitzt und seine Wasserleitungsfähigkeit durch die Einlagerung zahlreicher toniger Bänke stark beeinträchtigt wird. Dafür aber liegt hier der

Wasserträger weniger tief unter der Oberfläche, so daß eine Erschließung dieses Horizontes mit geringeren Kosten verbunden ist. Die Tiefe der artesischen Brunnen des gesamten Gebietes schwankt außerordentlich und bewegt sich in Zahlen zwischen 40 und 3100 Fuß. Die größte Zahl flacherer Bohrungen liegt entlang des Illinoisflusses, wo der St. Peter-Sandstein in Tiefen von 150—400 Fuß liegt. Die beiden Städte Ottawa und Marseilles haben jede allein mehr als 200 artesische Brunnen. Die mittlere Tiefe der gesamten Bohrungen beträgt 1000—1500 Fuß und die auf etwa 3000 Dollar sich belaufenden Kosten einer solchen Bohrung werden in der großen Mehrzahl der Fälle durch die gewaltige Menge des erschlossenen Wassers reichlich wieder



Fig. 166. Oberflächen-Verbreitung des kambrischen und silurischen Sandsteins in Wisconsin.

Die punktierten Flächen zeigen den Ausstrich des kambrischen, die schraffierten denjenigen des silurischen Sandsteins an.

aufgewogen. Die Höhe, bis zu welcher das Wasser unter natürlichem Druck emporzusteigen vermag, ist auch hier von den mannigfachen natürlichen und in der Art der Bohrung liegenden Verhältnissen abhängig, und es mag deshalb hier nur kurz erwähnt werden, daß unter besonders günstigen Bedingungen, z. B. bei Monmouth, Wasser erbohrt wurde, welches bis zu einer Höhe von 700 Fuß über die Erdoberfläche emporzusteigen den nötigen Druck besitzt. Da im Gebiet dieser artesischen Wässer sich blühende Industriezentren, wie Chicago, befinden, so konnten hier vortreffliche Beobachtungen über die gegenseitige Beeinflussung nahe beieinander stehender artesischer Bohrlöcher angestellt werden. Da z. B. in den Chicagoer Fabriken täglich weit über 1 000 000 Gallonen artesisches Wasser verbraucht werden, so war es nötig, das nicht ausreichende Ergebnis des freiwillig ausfließenden Wassers durch Pumpen zu steigern, und die Folge davon war, daß, als erst die eine Fabrik mit Pumpen begann, der Wasserspiegel in den anderen sank, so daß auch diese zu immer tiefer in den Bohrrohren hinuntergreifenden Pumpenanlagen ihre Zuflucht nehmen mußten, und gegenwärtig liegt die Sache

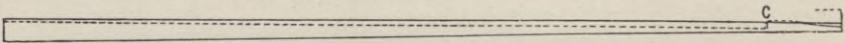


Fig. 167. Darstellung des Grundwasserreliefs in Wisconsin in natürlichem Verhältnisse von Höhe und Länge.

so, daß die ursprünglich über Tage herausfließendes Wasser liefernden Bohrbrunnen heute sämtlich in Pumpbrunnen umgewandelt sind und nur noch während einiger weniger Stunden an den Montag Vormittagen, wenn die Pumpwerke der Fabriken einen Tag lang nicht gearbeitet haben, einen freiwilligen Wasserausfluß besitzen, der mit dem Beginne der Wochenarbeit und der damit gesteigerten Wasserentnahme alsbald verschwindet. Wie gering die Neigung der ganzen Schichtentafel vom Innern Wisconsins bis zum Ufer des Lake Michigan bei Chicago ist und in welcher Weise die Profile (Fig. 158 und 165) verkürzt sind, zeigt am lehrreichsten ein Blick auf das in Fig. 167 dargestellte Profil durch das genannte Gebiet, in welchem Höhe und Länge in gleichem Verhältnisse dargestellt sind. Die punktierte Linie bezeichnet den Verlauf des bei C erbohrten artesischen Wassers.

Die südliche Fortsetzung dieser ausgedehnten Schichtentafel nach dem amerikanischen Golfe hin bietet Gelegenheit, das Abflußgebiet eines dieser ungeheuren Grundwasserströme kennen zu lernen. Die breite Küstenebene, die im südlichen Texas etwa einen Durchmesser von 30 Meilen besitzt, ist von den Hochebenen, die sich bis nach Kanada hinaufziehen, hier durch keine zwischengelagerten, gefalteten oder sonstwie gestörten Gebirge getrennt, sondern beide grenzen hart aneinander mit Gebieten,

die durch einen starken Terrainabfall etwa in der Weise voneinander getrennt sind, wie die Schwäbische Alb vom Unterlande. Diese Trennungslinie ist durch eine Verwerfung bedingt, an welcher die die Hochebene zusammensetzenden Kreidebildungen in die Tiefe gesunken sind. Die schwach nach Süden geneigten Kreideschichten der Hochebene dienen als Rezipienten des Wassers, welches auf den Schichtflächen nach Süden und in die Tiefe wandert und auf der Verwerfung in ungeheuren natürlichen Quellen zutage tritt, außerdem aber neben der Verwerfung auch durch eine Reihe von Bohrungen, beispielsweise in San Antonio und Neu-Braunfels, an die Oberfläche geführt wird. Die artesischen Brunnen

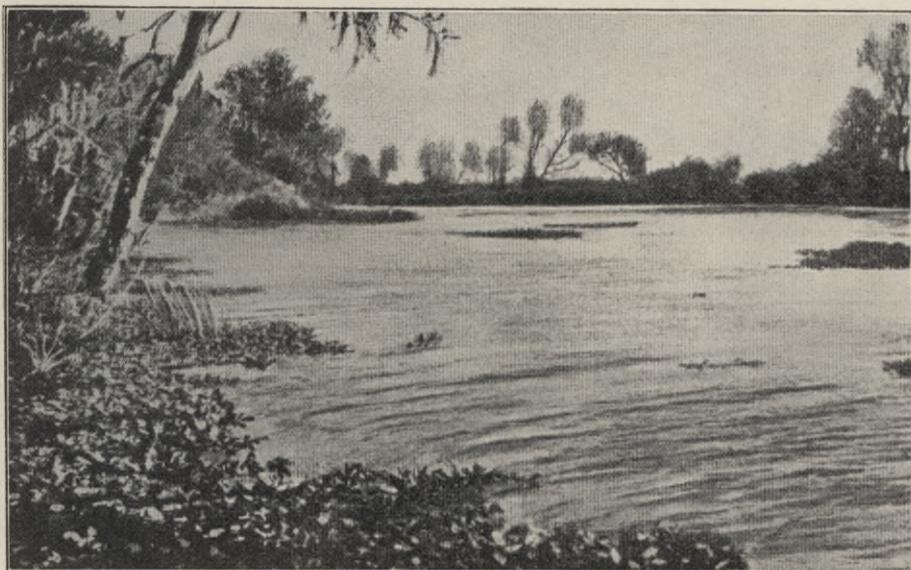


Fig. 168. San Marcos-Quelle bei San Antonio in Texas.

dieses Gebietes gehören zu den ergiebigsten, die man kennt, und eine Anzahl von ihnen, die für die Wasserversorgung der Stadt San Antonio dienen, liefern Erträge bis zu 25000 cbm täglich (17 cbm in der Minute). In diesen Gebieten läßt sich die interessante Erscheinung beobachten, daß auch die natürlichen Quellen durch die seitens der Bohrlöcher geförderten Abflusmengen eine bemerkbare Beeinträchtigung erfahren. Ein großer Teil gerade der ergiebigsten Bohrungen ist hier wie in vielen anderen Gebieten durch Hähne verschlossen, und es konnte in auffälliger Weise beobachtet werden, daß, wenn die Hähne lange Zeit geöffnet waren, das Wasser in den benachbarten natürlichen Quellen nachließ und umgekehrt. Von der Größe und dem Wasserreichtum dieser Quellen vermag Fig. 168 eine Vorstellung zu geben, auf der die San

Nördlich von Magdeburg erhebt sich zwischen dem Drömling und der Elbe die waldbedeckte Hochfläche der südlichen Altmark (vergl. nebenstehende Karte Fig. 169), auf der die Letzlinger und Kolbitzer Forst liegen. Sie wird aufgebaut aus 30—40 m mächtigen Sandmassen, die ohne jede Überdeckung mit undurchlässigen Schichten bis an die Oberfläche reichen und ein hervorragend günstiges Speisungsgebiet des Grundwassers bilden. Das Wasser sinkt in die Tiefe, bis es den in 20 bis 30 m Tiefe liegenden Grundwasserspiegel erreicht, und bewegt sich dann in der Richtung nach Süden auf das Ohretal zu. 2—4 km von diesem entfernt beginnt sich auf die Sande eine Grundmoräne aufzulagern, die schnell an Mächtigkeit zunimmt; diese Grundmoräne erlangt eine Mächtigkeit bis zu 25 m; stellenweise ist sie in zwei Bänke gespalten, so daß dadurch örtlich zwei artesische Wasserhorizonte entstehen, die aber keine Druckunterschiede aufweisen. Nach Süden hin endet diese Grundmoräne im Gebiete des Elbe- und Ohretales; das Wasser hört damit auf, artesisch zu sein und mündet in den luftbedeckten Grundwasserstrom der genannten beiden Täler ein. Durch die Anlagerung der undurchlässigen Geschiebemergeldecke wird das Wasser verhindert, sich weiterhin als luftbedecktes Grundwasser zu bewegen, mit anderen Worten, es wird in Druckwasser umgewandelt, wie es das bereits oben gegebene Profil Fig. 145 zeigt. Infolgedessen steigt das Wasser in allen Bohrlöchern empor und fließt entweder über der Erdoberfläche ab oder tritt doch wenigstens bis nahe an sie heran. In allen auf der Karte unterstrichenen Orten, also auf einer Linie von ungefähr 40 km Länge, ist dieser artesische Wasserhorizont bisher beobachtet worden. Auf ihm beruht fast ausschließlich die Wasserversorgung einer ganzen Reihe ländlicher Ortschaften, ferner die zentrale Wasserversorgung der Stadt Neuahaldensleben, sowie die Wasserversorgung der Magdeburger Eisenbahnanlagen. Der Ertrag dieses artesischen Wassers scheint ein überaus großer zu sein, denn der bereits oben nach seiner Ergiebigkeit angeführte artesische Brunnen bei Wolmirstedt hat die in nur 100 m Entfernung gelegenen benachbarten Brunnen nur in ganz minimaler Weise beeinflußt, da in ihnen während des Pumpens im ersten Brunnen der Wasserspiegel sich nur um wenige Zentimeter gesenkt hat. Andererseits ist in der Stadt Neuahaldensleben eine bedeutende Senkung erfolgt durch Anlage eines Brunnens für eine große Hefenfabrik, durch welchen eine ganze Reihe benachbarter Hausbrunnen trocken gelegt oder doch in ihrer Ergiebigkeit und Druckhöhe beeinträchtigt worden sind. Der Druckwasserstrom des Ohretales bietet ein vortreffliches Beispiel für die Gliederung eines Druckwassersystems in Nährgebiet, Druckgebiet und Abflußgebiet.

Eine gewisse Berühmtheit hat der Brunnen von Schneidemühl erlangt, der den Einsturz eines Stadtteiles verursachte. Das artesische

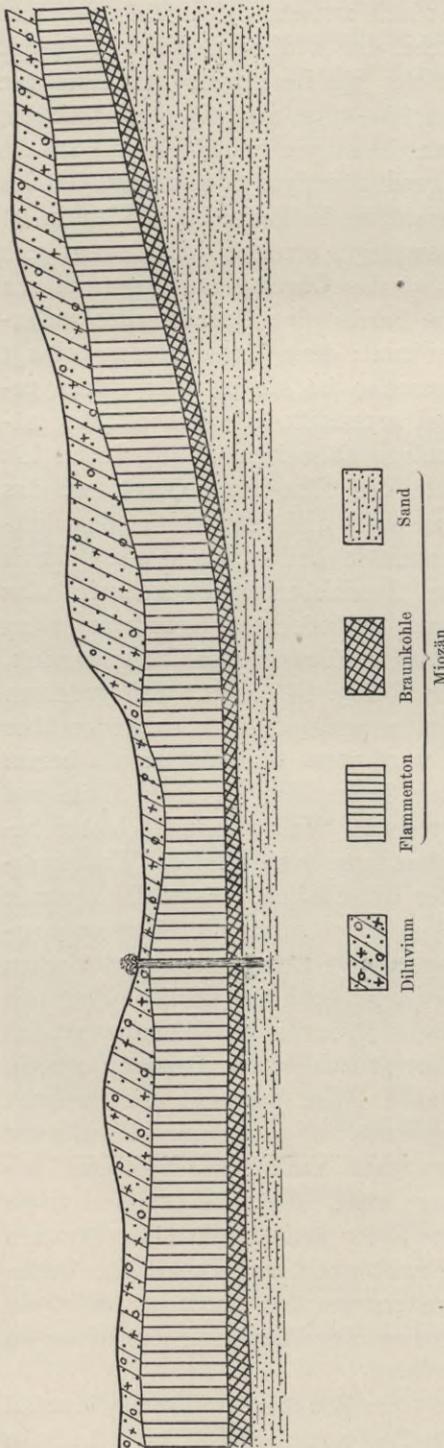


Fig. 170

Wasser entquoll in einer Tiefe von ungefähr 90 m einem so feinkörnigen Wasserträger, daß derselbe mechanisch mitgerissen wurde und mit jedem Kubikmeter Wasser eine Anzahl von Kilogramm Sand aus der Tiefe empordrang. Dadurch entstanden in der Umgebung des Brunnens Massendefekte, die schließlich zu Bodensenkungen führten, deren Maß an der Oberfläche bis zu 1 m betrug und den Einsturz von Gebäuden zur Folge hatte. Auch hier handelt es sich um einen Grundwasserstrom, der von einem hochgelegenen Nährgebiete, dem Baltischen Höhenrücken kommend, im südlichen Randgebiete dieses Höhenrückens unter sich auflagernde undurchlässige Schichten, in diesem Falle diluviale Tonmergel, gerät und dadurch in Druckwasser umgewandelt wird.

Die weiter südlich gelegenen Teile der Provinz Posen sind ebenfalls außerordentlich reich an artesischem Wasser, und zwar ist es hier besonders eine mächtige Schichtenfolge miozäner Sande, in denen es auf Hunderten von Quadratkilometern angetroffen wird. Als nach oben hin stauende Schicht wirkt der jungmiozäne oder vielleicht auch pliozäne Posener Flammenton (Profil Fig. 170), dessen Mächtigkeit mehr als 100 m erreichen kann. Dieser Ton keilt sich sowohl nach Westen wie auch nach

Norden hin gegen erheblich höher gelegene Gebiete aus, und diese müssen als Nährgebiete angesehen werden, von denen aus das Wasser als gewöhnliches Grundwasser den tieferen Teilen des Posenschen Miozäns zufließt. Dabei gelangt es unter die Decke des Flammentons und wird dadurch in Druckwasser umgewandelt.

Dieser Druckwasserstrom bewegt sich stellenweise in sehr groben Kiesen, so bei Glogau, und gibt dann reichlich Wasser ab. In anderen Gebieten ist aber der Wasserträger sehr feinkörnig, so daß die Schichten schwer entwässern; die Folge davon ist, daß, wenn in einem Schachte wirklich das Wasser bis zu einer gewissen Tiefe gesenkt ist, es unmittelbar daneben unter wenig oder gar nicht verändertem Drucke steht. Das ist die Ursache der außerordentlichen Schwierigkeiten, die Braunkohlenflöze der Provinz Posen, die unmittelbar unter dem Flammentone und über den mit Druckwasser erfüllten, meist äußerst feinkörnigen Miozänsanden liegen, durch Tiefbau auszubeuten, da immer neue Durchbrüche von Wasser und Schwimmsand aus dem Liegenden erfolgen.

Selbst alluviale Ablagerungen können in der gleichen Weise artesisches Wasser erzeugen, ja es kommt vor, daß Quellen durch ihre eigenen chemischen Absätze das sie speisende gewöhnliche, luftbedeckte Grundwasser in artesisches Wasser verwandeln. Ein sehr interessanter Fall dieser Art ist mir aus der Gegend von Gramenz in Hinterpommern bekannt. Das am Abfalle der baltischen Seenplatte gegen das Persantetal gelegene Dorf besitzt beiderseits der Eisenbahn ausgedehnte Kalkablagerungen, die heute als Düngerkalk ausgebeutet werden. Das geologische Profil des Vorkommens ist in der nebenstehenden Fig. 171 wiedergegeben. Aus den zwischen zwei undurchlässigen Geschiebemergelbänken lagernden mächtigen Diluvialsanden treten Quellen hervor, die sehr reichlich Kalk, teils als Kalktuff, überwiegend aber als dichten torfigen Quellkalk abscheiden. Durch diese undurchlässige Schicht wurden die Quellen gestaut, traten etwas höher am Gehänge

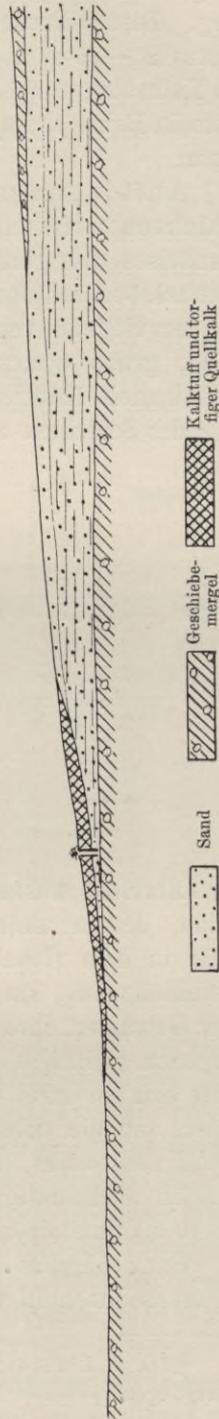


Fig. 171

zutage und verlegten so gleichzeitig die obere Grenze der Kalkabscheidung. Dieser Prozeß ging immer weiter und die Quellen entsprangen zuletzt 20—25 m über dem ursprünglichen Quellorte. Das Wasser unter den Kalkablagerungen aber wurde durch diese selbst gespannt und steigt heute in Bohrlöchern innerhalb der Kalkgruben mit starkem Überdrucke empor.

Aufbiegungen oder Niederbiegungen wasserführender Schichten zwischen undurchlässigen Tonen infolge der Einwirkung des Inlandeises, also glazial erzeugte kleine Flexuren, sind in Norddeutschland mehrfach beobachtet worden. Ein gutes Beispiel beschreibt O. v. Linstow aus der Gegend von Düben¹⁾. Hier sind miozäne Flaschentone und weiße, grobe Quarzsande und Quarzkiese in Wechsellagerung durch das Inlandeis disloziert und aufgestaut worden, ohne daß der Zusammenhang der Schichten zerrissen worden ist. Infolgedessen streichen unter

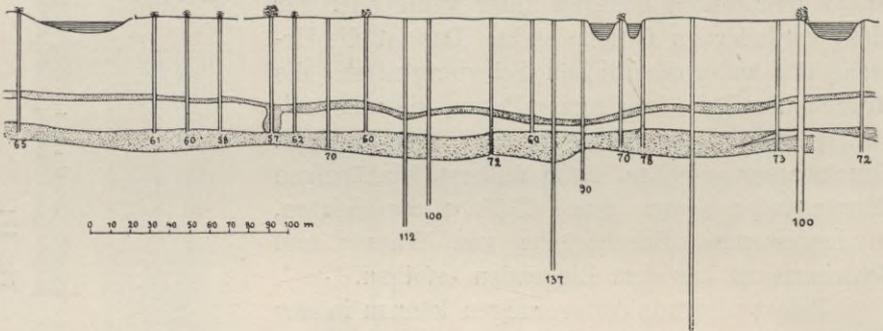


Fig. 172 (nach Daubrée)

dem Diluvium wasseraufnahmefähige Sande und Kiese der Tertiärformation, die in undurchlässigen Tonen eingelagert sind, nördlich der Mulde in dem Höhenzuge zwischen Düben und Pretzsch in größerer Meereshöhe aus, sie erlangen hier, zum Teil durch Versinken oberirdischer Gewässer, ihre Speisung mit Wasser und führen nun in den tiefer gelegenen südlichen Gebieten im Muldetale artesisches Wasser. Dieses findet sich in zwei verschiedenen Kiesschichten übereinander so angeordnet, daß die tiefere Schicht (50—65 m unter Tage) in einem höheren Niveau ausstreicht, als die höher gelegene (30—40 m unter Tage), und demnach auch unter stärkerem Druck stehende und höher über Tage (bis 10 m) aufsteigende Wasser enthält.

Ganz ähnlich liegen wahrscheinlich die Verhältnisse unter den Lagunensedimenten von Venedig, die in Fig. 172 dargestellt sind. Dort

¹⁾ O. v. Linstow, Die geologischen Bedingungen der Grundwasserverhältnisse in der Gegend zwischen Bitterfeld und Bad Schmiedeberg (Sachsen). Jahrb. d. Königl. Geol. Landesanst. für 1911, Band 32, Teil II, Heft 1, S. 195.

sind an einer erheblichen Anzahl von Stellen über Tage ausfließende süße Wasser erbohrt worden, die aus mehreren übereinander folgenden, in undurchlässigen Sedimenten eingebetteten Sandschichten stammen. Wahrscheinlich biegen die wasserführenden Schichten nach Norden zu, d. h. gegen die Alpen hin, auf und erlangen dadurch ihren erhöhten artesischen Druck.

Eine sehr merkwürdige Art von artesischem Wasser in ungewöhnlich flach lagernden Schichten stellen die sog. „Fontanili“ der nördlichen Lombardei dar. Man versteht darunter ganz flache, meist nur aus einer eingegrabenen Tonne bestehende Brunnen, aus denen dauernd Wasser über Tage abfließt, das zu Bewässerungszwecken Verwendung findet und dank seiner hohen Temperatur einen dauernden, auch im Winter nicht aufgehörenden Graswuchs gestattet. Diese Fontanili finden sich in einer Zone der lombardischen Ebene, die parallel ihrer durch den Po gebildeten Tiefenlinie von Novara bis fast zur Etsch und weiter im Osten sich noch einmal fast 100 km weit durch Venetien erstreckt. Hier wechsellagern quartäre Tone und Kiese, die etwas stärker als die Oberfläche einfallen. Wo in 2—3 m Tiefe unter der Oberfläche, die aus Ton besteht, die wasserführenden Kiese mit unter genügendem Drucke stehendem Wasser sich finden, werden die artesischen Wässer in Tonnenbrunnen geführt und gelangen so an die Oberfläche. Ihr Ertrag beträgt durchschnittlich 120 sec/l und der Gesamtertrag der Fontanili beläuft sich nach Daubrée auf 120 cbm in der Sekunde.

6. Die Entstehung der Quellen

41. Kapitel

Allgemeines. Einteilung

Wie im 12. Kapitel bereits begründet, beschränken wir die Namen Quelle, Quellenlinie, Quellenhorizont usw. auf das wirklich an die Tagesoberfläche gelangende Grundwasser. Durch die großen Verschiedenheiten in der Art der Wasserführung der Gesteine (Klüftigkeit, Durchlässigkeit im kleinen), noch viel mehr aber durch die außerordentliche Zahl der Möglichkeiten für die Lagerung der wasserführenden Gesteine gibt es für das Wiederzutagetreten des Grundwassers, also für die Erscheinung der Quellen, eine Fülle von Möglichkeiten. Ihre Untersuchung gewährt uns zugleich einen lehrreichen Einblick in die Gesetze der Wasserbewegung im Boden.

Alb. Heim teilt nach mündlicher Mitteilung die Quellen folgendermaßen ein:

A. Schuttquellen:

1. Reine Schuttquellen (aus Schutt auf Schutt),
2. Schuttgrundquellen (aus Schutt auf Fels);

B. Felsquellen:

1. Schichtquellen,
2. Spaltquellen.

Da die Unterschiede zwischen „Schutt“ und „Fels“ bisweilen recht zweifelhaft werden, ziehe ich es vor, der Haupteinteilung einen physikalischen Gesichtspunkt zugrunde zu legen und teile deshalb die Quellen zunächst ein in:

- A. Absteigende Quellen,**
- B. Aufsteigende Quellen.**

Bei ersteren bewegt sich das Wasser vom Nährgebiete zum Quellorte von oben nach unten, und zwar zu allermeist als luftbedecktes gewöhnliches Grundwasser; bei den aufsteigenden Quellen nehmen wir dagegen eine umgekehrte, naturgemäß entweder auf hydrostatischem Drucke oder auf Gasauftrieb beruhende Bewegung zumeist artesischen Wassers wahr. Nach der Lagerung der wasserführenden Schichten am Quellorte kommen wir dann weiter zu folgender Einteilung der absteigenden Quellen:

1. Quellen durch Profilverengung im Wasserträger,
2. Quellen durch natürliche Endigung des Wasserträgers,
3. Schichtquellen, an durch Erosion herbeigeführten Endigungen des Wasserträgers,
4. Überfallquellen,
5. Stau- oder Barrierenquellen,
6. Spaltenquellen,
7. Verwerfungsquellen.

Als Anhang betrachten wir die intermittierenden Quellen.

Die aufsteigenden Quellen teilen wir ein in:

1. Quellen durch hydrostatischen Druck:
 - a) Schichtquellen,
 - b) Verwerfungsquellen.
2. Quellen durch Auftrieb vermittels Gasen:
 - a) durch Wasserdampf,
 - b) durch Kohlensäure,
 - c) durch Kohlenwasserstoff.

Wie zu sehen, ist in dieser Einteilung den heißen Quellen oder Thermen und den Mineralquellen kein besonderer Platz eingeräumt, und das ist auch ganz natürlich, denn beide Arten von Quellen können in jeder der oben genannten Gruppen auftreten und stellen nur durch

höhere Temperatur oder höheren Gehalt an bestimmten, gelösten, festen Stoffen und Gasen zu unterscheidende Abarten gewöhnlicher Quellen vor, wie sie denn auch mit diesen durch zahlreiche Übergänge verbunden sind. Aus diesem Grunde sind den heißen Quellen und den Mineralquellen, abgesehen vom 7. chemischen, keine besonderen Abschnitte dieses Buches gewidmet, sondern die Bemerkungen über sie auf die einzelnen Kapitel verteilt worden.

42. Kapitel

Absteigende Quellen

1. Quellen durch Profilverengung im Wasserträger

Die Verengung des Abflußprofils eines Grundwasserstromes kann erfolgen:

1. durch die Verkleinerung der Fläche des Gesamtprofils, d. h. durch Verschmälerung der Breite des Grundwasserträgers oder durch Verringerung seiner Mächtigkeit oder durch beides.

2. durch Verringerung der Durchlässigkeit des Grundwasserträgers, die wiederum zurückzuführen ist auf abnehmende Korngröße und damit verringertes Porenvolumen des gesamten Gesteins, bezw. auf eine Verminderung der Zahl oder der Größe der wasserführenden Klüfte oder Hohlräume eines festen Gesteins.

3. durch eine Verminderung des Gefälles im Grundwasser, wodurch natürlich bei gleichbleibender Wassermenge ein größerer Querschnitt des Grundwasserträgers zur Beförderung der gesamten Wassermenge erforderlich wird.

Treten in einem Grundwasserträger einer oder mehrere der genannten Fälle nebeneinander ein, so ist die natürliche Folge die, daß der Grundwasserträger nicht mehr imstande ist, die ihm zugeführten Wassermengen unterhalb der Erdoberfläche weiter zu befördern, daß ein Teil des Wassers vielmehr zutage treten und sich oberirdisch seinen Weg suchen muß. Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Art von Quellenentstehung bietet die Oberbayerische Hochebene. Die an den Endmoränengürtel der Alpen sich anschließenden gewaltigen Ablagerungen von mächtigen Schottern, Kiesen und Sanden, die sich vom Alpenrande bis zum Donautale als eine viele Meter mächtige, flach nach Norden geneigte Ebene hinziehen und von undurchlässigen tertiären Tonen, dem sog. Flinz, unterlagert werden, nehmen in ihrer Mächtigkeit und zugleich in der Größe ihrer einzelnen Körner von Süden nach Norden beständig ab. Die Folge davon ist, daß die mächtigen Wassermassen, die sich von den Alpen aus nach Norden^{*} bewegen, allmählich keinen ausreichenden Platz mehr in den Sanden und Kiesen haben und in der Art zutage treten, wie es

der folgende Querschnitt (Fig. 173) zeigt. Die Linie dieses Zutagetretens läßt sich auf der Oberbayerischen Hochfläche meilenweit verfolgen und ist in sehr auffälliger Weise durch das Auftreten außerordentlich ausgedehnter Moore (sog. „Moose“) bezeichnet, die durch den großen Wasserreichtum an der Austrittslinie und von da an abwärts erzeugt sind.

Ein anderes treffliches Beispiel bietet das südöstliche Island. An die gewaltigen Inlandeisfelder und die aus ihnen heraustretenden riesenhaften Gletscher im Gebiete des Vatna Jökull schließen sich 10—50 km breite Sand- und Kiesflächen an, die durch die Gletscherschmelzwässer zwischen dem Fuße der Gletscher und dem Meere aufgeschüttet sind. Sie erheben sich vom Meeresspiegel bis zum Fuße der Gletscher um wechselnde Beträge von 20—200 m und sind neuerdings in einer ausgezeichneten topographischen, vom Dänischen Generalstabe herausgegebenen Karte des südöstlichen Islands i. M. 1 : 50 000 dargestellt. Wie der in Fig. 174 wiedergegebene Ausschnitt lehrt, zeigt diese Karte in vortrefflicher Weise, wie die Gletscherschmelzwasser nicht am Rande des Gletschers heraustreten, sondern in den groben Schottermassen versinken,

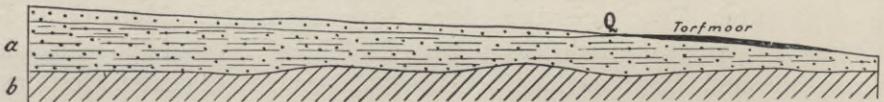


Fig. 173

so daß die an die Gletscher anstoßenden Sandflächen z. T. ohne oberirdische Wasserläufe sind. Dagegen entstehen in ihnen plötzlich in der Richtung nach dem Meere zu in viel tieferem Niveau oberflächliche Wasserläufe, und noch weiter nach dem Meere hin brechen allenthalben aus den losen Sanden und Kiesen gewaltige Wassermassen hervor, die dem ganzen unteren Teile dieser sog. Sanderflächen einen amphibischen Charakter verleihen, da diese Flächen hier allenthalben mehr oder weniger von dem Meere zufließenden Wassermengen überflutet sind. Das Profil Fig. 175 erläutert ihre Entstehungsweise.

Ein weiteres Beispiel der Entstehung von Quellen durch Profilverengung danke ich der Freundlichkeit von Prof. Alb. Heim. Wenn in einem Tale mit genügend durchlässiger, wasserführender Auskleidung des Talbodens Verschmälerungen und Verbreiterungen miteinander abwechseln, so vermindert sich natürlich an den Einschnürungen der Querschnitt des Grundwasserträgers und der Überschuß von Wasser, der unterirdisch nicht mehr passieren kann, muß als Quelle zutage treten. Ein herrliches Beispiel bietet das bei Zürich gelegene, in die Molasse eingeschnittene Tößtal, ein im II. Stadium befindliches Tal mit verbreiterten Serpentinien, in dem an jedem der vorspringenden, den ebenen

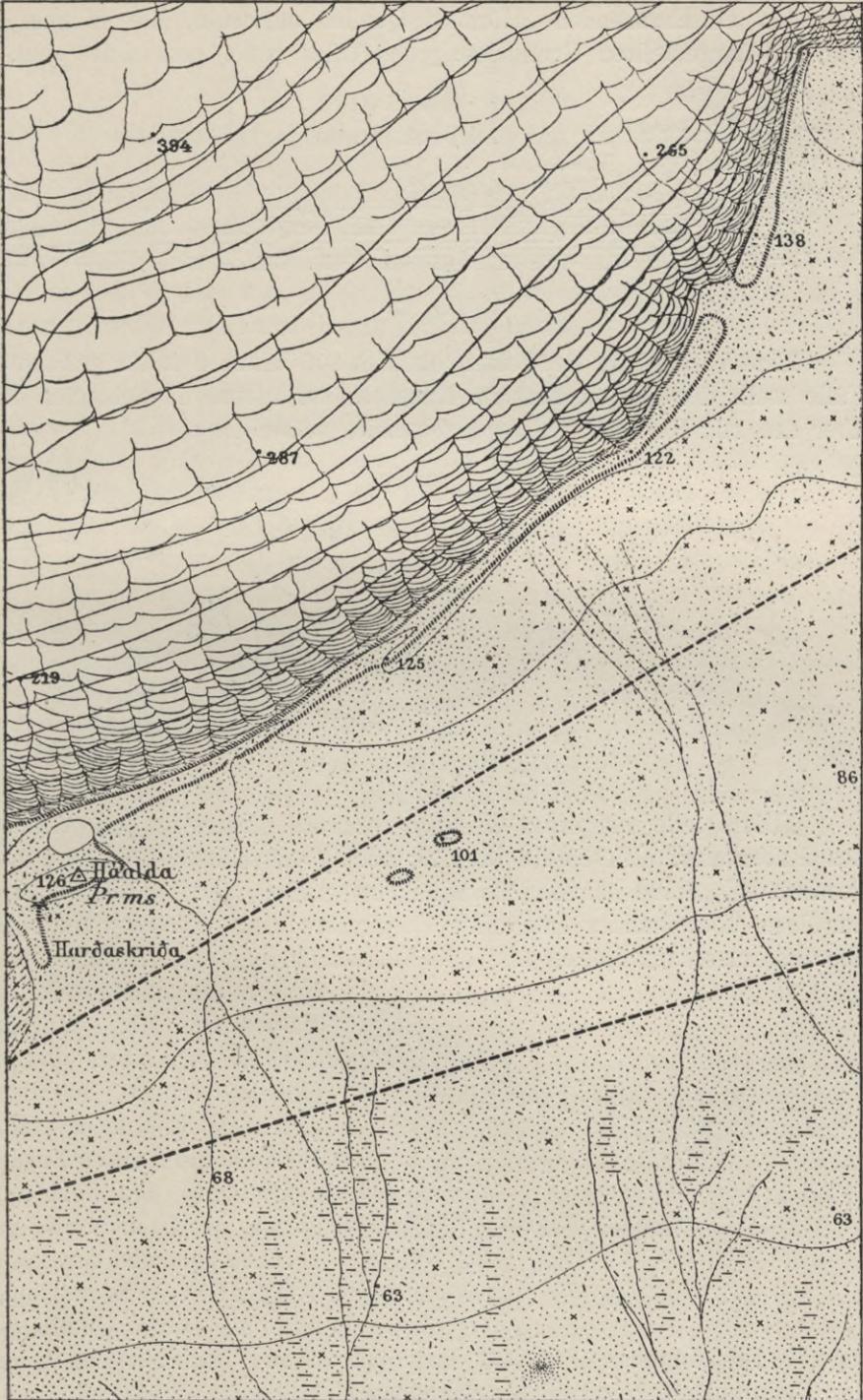


Fig. 174. Vorland eines südisländischen Gletschers. 1 : 50000.

Die kurze horizontale Strichelung im Süden bezeichnet das Wiederzutagetreten der versunkenen Gletscherschmelzwasser

Talboden einschnürenden „Hörner“ Quellen auftreten, die in dem in Fig. 176 dargestellten Grundrisse jenes Tales mit Q bezeichnet sind.

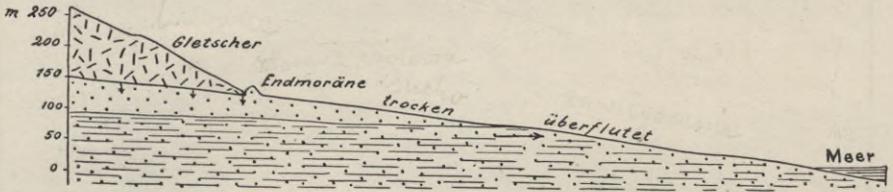


Fig. 175

Eine Verbindung der beiden oben S. 308 unter 2 und 3 genannten Fälle stellt der „Urlebrunn“ im Rabental bei Liebau in Schlesien dar, über den mir Herr Dr. G. Berg folgendes schreibt:

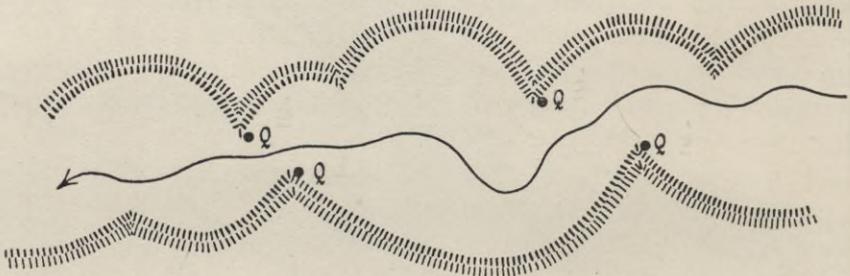


Fig. 176 (nach A. Heim)

„Die Quelle entspringt in großer Stärke mitten in den Alluvien des Rabentales. Dieses ist in kleinstückig zerfallende Porphyre eingeschnitten. Seine Alluvien bestehen aus großen Mengen scharfeckiger nur lose übereinander gehäufter Porphyrbrocken. Dieser Schutt ist überaus wasserdurchlässig und alle Niederschläge fließen in ihm unter-

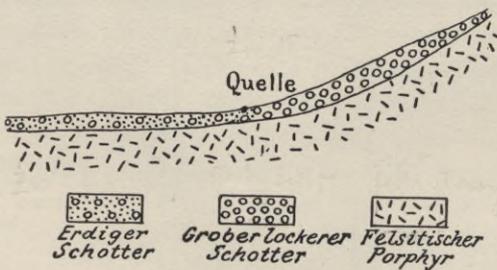


Fig. 177

irdisch als starker Grundwasserstrom ab. Wo sich das Tal verbreitert und an Gefälle verliert, beteiligen sich mehr und mehr erdige Bestandteile an der Zusammensetzung des Schotters, dieser wird dadurch undurchlässiger und der größte Teil des Grundwasserstromes tritt als starke Quelle zutage.“ Die folgende Fig. 177 mag das Zusammenwirken zunehmender Undurchlässigkeit und abnehmenden Gefälles des Wasserträgers an der Erzeugung der Quelle veranschaulichen.

43. Kapitel

Absteigende Quellen

2. Quellen durch natürliche Endigung des Wasserträgers

Wenn an der Oberfläche lagernde, durchlässige und wasserführende, auf einer undurchlässigen Unterlage ruhende Schichten ihr natürliches Ende finden, so muß selbstverständlich das Wasser, das bis dahin in ihnen sich bewegt hat, als Quelle zutage treten. Ein einfaches Beispiel dieser Art von Quellen zeigen uns die Grundwasser solcher Ablagerungen, die ihrer ganzen Entstehung nach ihren Weg in bereits vorhandenen Einsenkungen und Flußtälern nehmen müssen, wie Gletscher- und Lavaströme. In einem Tale, in welchem sich ein Gletscher bewegt, fließen in diesem nicht nur die durch das Schmelzen des Eises erzeugten Wassermengen, sondern auch alle diejenigen Wasser, die aus den Flanken des vom Eise erfüllten Tales als Quellwasser austreten und, falls der Gletscher nicht vorhanden wäre, sich in dem betreffenden Tale als Fluß bewegen würden. Alle diese Wassermengen müssen naturgemäß da zutage treten, wo der Gletscher endigt, d. h. an seiner Stirn, und daher gehören die Bäche, die den sog. Gletschertoren entströmen, in diese Gruppe von Quellen.

Genau ebenso liegen die Verhältnisse bei Lavaströmen. Die aus einem Vulkan entweder aus einem Gipfelkrater oder aus seinen Flanken ausbrechenden Lavamassen sind denselben Gesetzen unterworfen wie das fließende Wasser, d. h. sie müssen von ihrer Ausbruchsstelle aus den Linien größten Gefälles folgen und deshalb auf denselben Wegen sich vorwärts bewegen wie das Wasser. Infolge der ganz außerordentlich großen Klüftigkeit der Lava und ihrer dadurch bedingten ungeheuren Wasseraufnahmefähigkeit versinken auf den Lavaströmen, wie überhaupt in den Gebieten lockerer und fester Ablagerungen der jüngeren Vulkane, alle Wasser spurlos in die Tiefe und zwar nicht etwa nur die meteorischen Wasser, sondern auch Flüsse, die etwa aus den Nebentälern in das von der Lava erfüllte Tal hineingelangen, sowie alle Gewässer, die aus den Flanken des von der Lava erfüllten Tales hervorbrechen. Sie alle nehmen ihren Weg durch den unteren Teil des Lavastromes und treten naturgemäß da zutage, wo dieser endigt. Auf diese Weise entstehen außerordentlich mächtige Quellen, und alle Vulkangebiete mit stärkerer Entwicklung von Lavaströmen liefern vortreffliche Beispiele, wie z. B. das Französische Zentralplateau, von dessen Lavaquellen aus die Wasserversorgung einer großen Anzahl von Städten und Gemeinden erfolgt. Ein schönes Bild einer Lavaquelle aus dem französischen Zentralplateau (Fig. 178) verdanke ich der Freundlichkeit von Herrn Prof. Glangeaud, der folgende Erläuterung dazu gibt:

Les sources de Peschadoires (Puy de Dôme) sur le front des coulées de lave du Puy de Côme (Vallée de la Sioule) d'après Ph. Glangeaud. On aperçoit à droite le flanc ouest du thalweg de la Vallée de la Sioule au pied duquel coule cette rivière, qui a ici une allure torrentielle. A gauche, extrémité des coulées du Volcan de Côme, qui ont barré la vallée ancienne de la Sioule et sources abondantes de Peschadoires, retenues par un barrage artificiel (petit étang-reservoir à poissons). Extrait de: La Chaîne des Puys (Ph. Glangeaud) Bull. du Service de la carte géologique de la France 1913.

Die gleichen Lavaquellen treten in größter Menge in den Lavawüsten Islands auf, von denen uns durch die neue, bereits oben erwähnte



Fig. 178. Lavaquelle am Fuße des Puy de Côme. Phot. Ph. Glangeaud

Karte des dänischen Generalstabes Kunde geworden ist. Die Karte Fig. 179, ein Ausschnitt aus der neuen Karte von Island 1 : 50 000, zeigt in ausgezeichneter Weise, wie in dem großen Lavastrom des Brunahraun Flüsse verschwinden und wieder auftauchen, und wie am Rande des Lavastromes zahllose Quellen, z. T. in Gestalt kleiner Flüsse hervorbrechen. Auch im Hekla-Gebiete, in dem die Lavaströme in ausgezeichneter Weise in langgestreckten Tälern angeordnet sind, findet man dieselbe Erscheinung des Hervorbrechens beinahe schiffbarer Ströme aus der Lava wieder.

In dieselbe Gruppe von Quellen gehören auch die sogenannten Schuttquellen. Wenn die Schuttmassen von Bergstürzen und die in unseren Gebirgen weit verbreiteten, an den Fuß der steileren Gehänge

sich anlehnenden Schutthalden (vergl. 3. Kapitel) genügende Größe besitzen, so können sich in ihnen selbständige Grundwasservorräte sammeln, die dann auf der allermeist schwerer durchlässigen Unterlage bergabwärts fließen und am Fuße der Schutthalden und Bergsturzmassen

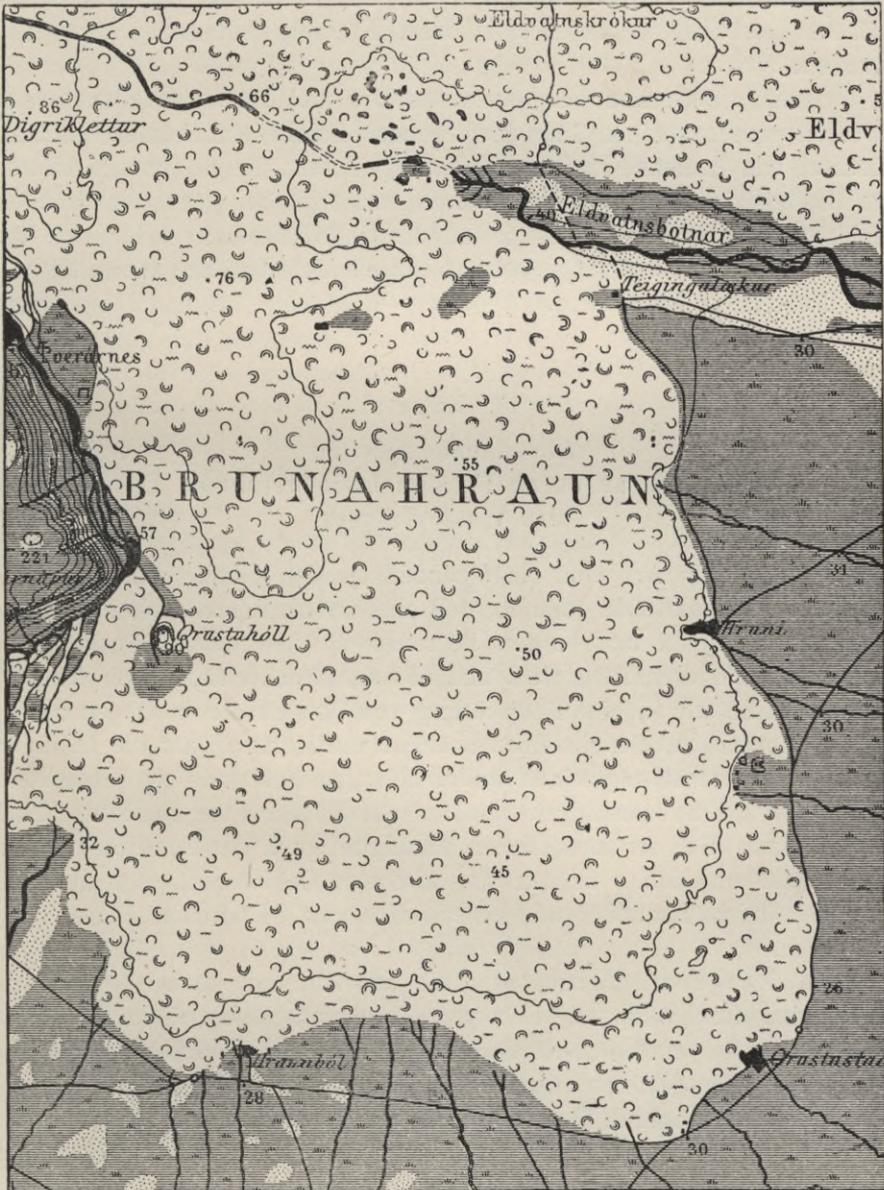


Fig. 179. Randgebiet des Lavastromes Brunhraun in Südisland. 1 : 50000.
Ausschnitt aus der dänischen Generalstabkarte

in Gestalt von meist sehr zahlreichen Quellen wieder zutage treten. Noch häufiger empfangen derartige Schuttkegel und Halden ihr Wasser aus dem Gebirge, an das sie sich anlehnen, so daß sie nur die Weiterleitung der Quellen übernehmen. In diesem Falle liegt der eigentliche Quellort unter dem Schutte verborgen, und wir haben dann die am Fuße der Schutthalde austretende Quelle als eine sekundäre zu betrachten. Näheres hierüber findet sich in dem Kapitel über Aufsuchung von Quellen.

Auch die Quellen, die einem an Ort und Stelle zerfallenen und dadurch wasseraufnahmefähig gewordenen Gesteine entströmen, gehören hierher, wie manche Quellen in Granitgebieten, die da zutage treten, wo das grusig zerfallene Verwitterungsmaterial an geneigten Hängen endet und unzersetztes Gestein an die Oberfläche tritt oder sich ihr so weit nähert, daß der Querschnitt für die unterirdische Weiterleitung des Wassers zu klein wird.

44. Kapitel

Absteigende Quellen

3. Schichtquellen an durch Erosion herbeigeführten Endigungen des Wasserträgers

Eine dritte Art von absteigenden Quellen bilden die Schichtquellen. Sie entstehen dadurch, daß eine wassertragende, von undurchlässigen Bildungen nach unten begrenzte Schicht durch Erosion oder Denudation angeschnitten wird und mit der Erdoberfläche zum Schnitte gelangt. Ehe wir in eine Betrachtung von Quellen dieser Art eintreten, ist es erforderlich, die einzelnen Formationen in bezug auf die in ihnen enthaltenen durchlässigen und undurchlässigen Schichten zu betrachten, wobei wir uns zweckmäßigerweise auf die Verhältnisse in Deutschland beschränken. Bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Entwicklung der einzelnen Formationen in den verschiedenen Gebieten ihres Auftretens muß ich mich natürlich mit einer allgemein gehaltenen Darstellung begnügen.

In der Quartärformation, die aus Alluvium und Diluvium besteht, sind durchlässig alle Schotter, Kiese und Sande bis hinunter zu einer Größe der einzelnen Körner von $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ mm. Schwer durchlässig sind alle feiner gekörnten Sande, die sogenannten Mergel- und Schluff-sande, die feinsandigen Tonmergel und sandigen Geschiebemergel sowie der Löß; undurchlässig endlich sind fette Flußschlicke, fette Tonmergel und sandarme Geschiebemergel.

In der Tertiärformation begegnen uns die ersten festen Gesteine. Wir haben infolgedessen in ihr zu unterscheiden zwischen im kleinen

durchlässigen lockeren Bildungen, zwischen im großen durchlässigen Gesteinen und zwischen undurchlässigen Bildungen. Zu den im kleinen durchlässigen Gebilden gehören wiederum die verschiedenen Sande, wie Quarzsande, Grünsande, Glimmersande, ferner Quarzkiese und Schotter und gewisse sehr wenig verkittete und daher mit großem Porenvolumen versehene Sandsteine. Zu den schwer durchlässigen Bildungen gehören sehr feine Quarzsande und Formsande, zu den im großen durchlässigen Kalksteine und Sandsteine der süddeutschen Molasse, zu den undurchlässigen die zahlreichen Tone, Flaschentone, Glimmertone, Kohlenletten und Flammentone des Miozäns der östlichen Provinzen, die Cyrenenmergel des Westens, der Septarienton und die Eozäntone Nord- und Mitteld Deutschlands. Sehr verschieden verhalten sich die Braunkohlen. Bei einem fast immer 50% erreichenden oder übersteigenden Wasseraufnahmevermögen sind sie bald vorzüglich durchlässig für das Wasser und zwar hauptsächlich infolge von Klüftung, bald außerordentlich undurchlässig. Infolgedessen entwässern sich die Flöze mancher Gebiete, z. B. der Lausitz, außerordentlich leicht und schnell, und bei künstlicher Trockenlegung entstehen in solchen Flözen ausgedehnte und flache Senkungstrichter. Andere Gebiete, wie z. B. große Teile des sächsisch-thüringischen Eozänbeckens, besitzen auffallend undurchlässige Flöze, die infolgedessen sich schwer entwässern lassen und bei künstlicher Trockenlegung enge, steile Senkungstrichter zeigen. Diese Unterschiede machen sich auch in den hydrostatischen Verhältnissen der Liegendschichten auffallend bemerklich, worüber auf den Abschnitt über artesisches Wasser S. 285 verwiesen sei.

In der Kreideformation treten die losen Gesteine bereits außerordentlich zurück. Es gehören zu ihnen unter den im kleinen durchlässigen Grünsande und Quarzsande sowie lockere Sandsteine und Konglomerate; zu den im großen durchlässigen sind zu rechnen feste Sandsteine, Konglomerate, Kalksteine, zu den weniger leicht durchlässigen die Schreibkreide; zu den undurchlässigen gehören Kreidemergel und Tonmergel.

Ganz ähnlich sind die Unterschiede in der Juraformation. Auch hier treten die durchlässigen, lockeren Bildungen bereits stark zurück, doch begegnen sie uns noch in dem Baltischen Jura in Gestalt Hunderte von Metern mächtiger Liassande. Die meisten Juragesteine besitzen nur eine Durchlässigkeit im großen, und zwar sind es auch hier wieder im wesentlichen Sandsteine und Kalksteine, während Tonschiefer, Mergelschiefer, Tonmergel, bituminöse Mergel die undurchlässigen Bildungen darstellen.

In der Triasformation spielt die Durchlässigkeit im kleinen eine große Rolle in den zahlreichen, im Buntsandstein auftretenden, entweder von vornherein mit unvollständiger Kornbindung (vgl. S. 11—13) ver-

kitteten oder durch spätere Vorgänge ihrer Bindemittel wieder ganz oder teilweise beraubten, verkitteten, lockeren Sandsteinen. Als durchlässig im großen lassen sich auch hier wieder Kalksteine, Dolomite und Sandsteine anführen, erstere im Unteren Keuper, im ganzen Muschelkalk und als Rogenstein im Buntsandstein verbreitet, die Dolomite wesentlich auf Keuper, Mittleren Muschelkalk und Röt beschränkt, die Sandsteine im Oberen Keuper im westdeutschen Muschelkalk und in der Buntsandsteinformation die Hauptrolle spielend. Als undurchlässig können wir bezeichnen die dolomitischen und gewöhnlichen Mergel, Tonschiefer und Schieferletten, die im Keuper, im Oberen und im Unteren Buntsandstein ihre Hauptverbreitung besitzen, im Muschelkalk dagegen zurücktreten.

In der Zechsteinformation sind durchlässig im großen die Kalksteine, Dolomite, Gipse und Anhydrite, während als undurchlässig die bunten Letten und der Salzton zu gelten haben.

In den paläozoischen Formationen herrscht große Übereinstimmung. Durchlässig im großen sind in ihnen allen die weitaus meisten Kalksteine, Sandsteine, Kieselschiefer, Quarzite, Grauwacken, Konglomerate, während die tonigen Bildungen, nämlich die meisten Tonschiefer, gewöhnliche und dolomitische Mergel, Rötelschiefer u. a. als undurchlässig zu gelten haben. Daß nicht auch die Schiefertone und Mergel eine Durchlässigkeit im großen und eine weitgehende Zerklüftung besitzen, liegt daran, daß die etwa in ihnen entstehenden Klüfte und Spalten sich sofort unter dem Gebirgsdrucke wieder vollständig wasserdicht schließen. Ein vorzügliches Beispiel bietet die Gegend von Bernburg, wo ein völlig übereinstimmendes System von Klüften und Spalten sowohl den Muschelkalk wie den Mittleren Buntsandstein durchsetzt, während solche Spalten und Klüfte in den zwischenliegenden Schichten des Oberen Buntsandsteins, die durchaus toniger Natur sind, völlig fehlen, ja wo diese Tone des Röt sogar von unten her in die Spalten des Muschelkalks eingepreßt sind.

In den archaischen Gesteinen, und im Verbreitungsgebiete aller metamorphen kristallinen Schiefer sind alle Gesteine fähig, durch Zerklüftung und Zertrümmerung eine Wasseraufnahmefähigkeit im großen zu erlangen. Das gleiche gilt für alle Eruptivgesteine mit Ausnahme der jüngsten Laven und der Tuffe, zu denen auch die Traßbildungen zu rechnen sind. Sie alle sind durch einen großen Wasserreichtum ausgezeichnet, der neben der Zerklüftung bei den letztgenannten Gesteinen auch ganz wesentlich durch das große Porenvolumen bedingt wird.

Bei den jetzt zu besprechenden Schichtquellen ist die durch den Quellenabfluß erzeugte Absenkungskurve des Wasserspiegels vom Inneren des wasserführenden Gesteins bis zum Quellenaustritte an der Tagesoberfläche genau die gleiche, wie sie bei einer Senkung durch künstliche Entnahme aus Brunnen, oder noch besser wie sie bei Senkungen des

Wasserspiegels durch große Tagebaue oder Steinbrüche im Grundwasser herbeigeführt wird. Es bildet sich auch hier ein parabolisch gekrümmter Grundwasserspiegel in der Nähe des Quellorts heraus, dessen Gestalt-Elemente wiederum in vollkommener Abhängigkeit sich befinden einmal von der Durchlässigkeit des Wasserträgers und sodann von der Mächtigkeit und dem Gefälle der angezapften Grundwasserschicht oberhalb der Anzapfungsstelle. Daß wir es bei allen durch absteigende Grundwasser erzeugten Quellen mit einem Stück eines Senkungstrichters zu tun haben, läßt sich am besten veranschaulichen durch die beiden folgenden Fig. 180 und 181, von denen die obere einen durch künstlichen Eingriff mittels Tagebau erzeugten Trichter darstellt, während die zweite unter genau den gleichen Lagerungs- und Wasserführungsverhältnissen einen durch die Erosion bedingten Grundwasseranschnitt, d. h. eine absteigende Schichtquelle darstellt. Die sich entwickelnden Senkungskurven müssen in beiden Fällen genau die gleichen sein.



Fig. 180

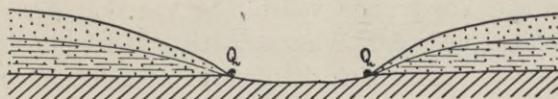


Fig. 181

Die durch die Mannigfaltigkeit der Lagerungsverhältnisse der Schichten bedingten verschiedenen Möglichkeiten der Schichtquellenbildung können wir folgendermaßen ordnen:

1. Horizontale Lagerung der undurchlässigen Schicht:
 - a) an geradlinig verlaufendem Gehänge,
 - b) an eingebuchtetem Gehänge;
2. Geneigte Lagerung der undurchlässigen Schicht:
 - a) die Neigung verläuft in der Richtung des Tales und die Schichten streichen mehr oder weniger quer zum Talverlaufe (Quertäler),
 - b) die Neigung verläuft quer zum Tal und die Schichten streichen in der Richtung des Tales (Längstäler);
 - α) die Schichten besitzen Muldenbau,
 - β) die Schichten besitzen Sattelbau,
 - γ) das Tal ist in eine einseitig geneigte Tafel eingeschnitten,

c) die undurchlässige Schicht besitzt eine unregelmäßige, wellig auf- und absteigende Oberfläche.

1a. Wenn an einem Talgehänge die Grenze einer eben lagernden, wasserführenden gegen eine darunterlagernde wasserundurchlässige Schicht in horizontaler Linie ausstreicht und das Talgehänge frei von Einbuchtungen ist, so muß auf dieser ganzen Linie das Grundwasser zutage treten (Fig. 182), und zwar geschieht das dann in einer größeren Anzahl von zumeist kleineren Quellen, deren Wasserführung soweit zurückgehen kann, daß nur noch eine dauernde Durchfeuchtung des Bodens und die Bildung von Naßgallen und sumpfigen Stellen an der betreffenden Stelle stattfindet.

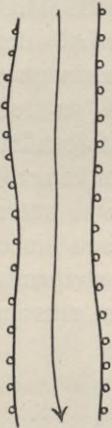


Fig. 182

1b. Sobald der Talrand nicht in gerader Linie verläuft, sondern durch Bildung von kurzen Nebentälchen Einbuchtungen erhält, ändert sich das Verhältnis vollständig. In solchen Fällen muß in der in Fig. 183 dargestellten Art und Weise die Bewegung des Grundwassers sich so vollziehen, daß seine Hauptmenge den Einbuchtungen zuströmt, während die Vorsprünge des Talrandes um so weniger Grundwasserspeisung erhalten, je näher die einzelnen Einbuchtungen aneinander rücken. Bei Häufung der kleinen, kurzen Nebentälchen können die Vorsprünge vollständig von der Wasserführung abgeschnitten werden und der Wasseraustritt vollzieht sich ganz ausschließlich in den Profileinbiegungen. Die Umbiegungsstellen des Talrandes an der Einmündung längerer oder kürzerer Nebentäler in das Haupttal sind also wasserarm.

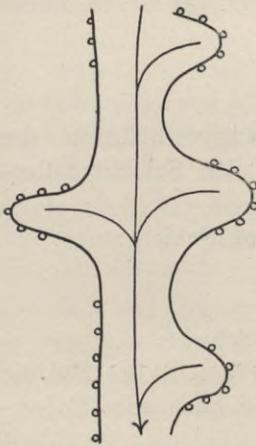


Fig. 183

2a. Bei geneigter Lagerung der Schichten müssen wir unterscheiden, ob die Schichten in der Richtung des Tales oder quer zu ihm streichen. Im letzteren Falle senkt sich die untere Grenze des Wasserträgers nach einer bestimmten Richtung hin; infolgedessen müssen auch die Quellaustritte sich gegen den Talboden neigen und schließlich sein Niveau erreichen. Man beobachtet dabei, daß die Ergiebigkeit der einzelnen Wasseraustrittsstellen mit der zunehmenden Annäherung an den Talboden wächst, und daß mit dessen Erreichung auch die stärksten Quellen angetroffen werden. Senkt sich endlich die untere Grenze des Wasserträgers unter den Talboden, so tritt sein Wasser nicht mehr als Quelle zutage, sondern ergießt sich in das Alluvium des Talbodens oder speist unmittelbar das Gewässer, welches offen im Tale fließt.

2b. Ganz anders liegt die Sache, wenn die Schichten in der Richtung des Tales streichen.

a. Ist das Tal in eine Mulde eingeschnitten (Fig. 184), so müssen wir natürlich auf beiden Seiten des Tales denselben Quellenhorizont wiederfinden, und zwar, wenn das Tal genau der Muldenachse folgt, bei symmetrischer Ausbildung der beiden Talränder in gleicher Höhe. Liegen in einem solchen Systeme mehrere wasserführende Schichten überein-

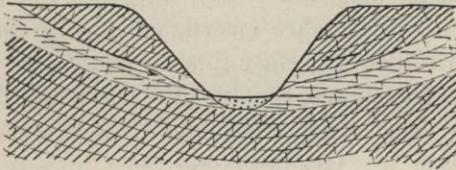


Fig. 184

ander, so gewinnen wir natürlich auch mehrere solcher übereinander liegender Quellenhorizonte. Auch hier wieder können die muldenförmig gelagerten Schichten entweder eine horizontal liegende Muldenachse besitzen, und dann haben wir eine Abart des unter 1a geschilderten Falles vor uns, oder die Muldenachse kann geneigt sein, dann haben wir eine Übereinstimmung mit Fall 2a.

β. Umgekehrt liegt die Sache, wenn die Schichten sich in Sattelstellung befinden (Fig. 185); dann fallen sie natürlich von den Tal-

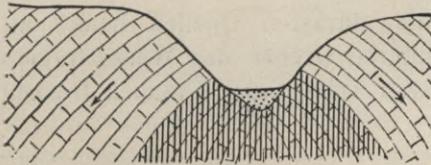


Fig. 185

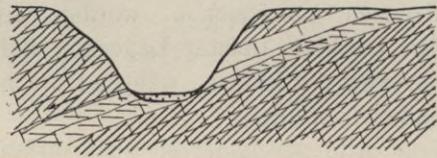


Fig. 186

rändern nach beiden Seiten ins Plateau und die Entstehung eines Quellenhorizonts ist unmöglich.

γ. Ist ein Tal in einen einseitig geneigten Schichtenverband eingeschnitten (Fig. 186), so haben wir eine Art Vereinigung der beiden eben besprochenen Fälle. Auf der einen Talseite fallen die Schichten von den Talrändern ab in den Berg hinein und die Möglichkeit eines Quellaustritts ist völlig ausgeschlossen. Auf der anderen Seite dagegen fallen die Schichten dem Tale zu und die Möglichkeit eines Wasser-austritts ist gegeben, die Menge des zu erwartenden Wassers, d. h. die Ergiebigkeit solcher Quellen ist dann abhängig von der Größe des Speisungsgebietes der wasserführenden Schichten, d. h. von ihrem Einfallwinkel. Ist dieser steil, so ist das Nährgebiet klein, und umgekehrt.

Je flacher die Schichten einfallen, auf um so größeren Flächen werden sie im allgemeinen ausstreichen, und um so beträchtlicher wird ihre Speisung mit Grundwasser, um so ergiebiger werden die aus ihnen entspringenden Quellen sein.

2c. Besitzt eine undurchlässige Schicht eine unebene Oberfläche, sei es, daß dieselbe durch tektonische Bewegungen (Faltungen) herbeigeführt wurde, sei es, daß die Erosion vor der Ablagerung des Wasserträgers ihre Oberfläche umgestaltet hat, oder daß von oben her wirkende Kräfte, wie Gletscherdruck, ihre Oberfläche uneben gemacht haben, so ergibt sich in allen Fällen auf einer solchen Unterlage eine sehr mannigfaltige Gestalt der Wasseransammlungen. Diese bilden in ringsum geschlossenen Senken eines solchen Gebietes Grundwasserseen, über denen die oberen Teile sich als Grundwasserströme hinweg bewegen. Wird ein solches System von der Erosion angeschnitten, so sind die Wassermassen gezwungen, ihren Weg wesentlich in den Einschnitten und Einsenkungen, Rissen, Furchen, Mulden und Becken der undurchlässigen Unterlage zu nehmen (Fig. 187). An Talrändern, in welchen diese

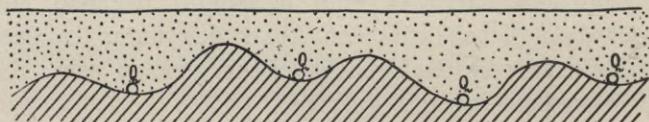


Fig. 187

Grenzen austreichen, werden wir die stärksten Quellen immer an den Punkten tiefster Lagerung der unteren Grenze des Wasserträgers zu erwarten haben, während die höheren Teile dieser Grenzen trocken daliegen werden.

Alle geschilderten Fälle erfahren noch eine weitere Beeinflussung durch die Verschiedenheiten, die im Wesen des Grundwasserträgers selbst begründet liegen. Wie sich an der Oberfläche alles Wasser die bequemsten Abflußwege sucht und sie findet, so bewegt sich auch das Grundwasser in einigermaßen mannigfaltig zusammengesetzten durchlässigen Schichten mit Vorliebe auf den Flächen größerer Durchlässigkeit, und das sind selbstverständlich die Ablagerungen, welche das größte Porenvolumen besitzen, unter den losen Bildungen also die groben Kiese und Schotter und unter den im großen durchlässigen Gesteinen die sprödesten und deshalb im allgemeinen am stärksten zerklüfteten. Wenn wir es in einem mächtigen Komplex solcher Schichten mit sehr häufigen Wechselagerungen grober und feiner oder leicht und schwer durchlässiger Schichten zu tun haben, so wird sich ganz von selbst die Wasserbewegung im wesentlichen in den gröberen oder durchlässigeren Schichten vollziehen, und an den Schnittlinien dieser Wasserträger mit der Ober-

fläche werden uns die ergiebigsten Quellen immer da begegnen müssen, wo die grösste oder leistungsfähigste Schicht des Wasserträgers an der Oberfläche ausstreicht. Es kann unter günstigen Umständen sogar eine Umkehrung des oben bezeichneten Verhältnisses erfolgen, daß nämlich größere Quellen an minder geeigneten Punkten der Quellenlinie hervorbrechen können, [weil dort leichter leitende Schichten im Grundwasserträger vorhanden sind. Im Kurvenbild des Grundwassers machen sich solche durchlässigen Einlagerungen dadurch bemerklich, daß in ihnen infolge der Möglichkeit schnelleren Abfließens eine Senkung der Grundwasserwelle eintritt, so daß aus den schwerer durchlässigen angrenzenden Gesteinen sich das Grundwasser nach dieser Linie hin senkt. Das Kurvenbild bietet also denselben Anblick wie das eines Erosionstales an der Oberfläche und ein aus einer größeren Anzahl von Beobachtungen abgeleitetes Grundwasserschichtlinienbild gleich dem in Fig. 188 darge-

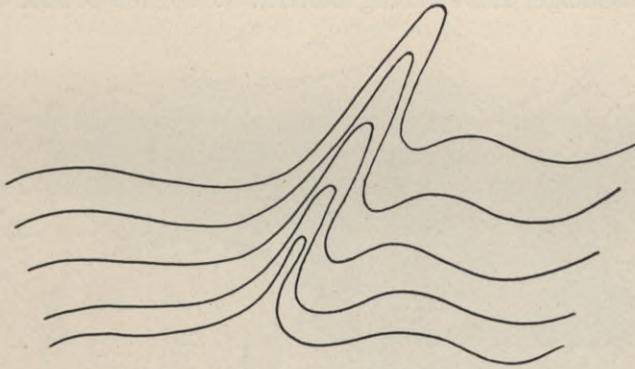


Fig. 188

stellten deutet darauf hin, daß in der durch die Einbiegung der Kurven angedeuteten Zone leichter durchlässige Schichten liegen, die einen rascheren Abfluß des Grundwassers gestatten. Naturgemäß liegen hier zugleich Gebiete größerer Ergiebigkeit vor, was bei Untersuchungen für Wasserversorgungen sehr zu berücksichtigen ist.

Die absteigenden Schichtquellen stellen den am meisten verbreiteten Quellentypus dar und herrschen in manchen Gebieten, vor allem natürlich in ausgedehnten Tafelländern, so vor, daß alle anderen Arten von Quellen gegen sie zurücktreten. Ich muß mich darauf beschränken, einige charakteristische Beispiele aus verschiedenen Formationen beizubringen. Dem in Fig. 186 schematisch dargestellten Typus einer Schichtquelle entspricht nach einer mir freundlichst übermittelten Beschreibung von Dr. G. Berg die Blitzengrundquelle bei Friedland, die als überarmstarker Strahl stets eiskalten Wassers an der Basis des schaumigkavernösen Quarzporphyrs, der das Bergmassiv der Großen Heide bildet, hervortritt. Sämtliche Niederschläge, die auf der bewaldeten Hochfläche

des Berges niedergehen, versinken in dem löcherigen Gestein, einer Lava-
decke der Rotliegendzeit, bis zu deren toniger, gleichfalls dem Rot-
liegenden angehörenden Unterlage und treten hier in starken Schicht-
quellen so zu Tage, wie es die Fig. 189 erkennen läßt.

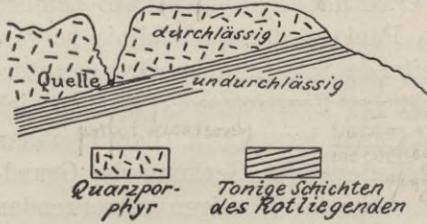


Fig. 189

Sehr reich an Schichtquellen ist die Buntsandsteinformation. Da zwei ihrer Glieder, der Untere Buntsandstein und der Röt, in den verschiedenen Gegenden Deutschlands petrographisch sehr verschiedenartig entwickelt sind, nämlich bald als undurchlässige tonige, bald als sehr durchlässige sandige Gesteine, und nur der Mittlere ganz überwiegend in sandiger Entwicklung auftritt, so können sowohl der Untere

entwickelt sind, nämlich bald als undurchlässige tonige, bald als sehr durchlässige sandige Gesteine, und nur der Mittlere ganz überwiegend in sandiger Entwicklung auftritt, so können sowohl der Untere

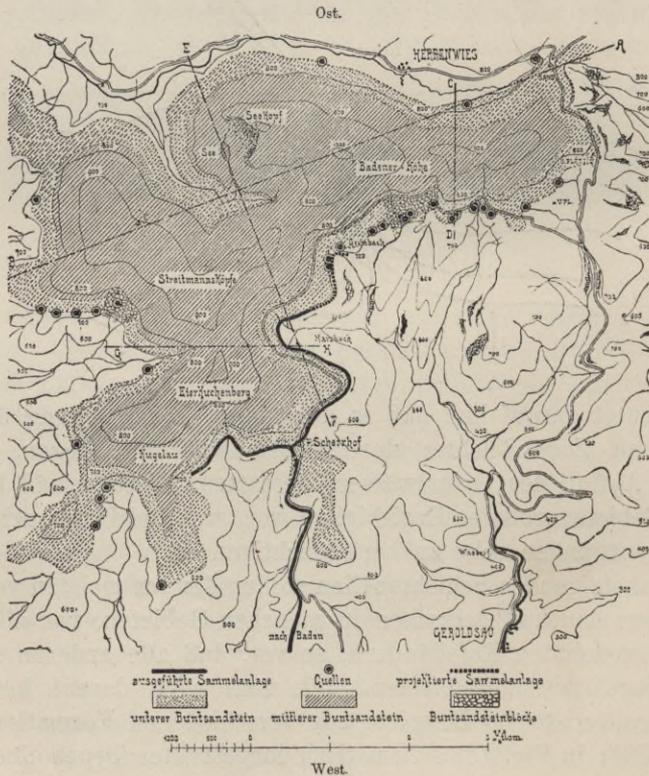


Fig. 190

wie der Obere Buntsandstein als Wasserträger wie als Wasserstauer auftreten. Im Schwarzwalde bei Baden-Baden lagert der Buntsandstein direkt auf Granit auf und der Grenze entspringen an den Streitmanns-

köpfen und der Badener Höhe zahlreiche Quellen, die für die Wasserversorgung von Baden-Baden Verwendung gefunden haben. Die geologischen Verhältnisse dieses Gebietes sind in Fig. 190 nach Eck und Lueger dargestellt und in Fig. 191 ist in 1:20000 ein Profil nach der Linie C—D der Fig. 190 konstruiert worden. Wie die Karte deutlich erkennen läßt, treten die Quellen wesentlich auf der West- und Nordseite (Norden links!) der isolierten Buntsandsteintafel auf, während sie der Süd- und Ostseite fast ganz fehlen. Nun läßt Fig. 191 ohne weiteres die Ursache in der nach Westen gerichteten Neigung der Granitoberfläche (Granit in Fig. 190 ohne Signatur), beziehungsweise der Auflagerungsfläche des Buntsandsteins erkennen. Diese Grenze liegt am Westrande der Tafel 50 m tiefer als im Osten und deshalb müssen alle Wasser sich in dieser Richtung bewegen und auf der verhältnismäßig undurchlässigen Granitunterlage zutage treten. Dieser Quellenhorizont besitzt im Schwarzwalde eine große Verbreitung. Bräuhäuser¹⁾ schreibt

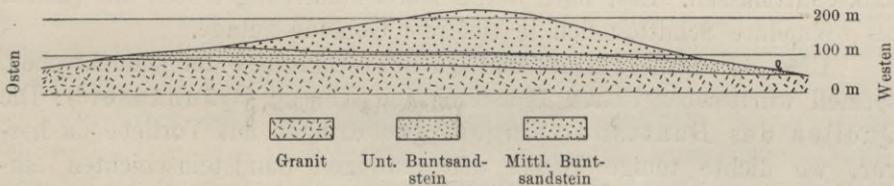


Fig. 191

darüber: Wo über der am Talrande terrassenartig vorspringenden Oberfläche des Grundgebirges der Buntsandstein auflagert, treten überall starke klare Quellen hervor, die entsprechend der kühleren Temperatur jener Gebirgsgegenden ein frisches kaltes Wasser in reicher Fülle liefern. Schon auf der topographischen Karte läßt sich nach der Kette der fast in gleicher Meereshöhe liegenden Quellpunkte die Lage der Obergrenze der Granitformation erraten. Diese reiche Quellenführung der Grundgebirgsoberfläche am Fuße der Buntsandsteinberge ist auch für die Besiedelung nicht ohne Bedeutung, zumal hier zugleich [die Grenze der nährstoffreichen Grundgebirgsböden gegen den unfruchtbaren Buntsandstein liegt. In dem Begleitworte zu Blatt Schramberg wird gesagt: „Die alte Abtragungsfläche, die Grund- und Deckgebirge trennt, ist zugleich für die Ansiedelung eine wichtige Geländestufe. Hier liegt ein sehr beständiger Quellenhorizont, hier reiht sich demnach Hof an Hof.“ Dasselbe gilt für alle württembergischen Schwarzwaldtäler, deren Sohle noch ins kristalline Grundgebirge eingeschnitten ist. Überall ist es die alte Abtragungsfläche, auf der sich die aus den jüngeren aufgelagerten Schichten herabsinkenden Wasser sammeln.

¹⁾ Die Bodenschätze Württembergs, Stuttgart 1912, S. 254.

Im mittleren Deutschland ist vielfach der Untere Buntsandstein überwiegend tonig entwickelt und undurchlässig und dient dann als Stauer für die im Mittleren Buntsandstein zirkulierenden Gewässer. So entstehen zahlreiche Schichtquellen, von denen diejenigen am Abhange des Meißner unterhalb des Schwalbensteins hier Erwähnung finden mögen. Auf der Oberfläche des in ganz Mitteldeutschland tonig entwickelten Röt entstehen zahllose Schichtquellen, deren Wasser in den durchlässigen und klüftigen Gesteinen des Unteren Muschelkalkes seinen Weg genommen haben. Wo immer die Grenze beider Schichten durch die Erosion angeschnitten ist, treten, wenn irgend die Lagerungsverhältnisse es gestatten, Schichtquellen auf, die zum Teil sehr wasserreich sind, wie der bekannte Fürstenbrunnen in der Wölmisse bei Jena. Auf der eben genannten Gesteinsscheide haben oftmals starke Abrutschungen von Muschelkalk auf der durchwässerten Röttoberfläche stattgefunden, und der eigentliche Quellaustritt erfolgt dann innerhalb mächtiger Muschelkalkschuttmassen. Erst nach deren Durchwanderung treten die Quellen als sekundäre Schuttquellen in tieferem Gelände zutage.

Über die Grundwasser- und Quellenverhältnisse der süddeutschen, speziell württembergischen Triasformation schreibt Bräuhäuser¹⁾: Die Quellen des Buntsandsteingebirges dringen mit Vorliebe da hervor, wo dichte tonige Bänke den massigen Sandsteinschichten eingelagert sind. So im Untern Buntsandstein, im Eckschen Konglomerat und besonders an dessen Obergrenze. Während die Quellen des Unteren Buntsandsteins — ebenso wie die darunter liegenden Quellen der Granitgrenze — aus dem zum Teil leicht kalkhaltigen oder dolomitischen Gestein einen schwachen Karbonatgehalt aufnehmen, sind die übrigen Wasser der Buntsandsteinformation ganz weich, d. h. kalkfrei.

Ein besonderer Vorteil der Quellen in den Waldbergen unserer Buntsandsteinformation ist, daß ihr Wasser von der Natur ausgezeichnet filtriert wird. Tief aufgewitterter Sandboden nimmt auf den Bergrücken die Niederschläge auf, die erst durch ihn hindurch allmählich in die unverwitterten Sandsteinschichten hinabdringen. Auch die Flanken der Berge sind meist mit tiefen Verwitterungsdecken umhüllt, und mächtiger Gehängeschutt, aus Sand und Felstrümmern gehäuft, lagert am Fuß der Abhänge. Diese tiefen Schuttmassen sind am schönsten sichtbar an den wenig gegliederten, sich langhinziehenden Bergrücken, wo die obere Grenze derselben durch einen deutlichen Absatz im Gehänge zu erkennen ist, indem der steile Böschungswinkel des älteren Gebirgs umknickt in den viel flacheren der Schuttvorlage, die wie der sich stoßende Saum eines abgeglittenen Kleides zwischen der Talfläche und dem Steilhang liegt. So müssen sich die Quellwasser auch beim Ausweg aus dem Berginnern

¹⁾ M. Bräuhäuser, Die Bodenschätze Württembergs, Stuttgart 1912, S. 255—263.

mitunter nochmals durch tiefe Sandmassen den Weg zum Licht suchen und bahnen. Jedenfalls gewähren die Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins im allgemeinen eine gute Gewähr dafür, daß die Wasser ihrer, am Fuße unserer Schwarzwaldberge hervortretenden Schichtquellen klar und rein sind und daß gerade hier im Buntsandstein-Schwarzwald eine Verunreinigung von der Oberfläche her infolge Düngung auf den Bergwiesen oder durch Abwässer aus hochgelegenen Dörfern und dergl. am wenigsten zu besorgen ist.

Etwas anders liegt der Fall im Bereich des Oberen Buntsandsteins. Denn mitunter kann es sich hier, besonders in der Schwarzwaldvorebene, um weniger tief unter Tag in Schichtfugen sich sammelndes Wasser handeln. Zudem ist das Einzugsgebiet reichlicher besiedelt, große Dörfer liegen zwischen weitgedehnten Feldern und fruchtbaren Wiesen, während im Gebiet des Mittleren und Unteren Buntsandsteins tiefe Waldeinsamkeit herrscht. Man vergleiche z. B. das weltferne Kleinenztal, wo man von Simmersfeld bis Calmbach mehrere Stunden lang nur durch Waldlandschaften wandern kann, ohne ein Dorf zu finden — mit der reichbesiedelten Hochfläche östlich Hofstett oder der Schwarzwaldvorebene östlich des oberen Kinzigtals! Wo aber, wie z. B. auf der Hochfläche zwischen Schramberg und dem Eschachtal, weitgedehnte Wälder diese Schwarzwaldvorebene überdecken, da findet sich vorzügliches Quellwasser, und die weiten Flächen des Oberen Buntsandsteins sammeln in solchen waldigen Gebieten viel Wasser, das in den flachen Talmulden in schönen klaren und zugleich starken und ausdauernden Quellen hervorströmt.

Das Muschelkalkgebiet führt im Gegensatz zum Buntsandstein härtere, d. h. kalkhaltige Wasser. Schon die Untergrenze, wo die „liegenden Dolomite“ des Wellengebirgs den dunkelroten Röttonen auflagern, ist ein Wasserhorizont, der sich im Gelände leicht durch wasserliebende Pflanzen, Sickergräben im Wiesengrund, Nässe und Moos im Wald verrät. Zur Bildung fließender Quellen läßt es die von Feuchtigkeit durchsogene, tiefe, tonige Verwitterungsdecke selten kommen. Die schwarzen Schieferbänke mit *Terebratula vulgaris* stellen einen Quellhorizont im Mittleren Wellengebirge dar. Die Begleitworte zu Blatt Dornstetten sagen über ihn: „Auf den schwarzen Terebratelschiefern des Wellengebirges, die infolge ihres Tongehaltes gern auch in andern Gegenden die Niederschlagswässer sammeln, begegnen uns zahlreiche wasserreiche Quellen, ja die Terebratelschiefer bilden im Bereich des ganzen Blattes und darüber hinaus den wichtigsten Wasserhorizont der weiteren Umgebung.“ Weit wichtiger ist die Wasserführung des Mittleren Muschelkalkes, in dessen mächtigen tonigen Mergelmassen sich die Wasser sammeln, die z. T. schon von hoch oben her durch den klüftigen Oberen Muschelkalk herabdringen. So entquillt dem Mittleren Muschel-

kalk in reichen Mengen ein hartes Wasser, das gelöst gewesenen Kalk sofort auszuscheiden beginnt, wenn es aus dem Berginnern hervor ans Tageslicht gekommen ist. In mächtig aufschwellenden Polstern setzt sich der entstehende Süßwasserkalk an den Hängen ab, tiefgründige Lager von solchem Kalktuff erfüllen die nahen Talböden. Welche Wichtigkeit die Zellendolomite des Mittleren Muschelkalkes als Wasserbank im Berginnern haben können, lehren die Erfahrungen des württembergischen Salzbergbaues. Auch im freien Gelände kann sich derselbe Horizont als reichlich quellenführende Schicht erweisen. So entströmen die zahlreichen Quellen am Staffelbachtal bei Fluorn den flach am Gehänge austreichenden Zellendolomiten.

Im Oberen Muschelkalk herrschen, besonders in der Nähe tief eingeschnittener Talzüge, ähnliche Verhältnisse wie auf der Alb: Im klüftigen Kalkgebirge verfallen die Wasser bis in große Tiefen, um meist erst auf den Schichten des unten durchstreichenden Mittleren Muschelkalks zusammenzukommen und als starke Quellen hervorzuströmen. Ein weiterer Beweis für die große Durchlässigkeit des Hauptmuschelkalks ist die enge Abhängigkeit der ihm zuzurechnenden unterirdischen Wasseradern von der Witterung. Bei der Schneeschmelze im Frühjahr und ebenso nach starken Regenfällen schwellen die Quellen rasch an, um bei Wiedereintritt trockenem Wetter spärlicher zu fließen oder auch ganz zu versagen. So besitzt das Muschelkalkgebirge westlich von Oberndorf einen wirklichen „Hungerbrunnen“, der die längste Zeit trocken liegt, und dann plötzlich mächtige Wassermassen aus dem Berginnern hervorbrechen läßt.

Auch in den Temperaturverhältnissen sind die Quellen, deren Einzugsgebiet im Hauptmuschelkalk liegt, von der Jahreszeit abhängig. Sie waren, von oben her mit leichtem Kohlensäuregehalt eindringend, imstande, kleinere Mengen Kalk der durchsickerten Schichten zu lösen und so ihre unterirdischen Wasseradern stetig zu erweitern, oft wohl auch kleine Höhlen und Spalten auszuarbeiten. In diesen stürzt das Wasser im Berginnern rasch vorwärts, und so erklärt es sich leicht, daß ganz kurze Zeit nach dem Einsetzen starker Regen sich der erhöhte Zustrom bereits in der Wassermenge der Quellen bemerken läßt, ja daß das Wasser mitunter sogar noch die lehmige Trübe mitbringt, die es oben beim Einziehen durch die Verwitterungsoberfläche hindurch mitgerissen hat. So steht in bezug auf Durchfiltrieren der Hauptmuschelkalk (und Jura) in entschiedenem Gegensatz zum Buntsandsteingebirge. Dort, im Schwarzwald, dringt das Wasser langsam durch die Schichten hinab, verliert beim Durchdringen der sandigen Massen — ev. schon beim Einsinken durch den zusammengehäuften Verwitterungsschutt — die Trübe, die es in dem Boden aufgenommen haben kann. Langsam findet es seinen Weg durch den Rumpf der aus massigen z. T. leicht tonigen

Sandsteinlagern aufgebauten Bergzüge, um erst lange hernach, bestens filtriert, wieder hervorzudringen in klaren gleichmäßig laufenden Quellen, die meist weder in Wasserführung noch in Temperatur merkbliche Abhängigkeit von den Zufälligkeiten der herrschenden Witterungsverhältnisse erkennen lassen; außerdem fällt beim Durchdringen des Sandsteins die im Kalkgebiet stets stattfindende Aufnahme von Kalk (als Kalziumbikarbonat gelöst) weg. Deshalb geben die Brunnen im Gäu draußen „hartes“, die im Schwarzwald fließenden Quellen dagegen „weiches“ Wasser. Wo man über Quellen aus beiden Gebieten — Buntsandsteinschwarzwald und Schwarzwaldvorland — verfügen kann, ist es leicht, durch geeignete Beimischung von „hartem“ Wasser zum kalkfreien einen beliebigen durchschnittlichen Härtegrad zu erreichen. Dies empfiehlt sich bei Wasserleitungen, da zum Trinken, Waschen usf. das ganz weiche Wasser weniger angenehm ist. Andererseits hat es für den Maschinenbetrieb infolge seines geringen Gehalts an gelösten festen Anteilen den Vorteil, daß es viel weniger Kesselstein absetzt.

Ein gutes Beispiel der Quellverhältnisse des Muschelkalkgebiets bietet neben andern der westliche Teil des Oberamts Rottenburg. Chr. Regelmann erzählt darüber in der Oberamtsbeschreibung (a. a. O. S. 14 ff.) folgendes:

„Die reichsten Quellen des Bezirks treten im Gebiet des Muschelkalkes zutage, auf der Grenze zwischen Mittlerem und Oberem Muschelkalk, aber nur an wenigen tiefgelegenen Punkten. Die Tonbänke, die überall das Gips- und Steinsalzgebirge decken, sammeln alle Wasser, die durch den klüftereichen Hauptmuschelkalk von den Hochflächen niedersinken. Diesen Verhältnissen verdankt der herrliche Bronnbach, im Neckartal unterhalb Niedernau gelegen, seine Entstehung. Diese schönste Muschelkalkquelle des Landes bricht aus einem 3 m tiefen, schon im Jahre 1618 ummauerten Kessel mit solcher Wasserfülle hervor, daß ihr Übereich sofort 6 Gänge treibt. Der Quelltopf liegt dicht bei der ehemaligen Papiermühle an der nördlichen Bergwand, wo sich in den petrefaktenarmen Blaukalken Zerklüftungen beobachten lassen. Die Hauptklüft, die das Wasser herbeiführt, weist hinauf nach Wolfenhausen und Ergenzingen. Damit stimmt die Tatsache überein, daß der Brunnen gewaltig anschwillt, wenn im Gäu ein starker Gewitterregen niedergegangen ist, er wird nach etwa 12 Stunden ganz trüb, während das Wasser sonst kristallklar ist. Regenfälle auf der rechten Seite des Neckars bleiben dagegen stets ohne jeden Einfluß. Die Wasserführung ist ziemlich gleichmäßig und hält namentlich dann das ganze Jahr durch an, wenn die normale Winterfeuchtigkeit in den Boden gelangt ist. Die abfließende Wassermenge ist (von Chr. Regelmann) am 3. Juni 1871 und am 28. Mai 1896 gemessen worden. Am erstgenannten Tage fanden sich 472 Sekundenliter und eine Wassertemperatur von 13,7°

Celsius; das zweitemal 580 Sekundenliter. Die mittlere Wasserspense wird etwa 550 Sekundenliter betragen, sie leistet dem ersten Wasserwerk bei 2,8 m nutzbarem Gefälle 16 Pferdekkräfte und etwa ebensoviel der nächstfolgenden Bronnmühle.“

Im Keuper liegen verschiedene Quellhorizonte, deren Wasser aber ihrer chemischen Beschaffenheit nach sehr ungleich zu bewerten sind. Den ersten Quellhorizont bildet die Lettenkohle; reiche, namentlich auch in der Stuttgarter Gegend vortretende Quellen liefert der Gipskeuper, nur daß seine harten Wasser mitunter infolge allzu hohen Gipsgehalts fast ungenießbar sind. Reines Wasser liefern der „Werkstein“ (= Schilfsandstein) und der Stubensandstein. Die im Liaskalk und ev. im Rhätsandstein versickernden Wasser sammeln sich auf den undurchlässigen Zancledonletten (= Knollenmergel).

Aus dem Gebiet des Gäus erwähnen die Erläuterungen zu Blatt Nagold der Neuen geologischen Spezialkarte, daß die Gewässer überall da, wo Lettenkohle den Untergrund bildet, in ihren tonigen Schichten einen kräftigen Widerstand gegen tieferes Eindringen finden. Und für Bl. Dornstetten wird ebenfalls betont (Erläuterungen, S. 71), daß die undurchlässigen Tone und Lettenschiefer der Lettenkohle den obersten Quellhorizont bilden. Weiter östlich lassen diese wasserhaltenden Schichten wohl auch Quellen austreten, aber weil deren Einzugsgebiet von Gipskeuper überlagert ist, so macht sich durchweg dessen Gipsgehalt und zugleich auch ein sehr hoher Härtegrad bemerkbar. Im unteren Gipskeuper liegen auch die tieferen Lagen der Stadt Stuttgart, wo die Grenzbank zwischen Lettenkohle und Keuper vielfach, z. B. am Volksbad, Tivolibrauerei, Bachnersche Brauerei, erstaunliche Mengen von recht gutem Wasser liefert. „Im unteren Gipskeuper findet sich gleichfalls viel Wasser, und Hunderte der früheren Pumpbrunnen, deren es im Jahre 1877 noch 1209 gab, schöpften ihr Wasser aus den Gipsmergeln. Der beste Wasserhorizont, der auch heute noch in den Brunnen verschiedener Brauereien und Großbetriebe ausgebeutet wird, ist die sog. Corbula- oder Bleiglanzbank 16—18 m über der Grenze zur Lettenkohle. Das Wasser dieses Horizontes ist zwar etwas hart und gipshaltig, aber doch viel besser als das der alten Stuttgarter Pumpbrunnen, die bis 52 deutsche Härtegrade ergaben und zwar meist infolge hohen Gipsgehaltes. Man machte dabei die Erfahrung, daß das Wasser um so schlechter wurde, je geringer die Tiefe war, in der die Brunnensohle im Keupermergel stand (vergl. hierüber d. medicin.-statist. Jahresb. vom Jahr 1876 S. 93 ff.)“.

Der Region des Gipskeupers gehören zahlreiche kleine Quellen an, die am Fuß der Keuperberge hervordringen. So z. B. am Südrand des Schönbuchs, in den westlichen Vorhügeln der Stuttgarter Höhen, im Welzheimer Wald und weithin im fränkischen Land. Alle diese Quellen

führen hartes, gipshaltiges Wasser und setzen gern Kalksinter ab. Mitunter gilt der eine oder andere dieser Brunnen in seiner Umgebung als heilkräftig, und tatsächlich kann sein Gehalt an gelösten Salzen auch wirkliche Beachtung verdienen, nur daß der Gehalt dieser Gipskeuperquellen sich häufig als wechselnd und unbeständig erweist. Auch schwache Schwefelwasser treten aus dem Gipskeuper hervor.

Der Schilfsandstein liefert ein gutes reines und gipsfreies Quellwasser. Leider ist aber dieser gute Wasserhorizont nicht reich, so daß starke Quellen selten sind und die Fassung der Wasser lange Sicker galerien erfordert.

Der beste Wasserhorizont ist der Stubensandstein. Er liefert in reichlicher Menge ein sehr gutes Trinkwasser. Aus ihm beziehen gar viele der Städte und Dörfer Mittelschwabens ihr Wasser. Auch Stuttgart hat die Quellen des Stubensandsteins weither geholt.

Über den Stand der im wesentlichen die Quellen des Stubensandsteins benützenden Stuttgarter Quellwasserversorgung im Jahre 1906 führt Baurat Zobel im Führer durch Stuttgart (S. 93 und 94) das Folgende aus: „Für die Zuleitung und Verteilung von Quellwasser dienen elf für sich bestehende Leitungsanlagen, nämlich als wichtigste die von Kaltental nach Stuttgart geführte Leitung mit ihren Verzweigungen, sodann Leitungsanlagen für die Quellgruppen „Vogelsang“ mit „Metzgerhau“ und „Gallenklinge“, „Koppental“, Burgstall“, „Hahnwald“, „Lehen“ mit „Wernhalde“, „Bopser“, „Kühnle“ mit „Sonnenberg“, Quellen bei Berg und ebenso bei Gablenberg und Gaisburg. Die Leitungen haben durchaus eigenes Gefälle, für die Wasserentnahme dienen 92 einzelne, meist tief ins Terrain eingreifende, z. T. als Stollen ausgeführte Quellenfassungen. Die Quellen entspringen in der Hauptsache im Keuper, z. T. im Gebiete des Stubensandsteins und zum Teil im Gebiete des Werksteins. Eine kleinere Anzahl von Quellen, zur Kaltentaler Hauptleitung gehörig und bei Kaltental in größerer Höhe nahe der Filderbahn liegend, wird von der Liasformation gespeist. Aus dem Stubensandstein stammen die übrigen Quellen der Kaltentaler Hauptleitung wie überhaupt die größte Zahl unserer Quellen. Nur die Koppentalquelle gehört zum Gebiete der unteren Keuperschichten. Die Wasser sind, soweit sie vom Lias und den unteren Keuperschichten stammen, etwas hart, doch alle rein und den an Trinkwasser zu stellenden Anforderungen entsprechend. Die Temperatur des zur Stadt gelieferten Wassers schwankt zwischen 6° und 15° C. Das gesamte, zur Stadt geführte Quellwasserquantum beträgt auch in trockenen Zeiten noch 2000 cbm täglich.

Auch die Juraformation ist infolge der häufigen Wechsellagerung durchlässiger und undurchlässiger Schichten sehr reich an absteigenden Schichtquellen von zum Teil gewaltiger Wasserführung. Im süddeutschen

Tafeljura ist es besonders die Grenze zwischen dem Weißen Jura γ und δ bzw. γ' und δ' . γ ist stets tonig und wasserundurchlässig, während die klüftigen Kalkbänke von δ alles auffallende Wasser leicht versickern lassen. In der in Fig 192 schematisch dargestellten Weise wandern die Wasser auf der mit paralleler Schraffur dargestellten Schicht γ südwärts, um dann am Südfuße der Alb in mächtigen Quellen zutage zu treten. Charakteristisch für diese Art von Quellen sind die sogenannten „Töpfe“, von denen der Blautopf bei Blaubeuren der bekannteste ist. Es sind ausgedehnte, durch Auflösung des Kalksteins von Klüften aus erweiterte Quellteiche, mit klarem, vollkommen ruhigem Wasser erfüllt, denen der Überschuß in ruhiger Weise entströmt.

Einige weitere Bemerkungen über die Wasserverhältnisse des süddeutschen Juragebietes entnehme ich dem schon oben angeführten Werke Bräuhäusers.

Über die Quellverhältnisse des Grenzgebiets von Keuper und Lias schreibt E. Fraas (Erläuterungen zu Bl. Böblingen II. Aufl. S. 39): „Ein wichtiger Quellensammler ist die Pilonotenbank oder die Silbersandsteine, wo diese entwickelt sind“. Im Albvorland, wo der

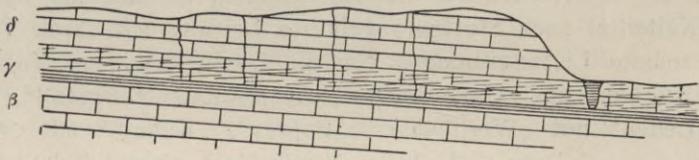


Fig. 192. Blautopf bei Blaubeuren

Lias in weiten Gebieten das Taggebirge bildet, erweist sich namentlich der Posidonienschiefer als Quellhorizont; ihm entspringen auch viele Schwefelquellen, deren Beschaffenheit sich durch die Zersetzung des reichlich im dunklen Schiefer eingesprengten Pyrits erklärt. Einen kleinen Gehalt an Jod wies Sigwart an einigen dieser den Posidonienschiefern entstammenden Quellen nach.

Von dem Opalinuston im Unteren Braunjura sagt Gradmann in der Oberamtsbeschreibung von Urach (II. Auflage, herausgegeben vom Kgl. Statistischen Landesamt 1909): „Hier ist es, wie wenn alles Wasser zum oberflächlichen Abfließen gebracht würde. Hunderte von kleinen Regenschluchten durchfurchen den Fuß der Alb und bilden sich immer noch neu, in unaufhörlicher Arbeit das Gelände zerschneidend und die abbröckelnden Erdmassen mitführend. Sie geben der unmittelbaren Umgebung von Metzgingen und Neuhausen das Gepräge“. Im Mittleren Braunjura führen die „blauen Kalke“ (Braunjura γ) ein oft vorzügliches Wasser. Schließlich faßt R. Gradmann (a. a. O. S. 48) sein Urteil über die Quellverhältnisse von Lias und Braunjura so zusammen: „Bei dem häufigen Wechsel der Schichten entstehen auch hier besondere

Quellhorizonte, entsprechend jedesmal der oberen Grenzfläche einer undurchlässigen Schicht, die von einer durchlässigen überlagert wird. Ein besonders wichtiger Quellhorizont ist der Ornatenton im Oberen Braunen Jura. Weich bis zur Knetbarkeit saugt er begierig alles Sickerwasser an, ohne es nach unten durchzulassen. Er gibt einer Menge kleiner Quellen die Entstehung, die oft nur an der sumpfigen Bodenbeschaffenheit und an der Vegetation zu erkennen sind. Ist der Wasserzudrang besonders stark und die ganze Schichtenmasse vollgesogen, so gibt sie wohl auch dem Gebirgsdruck nach und es kommt zu Bergstürzen“.

Die Wasser, die sich auf den tonigen Massen der Ornatenschichten zusammenfinden, entstammen z. T. schon dem Weißen Jura. Diese Schichten, die unsere hohen Albberge bilden, sind in hohem Grade wasserdurchlässig. Daher fehlt der Rauhen Alb, der Plateaulandschaft und den Gebieten am Albrauf, das fließende Wasser, das im Innern der Berge verstürzt, um unten in den Tälern in Gestalt starker Quellen oft in großen Quelltöpfen hervorzuströmen. Die Schichten des Weißjura β („Betamauern“) und die Impressatone (Weißjura α) sind die Wassersammler am Nordabfall der Alb. Die Denkschrift betr. die Wasserversorgung der Stadt Stuttgart schreibt (a. a. O. S. 18 ff.) über die Quellverhältnisse im Weißen Jura:

„Das mächtige Kalkgebirge, das die Schwäbische Alb zusammensetzt, bildet vermöge seiner Durchlässigkeit, seiner großen Regenhöhe und seiner erheblichen Flächenausdehnung einen bedeutenden Wassersammler. Das Gebirge selbst ist von Klüften, Spalten und Höhlenbildungen durchzogen. Die zahlreichen Quelltöpfe, die am Fuße der Alb zutage treten, sind derart wasserreich, daß die Beförderung der großen Wassermenge im Gebirge nur durch Höhlenbildungen, die einen großen Durchflußquerschnitt aufweisen, möglich ist. Auf der Oberfläche der Alb sind zahlreiche Erdtrichter vorhanden, in die das Oberflächenwasser in der regenreichen Zeit einströmt und verschwindet. Das Gebirge filtert diese Wasser ungenügend. Die Quellen werden im Frühjahr regelmäßig trüb. Nur in Ausnahmefällen, wo das Wasser vor dem Austritt filtert wird, indem es eine dichte Gehängeschuttablagerung oder eine Talschottereinlagerung vor dem Austritt zu passieren hat, bleibt es auch im Frühjahr klar. Chemisch ist das Wasser ziemlich rein. Ammoniak und Nitrit ist im Wasser bei zahlreichen Untersuchungen nicht aufgefunden worden, da die Albhochebene nur spärlich bevölkert ist und auf den wenig fruchtbaren Feldern eine intensive Düngung nicht stattfindet. Auch die Härte hält sich innerhalb zulässiger Grenzen. Dagegen weist die bakteriologische Untersuchung im Frühjahr ein als unrein zu bezeichnendes Wasser nach, das für Wasserversorgungszwecke sich nicht eignet. So hat ja auch die Stadt Ulm eine Versorgung mit Wasser aus dem Weißen Jura durch eine Grundwasserversorgung ersetzt,

bezw. die alte Quellwasserversorgung in Reserve gestellt. In der wasserarmen Jahreszeit sind die Quelltöpfe der Alb klar. Die bakteriologische Untersuchung ergibt alsdann bessere, wenn auch nicht sehr günstige Resultate.

Da das Wasser nicht durch poröse Schichten filtriert wird, sondern durch klaffende Spalten und Hohlräume abfließt, bedingt dieser unge-

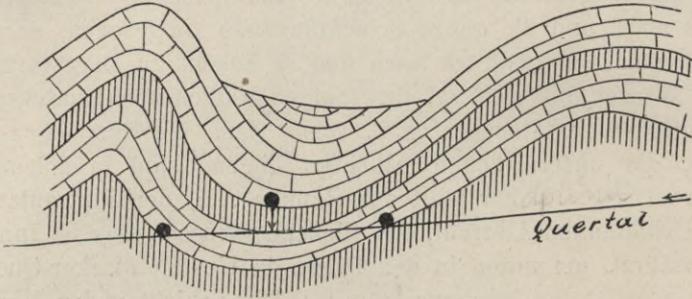


Fig. 193 (nach A. Heim)

hinderte Abfluß einen großen Wechsel in der Ergiebigkeit der Quellen. Bezogen auf die Wassermenge in der wasserreichen Jahreszeit wurde ein Rückgang der Wassermenge in einem trockenen Jahrgang um 90% festgestellt. Die Quelltöpfe am Nordwestrand der Alb sind für Triebwerke und auch für Wasserversorgungen in stärkster Weise ausgenützt.

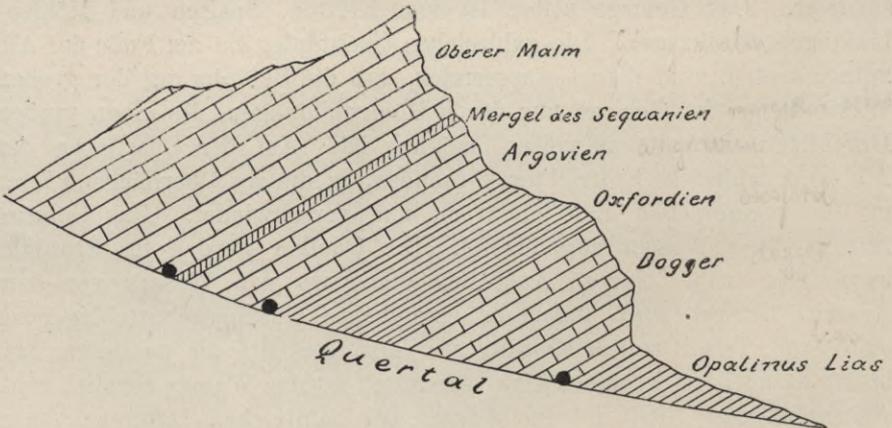


Fig. 194 (nach A. Heim).

Am Südrand der Alb würde eine Wasserentnahme geringere Schwierigkeiten bieten“.

Mit Recht wird später noch bemerkt, daß Wasser aus Quellen im Gebiet des Weißen Jura bei der Schneeschmelze oder nach starken Gewitterregen eine unreine Beschaffenheit aufweist.

Noch viel schöner sind die Quellenverhältnisse im Faltenjura. Wo immer in ihm ein Erosionstal einen durchlässigen Schichtenkomplex in tiefer Lage anschneidet, kommen Quellen heraus, die bei Quertälern symmetrisch an beiden Seiten des Tales angeordnet sind (Fig. 193). Nebenstehendes Profil eines einen Faltenflügel durchquerenden Tales zeigt die Regelmäßigkeit des Auftretens von Schichtquellen auf der Grenze durchlässiger und undurchlässiger Schichten, als welche wesentlich die Grenzflächen zwischen Oberem Malm und Sequanien, zwischen Argovien und Oxford und zwischen Dogger und Opalinuston zu nennen sind (Fig. 194).



Fig. 195. Quelle La Doux zwischen Cormorel und Villeret, St. Imertal, Berner Jura.
Phot. von H. Schardt

Eine Abbildung einer Juraschichtquelle aus dem Berner Jura (Fig. 195) verdanke ich Herrn Prof. Schardt, ebenso wie eine ausgezeichnete alpine Schichtenquelle, den Siebenbrunnen, oberhalb Leuk (Fig. 196), die nur durch Schneeschmelzwasser gespeist wird und infolgedessen eine reine Sommerquelle ist.

Einen prachtvollen Einblick in die Wasserbewegung in den Schichten der Kreideformation und im besonderen der Schreibkreide gewährt Abb. 197, die ich der Freundlichkeit von Herrn Prof. Dr. W. Wolff¹⁾ verdanke. Das Bild stellt einen Kreidebruch in der Quadratenkreide von Lägerdorf in Holstein dar. Die in regelmäßigen Abständen eingelagerten Feuersteinbänder zeigen die Schichtung und die horizontale Lagerung

¹⁾ Vergl. W. Wolff, Der Aufbau des norddeutschen Tieflandes mit besonderer Berücksichtigung des Grundwassers. Berlin 1912, Laubsch und Evertt.

an. Auf den Schichtflächen tritt das Grundwasser hervor, welches durch zersetzten Markasit, mit Eisensulfat angereichert ist und beim Austritte an die Luft Eisenocker abscheidet. Dieser, in der Natur gelb, erscheint



Fig. 196. Siebenbrunnen oberhalb Leuk auf dem Kätzliberg. Typus einer Schichtquelle.
Phot. von H. Schardt

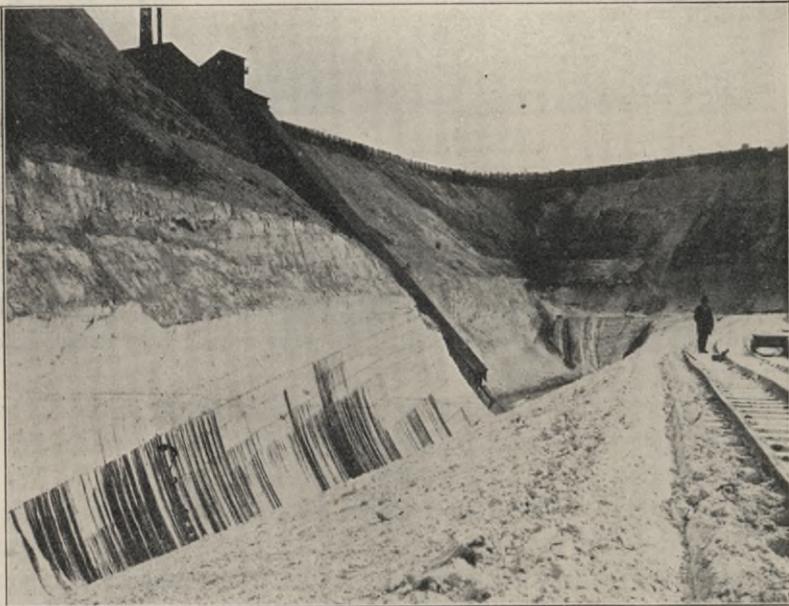


Fig. 197. Schichtquellen in der Schreibkreide von Lägersdorf. Phot. von W. Wolff.

im Bilde schwarz und verrät uns sechs Schichtflächen mit Grundwasser-
austritt.

In Gebieten der lockeren Bildungen des Tertiärs und Quartärs spielen die Schichtquellen ebenfalls eine außerordentlich wichtige Rolle, und besonders im Quartär Norddeutschlands sind es die meist sehr mächtigen und undurchlässigen Schichten älterer Geschiebemergel oder Tonmergel, die als Wasserstauer dienen. Wo immer tiefe Erosionstäler sich in Hochflächen eingeschnitten haben, die aus wechselnden Grundmoränen und Tonmergeln mit Sanden und Kiesen aufgebaut sind, da beobachten wir auf der Grenze beider das Auftreten von Schichtquellen. Da die Oberfläche der undurchlässigen Bildungen niemals auf große Strecken hin horizontal liegt, so treten die Quellen zumeist nicht in langen Quelllinien auf, sondern sind an besonders günstige Punkte, das heißt an die Anschnitte muldenförmiger Einsenkungen der undurchlässigen Schichten geknüpft.

45. Kapitel

Absteigende Quellen. 4. Überfallquellen.

Die vierte Gruppe der absteigenden Quellen bilden die Überfallquellen. Sie entstehen, wenn ein schüssel- oder muldenförmig gebautes System undurchlässiger Schichten von durchlässigen, wasserführenden

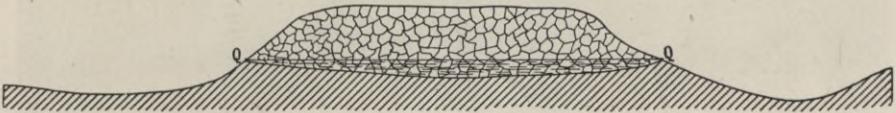


Fig. 198

Bildungen überlagert wird. Die Aufspeicherung des Wassers in den letzteren findet so lange statt, bis die Oberfläche des Wasserspiegels die tiefste Stelle der undurchlässigen Umrandung und Unterlage erreicht hat (Fig. 198). Über diese hinweg findet dann ein Abfluß des überschüssigen Wassers statt. Die Ergiebigkeit solcher Quellen wird um so größer sein, je umfangreicher das durch den Bau der undurchlässigen Unterlage gegebene Nährgebiet ist und je weniger Abzapfstellen sich in der Umrandung einer solchen undurchlässigen Schüssel finden.

Ein ganz hervorragendes Beispiel von Quellen dieser Art ist diejenige von Vaucluse im südlichen Frankreich, die dieser ganzen Gruppe von Quellen in der französischen Literatur den Gattungsnamen der Sources Vauclusiennes gegeben hat. Ich gebe im folgenden nach Daubrée eine etwas ausführliche Beschreibung dieser typischen  berfallquelle:

Die Quelle entspringt am Fuße eines 200 m hohen, steilen Felsens, dem jähem Abschlusse eines Tales (Fig. 199). Sie entquillt einem weiten,



Fig. 199. Vacluse-Quelle

fast kreisrunden und trichterförmigen Becken, welches in einem tiefen, bogenförmig geöffneten Hohlraum (Fig. 200) liegt. Der Anblick der Quelle ist je nach ihrer Wassermenge sehr unterschiedlich. Wenn sie

im Frühjahr ihren Höchststand besitzt, so ist die Wölbung der Höhle völlig verdeckt und ein ruhiger Wasserspiegel erfüllt das Becken bis zu seinem Rande. Im Oktober dagegen, zur Zeit des Niederwassers, wird die Höhle völlig sichtbar und läßt einen See erkennen, dessen Ausdehnung sich in einem tiefen Dunkel verliert. Unter den nötigen Vorichtsmaßregeln kann man an den Trichterwänden hinabsteigen und kommt schließlich an das Ufer dieses klaren Wasserbeckens, welches einen Abgrund erfüllt, dessen Tiefe man bisher nicht hat messen können. Die Quelle sprudelt bei ihrem Austritt nicht, wie man glauben könnte, nichts stört die völlige Ruhe und kristallhelle Klarheit ihrer Oberfläche.

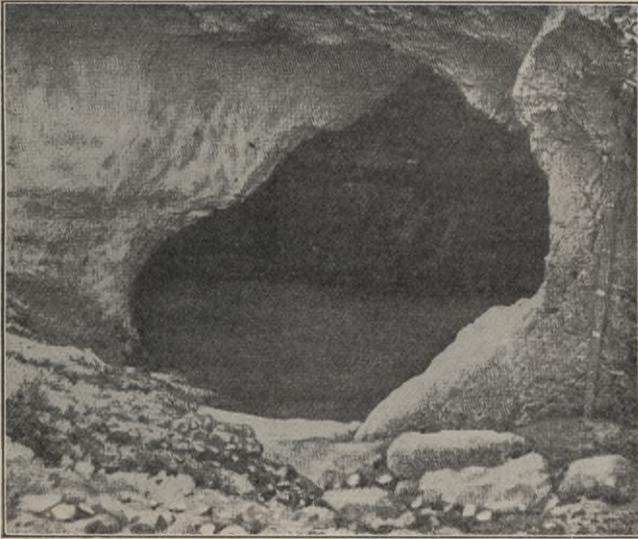


Fig. 200. Innere Grotte der Vacluse-Quelle

Soweit ihr Überschuß nicht über die Ufer des Beckens austritt, entweicht er durch die zahlreichen Spalten des Kalksteins. Ihnen verdanken in einer Entfernung von einigen Metern etwa 20 sprudelnde Wildbäche ihre Entstehung, die in Form einer Kaskade herabfallen und sich schäumend an den Felsen brechen. In ganz derselben Art wie die Quelle von Vacluse entspringt eine andere bemerkenswerte Quelle bei Crozeau am Fuße des Kalksteingebirges.

Nach der interessanten Schilderung von Bouvier gelangt man durch eine einzige Öffnung in den Hohlraum, aus dem die Vacluse-Quelle hervorbricht; er ist von allen Seiten durch hohe, steil abstürzende Kalksteinwände begrenzt. Das Wasser, dessen Menge, Frische und Klarheit in einem schroffen Widerspruch steht zur Dürre und Wildheit der Landschaft, erreicht den Betrag von 120 sec/m^3 . Es erreicht

bald den Rand der Felsen, in die es einsinkt, um in Form einer Kaskade wieder hervorzubrechen. Am Fuße dieser Kaskade beginnt der Lauf der Sorgue, die, nachdem sie 200 Mühlen in Bewegung gesetzt und mehr als 2000 ha Land bewässert hat, in der Gegend von Sorgue und Avignon in die Rhone mündet. Wenn die Niederschläge in jenem Gebiete spärlich fallen, vermindert sich der Ertrag der Quelle, und sobald die Abflußmenge unter 22 sec/m^3 sinkt, erreicht der Quellspiegel den Rand seines Beckens nicht mehr. Gleichzeitig wird die Kaskade nicht mehr gespeist, die Wasser verlassen die äußere Höhle und ziehen sich in eine Grotte zurück, die an jene anschließend in die Steilwand eingelassen ist. Bei längerer Dürre hält auch das Sinken des Wasserspiegels an, und schließlich hat man nur noch ein kleines Wasserbecken vor Augen, das bei engerem Durchmesser und einer Tiefe von nicht mehr als 10 bis 12 m vollkommene Trichterform besitzt. In solchem Falle kann man

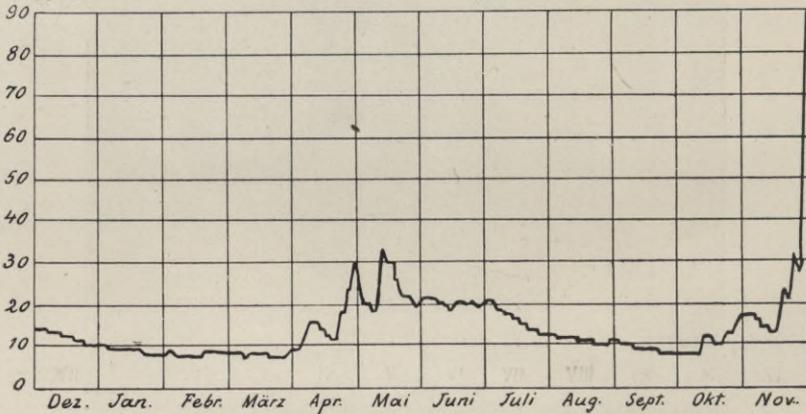


Fig. 201. Ergiebigkeit der Vaucluse-Quelle 1877

infolge der Klarheit des Wassers die Begrenzungen des Trichters deutlich erkennen, und an seinem Grunde kann man an der östlichen Wand eine Öffnung bemerken, die den Eingang der Zuführungswege des Wassers bildet. Diese tiefste Lage des Wasserspiegels ist nur selten zu beobachten; sie tritt immer nur nach längeren Trockenperioden ein. Der Nullpunkt des Sisteron-Pegels entspricht der großen Senkung vom 17. November 1869. Abgesehen von diesem Ausnahmefall ist der Spiegel der Quelle jährlich unregelmäßigen und ziemlich beträchtlichen Schwankungen unterworfen, wie die beiden folgenden Ertragskurven aus den Jahren 1877 und 1880 (Fig. 201 und 202) beweisen. Die Kaskade wird trocken und nur noch die an ihrem Fuße entspringende Quelle speist die Sorgue. Der Ertrag ist indessen immer noch beträchtlich genug; selbst in solchen extremen Fällen wie im Jahre 1869 sinkt er nicht unter $5\frac{1}{2}$ Sekundenkubikmeter und wird bei gewöhnlichem Niederschlag nicht kleiner als 8 cbm in der Sekunde.

Die Frage nach dem Ursprung dieser Wasser blieb lange unbeantwortet. Man schrieb sie dem unterirdischen Abfluß eines entfernten Sees zu, und selbst der Gedanke einer unterirdischen Ablenkung der Durance erschien möglich. Die Erklärung der Erscheinung wurde im Jahre 1855 durch einen Ingenieur von Vacluse gegeben, durch den Vater und einen der Vorgänger des bereits oben erwähnten Bouvier. Er schreibt:

„Das Neokomgebiet, welches den Mont Ventoux umgibt, setzt sich im Süden und Osten dieses Gebirges fort und nimmt einen beträchtlichen Raum ein, der sich von der Quelle bis nach Sisteron erstreckt, d. h. über eine Fläche von 70 km Länge und einer Breite zwischen 5 und 26 km; dies ist das Nährgebiet der Vacluse-Quelle, und ich bin zu dieser Annahme gekommen durch die Erkenntnis, daß man weder

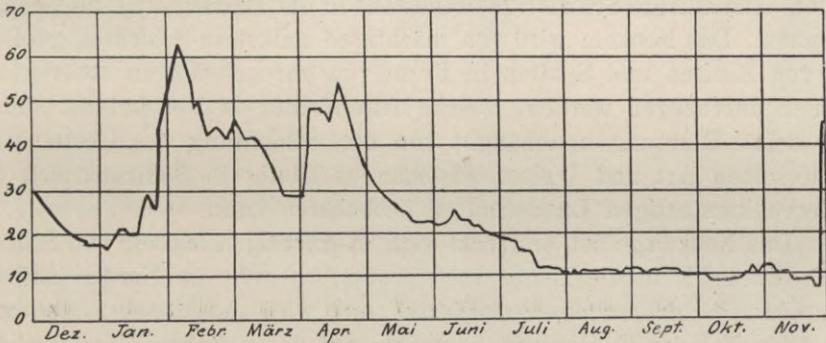


Fig. 202. Ergiebigkeit der Vacluse-Quelle 1880

Quellen noch Brunnen in diesem ganzen Gebiete findet, daß die Schluchten mit seltenen Ausnahmen völlig trocken sind, daß die Regenwasser, selbst wenn sie in geschlossene Becken hineinfallen, unmittelbar aufgeschluckt werden, und daß die wenigen Ortschaften, welche in dieser wüsten Landschaft erbaut sind, ausschließlich auf Zisternenwasser angewiesen sind. Unter diesen Voraussetzungen fällt das Quellgebiet naturgemäß zusammen mit den Grenzen des Neokomgebietes und mit der sehr tiefen Schlucht der Nesque, die sie vom Mont Ventoux trennt. Ich habe dieses Gebiet auf der geologischen Karte sehr genau ausgemessen und es zu 96500 ha befunden. Es ist eine Hochfläche, in welcher die Niederschläge reichlicher sein müssen als in der Ebene. Ich werde 850 mm als Niederschlagshöhe annehmen, dann beträgt die gesamte Menge der Niederschlagswasser 850250000 cbm. Wenn man diese Zahl durch 31531000, d. h. durch die Zahl der Sekunden im Jahre dividiert, so erhält man als mittleren Ertrag der von diesem Nährgebiet gespeisten Quellen 26 cbm, eine Menge, die offenbar genügt sowohl für die Speisung der Vacluse-Quelle, als auch für die Verluste, die auf Verdunstung und auf unkontrollierbare Abflüsse zurückzuführen sind.

Die Beobachtungen der Meteorologischen Kommission von Vacluse haben diese Auffassung durchaus bestätigt. Es wurden von ihr auf der Hochfläche mehrere Regenmesser in verschiedenen Höhen und in verschiedenen Entfernungen von der Quelle eingerichtet. Die dort vom Jahre 1874 bis zum Jahre 1883 gesammelten Beobachtungen lassen erkennen, mit welcher Regelmäßigkeit und Geschwindigkeit die Änderungen der Niederschläge sich in den Quell-Erträgen ausdrücken. Ein Zeitraum von 24 bis 48 Stunden genügt für diese Beeinflussung, die sich, abgesehen von einer geringen Verlangsamung infolge der unterirdischen Reibung, mit derselben Pünktlichkeit vollzieht, als wenn es sich um ein offenes Wasserbecken und um einen offenen Ablauf handelte. Es ist also nicht zu bezweifeln, daß diese Hochfläche, auf der die Niederschläge fast augenblicklich versinken, das Nährgebiet der Quelle bildet. Die einzige Schwierigkeit besteht in der Bestimmung der genauen Grenzen. Das Neokom wird von mächtigen Kalkstein-Schichten gebildet, die von Klüften und Spalten in Form von unregelmäßigen Röhren und Höhlen durchzogen werden, welche miteinander in Verbindung stehen, und deren Richtung unabhängig von der Schichtung des Gesteins ist, in derselben Art und Weise, wie man es häufig in Südfrankreich und anderen karstartigen Landschaften beobachten kann.

Das Neokomgebiet erstreckt sich in mächtigen Massen von Sisteron nach Osten bis in die Ebene von Comtat; es ruht im Norden auf den kompakten Schichten des Oxfordkalks und wird auf dieser Seite durch das tiefe Tal der Toulourenc begrenzt; auf deren linkem Ufer streichen in großer Höhe die mergeligen Schichten aus, die die tieferen Schichten des Neokoms bilden und deren Undurchlässigkeit dem Entweichen der unterirdischen Gewässer Widerstand leistet. Die südliche Grenze bildet das rechte Ufer der Durance, wo die Oxfordschichten, die mergeligen Schichten des Neokoms und tertiäre Ablagerungen auftreten. Im Westen endlich ist es an seinem Fuße durch tertiäre Ablagerungen begrenzt, die sich mit denen der Ebene von Comtat vereinigen. Das Neokomgebiet bildet also ein großes Dreieck, welches seine Spitze bei Sisteron hat, während seine Seiten durch das linke Ufer der Toulourenc und das rechte Ufer der Durance gebildet werden; seine Basis liegt unter den tertiären Bildungen der Ebene. Innerhalb dieser Grenze liegt eine mächtige Neokommasse, die nach allen Richtungen hin gespalten und durchklüftet und völlig geeignet ist, in weiten unterirdischen Hohlräumen die Wasser aufzunehmen, die auf sie niederfallen. Sie ruht auf einer Unterlage von mergeligen, undurchlässigen Schichten und ist an allen Seiten ebenfalls von undurchlässigen Bildungen begrenzt (vergl. das Profil Fig. 203 nach Martel). Daraus geht hervor, daß die Regenwasser hier versinken und sich aufspeichern müssen, bis sie einen Ausgang an dem tiefsten Punkte der sie einschließenden Schüssel finden.

Dieser Punkt ist die Quelle von Vacluse, und man versteht jetzt, warum unter sonst gleichen Bedingungen diese so völlig den Schwankungen der Niederschläge im Nährgebiete ausgesetzte Quelle trotzdem immer reichlich gespeist werden und ihre Klarheit beibehalten muß. Wenn man sich einen großen Schwamm vorstellt, der mit großen und zahlreichen Poren durchsetzt ist, auf einem undurchlässigen Grunde ruht und von einem undurchlässigen Mantel umgeben ist, dessen Umfang sich nur an einer einzigen Stelle erniedrigt, und wenn man sich dann weiter vorstellt, daß diesem Schwamme in unregelmäßiger Weise Wasser zugeführt wird, so hat man ein deutliches Abbild dessen, was sich im Gebiete der Vacluse-Quelle vollzieht. Der Schwamm beginnt sich zu benetzen, dann füllt sich der Boden des Beckens, auf dem er ruht, bis zu dem niedrigsten Punkte und hier vollzieht sich ein regelmäßiger Abfluß. Dieser wird ohne Zweifel mit der Menge der zugeführten Wasser schwanken, aber er wird auch noch lange Zeit andauern, wenn die Zufuhr bereits aufgehört hat, und die Zuführung trüben Wassers wird seine Klarheit nicht beeinträchtigen.“

Das Nährgebiet der Quelle besitzt eine Oberfläche von 165 000 ha. Vergleicht man die mittlere Höhe der in den Jahren 1874—1878 zu 550 mm festgestellten Niederschläge mit den mittleren zu 17 sec/cbm in dem gleichen Zeitraum ermittelten Erträgen der Quelle, so erhält man als Abflußmenge der gesamten Niederschläge 60%. Die Oberfläche des Neokomkalks ist von natürlichen Brunnen durchzogen, die bald als Doues, bald als Aven (Fig. 204) bezeichnet werden. Diese letztere Benennung herrscht im Vacluse-Gebiet vor, und die Aven, von denen viele bekannte Namen tragen, spielen in den Geschichten und Sagen jenes Gebietes eine Rolle. Zu den bemerkenswertesten gehört der Aven von Cruis, dicht bei dem gleichnamigen Orte im Bezirke Forcalquier, dessen oberflächlicher Durchmesser 33 m beträgt. Der

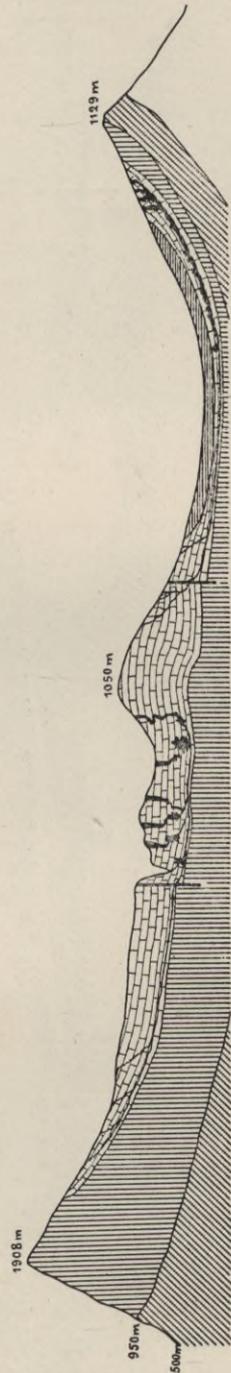


Fig. 203

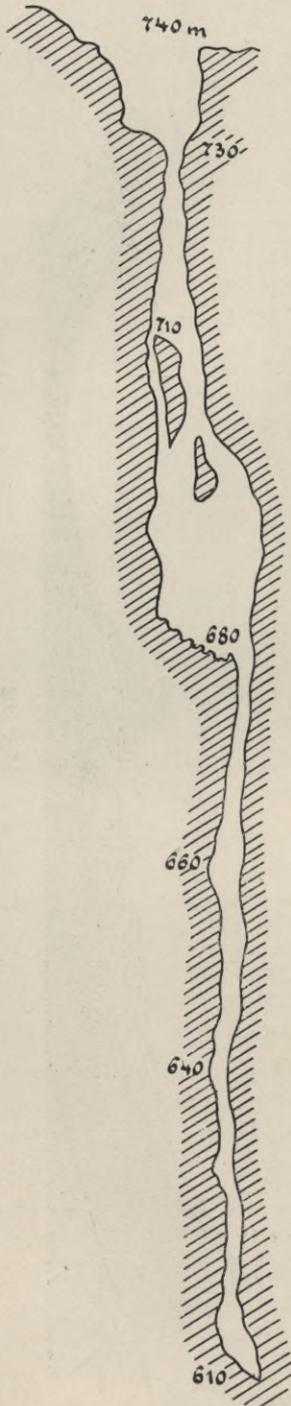


Fig. 204

Aven von Toumple, der $1\frac{1}{2}$ km nordwestlich vom Schlosse Javon entfernt liegt, besitzt eine rechtwinklige Form der Öffnung; seine Maße betragen 1 : 4 m; seine Tiefe überschreitet 95 m. Der Aven von Grand Gérin, der in einer Schlucht liegt, die an der Combe Malavard beginnt, zeigt die Besonderheit zweier Zwillingsöffnungen, die durch einen Felsen bis zu 10 m Tiefe getrennt sind, sich dann aber vereinigen. Das Lot sank dort bis 95 m. Der Aven von Jean Nouveau endlich, der 2 km von Sault entfernt liegt, ergab bei der Lotung eine Tiefe von 180 m. Seine Öffnung hat die Form eines Trichters, dessen Durchmesser 10 m, dessen Tiefe $2\frac{1}{2}$ bis 5 m beträgt. Die Zahl der Avens, die an der Oberfläche erscheinen, ist bedeutend, aber es gibt wahrscheinlich noch sehr viel mehr, die nicht sichtbar sind, teils weil sie durch hineingeschwemmten Schutt auf natürliche Weise geschlossen bleiben, teils weil sie durch die Bewohner verstopft wurden.

Am 22. März 1878 war infolge einer fast beständigen Dürre, die von Anfang Dezember an geherrscht hatte, der Quellspegel bis auf 0,58 des Sorgue-Pegels gesunken, und in einem so leicht durchlässigen Boden waren sicher alle noch unterwegs befindlichen Infiltrationen verschwunden, die Speisung der Quelle vollzog sich also aus dem unterirdisch aufgespeicherten Vorrat. Bis zum 28. März, also während sieben aufeinander folgender Tage, hielt sich der Ertrag der Quelle ganz gleichmäßig auf 6,10 cbm in der Sekunde, während der Spiegel sich nur um 11 cm senkte. Der gesamte Abfluß betrug demnach 3 689 280 cbm, entsprechend einer Senkung von 11 cm im Nährgebiet. Daraus kann man schließen, daß die Oberfläche des Wasserspiegels im Nährgebiet in diesem Augenblick $\frac{3\ 689\ 280}{0,11} = 3350$ ha betrug. Diese Berechnungen und die Unter-

suchungen des Tauchers, von denen wir noch zu sprechen haben werden, beweisen, daß diese Wassermassen eine große Tiefe besitzen müssen. Man kann daraus auf die beträchtlichen Wassermengen schließen, die ungenutzt im Becken aufgespeichert sind. Diese Berechnung läßt zugleich den Schluß zu, daß ungefähr 5% des Neokomkalksteingebirges in einem horizontalen Querschnitt hier wassererfüllte Klüfte und Spalten zeigen würden, während 95% von den Felsen gebildet werden.

Die Wassermassen sind wahrscheinlich in der Nachbarschaft der Quelle und in ihrem Niveau besonders reichlich aufgespeichert. Es gibt aber auch höhere Wasserhorizonte. Den Beweis dafür liefert eine interessante Arbeit, die vor einiger Zeit in der Nachbarschaft von Terrassier am Fuße der Montagne de Lure in 1000 m Höhe ausgeführt worden ist. Auf dem dünnen Boden, wie er überall im Gebiete der Quelle auftritt, hat ein Eigentümer in geistvoller Weise versucht, sich die Wasser eines Grundwasserhorizonts nutzbar zu machen, dessen Vorhandensein ihm durch das beständige Auftreten von Wasser im Grunde eines auf seinem Gebiete gelegenen Aven wahrscheinlich geworden war. Nach mühevollen Arbeiten kam er mittels eines Stollens an diese Schicht und konnte eine prachtvolle Quelle zutage fördern, deren Ertrag bei Niederwasser nicht unter 2 cbm in der Minute sinkt.

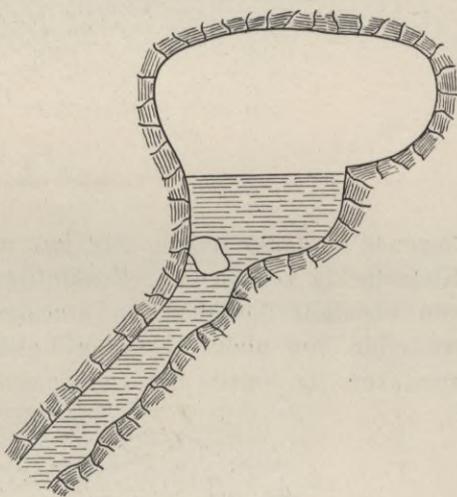


Fig. 205

Um die unterirdischen Verhältnisse der Vacluse-Quelle zu studieren, benutzte Bouvier das Niederwasser im Jahre 1878. In dem sehr klaren Wasser konnte er deutlich in einer östlichen Wand die Öffnung des Zuführungsweges der Wasser erkennen; sie war teilweise verdeckt durch einen leicht geneigten, gewaltigen Block, der auf jeder Seite eine Öffnung in Form eines kleinen Kreisabschnittes frei ließ. Ein Taucher drang später in den unterirdischen Zuführungsweg ein und lieferte die für die Zeichnung des Profils (Fig. 205) erforderlichen Angaben.

Ebenfalls hierher gehören die von Leppla als Überfallquellen bezeichneten Wasseraustritte, die dadurch entstehen, daß ein Eruptivgestein mit starker Zerklüftung und entsprechender Wasserführung an ein darunter einfallendes undurchlässiges Sediment anstößt.

Leppla¹⁾ bringt als Beispiel dieser Art von Quellen ein Vorkommen in den Nordvogesen, wo undurchlässige Schiefertone der rotliegenden Tholeyer-Schichten gegen einen wasserführenden Felsitporphyr einfallen (Fig. 206).

Nahe verwandt damit ist das Auftreten der Quelle von Bethlehem bei Landeshut in Schlesien, über die ich Herrn Dr. G. Berg die nach-

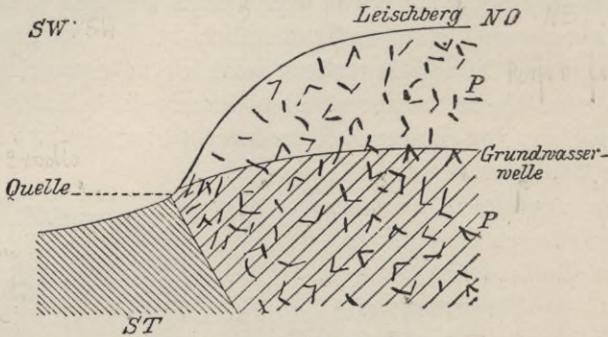


Fig. 206

ST Tholeyer Schichten, P Felsitporphyr

folgende Profildarstellung Fig. 207 nebst dieser Beschreibung verdanke: Kleinstückig zerfallende, offenkluftige Felsitporphyre werden überlagert von ebenfalls durchlässigen stückigen Felsitkonglomeraten und diese weiterhin von undurchlässigen Letten des Rotliegenden. Die Wasser versinken im Felsit und Konglomerat, erfüllen dessen Hohlräume bis

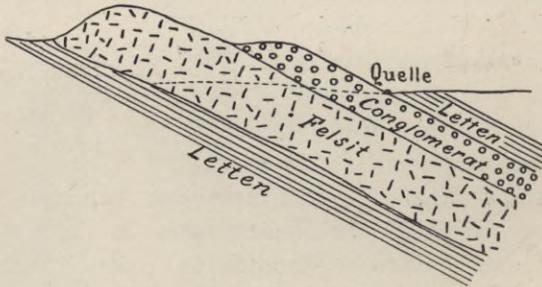


Fig. 207

zum Rande des Lettens und ergießen sich über diesen Rand als Überfallquelle.

Ein anderes ausgezeichnetes Beispiel von Überfallquellen bieten die beiden Enden der mächtigen Basaltmasse des Meißner (Fig. 208). Der Basalt füllt eine schüsselförmige Vertiefung einer Tertiärmulde aus,

¹⁾ A. Leppla, Über das Vorkommen natürlicher Quellen in den pfälzischen Nordvogesen, Z. f. prakt. Geologie, Bd. I, S. 108.

die zu unterst aus Sanden, darüber aus Braunkohle und im Hangenden aus Ton besteht. Letztere bildet die undurchlässige Unterlage der stark zerklüfteten mehr als 150 m mächtigen Basaltmasse. Die beiden tiefsten Punkte des Randes der undurchlässigen Tertiärschüssel liegen am Nord- und Südende der ungefähr 5 km langen Basaltmasse in fast genau gleicher

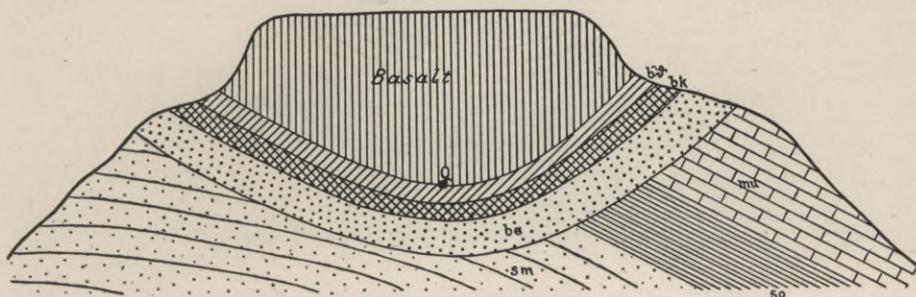


Fig. 208. Überfall-Quelle am Meißner (Querprofil)

mu	Unterer Muschelkalk,	bσ	Sand	} des Tertiärs
so	Röt	bk	Kohle	
sm	Mittl. Buntsandstein,	b§	Ton	

Meereshöhe, 80—100 m über den tiefsten Teilen des Basaltes. An diesen beiden Punkten fließt der gesamte Wasserüberschuß des Basaltes in Gestalt zweier mächtiger, in jeder Beziehung einander ähnelnder Quellen, der Seesteinquelle und des Mühlborns, mit einem täglichen Ertrage von je 1200 cbm ab.

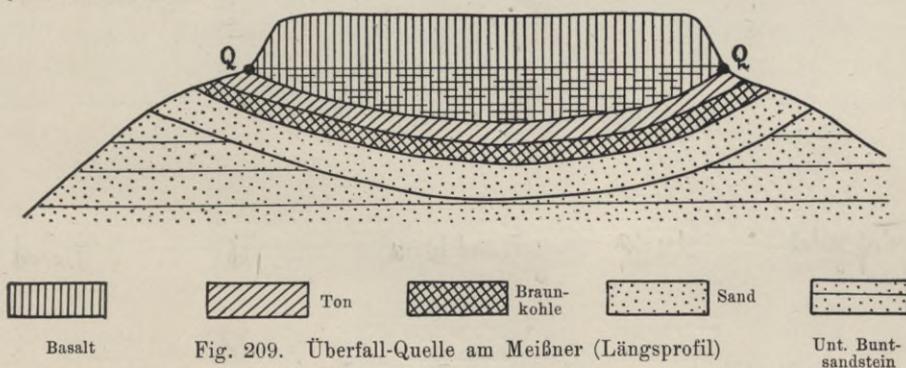


Fig. 209. Überfall-Quelle am Meißner (Längsprofil)

In der Trias der Ostalpen spielen als Wasserstauer die Werfener Schichten eine große Rolle. Da wo sie muldenförmig gelagert sind, treten die in den obertriassischen Kalken zirkulierenden Gewässer als Überfallquellen (Fig. 210 rechts und links) zutage. Die Wiener Wasserversorgung beruht z. T. auf solchen Quellen.

Auch in den eiszeitlichen Ablagerungen des Alpenvorlandes fehlen Überquellen nicht. J. Hug schreibt mir darüber:

„1. Das mittlere Glattal (bei Zürich) wurde während der dritten Eiszeit mit Hochterrassenschotter ausgefüllt, der durchweg aus durchlässigem Kiese besteht. Seine Mächtigkeit muß stellenweise zu 80 bis 90 m angenommen werden. Durch die Erosion der nachfolgenden Interglazialzeit wurde die ganze Fläche in vereinzelte Reste aufgelöst, die

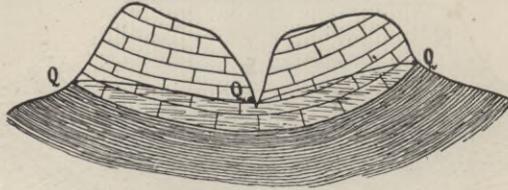


Fig. 210. Überfallquelle auf den Werfener Schichten

nun durch Täler getrennt sind. Die Gletscher der letzten Eiszeit füllten die Talsohlen mit Grundmoränenlehm auf, der sich an den Hochterrassenschotter anlegte. Der Grundwasserstrom des letzteren wurde dadurch aufgestaut und zum Überfließen gebracht (Fig. 211). An den vier Schotterresten des mittleren Glattales konnte ich ein Dutzend derartiger Quellen beobachten, die zusammen 10—12000 Minutenliter liefern.

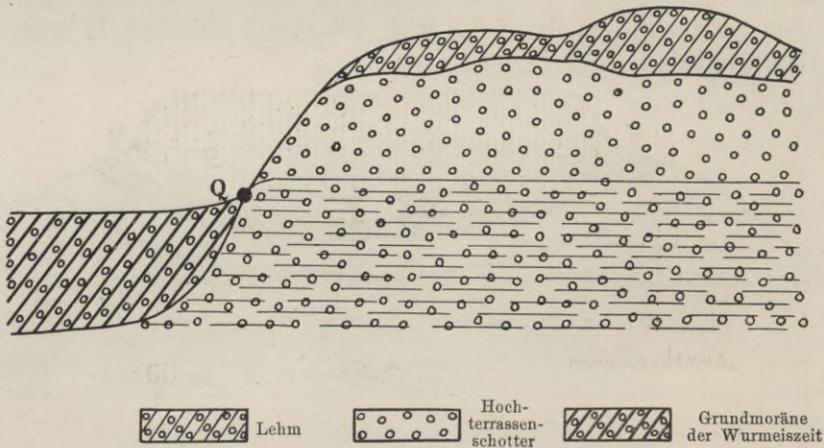


Fig. 211. Überfallquelle in den glazialen Schottern des Glattales

2. Auch in den Moränengebieten sind Überfallquellen keine seltene Erscheinung. Ganz wider Erwarten treten da und dort an den Hängen von Moränenwällen ziemlich hoch oben Quellen aus, die man sonst am Fuße der Böschung vermuten würde. Geht man dem Wasser mit einem Graben oder einem Stollen nach, so zeigt sich, daß ein angepreßter Lehmmantel das Grundwasser der durchlässigen Moräne zurückstaut und

so zur Bildung einer Überfallsquelle Anlaß gibt (Fig. 212). Derartige Lagerungsverhältnisse habe ich an zahlreichen Stellen in Moränengebieten feststellen können, so z. B. in Urdorf bei Zürich, Welsikon bei Winterthur.“

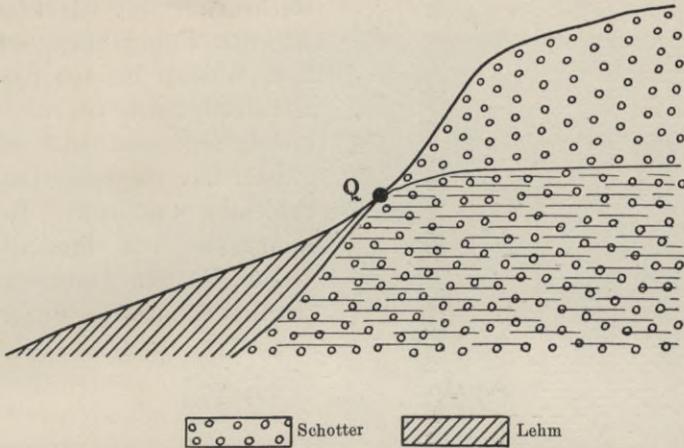


Fig. 212. Überfallsquelle in glazialen Schottermoränen

46. Kapitel

Absteigende Quellen. 5. Stau- oder Barrierenquellen

Wenn auf wasserführende Schichten sich eine undurchlässige Schicht auflegt, das Grundwasser aufstaut und es auf der Grenze der durchlässigen und undurchlässigen Bildungen zum Austritt zwingt, so entstehen Quellen, die als Stau- oder Barrierenquellen zu bezeichnen sind.

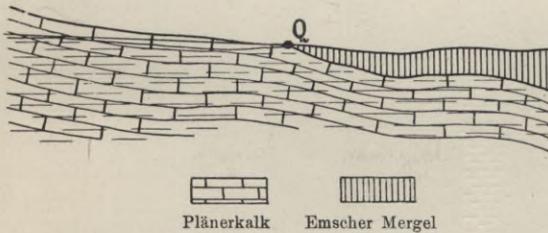


Fig. 213. Schema einer Barrierenquelle

Ihr Mechanismus wird in einfachster Weise durch vorstehende Figur (213) erläutert, die wir einer Arbeit von Stille über das Gebiet von Paderborn¹⁾ entnehmen.

¹⁾ H. Stille, Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiete der Paderquellen zu Paderborn. Abh. d. Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt u. Bergakad., Neue Folge, Heft 38. Berlin 1903.

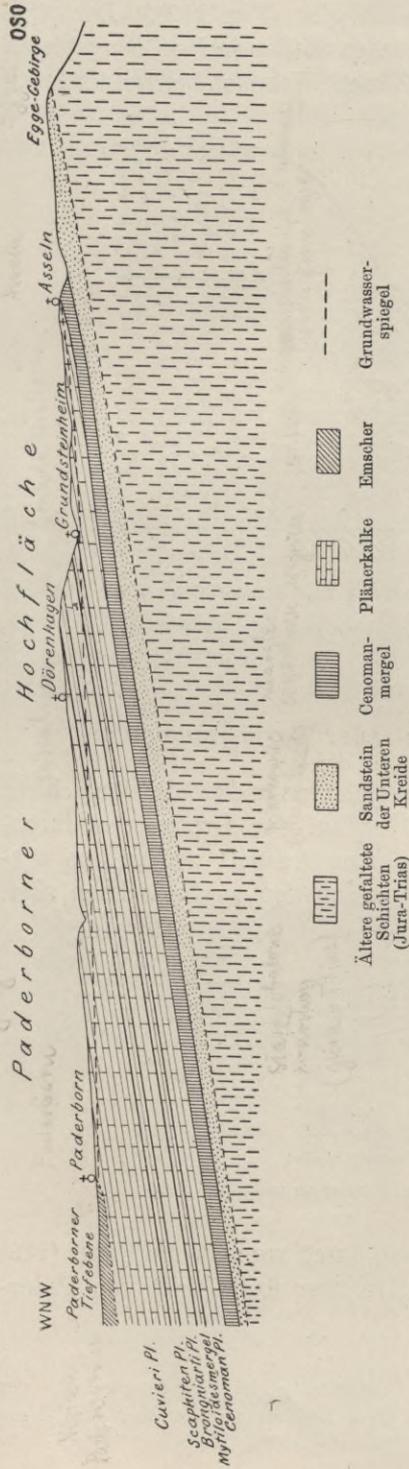


Fig. 214

Die mitten in der Stadt liegenden zahlreichen Paderquellen bilden ein ausgezeichnetes Beispiel solcher Barrieren- oder Stauquellen. An das Eggegebirge lehnt sich nach Westen hin ein System von Kreideschichten an, die in ihrem oberen Teile wesentlich aus Plänerkalken mit eingelagerten Mergelschichten bestehen. Beide Gesteine sind von einer Anzahl von weiten Spalten durchsetzt, denen parallel zahlreiche engere Klüfte verlaufen. In diesen Plänerkalken fließt von Südosten nach Nordwesten in zahllosen parallelen, zum Teil miteinander kommunizierenden, oft aber auch ganz unabhängig voneinander stehenden Spaltenzügen eine mächtige Grundwassermasse, die sich zum Teil aus den offenen Flußläufen speist. In der Gegend von Paderborn lagern sich mit einer quer durch die Stadt hindurch verlaufenden Grenze senone, undurchlässige Mergel des Emschers auf die Plänerkalke auf und bilden eine vollkommene Abdichtung nach oben. Die unter dem Emscher liegenden Plänermassen sind vollständig mit Wasser gesättigt und können nichts mehr aufnehmen. Der gesamte von Nordosten herkommende Überschuß ist deshalb gezwungen, an der Grenze beider Gesteine (Fig. 214 und 215) zutage zu treten und zwar natürlich am stärksten da, wo diese Grenzfläche ihre tiefste Lage besitzt.

Die stauende Schicht braucht sich nun nicht, wie in unserem Falle, mit schwacher Neigung auf

die wasserführenden Schichten aufzulegen, sondern die Grenze kann unter allen möglichen Winkeln geneigt sein; sie muß aber in der Richtung der Bewegung des Wassers einfallen; denn wenn sie entgegen-

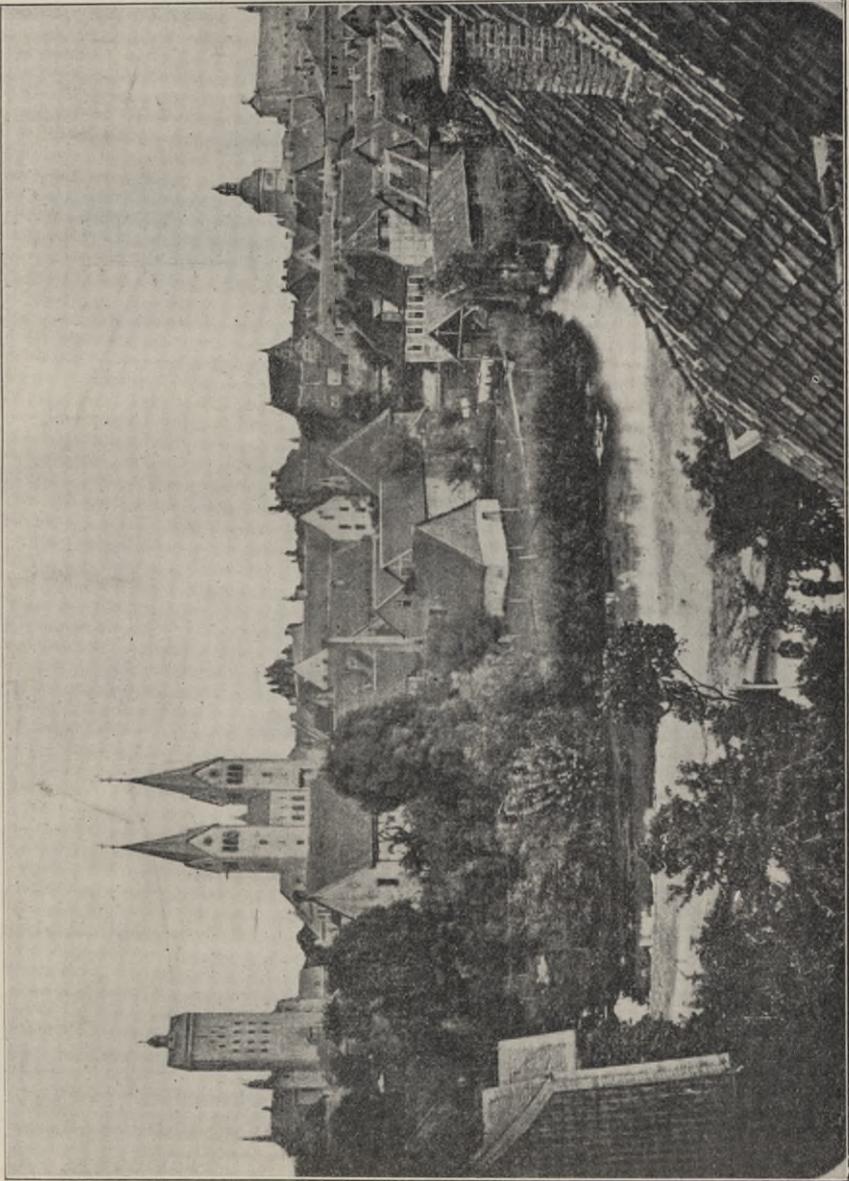


Fig. 215. Paderquelle in Paderborn

gesetzt einfallen würde, würde der Typus der Schichtquelle oder unter Umständen auch der Typus der durch Endigung des Wasserträgers entstehenden Quelle sich ergeben. Der Einfallwinkel der stauenden

Schicht kann bis zum völlig senkrechten Verlauf gehen, wie beispielsweise bei Erzgängen oder bei Eruptivgesteinsgängen, die wie eine Mauer die durchlässigen Gesteine durchsetzen. So sind beispielsweise die Basaltgänge in dem außerordentlich durchlässigen Schwäbischen Jura vorzügliche Stauer des Wassers und bewirken da, wo die Erosion etwas in ein von Basaltgängen durchsetztes Kalksteingebirge eingeschnitten hat, einen mehr oder minder starken Wasseraustritt. Die Rolle des Basaltes als Wasserbringer ist bei den Bewohnern der Alb so bekannt, daß sie ihm den Namen „Wasserstein“ gegeben haben.

Als ferneres Beispiel einer Stauquelle führe ich die große, im klüftigen Zechstein entspringende, ringsum durch die Letten des Oberen Zechsteins und des Unteren Buntsandsteins aufgestaute Quelle im Dorfe Vockerode am westlichen Ufer des Meißner in Hessen an, die da entspringt (Fig. 216), wo das Bachtal die kreisförmig gestaltete Kuppel

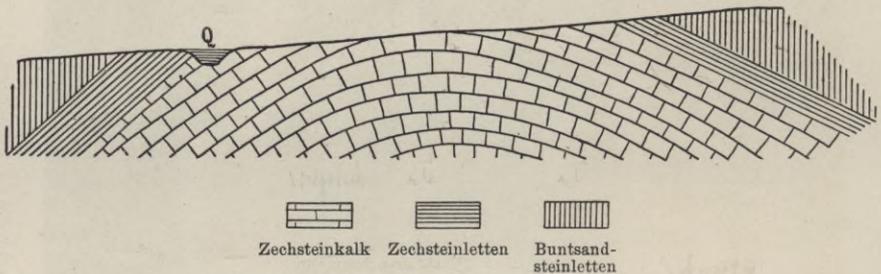


Fig. 216

der Zechsteinschichten verläßt, also an der tiefsten Stelle, die die Erosion an ihrer Grenze geschaffen hat.

47. Kapitel

Absteigende Quellen. 6. Spaltenquellen

Die 6. Gruppe absteigender Quellen bilden die Spaltenquellen. Sie entstehen dadurch, daß in einem an sich undurchlässigen Gestein das in Klüften, Spalten und Höhlungen aufgespeicherte Grundwasser durch Vermittelung einer oder einer Anzahl dieser Klüfte, die in einem unter dem Spiegel des Grundwassers liegenden Niveau an die Oberfläche treten, angezapft und zutage befördert wird. Besonders in Kalkgebirgen sind solche Quellen reichlich vorhanden. Ihre Wasserergiebigkeit hängt immer davon ab, ein wie großes Gebiet sie entwässern und wieviel derartiger Quellaustritte aus einem und demselben Grundwasser-Reservoir gespeist werden. Meist liegen sie wenig über den tiefsten Teilen der Flußtäler oder noch etwas tiefer als deren Oberfläche und ergießen sich dann, ohne sichtbar zu werden, direkt in den Schutt, der

das Tal oberflächlich überkleidet, oder treten im Flußbette selbst zutage und vermischen sich dann in einer oft gar nicht wahrnehmbaren Weise unmittelbar mit dem Wasserlaufe. Solche Spaltenquellen können uns in allen Gebieten begegnen, in denen im kleinen undurchlässige, aber im großen durchlässige spröde Gesteine auftreten, also in Gebieten, die aus Granit und anderen Eruptivgesteinen, aus Kalkstein, Quarzit, kristallinem Schiefer und ähnlichen spröden Gesteinen aufgebaut sind.

Das folgende Bild (Fig. 217) stellt eine Spaltenquelle im Val de Travers des Neuchâteller Jura dar.

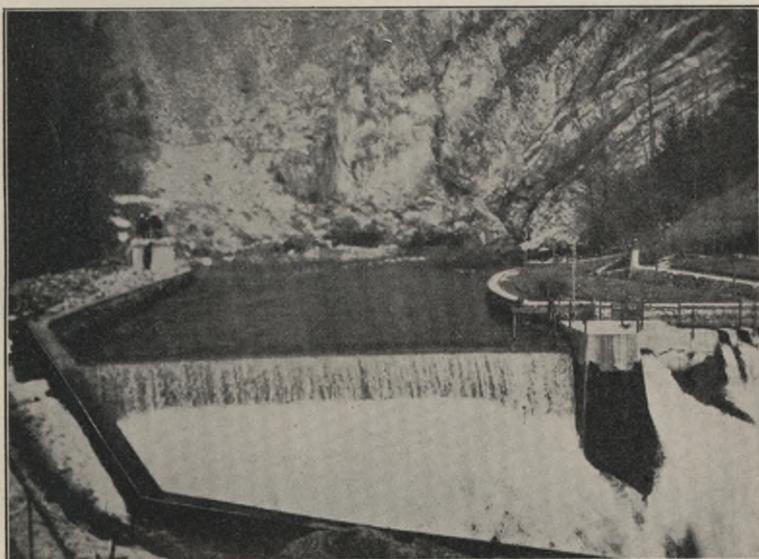


Fig. 217. Quelle der Areuse (La Doux) bei St. Sulpice, Val de Travers, Neuchâtel. Spaltenquelle. Phot. von H. Schardt

48. Kapitel

Absteigende Quellen. 7. Verwerfungsquellen

Sie bilden sich auf Spalten, an denen Verschiebungen der durch die Spalte getrennten Gebirgsschollen stattgefunden haben. Diese Verschiebungen müssen sich so vollzogen haben, daß auf der einen Seite der trennenden Spalte durchlässige und wasserführende, auf der anderen Seite undurchlässige Schichten liegen. Alsdann werden an der Verwerfung die Wassermassen gestaut und müssen als absteigende Quelle zutage treten. Der Quellenaustritt erfolgt bisweilen oberhalb des Talbodens, liegt aber zumeist — da die Täler gewöhnlich den Verwerfungen folgen — in ihm. Beide Fälle sind in den nachfolgenden Beispielen vertreten. Aus der Art des Entstehens dieser Quellen geht hervor, daß

sie nur eine Abart der im 46. Kapitel behandelten Stau- oder Barrierenquellen darstellen; der Stau wird bei ihnen nicht durch normale An- oder Auflagerung undurchlässiger Schichten, sondern durch eine mit Zerreibungen und Verschiebungen verbundene Nebeneinanderlagerung durchlässiger und undurchlässiger Gesteine bewirkt.

Absteigende Verwerfungsquellen fehlen so gut wie ganz überall da, wo lockere quartäre und tertiäre Gesteine die Oberfläche aufbauen; ebenso vermissen wir sie naturgemäß in ungestört lagernden Tafelländern;

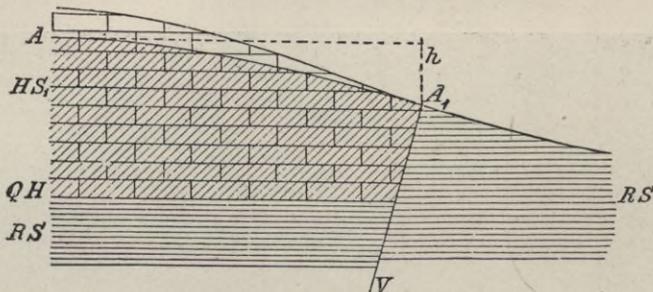


Fig. 218

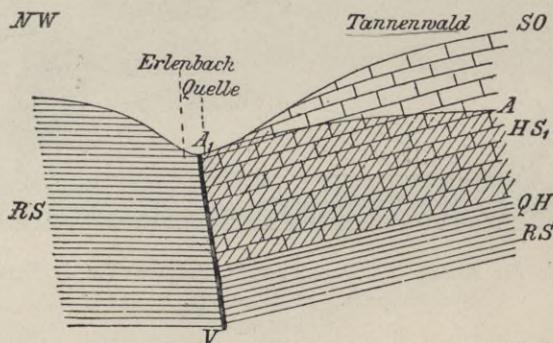


Fig. 219

dagegen sind sie häufig in tektonisch stark gestörten Gesteinen, bei uns also vor allem im Schollengebiet des mittel- und süddeutschen Hügel- und Berglandes und in den Alpen.

Besser als alle Beschreibungen werden einige Beispiele den Bau dieser Art von Quellen erläutern.

Fig. 218 und 219 stellen nach einer Beschreibung von A. Leppla Verwerfungsquellen in den Nordvogesen dar; der Hauptbuntsandstein HS dient als Wasserträger, der ihn unterlagernde Permische Rötelschiefer RS als Wasserstauer; er staut das Grundwasser nicht nur nach unten, sondern entlang der Verwerfung V auch nach der Seite und zwingt es, bei A₁ als Quelle zutage zu treten. In dem in Fig. 218

dargestellten Falle entspringt die Verwerfungsquelle am Abhänge, im zweiten Falle im Talboden. In beiden Figuren bezeichnet A A₁ die Grundwasseroberfläche.

Die Fig. 220 und 221 bringen nach Giordano (Daubrée, les eaux souterraines, S. 124) zwei Beispiele von Verwerfungsquellen aus Sizilien.

Die Buchstaben bedeuten:

- | | |
|---|-------------------------------|
| E = Eozäner Ton, | L = Liaskalkstein, |
| E _k = Eozäner Nummuliten-Kalk, | T = Triasdolomit, |
| C _t = Cenoman-Ton, | U = Undurchlässige Unterlage. |
| C _k = Cenomaner Kalkstein. | |

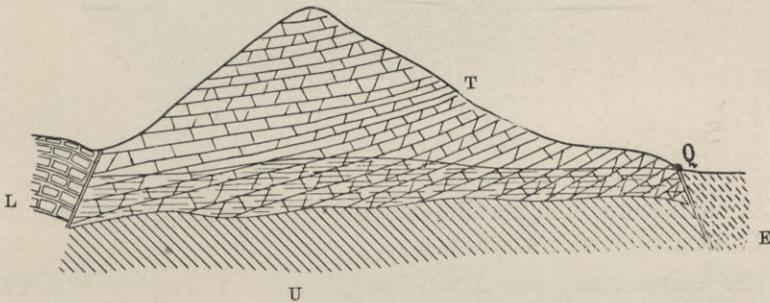


Fig. 220

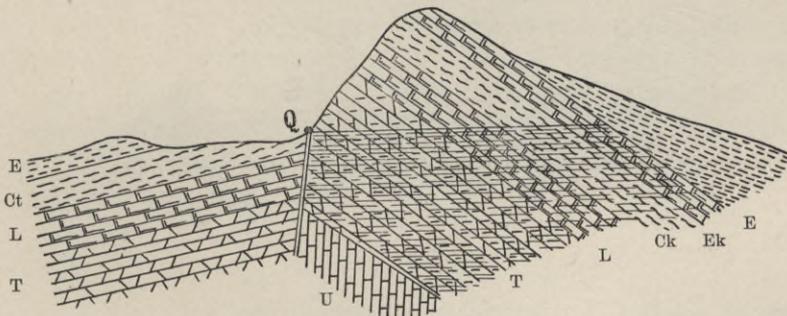


Fig. 221

Fig. 220 stellt den Monte Cuccio und die in Bocca di Falco entspringende Verwerfungsquelle dar, Fig. 221 die Entstehung der warmen Quellen, die in 350 m Meereshöhe am Fuße des 811 m hohen, den Ort Sclafani tragenden Berges entspringen. In beiden Fällen dient der klüftige Dolomit der Trias als Wasserträger; die in ihm aufgespeicherten Wasser werden in Fig. 220 durch dagegen verworfene Eozäntone, in Fig. 221 außerdem noch durch Kreidetone gestaut und gezwungen, an der Verwerfung als Quelle zutage zu treten.

Fig. 222 gibt ebenfalls nach Giordano (Daubrée, l. c. S. 361) ein Profil durch die den Golf von Spezia im Westen begrenzende Halbinsel. Schichten des Lias und Rhät (L und R) bilden eine Decke auf

den wasserführenden Triaskalken T, die mit einer Verwerfung gegen die eoziänen Tone E abgeschnitten sind. Auf dieser Verwerfung entspringt im Lande bei Spragola eine starke Quelle, La Foce, und hart

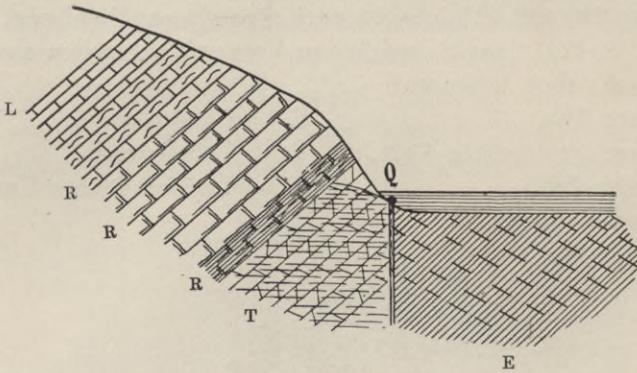


Fig. 222

am Ufer im Meere eine zweite, in unserer Figur dargestellte, die als Polla Cadimare bezeichnet wird.

Ein Beispiel aus den Alpen bringt nach F. Karrer Fig. 223; es ist die Quelle von Rohrbach im Graben, die dadurch entsteht, daß ober-

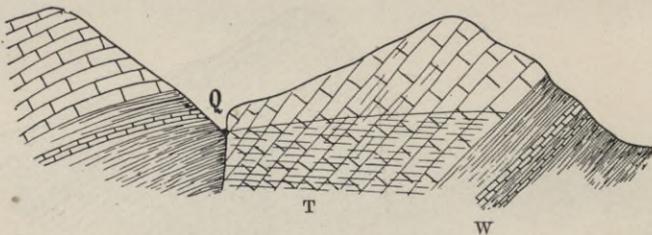


Fig. 223

triassische Kalke (T) mit reicher Wasserführung auf einer Verwerfung gegen die sie unterlagernden Werfener Schiefer W abgeschnitten sind.

Auf dieser über mehr als 11 km Länge bekannten Verwerfung treten neben dieser noch eine Reihe von anderen Verwerfungsquellen auf.

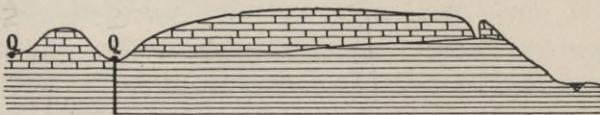


Fig. 224. Länge ca. 1 : 120 000. Höhe ca. 1 : 18 000

Die Entstehung der schon in Römerzeiten genutzten starken Quellen von Gorze bei Metz stellt nach Jacquot, Description géologique du département de la Moselle (Daubrée, l. c. S. 115) Fig. 224 dar. Auf

einer undurchlässigen Unterlage von Liastonen ruhen klüftige oolithische Kalksteine mit reicher Wasserführung auf. Dieses Schichtensystem wird von einer von Ars an der Mosel über Gorze nach SW verlaufenden Verwerfung durchschnitten, an welcher der Nordflügel um ca. 50—60 m in die Tiefe gesunken ist. Dadurch werden die klüftigen Oolithe gegen die Liastone gerückt, ihr Grundwasser wird gestaut und tritt an der Verwerfung und in einem benachbarten tiefen Taleinschnitte zutage. Diese Quellen dienen der Wasserversorgung von Metz.

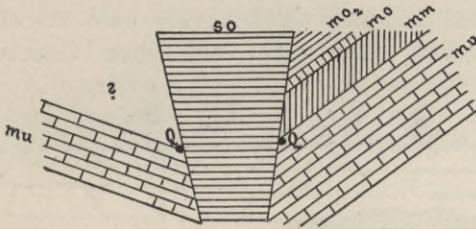


Fig. 225

Fig. 225 gibt im Grundrisse, Fig. 226 im Profile die Entstehung zweier kräftiger Quellen am Ostabhange des Meißner. Während die ganze Westseite des Berges unter dem basaltbedeckten Braunkohlengebirge ausschließlich Unteren und Mittleren Buntsandstein zeigt, treten am Ostabhange, wie Fig. 208 deutlich erkennen läßt, Oberer Buntsandstein (so), Unterer Muschelkalk (mu), Mittlerer Muschelkalk (mm), Trochitenkalk (mo₁) und Nodosenschichten (mo₂) in z. T. ziemlich ver-

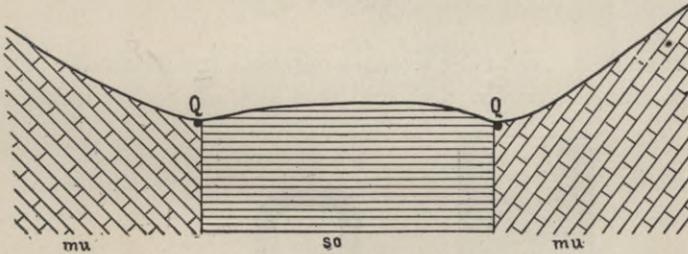


Fig. 226

wickelter Lagerung auf. In dem uns hier beschäftigenden Gebiete ist beiderseits einer keilförmigen Masse von undurchlässigem Rötton Muschelkalk in ziemlich steiler Schichtenstellung mit nördlichem starkem Einfallen niedergebrosen. Die im Unteren Muschelkalk am Abhange des Meißner versinkenden Wasser werden an seinem Fuße gestaut, einmal durch die mittels Verwerfung gegengelagerten Röttone und sodann durch die mittels einfacher Auflagerung sich quer vorlegenden dolomitischen Mergel des Mittleren Muschelkalkes; da wo beide wasserstauende Schichten zusammenstoßen, entspringt die als „Gespränge“ bezeichnete Quelle; die

symmetrisch dazu liegende Quelle westlich des Röthorstes, der Kalte Born, befindet sich wahrscheinlich in geologisch gleicher Lage.

Die ebenfalls sehr zahlreichen aufsteigenden Verwerfungsquellen sind in Kapitel 50 behandelt.

49. Kapitel

8. Intermittierende kalte Quellen

Wir verstehen darunter Quellen, die bald reichliches, bald nur wenig Wasser spenden, sowie solche, bei denen Wasserergiebigkeit und

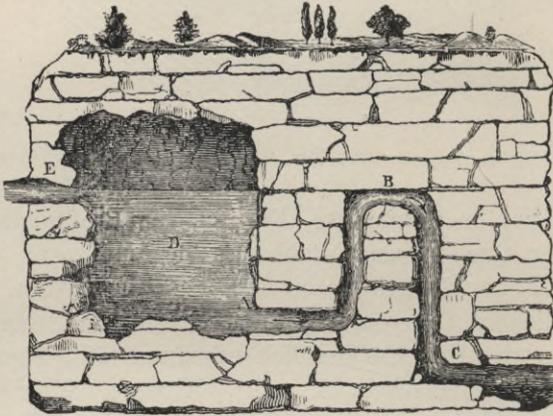


Fig. 227

völlige Trockenheit mehr oder weniger regelmäßig miteinander abwechseln. Diese Quellenform entsteht dadurch, daß sich die Sickerwasser nach und

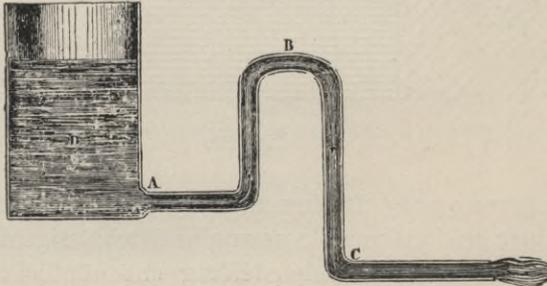


Fig. 228

nach in unterirdischen Höhlungen und Klüftungen ansammeln, die nach außen hin durch einen heberartigen Kanal einen Abfluß haben. Fig. 228¹⁾

Haas, Quellenkunde, S. 82.

gibt die Darstellung eines solchen Hebers. Es sei A-B-C eine einfache gebogene Röhre, deren Teil A-B nicht so weit hinabreicht, wie der Teil B-C fällt. Bringt man den kürzeren Teil mit einem Gefäß D in Verbindung und gibt Wasser in dieses letztere, so wird das Wasser, je nachdem dasselbe im Gefäß steigt, auch im Teile A-B ansteigen. Sobald es nun im Gefäß einen mit der Biegung der Röhre bei B gleich hohen Punkt erreicht hat, fließt es im Teile B-C hinab. Das Wasser fährt dann fort, durch die Röhre zu laufen und das Gefäß entleert sich, bis sich die Oberfläche des Wassers unter der Öffnung des Heberrohres bei A befindet. Wir denken uns nun nach Fig. 227 im Gestein Klüfte und einen Hohlraum D, in welchen an verschiedenen Stellen, so auch beim Punkte E, Wasser einströmt oder nach und nach einsickert.

Je mehr das Wasser die Höhlung erfüllt, um so mehr steigt es auch im Zweige A-B an. Hat es die Höhe von B erreicht, so fließt es in B-C hinab, indem es aus diesem Teile der Spalten mit Geräusch alle Luft vertreibt, und es wird fortfahren, sich durch diesen Abzugskanal zu entleeren, bis das Sammelbecken D fast ganz wasserfrei geworden ist, also bis das Niveau des Wassers in demselben unter dasjenige des Punktes A sank. Dann hört das Fließen auf und wird erst wieder beginnen können, wenn das Wasser im Hohlraum D wieder das Niveau vom Punkte B erreicht hat. Die Dauer des Fließens einer solchen intermittierenden Quelle hängt demnach ab von dem Umfange des Sammelreservoirs, von der Wasserzufuhr, welche dasselbe enthält, und naturgemäß auch vom Durchmesser der Abflußkanäle. Daraus erhellt, daß einige intermittierende Quellen nur wenige Minuten, andere dagegen stunden- oder tagelang fließen. Es ist ferner klar, daß, um eine intermittierende Quelle zu erzeugen, die Abzugskanäle mehr Wasser fortführen müssen, als die dem Sammelbecken zugeführte Wassermenge beträgt, denn sonst würde sich ja das Wasser ständig in der Höhe von Biegung B erhalten können, und das Fließen der Quelle erlitte keinerlei Unterbrechungen. Da des weiteren das Fließen abhängt von der Wassermenge, welche sich zu der Zeit im Sammelbecken befindet, wo der Heber in Tätigkeit tritt, und von derjenigen, welche sich während dieser letzteren darein ergießt, so ist es verständlich, wenn während starker Regenfälle, wodurch die Wasserzufuhr vermehrt und das Sammelbecken rascher gefüllt wird, die Zeit des Intermittierens einer solchen Quelle kürzer ist als die ihres Fließens. Ist dagegen die Wasserzufuhr infolge von Trockenheit eine nur geringe, so intermittiert die Quelle während längerer Zeiträume, um nur während kürzerer Perioden zu fließen. Man könnte daher manche dieser intermittierenden Quellen mit demselben Rechte Hungerbrunnen nennen wie diejenigen, auf welche man sonst diesen Namen überträgt, was übrigens auch schon geschehen ist.

Wechselnde Spannungen der aus dem Quellenkanal aufsteigenden Gase sind übrigens ebenfalls imstande, Intermittenz der Quellen hervorzubringen, wie wir das in Kapitel 51 noch näher kennen lernen werden.

Intermittierende Quellen wie die vorgeschilderten sind keine Seltenheiten. Der Schwäbische Jura weist beispielsweise manche derartige Vorkommnisse auf, so im Oberamt Urach, am Broller, im Lonsinger Tal usw. In den porösen Gesteinen des Malm sammelt sich das Wasser an und fließt dann plötzlich an Stellen über, woselbst sonst jahrelang kein Wasser zu sehen war. „Das Überaich macht sich Luft“, sagt dann der Volksmund, und zwar zuweilen mit solcher Gewalt, daß nahebei gelegene Orte überflutet werden und daß der hervorbrechende Wasserstrom Mühlenräder treiben könnte. Neben solchen Quellen von längerer Intermittenz sind auch solche bekannt, die jeden Tag oder auch sogar mehrmals täglich intermittieren, so eine solche im Val d'Arsa bei Remüs in Graubünden, bei welcher sich diese Erscheinung innerhalb 24 Stunden wiederholt, oder gewisse Quellen am Pilatus, bei welchen dies noch häufiger geschieht. Die Idzuk-Quelle zu Kimp im Südbiharar Komitate in Ungarn intermittiert in regnerischen Zeiten in Intervallen von 10 bis 15, in trockenem in solchen von 20 bis 30 Minuten und ergibt jedesmal etwa 40 Eimer Wasser.

50. Kapitel

Aufsteigende Quellen:

1. Auftrieb durch hydrostatischen Druck:
 - a) Schichtquellen,
 - b) Verwerfungsquellen;
2. Auftrieb durch Gase:
 - a) Wasserdampf,
 - b) Kohlensäure,
 - c) Kohlenwasserstoff.

Aufsteigende Quellen. 1. Auftrieb durch hydrostatischen Druck

a) Schichtquellen. Wenn eine nicht in ebener Lagerung befindliche, sondern gefaltete oder sonstwie verbogene, wasserführende Schicht, die zwischen zwei undurchlässigen Schichten eingeschlossen liegt, so zutage austreicht, daß der austreichende Teil in dem ansteigenden Schenkel eines Faltenstückes liegt (Fig. 229), daß also die Schicht an der Stelle des Ausstrichs nach unten einfällt und die Wasserführung derselben Schicht bis zu einem höheren Niveau als dem des Ausstrichs emporreicht, so muß das Wasser an den tieferen Teilen des Ausstrichs als Sprudelquelle zutage treten, und zwar mit um so stärkerem Auftriebe, je beträchtlicher der Höhenunterschied zwischen dem obersten Wasser-

spiegel innerhalb der Schicht und seinem Austrittspunkte ist. Besonders in den losen quartären und tertiären Bildungen Norddeutschlands, die vielfach durch glaziale Erosion eine zum Teil sehr verwickelte Störung ihrer Lagerung durch Aufrichtung, Faltung, Zerrung usw. erfahren haben, ist diese Art der Quellenbildung sehr verbreitet, und die Mehrzahl der Sprudelquellen Norddeutschlands dürfte zu ihnen gehören. Ich nenne als Beispiel eine südlich von Kalau in der Mark im Bette eines Baches auftretende sehr starke Sprudelquelle, die wahrscheinlich zwischen gebogenen Schichten fetter tertiärer Tone ihren Weg nimmt, und eine bei Gerfin unweit Bublitz in Pommern entspringende prachtvoll glockenförmig aufgewölbte Quelle, die durch diluviale Tonmergel ihren Weg angewiesen erhält. In solchen Quellbecken sieht man meist eine starke Wirbelbewegung und ein kräftiges Spiel der Sandkörner und bisweilen sogar eine glockenförmige Aufwölbung der Oberfläche.

In dieselbe Gruppe von Quellen gehören die von Leppla aus den Nordvogesen beschriebenen aufsteigenden Sprudelquellen.



Fig. 229

Ihre Entstehung beruht darauf, daß in einem Talboden zwei verschiedene, voneinander unabhängige Grundwasserwellen zum Austritte gelangen, deren untere unter dem auf sie einwirkenden Druck durch Alluvium, welches den Talboden auskleidet, hindurchdringt und als sprudelnde Quelle im Talgrunde erscheint.

b) Aufsteigende Verwerfungsquellen. In Gebieten, in denen die Erdkruste durch Verwerfungen zerschnitten ist, an denen Verschiebungen der einzelnen Schollen stattgefunden haben, spielt die zweite Gruppe, die der aufsteigenden Verwerfungsquellen, eine wesentliche Rolle und beherrscht vielfach größere Gebiete ausschließlich. Im Prinzip ist die Entstehung dieser Verwerfungsquellen sehr einfach und wird durch die umstehende Skizze (Fig. 230) erläutert. Voraussetzung ist, daß ein Schichtensystem, in dem sich Druckwasser führende Schichten in geneigter Lagerung befinden, so durch eine Verwerfung abgeschnitten wird, daß die durchlässigen Schichten an der Verwerfung an undurchlässige anstoßen. In diesem Falle kann das Wasser, welches auf der durchlässigen Schicht von der Oberfläche her einsinkt und auf deren undurchlässiger Unterlage in die Tiefe wandert, wobei es nach kurzer Zeit durch völlige Ausfüllung der durchlässigen Schicht sich in Druckwasser umwandelt, nicht weiter als bis an die Verwerfung seine Richtung einhalten und

wird gestaut. Es können verschiedene Fälle eintreten: Entweder ist die Verwerfung an sich noch durchlässig, sie bildet noch eine klaffende oder durch spätere Mineralbildungen nur unvollkommen wieder ausgefüllte Spalte, oder aber sie ist völlig geschlossen. Im letzteren Falle aber ist gewöhnlich das Nebengestein durch die bei der Spaltenbildung entstandenen starken Eingriffe so zerstört, daß es ein etwas höheres Maß von Durchlässigkeit erlangte und behalten hat. In jedem Falle bietet sich dem an der Verwerfung selbst unter mehr oder weniger hohem Drucke stehenden Wasser eine Möglichkeit, diesem Drucke dadurch auszuweichen, daß es sich in der Richtung der Verwerfungsspalte aufwärts bewegt. Genügt der vorhandene Druck, um das Wasser bis an die Oberfläche emporzutreiben, so fließt es bei nur geringem Überdruck als ruhige Quelle ab, bei starkem Druck als Sprudelquelle. Natur-

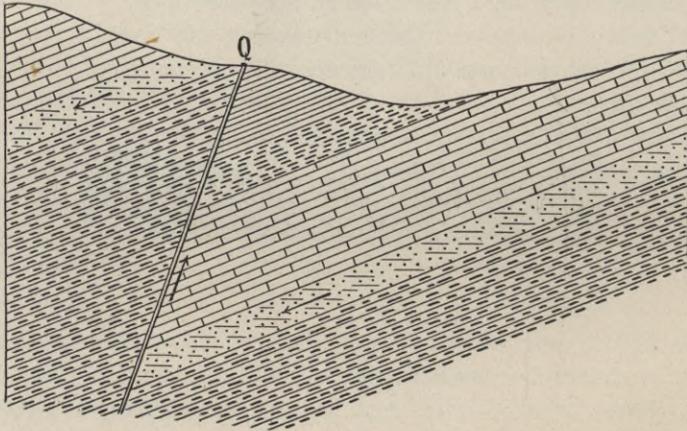


Fig. 230

gemäß sind die stärksten Quellen da entwickelt, wo die Verwerfungslinie infolge späterer Erosion die Erdoberfläche an der tiefsten Stelle schneidet, während an den etwas höher gelegenen Punkten die Wasserführung abnimmt, meist aber nicht ganz verschwindet. Die Folge davon ist, daß sich derartige aufsteigende Verwerfungsquellen gewöhnlich in langen Linien angeordnet finden, in echten Verwerfungs-Quellenlinien, die einerseits zur Feststellung der Tektonik des Gebietes, andererseits zur Verfolgung der Quellen selbst behufs Fassung und Sammlung benutzt werden können.

Es ist aber nicht einmal nötig, daß der Gesteinscharakter beiderseits der Verwerfungsspalte sehr starke Unterschiede in bezug auf die Wasserführungsmöglichkeit besitzt. Es genügt vielmehr, daß in manchen Gesteinen, besonders in Sandsteinen, der Durchlässigkeitsgrad des Gesteins entlang der Verwerfungsspalte eine Verminderung erfährt, indem durch Zerreibung und Zermalmung der einzelnen Quarzkörner dünne

Besteige toniger Massen auf der Verwerfungskluft erzeugt werden, die nun ihrerseits einen Stau ausüben und das Wasser zum Aufsteigen veranlassen können. Es ist auch nicht nötig, daß die gesamte Wassermenge als Quelle wieder zutage tritt. Sobald nämlich, wie in untenstehender Fig. 231 durch Pfeile angedeutet, das auf der Verwerfungsspalte aufsteigende Wasser auf seinem Wege abermals eine auf der anderen Seite der Verwerfung nach unten einfallende, wasseraufnahmefähige Schicht antrifft, wird es auf dieser ganz oder teilweise in die Tiefe wandern und seinen Weg so lange fortsetzen, bis es auf einen neuen Stau trifft.

Die Verwerfungen, zu denen wir naturgemäß auch die Überschiebungen rechnen müssen (in Fig. 230 stellt Q eine „Überschiebungsquelle“ dar), treten entweder einzeln oder gesellig auf. Wir kennen

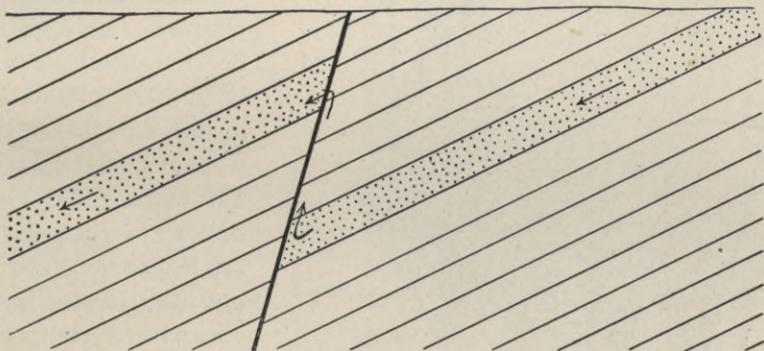


Fig. 231

große Gebiete, die von einer einzigen großen Verwerfung beherrscht werden, während sie in anderen Gegenden so eng geschart auftreten, daß die Abstände der einzelnen Störungslinien voneinander oft nur wenige Meter betragen. In diesen Fällen wird der Mechanismus der aufsteigenden Verwerfungsquellen mannigfaltiger und verwickelter und besonders da, wo ein System von solchen Verwerfungsspalten einen alten, stehen gebliebenen Horst allseitig umgrenzt und in enger Häufung auftritt, entstehen die mannigfachsten Typen solcher Quellen.

Denckmann¹⁾, der das Gebiet des Kellerwaldes und die Wasserhältnisse seiner Umgebung, besonders in der Gegend von Frankenberg und Wolkersdorf, eingehend untersucht hat, schreibt in bezug auf diesen Punkt:

„Die das Gebirge durchsetzenden Spalten und Klüfte, auf denen die Verwerfung bzw. das Absinken des Gebirges stattgefunden hat, sammeln die Wasser der in ihrem Zusammenhange zerrissenen Schichten.

¹⁾ Zeitschr. f. prakt. Geolog. 1901.

Wird das Gebirge von Zerreißen verschiedener Richtung bzw. verschiedenen Alters durchsetzt, so führt diejenige Zerreißungslinie (Verwerfungslinie, Bruchlinie) das meiste Wasser, welche alle anderen Verwerfungen wiederum zerreißt, welche also dem Alter ihrer Entstehung nach die jüngste ist. Im Gebiete des Kellerwaldes gehören nun die Randbrüche des alten Horstes zu den jüngsten Störungen, und es ist dementsprechend nur natürlich, wenn diese Linien bzw. die durch sie im Grundriß dargestellten Klüfte dasjenige Wasser in sich aufnehmen, das im Gebirge selbst weder oberflächlich abläuft, noch in Quellen zutage tritt.“ In dem nebenstehenden Bilde (Fig. 232) gibt Denckmann eine schematische Grundrißdarstellung zur Erläuterung des Verhältnisses zwischen den alten streichenden Verwerfungen des Horstes und den Randverwerfungen, in

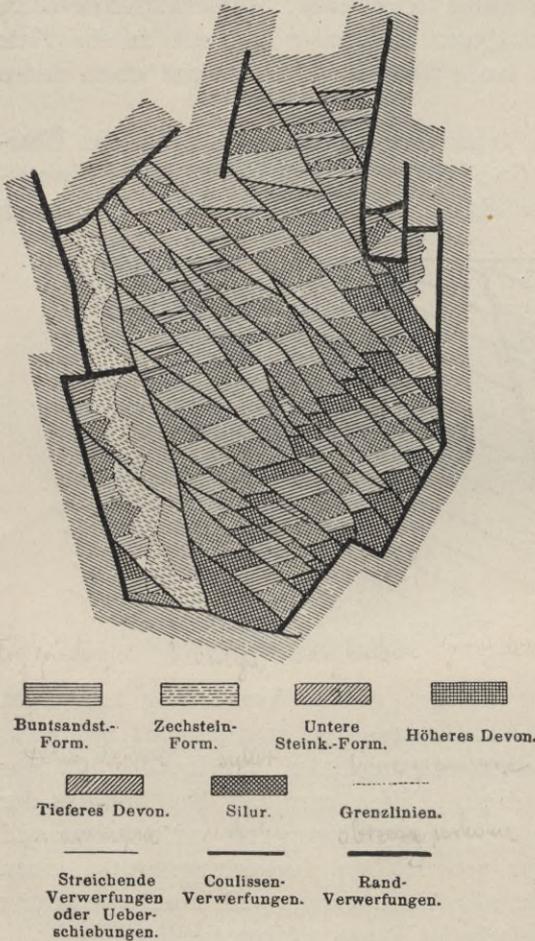


Fig. 232

Fig. 233 ein Bild des staffelförmigen Niedersinkens der Schichten am Rande eines solchen alten Horstes, und in Fig. 234 endlich ein Längsprofil in der Richtung der Bewegung des Grundwassers. Dabei ist zu bemerken, daß diese Staffelbrüche durch Querbrüche vielfach miteinander kommunizieren

ren und daß infolgedessen ein Austausch der Wasser durchaus im Bereiche der Möglichkeit liegt.

Besonders starke Quellen entstehen in diesem Gebiete dadurch, daß die durch den Kalk und Dolomit des Zechsteins versinkenden Wassermengen mittels der nächsten Verwerfung an den zahlreiche undurchlässige Einlagerungen enthaltenden Bänken des Unteren Buntsandsteins gestaut werden und nun auf den Verwerfungen emporsteigen.

Da die Erosion in außerordentlich zahlreichen Fällen den Verwerfungslinien folgt, so liegen diese vielfach im Grunde oder im unteren Teile der Flanken unserer Täler. Liegen sie völlig in der Mittellinie der Täler, so ist der ausgehende Teil von jüngeren Massen überdeckt

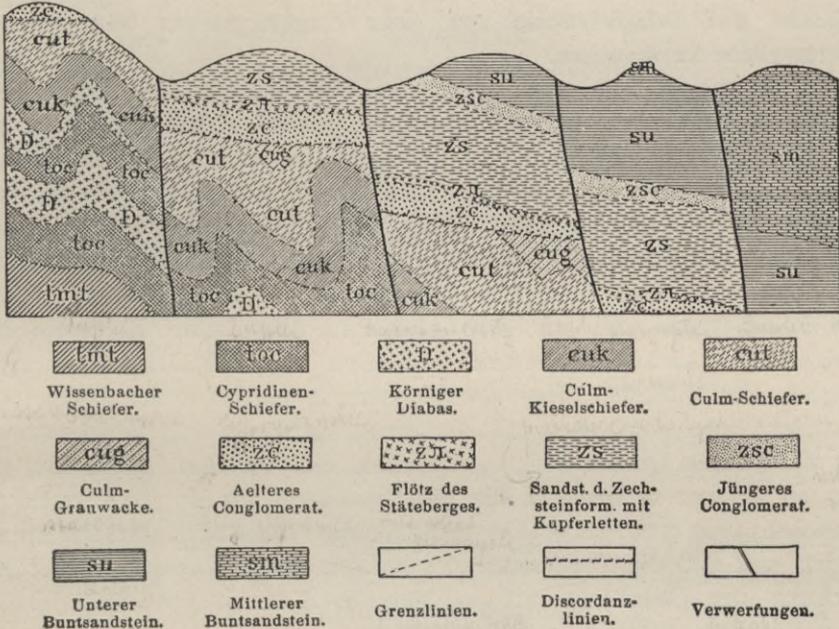


Fig. 233

und die aufsteigenden Verwerfungsquellen treten dann nicht an der Verwerfungsspalte selbst zutage, sondern ergießen sich in die auflagernde diluviale und alluviale Talausfüllung. Entweder mischen sie sich dem Grundwasser bei, oder sie besitzen Kraft genug, um auch diese Decke

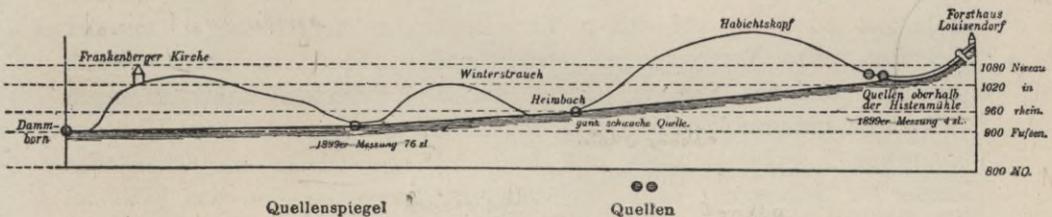


Fig. 234

zu durchbrechen, und treten dann an der Oberfläche in den jugendlichen Ablagerungen selbst als Sprudelquellen auf.

Ein weiteres Beispiel bietet die im 40. Kapitel beschriebene und abgebildete San Marcosquelle bei San Antonio im Staate Texas und die Comelquelle bei Neu-Braunschweig ebendasselbst.

Zu den aufsteigenden Verwerfungsquellen gehört ein sehr großer Teil unserer warmen und heißen Quellen, die uns aus diesem Grunde auch sehr häufig in langen Linien angeordnet begegnen. Man ist berechtigt, solche auf weithin verfolgbaren Verwerfungen aufsetzenden Quellen unter dem Namen einer Quellen- oder Thermenlinie zusammenzufassen und beispielsweise von einer erzgebirgischen oder Wiener Thermenlinie zu sprechen.

Die erstgenannte wird durch eine den Südabfall des Erzgebirges in Böhmen begleitende und veranlassende gewaltige Bruchlinie gebildet, die nicht aus einer einzigen Spalte besteht, sondern aus einem vielfach sich zerschlagenden Spaltenbündel, von dem sich seitliche Nebenspalten abzweigen. Auf solchen Nebenspalten setzen im Porphyr die Teplitzer, im Granit die Karlsbader heißen Quellen auf. Auf einer Verwerfung zwischen Granit und paläozoischen Sedimenten setzen die heißen Quellen von Baden-Baden auf, auf einer solchen im devonischen Kalkstein diejenigen von Aachen-Burtscheid. In allen diesen Fällen ist es nicht möglich, den gesamten Weg des Wassers in einwandfreier Weise darzustellen; man darf aber mit Rücksicht auf die hohen Temperaturen, die viele dieser Quellen zeigen, schließen, daß der absteigende Ast, auf dem die Wasser so lange in die Tiefe wandern, bis sie die Verwerfung erreichen, sehr weit, unter Umständen einige tausend Meter tief hinabreicht, und daß die Temperatur des aufsteigenden Wassers bei der Erreichung der Oberfläche um so höher ist, aus je größerer Tiefe es kommt und je rascher es den aufsteigenden Teil seines Weges durchmißt. Ein prinzipieller Unterschied zwischen solchen Thermalwassern und gewöhnlichem Grundwasser besteht nicht; nur haben erstere vermöge ihrer höheren Temperatur viel mehr Fähigkeit, aus dem durchwanderten Gestein mineralische Stoffe aufzulösen und fortzuführen.

Die aufsteigenden Quellen brauchen — ganz abgesehen von den bereits besprochenen aufsteigenden Schichtquellen — nicht an Spalten geknüpft zu sein, auf denen Verschiebungen aneinander grenzender Schollen, also Verwerfungen stattgefunden haben; in vielen Fällen genügen einfache Spalten, durch die den zwischen undurchlässigen Schichten eingeschlossenen und in die Tiefe hinabgeführten Wassern Gelegenheit geboten wird, auf kurzem Wege wieder zur Oberfläche empor zu gelangen. Dahin gehören die Thermalquellen von Wildbad im Schwarzwalde und von Pfäfers in der Schweiz. Ihre erhöhte Temperatur zeigt uns, daß auch solche einfachen, nicht mit Verwerfungen verbundenen Klüfte bis zu sehr erheblichen Tiefen hinabreichen können.

Daß die weit überwiegende Mehrzahl der heißen Quellen nicht durch juveniles, sondern durch vadoses Wasser gespeist wird, wird durch die Abhängigkeit ihrer Wasserführung von meteorologischen Vorgängen der Oberfläche bewiesen; wie stark dabei die Verzögerung werden kann,

mit der trockne und nasse Jahre sich in den Ertragnissen der Quellen widerspiegeln, zeigt das Beispiel der Thermen von Baden in der Schweiz, deren Wasser durch die Trias aus den Alpen kommt, in 1500 m Tiefe unter Zürich hindurchgeht und mit $1\frac{1}{2}$ —2 Jahren Verzögerung auf nasse bzw. trockene Jahre reagiert:

sehr trockenes Jahr 1865	Thermen stark
sehr nasses Jahr 1866	Thermen abnehmend
mittleres Jahr 1867	Thermen abnehmend, dann von September an zunehmend
mittleres Jahr 1868	Thermen ungewöhnlich stark

Die Wirkungen des Jahres 1866 machen sich also erst 1868 bemerklich (nach briefl. Mitteilung von Alb. Heim).

51. Kapitel

Aufsteigende Quellen. 2. Auftrieb durch Gase

Kampe erklärt auf Grund seiner Studien an den Karlsbader Quellen den Mechanismus der kontinuierlich fließenden, gasführenden Quellen wie folgt:

Versagt man einer aufsteigenden Quelle durch genügend hohe Verlegung des Niveaus den Auslauf, so erreicht der statische Druck an allen Stellen des Quellschlotes sein Maximum. Er nimmt dann bei Flüssigkeiten vom Auslaufniveau mit dem Luftdruck als Anfangswert proportional der Tiefe zu. Gewährt man der Quelle unterhalb des beschriebenen (piëzometrischen) Niveaus die Möglichkeit des Auslaufes, so werden sich an allen Stellen des Quellschlotes Druckwerte einstellen, die kleiner sind als das erwähnte Maximum. Die Differenz zwischen beiden Druckwerten ist das für die Bewegung wirksame Druckgefälle; es ist maßgebend für die Fließgeschwindigkeit und damit für die Ergiebigkeit der Quelle. Diese wird um so größer, je kleiner der Subtrahent, das ist der Druck in der Flüssigkeitssäule der Quelle, ist. Sieht man von den rein dynamischen Wirkungen ab, so kann man diesen Druck wieder proportional der Tiefe zunehmend denken; Anfangswert ist der Luftdruck am Auslauf, Proportionalitätsfaktor das spezifische Gewicht.

In Quellen, welche neben der Flüssigkeit freies Gas in Blasenform führen, deren Medium also ein physikalisches Gemisch von Flüssigkeit und Gas darstellt, ist das spezifische Gewicht geringer als das der bloßen Flüssigkeit und, bei konstanter Temperatur, in erster Linie variabel mit dem Drucke.

Man kann sich zum Zwecke der theoretischen Betrachtung — unbeschadet der Richtigkeit der Resultate — die Gemischquellen aufgelöst

denken in zwei nebeneinander aufsteigende Ströme von Flüssigkeit und Gas, wenn man in allen Horizontalschnitten den Querschnitt des Gasstromes der Summe der Schnittflächen aller Gasblasen gleichsetzt. Das spezifische Gewicht des Gemisches ist dann abhängig vom gegenseitigen Verhältnis zwischen Gas- und Flüssigkeitsquerschnitt.

Nennen wir z. B. F_w den Wasser-, F_g den Gasquerschnitt, so ist das spezifische Gewicht, nachdem das Gasgewicht vernachlässigt werden kann,

$$S = \frac{F_w}{F_w + F_g}.$$

Der Querschnitt des Gasstromes nimmt mit wachsendem Drucke ab: Einmal, weil sich das Gasvolumen nach dem Mariotteschen Gesetze verkehrt proportional dem Drucke verkleinert, weiter weil nach dem Henryschen Gesetze, die von der Flüssigkeit absorbierte Gasmenge proportional dem Drucke zunimmt. Das spezifische Gewicht des Gemisches nimmt also mit wachsendem Drucke zu.

Die Druckzunahme im Quellschote einer Gemischquelle kann nach dem Gesagten nicht proportional der Tiefe wie bei Flüssigkeiten erfolgen, weil der Proportionalitätsfaktor (das spezifische Gewicht) hier variabel ist und mit der Tiefe wächst.

Das Gewicht wird aber immer kleiner sein als das der bloßen Flüssigkeit; infolgedessen nimmt der Druck in Gemischquellen mit der Tiefe langsamer zu als in Flüssigkeits-Quellen.

Die oben definierte wirksame Druckdifferenz, daher auch Geschwindigkeit bzw. Ergiebigkeit ist also in Gemischquellen bei sonst gleichen Umständen größer als in Flüssigkeitsquellen. Der Druck in Gemischen erreicht denselben Wert erst in größerer Tiefe als jener in Flüssigkeiten, daher besitzt umgekehrt die Gemischquelle unter sonst gleichen Umständen die größere Steighöhe.

Die gasführende Quelle leistet ein Plus an Arbeit, das dem Gase zugeschrieben werden muß. Irrtümlicherweise führt man dessen Leistung häufig auf den „Auftrieb“ der Gasblasen zurück. Die kinetische Energie der Blasen würde an die Flüssigkeit abgegeben und so eine hebende Wirkung erzielen. Tatsächlich ist es eher richtig zu sagen, die Gasblasen empfangen ihre Energie vom Wasser; die beiden Medien haben unter dem Einflusse der Schwerkraft das Bestreben, sich nach mit der Tiefe zunehmenden Volumengewichten zu ordnen, also drängt die Flüssigkeit die Gasblase aufwärts.

Das Plus an Arbeit ist in Wirklichkeit nichts anderes als die Expansionsarbeit des Gases, welches von einem minimalen Volumen zum Volumen am Auslauf expandiert und hierbei im Verdrängen des Wassers arbeitet.

Die erwähnte kinetische Energie der Gasblasen bewirkt gerade das Gegenteil der Hebung. Um dies einzusehen, denken wir uns wieder die Quelle in den Gas- und Flüssigkeits-Strom aufgelöst. Wir haben oben in beiden Strömen stillschweigend gleiche Fließgeschwindigkeiten vorausgesetzt.

Besitzt das Gas infolge des Auftriebes eine relative Geschwindigkeit gegenüber dem Wasser, so ist seine absolute Geschwindigkeit größer, mithin der Gasstrom-Querschnitt bei gleicher Gasmenge kleiner; dann ist aber das spezifische Gewicht des Gemisches größer, was nach Obigem die Steigfähigkeit und Ergiebigkeit der Quelle beeinträchtigt. Unbewußt haben daher seit Langem praktische Quellentechniker durch entsprechende Formgebung der Fassungen das Voreilen der Gasblasen zum Nutzen der Quellen zu verhindern gesucht.

Nach dem Gesagten ist auch der Irrtum einzusehen, welcher begangen wurde, wenn man die vom Gase geleistete Arbeit einfach gleich Gasgewicht \times Steighöhe setzte, auch diese Arbeit wird vom Gase nicht produziert, sondern konsumiert und ist übrigens gegenüber der tatsächlich wirkenden Expansionsarbeit verschwindend klein“.

a) Wasserdampf. Die Entstehung aufsteigender Quellen durch Wasserdämpfe wird in der Art veranlaßt, daß stark überhitzte Wasserdämpfe auf Spalten aus der Tiefe emporsteigen, auf ihrem Wege Grundwasser antreffen, dieses mit emporreißen, unter Umständen bis zum Siedepunkt erhitzen und schließlich bis an die Oberfläche emportragen. Dieses Wasser kann entweder juveniles Wasser sein, welches infolge Entgasung vulkanischer Magmen aus der Tiefe aufsteigt, oder es kann Grundwasser sein, welches durch geneigte Schichtenlagerung in so große Tiefen der Erde geführt wird, daß die geothermische Tiefenstufe ausreicht, es völlig in Dampf umzuwandeln. Ist die Masse des empordrängenden Wasserdampfes sehr groß und der Kanal, durch den es emporkommt, sehr eng, so wird die Geschwindigkeit der Bewegung außerordentlich gesteigert, und es werden alsdann diese Quellen zu kochenden Springquellen, die nach den am längsten bekannten Vorkommen im südwestlichen Island als Geiser bezeichnet werden.

Diese kochenden Springquellen, die entweder dauernd oder in regelmäßigen Zwischenräumen ihre Wasserstrahlen zu oft bedeutenden Höhen emporschleudern, finden sich heute außer in Island im Gebiete des Yellowstone-Parks in Nordamerika, sowie in einer ganzen Anzahl kleinerer Vorkommnisse in Zentralasien in Tibet, während ein viertes, früher gleichfalls sehr berühmtes Vorkommen am Waikatosee auf Neuseeland seit einer Reihe von Jahren durch gewaltige Vulkanausbrüche völlig zerstört ist.

Der Große Geiser auf Island liegt etwa 110 m über dem Meeresspiegel in einer breiten Ebene, die sich an einen Trachythügel anlehnt.

Der Geiser selbst entsteigt einem Untergrunde von sehr jungen Anschwemmungen und ist von einer dicken Schicht von Kieselsinter, der durch die Quellen selbst erzeugt ist, umlagert worden. Er besitzt einen abgestumpften Eruptionskegel, auf dessen Oberfläche ein etwa 17 m im Durchmesser haltendes, flaches Becken eingesenkt ist. In der Mitte dieses Beckens senkt sich, oben etwa 5 m breit, nach unten schmaler werdend, das Rohr des Brunnens in die Tiefe und zwar bis $23\frac{1}{2}$ m. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit kristallklarem Wasser von 82° C erfüllt. In einigen kleinen Abflußrinnen läuft das Wasser langsam über die Böschung des Kegels ab. Von Zeit zu Zeit erfolgen unterirdische Detonationen und das Wasser hebt sich glockenförmig im Becken empor. In Zwischenräumen von wechselnder Länge aber steigern sich diese kleinen Eruptionen und es kommt zu gewaltigen Ausbrüchen. Die Explosionen nehmen an Geräusch und Stärke zu, das Wasser im Becken schlägt hohe Wellen und Wirbel, aus der Mitte des Beckens erheben sich gewaltige Dampfblasen und wenige Augenblicke später schießt ein Wasserstrahl von 25—30 m Höhe empor. Ihm folgt schnell ein zweiter und ein dritter, und nun kommt es zu einem minutenlangen, ununterbrochenen Ausbruch, bei dem die niederfallenden Wasserstrahlen von den neu hervorbrechenden immer wieder mit emporgetragen werden. Nach einigen Minuten ist der Ausbruch zu Ende. Große Mengen Wassers sind über den Rand des Beckens geflossen; dieses selbst ist nach dem Ausbruch trocken, und in dem inneren Rohre ist das Wasser ebenfalls noch 2 m unter die Oberfläche gesunken. Langsam steigt es wieder an und die einzelnen Vorgänge setzen von neuem ein. Der Große Geiser hat mit den Pausen zwischen seinen Eruptionen häufig gewechselt. In früheren Zeiten erfolgte fast alle 24 Stunden ein Ausbruch; in den 80er Jahren mußte man manchmal zwei bis drei Wochen von einem zum anderen warten, heute sollen sie wieder in kürzeren Zwischenräumen, alle zwei bis drei Tage, eintreten. Überhaupt sind die Geiser-Phänomene raschen Änderungen unterworfen. So existierte noch in den 80er Jahren in geringer Entfernung vom Großen Geiser eine andere Springquelle, der Strokkur, der keinen oberflächlichen Krater besaß, sondern eine unmittelbar in der ebenen Oberfläche endigende Röhre, deren Durchmesser oben etwa $2\frac{1}{2}$ m betrug, sich nach unten hin aber bis auf $\frac{1}{3}$ m verengte. Das Wasser in der Röhre stand 3 m unter der Oberfläche und war ununterbrochen in starker Wallung begriffen. Von Zeit zu Zeit erfolgten auch hier Eruptionen, die denen des Großen Geisers an Größe und Erhabenheit kaum nachstanden. Diese Springquelle besaß die Eigentümlichkeit, jederzeit zu einer Eruption veranlaßt werden zu können und zwar dadurch, daß man den verengten untersten Teil des Trichters durch Hineinwerfen großer Rasen- und Torfstücke verstopfte. Alsdann trat nach 10—40 Minuten die Eruption

unweigerlich ein, und der Versuch konnte beliebig oft wiederholt werden.

Außerordentlich großartig sind die Geiser des Yellowstoneparks auf der Grenze der Staaten Wyoming und Montana. Dieses erst im Jahre 1869 entdeckte und erst im Jahre 1871 durch verschiedene Expeditionen genauer erforschte Gebiet enthält eine ungeheuer große Zahl von heißen Quellen, die auf 10000 geschätzt wird. Unter diesen Quellen finden sich viele echte, periodisch ausbrechende Geiser, welche mächtige Absätze von Kalk- und Kieselsinter bilden. An Großartigkeit der Eruptionen übertreffen einige den Großen isländischen Geiser, da sie ihre Wasserstrahlen bis 60 m und höher emporschleudern. Der gewaltigste ist der Giant mit 10 Fuß hohem und 24 Fuß im Durchmesser betragenden Auswurfskegel, aus welchem in langen Zwischenräumen Wasserstrahlen von 30—60 m Höhe emporsteigen. Der Beehive-Geiser (Fig. 235) hat einen kleinen, sehr regelmäßigen Kegel, aus dem einmal täglich eine gigantische Wassersäule bis 65 m Höhe emporsteigt, während der Old Faithfull-Geiser mit wunderbarer Regelmäßigkeit alle 65 Minuten seinen mächtigen Strahl 40 m hoch emporschleudert. Neben ihnen treiben noch zahlreiche andere ihr wildes Spiel und gestalten den Yellowstonepark zu einem Weltwunder, dem sich nichts in dieser Art ebenbürtig zur Seite stellen kann.

In Tibet wurden im Jahre 1871 durch Oberst Montgomery in 4700 m Meereshöhe heiße Quellen an einer ganzen Anzahl von Stellen, besonders zu Naisum-Chuja entdeckt. Viele von ihnen sind Springquellen, deren Fontäne sich 12, 15 und 20 m hoch erhebt unter starkem Geräusch und Entwicklung gewaltiger Dampfmassen. Ihre Temperatur entspricht dem Siedepunkt, der in dieser Höhe 84° beträgt. Auch hier scheint der Wasserdampf die Ursache der Eruptionen zu sein und diese selbst sind deshalb unter die Gruppe der intermittierenden Geiser zu stellen.

Zur Erklärung der Geiser-Erscheinungen ist eine ganze Anzahl von Theorien aufgestellt worden. Mackenzie nahm die Existenz unterirdischer Hohlräume an, die wie Dampfkessel funktionieren und abwechselnd mit Dampf und mit heißem Wasser angefüllt sind. Diese Ansicht stimmt jedoch nicht mit den Tatsachen überein, die besonders an dem isländischen Geiser genau untersucht sind, vor allen Dingen aber nicht mit den merkwürdigen Beobachtungen Bunsens. Er senkte ein registrierendes Thermometer vor einem großen Ausbruch auf den Grund des Geiserrohres und fand, daß es nach dem Ausbruch völlig unverletzt war und daß überdies während des Ausbruches die Temperatur in der Tiefe des Rohres nicht hoch genug gestiegen war, um daselbst das Wasser, entsprechend dem auf ihm lastenden Drucke, zum Kochen zu bringen. Daraus geht hervor, daß die Explosionen nicht



Fig. 235. Beehive-Geiser im Yellowstone-Park

durch Eindringen von Dampf in den unteren Teil des Rohres entstanden sein können, sondern daß in einem etwas höher gelegenen Teile des Rohres die Ursache zu suchen ist. Die Bunsenschen Untersuchungen ergaben das in der folgenden Tabelle wiedergegebene Resultat.

6. Juli 8 Uhr 20 Min. nachm.		7. Juli 2 Uhr 55 Min. nachm.		7. Juli 7 Uhr 58 Min. nachm.	
Höhe über dem Boden m	Temperatur ° C	Höhe über dem Boden m	Temperatur ° C	Höhe über dem Boden m	Temperatur ° C
0	123,6	0	127,5	0	126,5
4,8	122,7	5	123,0	—	—
9,6	113,0	9	120,4	9,85	121,8
14,4	85,8	14,75	106,4	14,75	110,0
19,2	82,6	19,55	85,2	19,55	84,7

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich: 1. daß die Temperatur der Wassersäule im Geiser von oben nach unten zunimmt, 2. daß die Temperatur, kleinere Störungen abgerechnet, an allen Punkten der Wassersäule mit der seit der letzten Eruption verflossenen Zeit in stetem Steigen begriffen ist, 3. daß dieselbe an keinem Punkte, selbst einige Minuten vor dem großen Ausbruch nicht, in der ruhenden Wassersäule den Kochpunkt erreichte, der dem Atmosphären- und Wasserdrucke am Orte der Beobachtung entspricht, 4. daß die Temperatur in der mittleren Höhe des Geiserrohres dem daselbst der drückenden Wassersäule entsprechenden Kochpunkte am nächsten liegt und ihm um so näher rückt, je mehr der Zeitpunkt einer großen Eruption herannaht.

Faßt man zunächst die Periode ins Auge, welche der Eruption unmittelbar vorangeht, so ergibt sich, daß nur ein sehr geringer Anstoß nötig ist, um einen großen Teil der Wassersäule plötzlich zum Kochen zu bringen und, wie sich sogleich ergeben wird, in Eruption zu versetzen; jede Ursache nämlich, welche die Wassersäule nur um einige Meter emporhebt, muß diese Wirkung haben. Denkt man sich eine solche Hebung um 2 m, so wird dadurch die lastende Flüssigkeitssäule entsprechend verkürzt, der Druck vermindert. Dadurch gerät ein Teil des Wassers ins Kochen und es bildet sich Dampf. Dieser hebt das Wasser noch weiter, immer größere Massen desselben geraten in Druckverhältnisse, unter denen sie kochen, und so pflanzt sich die Dampfentwicklung auf den größten Teil der Wassersäule fort.

Ist es demnach einleuchtend, daß die Wassersäule im Geiserrohre vom Mittelpunkte aus auf eine gewisse Erstreckung hin plötzlich ins Kochen gerät, durch den dabei gebildeten Dampf gehoben allmählich unter den Druck von nur einer Atmosphäre gelangt, so läßt sich anderseits leicht nachweisen, daß die bei diesem Verdampfungsprozesse entwickelte mechanische Kraft mehr als hinreichend erscheint, um die

ungeheure Wassermasse des Geisers bis zu der erstaunenswerten Höhe emporzuschleudern, welche diesem schönen Eruptionsphänomen einen so großartigen Charakter verleiht. Die ganze Geisersäule, von dem Punkte an gerechnet, wo ihre Temperatur 100° C beträgt, bis zum Boden, würde eine Dampfsäule von 1041 m ergeben; daß diese ungeheure Kraft sich nicht in einem einzigen Eruptionsstrahle erschöpfen kann, ist leicht begreiflich, denn die in der Luft abgekühlten Wasserstrahlen des Ausbruches stürzen fortwährend in das Geiserrohr zurück und unterbrechen die Kraft der empordringenden Dampfsäule auf Augenblicke dadurch, daß der Dampf in dem abgekühlt zurückstürzenden Wasser so lange verdichtet wird, bis die Temperatur des letzteren wieder auf den Kochpunkt gestiegen ist und es dadurch von neuem die Fähigkeit erlangt, emporgeschleudert zu werden. Daß die Unterbrechung der gleichsam in Schüssen aus dem Rohre hervorbrechenden Wassergarben in der Tat diesem Umstande beizumessen ist, davon kann man sich leicht durch die Wahrnehmung überzeugen, daß zwischen den einzelnen emporsteigenden Strahlen das Wasser aus dem Becken in die Röhre zurückströmt und selbst auf Augenblicke mit Gewalt von derselben eingesogen wird. Diese Erscheinung erklärt zugleich die oft auf einen Zeitraum von mehr als vier Minuten verlängerte Dauer der großen Eruption.

Es bleibt nur noch zu erklären, durch welche Ursache die Wassersäule jene Hebung erleidet, die den ersten Anstoß zur Eruption gibt. Ein großer Teil der isländischen Thermen zeigt die Eigentümlichkeit, daß sich periodisch an gewissen Stellen in dem Wasser des Quellbeckens eine große Anzahl von Dampfblasen bildet, die beim Aufsteigen in eine obere kältere Schicht plötzlich wieder verdichtet werden. Es entsteht dadurch stets eine kleine Detonation, die von einer halbkugelförmigen Hebung und gleich darauf wieder erfolgenden Senkung der Wasseroberfläche begleitet ist. Auch der Große Geiser ist durch eine periodische Folge solcher Dampfdetonationen charakterisiert, die erst 4—5 Stunden nach einer großen Eruption ihren Anfang nehmen und sich dann in Zwischenräumen von 1—2 Stunden bis zum nächsten Ausbruche wiederholen. Eine solche Hebung ist aber nicht eher imstande, irgend eine Wasserschicht in eine Höhe zu versetzen, wo sie infolge der daselbst stattfindenden Druckverminderung ins Kochen geraten könnte, als bis die Wassermasse durch allmähliche Erhitzung die etwas höhere Temperatur angenommen hat, welche einige Minuten vor dem wirklich eintretenden Ausbruch in der Tat beobachtet wurde. Alle übrigen dieser Periode vorangehenden Hebungen dagegen werden nur imstande sein, die unteren erhitzten Wassermassen durch Stoß in den oberen Teil der Geiserröhre teilweise emporzutreiben, wo diese Massen unter dem verminderten Drucke ins Kochen geraten und die kleinen, mit geringen Eruptionen verbundenen Aufkochungen bewirken, die man zwischen den größeren

Ausbrüchen beobachtet. Diese kleinen Eruptionen sind daher gleichsam mißlungene Anfänge der großen, die sich von dem Ausgangspunkte der Dampfbildung wegen der noch zu niedrigen Temperatur der Wassersäule nur auf kurze Erstreckungen hin fortpflanzen können.

b) Kohlensäure. An zahlreichen Stellen der Erde, besonders in Gebieten, an denen sich vor nicht allzu langer geologischer Zeit vulkanische Erscheinungen abgespielt haben, entströmt dem Erdinnern Kohlensäure in größeren oder geringeren Massen; über ihren Ursprung sind die Meinungen geteilt. Nach der einen Ansicht stellen sie die letzten Entgasungsprodukte unterirdischer, erkaltender Magmaherde dar, während sie nach anderer Auffassung aus Lagern von Kalkstein herühren sollen, die durch tektonische Vorgänge in so große Erdtiefe gerückt sind, daß sie bei der daselbst herrschenden Temperatur eine Zersetzung unter Freiwerden von Kohlensäure erfahren.

Gegen die letztere Meinung läßt sich das Bedenken aussprechen, daß mit der zunehmenden Tiefenlage auch der Druck bei je 4 m um eine Atmosphäre wächst, und daß bekanntlich die Dissoziation des kohlen-sauren Kalks um so höhere Temperaturen erfordert, je höher der auf ihm lastende Druck ist.

Der Austritt der Kohlensäure erfolgt entweder in Form trockenen Gases, wie in der Solfatara bei Neapel, in gewissen Schluchten im Gebiete des Yellowstoneparks und an zahlreichen Stellen der Rheinprovinz (Eifel, Westerwald), oder das aufsteigende Gas trifft auf seinem Wege gewöhnliches Grundwasser oder mineralisierte Wässer an, reißt sie mit sich empor und tritt dann als Kohlensäuerling zutage. Auch durch Bohrungen sind beide Erscheinungen angetroffen worden. So hat beispielsweise eine im Zechstein endigende Bohrung bei Sontra am Fuße des Thüringer Waldes jahrelang gewaltige Mengen trockener Kohlensäure geliefert, während im Brohltale und bei Goudron in Frankreich durch solche Bohrungen gleichzeitig Grundwasser angetroffen ist, so daß nun aus dem Bohrloche intermittierend Kohlensäure und durch Kohlensäure getriebene Wasserstrahlen donnernd und knatternd emporsteigen.

Ein gutes Beispiel mit natürlicher Kohlensäure aufsteigender Quellwässer bietet die Gegend von Nauheim. Hier verlaufen nach R. Lepsius im Usatale auf der Grenze des Rheinischen Schiefergebirges bedeutende Störungen, die den Taunus gegen sein Vorland abschneiden. Gerade bei Nauheim kreuzen sich zwei solcher Spaltensysteme, nämlich die im Oberen Karbon entstandenen älteren Verwerfungen des Niederrheinischen Schiefergebirges, die von WSW. nach ONO. verlaufen, und die jüngeren tertiären Spalten, die aus der Niederrheinischen Tiefebene durch die Wetterau nach ONO. gerichtet sind. Gerade unterhalb der Stadt Nauheim ist eine gewaltige Masse von mitteldevonischem Stringo-

zephalenkalken an Verwerfungen gegen den Quarzit des bereits zum Taunus gehörigen Johannisberges abgesunken. Der Betrag der Verwerfung beläuft sich auf etwa 2600 m. Die Quarzite und devonischen Schiefer bilden das Liegende der unter 78° einfallenden Verwerfung und sind sehr schwer durchlässig. Auch der mitteldevonische Kalkstein enthält eine Reihe von Einlagerungen mergeliger Tonschiefer und Mergel, die ein Einfallen von 53 — 60° besitzen. In den unteren Schichten des Stringozephalenkalks nun befinden sich salzhaltige Wässer, die vom Taunus her unter natürlichem Drucke stehen und auf der Grenzverwerfung emporsteigen. Sie würden hier als Quellen zutage treten können, wenn nicht eine etwa 30 m mächtige Decke tertiärer und diluvialer Schichten das ältere Gebirge verhüllte. Diese Spalte wird gleichzeitig von aufsteigender Kohlensäure benutzt. Die aus großer Tiefe emporsteigende Kohlensäure gerät in die etwa 200 m unter Tage fließenden Solen und steigt mit ihnen empor. Der Auftrieb ist vergleichbar den Erscheinungen beim Öffnen einer Selterwasserflasche, wobei auch durch die entweichenden Gase die Flüssigkeit über den ursprünglichen Spiegel emporgerissen wird. Die aufsteigenden Säuerlinge mischten sich in den durchlässigen Oberflächenschichten mit dem Grundwasser und kamen so als in ihrer Temperatur erheblich herabgesetzte und in ihrem Salzgehalt stark verdünnte Solen bis an die Oberfläche. Um beide Übelstände zu vermeiden, wurde schon zu Beginn des vorigen Jahrhunderts versucht, durch Bohrungen diese Wasser tiefer zu fassen, und es wurde so nacheinander eine Reihe von Sprudelquellen gewonnen, deren Temperatur und Salzgehalt um so höher steigen, in je größerer Tiefe sie angeschlagen werden. Die letzte dieser Bohrungen schuf den neuen Solesprudel, der, wie das nebenstehende Profil (Fig. 236) zeigt, in einer Tiefe von 207 m erschlossen wurde. In derartigen Kohlen-säuerlingen lastet bisweilen auf dem kohlen-säurehaltigen Wasser eine nicht mit Kohlensäure gesättigte Wassersäule, die es verhindert, daß der Sprudel in Tätigkeit tritt. Es bleibt nämlich bei einem Drucke von drei Atmosphären die Kohlensäure im Wasser gebunden, wird also erst frei, nachdem das mit ihr beladene Wasser weniger als 30 m unter die Oberfläche des Spiegels gelangt ist. In solchen Fällen nützt, wie bei Nauheim, fortgesetztes Pumpen, weil dadurch die kohlen-säurehaltigen Wasser entlastet und in ein höheres Niveau gezogen werden, bis die Sprudeltätigkeit der Quelle beginnt. Andere derartige erbohrte Kohlen-säuerlinge haben wir in Deutschland in Homburg, an zahlreichen Stellen der Eifel, in Nemedy am Rhein und in dem schönen Brunnensprudel von Kissingen. Auch der Karlsbader Sprudel enthält eine große Menge von Kohlensäure.

c) Kohlenwasserstoff. Das dritte Gas, welches mit dem Wasser aus der Tiefe emporzusteigen und aufsteigende Quellen zu erzeugen vermag,

ist der Kohlenwasserstoff. Ihm begegnen wir vorzugsweise in solchen Gebieten, in denen sich schwerer Kohlenwasserstoff in Gestalt von Naphta und Petroleum in der Tiefe befindet. Infolgedessen sind die Erscheinungen des Auftriebes durch Kohlenwasserstoff zumeist mit Ausbrüchen von Naphta verbunden, und gleichzeitig werden, da es sich

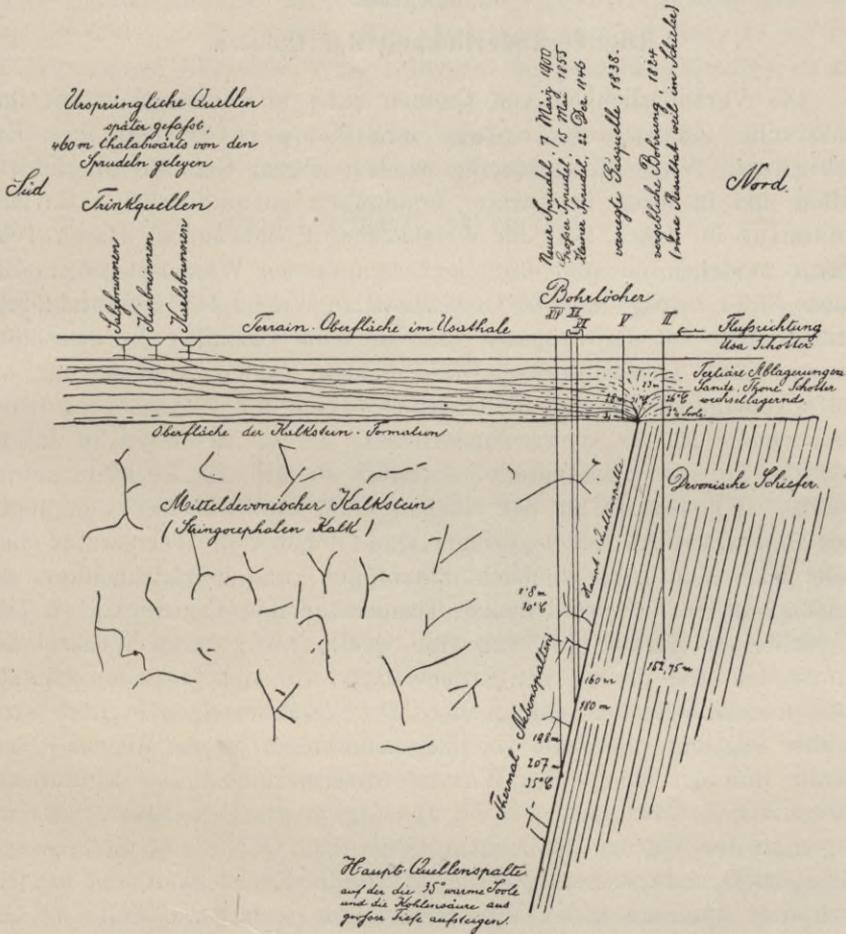


Fig. 236. Profil des Nauheimer Sprudels nach R. Lepsius

meist um lose, tonige Gesteine handelt, starke Auswaschungsprozesse eingeleitet, so daß das vom Kohlenwasserstoff emporgetriebene Wasser nicht als reines Quellwasser, sondern als mit größeren oder geringeren Mengen von tonigem Schlamm beladener Brei an die Oberfläche tritt. Auf diese Weise entstehen die als Schlammvulkane oder Makkaluben bezeichneten Erscheinungen, die uns bereits in Gebiete hinüberführen, die außerhalb des Rahmens dieses Werkes liegen. Künstlich erbohrte Kohlenwasserstoffgeiser sind in Kansas beobachtet worden, wo der Kane-

Geiser, ein 600 m tiefes Bohrloch, periodische Eruptionen von durch Kohlenwasserstoff emporgetragenen Wasser besitzt, das sich 30—50 m über Tage erhebt.

52. Kapitel

Die Veränderlichkeit der Quellen

Die Veränderlichkeit von Quellen kann sich erstrecken auf ihre chemische Zusammensetzung, ihre Temperatur und ihre Ergiebigkeit. Viele Mineralquellen sind in ihrem Gehalte an gelösten Stoffen und in ihrer Temperatur erstaunlich unveränderlich. So fand Fresenius im Jahre 1849 im Wiesbadener Kochbrunnen, dessen Temperatur zwischen 68 und 69° liegt und dessen Wassermenge in der Minute 380 l beträgt in 1000 Gewichtsteilen Wasser 8,262 Gewichtsteile fester Stoffe. 36 Jahre später fand derselbe Chemiker in demselben Wasser 8,241 Gewichtsteile. Diese beiden Zahlen weichen nur um 0,26% voneinander ab und die Gleichmäßigkeit in der Zusammensetzung dieser Quelle ist um so verwunderlicher, als sie in diesen 36 Jahren 59 640 000 kg feste Bestandteile, darunter 49 Mill. kg Kochsalz zutage förderte. Fresenius ist der Ansicht, daß die Gehaltsschwankungen eines Mineralwassers um so geringer sind, je höher die Temperatur einer Quelle ist. Man kann vielleicht hinzufügen: und je gleichmäßiger die Ergiebigkeit ist. Gleichbleibende Temperatur und Ergiebigkeit weisen mit Sicherheit darauf hin, daß eine Quelle nicht durch Wechsel der Jahreszeiten und die an der Erdoberfläche vor sich gehenden klimatischen, meteorologischen und geologischen Veränderungen berührt wird. Ist aber letzteres der Fall, so sind Änderungen in der Wärme, dem Gehalte und der Menge des Wassers unvermeidlich. Der Einfluß der Jahreszeiten bewirkt, wie wir im 21. Kapitel gesehen haben, Schwankungen in der Wärme, die Abhängigkeit einer Quelle vom Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels beeinflusst die Ergiebigkeit und bewirkt durch den Anschluß neuer Wasserfäden mit anderem Gehalte an Gelöstem auch Änderungen in der chemischen Zusammensetzung. Im allgemeinen aber sind die Schwankungen im Gelösten nicht beträchtlich und bleiben weit hinter den beobachteten Schwankungen des Ertrages zurück. Letztere stehen in direkter Beziehung zu den Niederschlägen, und die niedrigsten Erträge können bis zu $\frac{1}{200}$ der Höchstträge sinken. Je schneller nach einem starken Niederschlage die Wassermenge einer Quelle steigt, um so mehr wird im allgemeinen auch ihr Ertrag sich steigern. Zu den sehr rasch reagierenden Quellen gehören die großen Quellen, die als Schichtquellen den stark durchlässigen Kalksteinen des Schweizer und Schwäbischen Juras und den Kalkalpen entströmen.

Dahin gehören nach A. Heim die St. Sulpicequelle im Jura, deren Ertragsminimum 1 sec/m³ beträgt, die aber 18 Stunden nach einem schweren Gewitter in ihrem Sammelgebiete 100 sec/m³ liefert und große Überschwemmungen erzeugt, und die Fläschlochquelle im Wäggitäl, die im Februar ihren geringsten Ertrag mit 5000 min/l, einen mittleren Ertrag von 30 min/m³ hat und 24 Stunden nach heftigen Gewittern ihren Ertrag auf 250 min/m³ steigert. Alle derartigen Quellen sind, da sie nur ein ungenügend filtriertes Wasser liefern, als schlechte Quellen zu bezeichnen.

A. Heim schreibt mir darüber ferner:

„Bei schlechten Quellen verhält sich min. : max. = 1 : 20 bis 200.

Bessere Quellen zeigen geringere Differenzen, $\frac{\max}{\min} = \frac{10}{1}, \frac{5}{1}, \frac{2}{1}$, selten noch besser. Aus den 200 m dicken Diluvialmassen am Sihl-sprung zwischen Züricher und Zuger See kommen Quellen, die nur um

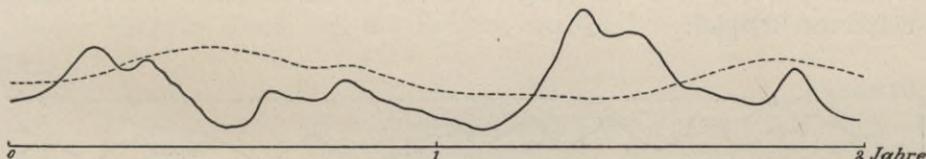


Fig. 237

Ertragskurven
 — = schlechte, schwankende Quelle
 - - - = gute, konstante Quelle
 Abszisse = Zeit
 Ordinate = Ertrag in Minutenlitern

5—10% im Gehalt variieren! Bei allen weniger variierenden Quellen erscheinen Maxima und Minima gegenüber den Niederschlägen stärker verzögert und beide in gleichem Maße.

Gute Quellen unserer Gegenden (Zürich) haben das Maximum des Ertrages erst 2—3 Monate nach dem Maximum der Niederschläge.

Es gibt auch noch größere Verzögerungen, z. B. bei den Thermen von Baden in der Schweiz solche von 1½—2 Jahren (vergl. S. 367).

In einem Frühling und Frühsommer nehmen die Quellen stark zu und halten lange und gut aus, wenn im Winter starker Schneefall auf ungefrorenen Boden kam.

In einem Frühling und Frühsommer wachsen die Quellen wenig und haben ihren Frühjahrshochstand nur sehr kurz, wenn im Winter vor dem Schneefall der Boden stark gefroren war. Dann aber gibt es durch rasches Abfließen bei der Schneeschmelze leicht Überschwemmungen.

Schneeschmelze nährt die Quellen mehr als Regen.

Im Zürichberg wurde, ähnlich wie in England, in Quellgebieten beobachtet, daß vom Regen 30—50%, vom Schnee 70—90% versickern.

Je länger ein Wassertropfen braucht, um von der Versickerungsstelle im Sammelgebiet nach dem Quellenpunkte zu kommen, desto vollkommener ist der Ertrag ausgeglichen, je höher das Minimum (proportional zur Sammelfläche), desto wertvoller die Quelle.

Zu leicht durchlässiger Boden gibt viele große aber stark schwankende Quellen (Kalksteingebirge), minder leicht durchlässiger Boden gibt weniger und schwächere, aber konstantere, zuverlässigere Quellen. Je besser der Ertragsausgleich, desto besser meist auch die Reinigung, desto sanitär zuverlässiger. Je schwankender der Ertrag, desto unzuverlässiger die sanitäre Reinigung.

Es sollte stets jeder Ortschaft, die frei und natürlich ausfließende Quellen benutzt, dringlich anempfohlen werden, vor dem Reservoir eine Meßkammer anzubringen und jahraus jahrein sollten die Quellen allwöchentlich einmal im Ertrage gemessen werden. Dadurch würde die Grundlage zur Beantwortung einer Menge allgemeiner wie spezieller Fragen gegeben und viel praktischer Nutzen gestiftet. Ein zufälliges einzelnes Beispiel:

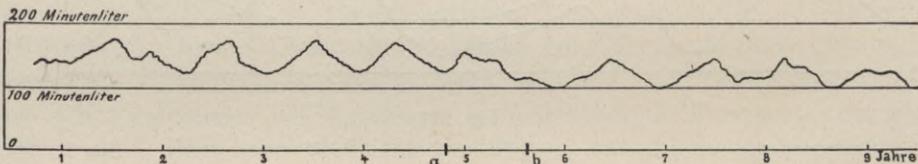


Fig. 238

a Neugrabung in der Nähe beginnt; b Neugrabung vollendet

Eine Quelle, benutzt von einer Dorfschaft, soll beschädigt worden sein durch eine Neugrabung in Entfernung von ca. 1 km. Die genauen jahrelangen Messungen ergeben nun schematisch hier notiert vorstehende Kurve (Ordinate = Minutensliter; Fig. 238).

Es hat also eine Abgrabung von für das Minimum ca. 30 min/l stattgefunden. Früher war das Jahresminimum 130, während es jetzt 100 min/l beträgt.

Nur langjährige Messungen bewahren vor Täuschung durch Abnormitäten einzelner Jahre.

Ein anderer ähnlicher praktischer Fall:

Es führt eine Quellfassung und Leitung zu einem Dorf. Im Verborgenen wird dieselbe durch einen Nachbar, der dort drainiert, angezapft, aber mit einem Pfropfen verschlossen gelassen, bis die Verdachtsmöglichkeit sich gelegt hat. Drei Jahre später gräbt er nachts auf, nimmt den Propfen heraus und führt seiner Leitung Wasser zu. Die Dorfleitung ergibt folgende Ertragskurve (Fig. 239):

Das Datum der unberechtigten Abzapfung und deren Betrag sind also sichtbar in der Ertragskurve.

Neben den regelmäßigen periodischen Schwankungen, der Quellenerträge können auch plötzlich einsetzende oder langsam sich entwickelnde dauernde Änderungen im Ertrage einer Quelle eintreten, und zwar entweder durch natürliche Vorgänge oder durch menschliche Eingriffe. Auf beide Weisen kann unter gleichzeitiger Verlegung der Grundwasserscheide ein Teil des Wassers, welches eine Quelle speist, einen bequemeren Weg zur Oberfläche finden, diesem folgen und den Ertrag der Quelle damit dauernd verringern. Ein natürlicher Vorgang dieser Art ist die Erosion, durch die nicht nur oberirdische, sondern auch unterirdische Gewässer verlegt werden können. Auf sie ist in letzter Linie das Verschwinden aller ehemaligen Quellen zurückzuführen, sie muß auch den jetzt noch fließenden Quellen früher oder später einmal ein Ende bereiten. Ihre Wirkungen sind außerordentlich langsam und entziehen sich zumeist der kontrollierenden Messung. Ein anderer ähnlicher Vorgang, durch den die Erträge von Quellen langsam vermindert

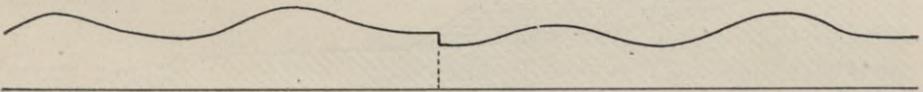


Fig. 239

oder vermehrt werden können, ist die allmähliche Verengung oder Erweiterung der Wege, auf denen das Wasser der Quelle zufließt. Verengungen und Einschnürungen können sowohl durch mechanische Verschlämmung mittels suspendierter fester Bestandteile als auch durch chemische Abscheidung gelöster Stoffe herbeigeführt werden. Beide Vorgänge müssen eine allgemeine Veränderung des Ertrages der Quelle zur Folge haben, die schließlich zu ihrem völligen Verschwinden führen kann. Erweiterungen der Wege des Wassers einer Quelle können durch chemische Auflösung der Wandungen eintreten und kommen infolgedessen am häufigsten in Kalkstein- und Dolomitgebirgen vor. Besonders in Karstgebieten wird auf diese Weise häufig Lage und Ertrag der Quellen geändert (vergl. 34. Kapitel).

A. Heim hat, wie er mir mitteilt, viele Erfahrungen, wonach tiefe Neugrabungen ihre Wirkung ausdehnen im Laufe von Jahren und das Gleichgewicht erst wieder nach 3, 4, 5, 10, 20 Jahren und mehr eintritt. Durch Wiederverstopfen einer solchen Abgrabung kann man das Wasser in der Regel nicht wieder auf den alten Weg zwingen; es haben sich dauernde Veränderungen im Boden eingestellt, die einen Gerinne sind verschlänmt, andere erweitert. Er teilt mir folgende Beispiele mit:

Bülach hatte Quellen vom Dettenberg aus Moränen. Dann wurde ein Tunnel durch den Dettenberg gebaut in Moräne und Molasse. Allmählich vermehrte sich der Wasserzufluß im Tunnel und nach ca. 15 Jahren standen oben die Quellen ab.

Laufenburg am Rhein (Schweiz) hatte Quellen vom Schwarzwald-
 abhang aus Deckenschotter. Unten durch den Gneis wurde Ende der
 60er Jahre ein Tunnel gebrochen. 1885 standen die Quellen allmählich
 ab und das Wasser erschien im Tunnel (Fig. 240).

Beobachtungen über den Einfluß von Erderschütterungen
 auf Quellen und Grundwasser hat R. Hoernes¹⁾ zusammengestellt. Ich
 gebe aus seinen Ausführungen einige Beispiele wieder. Die als Vor-
 boten vulkanischer Ausbrüche auftretenden Erdbeben haben vielfach
 Änderungen in der Temperatur, der Beschaffenheit und Ergiebigkeit der
 Quellen des betreffenden Gebietes zur Folge. So wurden auf Ischia
 infolge der Erschütterungen des Jahres 1880 Trinkwasserquellen wärmer

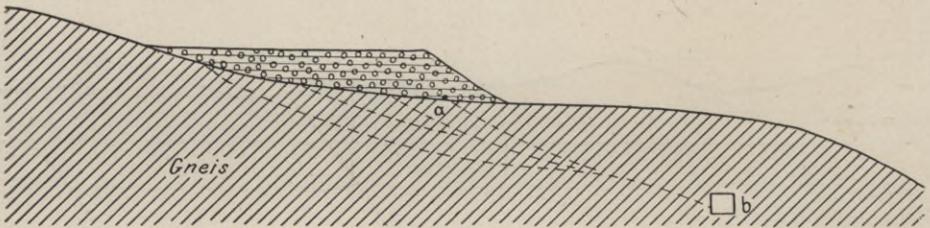


Fig. 240. a Quellfassungen vor 1885, b Tunnel

und trübe und die Temperatur der Mineralquellen stieg, obgleich ihre
 Ergiebigkeit abnahm. Durch das Beben von 1883 wurde eine Quelle
 östlich von Forio, die vorher eine Fülle des besten Trinkwassers auf-
 wies, für die Dauer von 8—10 Tagen in ihrer Ergiebigkeit vermindert
 und getrübt unter Entwicklung eines ausgesprochenen Schwefelwasser-
 stoffgeruches. Diese Änderung trat 10 Tage vor dem starken Erdbeben
 vom 28. Juli ein. 10 Tage später verlor die Quelle ihre schlechten
 Eigenschaften und war, wie früher, ein vorzügliches Trinkwasser. Aber
 7—8 Tage später verschlechterte sich ihr Zustand abermals. Auch die
 Temperatur und Dampfentwicklung der heißen Quellen von Casamicciola
 nahm während dieses verheerenden Erdbebens erheblich zu. Andererseits
 haben im Gebiete der Phlegraeischen Felder bei Pozzuoli und Gaëta
 heiße wie kalte Quellen ihren Ort und ihre Ergiebigkeit trotz zahl-
 reicher Erdbeben und vulkanischer Ereignisse (Entstehung des Monte

¹⁾ Zeitschr. f. Balneol. III, 3, S. 65—73.

Nuovo, Senkung und Wiederhebung des Serapistempels) durch Jahrtausende hindurch bewahrt. Dahin gehört beispielsweise die unter dem Serapistempel zutage tretende Quelle Cantarelle, die schon zur Römerzeit benutzt wurde, bei Ausbruch des Monte Nuovo 1538 verschüttet und im Jahre 1738 bei Ausgrabungen an ihrer alten Stelle wieder angetroffen wurde. Bei Gaëta fließt heute noch eine kalte Quelle aus einer Öffnung von griechischer Arbeit hervor.

Die bedeutend stärkeren und in ihrer Wirkung viel weiter reichenden sogenannten tektonischen Erdbeben haben vielfach Einfluß auf das Grundwasser und die Quellen ausgeübt, und zwar nicht nur in der näheren Umgebung des Erdbebenherdes, sondern auch in großer Entfernung von diesem. Was zunächst die Wirkung auf das Grundwasser betrifft, so hat man bei zahlreichen starken Erdbeben beobachtet, daß in den mit Grundwasser gesättigten Niederungen Spalten entstehen, aus denen Schlamm und Wasser, oft unter gleichzeitiger Senkung des ganzen Gebietes, ausgeworfen werden. So geschah es an der unteren Donau bei dem wallachischen Erdbeben vom 11. Januar 1838, bei welchem das Alluvial-Land von der Dimbovitza bis über den Sereth-Fluß hinaus von zahlreichen Spalten durchschnitten wurde, aus welchen das Wasser an vielen Stellen klafferhoch emporsprudelte. Die gleiche Erscheinung zeigte sich an den Ufern des Mississippi in der Nähe der Stadt Neu-Madrid bei dem Beben vom 26. Januar 1812. Nach dem Berichte des Augenzeugen Bringier wurden allerorts Wassermassen mit lauten Detonationen in die Höhe getrieben, sie brachten eine ungeheure Menge verkohlten Holzes mit sich, das meist in Staub verwandelt war, der 10—15 Fuß hoch emporgeschleudert wurde. Dabei sank die Oberfläche und eine schwarze Flüssigkeit erhob sich bis zum Unterleib des Pferdes. Übereinstimmende Vorgänge wurden am 12. Januar 1862 in der von einem heftigen Erdbeben betroffenen südlichen Umgebung des Baikalsees, zumal im Delta des in diesen See mündenden Flusses Selenga beobachtet. Die Steppe östlich vom Selenga, auf welcher sich eine Burjäten-Niederlassung befand, senkte sich auf eine Länge von etwa 21 km und eine Breite von 9,5—15 km; Wässer brachen allenthalben hervor, wurden auch aus den Brunnen hervorgestoßen, endlich trat das Wasser des Baikals in die große Senkung und füllte sie ganz mit Wasser an. Springquellen entstanden an vielen Orten, so zwischen dem Dorfe Dubinin und der Steppe Sagansk. In der Ortschaft Kudara wurden die Holzdeckel der Brunnen wie Stöpsel aus Flaschen in die Höhe geschleudert und es erhoben sich Quellen von lauem Wasser stellenweise bis zur Höhe von drei Saschen (d. i. 6,4 m).

In ausführlicher Weise schilderte Julius Schmidt nach eigenen Beobachtungen das bei dem heftigen Beben, welches am 26. Dezember 1861 die Ufer des korinthischen Meerbusens erschütterte, erfolgte Ab-

sinken eines Uferstreifens, die Bildung zahlreicher Spalten und das Hervortreten von Sand, Schlamm, Wasser und Gasen aus denselben, wodurch viele kleine Sandkegel gebildet wurden.

In sehr großem Maßstabe zeigten sich verwandte Erscheinungen bei den gewaltigen Erschütterungen, welche 1783 Kalabrien verheerten. Damals wurde in den Alluvialebenen eine ungeheure Anzahl von Sandkegeln aufgeschüttet, was Hamilton dadurch erklärte, daß der zuerst gehobene Boden bei seinem Zurücksinken das Wasser stoßweise aus Spalten in die Höhe geworfen hätte. In der Pianura di Rosarno entstanden gegen fünfzig kreisförmige Vertiefungen, meist von Wagenradgröße, aber oft etwas kleiner oder größer. Wenn sie bis auf 1—2 Fuß unter der Terrainoberfläche von Wasser erfüllt waren, so hatten sie das Aussehen von Quellen, gewöhnlich aber waren sie nur mit Sand erfüllt, der oft eine konkave, zuweilen aber auch eine konvexe Oberfläche zeigte. Wenn man in letzterem Falle niedergrub, fand man die Vertiefung trichterförmig, und der feinste lose Sand in ihrer Mitte bezeichnete die Röhre, aus welcher das Wasser gekommen war. Der Rand dieser kleinen, einem umgekehrten Kegel gleichenden Vertiefungen war von vielen sternförmig ausstrahlenden Spalten zerrissen. Auch bei dem großen indischen Beben vom Jahre 1897 wurden übereinstimmende Erscheinungen beobachtet. Im allergrößten Maßstab aber ereignete sich das Hervorbrechen von Wasser aus sinkendem Alluvialland bei dem Beben von 1819, welches den „Ullah-Bund“ oder „Gottesdamm“ entstehen ließ, der den Namen Damm deshalb nicht verdient, weil er lediglich eine Abstufung des stehengebliebenen Teiles der Alluvionen gegenüber dem abgesunkenen Gebiete derselben darstellt. Alex. Burnes berichtet, daß sich damals im Ran of Kachh zahlreiche Spalten bildeten, aus welchen durch drei Tage ungeheure Massen von schwarzem, schlammigem Wasser hervortraten, und daß aus den Brunnen des an den Ran grenzenden Landstriches Bunni Wasser hervorsprudelte, bis ringsum das Land bis zu 6, ja selbst 10 Fuß hoch überflutet war.

Nicht minder bedeutungsvoll sind die Einwirkungen von Erdbeben auf Quellen. Besonders solche Quellen, die in tieferen Teilen des Erdbebenherdes und aus festem Gestein entstehen, vor allen Dingen also die Thermen und Mineralquellen, werden in ihren Ergebnissen bald gesteigert, bald vermindert, in den Graden ihrer Temperatur bald erhöht, bald erniedrigt. Auch Störungen durch zeitweiliges Ausbleiben sowie Verlegung des Austrittsortes und die Entstehung ganz neuer Quellen sind durch zahlreiche Beispiele beglaubigt, von denen ich eine Anzahl nach Hoernes anführe.

Die Verringerung der Temperatur und der Ergiebigkeit mancher Thermen bei tektonischen Beben mag darin liegen, daß dem juvenilen Wasser durch die Erschütterungen zeitweilig oder für immer neue Wege

geöffnet werden. Das dürfte z. B. bei der Beeinflussung der Thermen von Sutinsko durch das Agramer Beben vom 9. November 1880 der Fall gewesen sein. F. Wähler berichtet darüber: Die Hauptquelle hat gewöhnlich eine Temperatur von $37,4^{\circ}$ C. Zwei Stunden nach der Erschütterung vom 9. November wurde das Bad benutzt und es fiel sogleich ein Mangel an Dämpfen auf, die Temperatur aber war auf $34,2^{\circ}$ gesunken. Diese kühlere Temperatur hielt durch fünf Tage an, am sechsten war sie schon etwas höher. Aber die Dampfentwicklung soll an dem Tage meines Besuches (24. November) noch nicht in der früheren Stärke wiederhergestellt gewesen sein. Die Temperatur der zweiten kühleren Quelle war von 30° auf $22,5^{\circ}$ C. gesunken. In Krapina Töplitz bewirkte das Beben vom 8. November nicht die geringste Veränderung in der Temperatur, weder sogleich noch später. Das Wasser wurde jedoch getrübt und die Ergiebigkeit der Quellen für kurze Zeit erhöht, zu Mittag waren jedoch beide Erscheinungen vorüber und die Quellen flossen wieder vollkommen rein und in der früheren Menge.

Eine starke Beeinflussung der Temperatur warmer Quellen wird dem heftigen Erdbeben zugeschrieben, welches am 22. April 1783 in Komorn und Budapest großen Schaden anrichtete. L. H. Jeitteles berichtet darüber in seinem Versuch einer Geschichte der Erdbeben der Sudetenländer (Zeitschr. d. deutsch. geolog. Ges. 1860) nach den Wiener Ephemeriden: In Ofen sollen die neuen Bäder „in civitate Rascianorum“ von dieser Zeit an viel wärmer und wasserreicher geworden sein. In Vihnye (Eisenbad) bei Schemnitz wurden die Quellen nach dem Erdbeben bedeutend wärmer als sie früher waren „ut id omnes balneatores testantur“. Eben derselbe Autor berichtet nach Anton de Szirmay: Notitia topographica-politica inelyti Com. Zemleniensis, Budae 1803, daß ein Erdbeben im Jahre 1713 in der Hegyallya (dem Tokaier Weinberge) Veranlassung zur Entstehung der Schwefelquellen von Bekecs im Zemliner Komitat gegeben habe.

Über ein in mannigfacher Beziehung interessantes Beispiel der Bildung einer neuen Quelle auf der auch als Erdbebenlinie bemerkenswerten Thermallinie von Wien berichtet Eduard Sueß in seiner Monographie der Erdbeben Niederösterreichs in den Denkschriften der Wiener Akademie 1875 nach Keiblinger: Am 23. April 1626, nachmittags ungefähr zwischen 3 und 4 Uhr, entsprang in einer Vertiefung auf einem Krautacker bei Leobersdorf eine Quelle. Die Besitzer vernahmen während ihrer Arbeit einige Tage vorher ein lautes Getöse unter der Erde. Am Tage des Ursprunges vermehrte sich dasselbe, die Erde bebte, es erhob sich ein Sturmwind, während dessen eine klafferhohe, armdicke Wassersäule auf dem erwähnten Acker hervorbrach, die sich aber sogleich senkte und ein rundes Becken formte. Diese Quelle, welche ganz auf der Linie der Thermen steht, ist heute noch mitten in

den Feldern, von einer Kapelle überdeckt, sichtbar und heißt beim Volke der „heilsame Brunnen“.

Ein Gebiet, in welchem Thermen- und Erdbebenlinien auf das innigste verknüpft sind, stellt Mazedonien dar. Alle Geographen und Geologen, welche sich mit den physikalischen Verhältnissen dieses seit alten Zeiten durch Erdbeben heimgesuchten Landes beschäftigten, zumal aber J. Cvijić und K. Oestreich, weisen auf das überaus häufige Auftreten warmer Quellen an den großen Bruchlinien hin, welche das Land durchziehen.

Bei dem Beben von Saloniki vom 5. Juli 1902 wurden sowohl kalte als warme Quellen vielfach beeinflusst, ganz abgesehen von dem, wie oben besprochen, fast bei jedem stärkeren Erdbeben veranlaßten Auftreten des Grundwassers aus den Alluvionen, welches diesmal bei Güvesne und Arakli im pleistoseisten Gebiet eintrat. Die Thermen von Banjsko bei Strumica und Negorce bei Gjegeļ erfuhren Erhöhung der Temperatur und der Wassermenge.

Überaus zahlreich sind die Fälle, in welchen Quellen von dem Erdbeben des 4. April 1904 beeinflusst wurden. Fast von allen mazedonischen Thermen wird angegeben, daß bei dem Beben ihr Wasserreichtum zugenommen habe, zumeist wird auch behauptet, daß dieser gesteigerte Wasserzufluß andauere, nur in einigen Fällen wurde angegeben, daß er nach ein paar Tagen wieder zur gewöhnlichen Leistung der Quelle herabgesunken sei. An einigen Orten entstanden auch neue Thermalausflüsse, so zu Simitli nördlich vom Kresna-Defilé. Hier trat schon vor dem Erdbeben Thermalwasser an mehreren Stellen hervor, sowohl am nordöstlichen, wie an dem südöstlichen Ende des Ortes, der hart an den Ufern der Struma, aber auf einer 6—8 m hohen Terrasse steht. Die warmen Quellen traten am Abfall dieser Terrasse zutage, am südwestlichen Ende des Ortes befand sich auch ein Warmbad, das durch das Erdbeben zur Ruine wurde. In beiden Regionen entstanden bei dem Beben neue Austritte von Thermalwasser, in geringerem Ausmaß an der Nordostseite, in ausgedehnterem aber und von heißerem Wasser an der Südwestseite. Hier bildeten sich in ziemlicher Entfernung von den schon früher vorhandenen Thermalaustritten, etwa 500 Schritt von der Struma, in den Tabakfeldern jenseits der Straße neue, reichlich fließende Quellen. Hoernes maß am 24. April an einigen der neuen Austrittsstellen die Temperatur und fand bis 58° C. Eine der reichsten dieser Quellen von etwas niedrigerer Temperatur (51° C.) bildete einen förmlichen Bach von Thermalwasser, das infolge der kühlen, feuchten Luft in seinem gewundenen Laufe durch das Ackerland durch reichliche Dampfbildung bezeichnet wurde.

Alle bisher besprochenen Beeinflussungen der Quellen durch Erdbeben sind leicht verständlich, da sie sich im Erschütterungsgebiet

selbst vollzogen haben und wahrscheinlich durch unmittelbare Veränderungen der Quellläufe herbeigeführt sind. Wesentlich anders liegt die Sache bei Fernwirkung; besonders das große Erdbeben von Lissabon vom 1. November 1755 ist in dieser Beziehung bemerkenswert. Zwar hat Knett nachgewiesen, daß das behauptete Ausbleiben des großen Sprudels in Karlsbad während des Lissaboner Erdbebens vollständig unbeglaubigt und unwahr sei, dagegen hat Laube den Nachweis erbracht, daß am Tage desselben Erdbebens die Hauptquelle zu Teplitz, nachdem sie vorher sich zu trüben begonnen hatte, eine kurze Zeit, einige Minuten, ganz ausblieb, dann aber mit Ocker beladen, mit erhöhter Wassermenge hervorbrach. Die physikalische Erklärung dieser auffallenden Erscheinung hat Franz E. Sueß in seiner 1900 in den Verhandlungen der Wiener geologischen Reichsanstalt veröffentlichten Erörterung des Problems gegeben. Er verweist auf die bekannte physikalische Erscheinung, daß eine Erschütterung einer übersättigten Gaslösung das Ausscheiden der Gase und das Blasenbilden außerordentlich befördert, wie sich an jeder Selterwasserflasche leicht erproben läßt. In noch höherem Maße als bei der Bewegung der ganzen Flüssigkeitssäule tritt Gasausscheidung ein, wenn die Flüssigkeit in molekulare Schwingungen, ähnlich den Schallschwingungen versetzt wird. Das haben die Versuche von Gernez gezeigt. Übersättigte Gaslösungen wurden in ein Glasrohr gegossen und dieses durch Reiben an der unteren Fläche in tönende Schwingungen versetzt, es erfolgte sogleich eine lebhaft Blasenbildung. Ja bei bestimmten Gaslösungen war die Entwicklung von Gasblasen, sobald das Glasrohr zu tönen begann, so heftig, daß dadurch die gesamte Flüssigkeit aus dem Rohre herausgeschleudert wurde. Das Spaltensystem der Teplitzer Thermen kann man, wie Franz E. Sueß bemerkt, als ein ungemein langes mit stark gesättigter Gaslösung erfülltes Rohr betrachten. Den tönenden Schwingungen des Glasrohres vergleichbare elastische Schwingungen der Gesteinsmassen können durch ein entferntes Erdbeben hervorgerufen werden, wodurch eine spontane Entladung von Gasmassen und damit ein plötzliches Aufquellen der Flüssigkeit veranlaßt werden kann. Mit Recht verweist F. E. Sueß zugunsten dieser Erklärung auf die Dauer der Bewegung, welche ein entferntes Erdbeben hervorruft. Die Tatsache, daß mit der Entfernung auch die Dauer der Erschütterung zunimmt, ist an allen empfindlichen Seismometern festzustellen, ein starkes Erdbeben in Japan vermag z. B. die Seismometer in Straßburg oder Laibach während mehrerer Stunden in Bewegung zu erhalten.

Die zuerst eingetretene Wallung der obersten Wasserschichten mag die Ockerabsätze mit sich gerissen und die erste Trübung der Quelle hervorgerufen haben, der eine kurz andauernde Stockung im Quellausfluß folgte. Die Blasen, die in größerer Tiefe der Wassersäule

zur Ausscheidung gelangt waren, brauchten einige Zeit zum Emporsteigen und zur Überwindung der Hindernisse, bis sie die Hauptwallung hervorrufen konnten.

7. Chemie des Grundwassers

53. Kapitel

Allgemeines über die Chemie der Mineralwässer¹⁾

Die Beantwortung der Frage nach dem Zustande der Stoffe im Wasser konnte der analytischen Chemie allein nicht gelingen, da die Deutung der analytischen Ergebnisse vielfach von den jeweilig herrschenden chemischen Theorien abhängt. In erster Linie betrifft dies den Zustand der qualitativ und quantitativ ermittelten Salzbestandteile, also der wichtigsten der hier in Frage kommenden Stoffe. Bekanntlich findet man bei der Mineralwasseranalyse nicht eine gewisse Menge Kochsalz, sondern dessen Einzelbestandteile Chlor und Natrium, nicht Bittersalz, sondern Magnesium und Schwefelsäure. In welchem Zustande diese Einzelbestandteile im Mineralwasser enthalten sind, darüber gibt die Analyse keine Auskunft. Nach den früheren Anschauungen glaubte man annehmen zu müssen, daß diese Stoffe zu Salzen verbunden in der Lösung vorhanden wären. Fand man daher in einem Mineralwasser Chlor und Natrium, so nahm man das Vorhandensein von Kochsalz an, bei Gegenwart von Magnesium und Schwefelsäure das Vorhandensein von Bittersalz. Allerdings entstand bei diesem Vorgehen die Schwierigkeit, in welcher Weise man beim Vorhandensein mehrerer Salzbestandteile, wie dies beim Mineralwasser die Regel ist, zwischen den verschiedenen möglichen Salzkombinationen entscheiden sollte. Im Falle man also, um bei dem oben gewählten Beispiele zu bleiben, in einem Mineralwasser äquivalente, d. h. ihren Verbindungsgewichten entsprechende Mengen Natrium, Magnesium, Chlor und Schwefelsäure gefunden hatte, so hatte man die Wahl zwischen der Annahme von Natriumsulfat neben Magnesiumchlorid oder von Natriumchlorid neben Magnesiumsulfat, oder man konnte auch die gleichzeitige Anwesenheit aller vier Salze annehmen. Da in den Mineralwässern in der Regel weit mehr Bestandteile vorhanden sind, so ist eine mehr oder weniger große Zahl von Kombinationen dieser einzelnen Bestandteile möglich. Für die Annahme bestimmter Kombinationen gaben die chemischen Theorien keine sicheren Anhaltspunkte.

¹⁾ Nach Th. Paul in: Deutsches Bäderbuch, S. XXXVII—XLIII.

Infolgedessen beschränkten sich einige Analytiker bei der Darstellung der Mineralwasseranalysen auf die Angabe der experimentellen Ergebnisse, d. h. sie teilten z. B. mit, wie viel Chlorsilber sie bei der Bestimmung des Chlors in 1 kg Mineralwasser erhalten hatten. Diese Methode hat zwar den Vorteil, von jeder Hypothese frei zu sein, und sollte infolgedessen in einem Analysenberichte niemals fehlen, jedoch gibt sie keinen anschaulichen Überblick über die Zusammensetzung des Wassers und ist deshalb für die Praxis unbrauchbar. Deshalb war man darauf angewiesen, bestimmte Grundsätze für die Gruppierung der Salzbestandteile, die natürlich nicht frei von Willkürlichkeiten sein konnten, aufzustellen, um eine einheitliche Darstellung der Analysenergebnisse, besonders auch zum Zwecke der Vergleichbarkeit verschiedener Analysen desselben Mineralwassers oder der Mineralwässer untereinander zu ermöglichen. So schlug R. Bunsen im Jahre 1871 vor, „Säuren und Basen in der Weise zu Salzen gruppiert anzunehmen, wie diese Salze bei der Konzentration ihrer Lösung durch freiwillige Verdunstung bei einer ein für allemal angenommenen Temperatur je nach dem Löslichkeitsgrade aller denkbar vorhandenen Salze der Reihe nach für sich auskristallisieren würden“. Andererseits stellte R. Fresenius das Prinzip der Stärke der Säuren und der Basen in den Vordergrund, indem zunächst die stärkste Säure der stärksten Base zugeteilt wurde, dann die nächste in der Folge der Säuren usw. War so die stärkste Base vollständig verteilt, so wurde mit der zweitstärksten Base in derselben Weise fortgefahren usw. Sowohl der Vorschlag von Bunsen als auch derjenige von Fresenius sind theoretisch nicht einwandfrei und erwiesen sich in der Praxis schwer durchführbar.

Mit Rücksicht auf derartige Schwierigkeiten und in der Erkenntnis, daß nicht einzelne bestimmte, sondern alle theoretisch möglichen Salzkombinationen in den Mineralwässern vorkommen, schlug Karl Than im Jahre 1864 vor, von einer Gruppierung zu Salzen ganz abzusehen und die unmittelbaren Analysenergebnisse nur auf die Einzelbestandteile umzurechnen. So rechnete er die Menge des gewogenen Chlorsilbers auf Chlor, die des Baryumsulfats auf den Sulfatrest (SO_4), die des Magnesiumpyrophosphats auf Magnesium um. Diese Methode bot den Vorteil, daß sie ohne Zuhilfenahme unsicherer Annahmen eine übersichtliche Darstellung der Analysenergebnisse und einen direkten Vergleich der Zusammensetzung verschiedener Mineralwässer ermöglichte. Zu einer ähnlichen Darstellungsmethode hat schließlich die moderne Theorie der Lösungen geführt, auf welche wir hier wegen ihrer großen Bedeutung für die Chemie der Mineralwässer näher eingehen wollen.

Bringen wir Kochsalz (NaCl) mit Wasser in Berührung, so verschwindet das feste Salz allmählich, es löst sich auf, d. h. es entsteht ein flüssiges homogenes Gemenge von Wasser und Kochsalz, welches

wir mit dem Namen wässrige Kochsalzlösung bezeichnen. In dieser wässrigen Lösung, so nahm man bisher an, sind neben den Wassermolekeln (H_2O -Molekeln) die Kochsalzmolekeln (NaCl -Molekeln) enthalten. Ein ganz ähnlicher Vorgang spielt sich ab, wenn wir an Stelle des Kochsalzes eine organische Verbindung, wie z. B. Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), in Wasser auflösen. Auch hier erhalten wir ein flüssiges homogenes Gemenge von Wasser und Zucker, und auch in dieser Traubenzuckerlösung nahm man die Existenz von Wassermolekeln neben Zuckermolekeln ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ -Molekeln) an. Demnach könnte es scheinen, als verliefen die Vorgänge bei der Bildung dieser beiden Lösungen vollkommen gleichartig. Untersuchen wir jedoch diese beiden Lösungen näher, so bemerken wir zwischen ihnen ganz charakteristische Unterschiede.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß eine wässrige Kochsalzlösung einen niedrigeren Gefrierpunkt hat als reines Wasser. Während letzteres bei 0° gefriert, kann man Salzlösungen, wie z. B. das Meerwasser, unter 0° abkühlen, ohne daß sich Eis ausscheidet. Die gleiche Beobachtung können wir auch an der wässrigen Traubenzuckerlösung machen. Eine wässrige Lösung von Traubenzucker, welche 1 Mol, d. h. so viel Gramm dieses Stoffes, als sein Molekulargewicht ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 180$) angibt¹⁾, also 180 g auf 1 kg Wasser gelöst enthält, hat einen Gefrierpunkt von $-1,85^\circ$. Man hat nun durch Versuche festgestellt, daß der Gefrierpunkt einer Lösung, d. h. die Temperatur, bei welcher sich Eis ausscheidet, im allgemeinen proportional dem Gehalte an gelöstem Stoff sinkt. So liegt der Gefrierpunkt einer Traubenzuckerlösung, welche nur halb so konzentriert ist, also nur $\frac{180}{2} = 90$ g Traubenzucker in 1 kg Wasser enthält, bei $-\frac{1,85}{2} = -0,93^\circ$. Ja, man fand, daß die Eigenschaft, den Gefrierpunkt eines Lösungsmittels in gleicher Weise zu beeinflussen, vielen Stoffen eigentümlich und unabhängig ist von dem sonstigen chemischen Verhalten dieser Stoffe. Danach ist es im allgemeinen ganz gleichgültig, welchen Stoff man auflöst: Der Gefrierpunkt der Lösung bleibt immer annähernd der gleiche, wenn nur die molekulare Konzentration dieselbe ist, d. h. wenn

¹⁾ Ein „Mol“ ist also eine Gewichtseinheit, welche gestattet, die Eigenschaften der Stoffe mit Rücksicht auf ihre molekularen Mengen zu vergleichen. Ein „Millimol“ ist die tausendfach kleinere Gewichtseinheit. Ähnlich bedeutet ein „Gramm-Äquivalentgewicht“ so viel Gramm eines Stoffes, als ein Äquivalentgewicht angibt, ein „Milligramm-Äquivalentgewicht“ die tausendfach kleinere Einheit. Da bei zwei- oder dreiwertigen Elementen und Verbindungen das Äquivalentgewicht die Hälfte oder den dritten Teil des Molekulargewichtes ausmacht, so beträgt bei solchen Stoffen die in Gramm-Äquivalentgewichten ausgedrückte Menge das Doppelte oder Dreifache der in Mol ausgedrückten Menge.

in 1 kg Wasser die gleiche Anzahl von Molekeln des Stoffes gelöst wird. So liegt z. B. der Gefrierpunkt einer wässerigen Lösung von Harnstoff ($\text{CON}_2\text{H}_4 = 60$), die ein halbes Mol $= \frac{60}{2} = 30$ g Harnstoff auf 1 kg Wasser enthält, bei $\frac{-1,85}{2} = -0,93^\circ$, ebenso wie der Gefrierpunkt jener Traubenzuckerlösung von der gleichen molekularen Konzentration. Es besteht ganz allgemein das Gesetz, daß alle wässerigen Lösungen, die in einer bestimmten Menge Wasser die gleiche Anzahl von Molekeln eines Stoffes gelöst enthalten, den gleichen Gefrierpunkt besitzen. Vermehrt man die Anzahl der gelösten Molekeln durch Auflösen weiterer Stoffmengen, so erniedrigt sich auch der Gefrierpunkt in entsprechender Weise. Das gleiche, was hier in bezug auf den Gefrierpunkt von Lösungen gesagt wurde, gilt auch für deren Siedepunkt. Ein Unterschied besteht nur insofern, als der Siedepunkt eines Lösungsmittels durch das Auflösen eines Stoffes nicht erniedrigt, sondern erhöht wird; denn es ist eine bekannte Tatsache, daß wässrige Lösungen von Kochsalz oder Zucker auch in offenen Gefäßen weit über 100° erhitzt werden können.

Eine Ausnahme von dieser Gesetzmäßigkeit machen jedoch anscheinend gerade diejenigen Stoffe, welche vorwiegend in den Mineralwässern enthalten sind, nämlich die Salze, ebenso auch die Säuren und Basen. Löst man z. B. 1 Mol $= 58,5$ g Kochsalz ($\text{NaCl} = 58,5$) in 1 kg Wasser auf, so erhält man eine Lösung, welche nicht wie die äquimolekulare Traubenzuckerlösung bei $-1,85^\circ$, sondern erst bei $-3,42^\circ$ gefriert. Die Kochsalzlösung verhält sich demnach so, als wenn die Zahl der gelösten Molekeln größer, ja beinahe doppelt so groß wäre als in der Traubenzuckerlösung, welche doch auch 1 Mol Traubenzucker auf 1 kg Wasser enthält. Ähnliche Abweichungen von der oben ausgesprochenen Gesetzmäßigkeit werden auch bei anderen Salzen sowie bei starken Säuren, z. B. Salzsäure, Salpetersäure, und bei starken Basen, wie Kalilauge und Natronlauge, beobachtet. Alle diese Stoffe zeigen in wässriger Lösung einen abnorm tiefen Gefrierpunkt und einen abnorm hohen Siedepunkt.

Wie hat man sich dieses merkwürdige Verhalten zu erklären? Den Weg, auf welchem man zur Beantwortung dieser in der Folge so wichtigen Frage gelangt ist, hat uns die moderne Elektrochemie gezeigt.

Zwischen einer wässerigen Traubenzuckerlösung und Kochsalzlösung besteht nämlich ein grundlegender Unterschied auch in bezug auf ihr Verhalten zum elektrischen Strom. Tauchen wir in eine Lösung von reinem Traubenzucker in reinem Wasser zwei Platinplatten, die mit den Polen einer galvanischen Batterie leitend verbunden sind, so gibt ein in den Stromkreis eingeschaltetes Galvanometer keinen oder doch nur

einen ebenso geringen Ausschlag, als wenn die Platinplatten in reines Wasser eingetaucht werden. Der Traubenzucker, wie auch der Harnstoff und viele organische Stoffe gehören zu den Stoffen, deren wässrige Lösungen den elektrischen Strom nicht leiten, und welche wir deshalb Nichtelektrolyte nennen. Das Kochsalz dagegen ist ein Elektrolyt, seine wässrige Lösung leitet den elektrischen Strom. Die Beobachtung, daß die wässrigen Lösungen von Salzen ebenso wie diejenigen von Säuren und Basen den elektrischen Strom leiten, hatte man schon kurze Zeit nach der Erfindung der galvanischen Säule gemacht und gleichzeitig auch bemerkt, daß bei dem Durchgange der Elektrizität stets eine chemische Zersetzung der Lösung, eine Elektrolyse stattfindet. Wie der Transport der Elektrizität in einer solchen Lösung vor sich geht, und in welchem Zusammenhange damit die beobachtete Zersetzung der Lösung steht, darüber konnte man zunächst keine einwandfreie Erklärung geben. Später nahm man an, daß z. B. in einer Kochsalzlösung die Molekeln des Salzes unter dem Einflusse des elektrischen Stromes in ihre Atome zerlegt werden, die, mit positiver und negativer Elektrizität geladen, als Ionen¹⁾ den Transport des elektrischen Stromes von einer Elektrode zur andern vermitteln. Die nach der positiven Elektrode — Anode — sich bewegenden, mit negativer Elektrizität geladenen Chlor-Ionen (Cl-Ionen) werden Anionen und die mit positiver Elektrizität geladenen Natrium-Ionen (Na-Ionen), welche nach der negativen Elektrode — der Kathode — wandern, werden Kationen genannt. Nach dieser Vorstellung geben die Ionen bei der Berührung mit den Elektroden ihre Ladung ab, indem sich die ihnen anhaftende Elektrizität mit der entgegengesetzten der Elektroden neutralisiert.

Mit dieser Elektrizitätsabgabe nehmen die Ionen ihren gewöhnlichen elementaren Charakter an, das Chlor entweicht als grüngelbes Gas, und das Natrium zersetzt das Wasser unter Wasserstoffentwicklung. Es fragt sich nun, ob der Zerfall der Elektrolyte in Ionen, also, um bei dem von uns gewählten Beispiele zu bleiben, der Zerfall der NaCl-Molekeln in positive Natrium-Ionen (Na-Ionen) und negative Chlor-Ionen (Cl-Ionen) erst unter dem Einflusse des elektrischen Stromes entsteht, oder ob dieser Ionisationsvorgang schon beim Lösen des Salzes in Wasser, also ohne äußere Zufuhr von Elektrizität, eintritt. Im letzteren Falle müßte jede Kochsalzlösung Natrium-Ionen und Chlor-Ionen enthalten. Die Überlegung, daß zur Spaltung der neutralen NaCl-Molekeln in ihre Ionen, falls diese erst durch den elektrischen Strom zustande käme, eine gewisse Arbeit seitens des elektrischen Stromes

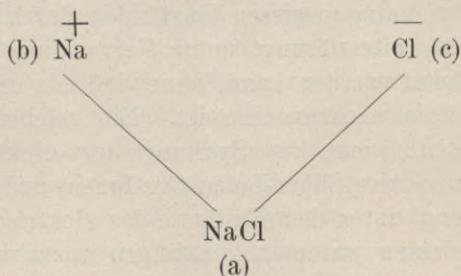
¹⁾ Die Bezeichnung „Ion“ (ἰόν, Genetiv ἰόντος, gehend), wie auch viele andere in der Elektrizitätslehre gebräuchlichen Ausdrücke, hat Faraday um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in die Wissenschaft eingeführt.

aufgewendet werden müßte, machte das Vorhandensein von Ionen in jeder wässrigen Salzlösung auch ohne die äußere Anwendung von Elektrizität sehr wahrscheinlich. Man hatte nämlich beobachtet, daß ein elektrischer Strom unter gewissen Umständen durch eine Salzlösung, z. B. durch eine Silbernitratlösung, unter Verwendung von Elektroden aus Silberblech, geleitet werden kann, ohne daß ein meßbarer Verlust an elektrischer Energie nachzuweisen ist. Ein solcher Energieverlust müßte aber eintreten, wenn die Spaltung der elektrisch neutralen AgNO_3 -Molekeln in positive Silber-Ionen (Ag-Ionen) und negative Nitrat-Ionen (NO_3 -Ionen) erst unter dem Einflusse des elektrischen Stromes vor sich ginge. Infolgedessen war man gezwungen anzunehmen (Clausius 1857) daß beim Lösen eines Elektrolyten, also z. B. des Kochsalzes, in Wasser ein Teil der elektrisch neutralen Molekeln in positive und negative Ionen zerfällt und daß demnach in jeder wässrigen Kochsalzlösung das Chlornatrium zum Teil als NaCl -Molekeln, zum Teil als negative Chlor-Ionen (Cl-Ionen) und positive Natrium-Ionen (Na-Ionen) enthalten ist.

Eine fundamentale Erweiterung dieser Anschauungen verdanken wir S. Arrhenius, welcher darauf hinwies, daß diejenigen Stoffe, deren wässrige Lösungen den elektrischen Strom leiten, auch ausnahmslos in wässriger Lösung einen niedrigeren Gefrierpunkt und höheren Siedepunkt besitzen, als die Rechnung unter Zugrundelegung ihres normalen Molekulargewichtes erwarten läßt. Nach seiner Auffassung lassen sich die Eigenschaft der Salzlösungen, den elektrischen Strom zu leiten, und ihr abnorm tiefer Gefrierpunkt und hoher Siedepunkt, die, wie wir oben sahen, zu der Vorstellung Anlaß gaben, als ob sich die Zahl der Molekeln des gelösten Stoffes beim Lösungsvorgange vermehre, durch die Annahme zwanglos erklären, daß beim Lösen eines Salzes, einer Säure oder Base in Wasser eine Spaltung der Molekeln dieser Stoffe in Teilmolekeln oder Ionen stattfindet. Danach üben diese Teilmolekeln oder Ionen in bezug auf den Gefrierpunkt der Lösung denselben Einfluß aus wie die übrigen intakten Molekeln, und die an der Lösung eines Elektrolyten beobachtete Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunkterhöhung setzt sich additiv aus der Wirkung der Molekeln und Ionen zusammen. Den Vorgang der Spaltung der Molekeln eines Elektrolyten in elektrisch geladene Ionen, z. B. des Kochsalzes in das positive Natrium-Ion (Na-Ion) und in das negative Chlor-Ion (Cl-Ion), welcher stets mit dem Auflösen des Salzes in Wasser verbunden ist und ohne jede Zuführung von Elektrizität von außen vor sich geht, bezeichnet man mit dem Namen „elektrolytische Dissoziation“.

Auf Grund der von S. Arrhenius (1887) aufgestellten Theorie der elektrolytischen Dissoziation können wir uns die Zusammensetzung einer wässrigen Kochsalzlösung durch folgendes Schema versinnbildlichen.

Schematische Darstellung der Zusammensetzung einer wässrigen Kochsalzlösung (NaCl-Lösung) nach der elektrolytischen Dissoziationstheorie:



In diesem Schema bedeutet:

- a = nichtdissoziierte Chlornatriummolekeln,
- b = positive Natrium-Ionen,
- c = negative Chlor-Ionen.

Die Bedeutung der elektrolytischen Dissoziationstheorie liegt nicht nur darin, daß sie uns über das Wesen der wässrigen Lösungen von Salzen, Säuren und Basen aufklärt und die innigen Beziehungen scheinbar so weit auseinander liegender Eigenschaften, wie der elektrischen Leitfähigkeit, der Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung lehrt, sondern daß auch die qualitative und quantitative Analyse wie alle anderen Zweige der Chemie und der Medizin, welche sich mit den wässrigen Lösungen der Stoffe beschäftigen, wie z. B. die Balneologie, auf Grund der neuen Anschauungen eine epochemachende Förderung erfahren haben. Hierzu war es aber vor allem erforderlich, die Vorgänge bei der elektrolytischen Dissoziation nicht nur ihrem Wesen nach aufzuklären, sondern auch quantitativ zu verfolgen.

Dazu bieten sowohl die Bestimmungen des Siedepunktes und namentlich des Gefrierpunktes der wässrigen Lösungen dieser Stoffe, als auch die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit genügend Anhaltspunkte, auf deren Ausführung wir hier nicht eingehen können. Es genüge, auf die oben besprochene Gesetzmäßigkeit hinzuweisen, daß z. B. die Gefrierpunktserniedrigung einer Lösung der Summe der gelösten Molekeln und Ionen entspricht. Ist nun die Gesamtmenge des gelösten Stoffes durch die Analyse bekannt, so kann man aus der beobachteten Gefrierpunktserniedrigung die Menge der Ionen und damit der in Ionen zerfallenen Molekeln berechnen. Auf diese Weise findet man, daß in der oben als Beispiel gewählten Kochsalzlösung, welche 1 kg Wasser und 58,5 g Salz enthält und einen Gefrierpunkt von $-3,42^{\circ}$ statt $-1,85^{\circ}$ zeigt, 84,9% der Kochsalzmolekeln in positive Natrium-Ionen und negative Chlor-Ionen zerfallen sind. Da man den Bruchteil der Molekeln eines Elektro-

lyten, welcher in Ionen zerfallen ist, als elektrolytischen Dissoziationsgrad bezeichnet, so beträgt in der genannten Kochsalzlösung der Dissoziationsgrad 84,9%. Je verdünnter eine Lösung ist, desto größer ist der Dissoziationsgrad des gelösten Stoffes. In einer Kochsalzlösung z. B., die hundertmal verdünnter ist als jene, die also in 1 l etwa 0,6 g Kochsalz enthält, kann man für praktische Berechnungen das Salz als vollkommen elektrolytisch dissoziiert annehmen.

Wie wir gesehen haben, hängt die elektrische Leitfähigkeit einer Lösung im allgemeinen von der Zahl der Ionen ab. Sie ist also ebenfalls ein Maß für den Dissoziationsgrad, wenn die Gesamtmenge des gelösten Stoffes bekannt ist. Man kann demnach mit Hilfe elektrischer Leitfähigkeitsmessungen den aus der Gefrierpunktsbestimmung einer Lösung berechneten Dissoziationsgrad kontrollieren. Tatsächlich stimmen die auf so verschiedenen Wegen gefundenen Werte befriedigend überein, und diese Übereinstimmung erbringt einen schönen Beweis für die Stichthaltigkeit der angestellten Überlegungen.

Wenden wir diese Überlegungen auf die Chemie der Mineralwässer an, die in der Regel nur verhältnismäßig geringe Salzmengen in 1 kg Wasser enthalten, so finden wir, daß weitaus der größte Teil der gelösten Salze nicht in der Form von Salzmolekeln, sondern als Ionen in diesen Wässern enthalten ist. So enthält z. B. die Kochsalzquelle zu Wilhelmsglücksbrunn bei Creuzburg an der Werra nach einer von E. Hintz 1913 veröffentlichten Analyse in 1 kg Mineralwasser Chlor und Natrium in einer Menge, welche 9,7 g Kochsalz entspricht. In dieser Verdünnung ist das Kochsalz zu etwa 87% in positive Natrium-Ionen und negative Chlor-Ionen zerfallen. Die übrigen in den Mineralwässern vorkommenden Salze sind ebenfalls mehr oder weniger weitgehend dissoziiert, je nach der Natur des Salzes und je nachdem das Mineralwasser wenig oder viel davon gelöst enthält.

Wie wir oben ausgeführt haben, machte es große Schwierigkeiten, die in den Mineralwässern analytisch ermittelten Einzelbestandteile zu Salzen zu gruppieren. Die elektrolytische Dissoziationstheorie zeigt uns nun, daß diese Schwierigkeiten tatsächlich in dem Zustand der gelösten Stoffe begründet sind; denn die Einzelbestandteile sind zum weitaus größeren Teile in der Form von Ionen, und nur der Rest ist in der Form von Salzmolekeln, und zwar, wie wir berechtigt sind anzunehmen, in allen theoretisch möglichen Kombinationen im Mineralwasser enthalten. Daher trägt man den tatsächlichen Verhältnissen am besten Rechnung, wenn man, wie es Than aus anderen Gründen schon 1864 vorgeschlagen hatte, die Analysenergebnisse nicht in der Form von Salzen, sondern in der Form ihrer Ionen zur Darstellung bringt. Die Vernachlässigung der Tatsache, daß ein kleiner Teil der Salze in der Form von nicht dissoziierten Molekeln im Mineralwasser

enthalten ist, rechtfertigt sich dadurch, daß wir über die Menge der einzelnen Salzkombinationen mit Rücksicht auf die sehr verwickelten Verhältnisse zurzeit nichts Sicheres aussagen können. Auf Grund all dieser Überlegungen sind im Deutschen Bäderbuche bei der Darstellung der Mineralwasseranalysen die Salze in der Form ihrer Ionen aufgeführt worden.

Außer den Salzen sind nach den obigen Darlegungen auch die Säuren und Basen in wässriger Lösung der elektrolytischen Dissoziation unterworfen. Da diese Stoffe mit Ausnahme der Kohlensäure in den meisten Mineralwässern nur eine untergeordnete Rolle spielen, so soll hier nur kurz darauf eingegangen werden. Unter „Säuren“ versteht man im Sinne der elektrolytischen Dissoziationstheorie Stoffe, die in wässriger Lösung Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) abspalten. So zerfallen z. B. die Salzsäure-Molekeln (HCl-Molekeln) in Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) und Chlor-Ionen (Cl-Ionen), die Salpetersäure-Molekeln (HNO₃-Molekeln) in Wasserstoff-Ionen und Nitrat-Ionen (NO₃-Ionen), die Kohlensäure-Molekeln (H₂CO₃-Molekeln) in Wasserstoff-Ionen und Hydrokarbonat-Ionen (HCO₃-Ionen) und die Schwefelwasserstoff-Molekeln (H₂S-Molekeln) in Wasserstoff-Ionen und Hydrosulfid-Ionen (HS-Ionen). Der Dissoziationsgrad der Säuren hängt ab von deren Stärke, und zwar sind die starken Säuren, wie z. B. die Salzsäure und Salpetersäure, ähnlich den Salzen sehr weitgehend dissoziiert. Die äußerst schwachen Säuren, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff, gehen dagegen nur zu einem sehr kleinen Bruchteile in den Ionenzustand über. So ist z. B. in einer wässrigen Lösung, welche auf 1 l Wasser 1 l Kohlensäuregas (CO₂) enthält, nur $\frac{1}{4}\%$ der Kohlensäure-Molekeln in Wasserstoff-Ionen und Hydrokarbonat-Ionen (HCO₃-Ionen) dissoziiert. Deshalb ist es zweckmäßig, diese beiden Säuren, soweit sie im freien Zustande im Mineralwasser vorkommen, als undissoziierte Molekeln, und zwar mit den Formeln aufzuführen, welche sie im Gaszustande besitzen, also CO₂ und H₂S. Soweit die Salze dieser beiden Säuren im Mineralwasser vorkommen, werden sie in gleicher Weise wie die Salze der starken Säuren in Ionenform angegeben, da zwischen den Salzen starker und schwacher Säuren ein wesentlicher Unterschied in bezug auf den elektrolytischen Dissoziationsgrad nicht besteht. Die Borsäure und die Kieselsäure, welche noch schwächere Säuren sind, als die Kohlensäure und der Schwefelwasserstoff, kommen in den Mineralwässern fast nur im freien Zustande vor und werden infolgedessen nur als undissoziierte Molekeln angegeben. In den Mineralwässern finden sich ferner noch Gase gelöst, wie z. B. Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Methan. Für diese Stoffe, welche zu den Nichtelektrolyten gehören, kommt eine elektrolytische Dissoziation ebensowenig in Betracht, wie für die zuweilen beobachteten indifferenten organischen Stoffe.

Nach diesen Gesichtspunkten sind im Deutschen Bäderbuche die Analysen sämtlicher deutscher Mineralquellen dargestellt. Um aber den Übergang von der bisherigen Ausdrucksweise zu der neuen zu erleichtern, ist auch noch die auf Salze berechnete Analyse der Ionentabelle als Ergänzung beigefügt worden. Man darf aber nicht vergessen, daß diese Salztabelle nicht der Ausdruck der wahren Zusammensetzung des Wassers ist, sondern in manchen Stücken auf willkürlichen Annahmen beruht. Als Beispiel für die vollständige Darstellung der Analyseergebnisse nach den angegebenen Grundsätzen sei die folgende dem Deutschen Bäderbuche entnommene Analyse des Hauptbrunnens in Münster am Stein wiedergegeben:

Analytiker: E. Hintz 1906

Spezifisches Gewicht: 1,00478 bei 15°, bezogen auf Wasser von 4°

Temperatur: 31,2°

Ergiebigkeit: 180 hl in 24 Stunden

In 1 kg des Mineralwassers sind enthalten:

Kationen	Gramm	Milli-Mol	Milligramm-Äquivalente
Kalium-Ion (K ⁺)	0,06419	1,640	1,640
Natrium-Ion (Na ⁺)	2,260	98,06	98,06
Lithium-Ion (Li ⁺)	0,005045	0,7176	0,7176
Ammonium-Ion (NH ₄ ⁺)	0,004393	0,2431	0,2431
Kalzium-Ion (Ca ⁺⁺)	0,3387	8,447	16,89
Strontium-Ion (Sr ⁺⁺)	0,02745	0,3133	0,6266
Baryum-Ion (Ba ⁺⁺)	0,002214	0,0161	0,322
Magnesium-Ion (Mg ⁺⁺)	0,02826	1,160	2,320
Ferro-Ion (Fe ⁺⁺)	0,002083	0,0373	0,0745
Mangano-Ion (Mn ⁺⁺)	0,000329	0,0060	0,0120
			120,62
Anionen			
Chlor-Ion (Cl ⁻)	4,047	114,1	114,1
Brom-Ion (Br ⁻)	0,02380	0,2976	0,2976
Jod-Ion (J ⁻)	0,000294	0,0023	0,0023
Sulfat-Ion (SO ₄ ⁼⁼)	0,003584	0,0373	0,0746
Hydrophosphat (HPO ₄ ⁼⁼)	0,000028	0,0003	0,0006
Hydrokarbonat-Ion (HCO ₃ ⁻)	0,272	6,09	6,09
	7,179	231,2	120,6
Borsäure (meta) (HBO ₂)	0,01466	0,3331	
Kieselsäure (meta) (H ₂ SiO ₃)	0,03039	0,3875	
	7,224	231,9	
Freies Kohlendioxyd (CO ₂)	0,020	0,45	
	7,244	232,3	

Das Mineralwasser entspricht in seiner Zusammensetzung ungefähr einer Lösung, welche in 1 kg enthält:

	Gramm	
Kaliumchlorid (KCl)	0,1223	
Natriumchlorid (NaCl)	5,719	
Natriumbromid (NaBr)	0,03066	
Natriumjodid (NaJ)	0,000347	
Lithiumchlorid (LiCl)	0,03048	
Ammoniumchlorid (NH ₄ Cl)	0,01301	
Kalziumchlorid (CaCl ₂)	0,7653	
Kalziumsulfat (CaSO ₄)	0,005080	
Kalziumhydrophosphat (CaHPO ₄)	0,000040	
Kalziumhydrokarbonat [Ca(HCO ₃) ₂]	0,2455	
Strontiumhydrokarbonat [Sr(HCO ₃) ₂]	0,06568	
Baryumhydrokarbonat [Ba(HCO ₃) ₂]	0,004180	
Magnesiumhydrokarbonat [Mg(HCO ₃) ₂]	0,1698	
Ferhydrokarbonat [Fe(HCO ₃) ₂]	0,006629	
Manganhydrokarbonat [Mn(HCO ₃) ₂]	0,001060	
Borsäure (meta) (HBO ₂)	0,01466	
Kieselsäure (meta) (H ₂ SiO ₃)	0,03039	
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>	
	7,224	
Freies Kohlendioxyd (CO ₂)	0,020	= $\left\{ \begin{array}{l} 11 \text{ ccm} \\ \text{bei } 31,2^{\circ} \text{ u.} \\ 760 \text{ mm} \end{array} \right.$
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>	
	7,244	

1000 ccm des der Quelle frei entströmenden Gases bestehen aus:

Kohlendioxyd (CO ₂)	209
Stickstoff (N ₂)	} 791
Kohlenwasserstoffe	

54. Kapitel

Die Herkunft der im gewöhnlichen Grundwasser und in den Mineralwässern enthaltenen Salze und Gase

Chemisch reines Wasser kommt, wie bereits im 16. Kapitel ausgeführt ist, in der Natur nicht vor, sondern alles natürliche Wasser enthält größere oder kleinere Mengen organischer und anorganischer, fester und gasförmiger Stoffe in Lösung. Überschreitet ihre Menge ein bestimmtes Maß, oder treten gewisse chemische Stoffe stärker hervor, so wird das gewöhnliche Grundwasser zum Mineralwasser. Im letzteren sind weit mehr chemische Grundstoffe bisher nachgewiesen, als im

ersteren; es wäre aber falsch, daraus auf eine grundsätzliche Verschiedenheit beider Arten von Wasser zu schließen; vielmehr muß man annehmen, daß auch im gewöhnlichen Grundwasser eine große Zahl von chemischen Elementen in Lösung vorhanden ist, aber in so geringer Menge, daß ihr Nachweis nicht mehr möglich ist.

Von chemischen Verbindungen im Grundwasser und in den Mineralwässern kommen, wenn man von den seltenen Elementen absieht, im wesentlichen in Betracht:

- a) Gelöste feste Bestandteile: Chloride, Bromide, Jodide, Sulfide, Sulfate, Phosphate und Karbonate von Natrium, Kalium, Lithium, Kalzium, Magnesium, Baryum, Strontium, Eisen und Mangan; Borsäure, Kieselsäure;
- b) Gasförmige: Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Stickstoff, Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff.

a) Feste, gelöste Bestandteile

1. Chloride, vor allen Dingen solche der Alkalimetalle und des Ammoniums, sowie freie Salzsäure finden sich zwar auch als vulkanische Sublimationsprodukte und Aushauchungen und spielen zweifellos unter den im Magma gelösten Salzen und Gasen eine wichtige Rolle, können demnach auch in vulkanischen Quellen auftreten. Der weitaus größte Teil der in den Mineralquellen enthaltenen Chlorverbindungen entstammt aber unzweifelhaft den in verschiedenen Sedimentformationen in außerordentlicher Menge sich findenden Lagern von Steinsalz und den in ihrer Begleitung auftretenden sogenannten Abraum-, Edel- oder Mutterlaugensalzen. In ganz Nord- und Mitteldeutschland ist die älteste Salz liefernde Schichtengruppe diejenige des Mittleren und Oberen Zechsteins. Von Franken bis Schleswig-Holstein und von den Rheinlanden bis nahe an die Weichsel (Hohensalza) ist die unterirdische Verbreitung der Steinsalzlager der Zechsteinformation an außerordentlich zahlreichen Stellen durch Bohrungen nachgewiesen worden. Mit Steinsalz zusammen finden sich vielerorts mächtige Ablagerungen von außerordentlich mannigfaltig zusammengesetzten Salzen (Abraumsalze), unter denen Chloride und Sulfate des Kaliums, Natriums, Kalziums und Magnesiums in mannigfaltiger chemischer Gruppierung sich finden. Untergeordnet finden sich darin ferner Borate und Bromide, letztere zum Teil in so großen Massen, daß sie gewonnen werden können.

Eine dritte Gruppe bildet in dieser Gesellschaft von Salzen das Kalziumsulfat, teils als Gips, noch häufiger als Anhydrit ausgebildet. In unseren Meeren findet weder Gips noch Steinsalzbildung statt, geschweige denn Ausscheidung der außerordentlich löslichen Mutterlaugensalze. Wir müssen deshalb annehmen, daß das deutsche Zechstein-

meer ein ausgedehntes Becken darstellte, welches mit dem offenen Ozean nur an wenigen Stellen über flache Barren hinweg in Verbindung stand, ähnlich wie das über 4000 m tiefe Mittelmeer mit dem über 6000 m tiefen Atlantischen Ozean nur durch die 250 m tiefe Enge von Gibraltar in Verbindung steht. Dieses Zechsteinmeer lag wahrscheinlich in einem heißen Wüstengebiet, verlor durch Verdunstung enorme Wassermengen und besaß keine oder geringe Zuflüsse von süßem Wasser. Infolgedessen mußte für das verdunstende Wasser über die Barre hinweg Salzwasser als Ersatz zufließen, so daß eine zunehmende Konzentration der Salzlösung eintrat. Sobald für die einzelnen in dieser Lauge gelösten Salze der Sättigungspunkt erreicht war, begann ihre Ausscheidung, bis schließlich, nachdem alles Kalziumsulfat und alles Natriumchlorid sich niedergeschlagen hatten, der Absatz der leichter löslichen Salze, des Polyhalits, Kieserits, Carnallits, Tachhydrits usw. erfolgen mußte, wobei die chemische Konstitution der einzelnen sich abscheidenden Salze einerseits von der Zusammensetzung der Lösung, andererseits von der Temperatur des Wassers abhängig war. Nur so läßt sich die Entstehung dieser merkwürdigen, in der Hauptsache auf Deutschland beschränkten „Kalisalzlagerstätte“ (nach dem technisch nützlichsten Stoffe benannt) erklären.

Es wird heute allgemein angenommen, daß die weit überwiegende Mehrzahl der im Verbreitungsgebiete des Zechsteins auftretenden Solquellen aus diesen mehr als 500 m mächtigen Salzschatzen herrührt, daß die leicht löslichen Salze da, wo keine schützende Decke den Zutritt der Grundwässer verhindert, von diesen aufgenommen werden, und daß die so in Sole umgewandelten Wässer auf natürlichen oder künstlichen Wegen an die Oberfläche emporsteigen. So dürfen wir mit einem gewissen Rechte auch die zahlreichen in der Tertiär- und Kreideformation Norddeutschlands auftretenden, und die an den Gestaden der Ostsee erbohrten Solen auf die gemeinsame Quelle des im Untergrund sich findenden Zechsteinsalzes zurückführen, ja es können sogar aus dem Zechstein stammende Solen außerhalb des Verbreitungsgebietes dieser Formation auf- und zutage treten. So erklärt sich beispielsweise das Auftreten der Sole in den Melaphyren von Kreuznach, in dem Porphyry von Sennewitz bei Halle a. S., im Karbon Westfalens, in den silurischen Quarziten von Gommern bei Magdeburg, in den devonischen Gesteinen des Taunus, im Stringocephalenkalk von Nauheim, also in lauter Gesteinen, die ein höheres geologisches Alter besitzen als der Zechstein selbst. Andererseits gestatten die Spalten den Salzlösungen den Übertritt in jüngere Gesteine, z. B. in die Kreideschichten von Oeynhausener Bucht, in den Buntsandstein bei Kissingen, in den Wealden und die Kreide im Gebiete der Ostseeküste, in das Unteroligozän der Berliner Gegend und in das Diluvium und selbst Alluvium (Kolberg) vieler Punkte des norddeutschen Flachlandes.

Vielfach werden zur Trockenhaltung von Bergbauen Solen an die Oberfläche gepumpt, die in die offenen Gewässer abfließen und von diesen ausgehend das benachbarte Grundwasser versalzen können (Elbe, Saale, Bernburg).

Der außerordentliche Reichtum der Abraumsalze des Zechsteins an mannigfach zusammengesetzten Salzen vermag auch zu einem Teile das neben dem immer überwiegenden Chlornatrium auftretende Chlorkalium, Chlormagnesium, Chlorrybidium und den Gehalt an Bromverbindungen zu erklären.

Eine weitere Salzlager führende Schichtengruppe ist die des Oberen Buntsandsteins, der beispielsweise bei Schönebeck mit seinem Salze eine Sole speist. In Thüringen, in noch höherem Maße aber in Süddeutschland liefert sodann der Mittlere Muschelkalk mit seinen mächtigen Steinsalzstöcken das Material zur Umwandlung der in ihm zirkulierenden Gewässer in Solen. Auch der Mittlere oder Gipskeuper Mittel- und Süddeutschlands führt vereinzelt Salzlager. Die Salzlager der Tertiärformation, die in Österreich, Ungarn, Italien und Spanien große Bedeutung besitzen, kommen für Deutschland kaum in Betracht, da nur in dem aus Galizien nach Oberschlesien hinreichenden Miozän bislang solche bekannt geworden sind.

Dagegen haben wir nicht nötig, den ungemein verbreiteten, nur sehr selten völlig fehlenden Chlor- bzw. Kochsalzgehalt des gewöhnlichen Grundwassers auf Auslaugung natürlicher Salzlagerstätten zurückzuführen. Er wird vielmehr zu einem Teile den in vielen Gesteinen, wenn auch nur in geringer Menge, vorhandenen Chlorverbindungen entstammen, zu einem andern Teile aber auf den ungeheuren Verbrauch des Menschen an Kochsalz zurückzuführen sein. Da man auf den Kopf der Bevölkerung mindestens 5 kg Kochsalz im Jahre rechnen kann, und da alles im menschlichen Haushalte verbrauchte Salz schließlich in die Erde gerät, so gelangen allein im Deutschen Reiche jährlich 300 000 t Chlornatrium in den Boden. Diese Salzmenge genügt aber, um eine über die gesamte Oberfläche des Deutschen Reiches verbreitete Wasserschicht von 10 cm Höhe mit einem Chlornatriumgehalte von 5 mg im Liter zu versehen.

2. Sulfate. Für die Herkunft der Sulfate in den Mineralwässern darf man in allererster Reihe die zahlreichen Gipsvorkommnisse in Anspruch nehmen. Teils in ausgedehnten derben Lagern, teils in Schnüren, Knollen und Adern oder einzelnen ausgeschiedenen Kristallen findet sich der Gips in einer ganzen Anzahl unserer Sedimentärformationen. Schon das deutsche Tertiär führt, wenn auch keine zusammenhängenden, ausgedehnten Gipslager, so doch in zahlreichen seiner Gesteine einzelne Gipskristalle, so z. B. in gewissen Tonen der miozänen Braunkohlenformation und in dem mitteloligozänen Septarienton. Bedeutend größer

wird der Gipsreichtum in den mesozoischen Schichten; hier sind es vor allen Dingen der Mittlere Keuper, der geradezu als Gipskeuper bezeichnet wird, der Mittlere Muschelkalk, der Obere Buntsandstein (das Röt) und wiederum die Zechsteinformation, die zum Teil außerordentlich ausgedehnte und mächtige Gipsmassen enthalten. Wenn der Gips auch nicht die leichte Löslichkeit der Chloride besitzt, so gehört er doch immer noch zu den verhältnismäßig leicht löslichen Gesteinen, und welche ungeheuren Massen davon im Laufe der Jahrtausende durch den Kreislauf des Wassers der Auflösung anheimgefallen sind, das zeigen am besten die zahlreichen Erscheinungen, welche auf das Schwinden großer Gipsmassen im Erdinnern zurückzuführen sind, nämlich das Auftreten sogenannter Residualbildungen, der bei der Auflösung der Gipsstöcke übrigbleibenden unlöslichen Bestandteile einerseits, und die Erscheinung der sogenannten Erdfälle und Gipsschlotten, die auf den Zusammenbruch der über ausgelaugten Gips- (und Salz-) Stöcken lagernden Gebirgsmassen zurückzuführen sind, andererseits.

Da vielfach in denselben Formationen, in welchen Gipslager auftreten, auch dolomitische, also an Magnesiumkarbonat reiche Gesteine sich finden, so gelangen gleichzeitig Magnesiumverbindungen in Lösung und können so die durch gleichzeitige Anwesenheit von Magnesium und Schwefelsäure gekennzeichneten Bitterwässer erzeugen.

In den Gipslagern haben wir aber nicht die einzige Ursache des Schwefelsäuregehaltes unserer Quellen zu erblicken. Hier kommt als zweiter wichtiger Faktor die leichte Zersetzlichkeit gewisser Sulfide, nämlich des Doppeltschwefeleisens in Betracht, welches als Schwefelkies und Markasit in vielen, namentlich tonigen Gesteinen eine große Verbreitung in Form von Einzelkristallen, Knollen oder selbst Lagern besitzt. Diese Verbindungen sind bei Zutritt von Wasser und Sauerstoff in hohem Maße zersetzbar und liefern einerseits Eisenvitriol, andererseits freie Schwefelsäure. Letztere vermag alsdann weiter auf die vom Wasser berührten Gesteine einzuwirken und neue Stoffe in Lösung überzuführen. Die in manchen Quellen (Sour Spring in Kanada) und vor allen Dingen in vielen Moorschlämmen (Schmiedeberg, Prov. Sachsen) auftretende nicht gebundene Schwefelsäure dürfte im wesentlichen auf derartige Zersetzungsprozesse zurückzuführen sein.

Die im gewöhnlichen Grundwasser, wenn auch meist nur in geringen Mengen, auftretende Schwefelsäure dürfte größtenteils auf der Verwitterung der außerordentlich weit verbreiteten Schwefelkiese beruhen. Dagegen ist der vielfach recht auffällige Gehalt an Schwefelsäure im Grundwasser in der Nähe von großen Städten mit starker Industrie vielfach auf letztere zurückzuführen. Teils unmittelbar an der Erzeugungs- oder Verbrauchsstätte, teils auf dem Umwege über die Rieselfelder gelangen die Sulfate in den Boden und aus diesem in das

Grundwasser hinein. Die Schwefelsäure wird damit vielfach zu einem Indikator unerwünschter Beimengungen und Zuflüsse zum Grundwasser.

3. Sulfide. Die in vielen, namentlich schwefelwasserstoffhaltigen Mineralquellen auftretenden Schwefelverbindungen (Sulfide) der Alkalien haben denselben Ursprung wie die Schwefelsäure; sie entstammen zum größten Teile dem Gips, aus dem sie durch Einwirkung organischer Substanzen unter Verlust von Sauerstoff entstanden sind; sie sind ihrerseits sehr leicht unter Bildung von Schwefelwasserstoff wieder zersetzlich.

4. Karbonate. Eine außerordentlich wichtige und weitverbreitete Gruppe der in den Mineralquellen auftretenden Salze bilden die Karbonate der Alkalien, der alkalischen Erden und des Eisens.

Am leichtesten zu verstehen ist der außerordentliche Reichtum an Kalziumkarbonat, das nicht nur in zahlreichen Mineralquellen sich findet, sondern auch in den gewöhnlichen Trinkwässern eine weite Verbreitung besitzt, zu ihrem Wohlgeschmacke erheblich beiträgt und wesentlich die Eigenschaft des Wassers bedingt, die wir als „Härte“ bezeichnen. Es leitet sich in einfacher und ungezwungener Weise ab aus den in zahlreichen Sedimentformationen in ungeheuren Massen sich findenden Kalksteinen. Das Kalziumkarbonat ist zwar in chemisch reinem Wasser sehr schwer löslich, leichter aber in einem Wasser, welches Kohlensäure enthält. Die von der Erdoberfläche in die Tiefe eindringenden Gewässer führen ausnahmslos eine wenn auch geringe Menge von Kohlensäure mit sich. Diese entstammt entweder der Atmosphäre, aus welcher das als Regen oder Schnee niederfallende Wasser sie aufnimmt, oder sie rührt aus der Zersetzung organischer Substanzen in den obersten Schichten der Erde her. Das in den Boden eindringende Wasser nimmt beim Hindurchgehen durch die mit organischer Substanz mehr oder weniger versehenen obersten Erdschichten diese Kohlensäure in sich auf und vermag nun, mit ihr beladen, den Kalkstein anzugreifen und ein der mitgebrachten Kohlensäure entsprechendes Quantum Kalziumkarbonat als Kalziumhydrokarbonat in Lösung überzuführen. Die meisten Kalksteine sind nicht rein, sondern enthalten neben dem Kalziumkarbonat auch mehr oder weniger große Mengen von Magnesiumkarbonat, das in ganz gleicher Weise in Lösung übergeführt wird. Besonders solche Formationen, in denen, wie im Keuper, Mittleren Muschelkalk und Zechstein, Dolomite auftreten, liefern gewöhnlich auch magnesiumhaltige Wässer. Der Kalkgehalt der im norddeutschen Diluvium sich bewegenden Grundwässer entstammt den massenhaften Beimengungen von silurischem und Kreidekalk, die in allen unverwitterten Glazialbildungen anzutreffen sind. Ihr Gehalt an Kalk ist sehr schwankend: während er in den weit verbreiteten Geschiebemergeln 8—12% beträgt, steigt er in Mergelsanden und Tonmergeln, sowie im Löß bis 24% und sinkt in mittelkörnigen Sanden auf 1—2%. Arm ist

das Diluvium an Magnesiumkarbonat und aus diesem Grunde sind auch die im Diluvium auftretenden Grundwässer meist sehr arm an diesem Salze.

5. Eisen. Außerordentlich mannigfachen Ursprungs ist der Eisengehalt des Grundwassers und der Mineralquellen. Unter den gesteinsbildenden Mineralien sind eine große Reihe von Silikaten reich an Eisenoxydul- und Eisenoxydverbindungen (Augit, Hornblende, Granat, Glimmer); ferner finden sich in zahlreichen Gesteinen, besonders solchen eruptiver Herkunft, in feiner Beimengung Partikelchen von Eisenerzen (Schwefelkies, Magneteisen, Titaneisen), und drittens finden sich Eisenverbindungen, zumeist in der Form von Limonit und Brauneisenstein, in feinsten Verteilung in den weitaus meisten kalkigen und tonigen Sedimentgesteinen. Die meisten eisenhaltigen Mineralien sind der Verwitterung in hohem Maße ausgesetzt. Das Eisen spaltet sich aus den Verbindungen ab und geht neue Verbindungen mit der in Wasser gelösten Kohlensäure oder Schwefelsäure ein, und so finden wir in außerordentlich zahlreichen Quellen einen mehr oder weniger großen Eisengehalt. Selbst in den jüngsten Schichten unserer Erdrinde, in den diluvialen und alluvialen Bildungen, finden derartige Ausscheidungen von Eisensalzen in umfangreichem Maße statt. In zahlreichen gewöhnlichen Grundwässern sind sie enthalten, kommen mit ihnen an die Oberfläche, und werden in der Umgebung der Quellen und in den vom abfließenden Wasser benutzten Bachrinnen, zum Teil unter Mitwirkung von Algen (*Chlamydothrix*, *Crenothrix*, *Leptothrix*), in Gestalt eines flockigen, rötlichgelben Niederschlages wieder ausgeschieden.

Deshalb bedürfen auch alle aus eisenhaltigen Gesteinen stammenden Trinkwässer einer Enteisung, deshalb macht es so große Schwierigkeiten, das in den Mineralwässern gebundene Eisen nach der Flaschenfüllung vor dem Ausfallen zu bewahren, deshalb auch sieht man im Austrittsgebiete vieler Mineralquellen die durch ihre Färbung kräftig in die Augen fallenden Eisenabscheidungen (Wiesbadener Kochbrunnen).

6. Mangan. Mit dem Eisen außerordentlich nahe verwandt ist das Mangan, und in den eisenhaltigen Mineralien finden sich fast immer kleinere oder größere Mengen von Mangan mit dem Eisen vergesellschaftet, die gleichfalls in Lösung übergeführt und außerhalb der Quelle zusammen mit dem Eisen wieder abgeschieden werden. Eisen und Mangan sind zwei Stoffe, die wegen ihrer stark gefärbten und färbenden Verbindungen im Trink- und Gebrauchswasser sehr wenig beliebt sind und besondere Maßnahmen zur Enteisung und Entmanganung erforderlich machen. Besonders ein Manganengehalt des Wassers ist sehr gefürchtet, weil er viel schwieriger zu beseitigen ist, bei den gewöhnlichen Enteisungsverfahren zumeist in Lösung bleibt und erst später ausfällt. Die Hauptquelle beider sind manganhaltige Brauneisen-erzkörner, die im Boden meist in konkretionärer Form enthalten sind

und sich nicht verändern, solange sie unter Wasser sich befinden. Besonders in den diluvialen und alluvialen Auskleidungen unserer Flußtäler sind solche Eisenverbindungen weit verbreitet. Findet in solchem Tale eine Wasserentnahme in großem Umfange statt und wird der Grundwasserspiegel stark gesenkt, so geraten eine Menge durch Reduktion mittels organischer Verbindungen erzeugte Schwefeleisenverbindungen mit der Luft in Berührung, und werden zu freier Schwefelsäure und zu Eisenvitriol, also zu löslichen Verbindungen oxydiert. Diese setzen das vorhandene unlösliche Mangan in lösliches Mangansulfat um. Steigt dann der Grundwasserspiegel, etwa infolge Pausierens mit Pumpen, an oder versickert von der Oberfläche her Überschwemmungswasser, so werden die oxydierten löslichen Verbindungen ausgelaugt, und es kann alsdann, wie bei Breslau, der Fall eintreten, daß das Wasser plötzlich mehr als 300 mg Eisen und mehr als 200 mg Mangan im Liter enthält.

Andere Metallsalze, wie solche von Blei, Kupfer und Zink, finden sich im Grundwasser nur da, wo es Bergwerksanlagen passiert, oder Auslaugungsprodukte aus hüttenmännischen Betrieben aufgenommen hat. Sie machen das Wasser für Genußzwecke unbrauchbar.

7. Lithium, Strontium, Baryum, Phosphate, Borsäure, Arsen. Die übrigen meist nur in Mineralquellen sich noch findenden Beimengungen spielen ihrer Menge nach eine untergeordnete Rolle, während sie anderseits in bezug auf die medizinische Wirkung oftmals von großer Bedeutung sind. Dahin gehören die Phosphate, die Salze von Lithium, Strontium, Baryum, die Arsenverbindungen und die Borsäure. Die letztere wird in den Mineralwässern als frei angesehen, sobald, was fast immer der Fall ist, merkliche Mengen freien Kohlendioxyds vorhanden sind. Die sorgsame Untersuchung der Gesteine hat gelehrt, daß in vielen von ihnen von allen diesen Elementen und sogar von noch viel selteneren, wie dem Cäsium und Rubidium, sich sehr häufig zum Teil sogar zahlenmäßig ausdrückbare Mengen finden. So besitzt Baryum und Strontium, wenn auch in minimaler Menge, eine große Verbreitung, ersteres in gewissen Teilen des deutschen Buntsandsteins, letzteres in Schichten der Kreideformation und des Muschelkalks. Auch Rubidium und Cäsium sind spektroskopisch in vielen Gesteinen nachgewiesen, in denen man früher von ihrem Vorkommen keine Ahnung hatte. Die natürliche Phosphorsäure ist im wesentlichen an das als Apatit bezeichnete Mineral geknüpft, das hauptsächlich aus Kalziumphosphat besteht, und an die in vielen marinen Gesteinen als knollenförmige Konkretionen sich findenden Phosphorite. Da diese Verbindungen dem mit Kohlensäure beladenen Wasser gegenüber sich angreifbar erweisen, so darf es uns nicht wundernehmen, wenn die in den Gesteinen zirkulierenden Wässer auch von diesen seltenen Mineralbestandteilen geringe Mengen auflösen und mit sich an die Oberfläche

bringen. Das Arsen kommt in der Natur zumeist an Metalle gebunden vor (Arsenkies, Fahlerz), die nicht nur in Erzgängen auftreten, sondern vielfach auch als Übergemengteile in geringen Mengen in eruptiven und metamorphen kristallinen Gesteinen sich finden.

Daß die in manchen Quellen als wichtiger Heilfaktor angesehenen Verbindungen des Broms in den Mutterlaugensalzen des Zechsteins enthalten sind und aus ihnen in die darin zirkulierenden Gewässer übergehen können, ist bereits oben angeführt worden. Ein Jodgehalt ist stellenweise im Kieselschiefer nachgewiesen und aus ihm in Quellen übergegangen (Ronneburg). Ebenso sind die dem Posidonienschiefer des süddeutschen Jura entstammenden Quellen mehrfach durch einen Jodgehalt ausgezeichnet, der offenbar ebenso wie der der Kieselschiefer mit dem Sapropelgehalte dieser Gesteine in Zusammenhang steht.

8. Kieselsäure. Heißes, alkalihaltiges Wasser vermag zahlreiche Silikate unter Bildung löslicher Kieselsäure zu zersetzen. Bei der Abkühlung des Wassers scheidet sich diese ab, und es entstehen so bereits im Quellschachte, besonders aber um die Mündung der Quelle herum, mächtige Ablagerungen von Kieselsinter, deren phantastisch geformte Terrassen, Kaskaden, Quellbecken und kraterartige Gebilde in den an vulkanischen Quellen reichen Geysergebieten Islands und Nordamerikas die Bewunderung der Besucher erregen.

9. Ammoniak, Salpetersäure und salpetrige Säure sind drei Verbindungen, die zwar im Wasser, wenn sie überhaupt vorhanden sind, nur in sehr geringen Mengen auftreten, aber nichtsdestoweniger von großer Bedeutung deshalb sind, weil sie das Wasser, in dem sie auftreten, verdächtig machen, mit menschlichen und tierischen Abfall- und Fäulnisprodukten in Berührung gekommen und dadurch als Genußmittel mehr oder weniger unbrauchbar geworden zu sein. Insbesondere müssen schon ganz geringe Mengen von Ammoniak ein Wasser stark verdächtig machen, denn die Fälle, in denen in natürlichen Ablagerungen Ammoniak erzeugt wird, sind recht selten (Braunkohle, Torf). Man darf daher seine Anwesenheit fast immer zu Fäulnisprodukten an der Erdoberfläche in Beziehung setzen. Besondere Beachtung verdient der Albuminoid-Ammoniak, da er ausschließlich von tierischen Zersetzungsprodukten herrühren soll. Er wird deshalb bei genauen Wasseranalysen quantitativ bestimmt. Seine Menge soll 0,1 mg im Liter nicht übersteigen.

Der Mineralgehalt ist nicht nur für Trinkwasser, sondern auch für viele zu industriellen Zwecken verwendete Wasser von Bedeutung. So sind Eisen und Mangan führende Wasser für Wäschereien, Bleichereien, Färbereien, Zeugdruckereien, Brennereien, Stärke- und Papierfabriken, sowie für Glas- und Tonwarenindustrien ungeeignet, für Gerbereien dagegen bis zu einem gewissen Grade günstig. Ein höherer Chlornatriumgehalt beeinflußt den Keimprozeß in den Brennereien ungünstig und er-

höht den Aschengehalt des Zuckers. Ein geringer Gehalt davon soll die Darstellung der Stärke günstig beeinflussen. Magnesiumsalze machen das Wasser für Kesselspeisung, Brauereien, Stärkefabriken und Gärungsgewerbe ungeeignet. Salpetrige Säure macht das Wasser, weil es zur Bildung von Diazoverbindungen neigt, für die Textilindustrie ungeeignet. (Nach H. Höfer, Grundwasser und Quellen, Braunschweig 1912.)

b) Gasförmige Bestandteile

Von den in den Quellen enthaltenen flüchtigen Bestandteilen, der Kohlensäure, dem Schwefelwasserstoff, den Kohlenwasserstoffen, dem Wasserstoff und dem Stickstoff, darf man bezüglich des Stickstoffes wohl annehmen, daß er der atmosphärischen Luft entstammt und aus ihr vom Wasser absorbiert ist. Auch die freie Kohlensäure, die im gewöhnlichen Grundwasser und in vielen Mineralquellen in geringfügigen Mengen sich findet, ist, wie wir schon oben gesehen haben, auf den Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft und auf die in den obersten Bodenschichten durch Zersetzung organischer Substanzen sich bildende Kohlensäure zurückzuführen. Dagegen entstammen die Kohlensäuremassen, welche in unseren Sauerlingen einen der wichtigsten Bestandteile bilden, sehr wahrscheinlich ganz ausschließlich dem Erdinnern und sind demnach als vulkanisch (juvenil) zu bezeichnen. Wenn die Periode des aktiven Vulkanismus in einem Gebiete vorüber ist, so stellen sich als Nachwirkungen noch durch viele Jahrtausende hindurch Ausströmungen von Gasen ein, unter denen die Kohlensäure und der Schwefelwasserstoff eine außerordentlich bedeutsame Rolle spielen. Wohin wir auf Erden unsern Blick richten, sehen wir in den Gebieten, in denen die gewaltigen Basalteruptionen der Tertiärzeit erfolgten, noch heute allenthalben Kohlensäure, zum Teil in gasförmiger Gestalt (Brohltal) oder mit Wasser gemischt und zum Teil von ihm absorbiert (ebenda und an zahlreichen anderen Punkten der Eifel, des Westerwaldes und Vogelsberges) zutage treten, und das gleiche ist der Fall mit dem Schwefelwasserstoff. Diese mit den Namen „Solfataren“ (Schwefelwasserstoffexhalationen) und „Mofetten“ (Kohlensäureausströmungen) bezeichneten Erscheinungen sehen wir überall an den gegenwärtigen oder erst in jüngster Vergangenheit erloschenen Vulkanismus geknüpft. So lang nach menschlichen Begriffen auch die Dauer dieser Nachwirkung ist, so sind diese Gasexhalationen doch nur vorübergehende Erscheinungen in der Geschichte unserer Erde, und wie von den vulkanischen Ereignissen der paläozoischen und der mesozoischen Zeit heute nirgends mehr sich derartige Nachwirkungen bemerklich machen, ebenso müssen wir auch annehmen, daß die heute noch vorhandenen Ausströmungen von Kohlensäure und Schwefelwasserstoff mehr und mehr zurückgehen und verschwinden werden, um in anderen Gebieten neu aufzutreten.

Wohl hat man Versuche gemacht, das Ausströmen der vielfach ganz ungeheuren Mengen von Kohlensäure durch chemische Prozesse in den oberhalb der vulkanischen Herde gelegenen, erstarrten Erdschichten zu erklären. Durch Einwirkung von aus zersetzten Schwefelkiesen stammender Schwefelsäure auf Kalkstein soll sie erzeugt werden, oder durch Vorgänge, welche an der oberen Grenze des vulkanischen Erdinnern in der Art sich abspielen, daß Kalksteine durch die große Hitze einen natürlichen Zersetzungsprozeß erfahren, durch welchen Kohlensäure in Freiheit gesetzt wird; aber alle diese Erklärungsversuche erscheinen bei genauerer Betrachtung als wenig wahrscheinlich, und wir werden am besten tun, diese gewaltigen Gasmengen als direkte Ausscheidungen aus dem im Entgasungsprozesse begriffenen vulkanischen Magma aufzufassen.

55. Kapitel

Einteilung der Mineralquellen

Nach ihrem Gehalte an gelösten mineralischen Stoffen werden die Mineralquellen und Thermen in folgender Weise eingeteilt¹⁾:

- I. Einfache kalte Quellen (Akratopegen)
- II. Einfache warme Quellen (Akrathermen)
- III. Einfache Sauerlinge
- IV. Erdige Sauerlinge
- V. Alkalische Quellen
- VI. Kochsalzquellen
- VII. Bitterquellen
- VIII. Eisenquellen
- IX. Schwefelquellen

I. Einfache kalte Quellen (Akratopegen)²⁾ sind Quellen von gleichbleibender, die mittlere Jahrestemperatur des Ortes übersteigender, andererseits 20° nicht überschreitender Temperatur und von gleichbleibender chemischer Zusammensetzung, arm an freiem Kohlendioxyd und an gelösten festen Bestandteilen. In 1 kg des Wassers beträgt die Menge des freien Kohlendioxyds weniger als 1 g, die der gelösten festen Bestandteile ebenfalls weniger als 1 g. Sie stehen den gewöhnlichen Brunnenwässern am nächsten; von den einfachen warmen Quellen sind sie durch die niedrigere Temperatur, von den Sauerlingen durch den geringeren Gehalt an freiem Kohlendioxyd, von den übrigen Gruppen durch den geringeren Gehalt an gelösten festen Bestandteilen abgegrenzt. Auch die sonst „einfach erdig“ genannten Quellen, bei denen die Menge der gelösten festen Bestandteile 1 g überschreitet und

¹⁾ E. Hintz und L. Grünhut in: Deutsches Bäderbuch, S. LXVI, Leipzig 1907.

²⁾ ἀκρατος = ungemischt, πηγή = Quelle.

unter diesen Bestandteilen Hydrokarbonat-Ionen einerseits, Kalzium- und Magnesium-Ionen andererseits vorherrschen, die also in ihrer Zusammensetzung sich von harten Brunnenwässern nicht wesentlich unterscheiden, können zu dieser Gruppe gerechnet werden.

Unter den Quellen dieser Gruppe befinden sich auch solche, deren Eisengehalt zwar hinter der für die Eisenquellen angenommenen Grenze von 10 mg in 1 kg Wasser zurückbleibt, die aber vielfach als Eisenquellen bezeichnet und um ihres Eisengehaltes willen zu Trinkkuren verwendet werden.

Beispiele: Bibra, Freienwalde, Kainzenbad, Lauchstädt, Mölln, Tölz.

II. Einfache warme Quellen (Akratothermen¹⁾, Wildbäder) sind Quellen von gleichbleibender, 20° übersteigender Temperatur, arm an freiem Kohlendioxyd und an gelösten festen Bestandteilen. In 1 kg des Wassers beträgt die Menge des freien Kohlendioxyds weniger als 1 g, die der gelösten festen Bestandteile ebenfalls weniger als 1 g. Auch die sonst „einfach erdig“ genannten warmen Quellen (vgl. bei den einfachen kalten Quellen) können zu dieser Gruppe gerechnet werden.

Beispiele mit Angabe der Wassertemperaturen:

Warmbrunn	43,1—24,5°
Wildbad	39,5—34,5°
Wildbad-Trarbach und Wildstein	35,0°
Bodendorf	32,0°
Schlangenbad	31,0—28,0°
Warmbad	29,0°
Badenweiler	26,4°
Wiesenbad	20,2°

III. Einfache Säuerlinge sind reich an freiem Kohlendioxyd, wovon sie mehr als 1 g, und arm an gelösten festen Bestandteilen, von denen sie weniger als 1 g in 1 kg des Wassers enthalten.

Auch unter den Quellen dieser Gruppe befinden sich solche, deren Eisengehalt zwar hinter der für die Eisenquellen angenommenen Grenze von 10 mg in 1 kg Wasser zurückbleibt, die aber vielfach als Eisenquellen bezeichnet und um ihres Eisengehaltes willen zu Trinkkuren verwendet werden.

Beispiele: Brückenau, Charlottenbrunn, Ditzenbach, Sinzig.

IV. Erdige Säuerlinge enthalten in 1 kg des Wassers mehr als 1 g freies Kohlendioxyd und mehr als 1 g gelöste feste Bestandteile, unter deren Anionen die Hydrokarbonat-Ionen, unter deren Kationen die Kalzium- und Magnesium-Ionen vorherrschen. (Bei der Salzberechnung ergeben sich daher neben freiem Kohlendioxyd als vorwaltende Bestandteile Kalziumhydrokarbonat und Magnesiumhydrokarbonat.)

¹⁾ ἀκρατος = ungemischt, θερμός = warm.

Beispiele: Altreichenau, Geismar, Göppingen, Malmedy, Rehburg, Schwalheim, Selters bei Weilburg, Wildungen.

V. Alkalische Quellen enthalten in 1 kg des Wassers mehr als 1 g gelöste feste Bestandteile, unter deren Anionen die Hydrokarbonat-Ionen, unter deren Kationen die Alkali-Ionen vorherrschen. (Bei der Salzberechnung ergibt sich daher als vorwaltender Bestandteil Natriumhydrokarbonat.) Wird ein solches Wasser gekocht, so gehen unter Entbindung von Kohlendioxyd die Hydrokarbonat-Ionen in Karbonat-Ionen über, die zum Teil mit den Erdalkali-Ionen zu Niederschlägen zusammentreten; dabei bleibt aber ein Überschuß von Karbonat-Ionen, der durch Hydrolyse eine gewisse Menge Hydroxyl-Ionen, d. h. alkalische Reaktion des Wassers entstehen läßt.

Überschreitet die Menge des freien Kohlendioxyds 1 g in 1 kg des Wassers, so spricht man von alkalischen Säuerlingen.

Je nachdem der Gehalt an Chlor- oder Sulfat- oder Erdalkali-Ionen mehr in den Vordergrund tritt, spricht man im Gegensatz zu den rein alkalischen von alkalisch-muriatischen, alkalisch-salinischen, alkalisch-muriatisch-salinischen oder alkalisch-erdigen Quellen.

Beispiele: Apollinarisbrunnen, Bertrich, Birresborn, Daun, Ems, Fachingen, Gerolstein, Namedy, Neuenahr, Nieder- und Oberselters, Salzbrunn.

VI. Kochsalzquellen (muriatische Quellen) enthalten in 1 kg des Wassers mehr als 1 g gelöste feste Bestandteile, unter deren Anionen die Chlor-Ionen, unter deren Kationen die Natrium-Ionen bei weitem überwiegen. (Bei der Salzberechnung erscheint daher Kochsalz als stark vorwaltender Bestandteil.)

Man spricht von einfachen (schwachen) Kochsalzquellen oder von Solquellen, je nachdem in 1 kg des Wassers die Menge der Chlor-Ionen sowie diejenige der Natrium-Ionen weniger oder mehr als 260 mg-Äquivalente (bezw. bei der Salzberechnung die Menge des Kochsalzes weniger oder mehr als 15 g) beträgt.

Überschreitet die Menge des freien Kohlendioxyds 1 g in 1 kg des Wassers, so spricht man von Kochsalzsäuerlingen.

Je nachdem der Gehalt an Hydrokarbonat- oder Sulfat-Ionen oder beiden mehr in den Vordergrund tritt, spricht man im Gegensatz zu den reinen Kochsalzquellen von alkalischen, salinischen oder alkalisch-salinischen Kochsalzquellen; je nachdem der Gehalt an Erdalkali-Ionen oder diesen und Hydrokarbonat-Ionen oder Erdalkali- und Sulfat-Ionen mehr in den Vordergrund tritt, spricht man von erdmuriatischen, erdigen oder sulfatischen Kochsalzquellen.

Beispiele: Arnstadt, Artern, Baden, Bernburg, Elmen, Hall, Harzburg, Kissingen, Kösen, Kreuznach, Nauheim, Oeynhaus, Reichenhall, Salzschlirf, Soden am Taunus, Sooden a. W., Sulza, Wiesbaden.

VII. Bitterquellen enthalten in 1 kg des Wassers mehr als 1 g gelöste feste Bestandteile, unter deren Anionen die Sulfat-Ionen vorwalten. Die Gegenwart von Sulfat-Ionen prägt dem Wasser einen so ausgesprochenen Charakter auf, daß man nicht nur ihr relatives Vorwalten zu berücksichtigen hat, sondern daß schon jedes Mineralwasser, welches, bei Abwesenheit alkalischen Charakters, Sulfat-Ionen in erheblicher Menge enthält, als Bitterquelle zu bezeichnen ist. Namentlich die Chlor-Ionen-Konzentration kann diejenige der Sulfat-Ionen wesentlich übertreffen, ohne dem Wasser die Zugehörigkeit zu den Bitterquellen zu nehmen (bei der Salzberechnung ergeben sich daher erhebliche Mengen von Sulfaten, eventuell neben großen Mengen von Kochsalz).

Je nachdem unter den Kationen die Natrium-, Kalzium- oder Magnesium-Ionen eine wesentliche Rolle spielen, und je nach der Menge der Chlor-Ionen spricht man von salinischen Bitterquellen, sulfatischen Bitterquellen, echten Bitterquellen, bzw. muriatisch-salinischen, muriatisch-sulfatischen oder muriatischen echten Bitterquellen.

Beispiele: Boll in Baden, Eyachsprudel, Friedrichshall, Lipp-springe, Mergentheim, Windsheim.

VIII. Eisenquellen sind im allgemeinen solche Quellen, die mehr als 0,010 g Ferro- oder Ferri-Ionen in 1 kg des Wassers enthalten, und für welche es dargetan ist, daß ihre auffälligste Wirkung durch den Eisengehalt verursacht wird.

Enthält das Wasser Sulfat-Ionen, aber keine Hydrokarbonat-Ionen (erscheint daher bei der Salzberechnung das Eisen als Ferrosulfat oder Ferrisulfat), so spricht man von Vitriolquellen.

Enthält das Wasser Hydrokarbonat-Ionen oder Ferro-Ionen (erscheint daher bei der Salzberechnung das Eisen als Ferrohydrokarbonat), so spricht man von Eisenkarbonatquellen (bisher vielfach „Stahlquellen“ genannt).

Überschreitet die Menge des freien Kohlendioxyds 1 g in 1 kg des Wassers (wie es bei Eisenkarbonatquellen meist der Fall ist), so spricht man von Eisensäuerlingen.

Im übrigen können die Eisenkarbonatquellen nach ihrem Gehalte an sonstigen Bestandteilen, entsprechend den früher definierten Hauptgruppen der Mineralwässer, in Untergruppen eingeteilt werden: reine Eisenkarbonatquellen, erdige Eisenkarbonatquellen, alkalische Eisenkarbonatquellen, muriatische Eisenkarbonatquellen, Eisenkarbonatbitterquellen usw.

Beispiele: Alexanderbad, Berggießhübel, Flinsberg, Kudowa, Liebenstein, Lobenstein, Muskau, Polzin, Pyrmont, Rippoldsau.

IX. Schwefelquellen sind solche Quellen, die Hydrosulfid-Ionen, gegebenenfalls daneben auch freien Schwefelwasserstoff enthalten, und

für welche es dargetan ist, daß ihre auffälligste Wirkung durch den Gehalt an diesen Bestandteilen verursacht wird. Je nachdem sie freies Kohlendioxyd und folglich auch freien Kohlenwasserstoff enthalten oder nicht, kann man von Schwefelwasserstoffquellen im engeren Sinne sprechen.

Im übrigen können diese Quellen nach ihrem Gehalt an sonstigen Bestandteilen, entsprechend den früher definierten Hauptgruppen der Mineralwässer, in Untergruppen eingeteilt werden: reine, erdige, alkalische, muriatische Schwefelwasserstoffquellen, Schwefelwasserstoffbitterquellen usw.

Beispiele: Aachen, Nenndorf, Rothenburg ob dem Tauber.

56. Kapitel

Einfluß des Wasserträgers auf die chemische Zusammensetzung des Wassers

Die lösende Kraft des Wassers, unterstützt durch seinen Gehalt an Kohlensäure, bedingt es, daß die chemische Zusammensetzung unserer unterirdisch sich bewegenden Gewässer durchaus von dem Reichtum des vom Wasser durchwanderten Gesteins an mehr oder weniger leicht löslichen Stoffen abhängig ist. Da aber außerdem die Lösungskraft des Wassers nicht nur mit seiner Temperatur wächst, sondern auch mit der Zeit, während deren es mit dem Gestein in Berührung war, so können wir allgemein aussprechen, daß ein Wasser um so reicher an löslichen Salzen ist, je reicher an löslichen Bestandteilen das durchflossene Gestein ist, je höher die Temperatur ist, die das Wasser erreichte, und je länger die Zeit dauerte, in welcher es mit dem Gestein in Berührung war.

Nach ihrer Widerstandskraft gegen die Angriffe des Wassers können wir unsere Gesteine in folgende Gruppen zerlegen:

1. Quarzite, quarzitische Sandsteine, Sandsteine mit kieseligem Bindemittel und reine Quarzsande und Quarzkiese,
2. Granite und andere saure Eruptivgesteine, Gneise und andere kristallinische metamorphe Gesteine,
3. Tone, Tonschiefer und Sandsteine mit tonigem Bindemittel,
4. Basalte, Phonolite und andere jüngere basische Eruptivgesteine,
5. Diluviale Sande und Kiese, Sandsteine mit mergligem, kalkigem und dolomitischem Bindemittel, Tonmergel und Geschiebemergel,
6. Dolomit,
7. Kalkstein,
8. Gips,
9. Steinsalz.

Daraus geht hervor, daß unsere Granitgebirge und viele Sandsteingebirge die an mineralischen Stoffen ärmsten Grundwasser enthalten. Das kann soweit gehen, daß fast als destilliert zu bezeichnende Wasser entstehen, wie z. B. im Buntsandstein bei Heidelberg. Selbst heiße Quellen sind oft außerordentlich arm an gelösten Stoffen, wie beispielsweise die sogenannten Wildbäder. Nach Lepsius ist ihre Armut an Salzen darauf zurückzuführen, daß sie als Dämpfe bis zu verhältnismäßig geringer Tiefe unter der Oberfläche emporgestiegen sind, dann durch Abkühlung eine Verdichtung zu flüssigem Wasser erfuhren und nun sehr schnell an die Oberfläche gelangten, von den nachdrängenden Dämpfen getrieben, ehe sie Zeit hatten, große Mengen von Mineralstoffen zu lösen.

Auch in den bekanntlich fast aus ganz reinen Quarzsanden bestehenden Sanden der tertiären Braunkohlenbildungen finden sich außergewöhnlich reine Wässer. Im Liegenden der Lausitzer Braunkohle bei Wiednitz wurde z. B. ein Wasser mit nur $\frac{1}{2}$ Grad Härte erbohrt.

Andererseits dürfen wir in Gewässern, die Gelegenheit hatten, in Gips und Steinsalz führenden Gesteinsschichten sich zu bewegen und lösend zu wirken, die größten Mengen von gelösten und mineralischen Stoffen erwarten. Eine Grenze ist hier erst mit Erreichung voller Sättigung des Wassers an dem betreffenden Salze gegeben. (Vergl. 10. Kapitel).

Da die chemische Zusammensetzung von Grundwasser und Quellen von einer ganzen Reihe von Umständen abhängig ist, so darf es nicht wundernehmen, daß selbst solche Wasser in ihrer chemischen Zusammensetzung Abweichungen zeigen, die einem und demselben Gesteine entstammen. Wir können deshalb aussprechen, daß alle Quellen und alle Grundwässer in bezug auf ihre chemische Zusammensetzung als Individuen aufzufassen sind und daß es unzulässig ist, auf Grund der chemischen Zusammensetzung einer Quelle eines Gebietes eine Übereinstimmung mit allen übrigen Quellen des gleichen Gesteins oder gar des gleichen Gebietes anzunehmen.

Eine erschöpfende Behandlung der Chemie des Grundwassers und der Quellen liegt nicht in der Aufgabe dieses Werkes und ich muß mich deshalb auf die Heraushebung einiger wichtiger Punkte beschränken.

Die chemische Zusammensetzung eines Wassers spiegelt nicht die des von ihm durchflossenen Gesteins wieder, sondern verrät uns nur, welche Stoffe des Gesteins gegenüber der lösenden Kraft des Wassers die geringste Widerstandsfähigkeit besitzen. Zuerst werden die Chloride ausgelaugt, in zweiter Linie folgen die Sulfate der Alkalien, des Kalziums und Magnesiums, hierauf die Karbonate dieser beiden alkalischen Erden und dann folgen in weitem Abstände die in geringen Mengen in kohlensäurehaltigem Wasser löslichen Silikate.

Ferner ist der Umstand zu berücksichtigen, daß bei der Lösung die Komponenten der einzelnen angegriffenen Mineralien durchaus nicht in demselben Mengenverhältnisse in Lösung übergehen, wie es in der chemischen Verbindung vorliegt. Ein Wasser, welches einen Dolomit durchflossen hat, enthält zwar ebenso wie das Gestein kohlensauren Kalk und kohlensaure Magnesia, aber die relative Menge des Kalkes ist im Wasser eine sehr viel größere, als im Gestein. Noch viel deutlicher wird die Änderung des Verhältnisses von Kalk zu Magnesia in daran armen Gesteinen. So ist nach M. Dittrich¹⁾ im Heidelberger Buntsandstein regelmäßig zu beobachten, daß, während im Gestein gleich viel oder weniger Kalk wie Magnesia vorhanden ist, in den dem Buntsandstein entspringenden Quellen der Kalk die Magnesia zum Teil ganz bedeutend übertrifft. Aber auch für die Alkalien gilt das gleiche: während in den untersuchten Gesteinen das Kali vor dem Natron vorherrscht oder in gleichen Mengen wie dieses vorhanden ist, übersteigt in den Wässern der Natrongehalt den des Kalis um ein Beträchtliches.

Diese Umkehrung ist nicht nur im Buntsandstein, sondern auch im Granite von Heidelberg beobachtet: im Gestein ist nicht ganz ein Drittel mehr Kalk wie Magnesia enthalten, im Granitwasser dagegen ist der Kalkgehalt um mehr als das Dreifache gestiegen, der Kaligehalt beträgt im Gestein ebensoviel wie der des Natrons, im Wasser dagegen nur noch ein Fünftel. Dittrich gibt hierfür ein sehr lehrreiches Beispiel, indem er eine Analyse des frischen porphyrischen Hornblendegranits (I), des verwitterten Gesteins (II) und des Wassers (III) nebeneinander stellt.

	I	II	III
Kieselensäure . .	63,57	63,24	1,977 g in 100 l
Titansäure . . .	0,55	—	
Tonerde	14,69	16,63	} 0,070 g „
Eisenoxyd . . .	1,79	4,45	
Eisenoxydul . .	3,11	0,40	
Kalkerde	3,84	0,90	4,912 g „
Magnesia	2,82	1,50	1,390 g „
Kali	4,07	7,73	0,136 g „
Natron	4,26	1,72	0,613 g „
Phosphorsäure . .	0,24	0,30	
Wasser	0,95	3,24	
Kohlensäure . . .	—	0,28	

Es ist leicht zu sehen, daß alle drei Analysen sich gegenseitig ergänzen: was dem Gestein durch Wasser leicht entzogen werden

¹⁾ M. Dittrich, Über die chemischen Beziehungen zwischen den Quellwässern und ihren Ursprungsgesteinen. Mitt. d. Großherzogl. Bad. Geol. Landesanst. IV, Heft 2, 1901.

konnte, ist im Quellwasser in größerer Menge wiederzufinden, was durch Wasser nur schwer angreifbar war, ist in geringerer Menge im Wasser enthalten und hat sich im Gestein angereichert. Der leicht auslaugbare Kalk ist zum großen Teil verschwunden und im Wasser wieder anzutreffen, die wesentlich schwerer lösliche Magnesia ist in erheblich geringerer Menge in das Wasser übergegangen, übertrifft aber im verwitterten Gestein den Kalk, hinter dem sie vorher um 1% zurückstand, um fast das Doppelte. Der Magnesia ähnelt in gewisser Beziehung das Kali, mit dem Unterschiede jedoch, daß es wesentlich schwerer vom Wasser fortgeführt wird, sich dagegen im verwitterten Gestein ganz besonders aufgespeichert hat. Das Natron umgekehrt hat mehr Beziehungen zum Kalk; im verwitterten Gestein ist kaum noch die Hälfte vorhanden, in der Quelle dagegen relativ viel, es übertrifft dort das Kali, dem es im Gestein gleich war, fast um das Fünffache.

Diese Untersuchungen Dittrichs können als mustergültig für die Beziehung zwischen der Zusammensetzung von Grundwässern und der von ihnen durchflossenen Gesteine betrachtet werden.

In Kalkgebirgen, sowie in allen Gebieten, in denen kohlenaurer Kalk einen wesentlichen Bestandteil der Gesteine bildet, haben wir harte, an gelöstem Kalkkarbonat reiche Gewässer zu erwarten; in solchen Formationen, in denen neben dem Kalkstein Dolomite und Gipse auftreten, spielen neben dem Kalkkarbonat auch Magnesiumkarbonat und Sulfat, sowie Kalzium- und Natriumsulfat eine erhebliche Rolle. Das ist bei solchen Wässern der Trias der Fall, die aus dem Röt, Mittleren Muschelkalk und Mittleren Keuper stammen. Diesen Formationen entstammen alle deutschen Bittersalzwässer.

Die Zechsteinformation, der Obere Buntsandstein, der Mittlere Muschelkalk und der Mittlere Keuper sind, (neben dem oberschlesischen Miozän) die steinsalzführenden Formationen Deutschlands. und auf sie sind unsere natürlichen Solquellen zurückzuführen. S. 400 ist gezeigt worden, wie auch außerhalb des Verbreitungsgebietes der steinsalzführenden Formationen Solquellen auftreten können.

In den weiten Gebieten Deutschlands, die von glazialen Ablagerungen bedeckt werden, herrscht eine ziemlich beträchtliche Eintönigkeit in der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers, wenigstens was die Art der gelösten Stoffe anbetrifft. Kalk und Magnesia, Kali und Natron, Chlor und Kohlensäure bilden die Hauptmasse der im Durchschnitte auf 0,04% sich belaufenden gelösten Bestandteile, unter denen der kohlenaurer Kalk $\frac{2}{3}$ bis mehr als $\frac{3}{4}$ für sich in Anspruch nimmt. Dazu kommt noch ein in den norddeutschen Diluvialwässern niemals ganz fehlender, wenn auch meist nur geringer Gehalt an Eisenoxydulhydrokarbonat, der aber für die Verwertung des Wassers außerordentlich störend ist, weil er an der Luft unter Oxydation zu

Eisenhydroxyd in gelben Flocken ausfällt und das Wasser unansehnlich macht. Hohe Gehalte an Chlornatrium oder an Kalziumsulfat sind in diesen Gebieten, falls es sich nicht um natürliche Solen handelt, fast immer auf Verunreinigungen durch menschliche Abgänge zurückzuführen (Grundwasser in der Nähe von Riesefeldern). In der Braunkohlenformation ist eine häufige Beimengung in den meist recht weichen Wassern ein in Wasser lösliches Bitumen, welches mit Salzen, z. B. Ätzkalk, ausgefällt werden kann. Es verleiht dem Wasser gelbbraune bis dunkelbraune Farbentöne und macht es ungeeignet zum Genusse.

In den alluvialen Schlickern und Sanden vieler großer Flußtäler spielen Eisen- und Manganverbindungen häufig eine recht verhängnisvolle Rolle. Ein gut untersuchtes Beispiel bietet das Oderalluvium bei Breslau. Beyschlag und Michael¹⁾ berichten darüber folgendes:

Ein steter Begleiter der mit jedem Hochwasser im Überschwemmungsgebiet abgesetzten Eisenverbindungen ist das Mangan, und deshalb konnte dasselbe von uns in den Schlickgebieten der Ohle-Oderniederung überall, zum Teil in beträchtlichen Mengen, nachgewiesen werden.

Das Mangan tritt bekanntlich im Boden als kohlen-saures Mangan in einer Form auf, die im Wasser nicht löslich ist. Daher hatten auch die ersten vor Beginn unserer Untersuchungen von anderer Seite veranlaßten Analysen nicht die volle Gewißheit über das Auftreten desselben erbringen können, die der geologische Befund und die Erfahrungen von vornherein verlangten. Es bedarf auch in der Natur erst besonderer chemischer Prozesse, um das unlösliche Mangan in einen löslichen Zustand überzuführen.

Die dunkel gefärbten manganhaltigen Brauneisenerzkörner sind geradezu charakteristische Erscheinungen in dem gesamten, geologisch näher untersuchten Schlickgebiet. Die schwärzliche Färbung der Sande in den Altwasserläufen unter humosem Schlick ist gleichfalls auf sie zurückzuführen. Die Beimengung wird stellenweise so stark, daß man direkt von Mangansanden reden kann.

Der Mangan-gehalt des Breslauer Grundwassers, der sich mit dem hohen Ansteigen des Eisengehaltes einstellte, wird daher verständlich, sobald eine Erklärung für die Überführung der im Boden massenhaft vorhandenen unlöslichen Formen in die lösliche Form der Mangansulfate gegeben werden kann. Eine solche ist aber leicht zu finden.

In den mit organischen Substanzen erfüllten alluvialen Schichten, namentlich in solchen von humoser Beschaffenheit, mit reduzierenden Substanzen, bildet sich Schwefeleisen, welches bei Zutritt von Luft unter Abscheidung von freier Schwefelsäure zu Ferrosulfat zersetzt wird.

¹⁾ F. Beyschlag und R. Michael, Die Grundwasserverhältnisse von Breslau. Zeitschr. f. prakt. Geol. Jahrg. XV, 1907, S. 153—164.

Durch letzteres wird das im Boden vorhandene unlösliche Mangan-superoxyd in Mangansulfat übergeführt; da dasselbe im Rieseler nicht beseitigt werden kann, gelangt es in die Wasserleitung und wird hier durch die Karbonate des in reichlicher Menge zugesetzten Oderwassers wieder ausgefällt, zunächst als Karbonat und dann unter Abspaltung von Kohlensäure als flockiger Niederschlag von Manganhydroxyd.

Sowie das Wasserwerk in Betrieb kam, wurden infolge der eintretenden beträchtlichen Absenkung des Wassers die obersten Bodenschichten wasserleer; an Stelle des Wassers drängten sich Luftmengen in die Zwischenräume der wasserfrei gewordenen Sandkörner; die zahlreichen Risse im Schlickboden in trockener Jahreszeit erleichterten den Luftzutritt überdies.

Eisen und Mangan waren überall vorhanden, und es wurden nun die erwähnten Oxydationsprozesse eingeleitet.

Die plötzliche Überflutung durch das Hochwasser im März verhinderte den Austritt der Luft nach der Oberfläche; dieselbe wurde nach unten gedrückt, das Wasser drängte derselben nach, und mit bezw. nach der Luft gelangte dasselbe in den Bereich der Saugbrunnen, indem es auf dem Wege dorthin die in lösliche Form übergeführten und aufgespeicherten Eisen-Manganverbindungen mit forttrieb und rein mechanisch nach unten in die Saugbrunnen spülte. Der Vorgang wurde beschleunigt dadurch, daß von oben durch das Hochwasser gedrückt und von unten gesaugt wurde. Etwa 18 Stunden nach Überflutung der dritten Brunnen-gruppe war die Einwirkung des Hochwassers im Sammelbrunnen I zu spüren.

Am besten lassen sich die Einflüsse des durchflossenen Gesteins auf die chemische Zusammensetzung des Wassers überblicken und erkennen, wenn in einem geologisch mannigfaltig zusammengesetzten Gebiete eine größere Zahl von Quellen aus möglichst verschiedenen Gesteinen zutage tritt. Ein solches Gebiet ist der Meißner in Hessen. An seinen Hängen entspringen Quellen aus dem Basalte, aus der Braunkohlenformation, aus dem Muschelkalke, aus dem Mittleren Buntsandstein und aus dem Oberen Zechstein. Der größere Teil des Wassers tritt in natürlichen Quellen zutage, andere werden auf Stollen, die der bergbaulichen Ausbeutung der Braunkohle dienen, zutage gefördert. Ein Profil der Schichten am Meißner ist in Fig. 209 gegeben bis herab zum Mittleren Buntsandstein. Unter ihm folgt der minder durchlässige bis undurchlässige Untere Buntsandstein, und am westlichen Fuße des Berges hebt sich bei Vockerode aus dem Buntsandstein eine kuppelförmige Aufwölbung von Oberem Zechstein heraus. Die Muschelkalkquellen des Meißner sind in Fig. 225 und 226, die Zechsteinquelle in Fig. 216 dargestellt. Ich gebe im folgenden eine Zusammenstellung der Analysen der Mehrzahl der Meißnerquellen, aus der die chemische Ähnlich-

keit zusammengehöriger, bzw. dem gleichen Gesteine entspringender Quellen klar hervorgeht.

1. Basaltquellen

	1	2	3	4
Chlor	10,640	20,57	7,447	8,87
Schwefelsäure	9,604	13,72	10,990	8,32
Kalkerde	8,568	18,95	8,404	8,65
Magnesia	8,839	3,76	5,506	2,54
Organische Substanz	19,170	20,98	6,391	88,00
Trockenrückstand	92,00	144,00	66,00	88,00
Glühverlust	39,00	56,00	32,00	40,00
Härte	2,09 ⁰	2,41 ⁰	1,61 ⁰	1,22 ⁰

1—3 Seesteinquellen. 4 Mühlborn

2. Muschelkalkquellen

	1	2
Chlor	8,51	8,86
Schwefelsäure	12,35	17,42
Kalkerde	46,14	79,42
Magnesia	7,39	10,14
Organische Substanz	24,99	16,45
Trockenrückstand	144,00	218,00
Glühverlust	25,00	30,00
Härte	5,65 ⁰	9,35 ⁰

1 Gespringe, 2 Kalter Born.

Bezeichnend ist der hohe Gehalt an kohlensaurem Kalke.

3. Buntsandsteinquellen

	1	2	3	4	5
Chlor	0,39	0,496	0,724	0,742	0,355
Schwefelsäure	5,012	3,100	1,350	1,590	3,900
Kalkerde	2,267	1,031	1,175	1,546	1,031
Magnesia	1,450	0,906	0,598	1,030	1,300
Organische Substanz	0,550	0,344	0,664	0,997	0,601
Trockenrückstand	26,00	16,00	8,300	7,800	14,00
Glühverlust	8,00	10,00	3,00	2,40	7,60
Härte	4,64 ⁰	2,29 ⁰	2,00 ⁰	2,96 ⁰	3,24 ⁰

1 Laufbrunnen am Schwalbental, 2 Quelle hinter dem Schwalbentaler Steigerhaus, 3 und 4 Quellen am Schirrenhain, 5 Sogen. Vockeröder Quelle unter Schwalbental.

Die Quellen mit nur 0,00078—0,00926‰ gelösten Bestandteilen gehören zu den denkbar reinsten, an destilliertes Wasser herankommenden natürlichen Wässern.

4. Aus der Braunkohlenformation stammende, z. T. aus Buntsandstein zutage tretende Wässer

	1	2	3	4	5
Chlor	11,7	9,574	8,87	8,51	15,6
Schwefelsäure	42,8	34,57	48,02	114,40	48,19
Kalkerde	13,5	28,83	25,71	107,5	13,8
Magnesia	3,6	19,13	22,46	31,88	20,65
Organische Substanz	42,0	16,74	5,06	18,31	21,17
Trockenrückstand	160,0	159,0	180,0	438,0	184,0
Glühverlust	28,0	21,0	32,7	90,0	30,0
Härte	1,8 ⁰	5,55 ⁰	5,72 ⁰	15,2 ⁰	4,27 ⁰
	6	7	8	9	10
Chlor	12,7	8,15	8,87	10,28	8,15
Schwefelsäure	34,3	68,6	51,28	63,63	33,27
Kalkerde	13,1	31,3	15,04	22,04	24,66
Magnesia	Spur	18,1	24,45	25,36	11,41
Organische Substanz	38,60	13,9	9,78	11,52	15,30
Trockenrückstand	80,0	192,0	150,0	203,0	178,0
Glühverlust	10,0	40,0	35,0	70,0	78,0
Härte	1,31 ⁰	5,66 ⁰	4,82 ⁰	5,77 ⁰	4,05 ⁰

1 Wetterstollen am Schwalbental, 2 Oberer Stollen an der Halde, 3 Unterer Stollen, 4 Friedrichstollen, 5 Quelle am ehemaligen Stall am Schwälbental, 6 Quelle neben Friedrichstollen, 7—10 Sogen. Vockeröder Quellen unterhalb Schwalbental.

Die vier letztgenannten Quellen entspringen allerdings im Mittleren Buntsandstein, aber ihre chemische Zusammensetzung zeigt, daß ihr Wasser aus der darüber liegenden Braunkohlenformation stammt. Bezeichnend ist der hohe Gehalt an Sulfaten.

5. Zechsteinquelle im Dorfe Vockerode

Chlor	9,0	Kali	15,3
Schwefelsäure	735,7	Kieselsäure	8,0
Kalkerde	540,0	Trockenrückstand	1510,0
Magnesia	52,5	Glühverlust	30,0

Typische Gipsquelle.

In der Reihenfolge ihres mittleren Gehaltes an gelösten Stoffen ordnen sich demnach diese Quellen wie folgt:

am ärmsten sind die Buntsandsteinquellen mit	14,4 mg	} Trockensubstanz im kg
dann folgen die Basaltquellen	„ 97,5 „	
hierauf die Muschelkalkquellen	„ 181 „	
dann die Tertiärquellen	„ 192,4 „	
und schließlich die Zechsteinquelle	„ 1510 „	

Nicht minder charakteristisch ist der mittlere Gehalt an Schwefelsäure, welcher beträgt

bei den Buntsandsteinquellen	2,99 mg im kg
bei den Basaltquellen	10,16 „ „ „
bei den Muschelkalkquellen	14,89 „ „ „
bei den Tertiärquellen	53,90 „ „ „
bei der Zechsteinquelle	735,70 „ „ „

Die Unterschiede der einzelnen Quellengruppen würden noch schärfer hervortreten, wenn der Gehalt an Kohlensäure und an Alkalien in den Analysen zum Ausdrucke gelangte.

57. Kapitel

Quellenablagerungen

Vier Umstände sind es im wesentlichen, die die Wiederabscheidung von im Wasser gelösten Mineralstoffen nach dem Zutagetreten des Grundwassers als Quelle bewirken, nämlich Temperaturerniedrigung, Druckverminderung, Kohlensäureverlust und Berührung mit dem Sauerstoff der Luft. In den gewöhnlichen kalten Quellen spielt nur die Ablagerung von Eisenoxydhydrat und von Kalziumkarbonat eine Rolle, und zwar erfolgt am schnellsten die Abscheidung der Eisensalze. Das als Eisenhydrokarbonat im Wasser gelöste Eisen ist ein sehr leicht zersetzbarer Körper, der in Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft unter Kohlensäureabgabe sich in Eisenhydroxyd umwandelt. Dieses fällt in braunen Flocken aus und bewirkt eine Färbung des Bodens in der Umgebung der Quelle, die je nach der vorhandenen Eisenmenge von hellem Gelb bis zu tiefstem Rotbraun gehen kann. Bei sehr reichem Eisengehalt kann dieser als selbständige reine Bildung in Gestalt von Eisenocker abgeschieden werden. Auf diesem Prozeß der Ausfällung des Eisens durch den Sauerstoff der Luft beruhen die Methoden der Enteisung eines Wassers. Die allermeisten Quellen Norddeutschlands, die dem Diluvium entstammen, sind eisenhaltig, und auch die den älteren Gesteinen entstammenden Grundwässer führen zum allergrößten Teile ganz erhebliche Eisenmengen. Nur solche Wässer, die in sehr eisenarmen oder schwer zersetzbaren Gesteinen zirkulieren, sind frei von Eisenbeimengungen, also besonders die Gewässer, die in Quarziten, hellen

Quarzsandsteinen des Jura, Quarzkiesen und Sanden des Tertiärs und anderen ähnlich eisenarmen Bildungen sich bewegt haben.

Auf Kohlensäureverlust beruht die Abscheidung von kohlensaurem Kalk, der in Form von Kalktuff erfolgt. Der Kalk ist als Kalziumhydrokarbonat gelöst und verliert bei der Berührung mit der atmosphärischen Luft die eine Hälfte seiner Kohlensäure. Dadurch wird er in unlösliches Kalziumkarbonat umgewandelt und fällt aus, und zwar erfolgt diese Ausfällung in Gestalt eines zellig-porös struierten Kalks, der als Kalktuff bezeichnet wird und ein außerordentlich charakteristisches Kennzeichen des jetzigen oder ehemaligen Auftretens kalkreicher Quellen bildet. Der Absatz von Kalktuff seitens einer Quelle kann aber nur erfolgen, wenn das Wasser der Quelle nach seinem Zutagetreten mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt und dadurch Kohlensäure verliert, ein Vorgang, der besonders durch rasche Bewegung des Wassers an Abhängen oder in Tälern mit bedeutendem Gefälle begünstigt wird. Ferner ist zur Bildung von Kalktuff ein gewisses Mindestmaß von gelösten Kalksalzen im Wasser erforderlich. Sobald die Gesamthärte des Wassers unter 18° beträgt, erfolgt überhaupt keine Kalktuffabscheidung; erst bei 20° beginnt sie in geringem Umfange, um bei 21° bereits kräftig einzusetzen. Die Abscheidung des Kalks erfolgt meist auf Stengeln und Blättern von Pflanzen, Schilf, Moosen, Gräsern, Characeen und anderen im Wasser oder auf feuchtem Boden wachsenden Pflanzen. Die so entstandenen und die Form ihrer pflanzlichen Unterlage oft noch verratenden Kalktuffe sind hellfarbig, oder, falls zusammen mit dem Kalk auch Eisen und Mangan abgesetzt wurden, gelbroth oder schwarz in den verschiedensten Abstufungen gefärbt. Gelegentlich enthalten sie auch Einlagerungen von humosen Bildungen. Der Kalktuff bildet bei der Quelle beginnende Ablagerungen, die dem Laufe des kalkabscheidenden Wassers folgen. An Gehängen entstehen Ablagerungen mit Bänken in geneigter Stellung. In Talböden ist der Kalktuff mehr oder weniger horizontal geschichtet. Liegt eine Reihe kalkabsetzender Quellen nebeneinander, so entstehen lange Bänder von Kalktuff am Gehänge. Sind beide Talseiten mit solchen Quellen besetzt, so können die entstehenden Kalktuffmassen über den Talboden hinweg zusammenwachsen und eine völlige Ausfüllung von Tälern oder von kesselförmigen Becken bewirken. Naturgemäß sind solche Kalktuffablagerungen am häufigsten und mächtigsten an Quellen, die aus Kalksteingebirgen entspringen, und wir finden sie daher an zahlreichen Stellen im Gebiete des Muschelkalks und der Juraformation. Aber sie fehlen auch nicht in Sandsteingebieten, wenn der Sandstein reich an einem kalkigen Bindemittel ist. Ebenso treten auch Kalktuffe im nordischen Glazialdiluvium auf und zwar deshalb, weil silurische und kreta-zeische Kalke an der Zusammensetzung dieses Diluviums einen starken

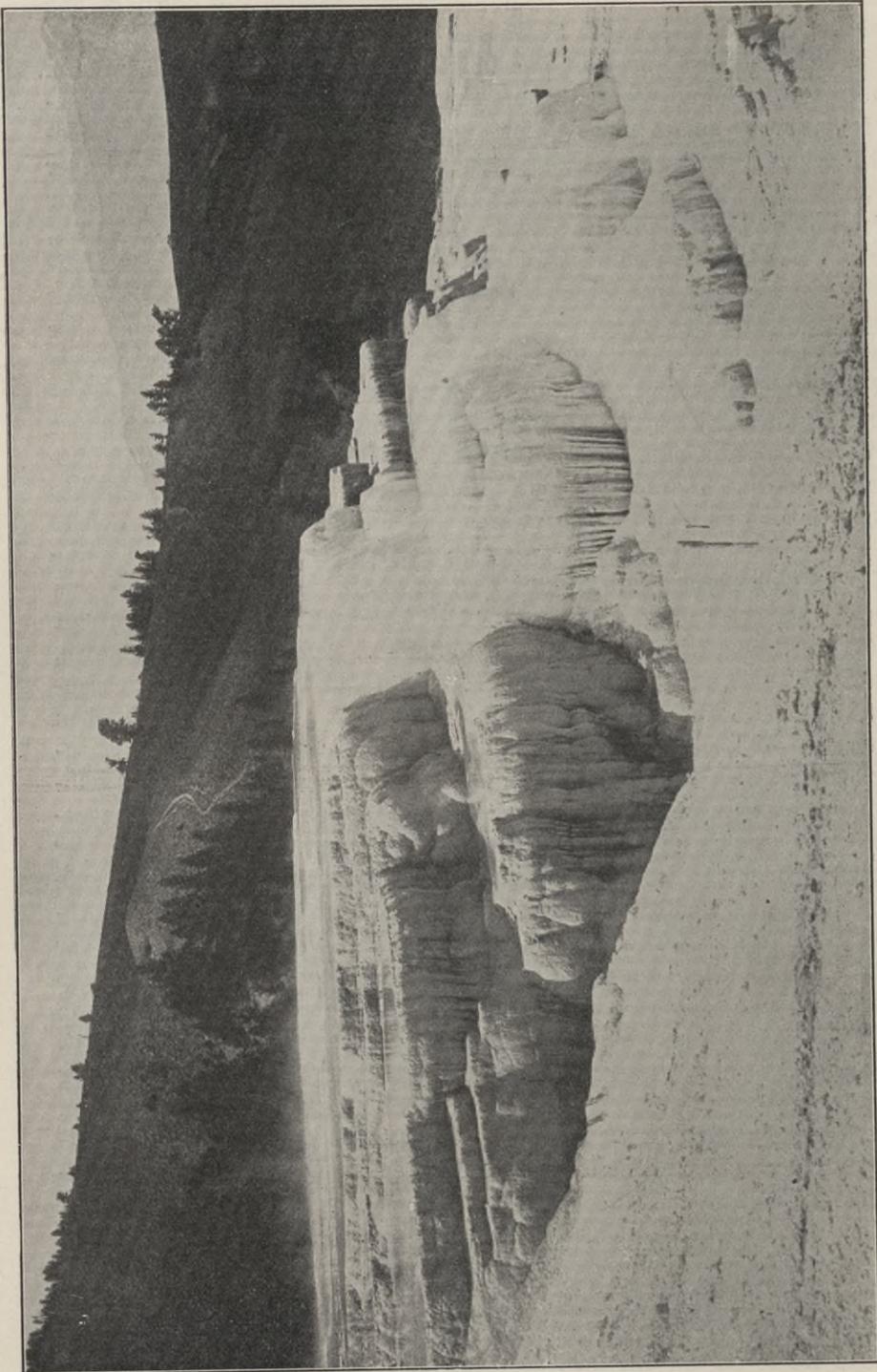


Fig. 241. Kalksinterrassen der Mammoth Hot Springs im Yellowstonepark

Anteil besitzen. Besonders in den Tälern des Baltischen Höhenrückens finden sich an zahlreichen Stellen Kalktufflager. Sehr umfangreich ist die Abscheidung von kohlensaurem Kalke an heißen Quellen. Im Gebiete des Yellowstoneparkes finden sich ausgedehnte, schön terrassierte Kalksinterablagerungen, von denen diejenigen der Mammuth Hot Springs und die um den Krater des Oblong Geysir herum erzeugten in den Figuren 241 und 242 dargestellt sind.

Eine besondere Form der Kalkabscheidung der heißen Quellen ist der Sprudelstein, Erbsenstein oder Pisolith, eine Anhäufung etwa erbsengroßer, konzentrisch-strahlig struierter Kugeln von Aragonit, die besonders vom Karlsbader Sprudel bekannt sind. Diese Kugeln entstehen dadurch, daß im sprudelnden Wasser suspendierte Sandkörnchen oder Gasbläschen allmählich mit immerfort wachsenden Schichten von Aragonit überkleidet werden, bis ihr Gewicht zu groß wird, als daß sie das Wasser noch schwebend erhalten könnten.

Bei den heißen Quellen treten zu den bereits besprochenen Abscheidungen von Eisenocker und Kalksinter als besonders wichtige Absätze noch die Kieselsäure und der Schwefel hinzu. Die Kieselsäure bildet als Kieselsinter mächtige Ablagerungen um viele heiße Quellen; sie baut die Kegel der isländischen und eines Teiles der nordamerikanischen Geysire auf und schafft zusammen mit kohlensaurem Kalk und zum Teil unter Mitwirkung außerordentliche Hitze vertragender Algen die prachtvollen terrassierten Ablagerungen vieler heißer Quellen im Yellowstonepark. Selbst in ihrem unterirdischen Wege wird von den Quellen bereits infolge der Abkühlung des Wassers Kieselsäure abgeschieden, dadurch der Quellweg gedichtet, das Grundwasser abgehalten, aber schließlich auch durch zunehmende Profilverengung die Quelle vollständig verstopft.

Absätze von Schwefel beobachten wir naturgemäß am häufigsten bei den Schwefelwasserstoff produzierenden Quellen, die bei Berührung mit der atmosphärischen Luft unter Abspaltung des Schwefels ihren Schwefelwasserstoffgehalt oxydieren.

Indirekt durch Quellentätigkeit veranlaßt sind die Humusablagerungen. Die Gegenwart des fließenden Wassers am Quellort, die von ihm ausgehende Benetzung des Bodens und die durch die Quelle regulierte Temperatur des Bodens, die ein Gefrieren im Winter in einem gewissen Umkreise um die Quelle verhindert, bedingen eine starke Anziehungskraft der Quellorte auf Feuchtigkeit liebende Pflanzen. Wenn die Quellen nicht vollkommen zutage treten, so kommt es nur zu einer Durchfeuchtung des Bodens, es entstehen die sogenannten Naßgallen, das sind dauernd feuchte, mit Binsen und Riedgras unregelmäßig bewachsene Flächen, die die ungewöhnliche Bodenfeuchtigkeit anzeigen. Ist der Wasserreichtum größer, so wächst die Zahl der sich ansiedeln-



Fig. 242. Krater des Oblong Geyser mit Kalksinterablagerungen im Yellowstonepark

den Pflanzen, und ihre vermodernden Reste liefern die Ablagerungen von Humus. Auf diese Weise entstehen entweder dünne Moorerdebildungen, in denen eine Vermischung des Humus mit der Gesteinsunterlage eingetreten ist, oder selbständige Humusablagerungen in Form von Torfmooren. Meist ziehen sich diese vom Quellorte aus an den Gehängen hinunter und besitzen dann die Form des Gehängemoores. Um manche Quellen herum bilden sich auch richtige Quellkuppen von lockerem schlammigen Torfe, die sich 2—3 m über ihre Umgebung erheben können.

Auf der Mineralabscheidung durch Quellen beruht die häufig zu beobachtende Abdichtung der Quellwege vieler heißer und mineralischer Quellen gegen die in ihrer Umgebung zirkulierenden gewöhnlichen Grundwässer.

Bei der außerordentlichen Verbreitung, welche bis zu gewissen Tiefen der Erde das Grundwasser vornehmlich in allen klüftigen Gesteinen und in den großen Verwerfungsspalten besitzt, würde es in den meisten Fällen die aufsteigenden Mineralwässer im höchsten Maße verdünnen und entwerten. Daß in der Tat viele Mineralquellen solche Zuflüsse von Grundwasser erhalten, geht aus den Schwankungen ihrer Wassermenge und Zusammensetzung auf das deutlichste hervor und ist an und für sich durchaus kein Grund, sie als minderwertig zu betrachten. Andererseits aber sehen wir viele Quellen mit einer so auffälligen Gleichmäßigkeit der Temperatur, der Ergiebigkeit, des Gasgehaltes und der chemischen Zusammensetzung die Oberfläche erreichen, daß jeglicher Zufluß gewöhnlichen Grundwassers bei ihnen ausgeschlossen sein muß. Man beobachtet sogar, beispielsweise in Neuseeland und Island, daß siedende Quellen inmitten eines Flusses mit eisigem Wasser oder im Meere, oder mineralische Quellen, wie bei Ems, im Bette des Flusses zutage treten. Alle diese eigentümlichen Erscheinungen erklären sich aus der chemischen Zusammensetzung des Mineralwassers, die es der Quelle ermöglicht, den Kanal, auf welchem sie aus der Tiefe zur Oberfläche emporsteigt, selbsttätig zu dichten und damit den Zutritt des Grundwassers zu verhindern.

Wir haben schon oben gesehen, daß das Kalziumhydrokarbonat unter Abspaltung der Hälfte der Kohlensäure unlöslich wird. Eine solche Abscheidung braucht nicht erst über Tage zu erfolgen, sondern kann auch schon in gewisser Entfernung vom Austrittspunkt der Quelle in der Erde eintreten. Das sich abscheidende Kalziumkarbonat schlägt sich alsdann auf den Wandungen des Quellkanals nieder und überzieht dieselben unter gleichzeitiger Verkittung der einzelnen Gesteinstrümmen mit einer undurchlässigen Kalksinterschicht. In ganz ähnlicher Weise kann auch das Eisenhydrokarbonat ausgefällt werden und es entstehen dann gewissermaßen natürliche Verrohrungen der Quellröhre mit Brauneisenstein. Das wichtigste Dichtungsmittel für viele Quellen und ins-

besondere für die Thermen bildet die Kieselsäure. Wie wir oben gesehen haben, ist sie in heißem alkalischen Wasser löslich, aber ihre Löslichkeit vermindert sich mit abnehmender Temperatur. Infolgedessen fällt schon, wenn das Wasser sich bei abnehmendem Drucke bis auf 100° abgekühlt hat, ein Teil der Kieselsäure aus, und diese Abscheidung dauert fort bis zum Erreichen der Quellschwelle und darüber hinaus. So entsteht tief in der Erde eine richtige Abdichtung der Quelle mit Kieselsinter, und so erklärt sich nicht nur die erfolgreiche Absperrung des Grundwassers, sondern auch der Umstand, daß gewöhnliches Wasser und Mineralwasser, unmittelbar nebeneinander, unvermischt der Erde entspringen. Es erklärt sich ferner daraus, daß hart nebeneinander mehrere Mineralquellen mit verschiedener Temperatur und Zusammensetzung zutage treten; die einzelnen Wasserstränge haben verschiedene Gebirgsschichten durchwandert, dabei verschiedenartige Mineralien in Lösung übergeführt und ihre Kanäle gegeneinander abgedichtet. Es ist deshalb einleuchtend, daß alle Eingriffe in den außerordentlich zarten und empfindlichen Mechanismus der Mineralquellen mit größter Überlegung und unter Berücksichtigung aller dieser Möglichkeiten ins Werk gesetzt werden müssen, wenn man nicht die Ergiebigkeit und die Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung der Quelle gefährden will.

8. Die Wasseruntersuchung

58. Kapitel

Die Methoden der Probeentnahme

Die Probeentnahme¹⁾. Allgemeine Regeln. Für die maßgebende Beurteilung eines Wassers ist vor allem die Erzielung einer Durchschnittsprobe erforderlich, welche zufällige Verunreinigungen und namentlich solche, die durch die Art der Entnahme bedingt sein können, ausschließt. Die zu treffenden Maßnahmen werden nach der Örtlichkeit und insbesondere nach der Zugänglichkeit des Wassers einzurichten sein.

Die einfachste Art der Beschaffung eines Wassers zu Genuß- und Gebrauchszwecken ist die Benutzung einer Quelle, d. h. desjenigen Grundwassers, welches auf natürlichem Wege zutage tritt. In diesen Fällen kann die von Natur aus vorhandene Austrittsstelle erhalten sein, oder sie ist durch Einfassung (Ummauerung u. dergl.) zu einem größeren Behälter umgestaltet, oder das Wasser ist durch Einlagerung eines

¹⁾ Ohlmüller, Die Untersuchung des Wassers, Berlin 1894, S. 5—14.

Rohres oder eine Rinne zum Ausflusse an einem bestimmten Punkte gezwungen. Bei den erstgenannten Formen von Quellen wird zu berücksichtigen sein, daß man sowohl Verunreinigungen, welche die Oberfläche des Wassers bedecken, wie schwimmende Teile von Blättern, Pollenkörner, Algen, Staub, vermeidet, als auch ein Aufrühren des Schlammes, der durch Ablagerungen organischer oder anorganischer Natur gebildet ist, tunlichst verhütet. Das Vorhandensein eines Ausflußrohres schließt solche Befürchtungen (namentlich hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit des Wassers) nicht immer vollständig aus; jedoch ist die direkte Füllung des Entnahmegefäßes zulässig, da man hierdurch gewiß eine Probe des Wassers erlangen wird, wie solches zur Verwendung kommt. Sobald das Grundwasser nicht freiwillig zutage tritt, sondern erst durch Pumpvorrichtungen gehoben werden muß, ist ein zehn Minuten langes Abpumpen der Entnahme vorzuschicken, um das in den Röhren stagnierende Wasser zu beseitigen und deren Spülung zu bewerkstelligen.

In gleicher Weise wird man auch das Wasser, welches mittels eines Rohrnetzes zur Benutzung übergeben wird, sei es, daß es aus einer Quelle kommt oder als Oberflächenwasser durch Reinigungsvorrichtungen zum Gebrauche geeignet gemacht worden ist, immer nur an einer vielgebrauchten Zapfstelle entnehmen, nachdem man mindestens zehn Minuten lang mit größtmöglicher Geschwindigkeit hat ablaufen lassen.

Besondere Vorsichtsmaßregeln erfordert die Entnahme aus Flüssen, Teichen und Seen. Wie bei der offenen Quelle wird man Annäherung an die Oberfläche oder den Grund vermeiden. Es mag die Frage auftreten: soll man seichte oder tiefe Stellen wählen oder soll man den Mittelweg beschreiten, soll man sich an die Mitte oder den Rand des Gewässers halten? Hier bieten sich aus den verschiedensten Ursachen unüberwindliche Schwierigkeiten für die Erzielung einer Durchschnittsprobe, so daß man zur Entnahme mehrerer, oft sogar vieler Proben genötigt sein wird. Jedenfalls wird man immer die Untersuchung auf Stellen oberhalb und unterhalb der vermuteten Verunreinigungen ausdehnen, um zu verwertbaren Vergleichszahlen zu gelangen.

Bei Gewässern ohne oder mit nur geringer Bewegung, welche eine Beimengung salzhaltigen Wassers vermuten lassen, wird man nicht nur an den seichten, sondern auch an den tiefen Stellen, und an letzteren stets auch vom Grunde Proben schöpfen, da diese Verunreinigung infolge ihres höheren spezifischen Gewichtes das Bestreben hat, tiefer gelegene Stellen aufzusuchen. Die Diffusion kann diese Erscheinung nicht immer vollständig ausgleichen; sie bleibt manchmal sogar bei relativ starker Strömung noch auf verhältnismäßig langen Strecken des Wasserlaufes bestehen. Nur bei kleineren Flüssen mit vielen starken Krümmungen und Serpentinaen ohne beträchtliche Tiefenunterschiede

pflegt sich in kurzer Zeit ein Ausgleich in der chemischen Zusammensetzung der gesamten Wassermenge einzustellen. Zu große Annäherung an den Uferstrand ist zu widerraten, falls sie nicht aus besonderen Gründen erwünscht erscheint.

Für die Beurteilung der Verunreinigung solcher Wasserflächen ist es oft zweckdienlich, die Beschaffenheit des Grundes kennen zu lernen,

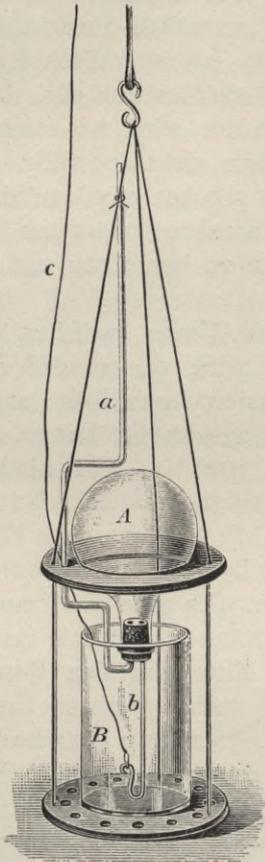


Fig. 243

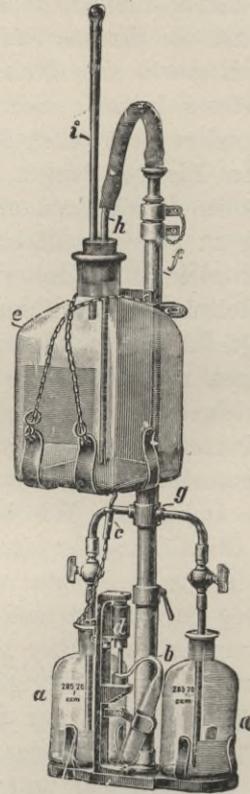


Fig. 244

um aus der Menge und Beschaffenheit der Sinkstoffe, welche sich abgelagert haben, Schlüsse zu ziehen.

Für die Entnahme von Wasserproben aus Bohrlöchern ist von Lepsius ein sehr zweckmäßiger Apparat (Fig. 243) angegeben worden. Ein Gestell trägt ein becherglasähnliches Gefäß B und einen nach unten gerichteten Glaskolben A. In die Mündung des letzteren sind zwei Glasrohre eingefügt, von welchen das eine, beiderseits offene a nach oben umgebogen, das andere b unten zu einer Kapillare aus-

gezogen und abgeschmolzen ist. Der Kolben und das erstere Glasrohr werden vollständig mit Quecksilber gefüllt und die Kapillare des anderen Rohres mit einer Leine *c* versehen. So hergerichtet versenkt man das Instrument mittels eines tragfähigen Drahtseils in die gewünschte Tiefe und bricht die Kapillare durch Ziehen an der Leine ab. Das Quecksilber ergießt sich hierauf in das untere Gefäß und saugt durch das aufwärts gerichtete Rohr Wasser in den Kolben nach. Hat man die Wasserprobe zutage gefördert, so wird man sie selbstverständlich für den Transport in eine andere Flasche umfüllen und das Instrument für eine weitere Entnahme in entsprechender Weise herrichten.

Ausführung der Probeentnahme. Am zweckmäßigsten füllt man die Wasserprobe in eine Glasflasche mit eingeriebenem Glasstöpsel, welcher während des Transportes mit einer Gummikappe überzogen wird. Diese Gefäße sind solchen aus Steingut oder Ton gefertigten immer vorzuziehen, weil man sich bei ihrer Durchsichtigkeit von der Reinheit der inneren Oberfläche jederzeit überzeugen kann. Vor dem Gebrauch ist eine solche Flasche mittels gewöhnlichen Wassers, nach Umständen unter Zusatz von Schwefelsäure vollkommen zu reinigen und hierauf mit destilliertem Wasser so lange nachzuspülen, bis man überzeugt ist, daß jede Spur des Reinigungsmittels (namentlich der Säure) beseitigt ist.

Man kann hierauf die offenen Flaschen zum Trocknen umgekehrt hinstellen und dies durch Einlage eines zusammengelegten Streifens Filtrierpapier beschleunigen, welchen man in den Hals hineinsteckt und über ihn hervorragen läßt. Die endgültige Füllung mit dem zu prüfenden Wasser darf erst erfolgen, nachdem man das Gefäß mehrmals unter kräftigem Umschütteln mit ihm ausgespült hat.

Einen leicht transportablen Wasserentnahmeapparat nach Spitta-Imhoff bringt nach dem Modell der Kgl. Preußischen Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung Paul Altmann in Berlin, Luisenstr. 47, zum Preis von 135 Mark in den Handel (Fig. 244).

Mit dem Apparat werden gleichzeitig drei Quantitäten Wasserproben aus einer ganz bestimmten Tiefe entnommen für chemische und bakteriologische Untersuchung und zur Bestimmung des Gasgehaltes (Sauerstoff).

Durch den Auftrieb, welchen die große viereckige Flasche *e* unter Wasser erleidet, wird selbsttätig ein Fallgewicht *d* ausgelöst; dieses zertrümmert den Hals *b* des kleinen Abschlagröhrchens, so daß die Probe zur bakteriologischen Untersuchung aufgenommen wird. Die beiden mit genauer Inhaltsangabe versehenen, auf der Grundplatte fixierten Flaschen *a* dienen für einwandfreie Entnahme von Proben zur Bestimmung des Gasgehalts (Sauerstoff) im Wasser. Das Wasser tritt ein in den Hals der Flaschen *a* und läuft durch das Hahnrohr über *g*

und f bei h in die Flasche e. Durch i entweicht die Luft. Mittels c wird das Fallgewicht d an der Flasche e befestigt, durch deren Auftrieb es gelöst wird. Der ganze Apparat läßt sich bei Befestigung an den Ausziehstock bei f bis auf 1 m unter Wasseroberfläche versenken, liefert also einwandsfreie Proben zur chemischen Analyse, zur bakteriologischen Untersuchung und zur Prüfung des Gasgehaltes des Wassers aus dieser Tiefe.

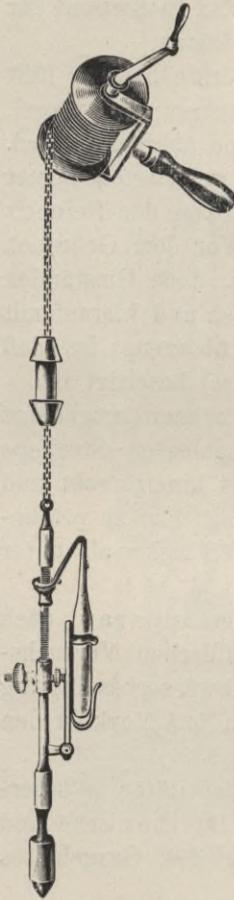


Fig. 245

Für die Entnahme einer kleinen, für die bakteriologische Untersuchung völlig ausreichenden Probe aus beliebiger Tiefe eines Bohrloches oder Brunnens dient der in Fig. 245 abgebildete kleine Apparat (erhältlich bei Paul Altmann, Berlin, Luisenstraße 47). An einer mit Längeneinteilung versehenen, über eine Rolle laufenden Kette ist das Entnahmegefäß angebracht, welches aus einer evakuierten, oben ausgezogenen und, wie in der Figur angegeben, gebogenen Glasröhre besteht. Ist dieselbe bis zur gewünschten Tiefe im Wasser eingesenkt, so läßt man an der Kette ein Laufgewicht niedergleiten, durch welches das kapillare Ende dieser Röhre zertrümmert wird, worauf diese sich mit Wasser füllt. Die Enge der Öffnung verhindert eine Vermischung mit dem Wasser höherer Schichten beim Herausziehen.

Die Menge des zu entnehmenden Wassers. Bestimmte Vorschriften über die Menge des zu entnehmenden Wassers zu geben ist schwierig, da es einerseits von der Gewandtheit des einzelnen abhängt, die Reihenfolge der nötigen Bestimmungen praktisch zu gruppieren, und es andererseits nur in seltenen Fällen erforderlich sein wird, die Untersuchung auf alle allenfalls möglichen Bestandteile des Wassers auszudehnen. Durchschnittlich wird eine Probe von ungefähr zwei Litern genügen; jedoch kann ein Zuviel hier nicht schaden, zumal ein Mißlingen der einen oder anderen Analyse eine Lücke im Gesamtergebnis im Gefolge haben

kann, welche wegen Mangels des gleichen Untersuchungsmateriales nicht mehr auszufüllen ist.

Die Temperatur der Wasserprobe. Gleichzeitig mit der Entnahme ist die Prüfung der Temperatur des Wassers auszuführen, da diese sofortigen Veränderungen ausgesetzt ist. Pettenkofer hat für diesen Zweck ein Thermometer (Schöpfthermometer Fig. 246) angegeben, dessen Kugel

mit einem oben offenen Gefäß umschlossen ist. Letzteres füllt sich beim Einsenken mit Wasser, wodurch Bewegungen des Quecksilberfadens durch äußere Einflüsse bis zum Augenblick des Ablesens tunlichst beseitigt werden. Das Thermometer wird an einer eingeteilten Leine bis zur beabsichtigten Entnahmetiefe herabgelassen. Das hierbei in das umschließende Gefäß eingetretene Wasser wird durch mehrmals ausgeführtes, ruckweises Anziehen durch das zu prüfende Wasser ersetzt. Nach mehreren Minuten darf man annehmen, daß sich das Thermometer auf die Temperatur der jeweiligen Wasserschicht eingestellt hat; hierauf wird es rasch herausgezogen und abgelesen. Selbstverständlich muß das Thermometer in gewissen Zeitabständen auf seine Richtigkeit geprüft und demgemäß mit Korrektur versehen werden.

Vorläufige Prüfung durch Gesicht, Geschmack, Geruch und Reaktion. Es ist von Vorteil, bei der entnommenen Probe die Beobachtungen gleich zu verzeichnen, welche durch die eben bezeichneten Sinnesorgane gemacht werden können; sind die Ergebnisse dieser Prüfung auch nicht maßgebend, so bieten sie doch oft einen Behelf für die nachträglich auszuführende physikalische und chemische Untersuchung. Man wird sich von der Färbung des Wassers überzeugen und zu beurteilen versuchen, ob etwaige Trübungen durch größere oder feinere schwimmende Bestandteile verursacht sind. Das Aussehen des Wassers rechtfertigt manchmal eine vermutete Verunreinigung und der Geschmack und Geruch sind oft geradezu leitend für die weitere Wahl des Entnahmeortes. In gleichem Sinne muß eine Vorprüfung der chemischen Reaktion durch empfindliches Lackmuspapier aufgefaßt werden.

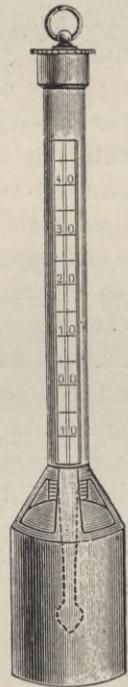


Fig. 246

Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse. Um die Ursachen und Wege der Verunreinigung von Wässern zu erforschen, muß der Probeentnahme eine sorgfältige Prüfung der Umgebung vorausgeschickt werden. In dieser Hinsicht kommen in Betracht die Nachbarschaft von Ortschaften und deren Einrichtungen zur Entfernung der Abfallstoffe und Fäkalien, sodann Fabriken und deren Beseitigung der Abwässer, und Bergwerke hinsichtlich der Beschaffenheit ihrer Stollenwässer. Der Inhalt einer durchlässigen Düngergrube oder eines undichten Siels kann beträchtliche Verunreinigungen bei Brunnen im Gefolge haben. Es wird ferner in manchen Fällen die Art des Landwirtschaftsbetriebes zu berücksichtigen sein, ob vorwiegend Acker-, Wiesen- oder Waldkultur vorhanden ist, ob Stalldünger oder

sogenannter künstlicher (Kainit, Phosphorit, Thomasschlacke, Gips und dgl.) zur Verwendung kommen.

Ausgedehnte Flächen von Sumpf, Torf- oder Moorablagerungen verleihen dem Wasser bestimmte Eigenschaften; es nimmt mitunter Huminsubstanzen auf, welche ihm in gelöstem Zustande eine gelbliche bis bräunliche Farbe verleihen, oder im ungelösten als braunschwarze Flocken ausfallen.

Nicht unbeachtet darf die Beschaffenheit des Bodens bleiben. Für die Zusammensetzung des Wassers ist die Art der geologischen Formation maßgebend, da es infolge seiner lösenden Kraft und durch die chemische Einwirkung bereits vorhandener Stoffe Bestandteile des Bodens in sich aufnimmt.

Was die Verunreinigung von Flüssen betrifft, so darf ungeachtet ihrer Ursache der Charakter solcher Wasserläufe nicht ohne Berücksichtigung bleiben, da dieser für den Grad der Selbstreinigung bestimmend ist. Es würde zu weit führen, im vorliegenden Werke des näheren auf das Schicksal fremder Stoffe im Flußwasser einzugehen, es sei vielmehr nur erwähnt, daß außer der Tätigkeit der niederen Pflanzenwelt (Algen, Pilze und Bakterien im engeren Sinne) auch höhere pflanzliche Vegetationen an den Ufern und seichten Stellen von Bedeutung sind, und daß das Maß der Strömungsgeschwindigkeit eine hervorragende Rolle bei diesem tatsächlich bestehenden Vorgange spielt, dessen Zustandekommen im einzelnen noch nicht genau bekannt ist. Abgesehen von diesen verwickelten Verhältnissen wird man bei der Probeentnahme schon auf die Bewegung des Wassers Bedacht nehmen müssen, da je nach ihrem Grade eine innigere oder geringere Vermischung mit den jeweilig verunreinigten Stoffen und eventuell eine Sedimentierung des unlöslichen Anteils zustande kommt, und weiterhin die Sauerstoffaufnahme des Wassers davon abhängig ist. Es kommen hier die von Natur aus bestehenden Bedingungen für die Fortbewegung des Flußwassers in Betracht, wie beispielsweise die Abflachung des Geländes und dementsprechende Windung und Schlängelung des Flußlaufes. Nicht minder wichtig sind die von Menschenhand geschaffenen Behinderungen der Strömung in Form von Wehren und anderen Stauvorrichtungen. Der Vergleich von Proben ober- und unterhalb solcher Anlagen bietet oft einen sehr lehrreichen Einblick in die obwaltenden Verhältnisse.

Berücksichtigung meteorologischer Verhältnisse. In vielen Fällen ist es angezeigt, gewissen meteorologischen Verhältnissen Beachtung zu schenken. Bei flachen Oberflächengewässern oder bei solchen von geringer Strömung und insbesondere in der Nähe des Meeres (an den Mündungsstellen von Flüssen) ist die Stärke und die Richtung des Windes beeinflussend für die Zusammensetzung des Wassers. Auch die Menge der Niederschläge, welche der Zeit der Untersuchung voran-

gegangen sind, ist von besonderer Bedeutung. Im allgemeinen wird man zu große, plötzliche Regenmengen und anhaltende Trockenheit zu umgehen suchen, falls nicht einer dieser Zustände die Untersuchung wünschenswert erscheinen läßt. Denn es ist eine bekannte Erfahrung, daß offene Wasserflächen nach starken Regengüssen mehr organische Substanzen führen, welche von den umliegenden Ländereien zugeschwemmt werden, und andererseits bei geringer Niederschlagsmenge mehr durch Grundwasser und Quellen versorgt werden, welche je nach der geologischen Formation eine Bereicherung an anorganischen Bestandteilen bedingen. Mit gewissen Einschränkungen ist auch das innerhalb des Bodens sich bewegende Wasser derartigen Veränderungen durch solche Naturereignisse unterworfen.

59. Kapitel

Die bakteriologische Untersuchung

Die eigentliche bakteriologische Untersuchung des Wassers wird man stets solchen Instituten und Laboratorien anvertrauen, die mit den nötigen Hilfsmitteln ausgestattet sind und über geschulte Kräfte verfügen. Dagegen ist es für den Hydrologen wichtig, zu wissen, in welcher Weise die Entnahme der für solche Untersuchung bestimmten Wasserproben zu erfolgen hat, da es gar häufig schon der Kosten wegen unausführbar sein wird, diese Arbeit von einem in bakteriologischen Untersuchungen geschulten Gelehrten ausführen zu lassen.

Da die Zahl der in einem Wasser enthaltenen Bakterien sich bei dessen Aufbewahrung in Gefäßen ganz rapide vermehrt, und aus der Art dieser Vermehrung in keiner Weise Rückschlüsse auf den Arten- und Individuenreichtum des Wassers bei der Entnahme gemacht werden können, so ist darauf hinzuwirken, daß zwischen dem Augenblicke der Entnahme und der Anlage der Kulturversuche nicht allzulange Zeit verstreiche.

Professor Dr. H. Jäger gibt in der Zeitschrift für praktische Geologie 1906, S. 299—301 folgende Anweisung:

Die Entnahme der Wasserproben für die bakteriologische Untersuchung findet darin ihre technische Hauptschwierigkeit, daß mit ihr zusammen schon die Vorbereitung der Kultur erfolgen muß. Da die Vermehrung der in einer entnommenen Wasserprobe enthaltenen Keime sehr rasch erfolgt (man rechnet bei 20° C ungefähr auf die Entstehung einer neuen Generation 20 Minuten, wobei ein Keim sich in zwei teilt, zwei in vier usw.), und da das Maß dieser Proliferation ganz wesentlich von der wechselnden Außentemperatur abhängt, so ist ersichtlich, daß aus der bakteriologischen Untersuchung von Wasserproben,

die erst einen langen Transport bis zum Laboratorium des Hygienikers durchgemacht haben, zuverlässige Ergebnisse nicht gewonnen werden können.

Der Untersuchende muß also das von ihm an Ort und Stelle gefundene Wasser nicht nur in einem sterilen Glasgefäß auffangen, sondern er muß auch die zur bakteriologischen Keimzählung erforderliche Menge (man pflegt bei Wasserproben, in welchen man keine sehr erheblichen Verunreinigungen erwartet, eine Probe von 0,5 und eine von 0,1 ccm Wasser zu verarbeiten) auf einen festen Nährboden übertragen, denn nur auf einem solchen läßt sich erreichen, daß jeder einzelne, bei der Entnahme in der Wasserprobe enthaltene Bakterienkeim unverrückbar an seinem Ort verbleibt: er wird auf oder in der Nährgelatine festgeleimt. Zwar ist ihm ja jetzt die Möglichkeit der Vermehrung nicht entzogen — soll sie auch nicht —, aber aus dem einzelnen irgendwo festgeleimten Bakterienkeim entsteht bei der Vermehrung ins Ungemessene die Bakterienkolonie, die ja mit bloßem Auge sichtbar ist, und sie, nicht der ursprüngliche Keim, ist der Gegenstand der bakteriologischen Keimzählung: so viele Bakterienkolonien auf der Nährgelatineplatte, so viele Bakterienkeime waren in der zur Untersuchung ausgesäten Probe.

Der Hydrologe kann sonach der Mitnahme des fertig präparierten Bakterienzüchtungsmaterials — sagen wir zunächst der Nährgelatine — nicht entraten. Die Firmen Lautenschläger-Berlin, Altmann-Berlin, Leitz-Wetzlar und Berlin u. a. liefern komplette Kästen für bakteriologische Wasseruntersuchungen; ich nenne vor allen den von Herrn Geh. Obermedizinalrat Prof. Dr. M. Kirchner angegebenen. Die Sterilisierung der nötigen Gefäße, ihre Beschickung mit Nährmaterial, späterhin die Auszählung der beimpften Kulturplatten oder Schalen wird der betreffenden hygienischen Untersuchungsstelle überlassen bleiben müssen.

I. Die Entnahme

Für den Geologen wird sich also die Sache folgendermaßen gestalten: Er findet in dem Kasten leere sterilisierte Kölbchen oder Reagenzgläser: diese dienen zur Entnahme der Proben. Der Verschuß (weißer Wattedropf) darf nicht vor Einfüllen der Wasserprobe abgenommen und seine unteren, im Glase steckenden Teile dürfen auch nach Abnahme weder mit den Händen noch sonst mit einem Gegenstand in Berührung kommen. Das in dieser Weise geöffnete Entnahmegefäß wird in den vollen Wasserstrom hineingehalten oder eingetaucht; es darf nicht an der Mündung angefaßt werden, auch nicht mit dem Boden, dem Ausflußrohr usw. in Berührung kommen. Das Gefäß darf höchstens bis zur Hälfte gefüllt werden, damit Benetzung des Verschlusses (Ein-

ziehen von Wasser in denselben, Hinabspülen von Keimen von der Außenseite durch die Watte hindurch in die Wasserprobe) verhütet wird.

II. Die Aussaat

Der Kasten enthält in einer Blechhülse eine Anzahl von sterilisierten Pipetten, die 1 ccm fassen und eine Einteilung in $\frac{1}{10}$ ccm besitzen. Für jede Wasserprobe ist eine besondere Pipette zu verwenden; diese darf bei der Arbeit nur an dem Saugende, niemals am Tauchende oder in dessen Nähe angefaßt werden.

Ferner enthält der Kasten leere, sterilisierte, flache Glasschalen (sogenannte Petrische Schalen), sowie eine Anzahl von Reagenzgläsern, deren jedes zu $\frac{1}{3}$ mit steriler Nährgelatine gefüllt ist. Außerdem findet sich eine Spirituslampe. Mit einiger Übung gelingt es leicht, die Nährgelatine in den Reagenzgläsern durch vorsichtiges Erwärmen über der freien Flamme (drehen, zuerst oben erwärmen, hin und her neigen, nicht zum Kochen kommen lassen!) flüssig zu machen. Bequemer ist es, die Röhren in warmes Wasser zu stecken. Die Gelatine darf aber zur Verarbeitung nicht heißer sein als 37° C, weil sonst die mit der Wasserprobe eingesäten Bakterien zum Teil absterben könnten; sie muß also nach Bedarf wieder etwas abgekühlt werden, dabei aber flüssig bleiben (über 25° C).

Nunmehr wird mittels einer der sterilen Pipetten in eine der Petrischalen 0,5 ccm, in eine zweite 0,1 ccm der Wasserprobe eingeträufelt, die flüssig gemachte Gelatine darüber gegossen, durch Hin- und Herneigen der Schale das Wasser in der Gelatine möglichst gleichmäßig verteilt, die Schale zugedeckt (der weitere Teil ist der Deckel — übergreifend) und die Schale auf einen möglichst ebenen und horizontalen Tisch gestellt. Womöglich stellt man ein Gefäß mit Eis dazu und deckt über alles einen Eimer oder dgl. (Unter keinen Umständen darf aber etwas von dem Eiswasser in die Kulturplatten hineinlaufen!) Man wartet jetzt, bis die Nährgelatine wieder erstarrt ist, und kann die fertigen Kulturplatten nunmehr verpacken und ins Laboratorium verschicken. Bei hoher Temperatur packt man 1—2 gefüllte Eisbeutel, wie sie in der Krankenpflege gebraucht werden, dazu, damit die erstarrte Gelatine nicht wieder schmilzt. Ebenso wird mit den weiteren Proben verfahren.

Bequemer für den Geologen sind solche Untersuchungskasten, welche statt der leeren Petrischalen und der Reagenzgläser mit Nährgelatine die sogenannten Roszaheghischen Fläschchen enthalten: flache Fläschchen von der Form der in die Brusttasche zu steckenden Schnapsflaschen. Sie enthalten schon die erforderliche Menge Nährgelatine; diese braucht bloß im warmen Wasser flüssig gemacht zu werden, dann

wird, wie oben, mittels der Pipette die zu untersuchende Wasserprobe hinzugefügt, in der Nährgelatine möglichst gleichmäßig verteilt und auf der mit eingeritztem Zählnetz versehenen Fläche der Flasche durch Hin- und Herbewegen ausgebreitet, dann die Flasche — so wie oben die Schale — flach, eben und kühl gelegt bis zur Erstarrung der Gelatine, und die Aussaat ist vollendet.

Nun hat aber, wie man sieht, die ganze Sache einen Nachteil; er beruht auf dem niedrigen Schmelzpunkt der Nährgelatine: werden durch Sommerwärme die gegossenen Kulturplatten wieder flüssig, so ist die ganze Arbeit vergeblich gewesen. Außerdem kommen im Wasser auch häufig Bakterien vor, welche leimlösende, die Gelatine verflüssigende Enzyme bilden und so gleichfalls die Untersuchung stören oder zerstören können.

Der niedrige Schmelzpunkt der Gelatine wird besonders in den Tropen die Anwendung der Nährgelatine unmöglich machen. Für diese Fälle muß ein anderer Nährboden Verwendung finden, der sogenannte Heiden-Agar. Der hier die Gelatine ersetzende indische Seetang „Agar“ kann erst über 40° C langsam zum Schmelzen gebracht werden und erstarrt schon bei 40° C wieder. Diesem mit Wasser gekochten Agar werden als Bakteriennährstoffe Pepton sowie das Nährpräparat der chemischen Fabrik Heiden zugesetzt. Dieser Nährboden ist infolge seines raschen Wiedererstarrens nach dem Schmelzen weniger handlich als die Gelatine, man kann deshalb die zur Aussaat gelangenden Wasserproben (0,5 bzw. 0,1 ccm) nicht mit dem geschmolzenen Nährboden vermischen, sondern man muß sie auf die in der Petrischale bzw. im Roszaheghischen Fläschchen flächenhaft erstarrte Oberfläche des Nährbodens aufträufeln und hier durch sorgfältiges Hin- und Herbewegen möglichst zur Verteilung bringen. Benutzt man Petrischalen, so kann man mittels eines federkielstarken, rechtwinkelig gebogenen Glasstabes, sogenannten Drigalskischen Spatels (kurzer Schenkel etwa 4 cm, langer Schenkel etwa 20 cm), dessen kurzes Ende man durch Erhitzen in der Spiritusflamme keimfrei gemacht hat, dann aber wieder hat abkühlen lassen, der Wasserverteilung nachhelfen, indem man die Wasserprobe auf der Nährfläche verreibt.

Allerdings läßt sich gegen dieses Vorgehen einwenden, daß einige Keime des Wassers am Spatel hängen bleiben und so der Zählung entgehen, doch dürfte bei solchen nur im allgemeinen orientierenden Untersuchungen dieser Fehler nicht schwer ins Gewicht fallen.

Die Herstellung des Heiden-Agar und die Beschickung der Schalen oder Fläschchen würde selbstverständlich wiederum Sache der betreffenden hygienischen Untersuchungsstelle sein; es sei denn, daß der Geologe auf lange Zeit ohne Fühlung mit einer solchen Anstalt bleibt. Alsdann muß er den fertigen Nährboden in den Reagenzgläsern, die mit Gummi-

kappen und Paraffin gegen Verdunsten verschlossen sind, mitführen, zum unmittelbaren Gebrauch erst in heißem Wasser schmelzen, sodann in die Schalen ausgießen (Absengen des Randes des Reagenzglases vor dem Ausgießen, Schalen schnell wieder zudecken!) und erstarren lassen. In diesem Falle würde ihm aber allerdings auch die Keimzählung zufallen, auf welche er sich zuvor in der betreffenden Untersuchungsstelle einzuüben haben würde. Sie wird mit dem bloßen Auge, bezw. mittels der Lupe vorgenommen und ist unter Zuhilfenahme eines quadrierten Zählnetzes sehr einfach.

Bemerkt mag noch werden, daß auf dem Heiden-Agar erheblich mehr Bakterien wachsen als auf der Nährgelatine; etwa zwei- bis dreimal soviel; die auf den zwei verschiedenen Nährböden erhaltenen Resultate sind also nicht untereinander ohne weiteres vergleichbar.

Im vorstehenden ist die Technik geschildert, wie sie ausreicht zur Keimzählung von sehr reinen, keimarmen bis zu ziemlich stark verunreinigten Wässern von 8—10 000 Keimen auf 1 ccm; denn wir werden im letzteren Falle auf der mit 0,10 ccm angelegten Platte etwa 1000 Kolonien haben, die immer noch annähernd zu zählen sein werden. Das dürfte im allgemeinen auch genügen; denn ein so keimreiches Wasser muß irgend welche groben Verunreinigungen von der Oberfläche her erhalten, welche zu ermitteln die nächste Aufgabe sein wird. Gleichgültig ist es aber dann wohl in der Regel, ob es sich nun statt um 10 000 um 100 000 oder noch mehr Keime auf 1 ccm handelt. Sollen solche genaueren Bestimmungen gemacht werden, so müssen die entnommenen Wasserproben mittels sterilisierten Wassers um das 10-, 100-, 1000fache verdünnt und von diesen Verdünnungen dann erst wiederum Platten von 0,5 und 0,1 ccm angelegt werden wie oben. Doch dürften solche Aufgaben dann wieder dem Bakteriologen zu überlassen sein.

Zum Schlusse noch das eine: eine hohe Zahl von Bakterienkeimen bedingt an sich keine Gefahr: sie gibt nur einen Fingerzeig, daß das betreffende Wasser eine Verunreinigung erfährt; welcher Art diese ist, ob sie ihrem Ursprung nach (Abfallstoffe des menschlichen Haushaltes!) sanitär bedenklich ist oder nicht, das muß erst noch ermittelt werden. Hierbei kann die (qualitative) chemische Untersuchung wesentlich unterstützend wirken: Ammoniak, salpetrige Säure und Salpetersäure machen einen Zufluß von menschlichen oder tierischen Fäkalien (besonders Harn) sehr wahrscheinlich, gleichzeitiger hoher Chlorgehalt, wenn er nicht durch die Bodenbeschaffenheit (z. B. brackiges Grundwasser) bedingt ist, beweist ihn.

In der vom Bundesrate vom 16. Juni 1906 genehmigten „Anleitung für die Einrichtung, den Betrieb und die Überwachung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen, welche nicht ausschließlich technischen

Zwecken dienen“ (vergl. Kapitel 68) werden für die Ausführung der bakteriologischen Untersuchung folgende Anleitungen gegeben:

I. Herstellung der Nährgelatine

Die Anfertigung der Nährgelatine ist nach folgender lediglich zu diesem besonderen Zwecke gegebenen und vereinfachten Vorschrift vorzunehmen.

Fleischextraktpepton-Nährgelatine.

Zwei Teile Fleischextrakt Liebig	2
Zwei Teile trocknes Pepton Witte	2
und	
Ein Teil Kochsalz	1
werden in	
Zweihundert Teilen Wasser	200

gelöst; die Lösung wird ungefähr eine halbe Stunde im Wasser erhitzt und nach dem Erkalten und Absetzen dieser Teile filtriert.

Auf

Neunhundert Teile dieser Flüssigkeit	900
werden	

Einhundert Teile feinste weiße Speisegelatine zugefügt, 100
und nach dem Quellen und Erweichen der Gelatine wird die Auflösung durch (höchstens halbstündiges) Erhitzen im Dampfe bewirkt.

Darauf werden der siedendheißen Flüssigkeit dreißig Teile Normalnatronlauge¹⁾ 30
zugefügt und jetzt tropfenweise so lange von der Normalnatronlauge zugegeben, bis eine herausgenommene Probe auf glattem, blauvioletter Lackmuspapier neutrale Reaktion zeigt, d. h. die Farbe des Papiers nicht verändert. Nach viertelstündigem Erhitzen im Dampfe muß die Gelatinelösung nochmals auf ihre Reaktion geprüft und, wenn nötig, die ursprüngliche Reaktion durch einige Tropfen der Normalnatronlauge wieder hergestellt werden.

Alsdann wird der so auf den Lackmusblauneutralpunkt eingestellten Gelatine

Ein und ein halber Teil kristallisierte, glasblanke (nicht verwitterte) Soda ²⁾	1½
--	----

zugegeben und die Gelatinelösung durch weiteres, halb- bis höchstens dreiviertelstündiges Erhitzen im Dampfe geklärt und darauf durch ein mit heißem Wasser angefeuchtetes, feinporiges Filtrierpapier filtriert.

¹⁾ An Stelle der Natronlauge kann auch eine 4 prozentige Natriumhydroxydlösung angewandt werden.

²⁾ Statt 1,5 Gewichtsteile krist. Soda können auch 10 Raumteile Normal-Sodalösung genommen werden.

Unmittelbar nach dem Filtrieren wird die noch warme Gelatine zweckmäßig mit Hilfe einer Abfüllvorrichtung, z. B. des Treskowschen Trichters, in sterilisierte (durch einstündiges Erhitzen auf 130 bis 150°) Reagenzröhrchen in Mengen von 10 ccm eingefüllt und in diesen Röhrchen durch einmaliges 15 bis 20 Minuten langes Erhitzen im Dampfe sterilisiert. Die Nährgelatine sei klar und von gelblicher Farbe. Sie darf bei Temperaturen unter 26° nicht weich und unter 30° nicht flüssig werden. Blauviolettes Lackmuspapier werde durch die verflüssigte Nährgelatine deutlich stärker gebläut. Auf Phenolphthalein reagiere sie noch schwach sauer.

2. Entnahme der Wasserproben

Die Entnahmegefäße müssen sterilisiert sein. Bei der Entnahme der Proben ist jede Verunreinigung des Wassers zu vermeiden; auch ist darauf zu achten, daß die Mündung der Entnahmegefäße während des Öffnens, Füllens und Verschließens nicht mit den Fingern berührt wird.

3. Anlegen der Kulturen

Nach der Entnahme der Wasserproben sind möglichst bald die Kulturen anzulegen, damit die Fehlerquelle ausgeschlossen wird, die aus der Vermehrung der Keime während der Aufbewahrungszeit des Wassers entsteht. Die Gelatineplatten sind daher möglichst unmittelbar nach der Entnahme der Wasserproben anzulegen.

Die zum Abmessen der Wassermengen für das Anlegen der Kulturplatten zu benutzenden Pipetten müssen mit Teilstriichen versehen sein, welche gestatten, Mengen von 0,1 bis zu 1 ccm Wasser genau abzumessen. Sie sind in gutschließenden Blechbüchsen durch einstündiges Erhitzen auf 130—150° im Trockenschrank zu sterilisieren.

Für die Untersuchung des filtrierten Wassers genügt die Anfertigung einer Gelatineplatte mit 1 ccm der Wasserprobe¹⁾; für die Untersuchung des Rohwassers dagegen ist die Herstellung mehrerer Platten in zweckentsprechenden Abstufungen der Wassermengen, meist sogar eine vorherige Verdünnung der Wasserproben mit sterilem Wasser erforderlich.

Das Anlegen der Gelatineplatten soll in der Weise erfolgen, daß die aus der zu untersuchenden Wasserprobe mit der Pipette unter der üblichen Vorsicht herausgenommene Wassermenge in ein Petrischälchen entleert und dazu gleich darauf der zwischen 30 und 40° verflüssigte Inhalt eines Gelatineröhrchens gegossen wird. Wasser und Gelatine werden alsdann durch wiederholtes sanftes Neigen des Doppel-

¹⁾ Besser ist die Anlage mehrerer Platten.

schälchens miteinander vermischt; die Mischung wird gleichmäßig auf dem Boden der Schale ausgebreitet und zum Erstarren gebracht.

Die fertigen Kulturschälchen sind vor Licht und Staub geschützt bei einer Temperatur von 20 bis 22° aufzubewahren; zu diesem Zwecke empfiehlt sich die Benutzung eines auf die genannte Temperatur eingestellten Brutschrankes.

4. Zählung der Keime

Die Zahl der entwickelten Kolonien ist 48 Stunden nach Herichtung der Kulturplatten mit Hilfe der Lupe und nötigenfalls einer Zählplatte festzustellen. Die gefundene Zahl ist unter Bemerkung der Züchtungstemperatur in die fortlaufend geführten Tabellen einzutragen.

60. Kapitel

Bestimmung von schwebenden Körpern, Rückstand und Härte

Chemische Untersuchung des Wassers. Von den zahlreichen und zu außerordentlicher Feinheit entwickelten Methoden der quantitativen Wasseranalyse kann an dieser Stelle nicht gehandelt werden, da sie dem Chemiker überlassen bleiben muß. Ich beschränke mich darauf, für drei Dinge, die dem Geologen und Techniker oft von großem Interesse sind, quantitative, verhältnismäßig einfache Methoden anzugeben, nämlich für die Ermittlung der Menge der im Wasser schwebenden festen Bestandteile, für die Bestimmung des sogenannten Rückstandes, sowie zur Feststellung der sogenannten Härte. Dagegen können für die übrigen im Wasser auftretenden wichtigeren Stoffe nur einfache qualitative Nachweismethoden angegeben werden.

1. Bestimmung der schwebenden festen Körper. Um die Menge der in einem Fluß- oder sonstigen Wasser mechanisch suspendierten (schwebenden) Bestandteile (Flußtrübe) zu ermitteln, läßt man in einem wohlverschlossenen Gefäße 1—2 l des Wassers zunächst ruhig stehen, bis die Trübe sich abgesetzt hat. Hierauf wird das Wasser durch ein bei 110° getrocknetes, vorher gewogenes Filter von bekanntem Aschengehalte gegeben. Dann bringt man den Bodensatz unter sorgfältigem Nachspülen mit destilliertem Wasser ebenfalls auf das Filter, wobei man zum Ablösen fest anhaftender Teilchen sich zweckmäßig eines Glasstabes bedient, über dessen unteres Ende ein kurzes Stück Kautschukschlauch gespannt ist. Der Inhalt des Filters wird gut ausgewaschen, mit diesem bei 110° getrocknet und nach dem Erkalten im Wägeröhrchen gewogen. Den organischen Anteil, den Glühverlust, ermittelt man in derselben Weise, wie bei dem Rückstande, nachdem

man den Filterinhalt in einen Tiegel gebracht und das in einer Platinspirale veraschte Filter beigefügt hat.

2. Bestimmung des Rückstandes des Wassers und des Glühverlustes. Den Rückstand, d. h. die bei 100° nicht flüchtigen Bestandteile des Wassers ermittelt man, indem man in einer gewogenen Schale von etwa 50 cm^3 Inhalt (Porzellan oder Platin) 500 cm^3 des vorher filtrierten Wassers verdampft, den Rückstand bei 110° trocknet und die Schale wägt. Das Mehrgewicht der Schale in Grammen gibt, mit 5 dividiert, den Rückstand in Prozenten an. Wird der Rückstand geglüht, so erfährt er eine Gewichtsverminderung, die auf dem Verbrennen organischer Substanz, auf dem Entweichen des Kristallwassers der Salze und auf der Umwandlung organischer in unorganische Säuren beruht.

Um die letzteren, meist als Karbonat gebunden, nicht zu zerstören, sowie um das Verjagen der Alkalichloride zu vermeiden, darf man das Glühen nur bis zur sogenannten dunklen Rotglut treiben und muß nach dem Glühen etwa doch zerstörte Karbonate durch Betupfen mit kohlen-säurehaltigem Wasser regenerieren; letzteres wird vor dem Wägen durch schwaches Erhitzen wieder verjagt. Die Gewichtsminde- rung, die der Rückstand durch das Glühen erfahren hat, bezeichnet man als Glühverlust.

3. Die Bestimmung der Härte des Wassers nach Clark. Die Menge der in dem Wasser enthaltenen Kalk- und Magnesiumsalze bedingt die sogenannte Härte, und zwar versteht man unter einem Härtegrad bei uns, daß in 100 000 Gewichtsteilen Wasser ein Gewichtsteil Kalkerde (CaO) enthalten ist. Für vorhandenes Magnesiumoxyd wird dabei die äquivalente Menge Kalkerde gerechnet, die man durch Multiplikation mit dem Faktor 1,4 erhält. Ein französischer Härtegrad bezeichnet die Anwesenheit von einem Teile Kalkkarbonat in 100 000 Teilen Wasser, ein englischer einen Gewichtsteil Kalkerde in 125 000 Teilen Wasser. Es entsprechen also

100 englische Härtegrade 80 deutschen,

100 französische Härtegrade 56 deutschen,

100 französische Härtegrade 70 englischen.

Das Prinzip der Härtebestimmung beruht darauf, daß man mit einer Seifenlösung von bestimmtem Gehalte eine chemische Umsetzung der neutralen Erdalkalien mit fettsaurem Kalium (der Seife) herbeiführt; hierbei bilden die Erdalkalien unlösliche Verbindungen mit den Fettsäuren, während die anorganischen Säuren mit den Alkalien sich zu löslichen Salzen vereinigen.

Die Seifenlösung ist so hergerichtet, daß sie in 100 ccm Wasser 12 mg Kalk- oder äquivalente Mengen von neutralem Baryum- oder Magnesiumsalze zu binden vermag; sie zeigt also zwölf deutsche Härtegrade an.

Zunächst stellt man sich die nötige Seife her, indem man 150 Teile Bleipflaster auf dem Wasserbade zerfließen läßt und hiernach mit 40 Teilen Kaliumkarbonat zu einer gleichmäßigen Masse verreibt. Diese wird mit absolutem Alkohol ausgezogen und das Ganze zur Abscheidung etwaiger ungelöster Bestandteile filtriert. Aus dem Filtrat beseitigt man den Alkohol durch Destillation und trocknet hiernach die zurückbleibende Seife im Wasserbade. Zur Bereitung der Seifenlösung löst man vorläufig 20 Teile der eben hergestellten Seife in 1000 Teilen verdünnten Alkohols von 56 Volumprozenten auf. Zu ihrer Prüfung stellt man sich eine Baryumsalzlösung her, von welcher 100 ccm 12 mg Kalkäquivalent entsprechen. Man erzielt sie, indem man 0,599 g reines bei 100° C. getrocknetes Baryumnitrat oder 0,523 g reines lufttrockenes Baryumchlorid ($\text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$) in einem Liter destillierten Wassers löst. Die Baryumsalze sind an Stelle von Kalzium- oder Magnesiumsalzen gewählt, weil sie schneller und leichter mit der Fettsäure in Verbindung treten, als letztere.

Einstellung des Titors der Seifenlösung. In ein Stöpselglas von 200 ccm Inhalt fällt man 100 ccm der obigen Baryumsalzlösung und läßt aus einer Quetschhahnbürette zunächst eine größere Menge, später nur immer 0,5 ccm und schließlich nur Tropfen der Seifenlösung zufließen. Inzwischen schüttelt man den Inhalt des Stöpselglases gehörig durch und beobachtet, ob sich ein feinblasiger Schaum bildet, welcher fünf Minuten lang bestehen bleibt. Hätte man z. B. 18 ccm Seifenlösung verbraucht, um eine solche Schaumbildung zu erzielen, so ist erstere zu konzentriert. Es müssen demnach 18 ccm derselben in einem Meßzylinder mit 27 ccm 56prozentigem Alkohol verdünnt werden, um die richtige Seifenlösung zu erlangen. Selbstverständlich ist diese nochmals auf ihre Zuverlässigkeit in gleicher Weise wie vorher zu prüfen, wobei für 100 ccm der Baryumsalzlösung genau 45 ccm verbraucht werden dürfen.

Ausführung der Wasseruntersuchung. In das wohlgereinigte Stöpselglas werden 100 ccm des zu prüfenden Wassers mittels einer Pipette gebracht. Den Stand des Wasserspiegels bezeichnet man sich mit einer Marke. Hierauf wird die Titrierung in gleicher Weise wie bei der Titerstellung mit der Seifenlösung ausgeführt.

Bei Wässern mit stärkerer Härte als 12 deutschen Graden sind immer Verdünnungen, jedoch stets das gleiche Volumen anzuwenden. Man wird deshalb 10, 20 oder 30 ccm Wasser benutzen und dann erst die Untersuchung einleiten, nachdem man bis zur oben erwähnten Marke mit destilliertem Wasser aufgefüllt hat.

Die Umrechnung des Verbrauches an Seifenlösung auf Härtegrade geschieht unter Berücksichtigung etwa vorgenommener Verdünnung mittels Benutzung der Tabelle auf S. 443.

Tabelle von Faist und Knauss.

Es entsprechen ccm verbraucher Seifen- lösung	deutschen Härtegraden	Es entsprechen ccm verbraucher Seifen- lösung	deutschen Härtegraden
3,4	0,5	22,6	5,5
5,4	1,0	24,4	6,0
7,4	1,5	26,2	6,5
9,4	2,0	28,0	7,0
		29,8	7,5
		31,5	8,0
Die Differenz von 1 ccm Seifen- lösung = 0,25 Härtegrad		Die Differenz von 1 ccm Seifen- lösung = 0,277 Härtegrad	
11,3	2,5		
13,2	3,0	33,3	8,5
15,1	3,5	35,0	9,0
17,0	4,0	36,7	9,5
18,9	4,5	38,4	10,0
20,8	5,0	40,1	10,5
		41,8	11,0
Die Differenz von 1 ccm Seifen- lösung = 0,26 Härtegrad		Die Differenz von 1 ccm Seifen- lösung = 0,294 Härtegrad	
		43,4	11,5
		45,0	12,0

Beispiele: Der Verbrauch an Seifenlösung sei gewesen:

1. 26,2 ccm = 6,5 deutsche Härtegrade.

2. 27,4 ccm. Die Differenz der nächst höheren Stelle 28,0 ist $28,0 - 27,4 = 0,6$ ccm. In dieser Kolonne entspricht 1 ccm Seifenlösung 0,277 Härtegrad, folglich $0,6 \text{ ccm} = \frac{0,6 \times 0,277}{1} = 0,1662$ Härtegrade. Die Härte des Wassers betrug demnach $7,0 - 0,166 = 6,83$ Grade.

3. 21,0 ccm. Die Differenz zur nächstliegenden niederen Stelle 20,8 beträgt $21,0 - 20,8 = 0,2$; hier entspricht 1 ccm Seifenlösung 0,26 Härtegrad, demnach $0,2 \text{ ccm} = \frac{0,26 \times 0,2}{1} = 0,052$. Härte des Wassers = $5,0 + 0,05 = 5,05$ Grade. Die Differenz zur nächst höheren Stelle 22,6 beträgt $22,6 - 21,0 = 1,6$. In der Kolonne, in welcher 22,6 steht, entspricht 1 ccm Seifenlösung 0,277 Härtegrad; demnach treffen auf 1,6 ccm $= \frac{1,6 \times 0,277}{1} = 0,4432$ Grad und folglich auf 21 ccm Seifenlösung $5,5 - 0,44 = 5,06$ deutsche Härtegrade.

Der Gesamtgehalt des unveränderten Wassers an Kalk- und Magnesiasalzen bedingt die Gesamthärte. Durch Kochen des Wassers werden von diesen Salzen die kohlen-sauren zum größten Teile ausgefällt, und eine erneute Untersuchung ergibt eine Verminderung der Härte, die

nun nur noch auf der Anwesenheit von Sulfaten, Nitraten und Chloriden beruht. Diese verminderte Härte bezeichnet man als die bleibende, den Unterschied beider Härten als die verschwindende Härte. Die Ermittlung der bleibenden Härte erfolgt in derselben Weise wie die der Gesamthärte.

61. Kapitel

Die Bestimmung schädlicher Stoffe

Der qualitative Nachweis von Salpetersäure, salpetriger Säure, Ammoniak, Schwefelsäure, Chlor, Schwefelwasserstoff und Kohlensäure. Die quantitative Bestimmung aller dieser Stoffe ist umständlich und muß dem Chemiker überlassen bleiben. Indessen wird es für den Techniker und Geologen oft von Wichtigkeit sein, sofort festzustellen, ob ein Wasser einen der genannten, mit Ausnahme der Kohlensäure überaus schädlichen Stoffe in solchen Mengen enthält, daß es für den Genuß ungeeignet wird. Man bedient sich zu diesem Zwecke folgender Methoden:

a) Salpetersäure in Wasser. Für die rasche Erkenntnis eines höheren Gehaltes an Salpetersäure hat man in der Brucinprobe ein geeignetes Mittel. Zu dem Zwecke wird 1 Teil Brucin in ca. 800 Teilen destillierten Wassers gelöst; von dieser Lösung werden 2 Tropfen zu einem durch Eindampfen von 1 ccm des zu untersuchenden Wassers in einem kleinen Porzellanschälchen gewonnenen kleinen Tropfen zugemischt und sodann 1—10 Tropfen Schwefelsäure zugegeben. Tritt dabei eine intensive Rosafärbung ein, so enthält das Wasser mehr Salpetersäure, als in einem guten Trinkwasser sein darf. Bleibt das Wasser farblos, so enthält es wenig oder keine Salpetersäure.

b) Salpetrige Säure im Wasser. Schon geringfügige Spuren von salpetriger Säure machen Wasser zum Trinken ungeeignet. Um sie zu erkennen, fügt man zu dem Wasser eine Mischung von 1 Teil Jodkalium mit 10 bis 12 Teilen Stärkelösung. Bei Anwesenheit auch ganz geringer Mengen der Säure tritt eine Blaufärbung der Stärke ein. Es ist indessen zu beachten, daß auch freies Chlor und Brom diese Reaktion hervorrufen. Sicherer ist die Prüfung mittels einer Lösung von schwefelsaurem Metaphenylendiamin. Die Herstellung wird bewerkstelligt, indem man 1 Teil reinen, bei 63° schmelzenden Metaphenylendiamins in 200 Teilen Wasser löst und mit verdünnter Schwefelsäure bis zu deutlich saurer Reaktion versetzt. Die Flüssigkeit muß farblos sein, widrigenfalls sie vor dem Gebrauch durch Erwärmen mit ausgeglühter Tierkohle zu entfärben ist. Zur Prüfung des zu untersuchenden Wassers säuert man ein halbes Proberöhrchen desselben mit verdünnter Schwefelsäure

und fügt schwefelsaures Metaphenylendiamin hinzu. Etwa vorhandene salpetrige Säure bedingt die Bildung eines Azofarbstoffes, Triamidoazobenzol, welcher sich durch eine gelbbraune Färbung (Bismarckbraun) verrät.

c) Ammoniak im Trinkwasser. Da Ammoniak selbst in millionenfacher Verdünnung im Trinkwasser unstatthaft ist, so ist auch darauf zu untersuchen. Man bedient sich zur Prüfung des in den Apotheken meist fertig zu erhaltenden Neblerschen Reagens. Man erhält es, wenn man 2 g Jodkalium in 5 g erwärmtem, destilliertem Wasser auflöst und sodann Quecksilberjodid so lange zusetzt, bis ein Teil desselben sich nicht mehr löst. Nach dem Erkalten verdünnt man die so erhaltene Lösung mit 20 g Wasser, filtriert und gibt auf 20 g Lösung 30 g konzentrierte Kalilauge bei. Die Flüssigkeit ist in einem gut verschließbaren Gefäße mit eingeschliffenem paraffiniertem Glasstöpsel aufzubewahren. — Man fügt zu dem auf Ammoniak zu untersuchenden Wasser Natronlauge zu und gießt sodann eine kleine Menge des Neblerschen Reagens bei. Die Anwesenheit von Ammoniak erkennt man an einer etwa erfolgenden roten oder rötlichen Färbung der Flüssigkeit.

d) Schwefelsäure im Wasser. Die Anwesenheit von Schwefelsäure erkennt man daran, daß einige dem mit Salzsäure angesäuerten Wasser beigefügte Tropfen einer Lösung von Chlorbaryum eine weißliche Trübung oder einen deutlichen Niederschlag von Baryumsulfat ergeben. Gutes Trinkwasser darf nicht über $\frac{1}{100}\%$ Schwefelsäure enthalten.

e) Chlor im Wasser. Einen Chlorgehalt erkennt man an der Trübung, die in dem mit Salpetersäure angesäuerten Wasser sich nach Zufügung einiger Tropfen von Höllesteinlösung einstellt und auf der Abscheidung von Chlorsilber beruht. Trinkwasser soll nicht über 3 Teile Chlor in 100000 Teilen Wasser enthalten.

f) Schwefelwasserstoff im Wasser. Die Anwesenheit freien Schwefelwasserstoffs macht sich auch in den kleinsten Mengen der für dieses Gas außerordentlich empfindlichen Nase durch den Geruch nach faulen Eiern untrüglich bemerkbar.

g) Kohlensäure im Wasser. Die Anwesenheit von Kohlensäure im Wasser, sie mag halb oder ganz gebunden oder frei sein, wird an einer weißlichen Trübung erkannt, welche sich einstellt, wenn man das Wasser mit einer Kalziumhydratlösung versetzt. Man achte darauf, daß bei der Probeentnahme das Gefäß so weit gefüllt wird, daß es aus der darüber stehenden Luft keine nennenswerte Kohlensäuremenge zu absorbieren vermag. — Ist die Kohlensäure ganz oder halb gebunden als kohlensaures Salz im Wasser, so braust der Rückstand der Eindampfung des Wassers beim Behandeln mit Salzsäure auf. Um freie Kohlensäure im Wasser nachzuweisen, gibt man zu diesem in einem Kölbchen einige Tropfen Rosolsäure (1%ige Lösung in verdünntem Alkohol); Eintreten

einer Gelbfärbung des Wassers weist auf das Vorhandensein freier Kohlensäure hin.

Um zu prüfen, ob ein Wasser bleilösende Eigenschaften besitzt und ob die Verwendung ungeschützter Bleirohre zur Fortleitung des Wassers zulässig ist, verfährt man nach folgender in Preußen amtlich angeordneten Methode:

Man stellt in einen mit schräg abgeschnittenem Glasstopfen verschließbaren Standzylinder von ungefähr 1 Liter Inhalt ein der Höhe des Zylinders entsprechendes Stück eines halbierten, etwa 1—2 cm starken Bleirohrs ein, nachdem seine Oberfläche mit stark verdünnter Salpetersäure gereinigt, in destilliertem Wasser sorgfältig längere Zeit abgewaschen und darauf mit einem sauberen Tuch abgetrocknet und blank

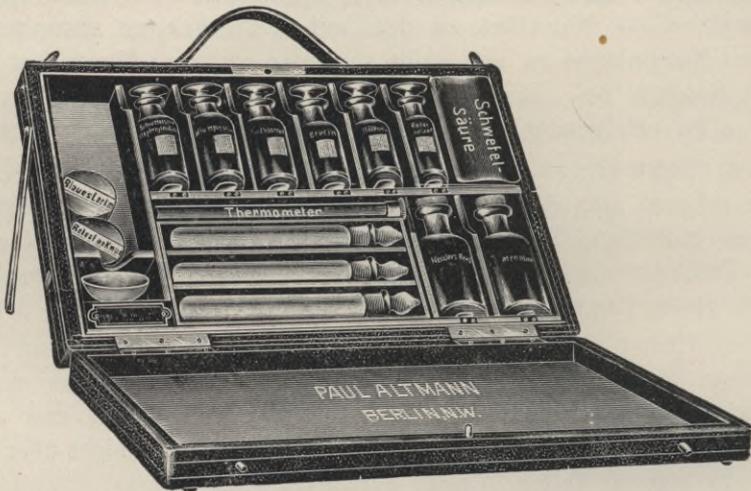


Fig. 247

poliert ist. Dann wird das zu untersuchende Wasser in den Zylinder längere Zeit unter möglichster Vermeidung des Miteintritts von Luft eingeleitet, bis sich der Inhalt des Zylinders mehrere Male erneuert hat. Der Zylinder wird dann mit dem Glasstopfen so geschlossen, daß keine Luft zwischen dem Stopfen und dem Wasser miteingeschlossen wird. Nach frühestens 24 Stunden wird der Zylinder geöffnet, das mit einer reinen Pinzette gefaßte Bleirohr mehrere Male durch das Wasser auf- und niedergezogen, um etwa anhaftende ungelöste Bleisalze von dem Bleirohr abzuschütteln, und das — unfiltrierte — Wasser nach den bekannten Methoden auf seinen Bleigehalt untersucht.

Zur Erzielung einwandfreier Ergebnisse ist es unbedingt notwendig, die Wasserprobe so zu entnehmen, daß der ursprüngliche Gasgehalt des Wassers (Sauerstoff, Kohlensäure) möglichst wenig geändert

wird. Deshalb ist der Versuch mit frisch geschöpftem Wasser möglichst an Ort und Stelle auszuführen. Bei Versendung von Wasserproben ist das Versandgefäß nach mehrmaligem Durchspülen bis zum Rande zu füllen.

Paul Altmann in Berlin, Luisenstraße 47, hat nach den Angaben des Verfassers den in Fig. 247 abgebildeten leichten Kasten konstruiert, der alle zur Ausführung der in diesem Kapitel vorgeschlagenen qualitativen Untersuchungen im Felde erforderlichen Reagentien und Gefäße, sowie ein Thermometer in solcher Verpackung und Aufbewahrung enthält, daß das Ganze jederzeit gebrauchsbereit ist.

62. Kapitel

Selbsttätige Aufzeichnung der Schwankungen des Salzgehaltes

Einen Apparat zur selbsttätigen Aufzeichnung des elektrischen Leitvermögens des Wassers und damit seiner chemischen Zusammensetzung haben Spitta und Pleißner konstruiert. Die Eigenschaft des Wassers, je nach der Konzentration und dem Dissoziationsgrade der in ihm gelösten Salze eine verschiedene elektrische Leitfähigkeit zu besitzen (vergl. S. 391 ff.), wurde zur Konstruktion eines Registrierapparates¹⁾ benutzt.

Die elektrische Leitfähigkeit des zu untersuchenden Wassers ist gleich dem Quotienten aus $\frac{\text{Stromstärke}}{\text{elektromot. Kraft}}$. Die Stromstärke ergibt der Ausschlag des Ampèremeters. Hält man die elektromotorische Kraft (Spannung) konstant oder kontrolliert deren allmähliches Absinken, so läßt sich der Widerstand des zu untersuchenden Wassers bzw. seine elektrische Leitfähigkeit berechnen und fortlaufend verfolgen.

Die Schwankungen der Stromstärke lassen sich bequem automatisch durch das selbst registrierende Ampèremeter nach Raps feststellen. Zur Kontrolle der Spannung wurde der mit Anwendung von Akkumulatoren erhaltene Strom in kurzen regelmäßigen Zwischenräumen nicht durch den zu bestimmenden Wasserwiderstand, sondern durch einen konstanten Drahtwiderstand geschickt. Die Wirkungen der Polarisierung, vor allem die festen Ablagerungen an den Elektroden, wurden bis zu einem gewissen Grade dadurch aufgehoben, daß die Stromrichtung bei

¹⁾ Pleißner, Über die Messung und Registrierung des elektrischen Leitvermögens von Wässern mit Hilfe von Gleichstrom. Arb. a. d. Kais. Gesundheitsamte, XXX, 3, 1909, S. 483—523. — Spitta und Pleißner, Neue Hilfsmittel für die hygienische Beurteilung und Kontrolle von Wässern. Ebenda, S. 463—482. — Der Apparat hat seit der ersten Beschreibung, wie mir die Firma Siemens & Halske mitteilt, eine Umkonstruktion erfahren, die jedoch das Prinzip der Sache nicht berührt.

den Messungen selbsttätig in Zwischenräumen von zwei Minuten gewechselt wurde.

Der Registrierapparat arbeitet mit zwei Strömen:

1. dem von sechs Bleiakkulatoren gelieferten Meßstrom,
2. dem von einer Anzahl von Trockenelementen gelieferten Hilfsstrom, welcher die Ein- und Umschaltungen im Apparate besorgt.

Der Meßstrom läuft zunächst durch Vermittelung zweier im Wasser schwimmender Graphitelektroden durch das auf seine Leitfähigkeit zu prüfende Wasser und ein Milliampèremeter. Der Registrierapparat markiert durch dreimaliges Senken eines Fallbügels die Lage des Zeigers im Ampèremeter auf einem langsam, aber mit gleichmäßiger bekannter Geschwindigkeit sich vorbeibewegenden, mit Zeitangaben versehenen Papierstreifen.

Nun wird der Meßstrom automatisch umgeschaltet, so daß er durch den konstanten Drahtwiderstand (von 200 Ohm) läuft; die sich ergebende Stromstärke wird in gleicher Weise durch den Fallbügel markiert. Dieser Vorgang wiederholt sich fortwährend, nur wird die Stromrichtung nach jeder Aufzeichnung des Vergleichswiderstandes selbsttätig umgekehrt und durchläuft Wasser- und Drahtwiderstand in entgegengesetzter, das Ampèremeter dagegen stets in gleicher Richtung. Da innerhalb von vier Minuten je zwei Aufzeichnungen stattfinden, so können selbst sehr schnell vorübergehende Schwankungen der Leitfähigkeit des Wassers der Aufzeichnung nicht entgehen.

Die aufgezeichneten Markierungspunkte vereinigen sich auf dem Papierbande zu zwei Linien (vgl. Fig. 248). Die eine (in der Abbildung unten gelegene) bringt die Stromstärke bei gleichbleibendem Widerstand (Drahtwiderstand) zur Kontrolle etwaiger Schwankungen der Stromspannung der Akkulatoren zum Ausdruck, die andere (in der Abbildung oben gelegene) bringt die Stromstärke bei wechselndem Widerstand — dem des zu prüfenden Wassers — bei der gleichen Akkulatorenstellung zur Darstellung. Die jeweilige Entfernung beider Linien voneinander gibt also bereits für das Auge einen Anhaltspunkt zur Beurteilung des elektrischen Leitvermögens des untersuchten Wassers und besonders seiner Schwankungen, während die zahlenmäßige Auswertung des Leitvermögens für jeden Zeitpunkt aus den entsprechenden Punkten der beiden Kurven durch Rechnung möglich ist.

Die Elektroden, welche mit Hilfe einer geeigneten Verankerung frei in dem zu untersuchenden Oberflächenwasser zu schwimmen vermögen¹⁾, werden zum Schutze gegen im Wasser treibende Körper aller Art im freien Wasser mit einem Schutzgitter umgeben. Der Registrierapparat selbst wird bei Versuchen im Freien in einem kleinen,

¹⁾ Bei langen Drahtleitungen zu den Elektroden, etwa über 15 m, ist der Widerstand des Drahtes bei der Rechnung zu berücksichtigen.

verschließbaren, schilderhausähnlichen Gehäuse untergebracht. Sollen nicht die oberflächlichen Wasserschichten untersucht werden, sondern tiefer gelegene, so läßt man die an dem Schwimmer befestigten Elektroden tiefer in das Wasser eintauchen, und umgibt ihre oberen Teile mit Paraffin und Glas.

Wegen der in der Rechnung einzuführenden Faktoren, Widerstandskapazität des Apparates und Polarisation, sei auf die S. 447 angeführte zweite Arbeit verwiesen. Dasselbst ist in Tabelle 17 auch ein Ausdruck für alle praktisch vorkommenden Werte der Ablesungen am Registrierapparat ausgerechnet worden, welcher nur mit der (bekannten) Widerstandskapazität des Apparates (oder vielmehr ihrem tausendsten

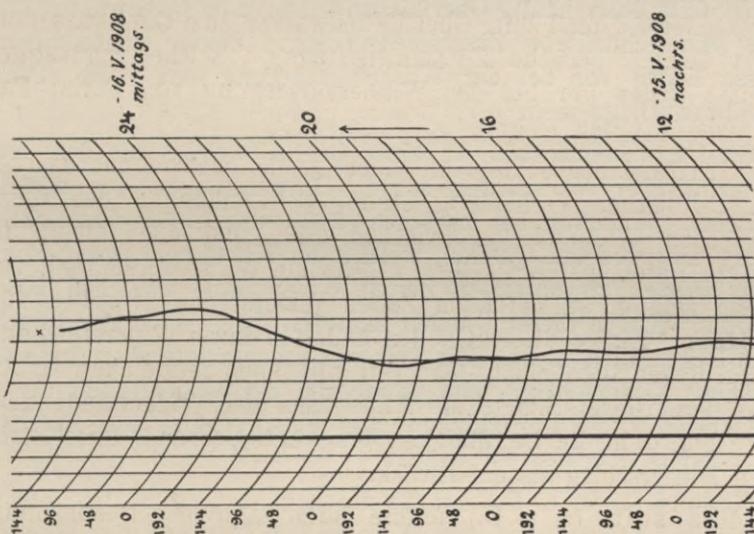


Fig. 248

Teil) multipliziert zu werden braucht, um das spezifische Leitvermögen zu ergeben.

Ist die Widerstandskapazität des Apparates, wie vorgeschlagen, genau = 0,1, so ist natürlich die Rechnung besonders einfach.

Das spezifische Leitvermögen (x) ist nun ferner in nicht unerheblichem Maße abhängig von der Temperatur des Leiters. Um vergleichbare Werte zu erhalten, muß man daher das spezifische Leitvermögen auf eine Normaltemperatur beziehen. Zurzeit ist die Temperatur von 18°C für Leitfähigkeitsbestimmungen üblich. Kennt man die Temperatur des Wassers zur Zeit der Widerstandsmessung¹⁾, so ist das gefundene Leit-

¹⁾ Bei stationären Kontrollanlagen an Flüssen u. dgl. wird man zweckmäßig einen selbsttätigen Temperatur- und Wasserstandszeiger neben dem Registrierapparat für die elektrische Leitfähigkeit anbringen.

vermögen mit dem aus Tabelle 19 der oben erwähnten Arbeit entnommenen Faktor für die Versuchstemperatur zu multiplizieren, um das Leitvermögen bei 18° ($\times 18$) zu erhalten.

Der Apparat läßt schon bei Vermischung von 100 Teilen Spree-wasser mit 2 Teilen Abwasser die veränderte Leitfähigkeit zweifelsfrei erkennen.

Der Apparat erscheint auch geeignet zur dauernden Kontrolle von Wasserversorgungsanlagen. Erhebliche Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung von Trinkwässern kommen erfahrungsgemäß am ehesten bei Quellwasserversorgungen vor, und zwar bei Quellen, welche mit der Bodenoberfläche in offener Verbindung stehen. Bei stärkeren Niederschlägen tritt dann häufig Oberflächenwasser zum Quellwasser und verändert seine chemische Zusammensetzung. Solche ungünstigen Verhältnisse liegen vor bei der Wasserversorgung von Paris, Paderborn und anderen Orten mehr¹⁾.

Guillerd beobachtete an einer Quelle, welche mit dem Avrefluß in unterirdischer Verbindung stand, Schwankungen des spezifischen elektrischen Widerstandes zwischen 2480 und 4059 Ohm. Die von Dienert untersuchten Quellen, welche die Wasserversorgung von Paris speisen, zeigten zu normalen Zeiten Widerstände zwischen 2030 und 2950 Ohm. Einige dieser Quellen änderten ihren Widerstand auch nach starken Regenfällen nicht. Ein Teil von ihnen zeigte aber, im Anschluß an größere Niederschläge, ein Anwachsen der Widerstände um 60 bis 2000 Ohm, d. h. die Leitfähigkeit ging entsprechend dem Zutritt salz-armen Niederschlagwassers zurück.

Prausnitz (a. a. O.) konnte durch zahlreiche Bestimmungen des elektrischen Leitvermögens des Wassers der Mur und des Wassers der in der Nähe der Mur gelegenen Brunnen des Grazer Wasserwerkes einen trefflichen Überblick gewinnen über den Verlauf der Einwirkung des Murhochwassers auf diese Brunnen, indem er die erhobenen Befunde zu Kurven zusammenstellte. Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers des dritten Wiesenbrunnens z. B. schwankte in der Zeit zwischen dem 11. Mai und dem 18. Juli 1907 zwischen 1,88 und $4,65 \cdot 10^{-4}$.

Ernyel untersuchte das Wasser der Budapester Wasserleitung und fand innerhalb zweier Wochen Unterschiede in der spezifischen Leitfähigkeit von $3,96$ — $4,68 \cdot 10^{-4}$, was an unserem Registrierapparat den Zeigerstellungen 37 und 44 entsprochen hätte. Der Abdampfrückstand des Leitungswassers bewegte sich bei seinen gleichzeitig ausgeführten chemischen Untersuchungen zwischen 289 und 357 mg im Liter.

¹⁾ Vergl. Gärtner, Die Quellen in ihren Beziehungen zum Grundwasser und zum Typhus. Klinisches Jahrbuch Bd. IX, Jena 1902.

Die Benutzung eines Registrierapparates zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers für die Kontrolle von Wasserversorgungsanlagen würde lediglich den Zweck haben, aufmerksam zu machen auf plötzliche, vielleicht in kurzer Zeit wieder vorübergehende Veränderungen in der Zusammensetzung des Wassers. Mittels der zurzeit üblichen

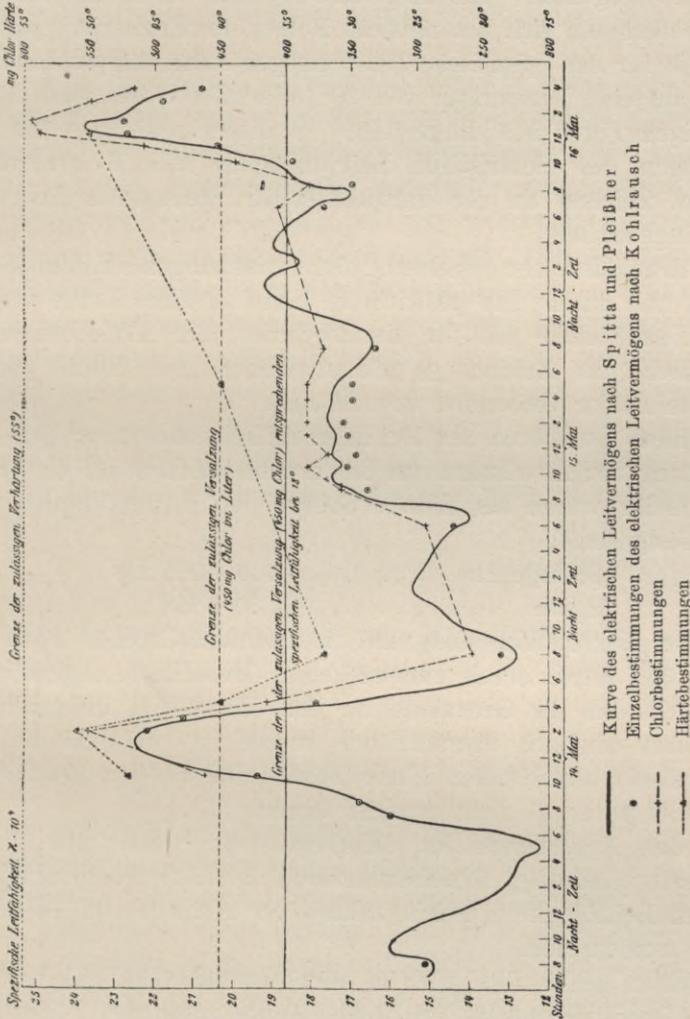


Fig. 249

Kontrolle, die sich gewöhnlich darauf beschränkt, in gewissen Zeiträumen eine chemische und bakteriologische Untersuchung vorzunehmen, wird man häufig derartige Veränderungen gar nicht oder nur sehr verspätet entdecken. Der Registrierapparat wird andererseits auch am besten den Zeitpunkt angeben, an welchem eingehende chemische Untersuchung stattzufinden hat.

In der Zeit vom 13.—16. Mai 1908 wurde eine Untersuchung des spezifischen Leitvermögens des Schunterwassers (bei Braunschweig, enthält Abwässer von Chlorkaliumfabriken) ausgeführt. Zugleich wurden Bestimmungen des spezifischen Leitvermögens mit Wechselstrom nach der Methode von Kohlrausch, sowie Chlor- und Härtebestimmungen ausgeführt. Gegenüber den Ergebnissen nach der Kohlrauschschen Methode berechnete sich der mittlere Fehler des Registrierapparates zu 2,5%. Die für das spezifische Leitvermögen nach entsprechender Umrechnung auf eine Temperatur von 18° erlangten Werte sind als Kurve in der obigen Figur 249 dargestellt. In dieser sind auch die Einzelbestimmungen des elektrischen Leitvermögens nach Kohlrausch mit besonderem Zeichen an die entsprechenden Stellen des Koordinatensystems eingezeichnet.

Die Ergebnisse der einzelnen Chlorbestimmungen sind durch Kreuze bezeichnet und durch eine gestrichelte Linie zu einer Kurve verbunden worden. Das Gleiche gilt für die Ergebnisse der Härtebestimmungen, welche durch das Zeichen Δ gekennzeichnet und durch punktierte Linien miteinander verbunden worden sind.

In einem Gutachten des Reichsgesundheitsrates über den Einfluß der Ableitung von Abwässern aus Chlorkaliumfabriken auf die Schunter, Oker und Aller waren als oberste Grenze der Verunreinigung für die Schunter festgesetzt:

Chlorgehalt	400—450 mg
Härte	50—55°

In der Kurventafel sind nun die obersten Grenzen von 450 mg Chlor und 55° Härte durch entsprechende Grenzlinien angegeben, und es zeigt sich, daß die Grenzlinie für den Chlorgehalt innerhalb dreier Tage zweimal erheblich überschritten worden ist, während die Grenze der als zulässig bezeichneten Härte (soweit die wenigen Bestimmungen einen Schluß zulassen) nicht erreicht wurde.

Mit den Ergebnissen der Chlorbestimmung gehen nun, in ihrem Verlauf fast vollständig übereinstimmend, die Einzelbestimmungen der elektrischen Leitfähigkeit, welche mittels der Methode von Kohlrausch gewonnen worden sind.

Dieselben gehen aber auch in allen wesentlichen Punkten mit der durch den Registrierapparat erhaltenen Kurve zusammen. Dies geht ja schon aus der Zahlentabelle hervor. Die verhältnismäßig geringen Abweichungen, welche sich finden, können sich u. a. daraus erklären, daß diejenigen Wasserproben, welche für die Bestimmung des Chlorgehalts und der elektrischen Leitfähigkeit mittels der üblichen Methode dienten, zwar zeitlich den durch den Registrierapparat geprüften Wasserproben entsprechen, immerhin aber doch nicht streng identisch mit ihnen sind, denn sie wurden nur in der Nähe der Elektroden geschöpft.

In die Kurventafel ist nun auch die Linie eingezeichnet worden, welche die der zulässigen Versalzung (450 mg Chlor) entsprechende spezifische Leitfähigkeit bei 18° bezeichnet. Mittels dieser Linie und der vom Registrierapparat gezeichneten Kurve läßt sich mit noch größerer Sicherheit als aus der Chlor-„Kurve“ ersehen, daß die zulässige Grenze der Versalzung zweimal überschritten wurde. An Stelle der aus Einzelbestimmungen konstruierten Chlor-Kurve und Widerstandskurve können wir die automatisch entstandene fortlaufende Kurve des Registrierapparates setzen.

Der große Vorzug des Registrierapparates in sanitäts- und gewerbe-polizeilicher Hinsicht liegt in seinem ununterbrochenen Arbeiten und in der Lieferung von unanfechtbarem Beweismaterial.

Die auf dem Registrierpapier selbsttätig aufgezeichneten beiden Linien lassen jederzeit erkennen, ob eine unerlaubte Versalzung des Wassers eingetreten ist, wie groß dieselbe war, und um welche Zeit sie an der Untersuchungsstelle in die Erscheinung trat. Daraus wird sich in den meisten Fällen rückschließend, unter Berücksichtigung der Stromgeschwindigkeit der betreffenden Vorflut, die Quelle dieser übermäßigen Salzzufuhr feststellen lassen, so daß entsprechende Maßregeln erfolgen können. Treten solche Steigerungen allmählich oder mit einer gewissen Regelmäßigkeit auf, so wird es möglich sein, zu richtiger Zeit dem Flußwasser Proben zur chemischen Untersuchung zu entnehmen.

9. Die Aufsuchung von Wasser

63. Kapitel

Die Aufsuchung von Quellen

Der einfachste und bequemste Weg, die in einem bestimmten Gebiete auftretenden Quellen aufzusuchen, besteht in der Verfolgung der in ihm ihren Ursprung nehmenden, offenen Wasserläufe in alle Verzweigungen hinein. Auf diesem Wege erlangt man auch gewöhnlich einen hinreichenden Einblick in die hydrographischen Verhältnisse des Gebietes. Das Studium auch der besten Karte ist für die Auffindung von Quellen vollkommen ungenügend und selbst die Meßtischblätter geben leider nur in sehr unregelmäßiger und lückenhafter Weise die zutage tretenden Quellen an. Bei der Aufsuchung von Quellen ist zu berücksichtigen, daß deren äußerer Anblick ein außerordentlich verschiedenartiger ist, und daß nicht jede Quelle sogleich in sinnfälliger Weise dem Schoße der Erde entspringt. Manche Quellen entspringen einheitlich und ge-

schlossen mit ihrer vollen Wassermenge auf eng begrenztem Raum und fließen sofort offen ab. Andere wieder bilden eine Quellengruppe und bestehen aus über eine größere Fläche verteilten, zahlreichen kleinen Quellen, die sich erst weiter unterhalb zu einem geschlossenen Wasserlaufe vereinigen. Sobald eine Anzahl dieser kleinen Quellen unter geologisch gleichen Bedingungen ihren Ursprung nimmt, spricht man von einer Quellengruppe. Gewöhnlich wird man in einer solchen beobachten, daß die am höchsten gelegenen in ihrem Ertrage die größten Schwankungen aufweisen und die am tiefsten gelegenen neben größerer Ergiebigkeit auch eine größere Gleichmäßigkeit der Wassermenge zeigen. Sehr häufig tritt das Wasser gar nicht oder nicht gleich als frei abfließende Quelle zutage, sondern sein Austritt äußert sich in weitgehender Durchfeuchtung des Bodens. Diese wieder hat zur Folge, daß Feuchtigkeits liebende Pflanzen, Schachtelhalme, Binsen, Sumpfmose, Riedgräser, plötzlich an Stellen auftreten, an denen man sie nach der natürlichen Beschaffenheit nicht ohne weiteres erwarten kann. Es ist also auch der Pflanzenwelt des begangenen Gebietes große Aufmerksamkeit zu schenken.

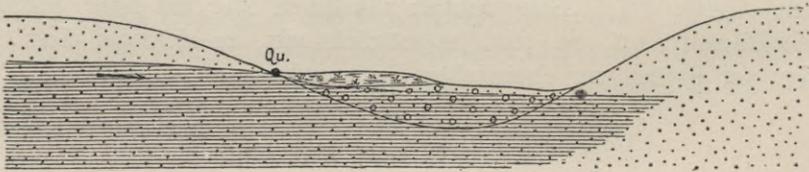


Fig. 250

Zu den bereits angeführten direkten Zeichen für das Vorhandensein von Quellen kommen noch folgende:

a) Gehängemoore und ähnliche Erscheinungen

Man versteht unter Gehängemooren Humusablagerungen, die an Abhängen in der Weise auftreten, daß, wie der vorstehende Querschnitt (Fig. 250) durch ein solches Gehängemoor zeigt, die hintere Seite des Moores sich flach an das Gehänge anlehnt, während die vordere Seite gewöhnlich ziemlich steil abfällt und die Moorfläche selbst zumeist einen der ursprünglichen Gehängeneigung entsprechenden Abfall zeigt. Solche Gehängemoore verdanken ihre Entstehung dem Austritte von Quellen und sind typische Quellenmoore. An ihrem hinteren Rande wird man bei Schürfungen gewöhnlich kräftige Quellen finden, deren Wasser unterirdisch das Moor durchfließt, um erst an seiner Stirn in Form von Bächen zutage zu treten, falls nicht durch künstliche Entwässerung,

wie dies bei den in Kultur befindlichen oder bewaldeten Mooren gewöhnlich der Fall sein wird, der offene Abfluß bereits weiter rückwärts beginnt. In solchen Gehängemooren wird man alsdann im Gegensatz zu dem stagnierenden Wasser in ebenen Mooren ein rasch abfließendes klares Wasser beobachten. Das Wasser dieser Bäche kann durch Humusstoffe braun gefärbt sein, aber dieser Umstand ist für die Benutzung der Quellen belanglos, da die Färbung der ursprünglichen Quelle fehlt und erst eine Folge des Durchfließens des Torfmooses ist. Ein solcher auf einer Linie von 40 km Länge durch Gehängemoore nachgewiesener Quellenzug verläuft am nördlichen Rande des westlichen Fläming von

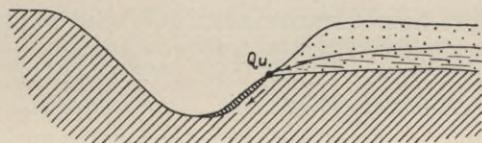


Fig. 251

Ziesar über Magdeburgerforth nach Theeßen, und es ist durch eine Anzahl von Bohrungen ein mächtiger, diese Quellen speisender Grundwasserstrom nachgewiesen worden.

b) Kalktuffablagerungen

Wenn mit kohlensaurem Kalk und Eisenoxydul beladene Quellen in raschem Laufe einen Abhang hinabstürzen und dabei tüchtig mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommen, so verlieren sie einen Teil ihrer Kohlensäure und damit die Fähigkeit, die genannten Salze in Lösung

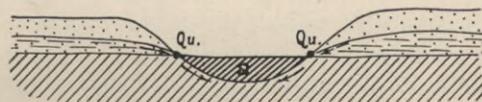


Fig. 252

zu halten. Diese werden abgeschieden, überkrusten die überrieselten Pflanzen und bilden mit der Zeit einen porösen, zelligen, lockeren, an der Luft erhärtenden Kalkstein, den man mit dem Namen Kalktuff bezeichnet. Wo man dies Gebilde antrifft, kann man mit Sicherheit auf die Anwesenheit von Quellen schließen oder, wenn sie heute die Tagesoberfläche nicht mehr erreichen sollten, wenigstens auf ihr Vorhandensein in geringer Tiefe und auf einen entsprechenden Grundwasserstrom, dem sie ihr Dasein verdanken. Heute treten die Quellen gewöhnlich am untersten Rande der Kalktuffablagerung zutage, oder sie haben sich Erosionsrinnen im Kalktuff eingeschnitten; ihre eigentliche Austrittsstelle aber liegt höher, nämlich ungefähr mit den höchsten

Punkten des Kalklagers in einem Niveau. Ist die Tuffablagerung auf das eine Gehänge eines Tales beschränkt, so wird man den Quellaustritt gewöhnlich leicht wahrnehmen (Fig. 251). Sind aber beide Gehänge quellenreich und tuffbildend, so können die beiderseitigen Tufflager in der Talmitte sich vereinigen und das Tal schließlich völlig erfüllen. Dann hat man Aussicht, einen starken, durch Zusammenfluß entstandenen Grundwasserstrom anzutreffen, wenn man in der Mitte des Tales durch das Tufflager auf den Talboden geht. (Fig. 252).

Nicht von jedem Kalktuffvorkommen darf man auf Quellen schließen. Es gibt auch ältere diluviale Kalktuffablagerungen, deren zugehörige Quellen durch inzwischen erfolgte tiefgreifende Veränderungen der Oberflächenformen längst zum Verschwinden gebracht worden sind.

c) Nischenbildung infolge von Gehängerutschungen.

Wenn wasserführende Gesteine auf undurchlässiger Unterlage ruhen, so entstehen von den ursprünglichen Quellaustrittspunkten aus-

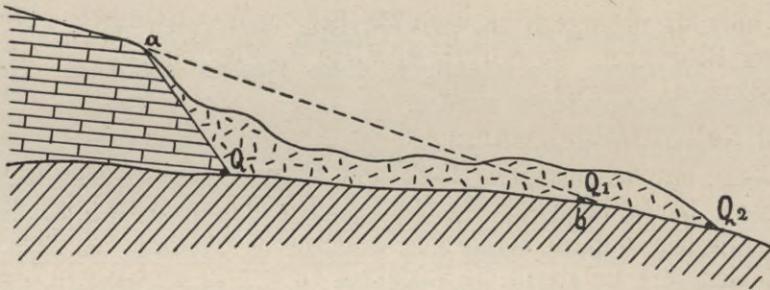


Fig. 253

gehende Rutschungen der die durchwässerte, meist tonige und daher leicht schlüpferige Unterlage bedeckenden Wasserträger. Die zerbrochenen Gesteinsmassen wandern talwärts, vom Gebirge her folgt neues Material nach und in letzterem bildet sich schließlich eine annähernd halbkreisförmige Nische heraus, deren oberer Rand völlig trocken ist. Fig. 253 stellt ein solches Verhältnis dar.

Die Quelle lag ursprünglich bei Q_1 , d. h. an der Stelle, wo die ursprüngliche Oberfläche a b mit der Grenze zwischen durchlässigem und undurchlässigem Gestein sich schnitt. Durch rückschreitende Erosion gelangte der ursprüngliche Quellort allmählich nach Q , während der sekundäre Austrittsort der Quelle bei Q_2 liegt. Solche Verhältnisse sind sehr häufig sowohl in festen wie in lockeren Gesteinen; immer lassen sie mit Sicherheit das Auftreten einer Quelle im Mittelpunkte der Ausbruchsnische erwarten.

d) Eisenabscheidungen

Alle eisenhaltigen Quellen lassen, wie wir oben sahen, an der Luft den größten Teil ihres Eisengehaltes als rotbraunes Eisenhydroxyd ausfallen; bisweilen verraten kräftige Ockerfärbungen, daß an der betreffenden Stelle früher eine Quelle zutage trat, deren Wasser durch eine Senkung des Grundwasserspiegels heute etwas tiefer fließt, aber mit Leichtigkeit gefaßt werden kann.

e) Auch meteorologische und biologische Kennzeichen von Quellen und Quelllinien gibt es, die besonders da wertvoll sein können, wo das Wasser die Erdoberfläche nicht vollständig erreicht. An solchen Stellen entstehen bei stärkerer Abkühlung der Luft leichte Nebel, und in der über dem durchfeuchteten Boden etwas feuchteren Luft tummeln sich Mücken- und Fliegenschwärme und können so auch ihrerseits als Quellenverräter dienen.

f) Viele Quellen treten unter oberflächlich lagerndem Verwitterungsschutt hervor und bewegen sich zunächst in diesem meist in geringer Tiefe unter der Oberfläche weiter, um erst später diese wieder zu gewinnen, oder unter Umständen gar nicht zutage zu treten, letzteres in dem Fall, daß sie sich direkt in das Grundwasser im Alluvium der Täler ergießen. Solche Quellen sind natürlich weit schwieriger aufzufinden, als die frei und offen abfließenden, und ihre Aufsuchung hat zur Voraussetzung, daß man sich vorher möglichst genau mit dem geologischen Bau der zu untersuchenden Gebiete vertraut gemacht hat. Liegen von ihnen geologische Kartendarstellungen vor, so ist die Aufgabe wesentlich erleichtert, man hat dann nur nötig, sich durch Beobachtungen in der Natur an der Hand und nach Anleitung der Karte ein möglichst genaues Bild davon zu verschaffen, wie sich die auftretenden Gesteine, beziehungsweise Formationen, dem Wasser gegenüber verhalten, ob sie im kleinen durchlässig, ob sie undurchlässig sind, ob Wechsellagerungen auftreten, ob sie zerklüftet und dadurch zur Wasserführung geeignet sind, oder ob dies nicht der Fall ist. Sodann hat man sich eine möglichst genaue Vorstellung von den Lagerungsverhältnissen der Gesteine zu machen, wozu ein weitgehendes Versenken in die Einzelheiten der kartographischen Darstellung erforderlich ist. Man hat zu prüfen, ob die Schichten eben liegen, oder ob sie geneigt oder gefaltet sind, ob sie einheitliche Tafeln darstellen, oder ob sie zerbrochen und in einzelne Schollen zerlegt sind, die an Verwerfungen aneinander verschoben sind. Man muß den Verlauf dieser Verwerfungen studieren und prüfen, ob auf den durchlässigen Bildungen undurchlässige Schichten auflagern, man muß wissen, ob in den geschichteten Gesteinen Einlagerungen von Stöcken oder Gänge von Eruptivgesteinen auftreten, oder ob in ihnen sich Erz- oder Mineralgänge finden, die auf verheilte Spalten hinweisen.

Alle diese und ähnliche Fragen wird eine gute geologische Karte von vornherein beantworten¹⁾, und wer Quellen aufsucht, hat dann nur nötig, den Einfluß dieser verschiedenen Verhältnisse auf die Wasserführung des Gebietes in der Natur zu verfolgen. Liegen keine Spezialkarten vor, so ist die Aufgabe wesentlich schwieriger, denn dann gilt es, wenn man sich für besondere Zwecke selbst eine geologische Karte anzufertigen die Zeit nicht hat, durch Begehung des Gebietes sich einen möglichst weitgehenden und die geologische Karte ersetzenden Überblick zu verschaffen. Mindestens muß man das Gebiet soweit studieren, daß man die maßgebenden Faktoren in dem geologischen Bau an der Oberfläche sicher erkennt und zu beurteilen vermag, wo die günstigsten Verhältnisse für die Entstehung von Quellen auftreten.

Die folgenden Ausführungen geben nach den in den Kapiteln 41 bis 50 dargestellten Gesetzen im Auftreten der Quellen eine kurze Anweisung, auf welche Umstände bei ihrer Aufsuchung in den geologisch verschiedenen Gebieten besonders zu achten ist.

1. Aufsuchung von Quellen im festen Gestein

a) Horizontale Lagerung der Schichten. Man stellt die Anwesenheit einer wasserstauenden undurchlässigen Schicht unter durch-

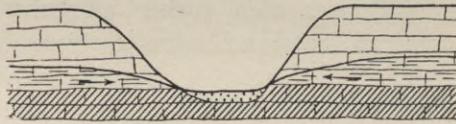


Fig. 254

lässigen Bildungen fest und verfolgt die Grenze beider. Sie wird zu-
meist natürlich an den Gehängen von Erosionstälern sich hinziehen.
In solchem Falle treten die Quellen vorzugsweise an denjenigen Stellen
des Talgehänges auf, an denen die Höhenlinien dem Tale die konkave
Seite zukehren, also im Innern flacherer oder tieferer Einbuchtungen
des Gehänges, während die konvexen Teile, also die Vorsprünge des
Talrandes, um so weniger Aussicht auf Auffindung von Quellen bieten,
je näher die Einbuchtungen aneinander rücken. (Vergl. auch Fig. 182
und 183, S. 320.) Natürlich sind bei horizontaler Schichtenlagerung von
vornherein beide Seiten eines Tales gleich günstig für das Auftreten von
Quellen (Fig. 254). In Wirklichkeit aber wird diejenige Talseite die
größere Zahl und die ergiebigeren Quellen besitzen, an welche das aus-
gedehntere, hydrologisch unter gleichen Bedingungen stehende und

¹⁾ Zum Lesen geologischer Karten finden sich ausführliche Anleitungen in meinem Lehrbuche der Praktischen Geologie, II. Aufl. Stuttgart 1908.

darum als Nährgebiet in Frage kommende Hinterland sich anschließt. Ist der Talrand auf langen Strecken frei von Einbuchtungen, so sind zahlreiche kleine Quellen zu erwarten, da hier der Quellenaustritt sich über die ganze Länge der Quellenlinie gleichmäßig verteilen muß.

b) *Geneigte Lagerung der Schichten.* Ist ein Tal in einen einseitig geneigten Schichtenkomplex eingeschnitten, in welchem oberhalb des Talbodens ein Quellenhorizont vorhanden ist, so wird die Seite, von welcher die Schichten abfallen (links in Fig. 186) quellenfrei sein, diejenige, nach der sie einfallen (rechts in Fig. 186), um so reicher daran, je flacher die Neigung der Schichten und je größer das dadurch der Infiltration dienstbar gemachte Gebiet ist. Fallen die Schichten in der Richtung des Tales stärker ein, als dieses geneigt ist, so sind da, wo eine hangende undurchlässige Schicht im Talboden ausstreicht, unter dem Alluvium nach dem in Figur 213 dargestellten Gesetze Stauquellen zu erwarten, wovon man sich durch Aufschürfungen zu überzeugen hat.

c) *Gefaltete Schichten.* Das Tal ist in eine Schichtenmulde eingeschnitten (Synklinaltal, vergl. Fig. 184). In diesem Falle sind beide Talgehänge in gleich günstiger, in bezug auf Quellen hoffnungsreicher Lage, wie das rechte Talgehänge im Falle b (Fig. 186).

Das Tal ist in einen Schichtensattel eingeschnitten (Antiklinaltal, Fig. 185). Die Hoffnung auf das Auffinden von Quellen ist in diesem Falle ebenso gering, wie auf der linken Talseite im Falle b. In einem solchen Tale sind höchstens noch in dem seinen Grund meist erfüllenden zertrümmerten Gestein gewisse Grundwassermengen zu finden.

In allen bisher besprochenen Fällen wirkt eine mehr oder weniger vertikale Zerklüftung des Gesteins durch die dadurch bedingte erhöhte Fähigkeit des Gesteinskomplexes für Wasseraufnahme gewöhnlich günstig auf die Wassermenge der auftretenden Quellen ein.

d) *Kuppelförmige Lagerung.* Wenn wasserführende durchlässige Schichten kuppelförmig aufgewölbt sind, und von undurchlässigen Bildungen allseitig umlagert werden, oder wenn an einem aus durchlässigen Bildungen aufgebauten Hügel jüngere undurchlässige Bildungen, Lehm oder Löß, allseitig angelagert sind, so hat man Aussicht, den gesamten Wasserüberschuß der Kuppel als Quelle da anzutreffen, wo die Grenzlinie der durchlässigen und undurchlässigen Bildungen ihren tiefsten Punkt besitzt. Wenn ein Erosionstal solch kuppelförmig gebautes Gebiet schneidet, so kann eine unter Umständen sehr bedeutende Quelle da auftreten, wo das Tal, aus der Kuppel heraustretend, die Grenze der stauenden undurchlässigen Schicht schneidet. Vergl. auch S. 352 und Fig. 216.

e) *Zerbrochene Schichten.* Ist das zu untersuchende Gebiet durch zahlreiche Spalten in einzelne Schollen zerlegt, auf denen Ver-

schiebungen stattgefunden haben (Verwerfungen), so treten auf solchen Verwerfungen mit Vorliebe da Quellen zutage, wo die Verwerfungen die Täler schneiden. In den Kapiteln 48 und 50 sind zahlreiche Beispiele der Schichtenlagerung infolge von Verwerfungen gegeben. Tritt an einer Stelle, wo eine Verwerfung ein Tal quert und gleichzeitig das Verhalten der Gesteine beiderseits der Verwerfung das Auftreten von Verwerfungsquellen wahrscheinlich macht, keine Quelle zutage, so darf man sie immerhin unter dem das Tal auskleidenden Alluvium erwarten und diese Vermutung durch eine Aufschürfung prüfen. Bisweilen kann man schon durch eine Messung der oberirdisch abfließenden Wassermenge oberhalb und unterhalb der kritischen Stelle und durch Feststellung einer Vermehrung des Wassers diese Vermutung bestätigt finden.

f) Eruptivgesteine und Mineralgänge. Ausgedehnte Spaltenbildung im festen Gesteine bietet den eingesunkenen Wassern leichte Zirkulationswege, selbst in den Fällen, in denen nachträglich eine gewisse Ausfüllung der Spalte stattgefunden hat. Letztere kann entweder durch Eruptivgesteine auf feurig-flüssigem Wege oder durch Erze und andere Mineralien auf wässrigem Wege geschehen sein. In beiden Fällen bleibt aber dem von der Spalte durchsetzten Gestein eine von der Zerreißung herrührende Zerklüftung beiderseits der Spalte und eine dadurch bedingte Durchlässigkeit für das Wasser. Dieses wählt deshalb mit Vorliebe diese Spalten als Weg und findet sich auf ihnen in reichlicher Menge. Der Bergbau hat in allen möglichen Tiefen einen harten Kampf mit den auf den Erzgängen zirkulierenden Wassern zu führen, und das Ausstreichen der Erzgänge, die Linie, in der sie zutage ausgehen, ist in sehr vielen Fällen von reihenweise angeordneten Quellen begleitet. Dasselbe ist der Fall, wenn Gänge oder stockförmige Massen von Eruptivgesteinen in nicht allzu durchlässigen Gesteinen auftreten (Diabasgänge im Schiefer, Granit- und Porphyrgänge im Gneis, Basaltgänge im Jura-kalk der Schwäbischen Alb). Man wird also bei der Aufsuchung von Quellen das Auftreten und den Verlauf etwa bereits bekannter Erz- oder Mineralgänge, sowie solcher von Eruptivgesteinen genau zu beachten haben.

Stoßen stark zerklüftete und infolgedessen zur Wasseraufnahme sehr geeignete Eruptivgesteinsstöcke gegen schwer durchlässige, geschichtete Gesteine (z. B. Tonschiefer), so setzen diese der Bewegung des Grundwassers einen starken Widerstand entgegen, stauen es auf und erzeugen Überfallquellen (vergl. Kapitel 45 und Fig. 206). Die Grenze dieser Eruptivgesteinsstöcke ist also sorgfältig zu untersuchen und es ist ihnen am tiefsten liegenden Punkten, vor allem also den Stellen, an denen sie von einem Tale geschnitten wird, besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Im übrigen hat man in ausgedehnten Eruptivgesteinsgebieten, und in solchen der ihnen in hydrographischer Hinsicht sehr nahe stehenden kristallinen Schiefer Quellen vorzugsweise als Spaltenquellen (vergl. Kapitel 47) zu erwarten und bei deren Aufsuchung zu berücksichtigen, daß die tiefsten Geländeeinschnitte die günstigsten Bedingungen für diese Art von Quellen bieten, und daß sie infolgedessen häufig nicht unmittelbar an der Oberfläche, sondern in geringer Tiefe unter ihr in den das Tal auskleidenden alluvialen Schuttmassen erscheinen.

Außerdem aber sind in solchen Gebieten größere Anhäufungen von an Ort und Stelle liegen gebliebenem Verwitterungsschutte zu untersuchen, deren Wasserinhalt natürlich auch an der tiefsten Stelle einer solchen Auflagerung seinen Abfluß nimmt und hier mit Vorliebe Humusablagerungen bewirkt.

g) Einen sehr wichtigen Quellenhorizont bilden diejenigen lockeren Schuttmassen, die durch Zerstörung und Verwitterung fester Gesteine entstanden sind und sich entweder noch unmittelbar am Orte ihrer

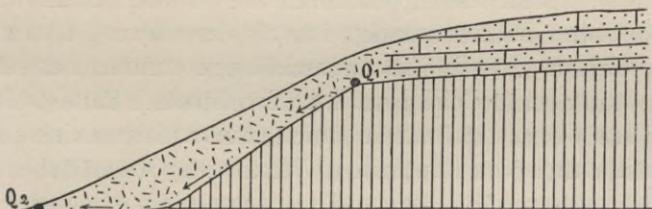


Fig. 255.

Entstehung oder wenigstens in geringer Entfernung von ihm befinden; dahin gehören alle die S. 29 besprochenen Schuttmassen, Schuttkegel, Trümmerhalden, Bergsturz- und Bergrutschmaterialien und ähnliches. Alle diese Bildungen haben infolge ihrer weitgehenden Zertrümmerung und Zerrüttung ein großes Wasserfassungsvermögen und sind deshalb und bei ihrer Lage in wenigstens bei uns zumeist niederschlagsreicheren Gebieten vielfach sehr ergiebige Grundwasserreservoirs. Wir können folgende Fälle unterscheiden:

1. Es liegen über festen, minder durchlässigen Gesteinen größere Anhäufungen von Verwitterungsschutt desselben Gesteins. In solchem Falle bildet sich auf der Oberfläche des unzersetzten Gesteins eine Grundwasseransammlung, die nun, je nach der Form und Neigung der Unterlage sich als Grundwasserbecken aufstauen oder als Grundwasserstrom abfließen wird. In beiden Fällen hat man Aussicht, da, wo unter dem Trümmerwerk das unverwitterte Gestein zutage kommt, Quellen zu finden.

2. Liegen zwei Formationen übereinander, von denen die obere weich und zerklüftet, die untere hart und wenig wasserdurchlässig ist,

so treten an der Grenze beider meist viele kleine, oder an den Stellen, an welchen das Terrain Einbuchtungen besitzt, ziemlich mächtige Quellen aus. Manchmal ist die eigentliche Austrittsstelle verdeckt durch Blockhalden und die Quelle kommt erst weiter unten bei Q_2 zutage (Fig. 255). Hat man erkannt, daß eine solche geognostische Grenze vorliegt, so muß beim Aufsuchen der Quellen diejenige Stelle der Blockhalde aufgesucht werden, an welcher die Blöcke des unterlagernden Gesteins die höchste absolute Lage einnehmen. Diese müssen naturgemäß dem Quellenaustritt am nächsten liegen.

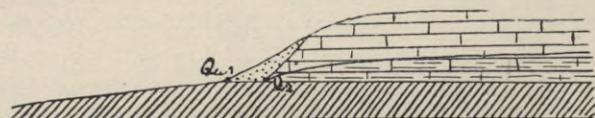


Fig. 256

Während in dem eben gedachten Falle im allgemeinen der untere Hang des Gebirges stärker geneigt ist, als der obere, ist es umgekehrt, wenn das weichere Gestein die undurchlässige untere, das härtere die zerklüftete auflagernde Gebirgsart ist. In diesem Falle ist die steilere Böschung stets oben, die flachere unten, und meistens eine so deutliche Charakteristik durch den stumpfen Winkel der Oberfläche ausgeprägt, daß es nicht schwer hält, die bei Q_1 austretenden Quellen zu finden (Fig. 256).

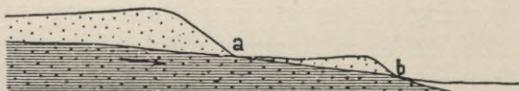


Fig. 257

Besonders schön kann man derartige Quellenerscheinungen an den Abhängen des Schwarzwaldes und der Vogesen gegen das Rheintal sehen, wo der Buntsandstein teilweise dem Granit, teilweise kristallinen Schiefnern usw. aufgelagert ist; überall an der Schichtengrenze zwischen beiden Gesteinen treten Quellen aus, und zwar teilweise sehr mächtige. Hier liegt fast immer der in Fig. 255 gekennzeichnete Fall vor, da die Böschung des unterliegenden Gebirges meist steiler ist, als die Oberflächenneigung der Sandsteingebilde. Den in Fig. 256 bezeichneten Fall trifft man häufig im Jura, besonders dort, wo mächtige Tone oder Mergel unter den klüftigen Kalksteinen liegen. Auch hier ergeben sich meist sehr schöne Quellen. Auch in den Kalksteinen der alpinen Trias sammeln sich oft große Infiltrationen über undurchlässigen Schichten

und treten an der Gesteinsscheide aus. Zu den bekanntesten Beispielen dieser Art gehören die über den „Werfener Schiefern“ auftretenden Quellen der Wiener Hochquellenleitung. Die zur teilweisen Wasserversorgung von Paris dienenden Quellen der Dhuis entspringen in ähnlicher Weise auf der Grenze zwischen dem undurchlässigen, aus Mergeln bestehenden Unteroligozän und den zerklüfteten, durchlässigen, mitteloligozänen Sandsteinen und Kalken des Pariser Beckens. Es gibt auch Quellen, wo der Schutt die Stelle des schwerer Durchlässigen, der Fels die Rolle des Leichtdurchlässigen spielt (Quellen im Triaskalk von Telfs, Tirol).



Fig. 258

2. Aufsung von Quellen in lockeren Gesteinen

1. Wenn in einem breiten Tale sich zwei oder mehr übereinander liegende Terrassen finden, so sind sie, da sie gewöhnlich aus ganz durchlässigen Schichten aufgebaut sind, in den weitaus meisten Fällen Träger eines Grundwasserstromes, der zum Flusse als seinem natürlichen Vorfluter entwässert. Wenn diese Grundwasserwelle an einer Stelle, die dann meist am Fuße des Abfalles der einen Terrasse zur anderen liegen wird, mit der Geländeoberfläche zum Schnitte gelangt, so werden an dieser Stelle ständige oder intermittierende Quellen auftreten,

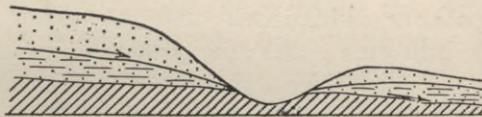


Fig. 259

letzteres in dem Falle, daß nur ein Hochstand des Grundwassers den angenommenen Schnitt ermöglicht. Der Querschnitt (Fig. 257) durch den Nordabhang des Radüetales in Pommern mag diese Verhältnisse illustrieren. Die am Fuße der oberen Terrasse bei a auftretende Quelllinie hat zunächst Veranlassung zur Bildung kleiner Gehängemoore gegeben. Die abfließenden Bäche haben, wenn wasserreich, sich ihre Betten in der tieferen Terrasse bis auf und unter die Grundwasserwelle eingeschnitten; wenn wasserarm oder mit geringem Gefälle ausgestattet, wie in der Fig. 258 angenommen, versinken sie im durchlässigen Boden der unteren Terrasse und treten erst an deren Fuße als unmittelbare Grundwasserzuflüsse des Stromes wieder zutage.

Bei niederem Grundwasserstande aber wird, wie in Fig. 258 angenommen, die Oberfläche im Terrassenwinkel bei a überhaupt nicht erreicht; er kommt ihr aber hier am nächsten und eine Schürfung hat Aussicht, Wasser in sehr geringer Tiefe zu finden.

2. Ist ein Tal in eine geneigte Hochfläche nicht in der Richtung ihres Gefälles eingeschnitten, sondern rechtwinklig dazu (Fig. 259), so wird man die größere Hoffnung auf Auffindung von Quellen auf derjenigen Talseite haben, die unter dem Anstieg der Hochfläche liegt, da sie ein bedeutend größeres topographisches Infiltrationsgebiet besitzt, als die andere Seite. Dieser Fall ist bei den ostwestlich verlaufenden Tälern nördlich vom baltischen Höhenrücken in Pommern und Westpreußen zu beobachten, findet aber gewiß auch auf andere Teile Norddeutschlands Anwendung.

3. Eine besondere kurze Besprechung verdienen, schon wegen ihrer ungeheuren räumlichen Verbreitung in Norddeutschland und im Alpenvorlande, die glazialen Schuttablagerungen, deren Entstehung wir im 3. Kapitel kennen gelernt haben. In beiden Gebieten kommen die sandigen und kiesigen fluvioglazialen Bildungen als Wasserträger, die mehr oder weniger tonigen Grundmoränen, die feinsandigen Schluff- und Mergelsande und die Tonmergel als Wasserstauer in Betracht.

Im nördlichen Deutschland ist besonders die obere Grenze des unteren Geschiebemergels und der in mehreren Horizonten des Diluviums auftretenden Tonmergel ein sehr weit verbreiteter Quellenhorizont. Sucht man Quellen in einem Gebiete, von welchem bereits geologische Spezialkarten vorliegen, so wird man sich zunächst aus ihnen vergewissern, ob an Gehängen diese Bildung so auftritt, daß über ihr durchlässige Sande und Kiese in größerer Mächtigkeit und in solcher Verbreitung und Schichtenneigung auftreten, daß ein größeres Infiltrationsgebiet das Grundwasser auf der Oberfläche des unteren Geschiebemergels nach den Stellen abfließen lassen muß, an denen die genannte Bildung zutage tritt. Hat man keine Karten, so muß man sich den erforderlichen Überblick durch eine sorgfältige Begehung des Geländes zu verschaffen suchen. Wo diese glazialen Schichten eben lagern, gelten für ihre Quellenführung dieselben Gesetze wie für die festen Gesteine (siehe oben S. 458 ff.). Vielfach aber wird die Oberfläche der undurchlässigen Schicht gefaltet, gebogen oder in der unregelmäßigsten Weise gerunzelt sein, und dann ist das Auftreten von Quellen an die Anschnitte tieferer Einsenkungen dieser Oberfläche geknüpft, während die höher aufragenden Teile vollkommen trockene Grenzflächen zeigen. Ist nun gar diese undurchlässige Unterlage stark gestaucht, überfaltet, zerrissen oder sonstwie durch glaziale Kräfte stark gestört, wie dies besonders in Endmoränengebieten gern der Fall ist, so hört jede Vorausbestimmung für das Zutagetreten von Quellen auf und diese treten dann bisweilen

an geradezu verblüffend unwahrscheinlichen Punkten, z. B. auf der Kuppe von sandigen Hügeln oder inmitten eines sandigen Abhanges zutage, sind auch vielfach artesisch und entspringen dann als Sprudelquellen gleichfalls an nicht zu ahnenden Punkten.

Im Anschlusse an diese Winke für die Aufsuchung von Quellen mögen eine Anzahl von damit in Zusammenhang stehenden Bemerkungen ihren Platz finden, die ich zum größten Teile der Freundlichkeit von Alb. Heim verdanke.

1. Beurteilung von Quellen

Wenn man eine Quelle findet, die für praktische Verwendung geeignet erscheint, so ist es wünschenswert, zu wissen, ob es sich um

a) nur unbedeutend versickertes, ungereinigtes Tageswasser, gespeist vom nahen Bache oder Flusse, oder um

b) Talbodengrundwasser, oder um

c) tiefes Bergquellwasser handelt.

a) zeigt schwankende Temperatur, schwankenden Ertrag, rasch parallel den Niederschlägen, schwankende chemische Zusammensetzung;

b) zeigt konstantere Temperatur bis ganz konstant, und konstante chemische Zusammensetzung;

c) zeigt konstante Temperatur, kühler als b, chemische Zusammensetzung variabler als b, aber konstanter und anders als a.

2. Die Beurteilung der Quellen in sanitärer Hinsicht

Zur Prüfung der Frage, ob eine Quelle hygienisch einwandfreies Wasser führt, kommen drei Untersuchungsmethoden in Betracht:

a) Die chemische Untersuchung. Sie untersucht die Zusammensetzung des Wassers in dem Augenblicke der Probeentnahme und ist in ihrem Ergebnisse deshalb an eine winzige Probe gebunden. Da aber die Verunreinigungen des Wassers in sehr erheblichen Grenzen schwanken und vielfach nur vorübergehende Erscheinungen darstellen, so können sie sowohl im ganzen wie in ihrem Betrage der chemischen Untersuchung leicht entgehen. Sicher ist diese daher nur, wenn sie ein schlechtes, zur Ablehnung der Quelle führendes Resultat liefert.

b) Die bakteriologische Untersuchung. Sie leidet naturgemäß unter denselben Fehlerquellen wie die chemische und ist infolgedessen auch nur bei erlangtem schlechten Resultate brauchbar.

c) Die dritte ist die geologische Methode. Sie besteht in einer Feststellung des Nährgebietes einer Quelle und in der Untersuchung ihres gesamten Verhaltens und aller ihrer Beziehungen zur Oberfläche und zur Lagerung der Gesteine. Sie stellt fest, ob im gesamten Gebiete sich Infektionsgelegenheiten finden, die nicht von den Quellenzuflüssen isoliert sind, oder deren Infiltrationsweg eine zur Reinigung nicht ge-

nügende Länge oder Tiefe besitzt. Man darf bei Beurteilung dieser letzteren Frage annehmen, daß bei feinsandigen bis tonigen Böden, bei denen also die Wasserbewegung eine sehr langsame ist, eine vertikale Filtration von 20 m oder eine horizontale Filtration von 200 m genügt, um die durch Düngung oder Ähnliches bewirkten Verunreinigungen des Wassers zu beseitigen. Die geologische Methode der hygienischen Untersuchung ist infolgedessen unabhängig von der einzelnen Probe und ist bei guten Aufschlüssen und bei gutem Einblick in das ganze Quellenregime zweifellos die sicherste. Oft aber sind die Aufschlüsse ungenügend oder die geologischen Verhältnisse so schwierig, daß ein zuverlässiger Überblick sich nicht gewinnen läßt; dann müssen alle drei Methoden zusammen zur Beurteilung der Frage herangezogen werden.

3. Regeln und Erfahrungen beim Fassen von Quellen

Um bei der Fassung von Quellen den größtmöglichen Ertrag zu erzielen, muß man den Fassungsgraben solange vertiefen, als noch Wasser von unten emporquillt. Dies gilt natürlich nicht für aufsteigende (artesische Quellen), sondern nur für absteigende Schichtquellen. Es ist bei ihnen zweckmäßig, mit der Fassung tunlichst bis auf die undurchlässige Unterlage, also den Wasserstauer, hinunter zu gehen. Ferner

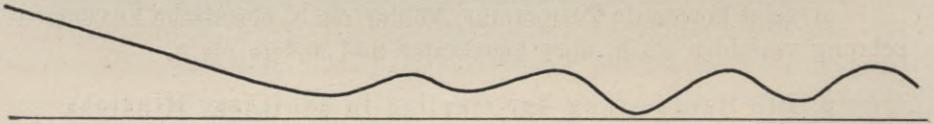


Fig. 260

soll man bei Quellfassungen mit der Fassungsanlage und der von ihr ausgehenden geschlossenen Leitung soweit bergewärts gehen, daß von der Oberfläche her keine Verunreinigung mehr in das Wasser eindringen kann. Durch Einbau von Stauen vermindert man den Ertrag einer Quelle, während Vertiefung der Fassung ihn solange vermehrt, bis man die undurchlässige Unterlage erreicht, worauf natürlich weiteres Vertiefen zwecklos ist.

Neu erschlossene Quellen liefern zuerst eine höhere Wassermenge als in späteren Zeiten. Es ist dies darauf zurückzuführen, daß durch die Fassung und Vertiefung des Abflusniveaus vorher gestaute Wasservorräte nunmehr zum Abfluß gelangen. Ist dieser Abfluß erfolgt, so tritt zunächst eine Abnahme ein und dann setzen regelmäßige Schwankungen nach der in Fig. 260 dargestellten Kurve ein.

Es gibt Quellen, die durch gründliche Fassung im Ertrage stark zunehmen, besonders in den Fällen, in denen die Quelle sich aus einer ganzen Anzahl von einzelnen Gerinnen zusammensetzt, während solche Quellen, die von vornherein einheitlich austreten, durch tiefere Fassung sich in ihrem Wasserertrage nicht vermehren lassen. Dies

gilt auch für den Fall, daß das Quellwasser von oben her in geschlossenem Strahl in die Fassung hineinfällt. Wenn man in einer Quellengruppe eine Quelle gut und tiefgehend faßt, so entzieht sie den anderen gewöhnlich einen größeren oder geringeren Teil ihres Wassers. Im allgemeinen kann man annehmen, daß das Wasser dem Quellorte nicht auf dem kürzesten, sondern auf dem bequemsten, reibungsärmsten Wege, unter sonst gleichen Umständen daher auf dem steilsten Wege zufließt, so daß der Fassungsweg einer Quelle für die anderen Quellen der Gruppe einen bequemeren Weg darstellt, dem sie unter Verlassen des bisherigen zufließen.

4. Über die Fassung von Mineralquellen hat A. Scherrer in Ems im Deutschen Bäderbuche S. XXVIII—XXXI wertvolle Ratschläge erteilt, die ich im folgenden wörtlich wiedergebe.

Jede Mineralquelle ist ein Individuum für sich: im Entstehen, im Hervortreten aus dem Gebirgsinnern, im Verhalten beim Austritt an die Erdoberfläche, in der Verwendung zu Trink- und Badekuren, in der Behandlung als Versandwasser und ebenso auch in den Maßnahmen, welche für eine Fassung der Quelle erforderlich sind¹⁾.

Die jetzt vorhandenen Quellen sind teils natürliche Ausflüsse, die einer besonderen Fassung nicht bedurften, teils sind sie bereits mit künstlichen Fassungen versehen. Entweder sind die Mineralquellen da gefaßt, wo Mineralwasser sich an der Erdoberfläche bemerkbar machte, oder sie sind durch Bohren oder Schürfen erschlossen worden. Der Zweck einer Fassung ist, das Benutzen der Quelle mittels Schöpfens usw. zu erleichtern, den Ausfluß des Wassers vor Beschädigung, Vermischung mit Grund- und Oberflächenwasser und Verunreinigung zu schützen und gegebenenfalls die Menge des ausfließenden Wassers zu steigern. Wenn z. B. schon vor über 2000 Jahren die Römer in einzelnen ihrer deutschen Niederlassungen viele Meter tiefe Schächte gegraben haben, um Mineralquellen zu fassen, so waren auch diese Quellen, wie heute noch, an der Erdoberfläche kenntlich, und die Römer haben die tiefen Schächte nur deshalb gegraben (z. B. in Bertrich a. d. Mosel), um das reine Mineralwasser in eine geschlossene Röhre zu bekommen und unvermischt durch das darüberliegende Grundwasser hindurchzuführen.

Ob man beim Aufsuchen von Mineralquellen schürfen oder bohren soll, hängt von verschiedenen Umständen ab. Die Schürfung hat den großen Vorteil, daß man alle Vorgänge in ihren Einzelheiten beobachten kann. Beim Bohren ist der Erfolg von Zufälligkeiten abhängig. Hierbei sind zunächst die Alluvial- und Diluvialschichten zu

¹⁾ A. Scherrer sen., „Mechanismus der Quellenbildung und die Biliner Mineralquellen“; Vortrag, gehalten auf der Hauptversammlung des Vereins der Kurorte und Mineralquelleninteressenten usw. in Kissingen. *Balneol. Ztg.* 1905, S. 113.

A. Scherrer jun., „Über moderne Quellfassungen“. *Balneol. Ztg.* 1905, S. 65.

durchteufen, bevor man auf dem festen Felsen anlangt. Die Felsenschichten haben eine mehr oder weniger geneigte Lage; je nachdem die einzelnen Schichten hart oder weich sind, weicht der Bohrer aus, das Bohrloch wird somit nicht gerade, sondern zickzackförmig. Wenn dann in einer Tiefe von vielleicht mehreren hundert Metern die reine Mineralquelle mit dem Bohrloch auch erschlossen wurde, so sind die in den durchsunkenen hangenden Schichten zirkulierenden gewöhnlichen Wässer im Bohrloch zusammendrainiert und vermischt mit dem Mineralwasser. Durch eine sogenannte Verrohrung, d. h. durch das Hineinsenken einer möglichst an die Bohrlochwandungen anliegenden Röhre von entsprechend widerstandsfähigem Material, welche bis auf die Mineralquelle hinunterreicht, versucht man die gewöhnlichen Wässer vom Mineralwasser abzuhalten. Weil das Bohrloch jedoch eine Zickzacklinie beschreibt, kann nur eine bedeutend engere Röhre eingeführt werden, als der Durchmesser des Bohrloches beträgt, und es entsteht dadurch ein Ringkanal zwischen Verrohrung und Bohrloch, der, mit Sand ausgefüllt, der Vermischung der verschiedenen Wässer einen gewissen Widerstand entgegengesetzt. Eine vollständige Trennung der Wässer, wie dies bei der Schürfung ermöglicht ist, kommt nicht zustande. Andererseits bietet die Bohrung allerdings den Vorteil, daß dabei Quellen aus einer Tiefe aufgeschlossen werden können, welche mit einer Schürfung nicht zu erreichen wäre.

Die Neufassung einer Mineralquelle kann aus verschiedenen Gründen notwendig werden, wenn z. B. Schwankungen in der Zusammensetzung des Wassers oder im Ertrag der betreffenden Quelle in verschiedener Jahreszeit oder bei verschiedener Witterung vorhanden sind. Derartige Schwankungen weisen in der Regel auf mangelhafte Abdichtung gegen das Grundwasser hin. Bei trockener Jahreszeit tritt in solchen Fällen Mineralwasser in das Grundwasser über; bei atmosphärischen Niederschlägen und damit steigendem Grundwasser wird gewöhnliches Wasser im Erdinnern dem Mineralwasser sich beimischen können.

Entsteigen in der Umgebung einer Mineralquelle dem Boden Dampf- oder Gasblasen, so ist dies ein Beweis, daß außerhalb der Fassung warmes oder gashaltiges Wasser den Untergrund durchdringt. Bei einem gashaltigen Wasser verraten also die aufsteigenden Gasblasen die Richtung, aus welcher die Quelle herkommt.

Angenommen, es werde zum Zweck der Neufassung einer Quelle eine Grube aufgeworfen um den Quellaustritt herum, bis auf der ganzen Sohle der Grube Wasser erscheint, und es steigen an einzelnen Stellen in der Grube Gasblasen auf, so ist die Quelle in der Tiefe da zu suchen, wo die Gasblasen erscheinen, und dabei wird sich bald herausstellen, ob diese Blasen auf einer Linie erscheinen, das Mineralwasser demnach aus einer Schichtfuge oder aus einem Riß des Gebirges empor-

quillt, oder nach allen Richtungen zerstreut das Felsengebirge verläßt, ob die Fassungsgrube demnach eine längliche oder mehr runde Form größeren oder kleineren Umfanges anzunehmen hat.

Mineralquellen, welche kein freies Gas enthalten, muß man mit Hilfe des Thermometers oder durch Bestimmung der gelösten festen Bestandteile verfolgen. Entfernt man z. B. eine alte Fassung, und es treten in der hierdurch entstehenden Grube oder dem dabei entstehenden Graben verschiedenartige Wässer zutage, so kann man durch Titration binnen weniger Minuten feststellen, welcher Zufluß der gehaltreichste ist und welchem daher nachgegraben werden muß. Ähnlich verhält es sich mit der Temperatur. Eine wenn auch nur um wenige zehntel oder hundertstel Grad höhere Temperatur gegenüber gewöhnlichem Wasser zeigt ein Entströmen des Wassers aus tieferen Schichten der Erde an.

Um eine rationelle Fassung einer Mineralquelle bewerkstelligen zu können, ist vor allen Dingen eine Basis im Gebirgsinnern aufzusuchen, auf der man eine Dichtung anbringen kann. Die beste Basis bilden natürlich Felsen, jedoch auch diese können so vom Mineralwasser zersetzt sein, daß eine vollständige Abdichtung nicht herzustellen ist. Von den Römern hergestellte Fassungen, die mehrfach aufgedeckt wurden, haben jeweils darin bestanden, daß über die Quellaustritte eine große Steinplatte auf die vorher entsprechend hergerichtete Felsenoberfläche gelegt wurde. In die Steinplatte wurde ein rundes Loch gemeißelt, und am Rande der Steinplatte wurden zwischen diese und die Felsenoberfläche genau eingefaßte Holzkeilchen, eines dicht an das andere, getrieben, bis das Wasser zwischen Felsen und Platte nicht mehr austreten konnte, sondern durch das Loch in der Platte aufsteigen mußte. In dieses Loch sind nachher metallene oder hölzerne Steigröhren eingeschlagen worden, um das Wasser nach oben zu führen. Je nach der Eigenschaft des Wassers, derjenigen der Felsen und derjenigen der Steinplatte hat eine derartige Fassung kürzere oder längere Zeit vorgehalten¹⁾.

Kohlensäurehaltige Wässer, vornehmlich Thermalwässer, haben diese Holzkeile und Holzrohre bis zu Brei erweicht, so daß das Mineralwasser durchprechen konnte; auch die Steinplatten sind durch das Wasser zerstört worden. Bei Ausgrabungen wurden über 2000 Jahre alte Bleiröhren vollständig erhalten vorgefunden, da aber, wo sie ursprünglich mit Traßmörtel eingemauert waren, waren sie vollständig zerstört. Bei Quellen anderer Zusammensetzungen sind umgekehrt die Bleiröhren im Traßmörtel erhalten und vom Erdreich umgebene zerstört worden. Ähnlich verhält es sich mit dem Zinn und anderen Metallen. Ein im Kränchen von Ems gefundener Zinnbecher, der zweifellos mehrere Jahrhunderte

¹⁾ A. Scherrer, „Schicksale einer deutschen Mineralquelle während 2000 Jahren“. Bericht über die Hauptversammlung des Vereins der Kurorte und Mineralquelleninteressenten usw. in Coblenz 1903, S. 104.

in einem früher unzugänglichen Felsenloch der Quelle gelegen hat, war inkrustiert, römische Kupfermünzen bis auf ein dünnes Gerippe aufgelöst, andere daneben liegende, mit Tonschlamm bedeckte Kupfermünzen vollständig erhalten geblieben. Bronzegegenstände, alte Schmucksachen, Münzen, die in der Vorzeit den Quellen geopfert wurden, sind fast durchweg erhalten geblieben.

Man kann also nicht sagen, daß es ein Metall gebe, das sich für alle Mineralquellenfassungen eigne. Um festzustellen, welches Metall sich für eine Quellfassung am besten eignet, sind an Feilspänen der in Betracht kommenden Metalle Untersuchungen über ihre Widerstandsfähigkeit gegen das betreffende Mineralwasser anzustellen.

Bei der Befestigung der Metallfassung auf den Felsen ist möglichst wenig Kalk, Zement oder Traßmörtel zu verwenden. Viele Quellen machen den Zement porös und wasserdurchlässig; ganz unlöslich ist nur Ton (Lette). Da dieser jedoch, künstlich eingebracht, sehr leicht Trübungen im Mineralwasser herbeiführt, ist es zweckmäßig, die Felsenoberfläche, in welcher das Mineralwasser zirkuliert, aufs peinlichste zu reinigen, einen möglichst wenig dicken Zementüberzug auf die Felsen aufzutragen und mit diesem die Metallfassung auf die Felsen festzukitten. Wenn der Zement erhärtet ist, soll darüber eine möglichst große Letteschicht aufgestampft werden zur vollständigen und dauernden Abdichtung. Die dünne Zementschicht wird zwar im Verlauf der Jahre undicht, inzwischen hat jedoch der eingestampfte Ton eine derart feste Lagerung angenommen, daß eine Trübung des Wassers nicht mehr zu gewärtigen ist.

Die meisten alten und viele Fassungsversuche der neueren Zeit sind an der Schwierigkeit der Wasserhaltung während der Arbeiten gescheitert. In die Baugrube dringt nicht nur von unten Mineralwasser, sondern von den Seiten und von oben herunter gewöhnliches Wasser. Man bringt deshalb gleichzeitig außerhalb und innerhalb der Fassung je eine Pumpe an, um außen das gewöhnliche und innen das Mineralwasser auszupumpen, bis die Dichtung, der Zement oder die Lette zwischen den beiden Wässern eingebracht und wasserdicht geworden ist. Unterbrechungen der Sumpfung, wenn auch nur von wenigen Minuten, sind aber unvermeidlich, und ein Steigen des betreffenden Wasserspiegels genügt, um das eine oder andere Wasser durch Haarrisse in den Felsen, unter dem noch nicht erstarrten Zement hindurch, nach dem andern Wasser hinüberzudrängen.

Während des Fassens einer Quelle und der Sumpfung der Baugrube sind andere Wasserzirkulationsverhältnisse in der Umgebung der Baugrube und unter derselben vorhanden, als wenn die Fassung vollendet ist und das Grundwasser seinen normalen Stand, das Mineralwasser seine natürliche Überlaufhöhe wieder angenommen hat. Es gehören

also besondere Erfahrung, geübte Arbeiter und entsprechende Aufsicht dazu, um das bestmögliche Resultat zu erreichen.

Die Größe der Fassung, d. h. die Größe des Hohlraums, in dem das Mineralwasser sich sammelt, um nach der Erdoberfläche aufzusteigen, richtet sich nach der Beschaffenheit und Menge des Mineralwassers, das den Felsen entspringt. Ist der Fassungsraum zu groß und die Steigröhre zu weit, so hält das Mineralwasser sich darin zu lange auf, Thermalwasser wird gekühlt, gashaltiges Wasser gewinnt Zeit, Gas abzuspalten, Wasser ohne Gasüberschuß nimmt zirkulierende Bewegung im Hohlraum an, wodurch Trübung und Entwertung entstehen kann. Zu enge Fassungsräume und zu enge Steigröhren setzen dem durchfließenden, nicht stark gashaltigen Wasser zu großen Widerstand entgegen und geben Veranlassung, daß das Mineralwasser an unbekanntem Stellen wieder verloren geht. Bei stark gashaltigen Wässern können infolge zu enger Steigröhren Sprudel erzeugt werden dadurch, daß das aus dem Wasser freiwerdende Gas mit größerer Geschwindigkeit nach oben treibt als das Wasser, wobei das letztere mitgerissen wird, weil die Röhre zu eng ist, um Gas und Wasser nebeneinander vorbeizulassen. Bei dem gewaltsamen Herausschleudern des gashaltigen Wassers aus der Quelle wird es so stark erschüttert, daß es nur in gasarmem Zustande nutzbar gemacht werden kann. Andererseits können tiefliegende kohlenensäurehaltige Quellen, die von selbst nicht an die Oberfläche aufsteigen würden, durch sachgemäße Konstruktion der Steigröhren zur Sprudelbildung und damit zum Auftrieb bis über die Erdoberfläche gebracht werden. Fast immer sind aber derartige Quellen Schwankungen in der Zusammensetzung und im Ertrage unterworfen.

Mineralquellen, die nicht an die Erdoberfläche aufsteigen, in Brunnen gesammelt und mittels Pumpen gehoben werden, erliegen dem Einfluß der Störungen im hydrostatischen Gleichgewicht, wenn die Pumpen nicht ununterbrochen arbeiten. Solche Quellen, besser gesagt Brunnen, in denen sich unterirdisches Wasser sammelt, haben nur so lange einen Zufluß, als das Wasser im Brunnenschacht eine gewisse Höhe noch nicht erreicht hat. Der Erguß von Mineralquellen ist stets gleichmäßig; wenn also das Mineralwasser in den Brunnen nicht mehr einfließen kann, muß dasselbe anderswohin abfließen, es verliert sich in das Grundwasser hinaus und vermischt sich mit diesem. Während das Wasser aus den Brunnen mittels Pumpen oder sonstwie gehoben wird, fließt zwar anfangs verhältnismäßig reines Mineralwasser dem Brunnen zu, bei gesteigerter Wasserentnahme tritt aber auch auf demselben Wege, auf dem sonst das Mineralwasser hinausgeht, gewöhnliches Wasser, mitunter verunreinigtes Grundwasser, in den Brunnen hinein, bis nach und nach durch die Wechselwirkung des Zu- und Abfließens der Brunnen völlig entwertet ist. Diesem Übelstande hilft man dadurch

ab, daß am Boden des Brunnens die Mineralquelle gefaßt und ein Steigrohr eingebaut wird, durch das die Quelle, stets auf die gleiche Überlaufhöhe aufgetrieben, in den wasserdicht gemachten Brunnen überläuft und aus demselben nach Bedarf gepumpt werden kann, während ein Rohr das nicht gepumpte Wasser ableitet. Selbstredend sind derartig gewonnene Wässer nicht denen gleichwertig, die unmittelbar aus der fließenden Quelle entnommen werden, weil das Wasser bei seinem Aufenthalt im Brunnen chemische Veränderungen erleiden kann.

Für die Verwendung des Wassers von nicht genügend aufsteigenden Quellen zu Trink- und Versandzwecken ist eine wasserdichte Grube herzustellen, welche etwas tiefer ist als der Mineralwasserüberlauf, und in der die Versandgefäße oder die Trinkgläser gefüllt werden. Früher hat man derartige Quellen (und es bestehen noch eine ganze Anzahl solcher Einrichtungen) in einem Brunnen angestaut und in diesen besondere Schöpfgefäße oder auch die Trinkgläser und Versandgefäße eingetaucht. Abgesehen von der Veränderung, welche das Mineralwasser in dem oben offenen Brunnen erleidet, ist ein derartiger Betrieb hygienisch zu beanstanden.

In einwandfreier Weise begegnet man all diesen Übelständen damit, daß auf dem Quellenstandrohr ein Gefäß von entsprechender Größe aufgebaut wird, in das das Wasser überläuft. Dieses Gefäß ist mit einer aufgeschraubten Glasglocke hermetisch oben abgedeckt, in einer Form, die das Spiel der Quelle beobachten läßt. An der Seite sind eine entsprechende Anzahl Hähne zur Füllung der Trinkgläser und ebenso Überlaufrohren mit Siphonverschlüssen für Gas und Wasser angebracht, um das nicht durch die Hähne abgelassene Wasser und das Gas ohne Verunreinigung der Quelle abzuführen. Dieser Quellenauslauf ist in einer entsprechend architektonisch ausgestalteten, treppenförmigen Grube angeordnet, in welcher das Füllpersonal hantiert. Überall darf nur widerstandsfähiges Material verwendet werden. Marmor, Zement, also auch in Zement gelegte Kacheln, Schiefer, sogenannter belgischer Granit usw. werden von Mineralwasser allmählich angegriffen; dagegen halten sich polierter Granit, Porphyr, Serpentin u. dergl. vorzüglich. Je glatter die Wandflächen und je sauberer die Ausführung, desto leichter und reinlicher die Instandhaltung; Reinlichkeit allerwegen ist erste Bedingung für alle Mineralquellenbetriebe.

64. Kapitel

Die Aufsuchung von Grundwasser

Die Aufsuchung von Grundwasser stellt erheblich höhere Anforderungen an die Fähigkeiten des Hydrologen als diejenige von Quellen, weil bei ihr die unmittelbare Beobachtung vielfach ausgeschlossen und der Untersuchende zum Teil auf indirekte Schlußfolgerungen angewiesen

ist. Mehr noch als die der Quellen hat die Aufsuchung von Grundwasser eine möglichst genaue Kenntnis der geologischen Beschaffenheit der zu untersuchenden Gegenden zur Voraussetzung, vor allem aber die Fähigkeit, die Morphologie des Gebietes, also die Formen seiner Oberfläche und ihre Entstehung, zu erkennen und richtig zu deuten. Ganz besonders im Hügellande und Flachlande, in Gebieten also, wie sie zwei Drittel Deutschlands und fast ebensoviel von Europa einnehmen, stehen die Grundwasserverhältnisse in so enger Beziehung zu den Formen der Oberfläche, daß es einen großen Fortschritt in der Erkenntnis jener bedeutet, wenn man diese sicher gedeutet hat. Infolge dieser engen Beziehungen ist auch die Aufsuchung und Untersuchung von Grundwasser und Quellen eine rein geologische Aufgabe, und es ist sehr zu bedauern, daß nicht allgemein bei größeren Wasserversorgungen die Mitwirkung eines erfahrenen Geologen verlangt wird, da dadurch in sehr vielen Fällen erhebliche Kosten erspart werden können.

Jede hydrographische Untersuchung hat sich zuerst nach dem geologischen Bau des Gebietes zu erkundigen. Sind bereits geologische Karten desselben vorhanden, so ist die Aufgabe erheblich viel leichter. Fehlen solche Karten, so wird sich der Untersuchende selbst zunächst ein möglichst genaues Bild vom geologischen Bau des Gebietes, von den darin auftretenden Formationen, ihrer petrographischen Zusammensetzung, ihren Verbands- und Lagerungsverhältnissen zu machen haben.

Sodann wird man der Morphologie des Gebietes seine Aufmerksamkeit zu schenken haben. Im Gebirgs- und Hügellande wird es meist leicht sein, zu sehen, ob man sich in einem Talboden, auf einer alten Flußterrasse, in einem alten, ausgefüllten Seebecken oder auf einer Hochfläche befindet. Schwieriger wird diese Aufgabe im Flachlande, wo alle Formen auf Kosten der Höhe in die Breite gehen, wo die Täler oftmals eine so große Ausdehnung besitzen, daß ihre Ränder sich dem Blick entziehen, und wo anderseits die Hochflächen zu so vollkommenen Ebenen werden können, daß sie riesenhafte Talböden vorzuspiegeln vermögen. Hier werden aber zumeist geologische Übersichtskarten, für Deutschland beispielsweise die von R. Lepsius als geologische Karte herausgegebene Karte des Deutschen Reiches 1 : 500 000, bald die erforderliche Klarheit gewähren, während für die östliche Fortsetzung des Norddeutschen Flachlandes in Rußland, bei dem Mangel an entsprechenden Karten, diese Aufgabe schon schwieriger liegt. Es fällt bei den ehemals vergletschert gewesenen Gebieten erschwerend ins Gewicht, daß im Gegensatz zum Gebirgs- und Hügellande die Täler in ihnen durchaus nicht immer ein fließendes Gewässer bergen, sondern vielfach als glaziale Trockentäler, als sogenannte Urstromtäler entwickelt sind, deren Entstehung und Verlauf wir in Kap. 3 geschildert und in Fig. 8 dargestellt sehen. Aus der Summe der geologischen und

morphologischen Kenntnisse, die wir uns über das zu untersuchende Gebiet verschafft haben, müssen wir versuchen, uns ein Bild von der Verbreitung unterirdischen Wassers und von den Gesetzen, denen seine Bewegung in der Erde unterworfen ist, zu machen.

Aus dieser Kenntnis heraus gewinnt man Klarheit über die Verbreitung der Schichten, in denen eine Wasserführung überhaupt möglich ist, und kann von vornherein alle solche Gebiete im großen und kleinen undurchlässiger Gesteine ausschließen, in denen weitere Nachforschungen aussichtslos sind.

In den entgegengesetzten, also wasserhöfflichen Gebieten wird man die bereits vorhandenen Aufschlüsse des Grundwassers zunächst einer sorgfältigen Untersuchung unterwerfen, d. h. alle künstlichen und natürlichen Entblößungen des Grundwasserspiegels aufsuchen und studieren. Dahin gehören: Brunnen, Bohrlöcher, Steinbrüche, Tagebau auf Erze und Kohle, Ton-, Sand-, Kies- und Lehmgruben und alle natürlichen Quellen.

Die Lage der Quellen und aller anderen künstlichen Entblößungen der Oberfläche des Grundwassers ist mit möglichster Genauigkeit in die Karte, am besten in eine geologische, einzutragen. In Brunnen und sonstigen künstlichen Entblößungen ist die Höhenlage des Grundwasserspiegels unter der Oberfläche in bezug auf N. N. zu bestimmen, es sind die Schwankungen seines Spiegels durch Erkundigungen festzustellen, und zwar sowohl die von der Entnahme abhängigen täglichen kleinen Schwankungen, wie auch die von der Speisung des Grundwassers abhängigen größeren jahreszeitlichen Schwankungen. Hat man viele Brunnen bei der Untersuchung zur Verfügung, so wird es möglich sein, aus den so gewonnenen Zahlen eine Wasserisohypsenkarte nach den Angaben auf S. 118 ff. anzufertigen. Solche Karte läßt auch die Richtung und den Grad der Neigung der Grundwasser Oberfläche ohne weiteres erkennen und gestattet somit die Feststellung der Gebiete stärksten Grundwassergefälles und die Auswahl solcher Orte, an denen die größte Ergiebigkeit des Grundwassers wahrscheinlich ist. Die Geschwindigkeit der Grundwasserbewegung wird nach einer der auf S. 482 ff. angegebenen Methoden durch Salzung oder durch elektrische Widerstandsmessung bestimmt. Sodann sind über die Mächtigkeit und Beschaffenheit des Grundwasserträgers Ermittlungen anzustellen. Die Tiefe des Brunnens unterhalb des Wasserspiegels gibt meist keinen Anhalt, da die meisten Hausbrunnen nur 1 m, selten bis 2 m, unter den niedrigsten Grundwasserspiegel reichen. Diese Ermittlungen sind daher im allgemeinen mittels Bohrungen vorzunehmen.

Wenn von allen Wasserbohrungen und Brunnengrabungen sorgsam gesammelte Schichtenverzeichnisse und Proben vorhanden wären, so wäre

die Aufgabe des Hydrologen wesentlich vereinfacht. Leider ist dies in vielen Gebieten überhaupt nicht der Fall, und in Preußen und den seiner Geologischen Landesanstalt angegliederten Bundesstaaten wird erst seit etwa 17 Jahren eine sorgfältige Aufsammlung der in diesen Gebieten niedergebrachten Bohrungen durchgeführt. In einem besonderen Archiv werden diese Bohrungen in Probenfolgen und Schichtenverzeichnissen aufbewahrt. Schon sind viele Tausende dieser Flach- und Tiefbohrungen gesammelt worden und die Ergebnisse werden kostenfrei zur Benutzung freigegeben. Infolgedessen wird man schon heute für viele Gebiete in diesem sorgfältig und übersichtlich geführten Archiv wertvolle Unterlagen finden, durch die eigene Untersuchungen hie und da mehr oder weniger entbehrlich gemacht werden können.

In den meisten Fällen ist man jedoch nicht in der Lage, eine so große Zahl von Brunnen und ähnlichen Aufschlüssen zur Verfügung zu haben, um alle diese Ermittlungen von vornherein anstellen zu können. Man wird dann das vorhandene Material an Quellen und Brunnen-aufschlüssen benutzen, um ein Bild des Grundwasser-Regimes zu gewinnen und dieses dann durch systematisch angesetzte Bohrungen ergänzen müssen.

Befindet sich das Grundwasser in geringer Tiefe, sind also nur flache und wenig kostspielige Bohrungen erforderlich, so wird man deren eine größere Zahl niederbringen und dieselben am besten gleichmäßig in Form eines quadratischen Netzes über das zu untersuchende Gebiet verteilen, wie dies bezüglich des mehrfach als Beispiel angeführten Gebietes des Zentralfriedhofes bei Stahnsdorf (Fig. 52) geschehen ist. Auch in den Bohrungen wird der Wasserspiegel durch genaue Messungen in bezug auf seine Höhenlage gegenüber N. N. festgelegt, und wenn es irgend möglich erscheint, werden durch einen längeren Zeitraum hindurch regelmäßige, mindestens wöchentliche Beobachtungen über die Schwankungen und Temperaturverhältnisse des Grundwassers angestellt. Liegt das Grundwasser erheblich tief unter der Oberfläche und sind die Bohrungen dementsprechend kostspielig, so wird man sich am schnellsten über Neigungsverhältnisse und Neigungsrichtung der Grundwasseroberfläche ein Bild machen können, wenn man drei Bohrlöcher in nicht zu geringem Abstände voneinander in Dreiecksform niederbringt und alsdann nach der S. 122 gegebenen Anweisung die Richtung und den Betrag des Grundwassergefälles ermittelt.

Diese Ermittlungen sind deshalb von besonderem Werte, weil sie eine genaue Anordnung der Entnahmebrunnen ermöglichen. Denn man hat diese so anzulegen, daß sie quer zur Fließrichtung des Grundwassers stehen. Andernfalls würde ein Brunnen dem anderen das Wasser entziehen. Die Entfernung der einzelnen Brunnen voneinander kann man ebenfalls aus der Ermittlung der Neigungsverhältnisse beurteilen. Denn

je stärker die Neigung der Grundwasser Oberfläche ist, mit je größerer Geschwindigkeit sich das Grundwasser bewegt, um so kleiner werden bei einer Entnahme die Senkungstrichter der einzelnen Brunnen und um so näher können diese aneinander stehen. Das gilt natürlich nur für grobkörnige, gute Wasserträger, denn in feinkörnigen, wenig durchlässigen Schichten können sich bei sehr langsamer Wasserbewegung sehr steile Oberflächen desselben entwickeln.

Die Bohrungen dienen uns dazu, nicht nur die Tiefe des Grundwassers unter der Oberfläche und die Mächtigkeit der wasserführenden Schicht kennen zu lernen, sondern sie sollen uns auch ein Bild geben von den für die Wasserführung bedeutungsvollen Eigenschaften der durchbohrten Gesteine, d. h. von ihrer Durchlässigkeit und Undurchlässigkeit und von ihrem Leitvermögen für das Wasser, also von ihrem Porenvolumen. Es ist aber bei der Beurteilung einer Probenfolge sorgfältig zu berücksichtigen, ob die Bohrung im losen Gebirge mit Wasserspülung oder als Trockenbohrung ausgeführt ist. Bei Anwendung der im Bohrbetriebe außerordentlich verbreiteten Wasserspülung wird ein eisernes Bohrrohr in den Boden hineingetrieben, in dessen Innerem ein zweites Rohr niedergebracht wird, durch welches mittels einer Pumpe Wasser in das Bohrloch hineingepreßt wird. Das Wasser steigt dann in dem Zwischenraume zwischen äußerem und innerem Rohre und reißt das lockere Gestein mit sich empor. Es hängt nun in hohem Maße von der Geschwindigkeit ab, mit welcher das Wasser das Bohrloch passiert, wie viel von dem Material mit herausbefördert wird und welche Korngröße es besitzt. Wechsellagern z. B. in einem Grundwasserträger grobkiesige mit sandigen Schichten, so wird bei der Wasserspülung zunächst überwiegend sandiges Material herausgebracht werden, während der gröbere Kies im Bohrloche zurückbleibt und sich ansammelt. Tritt dann einmal eine kräftigere Durchspülung ein, so werden auch diese groben Bestandteile mit empor gerissen und es kann dann leicht der Eindruck erweckt werden, als läge hier nun eine besonders grobe und für die Wasserentnahme besonders geeignete Schicht vor, während in Wirklichkeit gerade das Gegenteil der Fall sein kann. Dagegen liefert die Trockenbohrung, bei welcher die einzelne Schicht in einem zylindrisch ausgehöhlten Bohrrohre in ihrer natürlichen Beschaffenheit an die Oberfläche befördert wird, sehr viel größere Sicherheit in der Beurteilung der Schichtenfolge, und während bei Wasserspülung der später niedergebrachte Brunnenschacht oftmals das Profil ganz anders zeigt als man es nach der Bohrung erwartet, ist bei Trockenbohrungen eine solche, bisweilen recht unangenehme Überraschung völlig ausgeschlossen.

Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich, daß bei der Aufsuchung von Grundwasser in erster Linie die ebenen Talböden der

heutigen Gewässer, in zweiter etwaige verlassene oder Trockentäler und erst, wenn beide fehlen, die vorhandenen Hochflächen in Betracht zu ziehen sind. Bestehen letztere aus lockeren tertiären oder quartären Bildungen, so muß man versuchen, aus den auftretenden Quellen oder aus den bei Brunnengrabungen gewonnenen Erfahrungen das Vorhandensein von Grundwasserhorizonten festzustellen, deren Mächtigkeit, Ausdehnung und Lagerung zu ermitteln und danach weiter zu verfahren. Handelt es sich dagegen um Gebiete, in denen ältere feste Gesteine die Hauptrolle spielen, so muß man sich nach dem geologischen Bau des betreffenden Gebietes die auftretenden Gesteine nach ihrer Durchlässigkeit und Undurchlässigkeit gruppieren und feststellen, wo bei den ermittelten Lagerungsverhältnissen die Grenzflächen zwischen hangenden durchlässigen und liegenden undurchlässigen Bildungen liegen und wie sie verlaufen, und ob womöglich das Vorhandensein von muldenförmig gebauten Gebieten zu erwarten ist. Auf den Achsenlinien solcher Mulden hat alsdann die Untersuchung mit Hilfe von Bohrungen einzusetzen. Sind die im Gebiete auftretenden Gesteine alle an sich undurchlässig, aber z. T. durch Zerklüftung im großen durchlässig, so muß man die auftretenden verschiedenen Gesteine gruppieren in solche tonigen Charakters, bei denen also Diaklasen entweder gar nicht entstehen oder unter dem Drucke anflagernder Gebirgsschichten sich sofort wasserdicht schließen, und solche, die infolge ihrer Starrheit die Klüftung bewahren und so zur Wasserführung geeignet sind. Auch bei dieser Gruppierung der Gesteine eines Gebietes hat man die größte Aussicht auf Erschließung namhafter Grundwassermengen, wenn es gelingt, aus den geologischen Karten des Gebietes das Vorhandensein von vielleicht nur ganz flachen Falten nachzuweisen, und wenn man dann mit der eingehenderen Untersuchung durch Bohrungen in den Muldenachsen einsetzt. Ist das Gebiet von Verwerfungen durchzogen, so gestaltet sich, falls nicht auf der Verwerfung zutage tretende Quellen einen genügenden Hinweis geben, die Aufsuchung von Grundwasser schwieriger und seine Auffindung hängt dann sehr stark von der Genauigkeit der Erkenntnis des geologischen Baues ab. Kann man ermitteln, daß an einer Verwerfung durchlässige oder durch Zerklüftung zur Wasserführung geeignete Gesteine gegen undurchlässige abstoßen, so wird man auf derjenigen Seite der Verwerfung, wo die durchlässigen Gesteine liegen, in einer Entfernung von der Verwerfung, die nach deren Einfallwinkel und der zu erwartenden Tiefenlage des wasserführenden Gesteins zu bemessen ist, mit einer Bohrung vorgehen. Bei sorgfältig ausgeführten Vorarbeiten läßt sich die Tiefe, in welcher unter undurchlässigen Gesteinen lagernde wasserführende Schichten zu erwarten sind, bis auf einige wenige Meter vorher angeben, wie dies z. B. Lepsius bei der Erbohrung des neuen Nauheimer Solsprudels gelang (S. S. 376). Der Möglichkeiten der Wasser-

auffindung in verwickelter gebauten Gebieten sind so viele, daß es an dieser Stelle unmöglich ist, sie einzeln zu behandeln; es kann nur geraten werden, durch möglichst zahlreiche Profilkonstruktionen auf Grund geologischer Karten oder nach eigenen Beobachtungen und unter Bezeichnung der Schichten, bei denen eine Wasserführung möglich ist, mit besonderer Farbe oder Signatur, den inneren tektonischen Bau des Gebietes nach allen Richtungen tunlichst klar zu stellen, und sodann diejenigen Flächen oder Linien auszuwählen, auf denen durch Bohrungen am ehesten ein Erfolg zu erwarten ist. Dabei sei ganz besonders auf folgendes hingewiesen: wenn in einem an sich aussichtsreichen Gesteine ein Bohrloch kein Wasser angetroffen hat, so ist deswegen das Bohrloch noch nicht in jedem Falle verloren. Es ist vielmehr nach den Angaben im 67. Kapitel zu prüfen, ob Aussicht vorhanden ist, durch einen kräftigen Sprengschuß dem in der Umgebung des Bohrloches voraussichtlich vorhandenen Wasser einen Zutritt zu diesem zu verschaffen.

Aus den obigen Ausführungen geht das eine besonders klar hervor, daß die Aufsuchung von Grundwasser eine Aufgabe ist, die um so ausschließlicher dem geschulten Feldgeologen zufällt, je verwickelter der Bau des zu untersuchenden Gebietes ist.

65. Kapitel

Die Ermittlung der Ergiebigkeit von Quellen und Grundwasser

I. Die Messung der Ergiebigkeit von Quellen.

Man verfährt dabei, wo es irgend möglich ist, so, daß man die Wassermenge des Quellenabflusses durch ein Gerinne in ein seinem Inhalte nach bekanntes Gefäß einführt und die Zeit an einer Sekundenuhr beobachtet, in welcher dieses gefüllt wird. Das Resultat dieser einfachen Methode kann natürlich nur dann zuverlässig sein, wenn der Wasserausfluß gleichmäßig ist, d. h. wenn dem Meßgefäße ebensoviel Wasser zufließt, als die Quelle produziert. Man muß also zu diesem Zwecke den Quellabfluß durch einen kleinen Einbau aufstauen und mit dem Messen des Abflusses solange warten, bis man an der Unveränderlichkeit des Wasserspiegels hinter dem Stau die Gleichheit von Zu- und Abfluß erkennt.

Ist es nicht möglich, einen derartigen Einbau auszuführen, oder ist die Wassermenge der Quelle für die Messung in einem transportablen Gefäße zu groß, so muß man den Abflußbach benutzen. Man sucht zu diesem Zwecke einen der Quelle möglichst nahe gelegenen Teil des Bachlaufes mit tunlichst sich gleichbleibender Breite und Tiefe auf, ermittelt

durch Messungen das genaue Profil des Querschnittes und bestimmt dann die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser die Strecke passiert. Es sind bei dieser Art der Messung eine Reihe von Vorsichtsmaßregeln anzuwenden, um die Fehlerquellen zu vermeiden, die namentlich in der durch Reibung bedingten Verschiedenartigkeit der Geschwindigkeit der Fließbewegung begründet sind. Bezüglich dieser Messungen sowie der bei großen Wassermengen zur Anwendung gelangenden Messungsmethoden mittels hydrometrischen Bechers, des Wasserszolls, des Ausflusses aus Öffnungen in eingebauten Wänden oder durch künstliche Überfälle sei, als hier zu weit führend, auf die Lehrbücher der Hydrometrie und des Wasserbaues verwiesen.

Nur wenige Quellen sind in ihrer Ergiebigkeit unveränderlich; die meisten schwanken, und viele so stark, daß ihre Maxima ein Vielfaches ihrer Minima ergeben. Daher ist eine einmalige Messung der Ergiebigkeit einer Quelle in den meisten Fällen wertlos, die Messungen sind vielmehr, um eine hinreichende Sicherheit über den Quellenertrag zu gewährleisten, über einen längeren Zeitraum auszudehnen.

Lueger schreibt über die Beurteilung der Ergiebigkeit einer Quelle folgendes: Die größte Vorsicht ist hinsichtlich Beurteilung der Wassermenge einer Quelle erforderlich, wenn sie zu Zwecken einer Wasserversorgung benutzt werden soll. Die Wassermenge ist durch Messung zu ermitteln; dabei ist vor allem zu beachten, daß der Spiegel der Quelle weder gehoben noch gesenkt werde. Hebt man den Wasserspiegel, so gerät man in Gefahr, Ausflüsse zu veranlassen, aus welchen die Quelle sonst kein Wasser ergießt; dieses Wasser geht verloren. Senkt man den Spiegel, so verändert man die Lage der Grundwasserwelle im Gebirge, und das momentan erreichte Mehrquantum hat dann in trockenen Zeiten ein relativ kleineres Ergebnis im Gefolge. Da das Minimum einer Quelle maßgebend für die Entscheidung wird, ob sie zu dem Zwecke, für welchen man sie braucht, dienlich ist, so sind die Messungen so lange fortzusetzen, bis wenigstens einmal eine Trockenperiode in dieselben einbezogen werden kann. Auch nach längeren Trockenperioden sollte das Ergebnis noch größer sein, als der Bedarf, da die Fassungsarbeiten das Ergebnis fast ausnahmslos ungünstig beeinflussen. Eine völlige Sicherheit, daß die Quelle allezeit ausreichen werde, ist niemals geboten.

Interessante Beobachtungen über den Zusammenhang von Quellenträgen, Natur des Wasserträgers und Niederschlägen verdanke ich Alb. Heim. Er schreibt mir:

Wir können fast durchweg den Quellenertrag pro Sammelgebietsfläche auf Grundlage vieler Erfahrungen an gut umgrenzten Quellgebieten berechnen. Wir können z. B. in der Mittelschweiz rechnen:

Pro Hektar Sammelfläche	Minutenliter bei normalem Minimum
Aus Molasse	1
„ Moräne bei 100 cm Niederschlag	4
„ „ „ 150 „ „	5—6
„ Deckenschotter bei 100—120 cm	6
„ Kalkfels	1 bis 2—5
„ Niederterrasse und kiesigem Talgrund	8—10
Pro Hektar Sammelgebiet liefern unsere Quellen	
Mindestertrag	1—6 MI.
Mittel	3—8 „
Höchstertrag	5—30 „ und mehr

}	nach Gestein und Länge der Durchsickerung.
---	---

Es wäre sehr zu wünschen, daß ähnliche Ermittlungen auch für andere Gebiete zur Ausführung gelangten.

2. Die Ermittlung der Ergiebigkeit von Grundwasser

Die Ermittlung der Quellenergiebigkeit ist ein Kinderspiel gegen diejenige der Ergiebigkeit des Grundwassers eines bestimmten Gebietes.

Die der Ermittlung der Durchflußmenge von Grundwasserströmen entgegenstehenden Schwierigkeiten ergeben sich ohne weiteres aus der Betrachtung der Faktoren, welche für die Ermittlung der Durchflußmenge maßgebend sind.

Bezeichnet F den Querschnitt des Grundwasserprofils, μ den Durchflußbeiwert, das ist das Verhältnis zwischen dem für die Bewegung des Grundwassers vorhandenen freien Querschnitt zu dem Gesamtquerschnitt des Grundwasserprofils, c die dem Grundwasser eigentümliche Geschwindigkeit, Q die gesamte Durchflußmenge an Grundwasser im Profile F , so ist

$$Q = \mu \cdot F \cdot c.$$

Hierbei ist zunächst vorausgesetzt, daß die Grundwassergeschwindigkeit c in dem ganzen in Betracht kommenden Profile konstant ist.

Von den die Durchflußmenge bestimmenden Größen auf der rechten Seite der obigen Gleichung kann nur das Grundwasserprofil F durch eine Reihe von Bohrungen mit genügender Genauigkeit ermittelt werden. Der Durchlässigkeitsbeiwert μ ist an und für sich durch den Versuch schwierig zu bestimmen, und das Ergebnis dieser Bestimmung wird noch dadurch beeinträchtigt, daß die Durchlässigkeit in einem ausgedehnten Profile mannigfach wechselt. Der durch den Versuch bestimmte Wert von μ wird daher immer mit davon abhängen, an welcher Stelle die Bodenprobe zur Bestimmung der Durchlässigkeit entnommen worden ist.

Ebenso schwierig gestaltet sich die zuverlässige Bestimmung der Grundwassergeschwindigkeit c durch den Versuch. Die direkte Ermittlung der Grundwassergeschwindigkeit erfolgt in der Weise, daß man in der Richtung des Grundwasserstromes durch Abteufung von zwei

oder mehreren Bohrlöchern sich Beobachtungspunkte schafft, in dem stromaufwärts befindlichen Beobachtungspunkte einen dem Wasser nicht eigentümlichen Fremdkörper einbringt und den Eintritt dieses Fremdkörpers in dem stromabwärts gelegenen Beobachtungspunkte feststellt. Aus der Zeit, welche der Fremdkörper braucht, um die der Entfernung der beiden Beobachtungspunkte entsprechende Weglänge zurückzulegen, kann man die Geschwindigkeit berechnen. Zur Ausführung dieses Versuches werden entweder Farbstoffe, in neuerer Zeit hauptsächlich das noch in sehr geringen Mengen nachweisbare Uranin oder andere Salzlösungen verwendet. Auch ist der Versuch gemacht worden, an Stelle der Salzlösungen unschädliche Bakterien einzusäen.

Thiem bringt in der Richtung des Gefälles in einigen Metern Abstand voneinander zwei Bohrlöcher nieder, wirft Salz in das stromaufwärts gelegene Bohrloch und beobachtet, wie viel Zeit vergeht, bis sich dasselbe in der stromabwärts gelegenen Bohrung bemerkbar macht. Auf diese Weise hat Thiem in den feinen Sanden von Stralsund eine Geschwindigkeit des Grundwassers von 3,50 bis 4 m in 24 Stunden beobachtet, bei einer Neigung des Grundwasserspiegels von ungefähr 2%, d. h. von 20 mm auf 1 m Länge. Es ist klar, daß man durch eine Reihe solcher Versuche in den Stand gesetzt wird, die mittlere Geschwindigkeit des Grundwassers zu ermitteln, und zugleich die Gebiete festzustellen, an welchen für eine Brunnenanlage die größtmögliche Wassermenge zu gewinnen ist.

Slichter hat im Jahre 1901 im westlichen Kansas und im Jahre 1903 auf der Insel Long Island eine der Thiemschen sehr ähnliche Methode angewendet, indem er sich ebenfalls einer Chlorverbindung bediente; er nimmt aber statt des Kochsalzes Ammoniumchlorid und verfährt folgendermaßen: Eine doppelte Reihe Bohrlöcher von $\frac{1}{4}$ engl. Fuß Durchmesser wird bis zum Grundwasser niedergebracht. In die stromaufwärts gelegenen Bohrungen wird Chlorammonium eingeführt. Anstatt, wie Thiem es tut, in regelmäßigen Zwischenräumen Wasserproben zu entnehmen, beobachtet Slichter die fortschreitende Elektrolyse im Boden mit Hilfe eines elektrischen Stromes (vergl. Kapitel 62). Der Fortbewegung des eingeführten Salzes entsprechend nimmt der Strom an Stärke zu, zeigt das Galvanometer eine stärkere Bewegung an. Wenn das Chlorammonium in das stromabwärts gelegene Bohrloch eintritt, macht der Zeiger des Galvanometers eine heftige Bewegung. Es genügt also, den Lauf des Zeigers zu verfolgen, um ganz genau den Augenblick bestimmen zu können, in welchem die mit Ammoniak beladenen Wasserteilchen das stromabwärts gelegene Bohrloch erreichen.

Auf diese Weise kann man, ohne Analysen vornehmen zu müssen, in flachen Grundwasserströmen die Fließrichtung und Geschwindigkeit des Grundwassers bestimmen. Slichter hat durch diese seine Methode

ermittelt, daß es 1—5 m in 24 Stunden durchströmt. Bei Anwendung von Fluoreszin wurde in den gleichen Bildungen die gleiche Geschwindigkeit beobachtet.

Alb. Heim fand in breiten Kiestälern folgende Geschwindigkeiten:

Emmental bei $7^{0}/_{00}$ Gefälle 8 m pro Tag

Limmattal bei Zürich bei $1/2^{0}/_{00}$ Gefälle . 4—6 m pro Tag

Manche andere Fälle zeigen 1—10 m Bewegung am Tage.

Diese direkte Ermittlung der Geschwindigkeit leidet aber an dem Übelstande, daß die Fortbewegung der löslichen Fremdkörper durch Diffusion sowie durch das für die Probeentnahme notwendige Pumpen beeinflußt wird. Eine noch größere Fehlerquelle liegt in der Unregelmäßigkeit des Untergrundes, die vorher nicht zu erkennen ist, bezüglich derer man also völlig dem Zufall preisgegeben ist. Die direkten Messungen der Geschwindigkeit werden daher nur als angenäherte Ergebnisse zu betrachten sein, die für eine erste Ermittlung ausreichen, zuverlässige zahlenmäßige Resultate sind auf diesem Wege aber nicht zu erwarten.

A. Thiem versucht die Durchflußmenge an Grundwasser eines Versuchsfeldes durch einen Vergleich mit einem andern Versuchsfelde zu bestimmen, dessen Durchflußmenge durch den langjährigen Betrieb einer Wasserfassungsanlage einwandfrei festgestellt ist. Zu diesem Zwecke werden auf dem zu untersuchenden Versuchsfelde eine Reihe von Bohrungen von geringerem Durchmesser ausgeführt, mit einer Handpumpe bewirtschaftet und das Verhältnis zwischen der sich ergebenden Fördermenge und Absenkung ermittelt. Dieses Verhältnis nennt A. Thiem die spezifische Ergiebigkeit oder die Ergiebigkeit pro Meter Absenkung. Aus dem Vergleich dieser so ermittelten spezifischen Ergiebigkeit mit der eines Versuchsfeldes von bekannter Durchflußmenge wird auf die Ergiebigkeit des zu untersuchenden Versuchsfeldes geschlossen. Diese Methode leidet an großen Schwierigkeiten bezüglich der korrekten Ausführung der Versuche und darf schon aus diesen Erwägungen als unzuverlässig angesehen werden. Theoretisch erscheint sie aber unzulässig, weil die Fördermenge aus dem Bohrloche keine lineare Funktion der Absenkung δ ist, so daß der Quotient Fördermenge durch Absenkung noch immer Funktion der Absenkung bleibt.

Die einzige zuverlässige Methode für die Bestimmung der Durchflußmenge kann heute nur in der Durchführung eines Quantitätsversuchs erblickt werden. Im nachstehenden soll daher das von Smreker¹⁾ angegebene Verfahren kurz Erwähnung finden.

¹⁾ O. Smreker, Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze und Mengenbestimmung. Engelmann, Leipzig u. Berlin 1914.

„Wird einem Versuchsbrunnen in ununterbrochenem Betriebe eine gewisse Wassermenge q pro Zeiteinheit entnommen, so stellt nach Eintritt des Beharrungszustandes, das ist des Gleichgewichtszustandes zwischen Entnahme und Zufluß, die Oberfläche des Grundwasserspiegels in der Umgebung des Brunnens die der Fördermenge g entsprechende Absenkungsfläche dar.

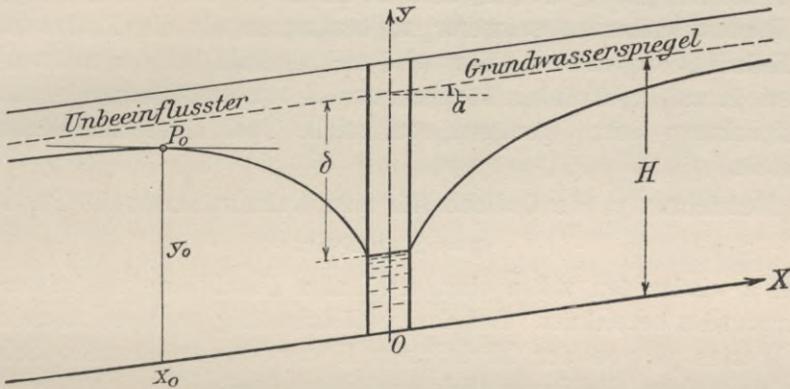


Fig. 261

Fig. 261 stellt einen Schnitt durch die Brunnenachse senkrecht auf die Strömungsrichtung, Fig. 262 parallel zu der Strömungsrichtung des Grundwassers dar. Für jede Depressionsfläche lassen sich drei

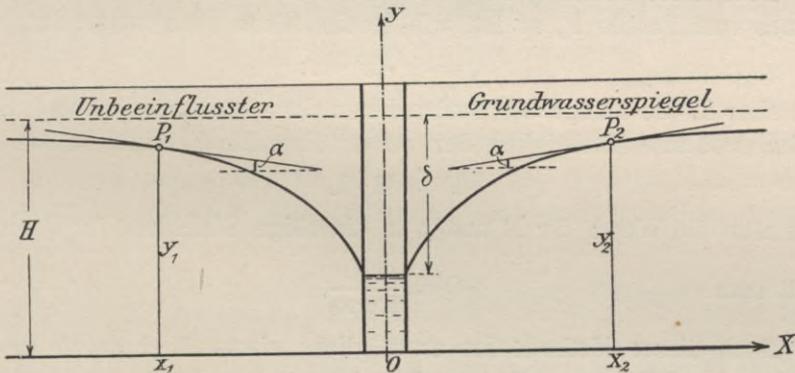


Fig. 262

Punkte bestimmen, in welchen die von der Wasserentnahme q aus dem Brunnen herrührende Geschwindigkeit nach dem Brunnen gleich ist der unbeeinflussten ursprünglichen Geschwindigkeit des Grundwassers c . Diese drei Punkte sind in der normal auf die Strömungsrichtung gelegten Schnittenebene die Punkte P_1 und P_2 , in welchen die Tangenten der Absenkungskurven parallel dem Gefälle $\text{tg } \alpha$ des unbeeinflussten

Grundwasserspiegels sind, und der Kulminationspunkt P_0 der Depressionskurve in der parallel zur Strömungsrichtung gelegten Schnittebene. Die Entfernungen dieser drei Punkte von der Brunnenachse sind gleich und zwar

$$x_1 = x_2 = x_0.$$

Die Entfernung x_0 des Punktes P_0 von der Brunnenachse nennt Smreker den der Fördermenge q entsprechenden Wirkungsradius. Die Entfernungen x_1 und x_2 sind in der Regel aus den Auftragungen der Depressionskurven schwerer zu bestimmen als die Entfernung x_0 des Kulminationspunktes. Man wird sich deshalb bei den meisten Versuchen darauf beschränken können, nur die stromabwärts gelegene Depressionskurve durch genügend zahlreiche Beobachtungsbohrlöcher zu ermitteln.

Bezeichnet y_0 die Ordinate für den Kulminationspunkt P_0 , so ist

$$q = 2 \pi \mu x_0 y_0 c,$$

wobei μ wieder den schon oben erwähnten Durchlässigkeitsbeiwert des Untergrundes bezeichnet. Bei der verhältnismäßig geringen Abweichung des Wertes y_0 von der Mächtigkeit H der wasserführenden Schichte kann man obige Gleichung auch wie folgt schreiben

$$q = 2 \pi \mu x_0 H c,$$

und daraus ergibt sich

$$c = \frac{q}{2 \pi \mu x_0 H}.$$

Bezeichnet ferner Q die gesamte Durchflußmenge des Grundwasserstromes vom Profile F , so ist, wie bereits schon oben ausgeführt,

$$Q = \mu \cdot F \cdot c.$$

Ist weiter L die Länge des vorhandenen Grundwasserprofils und H die bereits erwähnte Mächtigkeit der wasserführenden Schicht, so ist

$$F = H \cdot L$$

Setzt man die Werte für F und c in die obige Gleichung für Q ein, so

erhält man

$$Q = \frac{q L}{2 \pi x_0}.$$

Nach dieser Methode ist es möglich, einwandfrei durch die Ermittlung des Wirkungsradius x_0 für eine gewisse Fördermenge q ohne weiteres die Durchflußmenge Q des Grundwasserprofils zahlenmäßig zu berechnen.“

Weitere Methoden der Berechnung der Ergiebigkeit führt J. G. Richert¹⁾ an. Er hält die Methode der Ermittlung der Strömungs-

¹⁾ Die Grundwasser mit besonderer Berücksichtigung der Grundwasser Schwedens. München und Berlin 1911, S. 19—53.

geschwindigkeit durch den Versuch für nicht zuverlässig und wendet dafür ein anderes Verfahren an. Wir haben oben gesehen (Kapitel 21), daß die Geschwindigkeit $V = k \cdot \alpha$ und die Ergiebigkeit pro Flächeneinheit $Q = k \cdot \alpha \cdot A$ ist, worin A den für Wasser offenen Querschnitt des Wasserträgers bezeichnet. Zur Ermittlung des Wertes von k nimmt Richert einen Pumpversuch an einem Brunnen vor. Er schreibt: „Der Brunnen bildet dann einen neuen Rezipienten, welcher das Wasser von einem begrenzten Teile des Sromgebietes erhält. Innerhalb dieses Gebietsteiles wird ein neuer Gleichgewichtszustand geschaffen. Der Wasserspiegel wird gesenkt, die Richtung, Tiefe und Geschwindigkeit des Stromes werden verändert. Wir finden (mittels Pegelbohrlöchern zur Kontrolle der Absenkung) die Größe des Querschnittes und des Gefälles, welche der geförderten Wassermenge entsprechen, und berechnen daraus den Wert des Koeffizienten k . Ist dieser Wert für den gesamten Grundwasserstrom gültig, so erhalten wir dessen totale Ergiebigkeit nach obiger Gleichung $Q = k \cdot \alpha \cdot A$.“

Ist der Radius des Senkungstrichters $= R$, der Radius des Brunnens $= r$, die Tiefe des Grundwassers an der Peripherie des Trichters $= D$, im Brunnen $= d$, setzt man ferner $\frac{D+d}{2} = dm$ und $D - d = s$, so erhält man, wenn q die geförderte Wassermenge ist,

$$q = \frac{2 \pi k \cdot dm \cdot s}{\log n R - \log n r}$$

Daraus läßt sich k rechnerisch ermitteln.

Diese Formel gilt für folgende Voraussetzungen:

1. Der Grundwasserspiegel ist frei.
2. Die natürliche Geschwindigkeit des Grundwassers ist $= 0$.
3. Der Grundwasserspiegel innerhalb des Gebietes, aus welchem das Wasser nach dem Brunnen strömt, ist vor Beginn des Pumpens horizontal.
4. Der Grundwasserstand außerhalb dieses Gebietes wird durch das Pumpen nicht beeinflußt.
5. Die Sohle des Stromes, d. h. die undurchlässige Unterlage, ist horizontal.
6. Der Brunnen führt bis zu dieser Unterlage hinab und ist auf seiner ganzen zylindrischen Fläche durchlässig.
7. Die Beschaffenheit des durchlässigen Bodens ist homogen.

Für diese Bedingungen ergibt sich, daß die Ergiebigkeit des Brunnens proportional der mittleren Wassertiefe des Absenkungsgebietes, sowie der Senkung des Wasserspiegels im Brunnen ist.

Richert hat diese Untersuchungen weiter für Abweichungen von den Voraussetzungen 1—7 ausgeführt, worüber ebenso wie hinsichtlich seiner Berechnungen der Wassermenge durch Beobachtung der Senkung des Wasserstandes beim Pumpversuch und der Höhe des Wasserstandes bei künstlicher Infiltration auf die Originalarbeit verwiesen sei.

Zum Schlusse sei noch bemerkt, daß neben der alten Methode, die Brunnen nur etwa um 1 m unter den tiefsten Grundwasserstand abzusenken, die heutige Methode, mit dem Brunnenschachte oder Bohrrohre tunlichst bis auf die undurchlässige Unterlage hinunterzugehen, sehr erhebliche Vorteile gewährt, nämlich einmal eine gleichmäßigere Wärme des Wassers, sodann aber, was viel wichtiger ist, einen bedeutend erhöhten Schutz gegenüber von der Oberfläche herstammenden Verunreinigungen.

66. Kapitel

Die Verfolgung unterirdisch fließenden Wassers

In vielen Fällen wird es von Wert sein, unterirdische Zusammenhänge zwischen verschwindenden Oberflächenwassern, unterirdischen Gerinnen und auftretenden Quellen, oder zwischen letzteren beiden allein festzustellen, oder im Falle der Verunreinigung von Quellen auftauchenden Verdacht über die Herkunft der Verunreinigung durch einen Versuch auf seine Richtigkeit zu prüfen.

In solchen Fällen kann man eine ganze Reihe verschiedenartiger Methoden anwenden. Man verfährt in der Weise, daß man dem verschwindenden Wasser eine gewisse Menge einer löslichen, leicht erkennbaren und auch beliebig dosierbaren Substanz beifügt, die sich dann in ihm verteilt und an den Austrittsstellen des Wassers den Zusammenhang deutlich erkennen läßt. Die angewendeten Mittel müssen einer Anzahl von Bedingungen entsprechen: 1. Löslichkeit im Wasser, 2. Unzersetzbarkeit während ihres unterirdischen Weges, 3. leichte Wiedererkennbarkeit, 4. Billigkeit, 5. Widerstandsfähigkeit gegenüber absorbierenden Stoffen, 6. Unschädlichkeit für Menschen, Tiere und Pflanzen. Die Vielheit dieser Bedingungen scheidet aus der Reihe der Farbstoffe alles aus mit Ausnahme des Fluoreszins (Uranin) und des Fuchsins. Es kommen demnach folgende Stoffe in Betracht:

a) Solche, die chemisch oder spektroskopisch nachzuweisen sind: Kochsalz, Chlorkalk und Chlorkalium.

b) Solche, die durch den Geruch nachzuweisen sind: Schieferöl, Saprol und Petroleum.

c) Solche, die durch Färbung nachzuweisen sind: Fuchsin, Uranin.

d) Feste Körper, die entweder unmittelbar oder unter dem Mikroskop oder auf biologischem Wege sich wiedererkennen lassen.

a) Bei Anwendung der Chloride ist der Chlorgehalt, bei Anwendung von Chlorlithium auch der Lithiumgehalt des Wassers, dessen unterirdischer Weg festgestellt werden soll, vorher zu prüfen. Von den erst-erwähnten Salzen sind große Mengen anzuwenden, die von der Masse des verschwindenden Wassers abhängig sind. Wenn wie bei der Donau in einer Sekunde 2000 Liter versinken, so sind, um eine $\frac{1}{4}$ prozentige Lösung zu erzielen, in der Sekunde 5 Kilogramm Salz in einer möglichst konzentrierten Lösung zuzuführen. Die von Knoop angewandten 200 Zentner Chlornatrium reichten also aus, um während einer halben Stunde das Donauwasser in $\frac{1}{4}$ prozentige Sole umzuwandeln. Da die Aach-Quelle mit 4000 Sekundenlitern abfließt, so würde schon dadurch die Sole auf 0,125% verdünnt werden. Da aber der Abfluß, wie wir gesehen haben, sich über einen erheblich langen Zeitraum verteilt, so geht notwendig der Salzgehalt noch sehr viel weiter zurück, nämlich auf 0,01%.

Die Anwendung von Chlorlithium gestattet ein Operieren mit viel kleineren Mengen. Da noch der $\frac{1}{7 \cdot 10^8}$ Teil ($1\frac{3}{7}$ mg im m³) spektroskopisch nachweisbar ist, würde unter den gleichen Bedingungen 1 kg ausreichen, um 100000 cbm Wasser zu kennzeichnen.

Der Nachweis von Kochsalz, Chlorkalk und Salmiak erfolgt durch Bestimmung des Chlorgehalts mittels Höllensteinlösung, oder durch Titrieren mit Höllensteinlösung und chromsaurem Kali nach der bekannten chemischen Methode. Letzteres Verfahren hat den Vorzug rascher Arbeit und quantitativer Ergebnisse.

Um den Lithiumgehalt zu bestimmen, dampft man 50—100 g des Wassers auf dem Wasserbade bis auf einige Tröpfchen ein und prüft mit Hilfe des Spektroskops, ob die charakteristische rote Lithiumlinie im Spektrum erscheint.

b) Die unter b angeführten Stoffe sind weniger empfehlenswert, weil sie dem Wasser einen unangenehmen Geschmack verleihen und, in Brunnen gelangend, diese für längere oder kürzere Zeit unbrauchbar machen können. Als Merkwürdigkeit sei angeführt, daß beim Brande einer Fabrik in Frankreich große Absinthmengen in den Boden versanken und durch ihren Geruch den Zusammenhang zwischen dem Doubsfluß und der Louequelle verrieten. Der Absinth floß in eine Senkgrube in der Nähe des Doubs und erschien nach 48 Stunden wieder in der Louequelle.

c) Die intensiv färbenden Stoffe werden nur zu wählen sein, wenn sie unschädlich sind. Von den allein in Betracht kommenden Anilin-

stoffen bleiben infolgedessen nur Uranin und Fuchsin übrig, von denen die Färbekraft des letzteren zehnmal so klein ist wie die des ersteren. Uranin ist noch in einer Verdünnung von $1 : 10^8$ nachweisbar, d. h. 1 g genügt für 100 cbm Wasser. Seine Anwendbarkeit erleidet eine gewisse Beschränkung dadurch, daß es, wie die meisten löslichen Alkalisalze, im Boden und von den Gesteinen stark absorbiert wird, so daß anstatt des meist angewendeten Kali-Uranins vielleicht Natrium-Uranin vorzuziehen wäre, da die Natriumsalze der Absorption im allgemeinen etwas weniger unterliegen. Cornu¹⁾ hat festgestellt, daß basische Anilinfarbstoffe, wie Uranin O, beispielsweise in Kohlengruben, versagen, da sie von verwitterndem Schwefeleisen zerstört werden, und bei der Höhlenforschung deshalb versagen, weil sie von dem sauer reagierenden Höhlenlehm absorbiert werden. Er empfiehlt deshalb die Verwendung saurer Farbstoffe. In kolloidreichen Böden werden die Uraninsalze rasch ausgefällt und versagen deshalb auch in solchen. Ist der Boden sauer, so werden beide in gleichem Maße unbrauchbar, da sie aus der Lösung ausgefällt werden. Bei im kleinen durchlässigen Gesteinen sind die Uraninverbindungen also nur verwendbar, wenn es sich um Nachweisung von Zusammenhängen auf geringe Entfernung handelt, und auch dann ist die Anwendung größerer Mengen sehr zu empfehlen. Dagegen ist es vortrefflich für den Nachweis von Zusammenhängen bei Gewässern, die in Spalten und Klüften des durchlässigen Gebirges fließen, und in zahllosen derartigen Fällen ist es mit bestem Erfolg angewendet worden, selbst auf größere Entfernungen hin. Wenn hierbei Mißerfolge nicht ausgeblieben sind, so ist ihre Ursache voraussichtlich in den meisten Fällen in der großen Ausdehnung des unterirdischen Sees zu erblicken, die eine sehr langsame Weiterbeförderung der zum Versinken gebrachten Wassermassen nach den Wiederaustrittsstellen hin bedingt. Es empfiehlt sich daher, auch bei diesen Salzen große Quantitäten, 5—20 kg, zu verwenden, um den Erfolg sicher zu stellen, und die Prüfung an der vermuteten Austrittsstelle des Wassers nicht auf einige Tage oder Wochen zu beschränken, sondern unter Umständen monatelang damit fortzufahren. Man gibt das Salz in gelöstem Zustande langsam in das versinkende Wasser hinein, so daß es auf eine große Wassermenge verteilt wird. Wo man den Wiederaustritt des Wassers vermutet, wird in regelmäßigen Zwischenräumen Wasser entnommen und in ein 1 m hohes Standglas gefüllt; dieses wird auf eine rein weiße Unterlage gestellt und alsdann durch Hineinsehen von oben, also durch die ganze Wassersäule hindurch, die Färbung geprüft. Uranin ist im Wasser mit grünlicher Farbe löslich, und die Lösung zeigt im auffallenden Lichte eine prachtvolle grüne Fluoreszenz. Erscheinen bei der Prüfung mit

¹⁾ Zeitschr. f. prakt. Geol. 1909, S. 144.

dem Auge nur unsichere Spuren einer Färbung, so lassen sich diese durch folgendes Verfahren deutlicher machen:

Eine Schüttelflasche von 1 l Inhalt wird mit 700 ccm des Wassers gefüllt. Dieses Wasser wird mit Salpetersäure schwach angesäuert. Alsdann werden 250 g Äther hinzugegeben und das Ganze wird so lange geschüttelt, bis der größte Teil des Äthers absorbiert ist und nur noch etwa 10—30 ccm desselben nach Beendigung des Schüttelns auf dem Wasser sich ansammeln. Diese Menge wird mit einer Pipette abgezogen und mit einem Tropfen Ammoniak versetzt, wobei sofort die Fluoreszenz sichtbar wird, da der gesamte Farbstoff vom Äther aufgenommen ist. Enthält das Wasser lebende Pflanzen (Algen), so erscheint bisweilen der Ätherauszug grünlich gefärbt. Man darf sich dadurch nicht täuschen lassen, denn die grüne Farbe rührt vom Chlorophyll her, während die Uraninlösung im Äther farblos ist. Im auf fallenden Lichtkegel kann man das Chlorophyll deutlich an der blutroten Reflexfarbe erkennen, wozu am besten die Aufleitung eines Sonnenstrahls mit einem Brennglase geeignet ist.

Wie man mit Hilfe von Uranin auch die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers von der Färbungsstelle zur Entnahmestelle und die Menge von anderem, auf dem unterirdischen Wege hinzutretendem Wasser bestimmen kann, hat Schardt¹⁾ gezeigt. Er berichtet darüber:

„Es ist zumeist offenbar, daß solche Quellen außer dem Oberflächenwasser noch andere eigentliche unterirdische Wasser zutage fördern, daß dieselben also nicht, wie man es gerne anzunehmen geneigt ist, einfache Resurgenzquellen sind. Quellen letzterer Art gibt es allerdings, aber sie sind sehr selten anschließliche Resurgenzen, so z. B. die Quelle der Orbe bei Vallorbe, die Quellen, durch welche sich die zahlreichen Trichterseen ohne oberirdischen Ablauf entleeren. Je näher die Quelle der Abflußstelle liegt, um so ausschließlicher ist dann ihre Eigenschaft als Resurgenz. Sobald aber die durch einen unterirdischen Abfluß eines Tagewassers beeinflusste Quelle sehr weit entfernt liegt, so mengt sich naturgemäß noch normales Sickerwasser hinzu. Es ist somit nicht nur sehr interessant, sondern sogar geboten, die Menge des vom oberirdischen Lauf stammenden Wassers zu bestimmen, umsomehr, wenn z. B. dieser letztere nur zum Teil unterirdisch abfließt. Dieses Verhältnis kann herausgefunden werden durch Bestimmung des Quantums des durch die Quelle an den Tag geförderten Farbstoffes, wobei natürlich genaue Messungen der Wassermenge derselben notwendig sind. Ebenso muß auch der oberirdische Wasserlauf genau gemessen werden. Durch Anwendung einer Fluoreszenzskala, bestehend in einer Reihe mit titrierter Fluoreszeinlösung gefüllter Röhren, läßt sich der Gehalt durch Vergleich

¹⁾ *Eclogae geologicae Helvetiae*, XI, Nr. 3.

mit der Fluoreszenz der betreffenden Wässer in abgerundeten Zahlen leicht bestimmen.

Einen der ersten derartigen Versuche habe ich an den kalten Quellen der Südseite des Simplontunnels bewerkstelligt und daraus abgeleitet, wie viel Wasser von dem Wildbach Cairasca den im Tunnel entspringenden Quellen zufließt.

Zu solchen Bestimmungen ist es unentbehrlich, von den Quellen während der ganzen Färbungszeit Wassermuster zu schöpfen zu den fluorimetrischen Bestimmungen, und die Intensität und Dauer der Färbung graphisch als Kurve darzustellen, um hieraus die mittlere Färbung zu ermitteln. Um dann das Wasserquantum des oberirdischen Zuflusses zu bestimmen, muß man annehmen, derselbe sei während derselben Zeit, welche der mittleren Färbungsdauer der Quelle entspricht, ebenfalls gleichmäßig gefärbt gewesen, und zwar mit der ganzen verwendeten Farbmenge. Es ist leicht ersichtlich, wie sich hieraus die gegenseitige Wassermenge berechnen läßt.

Bei Stromquellen, welche aus zerklüftetem Kalk austreten und somit keine Filtration voraussetzen, dauert die Färbung mit Fluoreszein meistens sehr kurze Zeit, einige Stunden bis etliche Tage, die intensive Färbung noch weniger; bei derselben Quelle natürlich um so weniger lange, je größer die Wassermenge ist, wobei auch die Größe der unterirdischen, vom Quellstrom durchflossenen Hohlräume maßgebend ist. Je größer dieselben sind, um so schwächer und länger andauernd ist die Färbung. Es gibt Quellen, welche durch Färbungsversuche nie beeinflusst worden sind, obwohl ihr Zusammenhang mit bestimmten oberflächlichen Zuflüssen kaum in Zweifel gesetzt werden kann. Ob wohl die große unterirdische Wasseranhäufung daran schuld ist?

Ganz anders verhalten sich die Sachen, wenn es sich um Quellen handelt, welche ausschließlich durch gut filtrierende Schichten gespeist werden, durch welche auch die oberflächlichen Zuflüsse hindurchsickern müssen. Hier tritt die Färbung, auch bei Verwendung von verhältnismäßig großen Mengen von Farbstoff, nur sehr schwach auf, so daß ohne Anwendung eines empfindlichen Fluoroskops das Resultat als negativ bezeichnet werden müßte.“

Von festen Körpern sind Häcksel, Kleie, Sägemehl und andere fein verteilbare Stoffe zur Anwendung gelangt, aber weniger empfehlenswert, da sie in engen Klüften und Spalten des Gesteins aufgehalten werden können. Ferner können irgendwelche Staue vorhanden sein, an denen das Wasser in größerer Tiefe unter seinem Oberflächenspiegel seinen weiteren Weg nimmt, so daß jene Stoffe an der Oberfläche schwimmen bleiben und dadurch an ihrer weiteren Bewegung verhindert werden. Auch Stärke ist benutzt worden, die unter dem Mikroskop im

polarisierten Lichte oder bei Prüfung mit Jodkalium leicht zu erkennen ist. Ebenso haben leicht erkennbare färbende Mikroben wie *Bazillus violaceus* und *B. pyocyaneus*, dem gleichen Zwecke dienen müssen.

67. Kapitel

Das Torpedieren von Wasserbohrungen

Ist eine im festen Gestein niedergebrachte Wasserbohrung erfolglos geblieben, so glaubt man meist, es bliebe nichts weiter übrig, als das Bohrloch aufzugeben und das Glück an anderer Stelle zu versuchen. Diese Ansicht ist nicht richtig. Es gibt vielmehr ein einfaches Mittel, durch dessen Anwendung wasserleere Bohrlöcher in manchen Fällen ergiebig gemacht werden können. Wir haben S. 241 gesehen, daß bei Bohrungen im Granite des Staates Maine etwa 90% der Wasserbohrungen Erfolg haben und 10% nicht. Der Granit ist ein an sich undurchlässiges und nicht wasserführendes Gestein, und seine Wasserführung beschränkt sich auf die ihn durchsetzenden Spalten und Klüfte. Trifft ein Bohrloch zufällig keine solche Spalte an, so bleibt es trocken und erfolglos. Es ist eben in einem Gesteinskörper niedergebracht, der vielleicht allseitig von wasserführenden Spalten umgeben war, ohne daß eine derselben das Bohrloch kreuzte. Wenn es nun gelingen würde, in der Tiefe eine Verbindung zwischen dem Bohrloche und den ihm benachbarten, mit Wasser erfüllten Spalten herbeizuführen, so müßte deren Wasser in das Bohrloch übertreten und könnte aus ihm zutage gefördert werden. Eine derartige Möglichkeit liegt vor, indem man das Bohrloch torpediert, d. h., indem man eine gewisse Menge eines brisanten Sprengstoffes in der Tiefe des Bohrloches zur Entflammung bringt, durch die Wirkung des Sprengschusses das Gestein in der Umgebung der Bohrlochswandung zerreißt, eine Reihe von Spalten und Rissen im Gestein erzeugt und dadurch unter Umständen eine Verbindung des Bohrloches mit benachbarten wasserführenden Spalten herbeiführt. Da das Verfahren im Verhältnis zu den Kosten einer Bohrung im festen Gestein billig ist, so empfiehlt sich seine Anwendung in allen Fällen, in denen die Beschaffenheit des Gesteins und die Art seiner Wasserführung dafür günstig sind. Nicht anwendbar ist es bei plastischen Gesteinen, also bei Tonen, Schiefer-tonen, Mergeln und tonigen Sandsteinen, weil in solchen Gesteinen eine sofortige Verstopfung und Auskleidung etwa entstehender Spalten mit Ton die unmittelbare Folge der Sprengwirkung sein würde. Gut geeignet für diesen Zweck sind dagegen massige Eruptivgesteine, kristalline Schiefer, Quarzite, Sandsteine, kristalline Kalke, gewöhnliche Kalksteine und Dolomite.

Das von mir angewandte und mehrfach von gutem Erfolg begleitete Verfahren ist folgendes: wenn ein Bohrloch von 10—20 cm Durchmesser um 20—30 m oder mehr unter dem Grundwasserspiegel des Gebietes niedergebracht ist, ohne Wasser zu liefern, so untersucht man zunächst die Schichtenfolge und stellt ein genaues Schichtenverzeichnis auf, in welchem besonders Wert auf die Unterscheidung der Gesteine nach dem oben angegebenen Gesichtspunkte des Vorhandenseins oder Fehlens plastischer toniger Beimengungen zu legen ist. Dann stellt man fest, in welcher Tiefe die für einen Sprengungsversuch geeignetsten, möglichst tief im Bohrloche gelegenen Schichten auftreten, läßt alsdann die Bohrröhren bis zu 5—8 m über der Stelle, an welcher der Sprengschuß angesetzt werden soll, herausziehen und füllt dann das Bohrloch bis zur Höhe der Sprengstelle mit Sand oder Kies an. Hierauf wird eine zur elektrischen Zündung eingerichtete Dynamitpatrone in das Bohrloch eingelassen und auf sie abermals eine 8—10 m hohe Verfüllung mit Sand oder Kies aufgebracht. Die Menge der Sprengladung hängt von dem Abstände der Sprengstelle unter der Oberfläche ab. Bei Sprengungen in der Tiefe von 20—30 m kann man ruhig 10 kg Dynamit anwenden, bei Tiefen über 50 m 15 kg, ohne befürchten zu müssen, dadurch irgend welchen Schaden an benachbarten Gebäuden, Eisenbahnen oder anderen Bauwerken anzurichten. Als dann wird durch Schluß des Stromkreises die Sprengladung entflammt, wodurch das Gestein in der Umgebung der Schußstelle zertrümmert wird. Hierauf wird das Bohrloch wieder ausgeräumt und der Erfolg des Schusses untersucht. Zeigt sich jetzt in dem vorher trockenen Bohrloche Wasser, aber nicht in genügender Menge, so empfiehlt sich eine Wiederholung der Sprengung behufs Erweiterung der erzeugten Wasser zuführenden Klüfte. War der Erfolg negativ, so wiederholt man die Sprengung an einer etwas höher gelegenen, nach ihrer Gesteinsbeschaffenheit ebenfalls geeigneten Stelle des Bohrloches.

In einem im Rhätsandstein bei Kl.-Wanzleben 30 m tief niedergebrachten vollkommen trockenen Bohrloche wurde durch einen Sprengschuß ein Zugang für das auf seitlichen Klüften zirkulierende Wasser erzeugt, der in der Minute einen Kubikmeter Wasser dem Bohrloche zuführte. Einen weiteren Erfolg vermochte ich im Mittleren Buntsandsteine bei Zeitz in einer Folge sehr reiner, fester, heller Sandsteine zu erzielen, und selbst in den ziemlich tonigen Sandsteinen des Unteren Buntsandsteins bei Ammendorf wurde durch einen Sprengversuch eine für den Unternehmer ausreichende Wassermenge dem Bohrloche zugeführt.

Liegt die Sprengstelle sehr tief unter dem Grundwasserspiegel, so genügen schwache, kleine Risse im Gestein zur Lieferung beträchtlicher Wassermengen, da die ausfließende Wassermenge bei gleichem Querschnitte mit dem Wasserdrucke wächst. Nach den Ausführungen im

11. Kapitel beträgt die Ausflußmenge, wenn w die Größe der Öffnung und h die Druckhöhe bezeichnet, $w\sqrt{2gh}$. Eine Öffnung von 1 cm^2 Größe, entsprechend einem Risse von 10 cm Länge und 1 mm Weite würde also bei einem Wasserdrucke von 30 m ergeben

$$0,0001 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 30} = 0,00242\text{ m}^3/\text{sec}$$

also $145,2\text{ l}$ in der Minute oder $8,712\text{ m}^3$ in der Stunde und fast 210 m^3 täglich.

Ich glaube, daß der vorgeschlagene Versuch der Nutzbarmachung unergiebigere Bohrlöcher besonders in solchen Gebieten sich empfiehlt, in denen die Wasserzirkulation sehr unregelmäßig ist; also beispielsweise in allen Karstlandschaften, in ausgedehnten Granit- und Gneisgebieten und ähnlich aufgebauten Landschaften.

68. Kapitel

Staatlich aufgestellte, für Preußen bezw. das Deutsche Reich gültige Grundsätze und Anleitungen für die Einrichtung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen

Durch Erlaß vom 11. Februar 1905 sind für die Anlage von Grund- (Quell-) Werken durch eine Kommission von Ministerialkommissaren, Vertretern des Deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner und der Kgl. Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung folgende Grundsätze aufgestellt worden:

1. Wasserbedarf. Der Wasserbedarf ist nach den örtlichen Verhältnissen (Einwohnerzahl, Viehzahl, Industrie, Bevölkerungszuwachs usw.) festzustellen,

Die so ermittelte Wassermenge muß in dem in Aussicht zu nehmenden Erschließungsgebiete zu allen Jahreszeiten sicher vorhanden sein, wobei indes besonderen Verhältnissen Rechnung zu tragen ist.

2. Wasserbeschaffenheit. Von dem zu Trink- und Wirtschaftszwecken in Aussicht genommenen Wasser muß gefordert werden, daß dasselbe

- a) keine für Menschen oder Tiere schädlichen Bestandteile enthält,
- b) zum Genuß anregt.

Falls ein Wasser der letzteren Forderung nicht genügt, ist eine Verbesserung desselben in dieser Richtung anzustreben. Von einer derartigen Verbesserung kann nur dann abgesehen werden, wenn sie sich als praktisch nicht durchführbar erweist.

In physikalischer Beziehung ist erforderlich, daß das Wasser klar und möglichst farblos ist und keinen unangenehmen Geruch oder Geschmack hat. Seine Temperatur soll keine zu großen Schwankungen aufweisen.

In chemischer Beziehung soll das Wasser eine Zusammensetzung zeigen, wie sie bei zweifellos nicht- verunreinigten Grund- (Quell-) Wässern der in Frage kommenden Gegend beobachtet wird. Die Menge der mineralischen und organischen Bestandteile darf die Beschaffenheit des Wassers für die verschiedenen Zwecke nicht nachteilig beeinflussen. Abweichungen in der Zusammensetzung müssen sich in unbedenklicher Weise erklären lassen.

Etwaige metallauflösende Fähigkeiten des Wassers (insbesondere gegenüber Blei) sind mit Rücksicht auf die bei der Wasserleitung zu verwendenden Materialien besonders festzustellen.

Bei etwaigem Eisen- oder Mangangehalt ist die Gefahr von stärkeren Verschlämmungen und Inkrustationen der Röhren zu beachten.

Auch auf die Härte des Wassers ist Rücksicht zu nehmen.

In bakteriologisch-mikroskopischer Beziehung darf das zu verwendende Wasser keine Organismen bzw. leblose Bestandteile enthalten, welche auf eine unzulässige Verunreinigung, namentlich eine solche durch menschliche oder tierische Abfallstoffe, hindeuten.

Auch wenn ein Wasser bereits der Versorgung dient und angeblich keine gesundheitlichen Schädigungen verursacht hat, so ist es doch vor seiner weiteren dauernden Verwendung auf vorstehende Grundsätze hin zu prüfen; die Untersuchung ist zu wiederholen, wenn die einmalige Untersuchung nach Lage der örtlichen Verhältnisse kein abschließendes Urteil gestattet.

3. Notwendige Beschaffenheit des Grundwasserträgers. Der Grundwasserträger muß eine geeignete geologische Beschaffenheit und eine genügend große räumliche Ausdehnung besitzen.

Falls durch die gewöhnlichen hydrologischen Vorarbeiten der Einfluß des Grundwasserträgers auf die Wasserbeschaffenheit und Wassermenge nicht in zweifelsfreier Weise festgestellt werden kann, so empfiehlt sich die Zuziehung eines Geologen.

4. Sicherheit des Grundwasserträgers gegen Verunreinigungen von der Oberfläche.

a) Sind Verunreinigungen des Geländes über dem Grundwasserträger nach Maßgabe der örtlichen Verhältnisse nicht vollständig auszuschließen, so ist gegebenenfalls Vorsorge zu treffen, daß eine nachteilige Beeinflussung des Grundwassers, z. B. durch Hochwasser, nach Möglichkeit vermieden wird.

b) Ist die Überlagerung über dem Grundwasserspiegel nur von geringerer Stärke oder an sich für eine genügende Filtrationswirkung nicht geeignet, so muß die Oberfläche des Grundwasserträgers auf eine jeweils erforderliche Ausdehnung als Schutzgebiet behandelt werden; dieses ist von der Bebauung mit Wohnstätten, sowie von der Düngung

mit menschlichen oder tierischen Abfallstoffen und nach Möglichkeit vom Verkehr, der Beweidung u. dergl. freizuhalten.

Verunreinigte Zuflüsse, die das Schutzgebiet nach Maßgabe der örtlichen Lage treffen könnten, sind, wenn möglich, außerhalb desselben abzuführen, andernfalls in undurchlässigen Röhren oder Gerinnen durch das Gebiet hindurch abzuleiten.

Die Möglichkeit der Durchführung dieser Maßnahmen ist durch Vertragssicherung, Geländeerwerb oder dergleichen zu gewährleisten.

Es liegt im Interesse der öffentlichen Gesundheitspflege, daß Anträge auf Erwirkung des Enteignungsrechtes zur Förderung von Wasserversorgungszwecken weitestgehende Unterstützung finden.

Diese Bestimmungen erfuhren eine Erweiterung und Ergänzung durch eine vom Unterausschuß für Wasserversorgung im Reichs-Gesundheitsrat aufgestellte „Anleitung“ nebst „Erläuterung“, welcher der Bundesrat in seiner Sitzung vom 16. Juni 1906 seine Zustimmung erteilte. Für Preußen erfolgte die Einführung der Anleitung durch Ministerialerlaß vom 23. April 1907, dem eine von den Ministerien der geistlichen, Unterrichts- und Medizinalangelegenheiten und des Innern im Einvernehmen mit den Ministern für Landwirtschaft, Domänen und Forsten, für Handel und Gewerbe und der öffentlichen Arbeiten erlassene „Preußische Anweisung“ beigegeben wurde. „Anleitung“, „Erläuterung“ und „Preußische Anweisung“ sind gesondert veröffentlicht worden. Ich gebe sie im folgenden, indem ich den von Abel befolgten Weg einschlage und zur Erzielung größerer Übersichtlichkeit hinter jeder Ziffer der Anleitung sogleich die zugehörige „Erläuterung“ und die entsprechende „Preußische Anweisung“ (Pr. A.) folgen lasse.

I. Wahl des Wassers.

1. Behufs Gewinnung eines Maßstabs für die an eine Wasserversorgungsanlage zu stellenden Anforderungen ist der Gesamtbedarf an Wasser für die Gegenwart und eine nicht zu ferne Zukunft festzustellen. Sodann ist der Ort und die Beschaffenheit der verschiedenen in der betreffenden Gegend in genügenden Mengen zugänglichen, für Trink- und Gebrauchszwecke geeigneten Wässer zu ermitteln.

Erläut. zu Nr. 1. Der Gesamtbedarf einer Gemeinde an Wasser richtet sich nach verschiedenen Umständen. Ein Dorf gebraucht pro Kopf weniger Wasser als eine mittlere Stadt, und diese im allgemeinen weniger als eine große. Außer den durch die Lebenshaltung und durch die Stadtbedürfnisse bedingten Unterschieden kommt betreffs der Menge des benötigten Wassers die Industrie an sich und die Möglichkeit, ob sie sich selbst billigeres Wasser beschaffen kann, wesentlich in Betracht.

Mittlere Städte mögen bei einer anzulegenden Wasserversorgung ungefähr 100 Liter im Durchschnitt auf den Kopf und Tag in Ansatz bringen, doch kann diese Zahl sowohl nach oben als auch nach unten erheblich sich ändern, je nach den örtlichen Verhältnissen; sie vermag daher nur als ganz allgemeiner Anhalt zu dienen.

Den Bedarf an Wasser für alle Zukunft zu decken, gelingt nicht immer; stets soll aber für eine gewisse, nicht zu knapp bemessene Zeit vorgesorgt werden. Unter Umständen läßt sich durch eine Grundgerechtigkeit oder in ähnlicher Weise für ein verhältnismäßig geringes Entgelt ein Wasserbezugsrecht auch für fernliegende Zeit erwerben.

Nicht selten ist für ein Gemeinwesen die Möglichkeit gegeben, sich mit verschiedenen Arten von Wasser zu versorgen; so kann einerseits Grundwasser, andererseits Flußwasser oder Quellwasser oder Tal-sperrwasser usw., oder auch hartes oder weiches Wasser zur Verfügung stehen; das eine Wasser kann mit geringen, das andere nur unter größeren Kosten gefaßt oder zugeleitet werden. Will eine Gemeinde eine zentrale Versorgung einrichten, so müssen zunächst die Hauptfragen: „wie viel Wasser ist notwendig und welche Wässer sind verfügbar“, Beantwortung finden. Leider werden diese Vorarbeiten zuweilen aus schlecht angebrachter Sparsamkeit nicht ausgiebig und sorgfältig genug ausgeführt.

P. A. Bei der Feststellung des Wasserbedarfes wird nur bei den großen und mittleren Städten gemäß den Angaben in den Erläuterungen mit durchschnittlich 100 Liter für den Kopf und Tag zu rechnen sein. Bei Landgemeinden empfiehlt es sich nach den bisher gewonnenen Erfahrungen, täglich 50 Liter für den Einwohner, 50 Liter für das Stück Großvieh und 15 Liter für das Stück Kleinvieh in Ansatz zu bringen. Ein etwaiger Zuschlag für Bevölkerungszuwachs ist nach dem 5- oder 10jährigen Durchschnitte den örtlichen Verhältnissen anzupassen und es ist dabei besonderen Verhältnissen, wie großem gewerblichem Bedarf, voraussichtlich außergewöhnlicher Steigerung der Bevölkerung, gebührend Rechnung zu tragen, damit einem Wassermangel rechtzeitig vorgebeugt wird.

Vor allem ist es wichtig, die vorhandenen Wassermengen durch zuverlässige, über längere Zeit sich erstreckende Ergiebigkeitsmessungen sicher zu ermitteln, bevor darauf eine Wasserleitung gegründet wird. Bei größeren Anlagen sind solche Messungen regelmäßig, etwa 14tägig, unter Beachtung der den Messungen vorhergegangenen Witterung auszuführen. Für einfache Wassermessungen genügt ein genau geeichtes Meßgefäß von mindestens 10 Liter Inhalt; zur Vornahme der Messung ist der Schürfgraben abzudämmen und in die Abdämmung ein etwa 1 m langes Rohr oder Rinne einzubauen, durch die sämtliches Wasser

abfließen muß. Bei Pumpversuchen ist zu beachten, ob bei der Ergiebigkeitsbestimmung sich der Wasserspiegel im Beharrungszustande befunden und in welcher Zeit nach Aufhören des Pumpens der frühere Wasserspiegel sich wieder eingestellt hat.

Reicht das erschlossene und als geeignet befundene Wasser zur Deckung des Wasserbedarfes nicht aus, so empfiehlt es sich, insbesondere wenn über die Grundwasserverhältnisse des betreffenden Gebiets noch keine sicheren Erfahrungen vorliegen, die Königliche Geologische Landesanstalt in Berlin um gutachtliche Äußerungen zu ersuchen.

2. Für die Entscheidung, ob ein Wasser und welches Wasser zur Versorgung herangezogen werden soll, kommen in Betracht:

- a) die Wasserbeschaffenheit (Nr. 3 bis 8),
- b) die Wassermenge (Nr. 9 und 10).

3. Das zur Verwendung kommende Wasser muß frei sein von Krankheitserregern und solchen Stoffen, welche die Gesundheit zu schädigen geeignet sind; auch soll die Sicherheit geboten sein, daß das Wasser solche nicht in sich aufnehme (vgl. auch Nr. 11 bis 13). Das Wasser soll möglichst farblos, klar, gleichmäßig kühl, frei von fremdartigem Geruch und Geschmack, kurz von solcher Beschaffenheit sein, daß es gern genossen wird.

Erläut. zu Nr. 3. Zur Würdigung der Beschaffenheit der zur Verfügung stehenden Wässer ist es erforderlich, die Eigenschaften zu kennen, welche ein zu Trink- und Hausgebrauchszwecken dienendes Wasser haben muß.

Die erste Anforderung ist die Fernhaltung von Schädigungen. Schädigungen können eintreten durch Krankheitserreger und durch andere der Gesundheit nachteilige Stoffe. Daß sie in einem Trink- und Hausgebrauchswasser nicht enthalten sein dürfen, ist selbstverständlich, und zwar ist nicht nur das zeitweilige Fehlen gesundheitsschädlicher Lebewesen und Stoffe, sondern vielmehr ihre dauernde Abwesenheit zu fordern. Sie ist nur dann gewährleistet, wenn die Sicherheit geboten wird, daß die erwähnten Ansteckungs- und Giftstoffe in das Wasser entweder überhaupt nicht hineingelangen können, oder, falls sie sich nicht ganz vermeiden lassen, was z. B. bei der Benutzung vieler Oberflächenwasser der Fall ist, daß sie dann mit Sicherheit völlig oder bis zu einem geringen keine nennenswerte Gefahr mehr bietenden Grade wieder entfernt werden.

Ein Wasser, welches diese Gewähr nicht gibt, muß für die Heranziehung als Trink- und Hausgebrauchswasser außer Betracht bleiben.

Ist die Gefahr einer Infektion ausgeschlossen, so ist weiter von einem Wasser zu fordern, daß es für den Hausgebrauch geeignet und von solcher Beschaffenheit ist, daß es gern genossen wird.

Die Forderungen, das Wasser solle farblos, klar, gleichmäßig kühl, frei von fremdartigem Geruch und Geschmack, überhaupt so sein, daß es gern genossen werde, sind bereits seit langer Zeit als berechtigt anerkannt. Gefärbtes oder unklares Wasser erweckt den Verdacht der Verschmutzung und wird von vielen Personen als ungenießbar oder wenigstens als unappetitlich zurückgewiesen, und mit Recht, denn der Konsument ist in den allermeisten Fällen gar nicht in der Lage, den Wert einer Färbung oder Trübung abschätzen zu können. Außerdem wird von jedem Nahrungsmittel verlangt, daß es rein sei; gefärbtes oder trübes Wasser ist aber nicht rein, es ist ein ungehöriger Stoff darin. Ungleichmäßig temperiertes, d. h. im Winter kühles, im Sommer warmes Wasser, wird zum direkten Genuß wenig oder gar nicht benutzt; als Ersatz wird dann, da der Mensch genötigt ist, täglich eine größere Menge Wasser aufzunehmen, entweder ein dünner Kaffeeaufguß oder etwas ähnliches, oder Alkohol in verdünnter Form genossen oder es wird zu einem gleichmäßig temperierten, aber im übrigen schlechten, z. B. infektionsverdächtigen Wasser gegriffen. Dem wird bei einer öffentlichen Wasserversorgung vorzubeugen sein.

Geringe Färbungen, spurenweise Trübungen, mäßige Temperaturschwankungen können auch bei sonst brauchbaren Wässern vorkommen; um solche Wässer nicht auszuschließen, ist in der Fassung der Nr. 3 das Wort „möglichst“ eingeschaltet.

Das Wasser soll ein allen zugängliches, billiges Genußmittel sein. Das ist dann — abgesehen von Trübungen und zu hohen oder zu niedrigen Temperaturen, abnormem Geruch und Geschmack — nicht der Fall, wenn man weiß, daß das Wasser vor nicht langer Zeit mit Schmutzstoffen in Berührung war, gewissermaßen einen Auszug aus ihnen darstellt. Leider ist ein großer Teil der kleinen Wasserversorgungsanlagen, der Brunnen, in der Nähe von Jauchestätten, Ställen, Abortgruben und ähnlichem gelegen. Wenn in einem solchen Falle auch der Boden gut filtriert, so daß die in den Schmutzstätten enthaltenen Krankheitskeime abgefangen werden, so ist das Wasser doch unappetitlich; für die meisten Menschen ist es kein Genuß, solches Wasser zu trinken.

4. Diejenigen Krankheiten, welche durch Oberflächen- wie auch durch Grund- und Quellwasser verbreitet werden können, sind in erster Linie Typhus und Cholera; unter Umständen kommen auch die Ruhr, die Weilsche Krankheit, tierische Schmarotzer und Milzbrand (bei Tieren) in Betracht. Auch wird von manchen angenommen, daß Epidemien von Brechdurchfällen durch verunreinigtes Trinkwasser entstehen.

Führt ein zufließendes Quell- oder Grundwasser bei sachgemäßer Probeentnahme dauernd oder zu Zeiten mehr als vereinzelte Bakterien, so ist das ein Zeichen, daß die Bodenfiltration an der einen oder der anderen Stelle oder in weiteren Gebieten nicht ausreicht. Eine Gefahr

liegt alsdann vor, wenn das schlecht filtrierende Gebiet der Verunreinigung durch menschliche Schmutzstoffe ausgesetzt ist; sie kann unter Umständen auch bei Verunreinigung durch tierische Schmutzstoffe vorhanden sein. In dem ruhenden oder langsam sich erneuernden Wasservorräte von Brunnen, Quellstuben, Sammelbehältern und dergleichen findet erfahrungsgemäß eine gewisse Vermehrung von Bakterien statt, welcher, sofern das zufließende Wasser einwandfrei ist und die Behälter gegen Verunreinigungen von außen geschützt sind, eine Bedeutung für die Bewertung des Wassers nicht beizumessen ist.

Erläut. zu Nr. 4. Seitdem Kleinlebewesen als die Erreger der Krankheiten erkannt worden sind, ist die Beurteilung des Wassers in gesundheitlicher Beziehung wesentlich erleichtert worden. Daß Typhus und Cholera durch Wasser häufig verbreitet werden, ist eine Tatsache, über welche kein Zweifel mehr besteht. Auch bezüglich der Weilschen Krankheit darf man das Wasser als einen nicht seltenen Vermittler ansprechen. Betreffs der Ruhr muß man annehmen, daß die Infektion vom Darne aus stattfindet; es ist also eine Infektion durch Wasser, in das Ruhrbazillen gelangt sind, nicht ausgeschlossen, wenn auch größere Epidemien, die sicher durch Wasser übermittelt wurden, seit Entdeckung der Ruhrerreger noch nicht bekannt geworden sind.

Schwieriger ist die Frage zu entscheiden, wie weit Schmarotzerkrankheiten vermittelt werden; daß aber ab und zu das Wasser der Träger sein kann, darüber bestehen Meinungsverschiedenheiten nicht. Beobachtungen liegen vor, wonach die Eier und Larven der gewöhnlichen Eingeweidewürmer durch Wasser übertragen wurden; doch ist, da andere Möglichkeiten des Übertritts nicht mehr von der Hand gewiesen werden können, die Beweisführung keine zwingende. Es steht fest, daß die Anchylostomiasis durch Wasser übermittelt werden kann. Außerdem kommen noch einige andere Wurmkrankheiten besonders in den warmen Ländern in Betracht, so die Lungen- und Leberdistomen, die Bilharzia-, die Medinawurmkrankheit und einige weniger wichtige.

Da das Wasser keine rasch tötende Wirkung auf die Bakterien ausübt — über die Protozoen ist noch wenig bekannt, man ist daher gezwungen, vorsichtigerweise auch bei ihnen mit einer gewissen Lebensdauer im Wasser zu rechnen —, so können bei Gelegenheit die Erreger der meisten Infektionskrankheiten durch Wasser verschleppt werden und teils direkt, teils indirekt mit dem Trink- oder Gebrauchswasser die Krankheit übermitteln.

Die Frage, ob Brechdurchfälle durch verunreinigtes, also stark bakterienhaltiges Trinkwasser entstehen können, ist eine offene, jedenfalls empfiehlt es sich, Vorsicht walten zu lassen.

Früher glaubte man, ein Wasser, welches viel Bakterien enthalte, sei schlecht, ein solches, welches wenig enthalte, sei gut; man glaubte

nämlich annehmen zu dürfen, daß dahin, wo viele Bakterien sind, leicht auch Infektionserreger kommen können und daß in Wasser, wohin nur wenige Bakterien gelangen, auch die an sich schon selteneren Infektionserreger nicht vordringen. Diese Auffassung hat man in ihrer Allgemeinheit fallen lassen müssen, seitdem man weiß, daß Bakterien, welche zufällig oder beim Mauern des Brunnens, Einsetzen der Pumpe usw. in ruhendes oder langsam sich erneuerndes Wasser gelangen, sich dort, unter günstigen Umständen sogar sehr stark, vermehren, wenn sie auch nach einiger Zeit wieder an Zahl abzunehmen pflegen. Die Zahl der Bakterien in einem ruhenden oder sich langsam erneuernden Wasser sagt daher für gewöhnlich über die Infektionsfähigkeit eines solchen Wassers nichts aus, und man darf z. B. daraus, daß in einem Brunnenwasser oder in einer Quellstube zahlreiche Bakterien enthalten sind, noch nicht folgern, das Wasser sei in einem hohen Maße der Infektion ausgesetzt. Dahingegen gibt die bakteriologische Untersuchung dann einen sicheren Anhalt, wenn sich ein zuströmendes Quell- oder Grundwasser als dauernd bakterienfrei oder doch sehr bakterienarm erweist; denn hierdurch ist bewiesen, daß der Boden, durch welchen das Wasser fließt oder welcher das Wasser deckt, gut filtriert, also auf ihn oder in ihn gebrachte Bakterien zurückhält. Führt aber das zufließende Quell- oder Grundwasser dauernd oder zu Zeiten, z. B. nach Regen, mehr als vereinzelte Bakterien, so ist das ein Zeichen, daß die Bodenfiltration an einzelnen Stellen oder im ganzen nicht genügt. Bakterien in dem austretenden Grund- und Quellwasser stammen zuweilen von dem Moose und Grase der Quellöffnungen, von vorgelagerten Steinen, einem eingesetzten Rohre oder ähnlichem her; sie sind belanglos, denn sie haben mit der Filtration im Boden nichts zu tun und verschwinden bei guter Quellfassung vollständig.

Wie schon hieraus hervorgeht, muß bei diesen Untersuchungen eine einwandfreie Entnahme der Wasserproben statthaben, die durchaus nicht immer leicht zu bewerkstelligen ist.

Der Gehalt an Bakterien ist an sich von geringem Belang, sofern sich keine krankheitserregenden darunter befinden; letztere aber sind an den Menschen und seine Abgänge gebunden; wo also von Menschen stammende Schmutzstoffe auf einen schlecht filtrierten Boden — oder auch in Oberflächenwasser — gelangen, da liegt eine Gefahr vor, denn man weiß nicht, ob die Schmutzstoffe nicht Infektionserreger enthalten. In einzelnen Fällen vermögen auch von Tieren ausgeschiedene oder in ihren Abgängen vegetierende Bakterien, z. B. die Erreger der Weilschen Krankheit, den Menschen zu schädigen. Daher können unter Umständen von Tieren stammende Schmutzstoffe ein Wasser infizieren. Auch ist zu berücksichtigen, daß der tierische Dung häufig mit von Menschen stammenden Auswurfstoffen vermischt ist.

P. A. Bakteriologische Untersuchungen sind in der Regel erst nach der Ausführung der Wasserfassung vorzunehmen und möglichst an Ort und Stelle einzuleiten. Von der bakteriologischen Untersuchung kann nur Abstand genommen werden, wenn die örtliche Prüfung der Wasserentnahmestelle durch den zuständigen Kreisarzt völlig einwandfreie Verhältnisse ergeben hat.

5. Trübungen in einem Quell- oder Grundwasser, die auf Erdteilchen beruhen, sind an sich ungefährlich, aber sie können, ähnlich wie die Bakterien, andeuten, daß ungenügend filtriertes Wasser eindringt. Feste Gesteine geben trübende Teilchen in der Regel nicht ab.

Ebenso können kleine Wasserpflanzen und -tiere oder Luftblasen ein Anzeichen für ungenügende Bodenfiltration sein.

Erläut. zu Nr. 5. Nicht selten treten im Quellwasser, zuweilen auch im Grundwasser Trübungen auf, welche auf kleinen Erdteilchen, meistens Tonteilchen beruhen. An sich ungefährlich, deuten sie dann auf eine ungenügende Filtration hin, wenn sie aus den oberen Bodenschichten stammen; gehören die Trübungen den unteren, bakterienfreien Bodenschichten an, so stellen sie nur einen Schönheitsfehler dar; die bakteriologische Untersuchung vermag den erforderlichen Aufschluß zu geben. — Festes Gestein braucht trübende Teilchen nicht abzugeben; aber ihr Fernbleiben zeigt noch nicht an, daß die Filtration genügend ist; auch hier schafft die bakteriologische Untersuchung die notwendige Klarheit.

Kommen Pflanzen, Tiere und deren Trümmer in einem unterirdisch fließenden Wasser vor, so weisen sie auf weitere Kanäle und Verbindungen mit der Erdoberfläche hin; dasselbe tun Gasblasen, sofern sie aus Luft bestehen, die allerdings vielfach durch Abgabe von Sauerstoff und Aufnahme von Kohlensäure verändert ist.

P. A. Zum Nachweis ungehöriger Zuflüsse zu Quell- und Grundwasser kann, abgesehen von der bakteriologischen Untersuchung, vielfach auch die mikroskopische Untersuchung der Wasserproben wertvoll sein und den Zusammenhang mit benachbarten Flüssen oder die ungenügende Filtration des Bodens ohne weiteres zweifelsfrei dartun, wenn dasselbe Plankton, die gleiche Fauna und Flora mikroskopisch ermittelt werden.

6. Größere Temperaturschwankungen weisen beim Grund- und Quellwasser darauf hin, daß Oberflächenwasser rasch und in erheblicher Menge dem unterirdischen Wasser zufließt. Das Gleichbleiben der Temperatur aber schließt das Vorhandensein solcher Zuflüsse noch nicht mit Sicherheit aus.

Erläut. zu Nr. 6. Fließen dem Grund- oder Quellwasser größere Mengen von Oberflächenwasser rasch zu, so wird sich, falls zwischen den beiden Wässern nennenswerte Wärmeunterschiede bestehen, eine

Temperaturschwankung bemerkbar machen. Eine solche Schwankung bleibt jedoch aus, wenn das zuströmende Wasser in seiner Menge gering ist, oder wenn es lange in der Erde verweilt, sei es allein oder schon mit dem Wasser der Tiefe gemischt, oder wenn das Wasser in engen Kanälen fließt, die einen leichten Temperatúrausgleich ermöglichen. Während also Temperaturschwankungen, z. B. nach Regen, Hochwässern oder Überschwemmungen usw. auftretende Temperaturstürze oder -anstiege auf den Zufluß fremden Wassers hindeuten, darf man aus dem Gleichbleiben der Temperatur durchaus noch nicht immer auf das Fehlen fremder Zuflüsse schließen.

7. Die chemische Beschaffenheit eines Wassers hängt ab von der Art und Beschaffenheit des Bodens, auf und in dem es sich befindet und den es durchflossen hat. Mineralische und organische Stoffe sollen in dem Wasser höchstens in solcher Menge enthalten sein, daß sie den Genuß und Gebrauch nicht stören. Kochsalzarme und weiche Wässer sind im allgemeinen den kochsalzreichen und harten Wässern vorzuziehen. Örtliche Anhäufungen größerer Mengen von organischen Stoffen, von Chloriden, von schwefelsauren, kohlen-sauren, salpetrigsauren und salpetersauren Salzen namentlich der Alkali- und Erdalkalimetalle, sowie von Salzen des Ammoniums im Wasser können auf das Vorhandensein einer Infektionsgefahr oder unappetitlicher Verunreinigungen hinweisen. Unter Berücksichtigung der Verhältnisse an Ort und Stelle ist unter Umständen durch Versuche zu entscheiden, ob die Mutmaßung richtig ist. An sich sind die vorgenannten Stoffe in den Mengen, in welchen sie im Wasser in der Regel gefunden werden, gesundheitlich nicht schädlich.

Nachteilig ist es, wenn ein Wasser die Eigenschaft hat, die Materialien der Leitung (Fassungen, Sammelbehälter, Leitungsrohre) anzugreifen, insbesondere kann die Eigenschaft, Blei zu lösen, unmittelbar zu Gesundheitsschädigungen führen. Bleiröhren sind deshalb von der Verwendung auszuschließen, wenn das Wasser die Eigenschaft besitzt, dauernd Blei aus den Röhren aufzunehmen. Natürliche färbende Stoffe (Huminstoffe), sowie ein etwa vorhandener Eisen- oder Mangan-gehalt können ein Wasser unansehnlich machen und seinen Genuß und Gebrauchswert herabsetzen; jedoch lassen sich diese Fehler in der Regel bis zu einem nicht mehr störenden Grade beseitigen.

Erläut. zu Nr. 7. Für die Art und Menge der im Wasser gelösten Substanzen ist in erster Linie die Beschaffenheit des Bodens maßgebend, in oder auf welchem das Wasser steht oder fließt, und in oder auf welchem es gestanden hat oder geflossen ist. Weiter kommt in Betracht die mehr oder minder lange Zeit, während welcher das Wasser mit dem Boden in Berührung war, und die Größe der Berührungsfläche, welche bei feinporigem Erdreiche ganz wesentlich größer ist als

bei solchem, welches weite Kanäle und Hohlräume enthält. Sodann ist von Belang die Temperatur und der Kohlensäuregehalt des Bodens und des Wassers. Ist die natürliche Zusammensetzung des Bodens durch Aufbringung fremder Stoffe, z. B. durch Schutthalden oder Schmutzstoffe des menschlichen Haushalts usw., geändert oder gelangt verunreinigtes Wasser auf den Boden, so kann sich das in der Zusammensetzung des Wassers im Boden ebenfalls bemerkbar machen.

Da es oft schwierig ist, ohne weiteres festzustellen, aus welchen Richtungen das Grund- oder Quellwasser der Entnahmestelle zuströmt, in welchen Mengen das Grundwasser vorhanden ist, in welchem Maße die Entnahme der erforderlichen Wassermengen den Abfließvorgang des Grundwassers im Boden beeinflussen wird, ist es nicht selten notwendig, darüber Versuche (Einbringen von leicht nachweisbaren Stoffen in den Erdboden oder in die Oberflächengewässer der Nachbarschaft, Schöpfversuche unter Beobachtung der dadurch verursachten Erniedrigung des Wasserspiegels und der Veränderung der Strömungsrichtung des Grundwassers usw.) anzustellen, bevor die endgültige Wahl getroffen wird. Dies gilt insbesondere für die Fälle der Wasserentnahme im Uferboden von Flüssen und Bächen und in der Nachbarschaft größerer Ansiedelungen, die ihren Untergrund verunreinigen.

Der Gehalt des Wassers an gelösten Substanzen ist dem Wechsel unterworfen; im allgemeinen ist bei reichlichem Wasserzuflusse die Konzentration geringer. Starke Schwankungen legen den Verdacht nahe, daß ungehörige Zuflüsse, Oberflächenwasser, zu dem Wasser hinzutreten. Für die Auswahl des Wassers zu einer Zentralversorgung ist es sehr wichtig, hierüber unterrichtet zu sein.

Unter denjenigen Substanzen, welche sich regelmäßig im Wasser finden, sind die Chloride zu nennen; doch ist ihre Menge sehr verschieden; in nicht verunreinigtem Wasser finden sich gewöhnlich nur wenige Milligramm im Liter Wasser, aber es gibt auch weite Bezirke, die sehr viel Kochsalz im Boden und somit im Wasser enthalten. Die durchschnittlich vom Menschen täglich aufgenommene Menge Kochsalz liegt über 10 g. Es ist somit gesundheitlich unbedenklich, wenn im Liter Trinkwasser selbst viel Kochsalz vorhanden ist; etwa 250 mg Chlor, 412 mg Kochsalz im Liter oder, wenn das Chlor als Chlorkalium vorhanden sein sollte, 525 mg Chlorkalium im Liter werden noch nicht geschmeckt.

Die Härte des Wassers beruht auf der Anwesenheit von Verbindungen des Kalziums und Magnesiums. Wenn man die Wahl hat, ist weiches Wasser für den Hausgebrauch vorzuziehen. Beim Gebrauche harten Wassers werden die Hülsenfrüchte schwerer weich und ist zum Waschen mehr Seife notwendig. Auch setzt hartes Wasser beim Er-

hitzen reichlich Kesselstein ab; seine Bildung läßt sich durch chemische Zusätze verhindern; hiervon macht die Industrie reichlichen Gebrauch, doch eignet sich das Verfahren für den Haushalt nicht. Sehr hartem Wasser kann man bei zentralen Wasserversorgungsanlagen einen erheblichen Teil seiner Gesamthärte durch Zusatz von Kalkmilch nehmen. Daß der Geschmack durch die Erdalkalimetalle beeinflusst wird, ist nicht häufig, kann aber vorkommen. Kohlensaures Kalzium ist geschmacklos und gesundheitlich indifferent. Das schwefelsaure Kalzium (Gips) löst sich bei 10° zu 2 Teilen in 1000 Teilen Wasser, was 82 deutschen Härtegraden entspricht; für den Geschmack macht es sich frühestens bei Anwesenheit von etwa 500 mg in einem Liter bemerkbar, ist aber auch bei größeren Mengen noch nicht störend. In fast gleicher Konzentration macht sich das schwefelsaure Magnesium für den Geschmack bemerkbar; bei einem Gehalte von 1000 mg in einem Liter Wasser schmeckt das Wasser leicht bitter. Bei Gegenwart von Chlormagnesium macht sich ein Nachgeschmack bereits bei 28 mg Chlormagnesium geltend, während ein eigentlicher Geschmack erst bei etwa 100 mg des Salzes auftritt. Die hier angegebenen Zahlen wurden durch Versuche mit Lösungen der Salze in destilliertem oder weichem Wasser erhalten; bei den in der Natur vorkommenden Wässern liegen die Grenzen höher.

Wenn in einem Boden, der verhältnismäßig arm an Chloriden, kohlen- und schwefelsauren Alkali- und Erdalkalimetallen, organischen Verbindungen und ihren Zerfallsprodukten ist, lokale Anhäufungen größerer Mengen der erwähnten Stoffe sich finden, so kann dies auf das Vorhandensein einer Verschmutzung hinweisen. Welcher Art dieselbe ist, ob sie z. B. aus Rückständen irgend welcher gesundheitlich indifferenten Betriebe oder ob sie aus den Abgängen menschlicher Haushaltungen stammen, welcher gesundheitliche Wert ihnen also beizumessen ist, das müssen die örtlichen Verhältnisse entscheiden. Man darf zudem nicht vergessen, daß selbst starke Verschmutzungen sich nur wenig bemerkbar machen, wenn das Wasser im Boden sich rasch bewegt; ein chemisch guter Befund schließt also die unter Umständen bedrohliche Nähe selbst starker Schmutzstätten nicht immer mit Sicherheit aus.

Nicht jedes lokale Vorkommen der aus Schmutzstoffen stammenden Körper deutet auf eine ekelerregende Verunreinigung hin. Wenn nur die letzten Stufen der Zersetzungsprodukte, z. B. die Chloride oder die kohlen-sauren, schwefelsauren und salpetersauren Verbindungen, in mäßiger Menge vorhanden sind, aber größere Mengen leicht zersetzlicher organischer Substanzen fehlen, dann liegen im allgemeinen die Verschmutzungen zeitlich oder örtlich soweit ab, daß sie nicht mehr in Betracht kommen.

Die gefundenen Stoffe wirken vor allem dann ekelerregend, wenn sie auf naheliegende Schmutzstätten, z. B. undichte Abort- und Jauche-

gruben, Misthaufen und dergleichen hinweisen; die Nähe, die lokalen Verhältnisse sind also das Bedeutunggebende.

Die Infektionsgefahr hat gewöhnlich mit der durch die chemische Analyse festgestellten Beschaffenheit unmittelbar nichts zu tun; denn die Bakterien gehen meistens, wenn nicht ein sehr grobporiger Boden vorliegt, andere Wege als die selbst die feinsten Poren überwindenden Lösungen. Wenn aber über die örtlichen Verhältnisse nichts bekannt sein sollte, dann vermag in manchen Fällen die chemische Analyse die Aufmerksamkeit auf Schmutzstätten, auf Örtlichkeiten hinzulenken, die der Infektion in stärkerem Maße ausgesetzt sind. Nach dieser Seite hin kann die chemische Analyse ein wertvolles Hilfsmittel sein. Ihr fällt außerdem die wichtige Aufgabe zu, Auskunft zu geben über die Verwendbarkeit eines Wassers für den häuslichen und den wirtschaftlichen Gebrauch.

Manche Wässer haben die Eigenschaft, die zu ihrer Fassung und Fortleitung verwendeten Materialien anzugreifen. Wasser, welches freie Kohlensäure und Sauerstoff enthält, greift Eisen und Blei an, wobei noch der Gehalt an gewissen Salzen eine Rolle spielt. Die Bleilösung wird durch zeitweiligen Wassermangel, wobei Luft in die Hausleitungen eintritt, sehr gefördert. Zement wird besonders von sauer reagierenden Wässern angegriffen.

Die auf natürlichem Wege entstandenen Färbungen des Wassers beruhen meist auf der Anwesenheit von Huminstoffen. Diese sind gesundheitlich belanglos, stellen aber einen Schönheits-, zuweilen auch einen Geschmacksfehler dar, welcher durch Filtration des Wassers wohl gebessert, aber nicht immer beseitigt werden kann.

Die im Wasser der Bodentiefe vorhandene Kohlensäure löst Eisen. Das entstandene saure kohlensaure Eisenoxydul wird an der Luft in Eisenhydroxyd umgewandelt, welches sich schließlich in gelben Flocken absetzt. Eisenhaltiges Wasser schmeckt tintenähnlich. Durch die Abscheidung des gelben Eisenhydroxyds wird es trübe und unansehnlich, besonders, wenn sich noch Algen darin entwickeln. Auch Manganverbindungen können in so großer Menge im Wasser vorkommen, daß sie sich bei Berührung mit Luft abscheiden; sie führen zu denselben Unannehmlichkeiten wie die Eisenverbindungen. Das Eisen läßt sich leicht bis auf nicht mehr störende Mengen aus dem Wasser entfernen, so daß das Wasser wieder völlig klar wird; das Mangan läßt sich weniger leicht ausfällen. Das nicht ausfallende Mangan ist aber gesundheitlich indifferent; höchstens könnte seine Gegenwart bei der Verwendung des Wassers in der einen oder der anderen Industrie lästig werden. Erfahrungen darüber sind jedoch bisher öffentlich nicht bekannt geworden.

P. A. Ist es geboten, zur Feststellung der Verbindung eines Brunnens mit verdächtigen Flüssen, Bächen oder Gruben oder zur Feststellung der Richtung des Grundwasserstroms leicht nachweisbare Stoffe in den Erdboden oder benachbarte Gewässer einzuführen, so kommt an erster Stelle hierfür Kochsalz in Betracht. Unter Umständen kann auch eine Untersuchung auf den elektrischen Leitungswiderstand, der in seiner Stärke durch verunreinigende Stoffe im Wasser beeinflußt wird (Wheatstone- bzw. Kohlrausch-Kirchhoffsche Brücke) von Wert für die Klarstellung der Verhältnisse sein. Bei Verwendung von Fluoreszin ist zu berücksichtigen, daß dieses, da es in saurem Boden ausgeschieden wird, nur in alkalischem Boden mit Erfolg verwendet werden kann und daß durch seine Einbringung im Brunnen das Wasser längere Zeit fluoreszierend gefärbt bleibt. Beim Gebrauche von riechenden Stoffen, wie Saprol und Trimethylamin, ist zu beachten, daß das Trinkwasser bei Zutritt derselben auf Tage, selbst Wochen hin genußunfähig gemacht wird. Bei Versagen vorbenannter Methoden kann weiterhin die Verwendung von solchen Farbstoff bildenden Bakterien, welche in der Regel im Wasser nicht vorkommen (Prodigiosus-Kultur auf stärkemehl- oder kohlehydrathaltigem Agarnährboden) in Betracht gezogen werden.

Die in neuerer Zeit durch das unvermutete Auftreten von großen Mengen Mangan hervorgerufenen Schwierigkeiten bei mit Grundwasser gespeisten Wasserversorgungen lassen es geboten erscheinen, dem Vorkommen von Mangan besondere Beachtung zu schenken und gegebenenfalls neben dem Eisengehalt auch den Mangengehalt zu untersuchen.

Bei Wasserversorgungen, bei denen ungeschützte Bleiröhren zur Verwendung gelangen sollen, ist stets auf freie Kohlensäure möglichst an Ort und Stelle zu untersuchen. Bei Vorhandensein von freier Kohlensäure in weichen Wässern ist von der Verwendung ungeschützter Bleirohre abzusehen, es sei denn, daß durch den Versuch ausgeschlossen werden kann, daß das betreffende Wasser bleilösende Eigenschaften besitzt.

Bakteriologische Untersuchungen sind in der Regel erst nach der Ausführung der Wasserfassung vorzunehmen und möglichst an Ort und Stelle einzuleiten. Von der bakteriologischen Untersuchung kann nur Abstand genommen werden, wenn die örtliche Prüfung der Wasserentnahmestelle durch den zuständigen Kreisarzt völlig einwandfreie Verhältnisse ergeben hat.

Bei örtlicher Prüfung eines Projektes für zentrale Wasserleitungen durch den Kreisarzt gemäß der Bestimmung des § 74 Abs. 4 der Dienstanweisung für die Kreisärzte vom 23. März 1901 (Minist.-Bl. f. Med.-Ang. S. 2) hat sich in Nachachtung der Bestimmung des § 37 der genannten Dienstanweisung die chemische Prüfung des Wassers jedesmal

zu erstrecken auf die Reaktion, das etwaige Vorhandensein von Ammoniak, Salpetersäure, salpetrige Säure und freier Kohlensäure.

8. Oberflächenwasser oder durch Kanäle, Spalten oder ungenügend filtrierende Schichten mit der Erdoberfläche in Verbindung stehende Wässer des Untergrundes (von der Erdoberfläche aus verunreinigtes Grund- und Quellwasser) entsprechen meistens den Anforderungen unter Nr. 3 nicht, insofern als Krankheitserreger und Verunreinigungen unter Umständen in das Wasser hineingelangen können, und als die Temperatur ungleichmäßig sein kann.

Die Temperaturschwankungen lassen sich nur wenig ausgleichen. Durch geeignete Verfahren können die schwebenden Teilchen entfernt und die etwa vorhandenen Krankheitserreger soweit beseitigt werden, daß eine Gefahr praktisch nicht mehr in Frage kommt.

Erläut. zu Nr. 8. Die in Nr. 3 aufgestellten Forderungen vermag das Oberflächenwasser nur teilweise zu erfüllen. Unter Oberflächenwasser ist hier alles Wasser zu verstehen, welches mit der Erdoberfläche oder dem dort befindlichen Wasser in offener Verbindung steht. Es gehört somit hierher das Wasser der Seen, Teiche, Weiher, Flüsse und Bäche, aber auch dasjenige Grund- und Quellwasser, welches mit der Erdoberfläche und dem dort befindlichen Wasser durch Kanäle, Spalten, Risse, Poren oder sonstige Öffnungen von solcher Weite zusammenhängt, daß das von oben eindringende Wasser in nicht genügend filtriertem Zustande zum Abflusse gelangt. Das Wasser der offenen und der mangelhaft gebauten oder mangelhaft eingedeckten Brunnen ist daher ebenfalls den Oberflächenwässern zuzurechnen.

Bei offenem Wasser ist die Möglichkeit einer Infektion stets gegeben; die mehr oder minder große Wahrscheinlichkeit hängt von äußeren Umständen ab.

Ein offenes Wasser, z. B. ein Bach, ein See, kann um so leichter infiziert werden, je näher und je mehr Ansiedlungen der Menschen um dasselbe liegen. Reiht sich an einem Wasserlauf Ortschaft an Ortschaft, Fabrik an Fabrik, so ist eine Verschmutzung des Wassers stets vorhanden und die Infektion nur eine Frage der Zeit. Hat ein offenes Wasser keine Anwohner, ist die Entfernung bis zu den Wohn- und Arbeitsstätten der Menschen groß, wie das bei weit abseits im Gebirge oder im Walde liegenden Bächen, Seen und Weihern vorkommt, dann ist die Möglichkeit einer Infektion zwar denkbar, die Wahrscheinlichkeit einer solchen aber fast ausgeschlossen. Quell- oder Grundwasser ist um so mehr gefährdet, je mehr schlecht filtriertes Fluß- oder sonstiges Oberflächenwasser ihm zufließt, je mehr dieses der Gefahr der Infektion ausgesetzt ist und je weiter und kürzer die Kanäle sind, in welchen es bis zum Auslasse rinnt.

Die Verunreinigungen, welche in das Oberflächenwasser hineingelangt sind, lassen sich, soweit sie aufgeschwemmte Teilchen betreffen, durch Sedimentierung oder Filtration aus dem Wasser wieder entfernen. Für die gelösten Stoffe dürfte die Entfernung, soweit der Großbetrieb in Betracht kommt, nur in sehr bescheidenem Maße möglich sein; ebenso ist es sehr schwer, einen ausgiebigen Temperatenausgleich zu erzielen.

Die Krankheitskeime, also diejenigen Körperchen, welchen die größte gesundheitliche Bedeutung zukommt, lassen sich durch verschiedene Verfahren aus dem Wasser entfernen, aber die meisten Verfahren eignen sich für den Großbetrieb nicht oder sie sind bis jetzt noch nicht genügend lange im Großbetrieb erprobt. Das in Deutschland zurzeit am meisten angewendete Verfahren, die einfache zentrale Sandfiltration, leistet hinsichtlich der Entfernung der Bakterien sehr viel. Versuche haben jedoch ergeben, daß die Filter nicht alle Keime zurückhalten, daß sie vielmehr eine, wenn auch nur sehr geringe Anzahl hindurchgehen lassen. Da nun im Rohwasser im Verhältnisse zu seiner Menge die krankheitsregenden Keime nur in recht geringer Anzahl vorhanden zu sein pflegen, so besitzen wir in der gut angelegten und gut betriebenen Sandfiltration ein Werkzeug, mit welchem es gelingt, die Infektionsgefahr entweder ganz oder aber bis auf einen verschwindend geringen Rest, mit dem man nicht mehr zu rechnen braucht, zu beseitigen.

Es hat den Anschein, als ob das Ozonisierungsverfahren und das amerikanische Verfahren der Schnellfiltration mit Alaunzusatz in ihren Leistungen denen der bei uns üblichen Sandfiltration nicht nachstehen.

P. A. Mit Bezug auf die „Erläuterungen“ Abs. 6 zu Nr. 8, betreffend das Ozonverfahren und die Schnellfiltration, wird auf die bezüglichen Veröffentlichungen in den „Mitteilungen der Königlichen Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung“ Heft 6 S. 60 und 80 u. ff. verwiesen, in welchen die Ergebnisse der in der Anstalt ausgeführten Prüfungen des Ozonverfahrens und der amerikanischen Schnellfiltration niedergelegt sind. An der Hand dieser Feststellungen wird im gegebenen Falle geprüft werden können, ob diese Verfahren zur Verbesserung eines den Anforderungen unter Nr. 3 der Anleitung nicht entsprechenden Wassers anwendbar sind.

In Fällen, in denen sich die genannten Verfahren nicht eignen, kann auch das Ferrochlor-Verfahren (Chlorkalk- und Eisenchloridzusatz mit Nachbehandlung im Schnellfilter) in Erwägung genommen werden. Heft 8 der „Mitteilungen der Königlichen Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung“ bringt einen Bericht über eine nach diesem Verfahren eingerichtete Anlage in Middelkerke bei Ostende.

9. Das durch die Anlage zu liefernde Wasser muß für die Gegenwart und eine nicht zu ferne Zukunft den Bedarf an Wasser zu jeder

Tages- und Jahreszeit mit voller Sicherheit zu decken vermögen. Auch in der weiteren Entwicklung ist dem sich steigernden Bedarfe rechtzeitig und zwar vor dessen Eintritt Rechnung zu tragen.

Erläut. zu Nr. 9. Der Bereitstellung einer genügend großen Menge Wasser ist früher seitens der Hygiene nicht die erforderliche Aufmerksamkeit geschenkt worden; die ganze Sorge erstreckte sich vielmehr auf die Beschaffung eines guten, besonders eines chemisch guten Wassers, während die Technik die Wassermenge zum Teil zum Schaden der Wasserbeschaffenheit stark in den Vordergrund drückte. Zurzeit besteht wohl Einmütigkeit darüber, daß sowohl gute Beschaffenheit als auch ausreichende Menge des Wassers zu verlangen sind.

Bei eintretendem Mangel an Trinkwasser liegt die Versuchung nahe, Abhilfe dadurch zu schaffen, daß ein Wasser gewählt wird, welches nicht einwandfrei ist. Da aber bei dem alsdann wesentlich in Betracht kommenden Oberflächenwasser die Möglichkeit einer Infektion mit Krankheitskeimen vorliegt, so muß dem unter allen Umständen vorgebeugt werden. Die Epidemiologie lehrt, daß Typhusepidemien, welche durch Wasser verbreitet wurden, dadurch entstanden sind, daß bei eintretendem Wasser infizierbares und infiziertes Wasser zugeleitet und mit dem guten Wasser gemischt wurde.

Mit vollem Rechte muß daher die Forderung aufgestellt werden, daß für die Gegenwart und eine nicht zu ferne Zukunft unter Berücksichtigung der voraussichtlichen Zunahme der Bevölkerung und der voraussichtlichen Entwicklung der Industrie stets, d. h. zu jeder Tages- und zu jeder Jahreszeit und unter allen Umständen eine genügende Menge von einwandfreiem oder, wenn das durchaus nicht möglich sein sollte, mindestens von vor Infektionen sicher geschütztem Wasser vorhanden sei.

Soll diese notwendige Forderung erfüllt werden, dann wird zuweilen die Beschaffenheit, aber nur soweit die Annehmlichkeit in Frage kommt, gegen die Menge zurücktreten müssen.

Bei Entnahme von Oberflächenwasser kann auch durch den Verbrauch selbst eine starke Abminderung des zur Verfügung stehenden Wassers eintreten. Darin liegt insofern eine Gefahr (z. B. bei Stauteichen), als die in die geringe Wassermenge etwa gelangten Krankheitskeime nicht mehr Zeit haben, abzusterben oder auszufallen, was bei langem Aufenthalt im Wasser der Fall ist. Aus diesem Grunde ist von vornherein eine ausreichende Größe der Stauteiche vorzusehen.

Fehlerhaft würde es sein, nur so viel Wasser zu erwerben, als für eine Gemeinde im Augenblicke notwendig ist, und aus schlecht angebrachter Sparsamkeit selbst günstig liegende Quellen nicht anzukaufen. Werden dann die Quellen später gebraucht, so fordern die Besitzer sehr hohe Preise, und die Gemeinden müssen kaufen, weil der Rohrstrang

bereits liegt und die Zuleitung einer anderswo gelegenen Quelle noch mehr Kosten verursachen würde. Ebenso verfehlt ist es, einem bestehenden Wassermangel nicht durch Beschaffung reichlicheren, einwandfreien Wassers abzuhelfen, sondern sich mit gesundheitlich nicht zulässigen Maßnahmen, wie z. B. der Beschränkung der Wasserabgabe auf bestimmte Tagesstunden und ähnlichem zu behelfen.

Verhängnisvoll kann es für die Gemeinden werden, wenn sie bei Grundwasserversorgungen sich das nötige Gelände für die Anlage neuer Brunnen nicht schon bei der Erstanlage sichern; werden dann später langwierige Verhandlungen nötig, so kann Jahre hindurch Wassermangel bestehen und ein bis dahin gut filtrierender Boden so überanstrengt werden, daß er für die Filtration nicht mehr genügendes leistet.

Als Grundsatz ist aufzustellen, daß die Sicherstellung ausreichenden Wassers dem Bedarfe voranzugehen hat.

Damit über die Menge des verfügbaren Wassers volle Klarheit bestehe, sind vor der Errichtung der Werke entsprechende Beobachtungen zu wasserarmen Zeiten in ausreichendem Maße und hinreichend lange anzustellen.

10. Der Grundsatz einer einheitlichen Versorgung ist möglichst überall durchzuführen. Ist es in Ausnahmefällen nicht möglich, eine für alle Zwecke ausreichende Menge von Wasser nach Maßgabe der vorstehenden Anforderungen zu beschaffen, so muß mindestens das Trink- und Hausgebrauchswasser den Anforderungen entsprechen.

Zwingen die Verhältnisse zur Anlage einer besonderen Leitung für Betriebswasser (d. h. Wasser zum Straßenwaschen, Feuerlöschen, Garten Sprengen, Wasser für gewisse Betriebe, Kesselspeisewasser, Industrierwasser und ähnliches), so ist sie von der Trink- und Hausgebrauchswasserleitung vollständig getrennt zu halten und sind, falls das Betriebswasser gesundheitschädliche Nachteile bietet, die Zapfstellen so einzurichten und anzulegen, daß eine mißbräuchliche Benutzung für Trink- und Hausgebrauchszwecke tunlichst verhindert wird.

Erläut. zu Nr. 10. Das Streben sei stets zunächst darauf gerichtet, eine einheitliche, allen Zwecken dienende Wasserversorgung einzurichten. Eine Zuteilung, bei welcher ein vollwertiges und ein weniger gutes Wasser zur Verteilung kommt, führt meistens zu schweren Unzuträglichkeiten. So wird die Bewohnerschaft, vor allem die weniger einsichtsvolle, das Betriebswasser vielfach auch als Trinkwasser, und zwar namentlich dann benutzen, wenn sie bequemer zu jenem als zu diesem gelangen kann, und die Bewohner der günstig gelegenen Bezirke werden vielfach das gute Wasser für alle Zwecke verwenden; infolgedessen erhalten dann die höher oder entfernter liegenden Bezirke zu den Tageszeiten, wo sie es am notwendigsten gebrauchen, überhaupt

kein oder zu wenig gutes Wasser. Dadurch wieder werden die Einwohner dieser Stadtteile veranlaßt, dann, wenn das Wasser läuft, Vorräte anzusammeln; das Wasser verliert damit an Frische und wird Infektionen zugänglich gemacht; ferner wird durch Aufsammeln von zu viel Wasser Vergeudung getrieben.

Soll für ein Gemeinwesen eine für alle Zwecke ausreichende Menge Wasser zugeführt werden, und soll das Wasser allen Anforderungen der Nr. 3 entsprechen, so können sich, besonders da auch die Kosten für Anlage und Betrieb eine erhebliche, oft ausschlaggebende Rolle spielen, Schwierigkeiten ergeben, und es ist nicht immer möglich, das in seiner Beschaffenheit beste Wasser zur Verwendung zu bringen.

Als Grundsatz ist aufzustellen, daß nur ein Wasser zugeführt werden darf, das völlige Ungefährlichkeit gewährleistet, wie sie bei gutem Grund- und Quellwasser gegeben ist, oder durch eine gute Filtration oder Sterilisation entsprechend Nr. 8 Abs. 2 erzielt werden kann. Bezüglich der Annehmlichkeit können im Bedarfsfalle Zugeständnisse gemacht werden; so wird man z. B. von einer stets gleichmäßigen Temperatur absehen dürfen, also anstatt einer geringen Menge immer gleichtemperierten Grundwassers ein allen Anforderungen an die Menge genügendes, gut filtriertes, aber in seiner Wärme schwankendes Flußwasser wählen, oder an Stelle eines eisenhaltigen Grundwassers, welches gehoben werden muß, ein Quellwasser verwenden, welches mit natürlichem Gefälle in reicher Menge zuläuft, aber zuweilen Trübungen zeigt, wenn sie nur infolge ihrer Herkunft eine Schädigung nicht befürchten lassen. Die Entscheidung muß sachgemäßer Erwägung im Einzelfalle überlassen bleiben.

Nicht selten kommen Gemeinden in die Lage, Wasser verschiedener Herkunft zuführen zu müssen, z. B. Wasser verschiedener Quellen, oder Grundwasser aus verschiedenen Bezirken, oder teils Grundwasser, teils Quell- oder filtriertes Wasser usw. Selbst wenn alle diese Wässer ein gutes Trink- und Hausgebrauchswasser darstellen, empfiehlt es sich doch — vielfach aus technischen Gründen —, sie, wenn angängig, getrennt zu halten; es ist aber notwendig, durch eingebaute Verbindungsstücke usw. eine leichte Übertrittsmöglichkeit zu schaffen, damit zur Zeit der Wasserknappheit eine gegenseitige Unterstützung der verschiedenen Versorgungen leicht und rasch ausführbar ist.

Wenn es nicht möglich ist, eine für alle Zwecke ausreichende Menge guten Wassers zu beschaffen, dann bleibt nichts anderes übrig, als eine Betriebswasseranlage und eine Trink- und Hausgebrauchswasseranlage einzurichten. Letztere muß vollständig den unter Nr. 3 aufgestellten Anforderungen entsprechen; auch ist es nicht angängig, eine Trennung zwischen Trinkwasser und Hausgebrauchswasser zu machen, da sie im täglichen Leben undurchführbar ist. Hinsichtlich des Betriebs-

wassers wird in solchen Fällen das Bestreben dahin gehen müssen, Wasser zu nehmen, welches den Anforderungen unter Nr. 3 möglichst nahe kommt; aber minderwertig wird es dem Trink- und Hausgebrauchswasser gegenüber immer sein. Hieraus ergibt sich von selbst die Forderung, die Betriebswasserleitung von der anderen Leitung ganz getrennt zu halten, und, sofern nicht jede Infektionsgefahr ausgeschlossen ist, die Zapfstellen so anzulegen und einzurichten, daß sie möglichst nicht für Trink- und Hausgebrauchszwecke verwendet werden können. Das bloße Kenntlichmachen des minderwertigen Wassers oder eine Warnung vor demselben genügt nicht, vielmehr muß durch technische Einrichtungen (besondere Steckschlüssel, verdeckte Auffanggefäße und dergleichen) die Entnahme des Wassers den Unbefugten, soweit zugänglich, unmöglich gemacht werden.

II. Bildung eines Schutzbezirkes.

11. Sowohl bei Quell- und Grundwasser-, als auch bei Oberflächenwasseranlagen, kann die Sicherung eines Schutzbezirkes notwendig werden, einerseits, um das Abgraben oder eine sonstige schädigende Entnahme oder Ableitung zu verhindern, andererseits um eine Infektion, Vergiftung oder Verunreinigung des Wassers zu verhüten.

Erläut. zu Nr. 11. Daß das Oberflächenwasser in Menge oder Beschaffenheit oder in beiden Beziehungen Veränderungen unterworfen ist, lehrt die Erfahrung. Aber auch das Wasser der Bodentiefe kann beeinflußt werden, und es muß das Streben dahin gehen, unerwünschte Veränderungen in Beschaffenheit und Menge fernzuhalten.

Eine schädliche Abnahme von Quell- oder Grundwasser kann dadurch bewirkt werden, daß das Wasser von anderen abgegraben wird, oder daß es abgeleitet oder durch Pumpen oder auf andere Weise aus dem Boden entnommen wird. Durch Ziehen von Gräben, durch Schaffung einer anderen Vorflut, durch die Einwirkung des Bergbaues, durch Niederbringen anderer Brunnen und dadurch ermöglichte Wasserentnahme oder auf sonstige Weise kann das bis dahin in genügender Menge vorhandene Quell- oder Grundwasser vermindert, sogar völlig zum Schwinden gebracht werden.

Oberflächenwasser kann durch Ableitung oder durch Betriebe usw. so stark fortgenommen werden, daß für die Wasserversorgungsanlage nicht genügendes, oder nur ein schmutziges, schlammiges Wasser, ein Rest übrig bleibt, welcher sich nicht mehr verwenden läßt.

Ferner ist es möglich, daß dem Wasser Infektionserreger, giftige oder verunreinigende Stoffe zugeführt werden.

Unterirdisches Wasser kann an verschiedenen Stellen infiziert oder verschmutzt werden.

Die nächste Umgebung der Quellmündung bringt am leichtesten Gefahr; gerade sie ist nicht selten die Vermittlerin der Verunreinigung und Infektion, denn bei ihr pflegt das Wasser der Erdoberfläche am nächsten zu sein, infolgedessen ist die eventuell filtrierende Schicht sehr dünn und es ist weder die genügende Zeit noch ein genügendes Filter vorhanden, um eingebrachte Keime absterben zu lassen, beziehungsweise abzufangen. Ebenso wenig reicht der Raum und die in ihm verbrachte Zeit aus, um auf den Boden gelangte Verunreinigungen in indifferente Verbindungen überzuführen, oder ihnen den Charakter des Unappetlichen zu nehmen.

Ein stark gefährdetes Gebiet ist bei vielen Grundwasserversorgungen dasjenige, welches der Absenkung des Wasserspiegels unterworfen ist, und zwar um so mehr, je näher es dem Brunnen ist. Gelangen Flüssigkeiten in dieses Gebiet hinein, so werden sie, abgesehen von besonderen Fällen, hauptsächlich dann, wenn der Wasserstand starken Schwankungen unterworfen ist, wie z. B. im intermittierenden Betrieb, in kürzester Zeit in den Pumpen erscheinen und zwar schlecht filtriert und unzersetzt.

Kommen Infektionserreger, Gifte, Verunreinigungen dicht an der Entnahme- oder Gewinnungsstelle in das Grund- oder Quellwasser hinein, so ist die Möglichkeit recht gering, daß sie hier in den durch Ausspülung erweiterten Kanälen abgefangen oder zersetzt werden, oder durch Sedimentation aus dem Wasser verschwinden. Die unreinen Zuflüsse bleiben also in ihrer ganzen Menge wirksam und kommen bei der Kürze des Weges in konzentrierter Form in das Wasser der Entnahmestelle hinein. Zu einer Vergiftung ist eine gewisse Menge Gift, zu einer Infektion sind wahrscheinlich mehrere Krankheitserreger erforderlich, und eine Verschmutzung muß eine gewisse Konzentration haben, um als solche empfunden zu werden; auch aus diesem Grunde steigt die Gefahr mit der Nähe.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse für eine Versorgung mit Oberflächenwasser; je näher der Schöpfstelle Haus-, Stadt- oder Industrieabwässer in das Wasser eingelassen werden, um so gefährlicher und belästigender sind sie.

Nicht immer jedoch birgt die Nähe des Gewinnungsorts eine Gefahr, so z. B. nicht bei artesischen Brunnen oder tieferen Rohr- oder Schachtbrunnen, sofern eine undurchlässige oder gut filtrierende Schicht das Grundwasser deckt; ebensowenig ist Gefahr vorhanden bei Quellen, die unter hohem, gut filtrierendem Hange oder aus größerer Tiefe hervorbrechen, oder auf sonstige Weise geschützt sind.

Wo die Möglichkeit einer Gefährdung des Wassers besteht, da läßt sich ihr in vielen Fällen durch Bildung eines Schutzbezirks begegnen. Dies kann sich auch als notwendig erweisen, um der Abminderung der Menge des Wassers entgegenzutreten.

In einem solchen Schutzbezirke darf dann Wasser von fremder Hand entweder überhaupt nicht, oder nur in beschränkter Menge entnommen werden, so daß der Bestand des geschützten Wassers gewährleistet ist. Überflutungen des Schutzbezirkes sind möglichst zu verhindern. Die Aufbringung, Zuleitung oder Durchleitung — es sei denn in völlig sicheren dichten Röhren — von infektiösem oder schmutzigem Wasser, in erster Linie von Hausabwässern oder aber von bedenklichen Industrieabwässern müssen verboten werden. Nicht kompostierte menschliche Auswurfstoffe dürfen selbst zu Düngungszwecken nicht in den Schutzbezirk hineingebracht werden. Es kann sich unter Umständen empfehlen, auch den Tierdung fernzuhalten. Schädigende Betriebe und Industrien oder unter Umständen auch Anhäufungen von Halden dürfen dort nicht zugelassen werden.

Oft ist es nützlich, den Schutzbezirk mit Buschwerk oder Bäumen zu bepflanzen oder in sicherer Weise einzufriedigen.

Die Erfahrung hat im Laufe der Zeit gelehrt, daß nicht allein in der Nähe, sondern auch in größerer Entfernung von der Schöpfstelle unreines oder verdächtiges Oberflächenwasser sich dem guten Grundwasser beimischen kann, daß sogar das Ursprungswasser selbst schlecht filtriert in weite Bodenkanälchen und -kanäle gelangt.

Um hierüber in das Klare zu kommen, und um gegebenenfalls das zufließende Wasser schützen zu können, muß man das an der Wasserlieferung sich beteiligende Gebiet möglichst in seiner Ausdehnung festlegen, die Mächtigkeit und Beschaffenheit der filtrierenden Schicht, sowie die schwachen Stellen darin, (z. B. Erdstürze), ferner Arrosionen der Erdoberfläche (z. B. Steinbrüche) oder mit auffallend dünner filtrierender Decke überlagertes, zerklüftetes Gestein kennen lernen. Betreffs des Quell- und Grundwassers selbst ist zu untersuchen, in welcher Höhenlage es gefunden wird, wie rasch es sich bewegt, ob es Trübungen zeigt und welcher Art diese sind, wie stark und rasch der Wechsel in der Menge und Temperatur ist, wie der chemische und vor allem der bakteriologische Befund zu den Zeiten großer Niederschläge oder bei Trübungen sich stellt. Weiter sind zu ermitteln die Beziehungen des Quell- und Grundwassers zum Oberflächenwasser, also zu benachbarten Teichen, Seen und Wasserläufen.

Zu allen diesen Verhältnissen sind die Gefährdungsmomente, d. h. die Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit, daß an die wunden Stellen des an der Wasserlieferung sich beteiligenden Gebiets Krankheitskeime gebracht werden (in den geschlossenen Hochwald, in hohes steiles Gebirge z. B. kommen keine Typhuskeime, auf den gedüngten Acker wohl), in Beziehung zu bringen, und danach ist zu beurteilen, ob, inwieweit und wie ein Schutz gewährt werden kann und muß.

Selbstverständlich läßt sich nicht für große Landstrecken die Düngung verbieten oder die Einrichtung von Betrieben und Industrien untersagen, oder eine Ansiedlung von Menschen verhindern, aber man kann die stark gefährdeten Bezirke herausuchen und für sie zweckentsprechende Schutzmaßregeln vorschreiben; so z. B., daß die Unratstoffe in dichten Gruben aufgefangen werden müssen (eine Vorschrift, die ohnedies an manchen Orten bereits besteht), daß frische menschliche Fäkalien nicht zur Düngung benutzt werden dürfen, daß die Desinfektion der Abgänge von Typhus-, Cholera- oder sonstigen infektiösen gefährlichen Kranken nicht bloß anzuordnen, sondern auch zu überwachen ist und dergleichen mehr. In den bedrohlichen Gebieten ist das Einleiten von Abwässern bedenklicher Art in Erdfälle, Spalten, Klüfte oder in stark durchlässigen Boden zu untersagen. In Steinbrüchen und an ähnlichen gefährdenden Betriebsstätten sind dichte Tonnen zum Auffangen von Fäkalien aufzustellen, hinsichtlich ihrer Benutzung zu überwachen und in entsprechenden Zwischenräumen zu entleeren. Auf diese und ähnliche Weise können vorhandene Gefahren beseitigt oder wenigstens erheblich verkleinert werden.

Wenn die Möglichkeit der Verschmutzung und Infektion des Wassers von weiten Bezirken aus nicht von der Hand zu weisen ist, wenn auf andere Weise die Zuführung eines mindestens gegen Infektionen gesicherten Wassers nicht bewerkstelligt werden kann, oder aus irgend welchen Gründen eine Filtration oder Sterilisation nicht zugänglich sein sollte, so bleibt nichts anderes übrig, als für solche weiteren Gebiete dadurch einen gewissen Schutz anzustreben, daß man die durch Wasser übertragbaren Infektionskrankheiten so energisch wie möglich bekämpft, wie das z. B. in großem Maßstabe seitens der Stadt Paris für ihre 4 mächtigen Wasserbezugsgebiete schon seit etwa 5 Jahren geschieht. Unter den hier in Betracht kommenden Infektionen steht der Typhus oben an.

Wie Infektionserreger, so müssen auch Giftstoffe fern gehalten werden. Hierbei kommen wohl allein industrielle Betriebe in Betracht. Das Einleiten von Industrieabwässern in den Boden darf in dem an der Wasserlieferung sich beteiligenden Gebiete nicht zugelassen werden; ebensowenig dürfen dort Erzeugnisse oder Abfälle von Industrien, welche differente Auslaugungsprodukte in schädigender Menge in den Boden gelangen lassen, gelagert werden und dergleichen mehr.

Auch für Anlagen zur Versorgung mit Oberflächenwasser kann sich ein Schutzbezirk notwendig machen.

Oberflächenwasser ist solange unbedenklich, als Krankheitskeime nicht hineingelangen können. Es ist daher das Wasser von solchen Bächen, Teichen oder Stauweihern, welche verloren in einem einsamen Gebirgstale weitab von menschlichen Ansiedlungen und vom Verkehr liegen, in

manchen Fällen als ungefährlich zu betrachten. Damit diese Eigenschaft bleibe, müssen die auf solches Wasser angewiesenen Gemeinden die Möglichkeit erhalten, das Wasser und seine Zuflußgebiete zu schützen. Sie müssen z. B. das Recht haben, oder erwerben können, Wege eingehen zu lassen oder Wege und Wasserläufe zu verlegen oder aus dem Verkehr ausfallen zu lassen und Schutzstreifen oder Schutzgebiete einzurichten.

Wenn infektiöses Oberflächenwasser genommen werden muß, läßt sich die Infektions- und Verschmutzungsgefahr durch möglichste Reinhaltung des Rohwassers abmindern. So empfiehlt es sich z. B., unter Umständen das Einlassen ungereinigter Betriebs- und Industrierwässer für eine größere Strecke des oberen Flußlaufs zu verbieten. Ferner kommt in Frage, den oberhalb gelegenen Städten und Ortschaften das Einleiten der Hausabwässer mit oder ohne Fäkalien entweder zu versagen oder nur unter gewissen Bedingungen zu gestatten. Auch kann es sich empfehlen, eine vorgängige Reinigung städtischer Abwässer nach einem bewährten, für den besonderen Fall geeigneten Verfahren sowie die Meldepflicht bei infektiösen Krankheiten und die zwangsweise Desinfektion der Abgänge der Kranken und der Krankheitsverdächtigen zu verlangen.

Das auf solche Weise vor Schmutz und Infektionskeimen tunlichst bewahrte Rohwasser läßt sich dann durch entsprechende Weiterbehandlung derart reinigen, daß die Gefahr einer Krankheitsübertragung praktisch kaum noch in Betracht kommt.

12. Die Größe, Gestalt und Lage des Schutzbezirkes ist den jeweiligen örtlichen Verhältnissen entsprechend nach Anhörung von Sachverständigen (Geologen, Wasserversorgungsingenieure, Chemiker, Hygieniker usw.) festzusetzen.

Erläut. zu Nr. 12. In manchen Fällen wird die Festsetzung der Größe, Gestalt und Lage des Schutzbezirkes leicht sein, in anderen Fällen aber erhebliche Schwierigkeiten machen, so daß die Heranziehung von Sachverständigen notwendig ist. Wenn unter diesen in Nr. 12 Geologen, Wasserversorgungsingenieure, Chemiker und Hygieniker besonders genannt sind, so liegt das daran, daß gerade von ihnen eine zutreffende Beurteilung der Verhältnisse am ehesten zu erwarten ist. Selbstverständlich können auch andere Sachverständige, z. B. Bakteriologen, Landwirte und Industrielle in Betracht kommen, letztere beiden um so mehr, als nicht selten ihre Interessen denen der Wasserentnehmer widerstreiten. Es wird sich empfehlen, die Entscheidung in die Hand einer Behörde zu legen; in jedem Falle aber ist die Mitwirkung der Medizinalbeamten erforderlich, damit vor allem die gesundheitlichen Verhältnisse die gebührende Berücksichtigung finden.

P. A. Die P. A. empfehlen, in zweifelhaften Fällen die Königliche Geologische Landesanstalt in Berlin um gutachtliche Äußerung zu ersuchen.

13. Soweit geeignete Wassergewinnungsstellen oder Schutzbezirke nicht freihändig zu Eigentum erworben oder in einer anderen, dauernd sicheren Weise geschützt werden können, empfiehlt es sich, die Verleihung des Enteignungsrechts zu beantragen.

Unter Umständen gewährt der Erlaß polizeilicher Anordnungen, durch welche innerhalb eines Schutzbezirkes tiefere Aufgrabungen, (Schürfungen, Ausbaggerungen, Steinbrüche, Bergbau usw.), die Erzeugung, Ansammlung oder Lagerung nachteilig auf das Wasser einwirkender Stoffe oder die Einleitung häuslicher, städtischer oder industrieller Abwässer in Gewässer verboten oder beschränkt werden, ausreichenden Schutz. Auch läßt sich bei Flurregulierungen oft von vornherein ein Schutzbezirk schaffen.

Es liegt im Interesse der öffentlichen Gesundheitspflege, daß Anträge auf Erteilung des Enteignungsrechts zur Erwerbung von geeigneten Wassergewinnungsstellen und Schutzbezirken oder auf Erlaß der im Abs. 2 bezeichneten polizeilichen Anordnungen tunlichst Berücksichtigung finden.

Erläut. zu Nr. 13. Am besten ist es, wenn die Stelle, an welcher das Wasser gewonnen wird, nebst ihrer näheren Umgebung und, falls ein Schutzbezirk geschaffen worden ist, auch dieser sich in den Händen des Besitzers des Wasserwerkes befindet. Wo ein freihändiger Erwerb nicht zu erreichen ist, da läßt sich zuweilen durch Bestellung von Grundgerechtigkeiten mittels Vertrags unter Eintragung in das Grundbuch ein genügender Schutz erzielen. Der Inhalt des Vertrags hat sich den jeweiligen Verhältnissen anzupassen und dürfte sich zumeist auf Beschränkungen oder Behinderungen der Bebauung, Düngung oder industriellen Ausnutzung des Gebietes erstrecken.

Wo auch dieser Schutz, welcher trotz der amtlichen Eintragung weniger zuverlässig ist als der Besitz, nicht erreicht werden kann, da empfiehlt es sich, die Verleihung des Enteignungsrechts zu beantragen.

Findet in einer Gemeinde eine Flurregulierung durch Zusammenlegung der Grundstücke statt, so läßt sich die Bildung eines Schutzbezirkes für Quellen in der Weise durchführen, daß der Gemeinde bei der Umlegung die Quelle nebst Abfluß und einem entsprechenden Stücke Land oberhalb der Quelle überwiesen wird. Bei kleinen Quellen und Wiesenland dürfte manchmal schon ein Geviert von etwa 50 m Seitenlänge (= einem Inhalt von 2500 qm oder $\frac{1}{4}$ ha) genügen.

Nicht allein für den Schutzbezirk, sondern auch für die weitere Umgebung, welche dem wasserpflichtigen Gebiete der Quellen angehört, oder wo das versorgende Grundwasser dicht und ungeschützt unter der

Erdoberfläche steht, können polizeiliche Anordnungen zur Verhütung von Gefährdungen erforderlich sein. Sie werden zwar nicht bei allen Veranstaltungen, aber doch bei manchen einzugreifen vermögen und hauptsächlich in den im Abs. 2 der Nr. 13 erwähnten Richtungen sich zu bewegen haben.

An die Bildung von Schutzbezirken wird nur heranzugehen sein, wenn dafür ein wirkliches Bedürfnis vorliegt, denn die dadurch entstehenden Kosten sind meistens erheblich; es ist daher erwünscht, daß die Behörden geeignetenfalls durch die Gewährung von Enteignungsrechten oder durch den Erlaß von polizeilichen Schutzbestimmungen tunlichst weit entgegenkommen, um so mehr, als gewöhnlich die auf dem Spiele stehenden öffentlichen Interessen recht große sind.

Die Bildung von Schutzbezirken ist nicht neu. Eine Anzahl deutscher Städte und Orte besitzt bereits Schutzbezirke teils für Grundwasser, noch mehr indessen für Quellwasserversorgungen. In Frankreich, wo die Quellwasserversorgung vorherrscht und das zerklüftete Kalkgebirge vielfach ein ungenügend filtriertes Wasser liefert, hat man in dem Gesetze vom 15. Februar 1902: „relative à la protection de la santé publique“ Artikel 10 den „Périmètre de protection contre la pollution de ladite source“ gesetzlich festgelegt¹⁾. In Österreich, in England, in Nordamerika sind sehr große Schutzgebiete geschaffen worden und in den beiden letzteren Staaten geht man damit um, die Angelegenheit gesetzlich zu regeln.

¹⁾ Veröffentlichungen des Kaiserl. Gesundheitsamts Jahrgang 1902, S. 319.

Article 10. Le décret déclarant d'utilité publique le captage d'une source pour le service d'une commune déterminera, s'il y a lieu, en même temps que les terrains à acquérir en pleine propriété, un périmètre de protection contre la pollution de ladite source. Il est interdit d'épandre sur les terrains compris dans ce périmètre des engrais humains et d'y forer des puits sans l'autorisation du préfet. L'indemnité qui pourra être due au propriétaire de ces terrains sera déterminée suivant les formes de la loi du 3 mai 1841 sur l'expropriation pour cause d'utilité publique, comme pour les héritages acquis en pleine propriété.

Ces dispositions sont applicables aux puits ou galeries fournissant de l'eau potable empruntée à une nappe souterraine.

Le droit à l'usage d'une source d'eau potable implique, pour la commune qui la possède, le droit de curer cette source, de la couvrir et de la garantir contre toutes les causes de pollution, mais non celui d'en dévier de cours par les tuyaux ou rigoles. Un règlement d'administration publique déterminera s'il y a lieu les conditions dans lesquelles le droit à l'usage pourra s'exercer.

L'acquisition de tout ou partie d'une source d'eau potable pour la commune dans laquelle elle est située peut être déclarée d'utilité publique par arrêté préfectoral, quand le débit à acquérir ne dépasse pas deux litres par seconde.

Cet arrêté est pris sur la demande du conseil municipal et l'avis du conseil d'hygiène du département. Il doit être précédé de l'enquête prévue par l'ordonnance du 23 août 1835. L'indemnité d'expropriation est réglée dans les formes prescrites par l'article 16 de la loi du 21 mai 1836.

P. A. Bei Anträgen auf Erteilung des Enteignungsrechts ist gemäß der Ausführung in Ziffer 13 nach der Bestimmung des Erlasses vom 24. August 1899, M. d. g. A. M. 12426, M. d. I. II 10235, von dem Antragsteller stets die Beibringung eines hygienischen Gutachtens zu fordern. Mit den Vorlagen ist zugleich das medizinalamtliche Gutachten des zuständigen Kreisarztes einzureichen (vgl. § 74 der Dienst-anweisung für die Kreisärzte).

10. Die Beziehungen der Hydrologie zum Bergbau, zum Rieselfeldbetriebe und zur Landwirtschaft

69. Kapitel

Hydrologie und Bergbau

Die Beziehungen des Bergbaues zur Hydrologie sind mannigfacher Art und hängen sowohl von der Art des Bergbaues wie vom Charakter der Lagerstätten ab. Es kann aber nicht in der Absicht dieses Werkes liegen, diese Beziehungen vollständig und erschöpfend zu behandeln, weil besonders die Darstellung der Schutzmaßregeln des Bergbaues gegenüber dem Wasser bereits ganz in das Gebiet der Bergbaukunde gehört. Ich verweise in dieser Beziehung auf das grundlegende Werk: Kegel, Bergmännische Wasserwirtschaft, und beschränke mich in diesem Kapitel auf eine Heraushebung der wichtigsten Punkte unter besonderer Berücksichtigung des der Erdoberfläche näher liegenden Grundwassers in seinen Beziehungen zum Bergbau.

Wir können nach der Art des Bergbaues unterscheiden: 1. Tagebau, 2. Tiefbau.

1. Grundwasser und Tagebaubetrieb

Tagebaubetrieb geht ausschließlich auf Flözlagerstätten (Braunkohle, Steinkohle, Eisenerz) um. Zu den im bergbaulichen Tagebaubetriebe ausgebeuteten nutzbaren Lagerstätten können wir auch die Gewinnung von Ton und alle Arten von Steinbruchbetrieb rechnen, die deshalb hier gleichzeitig mit zur Erörterung kommen sollen. Mit verschwindenden Ausnahmen, zu denen die Gewinnung von losen unter Wasser lagernden Bildungen durch Baggerbetrieb gehört (Glassand, Kies), muß jeder Ausbeutung nutzbarer Ablagerungen im Tagebaubetrieb eine vollständige Trockenlegung der Lagerstätte bis in ihr Liegendes vorausgehen. Unter Umständen — wenn nämlich die auszubeutende Lagerstätte an sich undurchlässig ist, aber auf durchlässigen wasserführenden Schichten auflagert, in welchem Falle es sich gewöhnlich um unter Druck stehendes

Wasser handeln wird, — muß auch dieses mehr oder weniger beseitigt werden. Jedem Aufschluß einer Lagerstätte hat deren Untersuchung durch Bohrungen vorauszugehen, wobei sich neben der Feststellung von Lagerungsverhältnissen und Mächtigkeit reichlich Gelegenheit bietet, ihre Grundwasserhältnisse sowie ihre hangenden und liegenden Schichten zu untersuchen. Ganz besonders ist dabei auch dem petrographischen Charakter des Deckgebirges Aufmerksamkeit zu schenken, weil von ihm die Menge der zu erwartenden Zuflüsse in hohem Maße abhängt. Sind nämlich die unterhalb des Grundwasserspiegels lagernden abzuräumenden Schichten vorwiegend durchlässig (Sand, Kies), so ist aus ihnen reichliche Wasserzufuhr zu erwarten, sind sie dagegen überwiegend tonig, so können sie naturgemäß auch nur wenig Wasser abgeben. — Ergeben die Bohrungen, daß innerhalb vorwiegend toniger Bildungen sich größere linsenförmige Massen von Sand oder Kies befinden, so kann man erwarten, daß anfangs aus ihnen viel Wasser zufließt, daß aber, nachdem einmal die durchlässigen Einlagerungen sich leer gelaufen haben, der Zufluß stark nachlassen wird. Es können daher die Grubenverwaltungen in ihrem eigenen Interesse nicht dringend genug auf die Wichtigkeit einer sorgfältigen Untersuchung aller hangenden Schichten bei Gelegenheit der vorbereitenden Bohrungen hingewiesen werden. Unterlassungen auf diesem Gebiet, summarische Zusammenfassungen des Deckgebirges in den Schichtenverzeichnissen ohne eingehende Gliederung, Unterlassung der Beobachtungen über Wasserstand, Steighöhe, Veränderung des Wasserspiegels während der Bohrungen und Durchlässigkeit oder Undurchlässigkeit der erbohrten Schichten können sich später hart strafen und neue Bohrungen erforderlich machen. Die Menge der zu erwartenden Zuflüsse läßt sich aus den Ergebnissen eines Probepumpens aus einem oder mehreren der Bohrlöcher unter Berücksichtigung der bei einer bestimmten möglichst hohen Wasserförderung erzielten Absenkung im Bohrloche und in einigen in der Umgebung niederzubringenden Pegelbohrlöchern nach den Angaben Seite 483 rechnerisch bestimmen. Von einer solchen Berechnung wird die gesamte Disposition der erforderlichen Wasserhaltungsanlagen abhängig zu machen sein, weshalb die sorgfältige Durchführung der Versuche von großer Bedeutung ist, um die erforderliche Anzahl von Pumpen zu bestimmen. Wie man erkennen kann, ob die unter der Lagerstätte befindlichen Schichten Druckwasser führen und unter welchem Druck dieses steht, oder ob Zusammenhänge zwischen oberem und unterem Grundwasserhorizont vorhanden sind, alles Fragen, die für die Trockenlegung des Tagebaues von Bedeutung sind, ist bereits Seite 232—233 auseinandergesetzt worden.

Von mindestens ebenso großer Bedeutung ist die zweite Frage bei allen Tagebaubetrieben: Welches werden die Folgen der Wasser-

entziehung sein? Je größer die für die Trockenlegung der Lagerstätte notwendigen Wasserfördermengen sind und je größer die Tiefe ist, bis zu der der Wasserspiegel gesenkt werden muß, um so weiter werden die Folgen der Wasserentziehung sich geltend machen. Sie bestehen in:

1. Senkung des Wasserspiegels in Brunnen bis zu ihrer völligen Trockenlegung,

2. Verminderung oder vollständige Vernichtung von natürlichen Grundwasseraustritten, also Quellen,

3. Minderung des Ertrages von Feldern,

4. Schädigung von Forsten,

5. Schädigung oder Veränderung von Wiesen.

Aufgabe der Hydrologie ist es, vor Eröffnung des Betriebes den mutmaßlichen Umfang der Wasserentziehung festzustellen und nach völliger Inbetriebsetzung des Werkes und nach Eintritt der Schädigung zu ermitteln, wie weit solche auf die Einwirkung der Grundwasserentziehung zurückzuführen sind. Letzteres wird häufig auf Ersuchen der Gerichte nötig werden, da Streitigkeiten infolge von Wasserentziehung in den meisten Fällen der Entscheidung der Gerichte unterbreitet zu werden pflegen. Neuerdings sichern sich, durch die Erfahrung gewitzigt, im allgemeinen nicht nur die Gruben, sondern auch die Anlieger durch Niederbringung von Pegelbohrlöchern, die in einem je nach den zur Verfügung stehenden Mitteln bald engeren, bald weiteren Netze um den geplanten Tagebau herum bis auf einige Meter unter den Grundwasserspiegel niedergebracht werden. Diese Pegelbohrlöcher müssen, um zuverlässige Werte zu liefern, an dem im Grundwasser stehenden Teil mit Filtern versehen sein, die ein Aufsteigen des Wassers im Rohre bis zur Höhe des natürlichen Wasserspiegels mit Leichtigkeit gestatten. Die Bohrlöcher sollen mit einer verschließbaren Klappe versehen sein, um Verunreinigungen und Verstopfungen durch Hineinwerfen von Steinen, Erde u. a. zu verhüten. Die Höhenlage der Rohroberkante wird durch ein an einen Punkt bekannter Höhe angeschlossenes Nivellement in bezug auf N. N. festgelegt und alle Messungen des Wasserspiegels werden auf diesen Nullpunkt bezogen. Dadurch wird es möglich, alle Werte in allen Pegelbohrlöchern unmittelbar zu vergleichen. Die regelmäßig durchgeführten Ablesungen in den einzelnen Pegeln werden in Tabellenform aufbewahrt. Eine wöchentlich einmalige Ablesung ist völlig ausreichend und selbst vierzehntägige Ablesungen sind noch gut zu verwerten. Mit ihrer Hilfe ist es, wenn im übrigen das Netz der Pegelbohrlöcher zweckmäßig angeordnet ist, möglich, alle Erscheinungen der Grundwasserbewegung auf das genaueste zu überwachen und den Umfang der durch die Trockenlegungsarbeiten herbeigeführten Wasserspiegelsenkung festzustellen, ja sogar das Fortschreiten der Bewegung nach der Peripherie hin zeitlich genau zu ermitteln. Wenn man in der

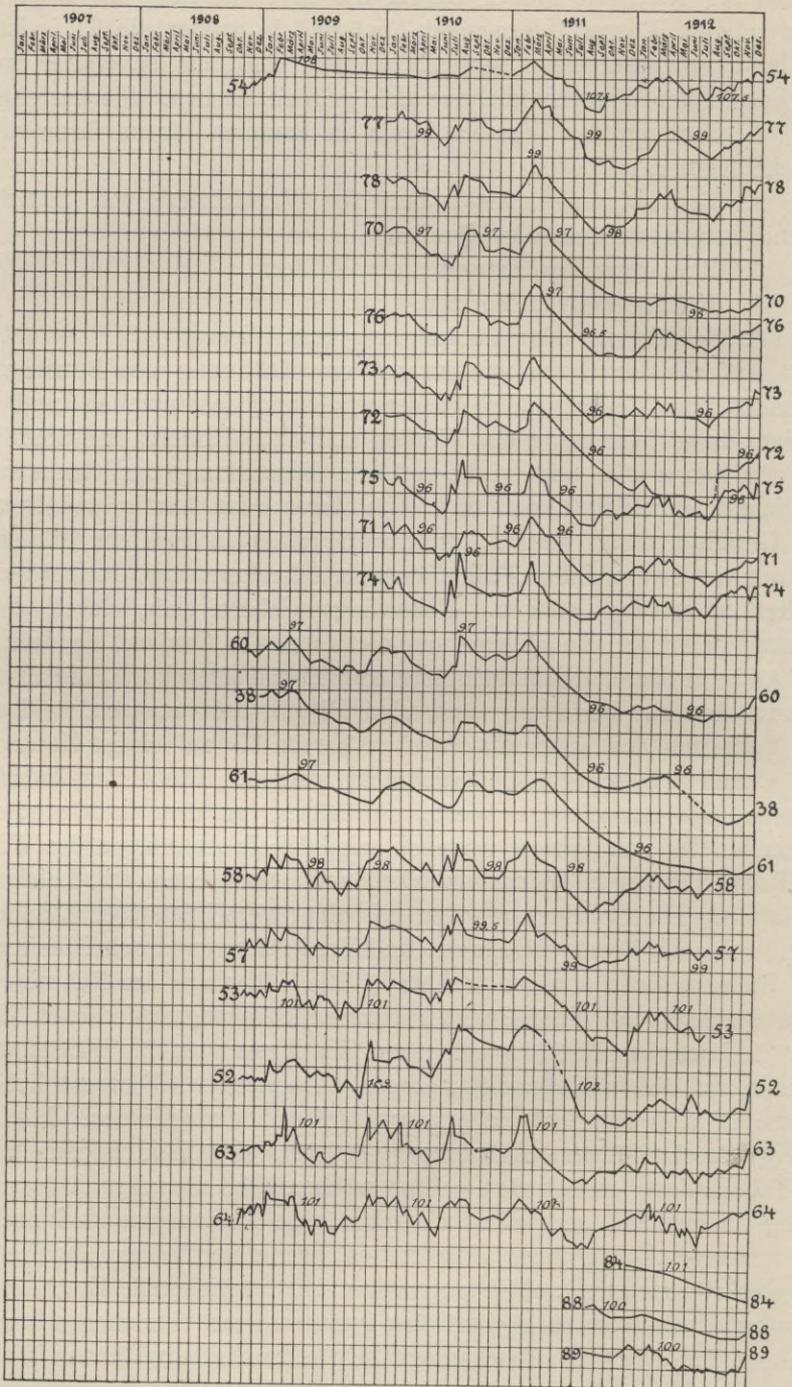


Fig. 263

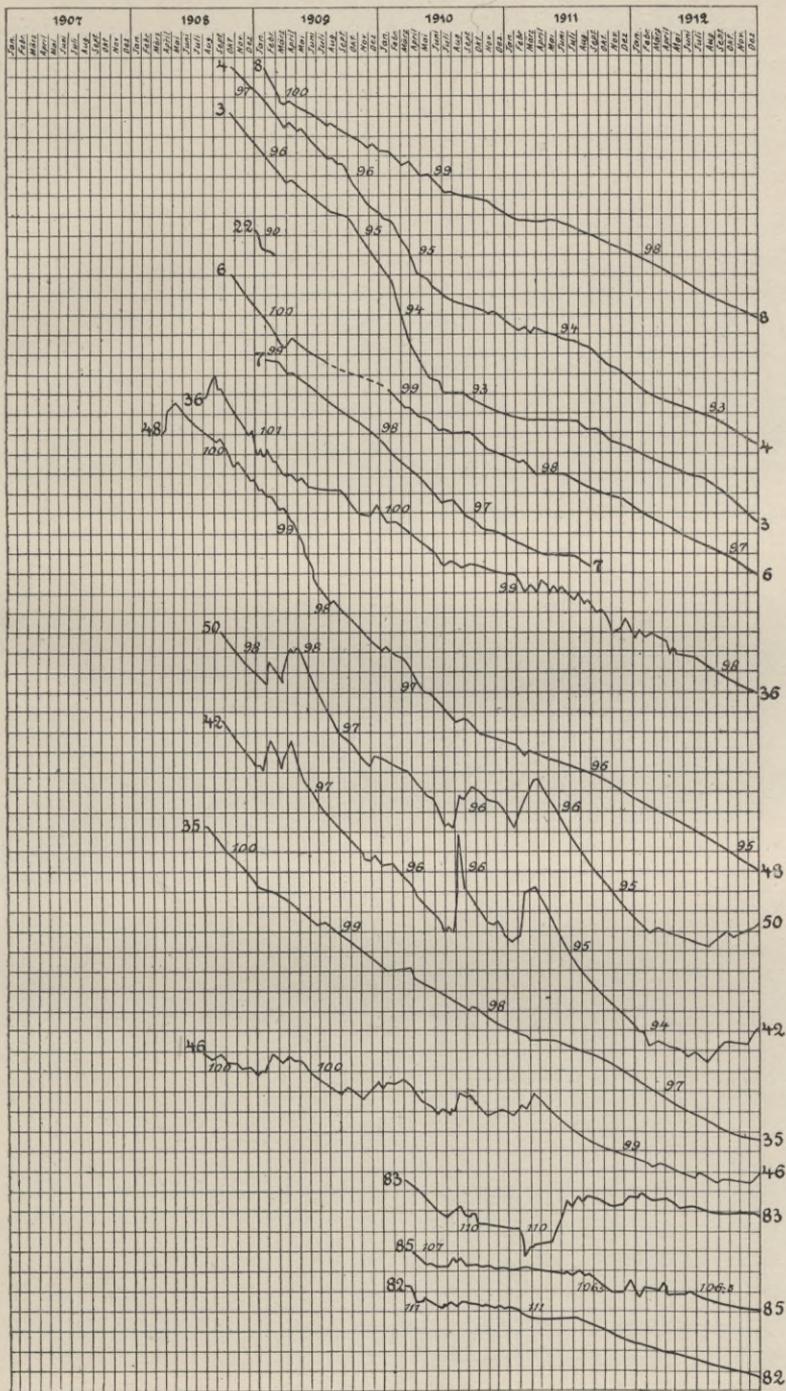


Fig. 264

Seite 139 und 140 angegebenen Art und Weise die einzelnen Beobachtungen in jedem Pegel zu einer Kurve vereinigt, so zeigt diese auf den ersten Blick, ob und wann eine Beeinflussung des Wasserspiegels stattgefunden hat, beziehungsweise bei erfolgter Senkung, ob diese bereits ihren Höchstbetrag erreicht hat oder noch in der weiteren Entwicklung begriffen ist. Im allgemeinen werden natürlich die Pegel, die dem Tagebau am

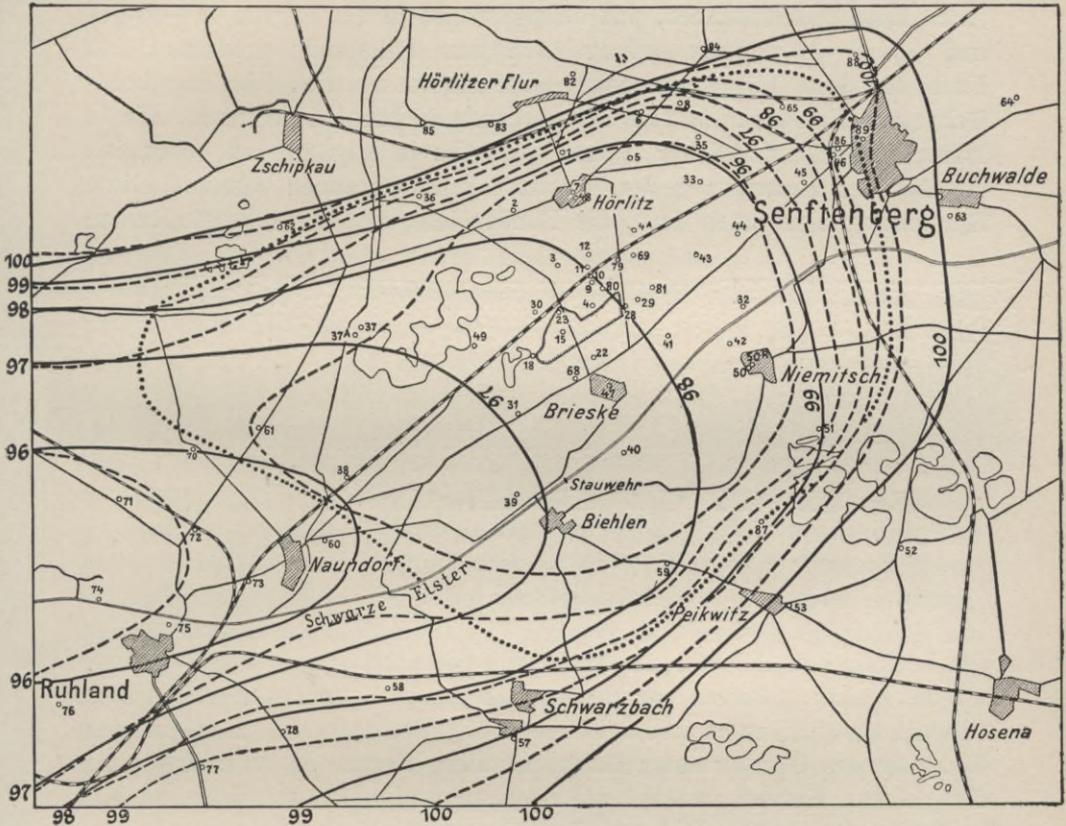


Fig. 266

Die ausgezogenen Kurven geben den ursprünglichen, die gestrichelten Kurven den gesenkten Wasserspiegel, die punktierte Linie den Umfang des beeinflussten Gebietes an

nächsten liegen, die stärkste Absenkung und das unregelmäßigste Bild zeigen, die weiter abliegenden eine immer geringere Beeinflussung zu erkennen geben. In den Figuren 263—265 auf Seite 522—524 sind eine große Anzahl Pegel eines und desselben in Fig. 266 im Grundriß und in Fig. 267 im Profile dargestellten Gebietes zusammengestellt, in dessen Mittelpunkt sich ein großer Braunkohlentagebau befindet, in welchem der Wasserspiegel um rund 30 m gesenkt ist. Die in Fig. 266 eingetragenen Pegelbohrlöcher entsprechen mit ihren Nummern den

Kurven in den drei Kurventafeln 263—265. Deutlich sieht man, daß Fig. 265 die der Grube nächst benachbarten Pegel umfaßt, während Fig. 263 die Pegelkurven des Randgebietes und Fig. 264, die des Zwischengebietes zur Darstellung bringt. Die Kurven gestatten ferner für jeden gewünschten Zeitpunkt den Stand der Einwirkung noch nachträglich festzustellen und zu bestimmen, wann jeder Punkt in die Zone der durch den Tagebaubetrieb herbeigeführten Entwässerung gelangt ist. Auch kann man erkennen, daß beispielsweise in den Pegeln 41—43, 46 und 50 die Absenkung Anfang 1912 zum Stillstande gekommen ist. Nach der Seite 118 angegebenen Methode lassen sich die Pegelbohrlöcher zur Konstruktion von Grundwasserschichtlinien benutzen, die in klarer und übersichtlicher Weise, wie dies in Fig. 266 zu sehen ist, die Art der Einwirkung der Wassersenkung erkennen lassen. Diese Darstellung dient auch dazu, die Randgebiete oder die äußerste Grenze

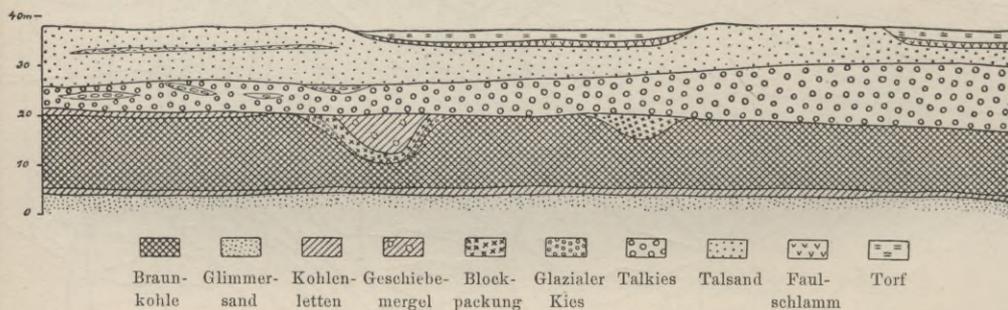


Fig. 267

des beeinflussten Gebietes zu erkennen. Sie führt stromaufwärts dahin, wo die gleichen Kurven vor Beginn des Pumpens und nach vollendeter Absenkung sich zum erstenmal decken. Flußabwärts, d. h. in der Richtung des Grundwassergefälles, ist diese Grenze da zu suchen, wo die gleichen Kurven zweimal auftreten, einmal nach dem Tagebau hin geöffnet, das andere Mal von ihm abgewendet ist. Zwischen beiden Punkten wird die sogenannte orthogonale Trajektorie auf die übrigen Kurven die Grenzen deutlich zu erkennen geben. Diese Konstruktion ist in Fig. 114 durchgeführt.

Bei der Diskussion solcher Kurven ist der jährlichen Schwankung des Grundwassers und der Einwirkung abnormer Ereignisse, besonders trockener und nasser Jahre, Überschwemmungen, künstlicher Oberflächenentwässerung durch Drainage u. a. sorgfältig Rechnung zu tragen. Es ist eine besonders bei unseren Gerichten wohlbekannte Tatsache, daß in Gebieten, in denen eine Beeinflussung des Grundwassers durch Bergbau auftritt, mit Vorliebe auch alle möglichen durch andere Ursachen bewirkte Schädigungen dem Bergbau in die Schuhe geschoben werden

und der gerichtliche Sachverständige hat große Vorsicht walten zu lassen und muß alle möglichen anderen Verhältnisse mit in Betracht ziehen, um beiden Teilen gerecht zu werden.

Wir betrachten nun den durch solche Wasserentziehung angerichteten Schaden.

1. Den in Brunnen durch Senkung des Wasserspiegels angerichteten Schaden werden die Pegelbohrlöcher leicht in ihrem Umfange festzustellen erlauben, da es ja mit ihrer Hilfe, unter Umständen durch Interpolation, sich ermitteln läßt, um wie viel an jedem Punkt der Grundwasserspiegel gegen den ursprünglichen gesunken ist.

2. Dasselbe gilt für natürliche Quellen, die zum Verschwinden gekommen sind. Liegen sie in einem Gebiet, in dem der Wasserspiegel gegenüber dem ursprünglichen Zustand stark gesenkt ist, so sind natürlich die Quellen die ersten Opfer der Senkung und die Schuld des Bergbaues ist in solchen Fällen leicht festzustellen.

3. Auch bei Wiesen wird sich die Frage der Einwirkung des Bergbaubetriebes im allgemeinen leicht entscheiden lassen. Wiesen verlangen einen flachen Grundwasserstand von $\frac{1}{2}$ — $1\frac{1}{2}$ m unter der Oberfläche. War er früher vorhanden und ist er jetzt erheblich gesunken und zwar in Übereinstimmung mit der Grundwassersenkung des ganzen umliegenden Gebietes, so kann sich der Bergbau der Entschädigungspflicht für Wertverminderung der Wiesen kaum entziehen.

4. Schwieriger liegt die Frage bezüglich der Wertverminderung durch Grundwassersenkung bei Äckern. Hier hängt es wesentlich von der Bewurzelungstiefe der Kulturgewächse ab, die z. T. erheblich größer ist, als man allgemein annimmt; besonders die Leguminosen gehen mit ihren Wurzeln eine ganze Anzahl von Metern in den Boden hinein und vermögen deshalb selbst von einem ziemlich tief gelegenen Grundwasser noch unmittelbaren Nutzen zu ziehen. Lag der Wasserspiegel immer schon unterhalb der Bewurzelungsgrenze, so kann eine weitere Senkung einen unmittelbaren Einfluß nicht ausüben.

5. Ähnlich liegt die Frage rücksichtlich des Waldes. Auch hier ist die Bewurzelungstiefe der Bäume und die Lage des ursprünglichen Grundwasserspiegels zur Oberfläche in Betracht zu ziehen, ebenso natürlich auch das sehr verschiedene Wasserbedürfnis der Waldbäume. Es ist meines Erachtens, wie schon früher angedeutet, nicht zulässig, von einer Schädigung des Waldes durch Grundwasserentziehung zu sprechen, wenn der Wasserspiegel schon vorher 20 und mehr Meter unter der Oberfläche lag und später um einige weitere Meter gesenkt worden ist. Wohl aber kann bei ursprünglich sehr flachem und dann gesenktem Wasserspiegel den Waldbäumen erheblicher Abtrag geschehen. Erlen z. B., die ein sehr starkes Wasserbedürfnis haben und auf sehr nassem Boden wachsen, gehen dann ein, auch die Fichte kann eine

Senkung des Wasserspiegels, den sie vorher mit ihren tieferen Wurzeln erreichen konnte, schlecht vertragen. Aber auch solche Waldbäume, die wie die Eiche, Buche und Kiefer unter anderen Bedingungen auf eine direkte Benutzung des Grundwassers verzichten und allein von den den Boden befeuchtenden und in ihn eindringenden Regenwassern ihre Nahrung beziehen, erleiden Schaden, wenn sie gewöhnt waren, mit ihren Wurzeln unmittelbar aus dem Grundwasser zu schöpfen, und wenn ihnen dann diese Möglichkeit durch künstliche Senkung des Wasserspiegels entzogen wird. Die Bäume beginnen dann zu kränkeln und gehen vielfach ein, aber die nächste neu aufgeforstete Generation, die nicht von vornherein verwöhnt war, wird auch über dem gesenkten Grundwasserspiegel gut gedeihen. Ganz ähnlich liegt die Sache natürlich auch bei Feldern: Wenn ein Acker, unter dem das Grundwasser früher in für die Kulturgewächse günstiger Tiefe von $1\frac{1}{2}$ —2 m lag, durch künstliche Eingriffe eine Spiegelsenkung auf 3—4 m erfährt, so bedeutet das naturgemäß eine beträchtliche Wertverminderung des Ackers. Sandböden, die früher gute Ernten brachten, können dadurch direkt steril werden; überhaupt hängt der Grad der Wertverminderung der Äcker durch Wasserspiegelsenkung sehr von ihrer Zusammensetzung ab. Tonige, also schwer durchlässige Böden leiden bei Spiegelsenkungen wenig oder gar nicht, können davon unter Umständen sogar Vorteil haben, und dasselbe gilt für humusreiche Böden, in denen die Kapillarität das Grundwasser um 2—3 m zu heben vermag, und für Lössböden, die alles aufgenommene Wasser mit Zähigkeit festhalten und unter normalen Verhältnissen nichts an den Untergrund abgeben können. Dagegen können sandige und kiesige Böden stark beeinträchtigt werden, aber nur, wenn die Kulturpflanzen vorher vom Grundwasser unmittelbaren Nutzen hatten, indem ihre Wurzeln es noch erreichten oder es durch die allerdings nur einige Dezimeter ausmachende Kapillarität zugeführt erhalten konnten.

Verwickelte Grundwasserstörungen stellen sich da ein, wo eine Wasserentziehung nur periodisch stattfindet. Ich führe als Beispiel einen im Traß bei Kruft in der Eifel umgehenden Steinbruchbetrieb an. Dieser Bruch war bereits von den Römern bis zum Wasserspiegel herunter ausgebeutet worden, die — da sie nicht in der Lage waren, größere Wassermengen zu heben — in dieser Tiefe Halt machen mußten. Heute wird in diesem Bruch bis ca. 20 m unterhalb des natürlichen Grundwasserspiegels der Traß ausgebeutet und das auf Klüften reichlich zusetzende Grundwasser in einer Menge von 14 cbm in der Minute durch Pumpen gehoben. Dadurch werden alle Brunnen des Ortes Kruft trocken gelegt. Der Steinbruchbetrieb wird im Spätherbst eingestellt, das Wasser steigt dann in 14 Tagen bis zu seiner alten Höhe wieder empor, füllt den Bruch bis nahe an seine Oberfläche auf und speist naturgemäß dann auch wieder sämtliche Brunnen des Ortes. Im Früh-

jahr wird in dreiwöchentlicher Pumparbeit der Bruch trocken gelegt und damit der Wasserspiegel in allen Brunnen wieder, soweit sie nicht künstlich vertieft sind, bis zu deren völliger Trockenlegung gesenkt. Hier liegen natürlich alle Zusammenhänge offen zutage.

2. Grundwasser und Tiefbau

Das Grundwasser kann in dem Gebirge, in dem Bergbau umgeht und in dem die nutzbare Lagerstätte eingelagert ist, in drei verschiedenen Formen rücksichtlich seiner Begrenzung auftreten, nämlich:

a) Als Schichtwasser in an und für sich und im Kleinen durchlässigen Gesteinen, wie Sandsteinen, Tuff, lockeren Sanden und Kiesen.

b) Als Spalten- und Kluftausfüllung in im Großen durchlässigen, an sich aber undurchlässigen Gesteinen, wie Eruptivgesteinen, kristallinen Schiefen, Kalksteinen, Quarziten, Tonschiefern usw.

c) Als Ausfüllung von Hohlräumen in mehr oder weniger löslichen Gesteinen, wie Kalkstein und Gips, oder in tonigen und mergeligen Gesteinen, die Einlagerungen von Gips oder Salz enthalten. Auch können natürlich zwei der genannten Gruppen oder auch alle drei im gleichen Gebirge nebeneinander sich finden. Rucksichtlich der Lageungsverhältnisse haben wir ganz allgemein für alle Arten von Bergbau zwei Fälle zu unterscheiden:

a) das Gebirge, in dem die bergbaulich genutzte Lagerstätte auftritt, reicht bis an die Oberfläche;

b) es erreicht die Oberfläche nicht, sondern wird von mehr oder weniger undurchlässigen Bildungen überlagert und endigt in größerer oder geringerer Tiefe unter der Erdoberfläche.

Im ersten Falle sind die Zuflüsse, die die Grube erhält, dauernd und hängen von den verschiedenen Bedingungen der Oberfläche, von der Menge der Niederschläge, von nassen und trockenen Jahren und von der größeren oder geringeren Durchlässigkeit und Wasseraufnahmefähigkeit der Gesteine an der Oberfläche ab. Selbst offene Gewässer der Oberfläche, Bäche, Flüsse und Seen können in solchen Fällen Wasser nach unten in die Gruben entsenden. Ein klassisches Beispiel dafür ist der ehemalige Salzige See bei Eisleben, der durch Erdfälle mit durch Auslaugung von Gips entstandenen unterirdischen, mit Wasser gefüllten Hohlräumen im Hangenden der abgebauten Kupferschieferlagerstätte, mit sogenannten Schlotten, in Verbindung stand. Diese wurden vom Bergbau angezapft, entließen ihr Wasser in die Grubenbaue hinein und zogen als Ersatz die Wasser des Sees an sich, der deshalb künstlich beseitigt werden mußte.

Ist dagegen das die nutzbaren Lagerstätten einschließende Gebirge von einer Deckschicht überlagert, die undurchlässig ist oder undurchlässige Einlagerungen enthält, auf denen die oberflächlichen Grundwasser

gestaut und am Eindringen in größere Tiefen verhindert werden, so sind die Grubenbaue zunächst, solange jene unversehrt bleiben, vor dem Einbruch oberflächlicher Gewässer gesichert und es können ihnen nur die in tieferen Schichten zirkulierenden Wassermengen zuströmen. Ein Beispiel für beides bietet der westfälische Steinkohlenbergbau, welcher in seinem südlichen Teil in zutage austreichendem Karbon baut, weiter nach Norden hin aber unter einer zusammenhängenden und immer mächtiger werdenden Decke der Kreideschichten des Münsterschen Beckens. Obwohl letztere in der Mehrzahl von klüftigen und im Großen durchlässigen Gesteinen aufgebaut werden, enthalten sie doch ausgezeichnete wasserstauende Einlagerungen, unter denen besonders der untere Grünsand, beziehungsweise Grünsandstein, eine weite Verbreitung besitzt. Im südlichen Teile seiner Verbreitung noch etwas klüftig und durchlässig, ist er weiter im Norden gänzlich geschlossen und bewirkt eine außerordentlich geringe Zufuhr von Wasser zu den Grubenbauen.

Die Beziehungen des Bergbaues zum Grundwasser sind weiterhin noch in hohem Maße von der besonderen Art des Bergbaues sowie von der Form der nutzbaren Lagerstätte abhängig. Wir können auch bezüglich des technischen Verhaltens, welches der Bergbau gegenüber den Gebirgswässern einschlägt, Unterschiede erkennen zwischen dem Bergbau auf a) Braunkohle, b) Steinkohle und Erze und c) Salz.

a) Braunkohle. Wie beim Tagebau, so ist auch beim Tiefbau auf Braunkohle der Bergmann gezwungen, die im Hangenden seiner Flöze auftretenden Wassermassen durch planmäßige Entwässerung so weit wie möglich zu beseitigen, und er muß unter Umständen auch die im Liegenden vorhandenen Wassermengen fortschaffen. Letzteres ist dann erforderlich, wenn das Liegende durchlässig ist und unter Druck stehendes oder artesisches Wasser enthält, dessen Druck durch Sumpfung des Hangenden keine Verminderung erfährt. In diesem Falle besteht immer die Gefahr, daß beim Abbau des Flözes bis nahe an das Liegende dieses dem Drucke von unten nicht mehr zu widerstehen vermag, durchbrochen wird und die Grube von unten her ersäuft. Besonders gefährlich werden solche Einbrüche dann, wenn das Liegende aus einem sehr feinkörnigen Sande besteht und als Schwimmsand mit in den Grubenbau hineingeführt wird, die Sumpfung erschwert und im Liegenden sehr störende Massendefekte erzeugen kann. Vergleiche hierüber die weiter unten folgenden Bemerkungen über Schwimmsand.

Der Zwang, die Hangendschichten völlig zu entwässern, hängt mit der lockeren Beschaffenheit der Schichten der Braunkohlenformation zusammen, mit ihrem Aufbau aus losen tonigen, sandigen und kiesigen Gesteinen, über denen oftmals noch eine Decke von ebenso beschaffenen lockeren diluvialen oder alluvialen Bildungen sich findet. Da der Braunkohlentiefbau fast immer als Bruchbau betrieben wird, bei dem durch

Rauben der Zimmerung das Hangende zum Niederbrechen gezwungen wird, so zerbrechen natürlich diejenigen wassertragenden Schichten, die das Flöz selbst vielleicht gegen das Wasser der Hangendschichten isolieren könnten, und diesem wird dadurch ein ungehinderter Zugang zu den Gruben geöffnet. Nur in dem Falle kann der Bergbau auf Entwässerung der Hangendschichten verzichten, daß über dem Flöz eine sehr mächtige Tondecke lagert, die beim Zubruchgehen nicht zerreißt, sondern ohne Bruch durchbiegt und sich in die durch den Abbau des Flözes entstandenen Hohlräume hineinlegt. Das ist beispielsweise

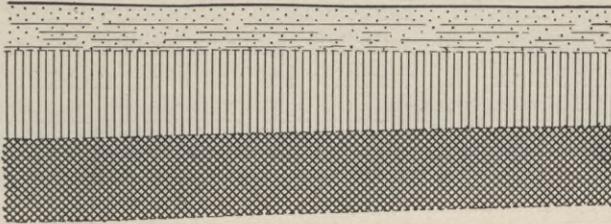
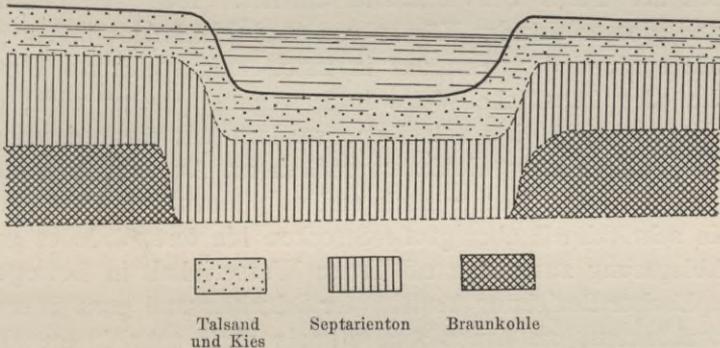


Fig. 268



Talsand und Kies
 Septarienton
 Braunkohle

Fig. 269

bei dem Braunkohlenbergbau in der Gegend von Calbe a. S. der Fall. Hier lagert über dem Flöz eozänen Alters zunächst ein wenig mächtiger unteroligozäner Grünsand, über dem ein etwa 20 m mächtiger, sehr fetter und plastischer Ton des Mitteloligozän, der sogenannte Septarienton, folgt, der seinerseits von 8—15 m diluvialen Sanden und Kiesen des Elburstromtales mit reichlicher Wasserführung überlagert wird. Durch die vollständige Ausbeutung des Flözes und das Niederbrechen der Hangendschichten werden die Oberflächenverhältnisse in der Weise verändert, wie die beiden Figuren 268 und 269 es erkennen lassen. Es entsteht dann im Senkungsgebiete, indem die Oberfläche unter das Grundwasserniveau heruntergezogen wird, ein See,

dessen Spiegel mit der Oberfläche des Grundwassers im benachbarten Talsande übereinstimmt.

Die Trockenlegung der Hangendschichten vor Inbetriebnahme der Grube erfolgt durch Auspumpen des Wassers aus Bohrlöchern oder besonderen Schächten, nach Beginn des Betriebes durch Auffahren von Strecken in der Kohle und unter Umständen auch im Liegenden und Hangenden, sowie durch Bohrlöcher, die in die Entwässerungsstrecken einmünden und deren Rohre da, wo sie in wasserführendem Gebirge stehen, geschlitzt sind. Das Wasser tritt dann aus den Sanden und Kiesen in das Bohrrohr hinein und fällt in die Strecke, in der es der Wasserhaltung zufließt. Eingehendere Mitteilungen über diese verschiedenen Entwässerungsmethoden gehören bereits in das Gebiet der Bergbaukunde hinein; ich verweise auf das oben angeführte Werk von Kegel, in dem diese Verhältnisse sehr eingehend behandelt sind.

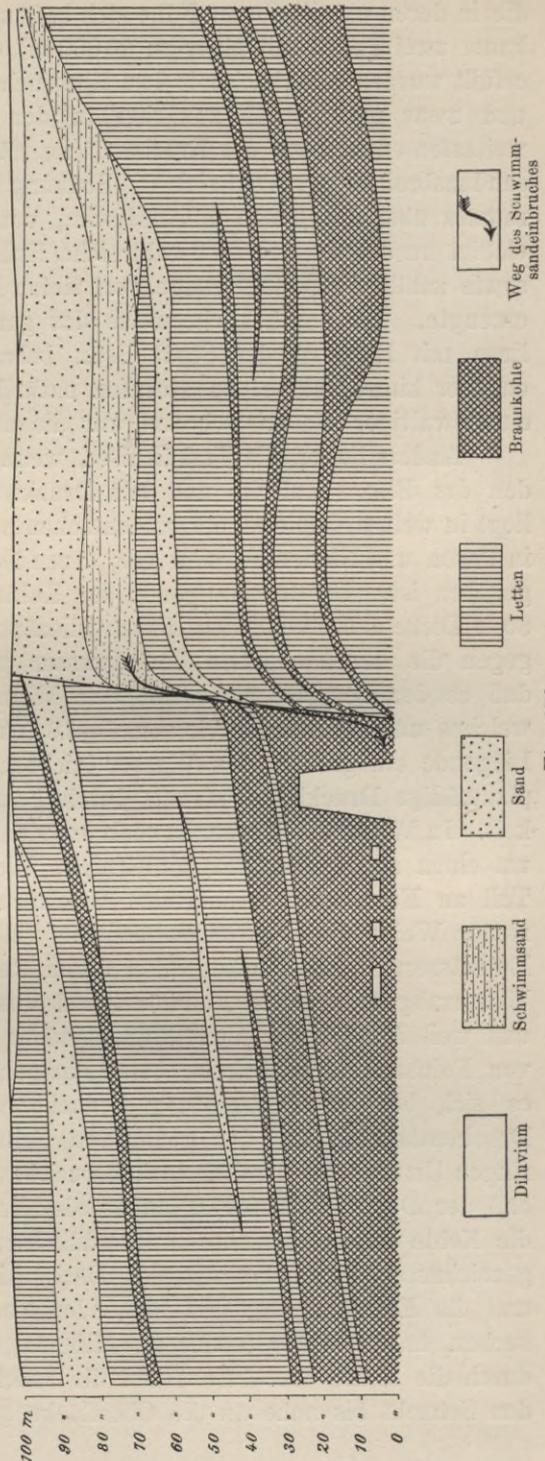
Eine Entwässerung des Liegenden ist nicht nötig, wenn unter dem Flöz zunächst eine Decke von genügender Widerstandsfähigkeit gegenüber dem von unten her wirkenden Drucke lagert.

Schwimmsand. Schwierigkeiten von ganz besonderer Art erwachsen dem Braunkohlenbergbau dann, wenn im Hangenden oder Liegenden der Flöze Schwimmsand auftritt. Man versteht darunter einen Sand, dessen einzelne Körner von so gleichmäßiger und so geringer Korngröße sind, daß, wenn das in ihnen aufgespeicherte Wasser auf natürliche oder künstliche Weise in Bewegung gesetzt wird, die einzelnen Körner nicht liegen bleiben, sondern mit fortgerissen werden. In den so entstandenen Hohlraum rücken im Augenblick seiner Entstehung die nächsten Körner nach und so pflanzt sich diese Bewegung im Sande sehr schnell über große Strecken hin fort, d. h. es gerät die ganze Ablagerung zusammen mit ihrem Wasserinhalt in Bewegung. In petrographischer Beziehung besteht der Schwimmsand ganz überwiegend aus Quarzkörnern, zu denen sich oftmals noch sehr kleine Glimmerblättchen gesellen. Die Größe der einzelnen Sandkörner beträgt fast immer unter 0,2 mm und geht bis auf staubfeine Körner von 0,02 mm und weniger Durchmesser herab. Das Wasserfangungsvermögen der Schwimmsande ist recht beträchtlich, denn sie vermögen zwischen 30 und 35 Volumprozent Wasser zu führen. Gerade in der Braunkohlenformation sind solche Sande ziemlich verbreitet und zwar teils als ausgedehnte, oftmals über Quadratmeilen sich erstreckende Schichten, teils als mehr oder weniger linsenförmige Einlagerungen in Letten und Tonen oder in gröberen, nicht zum Fließen neigenden Sanden. Die Wirkungen des Anschlagens solcher Schwimmsandlager und ihres Einbrechens in die Grubenbaue sind verschieden, je nachdem sie im Hangenden oder im Liegenden des Flözes auftreten. Im ersteren Falle ergießt sich, der Schwerkraft folgend, ein Brei von Sand und Wasser

in die Grubenbaue hinein und erfüllt sie in kurzer Zeit. In dem angezapften Schwimmsandlager aber rücken die Massen ununterbrochen nach und erzeugen so schließlich da, wo das Lager endet, oder wo es die relativ höchsten Gebiete einnimmt, Hohlräume, die alsbald zusammenbrechen und an der Erdoberfläche sich durch ausgedehnte Risse und Spalten im Boden, durch unregelmäßige Senkung größerer Oberflächenstücke und durch pingentartige Einstürze in recht eindrucksvoller Weise zu erkennen zu geben.

Eine sehr bekannt gewordene Katastrophe dieser Art hat sich 1895 im Anna-Hilfsbau in Brüx in Nord-Böhmen ereignet. Die Lagerungsverhältnisse sind nach F. E. Sueß¹⁾ im beistehenden Profil, Fig. 270, dargestellt. Das von der Grube ausgebeutete, mächtige Flöz wird von einer Verwerfung abgeschnitten, jenseits deren den Lettenschichten eine Schwimmsandlinse eingelagert ist, die, allmählich ansteigend, sich nach Norden hin der Erdoberfläche nähert. Auf der Verwerfung erfolgte der Durchbruch des Schwimmsandes in die Tiefbaue hinein,

¹⁾ F. E. Sueß, Studien über unterirdische Wasserbewegung. — Jahrb. der k. k. geol. Reichsanst. 1898, Bd. 48, S. 425—516.



die in deren unmittelbarer Nähe sich befanden und in der kurzen Zeit von kaum zwei Tagen mit einer zu 90000 m³ ermittelten Schwimmsandmasse erfüllt wurden. Zugleich mit dem Einbruch begannen die Bodensenkungen und zwar naturgemäß zunächst in den von der Einbruchsstelle am weitesten entfernten, der Erdoberfläche nächsten Gebieten der Schwimmsandausbreitung, worauf sich die Senkung innerhalb des genannten Zeitraumes über das ganze unterirdische, von Schwimmsand eingenommene Gebiet ausdehnte und hier zahlreiche Erdfälle und ausgedehnte Pingen, sowie zahllose schollenförmige, von tiefen Rissen begrenzte Niederbrüche erzeugte. Da unglücklicherweise das ganze Gebiet der Schwimmsandlinie mit Häusern der Stadt Brück bebaut war, auch die Eisenbahn darüber hinwegführte, so stürzten natürlich zahlreiche Häuser ein und ein gewaltiger Materialschaden war die unmittelbare Folge.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn der Schwimmsand im Liegenden des Flözes auftritt und mit Druckwasser erfüllt ist. Dieser Fall liegt in weiten Gebieten der ostdeutschen miozänen Braunkohlenformation in Posen und Niederschlesien vor, deren Normalprofil bereits in Fig. 170 gegeben ist. Da das Hangende der Kohle aus sehr mächtigen, bis zu 80 m Dicke anschwellenden, fetten pliozänen Tonen besteht, ist das Flöz gegen die oberflächlichen Grundwasser vollkommen abgeschlossen, so daß es der Bergbau allein mit dem Wasser im Liegenden zu tun hat, welches unter einem Druck von 6—10 Atmosphären steht. Wäre dieses Liegende ein grober, das Wasser leicht abgebender Sand, so läge eine planmäßige Druckherabsetzung durch Pumpen im Bereich der Möglichkeit. In Wirklichkeit aber handelt es sich hier in sehr großen Gebieten um einen außerordentlich feinkörnigen Wasserträger aus feinsten, zum Teil an Formsande erinnernden Sandkörnern, die in recht unwillkommener Weise als Schwimmsande sich geltend machen. Eine vorherige Entwässerung des Flözliegenden durch Pumpen ist unmöglich, weil die Wasserabgabe bei der Feinkörnigkeit des Sandes nur langsam erfolgt und weil das Wasser nicht klar, sondern gemengt mit großen Massen von Feinsand im Bohrloche beim Pumpen emporsteigt. Zugleich zeigt es sich bei der Beobachtung benachbarter Pegelbohrlöcher, daß die Druckentlastung aus den genannten Gründen sich auf einen sehr geringen Umfang um das Bohrloch herum beschränkt, mit anderen Worten, daß der Depressionstrichter außerordentlich steilwandig ist. Versuche, die Kohle durch Schächte aufzuschließen, was natürlich bei der ausgezeichneten Beschaffenheit des Deckgebirges sehr leicht möglich ist, und die Entwässerung des Liegenden von Grundstrecken aus zu versuchen, haben bisher immer zu Mißerfolgen geführt, da das Liegende durch die Kohle durchbricht und die zudringenden Schwimmsandmassen den Schacht bis nahe an die Oberfläche ausfüllen.

b) Erz- und Steinkohlenbergbau. Im Gegensatz zum Braunkohlenbergbau, der nur mit geringer Tiefe zu rechnen hat und infolgedessen nur mäßige Hebungsbeträge für das zu sumpfende Wasser in Rechnung zu setzen braucht, gehen der Steinkohlen- und Erzbergbau im allgemeinen in größere, zum Teil mehr als 1000 m betragende Tiefen, so daß man sehr darauf bedacht sein muß, die zunächst zusetzenden Wasser von vornherein auf ein möglichst geringes Maß zurückzuführen, schon mit Rücksicht auf die bedeutenden Kosten der Wasserhebung.

Da die Erzgänge fast immer zutage austreichen (die unter jüngeren Deckgebirgsschichten liegenden Erzgänge können ja nur durch ganz besondere Zufälle entdeckt werden), so entbehren sie einer wasserabschließenden Deckschicht und erhalten deshalb ihr Wasser zu allermeist von oben her als absteigendes Wasser, und da dieses Wasser mit dem Spaltenwassersystem des den Erzgang einschließenden Gebirges eine oft allerdings nur auf großen Umwegen und unvollkommen zusammenhängende Schicht bildet, so hängt der Druck, unter dem die Wasser dem Bau zusetzen, ab von der Höhendifferenz zwischen dem Grundwasserspiegel in der Umgebung des Ganges und der Eintrittsstelle in die Grube. Da die Durchflußgeschwindigkeit mit dem Druck wächst, so können schon sehr kleine Öffnungen erhebliche Wassermengen liefern, falls die Zuflußstelle in bedeutender Tiefe unter dem oberen Grundwasserspiegel liegt. Andererseits kennt man auch Erzgänge, auf denen aufsteigende und mit hoher Temperatur behaftete Wasser aufsetzen, die unter Umständen durch ihre Hitze einem weiteren Vordringen des Bergbaues in die Tiefe ein Ende machen können. So mußte der berühmte Comstockgang trotz reichster Erze wegen des Auftretens heißer Quellen von mehr als 70° aufgegeben werden.

Eine große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen des Grundwassers bietet der westfälische Steinkohlenbergbau, dessen Grundwasserverhältnisse durch Middelschulte¹⁾ eine eingehende Darstellung erfahren haben, der ich im Nachstehenden folge. Im Becken von Münster lagert über dem Karbon im Norden Zechstein, Rotliegendes und Buntsandstein, und über diesen, im Süden aber auch unmittelbar auf dem Karbon, die Kreideformation. Der Buntsandstein führt ausschließlich in den ihn nahezu vertikal durchsetzenden Absonderungsklüften Wasser, welches einen beträchtlichen Salzgehalt besitzt. Dieser entstammt jedenfalls den weiter im Norden sich einstellenden Zechsteinschichten. Diese Solen wandern auf Verwerfungsklüften des Steinkohlengebirges und gelangen auf diesem Wege auch in die Deckschichten hinein. Da Karbon und Buntsandstein durch keine wasserundurchlässige, durchgehende Schicht

¹⁾ „Über die Deckgebirgsschichten des Ruhrkohlenbeckens und deren Wasserführung.“ Zeitschrift für das Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, Bd. 50, 1902, S. 320—345.

getrennt sind, so können sich bei jedem Anfahren von Verwerfungsspalten solche Einbrüche von Salzwasser ereignen, deren Menge bis auf 7 cbm in der Minute steigend beobachtet ist. Gegen die Kreide ist das Steinkohlengebirge durch die im Allgemeinen als undurchlässig anzusprechenden schützenden Schichten des mittleren Grünsandes, der Tourtia und des Varians-Pläners abgeschlossen. Besonders im südwestlichen und westlichen Teil, wo der Grünsand in großer Mächtigkeit auftritt, ist er als völlig wasserdicht anzusprechen, aber weiter im Osten, wo er aus den weichen, schichtlosen Glaukonitmergeln in einen festen Mergelkalk übergeht, nimmt seine Klüftigkeit und damit Wasserdurchlässigkeit in unangenehmer Weise zu. Die eigentliche wasserführende Abteilung des Kreidebeckens bildet das Turon, und zwar in seiner ganzen Mächtigkeit von der Zone des *Inoceramus labiatus* bis zum Cuvieri-Pläner einschließlich. Die zahlreichen Tiefbauschächte des Ruhrbeckens, welche die Kreide durchsunken haben, und dabei mit mehr oder weniger starken Wasserzuflüssen zu kämpfen hatten, haben sämtlich dies Wasser aus dem Turon erschroten. Auch die zahlreichen, im Kreidebecken von Münster auftretenden Solquellen entspringen sämtlich den harten, von steilen Klüften durchzogenen Mergelkalken des Turon, und der Salzgehalt dieser Solen kann bis 12% steigen. Keine einzige Solquelle tritt dagegen in dem das Turon überlagernden Emschermergel auf, obwohl er das mächtigste Gebirgsglied im Kreidebecken von Münster darstellt. Der Emschermergel spielt überhaupt für die Quellbildung im Kreidebecken von Münster eine hervorragende Rolle, er ist das trennende Glied zwischen den wasserreichen Turon- und Senonmergeln und verhindert jede Verbindung beider. Da die senonen Schichten das Innere des Kreidebeckens ausfüllen und infolge ihrer Unterlagerung durch den Emscher von jeder Verbindung mit älteren Gebirgsschichten abgeschlossen sind, so bilden sie ein vollständig selbständiges Quellgebiet; deshalb ist auch das Vorkommen von natürlichen Salzquellen, die ihren Salzgehalt der Trias und dem Zechstein entnehmen, im Innern des Beckens völlig ausgeschlossen. Andererseits können die Salzquellen die zu ihrer Bildung nötigen atmosphärischen Niederschläge nicht aus dem Inneren, sondern nur von den die Ränder des Gebirges bildenden Kreideschichten erhalten. Der Undurchlässigkeit des Emschermergels verdanken auch die zahlreichen natürlichen Solquellen am Südostrande des Kreidebeckens bei Salzkotten, Soest, Ampen, Werl usw. ihre Entstehung, da sie sämtlich genau dem ausgehenden Südrande des Emschermergels folgen. Weil hier das zerklüftete Turon nicht mehr von dem dichten, tonigen Emscher bedeckt wird, konnten die Salzquellen zutage emporsteigen. Wo von den Schächten des Ruhrkohlenbeckens über dem Emscher noch mächtige diluviale Schichten durchsunken werden mußten, haben sie gewöhnlich noch stärkere, wenn auch an sich unerhebliche Wassermassen unmittelbar über dem Emscher angetroffen.

Für die Trockenlegung von Süßwasserquellen durch Schachtabteufung bietet das Abteufen des Schachtes 4 der Zeche General Blumenthal, dicht am Bahnhofe Recklinghausen gelegen, ein gutes Beispiel. Im Stadtpark von Recklinghausen floß von alters her eine Quelle, die eines Tages plötzlich versiegte. In dem Schachte hatte man um dieselbe Zeit bedeutende Wassermassen im Recklinghauser Sandmergel angefahren, die bis zu 14 m^3 in der Minute stiegen. Nachdem man die obersten Schichten des Emschermergels durchteuft hatte, erfolgte der wasserdichte Abschluß des Schachtes bei etwa 72 m Tiefe. Die Folge war, daß die Quelle im Stadtpark wieder erschien und unvermindert weiterfloß.

Für die Trockenlegung von Brunnen durch Wasserentziehung seitens des Bergbaus ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, ob die Brunnen in Schichtwasser oder in Kluftwasser stehen. Im ersten Falle werden durch Entwässerung seitens des Bergbaus selbstverständlich alle Brunnen, die in einer und derselben Schicht stehen, trockengelegt. Streichen in einem und demselben Gebiet mehrere wasserführende Schichten zutage aus, von denen aber nur eine ihr Wasser an die Grube abgibt, so können unverändert gebliebene und völlig trockengelegte Brunnen in geringer Entfernung voneinander auftreten, und es wird dann leicht möglich sein, die Grenzen der beeinflussten und trockengelegten Schichten nach diesem verschiedenartigen Verhalten der Brunnen zu beurteilen.

Ganz anders liegen die Verhältnisse dagegen, wenn es sich um Brunnen handelt, die im Kluftwasser stehen; wenn auch die einzelnen Klüfte eines und desselben Schichtenverbandes miteinander in Verbindung stehen, so ist diese Verbindung doch selten eine so vollständige, daß die Abzapfung einer solchen Kluft ein Sinken des Wassers in allen anderen benachbarten Klüften in vollkommen dem gleichen Umfange im Gefolge hätte. Vielmehr wird sich praktisch die Sache zu allermeist so gestalten, daß auf einer und derselben Spalte stehende Brunnen gleichmäßig gesenkt werden, daß aber auf benachbarten Spalten stehende Brunnen in geringerem Maße beeinflusst werden, und zwar um so weniger, je enger die Verbindungswege zwischen den einzelnen Klüften sind und je größer die Reibung ist, die das Wasser bei seinem Wege aus einer Kluft in die andere zu überwinden hat. Man darf sich deswegen nicht wundern, wenn man in einer Gemeinde, die auf vollkommen gleichartigem Gestein steht, die Brunnen als Folge der Wasserentziehung durch benachbarten Bergbau in ganz verschiedener Weise beeinflusst findet, so bald es sich eben um Wasser handelt, welches ausschließlich in Klüften und Spalten zirkuliert. Als Beispiel führe ich die von Stille untersuchten Verhältnisse von Nenndorf am Deister an, dessen Schwefelquellen durch den Bantorfer Kohlenbergbau zwar nicht beeinträchtigt wurden, dessen Dorfbrunnen aber in der angegebenen Weise verschiedenartig gesenkt und

zum Teil ganz trocken gelegt wurden, obwohl die Kohlengrube sich in mehreren Kilometern Entfernung befindet.

c) Der Salzbergbau. Im Salzbergbau ist die Fernhaltung des Wassers eine absolute Notwendigkeit, denn der erste Tropfen vom Nebengestein her in die Grube eindringenden Wassers kann für diese das Ende durch Ertrinken bedeuten. Diese große Gefährlichkeit des Wassers hängt naturgemäß mit der leichten Löslichkeit der Salze, insbesondere der Kali- und Magnesiumsalze, zusammen. Infolge dieser Eigenschaft werden die anfangs vielleicht sehr engen Zufuhrwege des Wassers sich rasch durch Auflösung des Salzes verstärken, womit zugleich die Menge des zusetzenden Wassers außerordentlich schnell wächst. Die Fernhaltung des Wassers aus durchlässigen und wasserführenden Hangendschichten vom Schachte verhindert man durch dessen wasserdichten Ausbau. In der Grube bietet das im Hangenden stehende Salz einen vollkommen sicheren Schutz, solange das Deckgebirge keine Risse infolge von Senkung erhält. Das Entstehen solcher verhindert der Salzbergmann durch ausreichend große Bemessung der stehen bleibenden Sicherheitspfeiler und durch sorgfältigen Versatz der ausgebeuteten Teile der Lagerstätte. Früher wurde letzteres mehrfach versäumt und die durch das Zusammenbrechen der Hohlräume entstehende Senkung pflanzte sich unter Bildung zahlreicher, vom Salz bis zur Oberfläche reichender Spalten bis an letztere fort. Das Zusetzen von Wasser aus benachbarten, bereits ersoffenen Gruben wird durch Stehenlassen sehr breiter Sicherheitspfeiler auf der Markscheide (100 m Breite bei 500 m Teufe) verhindert, die nur unter ganz besonderen Vorsichtsmaßregeln durchörtert werden dürfen. In den flach gelagerten Kalisalz-lagerstätten Norddeutschlands bildet der Salzton eine zusammenhängende, das Salz vor der Auflösung vollkommen sichernde Decke im Hangenden. Wo die Salzlagerstätte dagegen steil aufgerichtet ist, fehlt dieser Abschluß nach oben und ist nur nach den Seiten hin vorhanden, unter Umständen sogar nur auf einer Seite, wenn nämlich die Salzlagerstätte durch Überschiebung neben viel jüngere Gesteine im Liegenden gelangt ist (z. B. Hercynia bei Vienenburg). Die Gefahr der Wasserzuführung für auf solchen Salzsätteln oder steil stehenden, überschobenen Lagerstätten bauende Gruben liegt bei ersteren in der den Salzton überlagernden Decke des Anhydrit, eines spröden Gesteins, welches meist von durch Salz verheilten Klüften durchzogen ist, die oberhalb des Salzspiegels offen und wasserführend sind. Bei den überschobenen Lagerstätten kann auch die liegende Überschiebungskluft mit Wassereintrüben drohen, wenngleich sie bisweilen vollkommen trocken befunden ist. Im Falle durch den Salzbergbau bewirkter Senkungen können von den oberen Teilen des Hauptanhydrits aus die Gewässer der Oberfläche

durch den ebenfalls zerrissenen Salzton an die Salzlagerstätte herankommen und in die Grubenbaue hineindringen, womit gewöhnlich das Schicksal der Grube besiegelt ist. Ist ein Kalibergwerk ersoffen, so verwandelt sich das eingedrungene Süß- oder schwachsalzige Wasser in kurzer Zeit in konzentrierte Sole, deren Auspumpen naturgemäß unterbleiben muß, weil sonst durch Auslaugung die Hohlräume immer größer, die bis zur Oberfläche emporreichenden Brüche und Senkungen immer ausgedehnter werden würden.

Infolge des höheren spezifischen Gewichts der konzentrierten Sole stellt sich der Gleichgewichtszustand in einem Spaltensystem, das zu einem Teil mit Sole, mit seinem anderen Teile mit Süßwasser erfüllt ist, entsprechend dem spezifischen Gewicht ein, so daß der Solespiegel tiefer liegt als der des Süßwassers.

Für die durch den Salzbergbau bewirkten Veränderungen an der Oberfläche bietet die Gegend von Staßfurt ein charakteristisches Beispiel. Hier sind auf dem Westflügel des Staßfurter Sattels nacheinander die fiskalische anhaltische Grube in Leopoldshall, die fiskalische preußische Grube in Staßfurt, dann der Achenbachschacht und schließlich in letzter Zeit die Gruben der Gewerkschaft Neu-Staßfurt ersoffen, die erstere infolge unvollkommenen Versatzes ausgebaute Flözteile, die letzteren, die in der streichenden Fortsetzung der ersteren nach Nordwesten liegen, durch Zerstörung der Sicherheitspfeiler infolge Auflösung und durch Zudringen von Wasser auf Klüften im zerbrochenen Hauptanhydrit. Besonders über den Leopoldshaller und den ältesten preußischen Gruben in Staßfurt haben sich sehr ausgedehnte und tiefe Erdfälle und kilometerlange, grabenförmige Einsenkungen an der Oberfläche gebildet, während zugleich das Grundwasser gesenkt wurde. Durch dieses Einsinken wurde ein gegen 50—100 m breiter Streifen, der vollständig bebaut war, der Zerstörung überantwortet, und alle Gebäude mußten, besonders soweit sie in der Randzone des gesenkten Gebietes standen, abgetragen werden. Da, wo die Senkung auf größeren Flächen sehr langsam und gleichmäßig erfolgte, gingen die daraufstehenden Gebäude, ohne zusammenzustürzen, zum Teil sogar fast ohne jeden Schaden, um den Betrag von 3—4 m in die Tiefe.

Bodensenkung durch Wasserentziehung?

Wir haben oben gesehen, daß als Folge der Wasserentziehung oberflächliche Senkungen eintreten können, wenn der Wasserträger mit dem abziehenden Wasser in Bewegung gesetzt wird und als Schwimmsand es begleitet. Viel umstritten ist dagegen die Frage, ob Bodensenkungen auch dann eintreten können, wenn dem Boden nur Wasser entzogen wird, ohne daß der Wasserträger dabei in Bewegung gerät. Besonders auf Grund von Rechtsstreitigkeiten ist diese Frage nach den ver-

schiedensten Richtungen hin geprüft worden und es hat sich daraus die Überzeugung entwickelt, daß solche Senkungen vollständig unmöglich sind. Da die meisten Ablagerungen, um die es sich bei solchen Fragen handeln kann, als Absatz fließenden oder stehenden Wassers entstanden sind, so ist zunächst anzunehmen, daß die einzelnen Sandkörner sich so dicht lagern, wie es nur eben möglich ist, und die Körner liegen ferner unmittelbar aufeinander, so daß sie sich nach der Entwässerung vollkommen stützen und tragen und verhindern, daß der von ihnen eingenommene Raum eine Verkleinerung erfährt. Auch die Beobachtung, die als Stütze der gegenteiligen Auffassung herangezogen ist, daß in einem Sandprofil der Wasseraustritt an verschiedenen Stellen mit verschiedener Stärke erfolgen kann, spricht in keiner Weise für die Möglichkeit einer Senkung an solchen leichter durchlässigen, als Rinnen gedeuteten Stellen, sondern nur dafür, daß hier die Sande eine andere Korngröße und größere Durchlässigkeit besitzen. Es ist klar, daß eine Volumenverminderung in solchem Falle nur dann eintritt, wenn die einzelnen Körner eine Zermalmung und damit die Wasserträger eine Verminderung ihres Volumens erfahren. Da nun aber die Druckfestigkeit des Quarzes zwischen 1000 und 3000 kg/qcm beträgt, der Druck eines 100 m mächtigen Sandlagers auf seine Unterlage aber nur 17,5 kg/qcm, so spielt derselbe, besonders da ein Niederziehen des Grundwasserspiegels um 100 m und mehr wohl nur recht selten vorkommt, absolut keine Rolle. Es war ferner als möglich unterstellt worden, daß durch das strömende Grundwasser eine dauernde Auflockerung des Wasserträgers bewirkt wird, welcher nach dem Niederziehen des Grundwassers zum Setzen kommen und dadurch eine Volumenverminderung erfahren sollte. Auch diese Erwägung ist hinfällig, da eine solche Auflockerung nur bei aufsteigendem Wasser eintreten kann, im fließenden Grundwasserstrom aber die Bewegung zur Entwässerungsstelle hin nur abwärts erfolgt. Selbst wenn die abfließenden Wasser eine dauernde Trübung besitzen, ist es noch nicht nötig, daß das von ihnen entwässerte Gebirge eine Volumenverminderung erfährt, die eine Senkung der Oberfläche im Gefolge haben kann. Sobald nämlich die vom Wasser fortgeführten tonigen Teilchen ausschließlich die Zwischenräume zwischen den einzelnen Sandkörnern erfüllen, kann ihre Fortführung das Volumen des Sandes selbst in keiner Weise mehr verändern. In solchem Falle hört die Trübung sehr bald auf, weil in einer gewissen Entfernung von der Ausflußstelle die Bewegungsgeschwindigkeit des ihr zuströmenden Wassers so gering ist, daß eine Fortführung selbst dieser feinen Teilchen nicht mehr möglich ist. Daraus geht auch hervor, daß eine Bodensenkung, die in einiger Entfernung von einer Wasseraustrittsstelle lag, nicht auf die Fortführung toniger Bestandteile zurückzuführen ist, falls sie in der oben angedeuteten Art im Sande verteilt sind.

„Senkungen lockerer Gebirgsmassen als Folge der Wegflöbung von Gebirgssubstanz sind nur denkbar, wenn die weggeführte Substanz nicht lediglich eine Hohlräumeausfüllung zwischen festen, aneinanderliegenden Sandkörnern darstellt, sondern an dem Aufbau der Schichten in dem Maße teilnimmt, daß sie bereits bei der Ablagerung der Schicht die Mächtigkeit derselben beeinflusst.“ (Kegel, a. a. O.)

Einwirkung des Bergbaus auf Thermen und Mineralquellen

Selbstverständlich sind auch Mineralquellen und Thermen unter Umständen durch den Bergbau gefährdet. Ein gut untersuchtes Beispiel hierfür bieten die Beziehungen zwischen den Teplitzer Thermen und dem Braunkohlenbergbau des nordböhmischen Tertiärbeckens.

Die heißen Quellen von Teplitz entspringen aus Spalten in einem Quarzporphyr, der sich in einem breiten Streifen von Schönau über Teplitz bis Janegg von Osten nach Westen erstreckt, zum Teil von alluvialen oder nicht sehr starken der Kreideformation angehörenden Plänerkalkschichten bedeckt ist und mehr als 6 km weit sich oberflächlich verfolgen läßt. Von den auf einer annähernd ostwestlichen Linie aufsetzenden Teplitz-Schönauer Quellen entspringen die von Teplitz unmittelbar im Quarzporphyr, während die von Schönau zunächst in die den Porphy überlagernden Plänerkalke austreten, dort sich mit erheblichen Mengen von kaltem, gewöhnlichem Grundwasser vermischen und dann erst an die Oberfläche kommen. Sie besitzen deshalb auch eine niedrigere Temperatur als die Teplitzer Quellen, nämlich nur 31—37,5° C, gegen 44—49° bei jenen. Alle diese Thermalwässer sind nicht an eine einzelne bestimmte Spalte gebunden, sondern erfüllen ein vollständiges System von Spalten und Klüften im Porphy auch da, wo dieser unter einer Decke von Kreideschichten lagert. Andererseits wird dieses warme Kluftwasser vielfach von jüngeren, undurchlässigen Bildungen, meist Kreide und Alluvium, gestaut und gespannt, so daß es gelegentlich, wie in Winterschan, südöstlich von Teplitz, als heißes artesisches Wasser erbohrt werden konnte. Daß die Thermalwasserführung in den Klüften des Porphyrs nach Westen hin bis Janegg sich erstreckt, beweist der jetzt versiegte Schacht der Riesenquelle, 6 km südlich von Teplitz, die in den ersten Jahren des beginnenden Braunkohlenbergbaus ihm zum Opfer fiel, ohne daß man damals von diesem Zusammenhange etwas ahnte. Bei Dux verschwinden Porphy und Kreide unter dem mächtigen oligozänen Tertiärbecken mit reichlicher Braunkohlenführung, deren Ausbeutung im Beginn der siebziger Jahre ins Werk geleitet wurde. Am nächsten dem Porphygebiete von Janegg-Teplitz bauen die Döllinger-, Gisela-, Victorine- und Fortschrittsgrube. Auf der erstgenannten Grube erfolgte am 10. Februar 1879 in 156 m Meereshöhe und 80 m Tiefe unter der Oberfläche ein gewaltiger Wassereinbruch, der bis zu 200 m Meeres-

höhe die sämtlichen Grubenbaue in 5—10 Minuten ausfüllte. Am folgenden Tage wurden auch die benachbarten Gruben, die mit Döllinger in Verbindung standen, mehr oder weniger mit Wasser gefüllt. Das anfangs kalte Wasser erhöhte innerhalb weniger Tage seine Temperatur auf $22,5^{\circ}$ C. 64 Stunden nach dem Wassereinbruch verschwand die Teplitzer Urquelle und man konnte in den nächsten Tagen ein langsames und ständiges Zunehmen der Senkung in ihrer Quellfassung beobachten, während gleichzeitig die Temperatur um $7,5^{\circ}$ C. sich verminderte. Auch die anderen Teplitzer Quellen versiegten in den beiden nächsten Tagen, während die Schönauer zunächst unverändert blieben. Die Verfolgung der verschwundenen Quellen ergab, daß sie bis 6,5 m über das Niveau der Wasser im Döllinger Schacht gefallen waren; die Aufdeckung der Quellwege gewährte einen lehrreichen Einblick in die Unregelmäßigkeiten der Quellenspalten. Die Schönauer Quellen verschwanden zwar nicht, aber erfuhren eine starke Verminderung ihrer Ergiebigkeit, so daß auch sie durch Abteufen eines Schachtes freigelegt wurden. Während der Abteufungsarbeiten ließen sich die Wirkungen der Sumpfung der Duxer Kohlengruben auf die Thermalwasser deutlich erkennen. Nach vollständiger Trockenlegung der Grube wurde die Einbruchsstelle verdammt und dann stiegen die heißen Quellen in ihren neuen Schächten langsam wieder zur alten Höhe empor. Ein im Jahre 1887 erfolgter neuer Wassereinbruch auf der Victorinegrube hatte ganz ähnliche Wirkungen auf die Teplitzer Quellen, nämlich eine Senkung ihres Spiegels um rund 18 m. Die Verdämmung der Wassereinbruchsstelle gelang hier durch Betonieren unter Wasser ohne jede weitere Senkung des Quellsiegels. Weitere Einbrüche auf Victorine und Gisela erfolgten 1892 und 1897 ohne noch erheblichen Schaden anzurichten. Das in die Gruben eingedrungene Wasser entstammte dem Plänerkalk und vor allen Dingen einem an seiner Basis liegenden lockeren und durchlässigen Konglomerate, und war zunächst gewöhnliches Grundwasser. Dieses hatte die in den Klüften des Porphyrs zirkulierenden Thermalwasser vorher gestaut, so daß sie nach dem Abfließen der stauenden kalten Wasserdecke in das Konglomerat eindringen und denselben Weg wie jenes in die Gruben einschlagen konnten. Dadurch aber wurde eine Druckerniedrigung in dem gesamten heißen Kluftwassersystem herbeigeführt, die eine Senkung des Wasserspiegels in den Teplitzer Quellen zur Folge hatte. Aus dem Umstand, daß die Höhenlage des Normalwasserspiegels der Teplitzer Quellen immer um ein beträchtliches, mit der Absenkung dauernd wachsendes Maß die des Wasserspiegels der ersoffenen Gruben übertraf, kann man schließen, daß erhebliche Reibungswiderstände innerhalb der Spalten auf der Strecke zwischen Teplitz und Janegg zu überwinden waren. Ja, es ist sogar aus der Ergiebigkeit der Quellen und dem beobachteten Spiegelunterschiede der Querschnitt der Verbindungswege zu

36 cm² berechnet worden. Auf diese Berechnung ist nicht zu viel Wert zu legen, da die Größe des Querschnittes auch ganz wesentlich von seiner Höhenlage abhängen muß. Unter ein gewisses Niveau lassen sich, wie es scheint, die Teplitzer Quellen durch die Braunkohlengruben überhaupt nicht erniedrigen, was dafür sprechen würde, daß die Verbindungswege ebenfalls in einem ziemlich hohen Niveau zu suchen sind. Die bei Gelegenheit jener Katastrophe ausgeführten, sehr eingehenden Untersuchungen, unter anderem auch über die Beziehungen zwischen der Temperatur der Quellen und der Menge der Niederschläge, beziehungsweise der Höhe des Grundwasserstandes, haben einen außerordentlich genauen Einblick in die Gesetze der Thermalwasserbewegung gestattet und sind in eingehender Weise von F. E. Sueß¹⁾, dem ich hierbei im wesentlichen gefolgt bin, beschrieben worden.

70. Kapitel

Hydrologie und Rieselfeldwirtschaft

Die Beseitigung der Abwässer des menschlichen Haushaltes erfolgt in zahlreichen großen Gemeinden auf dem Wege der Verrieselung. Die meist noch durch die atmosphärischen Niederschläge vermehrten und durch sie stark verdünnten Abwässer werden auf besonders dazu aptierte Felder geleitet und über diese verteilt. Beim Einsinken in den Boden werden sie zunächst filtriert und ihre organischen Beimengungen, in der Hauptsache auf biologischem Wege durch Bakterientätigkeit, zerstört. Das so gereinigte Wasser wird teils in Drainagen und Gräben den offenen Gewässern zugeführt, teils wandert es in die Tiefe und vermehrt das dort vorhandene Grundwasser. Aus diesem einfachen Vorgange erklärt sich die Bedeutung des Grundwassers bei der Auswahl und Anlage von Rieselfeldern, die in zwei Beziehungen sich äußert, nämlich einmal in der Beurteilung der Fähigkeit des Bodens, große Wassermengen mit Leichtigkeit aufzunehmen und zu reinigen, und zweitens in der Einwirkung der durch das eindringende Rieselwasser aufgehöhten Grundwasser Oberfläche auf die Umgebung des Rieselfeldes.

Die erste Bedingung für den guten Wirkungsgrad eines Rieselfeldes ist das Vorhandensein einer hinreichend starken, zur Wasseraufnahme fähigen, das Wasser leicht leitenden und gut reinigenden oberen Bodenschicht. Ganz ungeeignet sind Böden, die aus fetten, undurchlässigen Tonen oder Mergeln bestehen, leidlich geeignet sandig-tonige Bildungen, die gut aber langsam filtrieren, noch besser reine, nicht zu feinkörnige Sande, minder geeignet wieder ganz grobe Kiese,

¹⁾ F. E. Sueß, Studien über unterirdische Wasserbewegung. Jahrb. der k. k. geol. Reichsanst. 1898, Bd. 48, S. 425—516.

Schotter- und Geröllablagerungen. Die ersteren nehmen überhaupt kein Wasser auf, die letzteren lassen es zu rasch und zu wenig gereinigt in die Tiefe abwandern. Die zweite Voraussetzung aber ist, daß das Grundwasser erst in größerer Tiefe unter der Erdoberfläche liegt, daß also über ihm eine Decke durchlässiger Schichten in einer Mächtigkeit von mehreren Metern sich befindet. Liegt, wie zumeist in den Tälern, das Grundwasser sehr flach unter Tage, so kann die günstigste Beschaffenheit des Bodens nicht viel nützen, weil dieser ja nur noch eine geringe Menge von Wasser aufzunehmen vermag und bald bis an die Oberfläche mit diesem gefüllt ist, worauf das Wasser über dem Boden stehen bleiben muß. Aus diesem Grunde eignen sich breite, ebene Talböden nur dann für Rieselfelder, wenn sie eine etwas höhere Terrasse bilden, in welche der Fluß seinen eigentlichen Lauf mehr oder weniger tief eingeschnitten hat, so daß er als natürliche Drainage wirkt und das Grundwasser in den Terrassen genügend tief senkt. Meist werden daher für Rieselfelder Hochflächen gewählt, unter denen das Grundwasser erst in beträchtlicher Tiefe folgt, oder Dünengebiete (Danzig), in denen es ebenfalls nicht allzu flach zu stehen pflegt. So befinden sich sämtliche Rieselfelder Groß-Berlins auf den Hochflächen des Teltow und Barnim und keins in der Niederung des Berliner Urstromtales, und die von Magdeburg liegen auf der südöstlichen Abdachung des Fläming, oberhalb des Elbtales. Jedes Rieselfeld ist vor seiner Ingebrauchnahme durch ein Netz planmäßig gelegter und bis auf den undurchlässigen Untergrund niedergebrachter Bohrungen zu untersuchen, bei denen zu beachten ist:

- a) die Schichtenfolge,
- b) der Grad der Durchlässigkeit der einzelnen Schichten,
- c) der Abstand der ersten durchgehenden undurchlässigen Schicht, die als Wasserstauer dient, von der Oberfläche,
- d) die Lage des Grundwasserspiegels unter der Oberfläche.

Die Höhenlage der Bohrlochsoberkante gegen N. N. oder einen sonstigen willkürlich angenommenen Nullpunkt ist durch Nivellement festzustellen; dann lassen sich aus den ermittelten Zahlen für den Abstand des Grundwassers von der Oberfläche Schichtlinien des Grundwasserspiegels konstruieren und aus diesen das Gefälle und die Richtung des Grundwasserstroms ableiten. Man kann dann in den meisten Fällen sogleich erkennen, in welcher Richtung das Grundwasser abfließt, ob innerhalb der Fläche eine Grundwasserscheide liegt und wie sie verläuft und wo etwa das Grundwasser in offene Gewässer sich hinein ergießt. Alle diese Untersuchungen sind von ausschlaggebender Wichtigkeit für die Beurteilung der zweiten Frage: welche Wirkung wird die Berieselung auf Menge und Verlauf des Grundwassers ausüben, welche veränderten Wege wird dies einschlagen und welche voraussichtlichen Schädigungen

der Umgebung können eintreten?; ferner für die Frage, wie solchen Schädigungen von vornherein vorgebeugt werden kann.

Die Menge der auf eine bestimmte Fläche aufgebrauchten und zur Versickerung gelangenden Abwässer ist bedeutend größer, übertrifft um ein Zehn- bis Zwanzigfaches die Menge der auf demselben Gebiete niederfallenden atmosphärischen Niederschläge. Wenn auch die Verdunstung von den offenen Rieselfeldern und der Verbrauch durch die

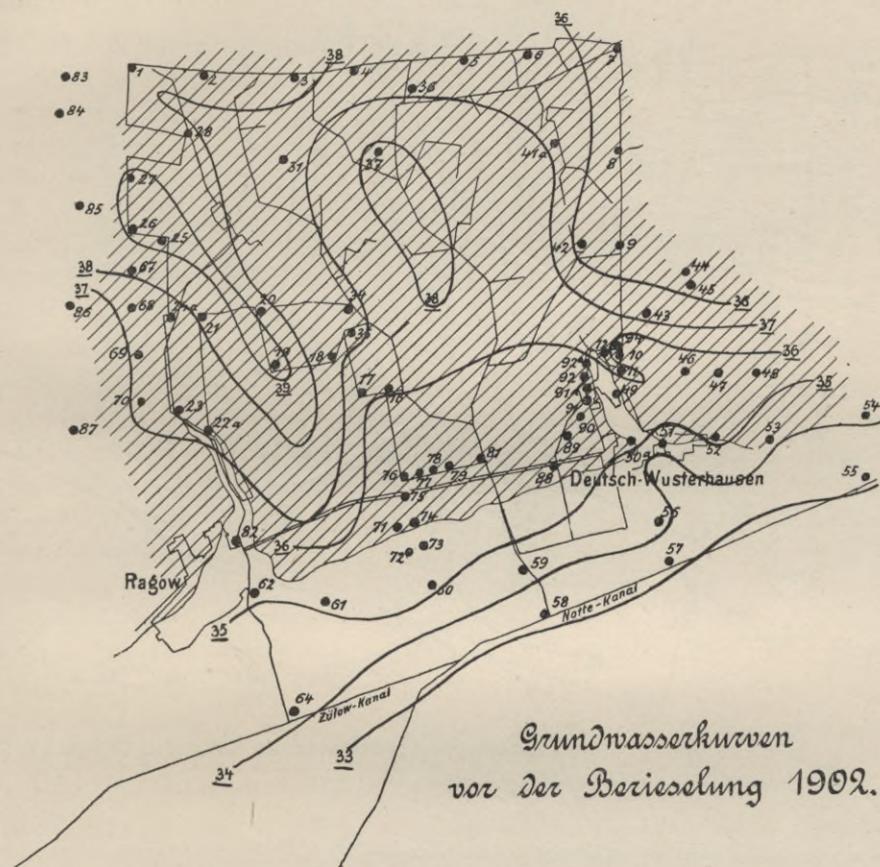


Fig. 271. Schöneberger Rieselfeld bei Deutsch-Wusterhausen

überreichlich ernährte und darum sehr üppige Vegetation beträchtlich ist, wenn auch ferner erhebliche Wassermengen durch oberflächliche Drainagegräben abgeleitet werden, so bleibt doch ein sehr großer Anteil übrig, der durch die durchlässigen Schichten hindurch im Boden nach unten wandert, dort auf das Grundwasser trifft und dessen Spiegel aufhört. Diese Aufhöhung des Grundwassers unter dem Rieselfelde kann mehrere Meter betragen und läßt sich leicht in den als Pegelbohrlöcher ausgebauten, vorher niedergebrachten Untersuchungsbohrlöchern durch

deren fortdauernde Kontrolle und Messung des Wasserspiegels feststellen. Im inneren Teile des Rieselfeldes ist naturgemäß die Aufhöhung am stärksten und nimmt nach den Rändern hin langsam ab. Ich führe als Beispiel das Rieselfeld der Stadt Schöneberg an, welches bei Königs-Wusterhausen am Südrande der Teltow-Hochfläche da liegt, wo diese an die breite, ebene Niederung des Nottefließes im Süden anstößt. In der Fig. 271 ist die Oberfläche des Grundwassers vor der Berieselung,

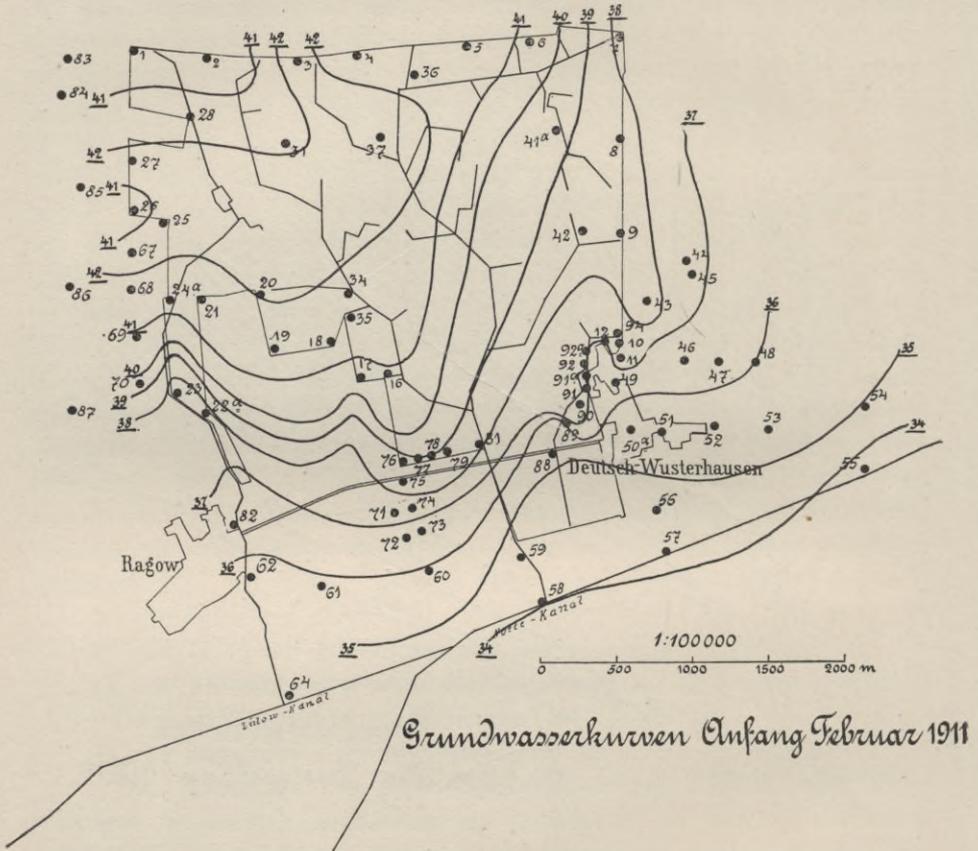


Fig. 272. Schöneberger Rieselfeld bei Deutsch-Wusterhausen

in Fig. 272 diese nach zweijährigem Rieselbetrieb dargestellt und in Fig. 273 der Betrag der Aufhöhung durch Linien gleichen Aufhöhungsbetrages dargestellt. In Fig. 274 ist endlich ein von Norden nach Süden durch die Hochfläche in das Tal hineingelegter Querschnitt gegeben, der durch verschieden dichte Wasserschraffur den ursprünglichen und den künstlich aufgehöhten Grundwasserstand erkennen läßt. Aus diesen vier Darstellungen ist ohne weiteres zu ersehen, daß die Gefahrstelle für die Umgebung (die Ausdehnung des Rieselfeldes ist in Fig. 271

durch schräge Schraffur angedeutet) da liegt, wo der Grundwasserstrom sich nach Süden hin in das Tal hinein bewegt. Hier lag schon vor Beginn der Berieselung das Grundwasser nur $\frac{1}{2}$ —1 m unter der Oberfläche, und hier mußte infolge der Aufhöhung der Grundwasseroberfläche diese die Erdoberfläche erreichen, Versumpfungserscheinungen, offenes Wasser an der Oberfläche und ähnliche Einwirkungen auf die vorher

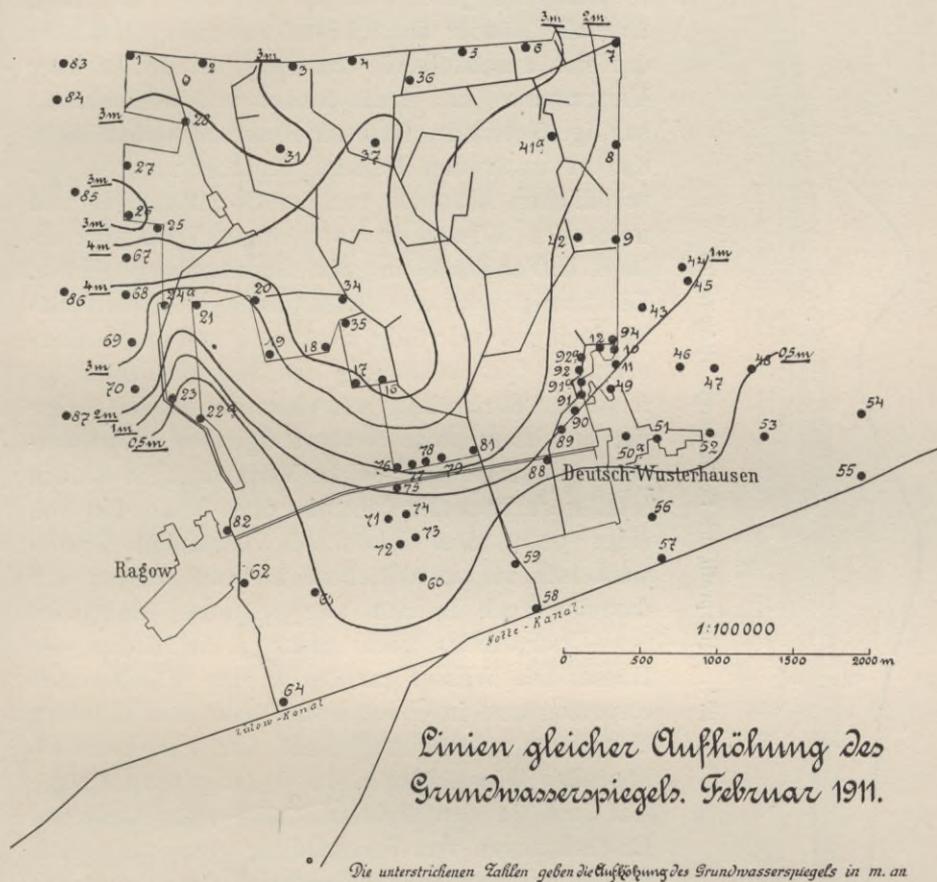


Fig. 273. Schöneberger Rieselfeld bei Deutsch-Wusterhausen

schon sehr feuchte, aber für Ackerbau eben noch geeignete, für Wiesen dagegen hervorragend passende Fläche, mußten die unmittelbare Folge der Grundwasseraufhöhung sein.

Ein zweites Beispiel verhängnisvoller Einwirkung auf die Nachbarschaft bietet die südlich von Spandau auf der Gatower Hochfläche liegende Rieselfeldanlage der Stadt Charlottenburg, deren Profil in Fig. 275 und 276 gegeben ist. Hier liegt in der Hochfläche unter einer dünnen Oberflächenschicht sandigen Lehms eine mächtige Sandmasse,

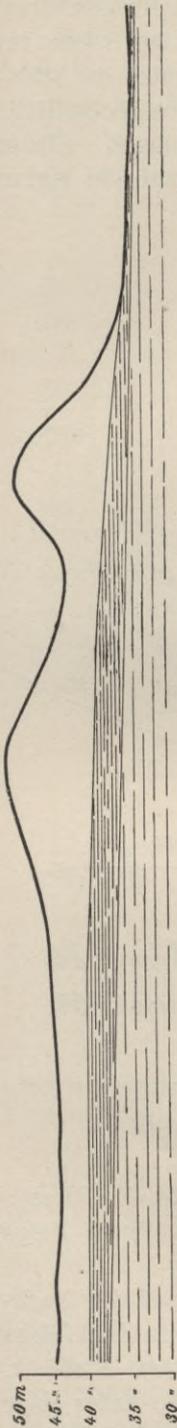


Fig. 274. Querprofil des Schönberger Rieselfeldes

die an sich einen ausgezeichneten Untergrund für Berieselungszwecke bildet. Unter diesen Sanden aber lagert eine mächtige, nahezu undurchlässige Masse älteren tonigen Geschiebemergels, der gegen den Rand der Hochfläche hin flach schüsselartig aufgewölbt ist. Auf diesem Geschiebemergel stauete sich von jeher das Grundwasser und floß über die Ränder der Schüssel nach Norden hin in das sich anschließende Talsandgebiet des Berliner Urstromtales und nach Süden in das ebenfalls sandige Gebiet der Gatower Senke in solcher Tiefe, daß es unter den Feldern der Niederung in unschädlichem Abstände von der Oberfläche lag und unter den Wiesen in so geringer Tiefe sich befand, daß es ihnen ein gutes Gedeihen ermöglichte. Die unmittelbar am Plateaurande stehenden Gebäude lagen auf völlig trockenem und gutem Baugrunde. Die Aufhöhung des Wasserspiegels infolge der Berieselung mit einer die Niederschläge um das Vierzehnfache übersteigenden Abwässerung bewirkte eine solche Vermehrung des auch jetzt noch nach Norden wie nach Süden hin von einer unter dem Rieselfelde liegenden Grundwasserscheide aus abfließenden Grundwassers, daß dasselbe auch in dem angrenzenden Sandgebiet des Urstromtales hoch anstieg, die Keller der Häuser mit Wasser anfüllte, in den Wänden sich emporzog und in einem Falle sogar den Einsturz eines Hauses herbeiführte, daß ferner in den tiefliegenden Wiesenflächen das Wasser offen zutage trat und in den Feldern durch sein Ansteigen Erscheinungen von Versumpfung erzeugte. Auch in der nach Süden angrenzenden Gatower Senke stellte sich diese Erscheinung ein und auf der dritten, der Havel zugekehrten Seite entstanden auf dem dort zutage austreichenden Geschiebemergel zahlreiche neue, vorher nicht vorhandene Quellen, die zwischen Havel und Hochflächenrand ebenfalls starke Schäden an Gebäuden und gärtnerischen Kulturen hervorriefen. Kostspielige, breite und tiefe Abfanggräben bis hinein in die wasserstauende Schicht des Geschiebemergels wurden erforderlich, um diesen Schädigungen durch

Abfangen des austretenden Grundwassers zu begegnen und seine unschädliche Einführung in die Havel zu bewerkstelligen.

Der Nachweis, daß es sich bei diesen „Immissionen“ um Rieselwasser handelt, läßt sich außer durch den geologischen Aufbau des Gebietes in fast allen Fällen auch noch durch die chemische Analyse des Wassers erbringen, in welchem das Auftreten großer Mengen von Chlor und Schwefelsäure, zweier für städtische Abwässer besonders charakteristischer Stoffe, deren Menge den entsprechenden natürlichen Gehalt des Grundwassers des gleichen Gebietes häufig um ein Vielfaches übertrifft, nachweisbar ist. Die sorgfältige geologisch-hydrologische Untersuchung eines für Berieselungszwecke in Aussicht genommenen

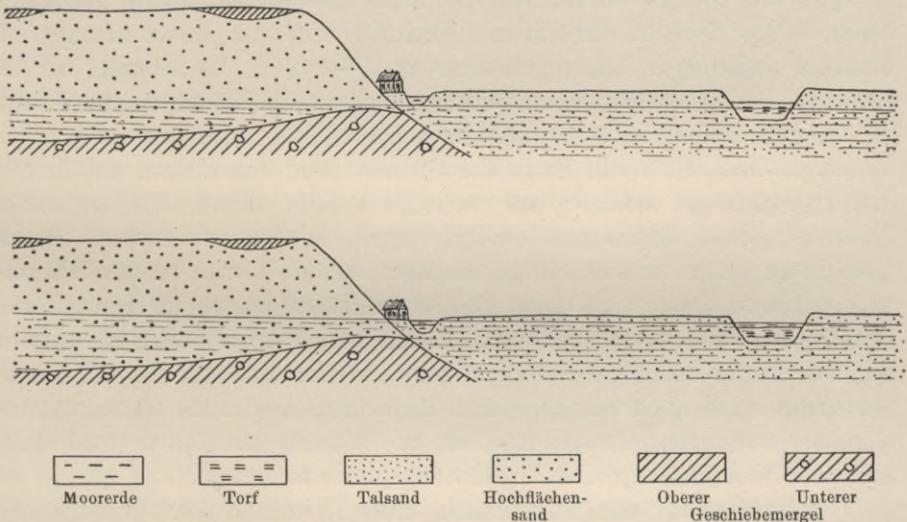


Fig. 275 und 276. Grundwasserverhältnisse des Charlottenburger Rieselfeldes südlich von Spandau vor und nach der Berieselung

Gebietes wird immer die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit solcher Schädigungen vorher festzustellen erlauben und Mittel zu ihrer Abwendung beibringen können.

71. Kapitel

Die Beziehungen des Grundwassers zur Land- und Forstwirtschaft

In den Beziehungen des unterirdischen Wassers zur Land- und Forstwirtschaft lassen sich zwei Gruppen unterscheiden, nämlich die Beziehungen des Grundwassers zum Acker- und Waldbau und zweitens zu den landwirtschaftlichen Industrien.

Für die erstgenannten Beziehungen können lediglich die Grundwassermengen in Betracht kommen, die in so geringer Tiefe unter der

Oberfläche liegen, daß die Wurzeln unserer Kulturgewächse von ihnen Nutzen ziehen können. Dazu ist nicht nötig, daß die Wurzeln bis in das Grundwasser hinabreichen: es genügt vielmehr eine Annäherung der Wurzeln bis auf einige Dezimeter bis Meter, denn das Grundwasser wandert in senkrechter Richtung über seinen Spiegel hinaus den Wurzeln entgegen vermöge der Haarröhrchenanziehung oder Kapillarität. Das Maß der Hebung des Wassers durch Kapillarität hängt ab von der Korngröße des wasserführenden Gesteins; in groben Kiesen ist es gleich Null; in groben Sanden beträgt es wenige Zentimeter, in mittelkörnigen Sanden steigt es auf 25 cm, in feinkörnigen auf 50 cm. Ganz besonders stark kapillar sind tonige Böden, und wenn im Ton noch erhebliche Mengen von Humus vorkommen, so kann die Wasserhebung auf kapilarem Wege 2—3 m erreichen. Rechnen wir die Bewurzelungstiefe unserer einjährigen Kulturgewächse zu $1-1\frac{1}{4}$ m, so können wir in sandigen Böden in $1\frac{1}{2}$ m, in feinsandigen und Lößböden in $2-2\frac{1}{2}$ m, in tonigen Böden in 3 m und in humusreichen Tonböden in 4 m die Grenze ziehen, innerhalb deren das Grundwasser von unsern einjährigen Kulturgewächsen erreicht und benutzt werden kann. Bei manchen Futterpflanzen, Esparsette und Luzerne, sowie bei unsern Baumgewächsen finden wir allerdings erheblich höhere Werte für die Wurzeltiefe. Ich entsinne mich eines Falles bei Bitterfeld, wo in einem fetten Tertiär-Tone tote, aber noch ganz frische Pappelwurzeln sich 12 m unter der Oberfläche befanden. Daraus geht hervor, daß wir in der Forstwirtschaft auch noch bei über 4 m Tiefe hinausgehenden Grundwasserständen und unter Umständen bis zu solchen von 12 m von einer direkten Beeinflussung der Vegetation sprechen können.

Versuchen wir zunächst einmal, einen Überblick über die regionale Verbreitung solcher Böden zu gewinnen, in denen sich das Grundwasser in Tiefen von 2—4 m unter der Oberfläche befindet. Hier sind in allererster Linie unsere Täler zu nennen. Wir haben in Norddeutschland, das ja bei diesen Untersuchungen als wichtigstes Ackerbaugesbiet in erster Linie in Frage kommt, zwei Arten von Tälern: lebende, die heute noch von ihrer Größe entsprechenden Flüssen durchströmt werden, und tote oder Urstromtäler, über die im 24. Kapitel eingehendere Angaben nachzulesen sind.

In wirtschaftlicher Beziehung gewähren diese breiten Talböden, in deren einem bekanntlich der Hauptteil von Berlin liegt, sehr mannigfaltige Bilder, die ursprünglich durch das Grundwasser, jetzt aber wesentlich vom Boden bedingt sind. Wir beobachten nämlich überall in diesen Tälern einen Wechsel von Wiese, Acker und Wald. Als Wiese genutzt werden die tiefstgelegenen Teile, in denen das Grundwasser sehr nahe unter der Oberfläche liegt oder bei hohem Grundwasserstande zutage tritt und offene Wasserflächen bildet. Liegen die

Talböden ein wenig unter dem Grundwasserspiegel, so daß die Überstauungsgefahr nicht mehr vorliegt, aber die Wurzeln auch bei tiefstem Wasserstande noch vom Grundwasser unmittelbaren Nutzen ziehen können, so werden die Talböden regelmäßig als Acker genutzt. Noch höhere Talstufen aber, die sich um eine ganze Anzahl, mindestens 3 bis 4 m, über das Grundwasser erheben, tragen im allgemeinen eine geschlossene Walddecke. Die Bahnfahrt von Köpenick nach Fürstenwalde führt in der Nähe Berlins durch solche Wälder im Talsande.

Es ist aber nicht die Kulturart allein, die durch geringere oder größere Nähe des Grundwassers beeinflußt wird, nein, auch der Boden selbst trägt in augenfälligster Weise die Abhängigkeit seiner Zusammensetzung vom Grundwasserstande zur Schau.

Denken wir uns ein im allgemeinen flaches, aber einen Wechsel von tiefer gelegenen Becken und Senken mit höher gelegenen Flächen aufweisendes Stück Talboden, so wird das Grundwasser in den tiefen Senken zutage liegen, in den höheren Flächen sich erheblich unter der Oberfläche befinden und in den Zwischengebieten teils mit der Oberfläche zusammenfallen, teils nur ganz wenig unter ihr stehen. Alle diese Zonen werden auf die Pflanzenwelt ganz verschiedene Einwirkungen ausüben, oder, anders ausgedrückt, in jeder der drei Zonen wird sich eine andere Pflanzengenossenschaft ansiedeln. In den Grundwasserseen werden schwimmende Pflanzen gemeinsam mit kleinen tierischen Lebewesen Faulschlamm- und Wiesenkalklager erzeugen, die den See bis nahe an seine Oberfläche füllen. Dann stellen sich Gewächse ein, wie die Wasser- und Sumpfmooße, die teils in der Luft, teils im Wasser leben; zu ihnen gesellen sich gewisse Gräserarten und schaffen eine elastische, schwimmende Vegetationsdecke auf dem verlandenden See, die von den Ufern zur Mitte hin wächst und schließlich den offenen Seespiegel zum Verschwinden bringt. Immer neue Gewächse siedeln sich auf dem schwimmenden Sumpfe an, Weiden, Erlen und Birken wandern ein und der See entwickelt sich Schritt für Schritt zum Torfmoor. Es wächst ununterbrochen nach oben, aber zugleich sinkt es in die Tiefe, solange seine Unterlage noch weich und schlammig ist, diese und seine eigenen untersten Schichten zusammenpressend. Erst wenn diese Möglichkeit nicht mehr vorhanden ist, wächst es in die Höhe und entfernt sich damit zugleich immer mehr vom Wasserspiegel. Damit aber geht eine Änderung seiner Pflanzendecke vor sich: Anstatt der auf nährstoffreiches Wasser angewiesenen Flora, die das bisherige Flachmoor schuf und mit zunehmender Verarmung des Wassers eingeht, stellt sich eine neue, anspruchslosere Pflanzengemeinschaft ein, kleine Seggen, anspruchslose Mooße, Scheuchzerien, vor allem aber niedrige, holzige Sträucher, Heidekraut, Porst, Moosbeere, Andromeda, Krähenbeere. Das Flachmoor wandelt sich in solchem Falle, unter gleichzeiti-

gem Emporwachsen und oftmals schildartigem Aufwölben seiner Oberfläche zum Hochmoor um, welches nun, nur durch nährstoffarme Niederschlagsgewässer ernährt, noch mehrere Meter emporwachsen kann.

Was ist inzwischen mit den Flächen geschehen, die mit ganz flachem Grundwasserstande sich an die ehemaligen Seenflächen angeschlossen? Auch auf ihnen hat sich die Vegetation üppig entfalten können, auch hier sind Torfmoore, und zwar Flachmoore, aber von geringer, meist nur 1—2 m betragender Mächtigkeit entstanden. Noch weiter hin, wo das Grundwasser bereits einige Dezimeter unter der Oberfläche zurückbleibt, reicht die Kraft der Vegetation zur Erzeugung selbständiger Torfmoore nicht mehr aus; hier kommt es nur zur Bildung eines Gemenges von Humus und Sand, das wir als Moorerde bezeichnen; ihre Mächtigkeit beträgt meist nur $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ m; sie schafft neben dem Flachmoortorf unsere besten Wiesen. Werden solche Moorerdeniederungen regelmäßig bei hohem Grundwasser überstaut, und ist letzteres kalkhaltig, so wird ein Teil des Kalkgehaltes bei der Verdunstung des Überstauwassers abgeschieden, und die Moorerde erlangt dann einen Kalkgehalt, der allmählich auf 10—15% steigen kann. Die so natürlich gekalkte Moorerde bezeichnen wir als Moormergel. Er ist bei entsprechender Entwässerung ein wunderbar fruchtbarer Boden, der, sobald er in der Nähe von Städten und Dörfern liegt, mit Vorliebe gärtnerisch, für Gemüsebau, benutzt wird. Ein großer Teil des havelländischen Luches und der weiten Niederungen bei Zossen und Mittenwalde besteht aus solchen Moormergelböden.

Gehen wir in unserem angenommenen Falle weiter in die höher gelegenen Talgebiete, also in Flächen mit immer zunehmender Tiefe des Grundwassers unter der Oberfläche, so offenbart sich dessen abnehmender Einfluß deutlich in dem abnehmenden Humusgehalte der oberen Schichten: die Moorerdeböden gehen in stark humose, diese in schwach humose Sande über, und zuletzt liegen kaum noch als humushaltig zu bezeichnende Sandböden vor uns, die nur für den Waldbau noch taugen. So werden nur durch die Einwirkung des Grundwassers Wiesen-, Acker- und Waldgebiete auf genau der gleichen Unterlage geschaffen, lediglich durch die nach Art und Menge verschiedene Pflanzendecke. Neben den Wirkungen des Grundwassers und seiner Zusammensetzung spiegeln sich in unseren Mooren aber auch die klimatischen Schwankungen, die Wechsel kühlerer und wärmerer, trockener und feuchter Perioden, in wundervoll deutlicher Weise wieder, und aus den einzelnen Lagen eines Moores können wir wie aus den Blättern eines Buches die ganze klimatische, meteorologische, floristische und zum Teil auch anthropologische Geschichte einer Landschaft ableiten.

Das Grundwasser hat nicht allein der Landwirtschaft nützliche Neubildungen veranlaßt, wie Torf, Moorerde, Moormergel, sondern auch

minder angenehme Wirkungen ausgeübt. Dahin gehört die Bildung des Ortsteins und Raseneisensteins, sowohl des wesentlich aus Eisenhydroxyd hervorgegangenen Eisenfuchses als auch des aus harzigen Humusbildungen erzeugten Humusortsteins. Beide sind zurückzuführen auf organische und anorganische Salze, die durch eindringende atmosphärische Wasser aus den oberen Bodenschichten ausgelaugt und bei Erreichung nährstoffreicheren Grundwassers so wieder ausgeschieden wurden, daß sie die Sand- und Kieskörner zu mehr oder weniger harten Sandsteinen und Konglomeraten verkitten.

Etwas anders als in den flußlosen großen Urstromtälern ist die Wirkung des Grundwassers in den von unsern heutigen großen Flüssen durchströmten Tälern. Vom Rhein bis zur Weichsel sehen wir alle unsere Hauptflüsse begleitet von fruchtbaren Schlickablagerungen, die der sandig-kiesigen Ausfüllung unserer Stromtäler als dünne, meist unter 2 m dicke Decke aufgelagert sind. Diese Schlickmassen sind Absätze des Flußschlammes in Überschwemmungsperioden, in denen der Fluß aus seinem Bette heraustritt und sein breites Tal in einen See verwandelt. In einem Tale mit nicht reguliertem großen Flusse ist das ganze Tal in seinen sandigen Schichten von einer gewaltigen Grundwassermenge erfüllt, die zum Spiegel des Flusses in Beziehung steht, mit ihm steigt und fällt. Bei Niederwasser ergießt sich Grundwasser in den Fluß und trägt zu seiner Speisung bei, während bei Hochwasser das Flußwasser das Grundwasser aufstaut und so an seiner Auffüllung mitwirkt. Bei aller Fruchtbarkeit sind solche Schlickgebiete nur als Weide und Wiese nutzbar oder bilden gar riesenhafte Sümpfe und Tonbrüche, wie ehemals das Oderbruch, weil die mehrmaligen jährlichen Überflutungen jede andere Nutzung ausschließen. So begann man schon früh, den Strom durch Deiche in Fesseln zu schlagen und große Überschwemmungsgebiete in fruchtbare Ackerländereien umzuwandeln. Aber dem Lichte fehlte naturgemäß Schatten nicht. Der eingezwängte Strom wurde mit Sinkstoffen und treibenden Sanden und Kiesen überlastet, konnte durchaus nicht mehr alles bis zum Meere befördern und erhöhte infolgedessen sein Bett und damit natürlich auch seinen Wasserspiegel. Dies wiederum zwang zur Erhöhung der Deiche, und so fließt heute ein großer Teil unserer eingedeichten Ströme auf halb künstlichen, halb natürlichen Wällen, die sich um so höher über den Talboden erheben, je älter die Deiche sind, und je mehr Sinkstoffe die Flüsse mit sich führen. Die Wirkungen, die sich aus solchen künstlichen Veränderungen für die Grundwasserhältnisse ergeben, sind zweierlei Art: Einmal kann der ausgleichende Austausch zwischen Fluß- und Grundwasser nicht mehr eintreten, das Flußwasser kann nur noch senkrecht versinken; dadurch aber wird ein Druck auf das Grundwasser ausgeübt, es wird aus den Sanden emporgepreßt, und es stellen sich an

tiefgelegenen Punkten Grundwasserüberschwemmungen ein, die nicht nur alle Nachteile der Flußüberschwemmungen besitzen, sondern auch des einzigen Vorteils, der Herbeiführung und Ablagerung des befruchtenden Flußschlammes, entbehren.

Der Umstand, daß der Spiegel des Grundwassers in der Tiefenlinie der Täler seinen tiefsten Stand besitzt und von da aus nach den Talrändern und in diesen selbst oft erheblich ansteigt, gewährt bisweilen die Möglichkeit, durch Fassungsarbeiten dieses höher liegende Grundwasser an die Oberfläche zu führen und zur Berieselung von Ländereien zu verwenden, in denen der Grundwasserspiegel so tief unter der Oberfläche liegt, daß sein Einfluß auf die Vegetation gleich Null ist. Dadurch können Ödländereien in Wiesen verwandelt werden, und das so verwendete Wasser geht unserm Gesamtschatz an Grundwasser nicht verloren, sondern wird ihm, soweit es nicht verdunstet, durch Versickern wieder zugeführt. Auf solcher Nutzung der Grundwasserschätze beruht zum großen Teile der hohe landwirtschaftliche Kulturzustand der Lombardei. —

Die in großen Verhältnissen bisher noch nie unternommene sorgfältige Überwachung des Grundwassers, seines Steigens und Fallens, seines Entstehens, seiner Fließbewegung und der Änderungen seiner Menge, Temperatur und Zusammensetzung wäre in den oben charakterisierten Gebieten direkter Beeinflussung der landwirtschaftlichen Verhältnisse durch das Grundwasser sicherlich eine Aufgabe von hohem praktischen Werte. Der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft gebührt das Verdienst, 1908 auf die Wichtigkeit solcher Untersuchungen hingewiesen und ihre Ausführung angeregt zu haben.

Es sollen zuerst in einem größeren Probegebiete Erfahrungen über die zweckmäßigste Art des Beobachtungsdienstes gewonnen werden. Als solches Probegebiet ist eine etwa 500 qkm große Fläche innerhalb des Glogau-Baruther Urstromtales von Luckenwalde über Treuenbrietzen und Brück bis Brandenburg a. H. gewählt, weil hier die Grundwasserhältnisse durch große Flüsse nicht beeinflußt sind, das Grundwasser flach steht und die Beobachtungen deshalb einfach sind, weil ferner das Gebiet von Berlin aus durch vier Bahnen aufgeschlossen ist, und weil eine verhältnismäßig dichte Besiedlung die Möglichkeit bietet, zahlreiche Beobachtungsstellen einzurichten. Die Beobachtungen werden in der Hauptsache in vorhandenen Brunnen und an einigen wenigen zur Ergänzung nötigen Stellen in besonderen Pegelbohrlöchern ausgeführt. Als Beobachter sind Pfarrer, Lehrer, Förster und Gemeindevorsteher gewählt. Die Messungen werden wöchentlich ausgeführt und durch Umrechnung auf N. N. bezogen. Bei Beginn der Untersuchung werden durch Analyse die wichtigsten Punkte in der chemischen Zusammensetzung des Wassers ermittelt werden. Kontrollanalysen bei besonders hohen und

besonders tiefen Wasserständen sollen Klarheit in den chemischen Grundwasserhaushalt bringen.

Man hofft, durch solche ein oder zwei Jahre lang fortgesetzten Untersuchungen wichtige Resultate zu erzielen und Erfahrungen zu sammeln, die bei einer Ausdehnung des Grundwasserüberwachungsdienstes auf alle dafür in Frage kommenden Gebiete des Staates nutzbar gemacht werden sollen.

In allen Gebieten, in denen das Grundwasser tiefer als 2—4 m unter der Oberfläche steht, und das sind etwa $\frac{3}{4}$ des vaterländischen Bodens, ist es für die Produktion der Pflanzen ohne Belang. Hier erfolgt die Versorgung der gesamten Vegetation mit Wasser ausschließlich durch die Niederschläge, deren in den Boden eindringender Anteil kapillar festgehalten wird und ein um so länger vorhaltendes Kapital von Feuchtigkeit darstellt, je größer die Niederschläge sind und je stärker die von der Korngröße abhängige wasserhaltende Kraft des Bodens ist. Auf diesen Umstand ist wesentlich die hohe Fruchtbarkeit unserer feinsandigen Löß- und Mergelsandböden zurückzuführen, die trotz geringer Mengen löslicher Pflanzennährstoffe doch hohe Erträge liefern, weil ihre Feinkörnigkeit enorm günstige physikalische Verhältnisse bedingt. Aber selbst in unsern Sandböden ist die wasserhaltende Kraft noch recht bedeutend und verhindert ein völliges Austrocknen des obersten Meters selbst in Perioden wochenlanger Dürre.

Scheiden alle diese gewaltigen Flächen somit aus bei der Betrachtung des direkten Einflusses des Grundwassers auf den Betrieb der Landwirtschaft, so erlangen sie dafür eine neue, bedeutungsvolle Rolle als Träger und Lieferanten des Gebrauchswassers. Die verstärkte Viehhaltung, vor allem aber die zunehmende Einführung fabrikmäßiger Betriebe, Molkereien, Brennereien, Zuckerfabriken, Stärkefabriken, und nicht zuletzt die jetzt überall entstehenden elektrischen Zentralen haben den Wasserbedarf der Landwirtschaft um ein Vielfaches gesteigert und an zahllosen Orten dazu genötigt, die alten Wege der Wassergewinnung zu verlassen. Auch die strengeren Anforderungen der Gesundheitspolizei haben vielfach dazu geführt, die obersten Grundwasserträger nicht mehr in Anspruch zu nehmen, sondern das Wasser tiefer gelegenen, gesundheitlich einwandfreien Schichten zu entnehmen. So ist die Landwirtschaft gezwungen, dieselben Wege der Wassergewinnung einzuschlagen wie unsere Stadtgemeinden und wie unsere Industrie, und im Interesse der Landwirtschaft dringt heute der Bohrer ebenso oft in die Tiefe, um deren flüssige Schätze zu gewinnen. Die so seit einem Vierteljahrhundert ständig wachsende Entnahme von Wasser aus dem Boden hat zu weitgehenden Befürchtungen Anlaß gegeben, denen Prof. Dr. Deecke in Freiburg, früher in Greifswald, im Augustheft 1909 der Preußischen Jahrbücher Ausdruck verliehen hat. Er fordert

darin unter Hinweis auf das Beispiel der Entvölkerung und Verödung Italiens infolge angeblich verschwenderischer Wasserwirtschaft im kaiserlichen Rom eine Reihe von Maßnahmen, durch die den Schäden der übergroßen Grundwasserbeanspruchung entgegengewirkt werden soll, und zwar sollen

1. nicht beliebig alle Quellen und Grundwasser als Privateigentum verkauft und abgeleitet werden dürfen,
2. soll durch ausgiebige Berieselung für Ergänzung und Erneuerung des Grundwassers gesorgt werden,
3. sollen die Drainagen nicht übertrieben und die stehenden Gewässer geschützt werden,
4. soll der Raubbau auf Grundwasser eingeschränkt werden.

Gegen die drei ersten Punkte ist sicherlich nichts einzuwenden, und ein Schutz auch der hygienisch nicht bedeutungsvollen Quellen ist bereits in dem neuen Wassergesetze (s. 73. Kapitel) vorgesehen. Gegen den 4. Punkt lassen sich gewichtige Einwände machen. Sicherlich schafft niemand zu seinem Vergnügen täglich Tausende von cbm Wasser aus dem Boden heraus, sondern er tut es, weil er das Wasser braucht und billiger nicht erlangen kann, oder weil er es verwenden muß, um andere wichtige und wertvolle Dinge, Kohlen und Erze zu gewinnen. Hier mit strengen beschränkenden Maßregeln einzugreifen, würde nichts anderes bedeuten, als die betreffenden Werke lahmzulegen, außer Konkurrenz zu setzen; ihre Haftpflicht besteht ja sowieso. Noch weniger wird sich gegen die gewaltige Wasserentnahme zur Versorgung unserer Städte sagen lassen. Es fragt sich aber sehr, ob denn wirklich durch die stark gesteigerten Wasserentnahmen die Schäden herbeigeführt werden, die Deecke uns warnend vor Augen führt. Groß-Berlin braucht täglich $\frac{1}{2}$ Million cbm Wasser, die am Tegeler See, im Grunewald, am Wannsee und am Müggelsee in einer Fläche von wenigen Quadratmeilen entnommen werden, und zwar fast ganz aus Brunnen, die zum Teil vom offenen Wasser her Ersatz erhalten.

Und die Wirkungen? Ein paar Brunnen in der Nähe der Entnahmestellen haben durch Spiegelsenkung ihr Wasser verloren, im übrigen aber grünt und wächst der Wald mit allem seinem Unterholz, Gräsern und Blumen weiter wie vorher, einfach deshalb, weil er auch schon vorher von dem zu tief liegenden Grundwasser keinerlei unmittelbaren Nutzen zog. Und ob das Wasser nun 5 oder 15 m unter der Oberfläche steht, ist schließlich gleichgültig.

Solche Fälle lehren uns, daß eine Massenentnahme von Grundwasser durchaus nicht mit den schädlichen Wirkungen verbunden ist, die Deecke prophezeit, und daß wir nicht nötig haben, mit dem schweren Rüstzeuge der Gesetzgebung gegen die Nutzbarmachung unserer Grundwasserschätze anzukämpfen.

Aus den verschiedensten Teilen des Landes hört man immer wieder die Meinung aussprechen, daß unser Grundwasser in einem allgemeinen und fortschreitenden Senkungsprozesse begriffen sei, und schwere Befürchtungen werden solchen Vermutungen angeschlossen. Die Geologen haben nicht die Überzeugung gewonnen, daß diese Vermutungen zutreffend sind. Sie glauben vielmehr, daß es sich in allen Fällen um räumlich und zeitlich begrenzte Vorgänge handelt, die einerseits mit den jährlichen Schwankungen der Niederschläge, andererseits mit gewissen größeren, wie Brückner nachgewiesen hat, in etwa 35jährigem Wechsel sich vollziehenden Schwankungen zwischen feuchterem und kühlerem mit trocknerem und wärmerem Klima zusammenhängen. Manchmal recht beträchtliche Grundwassersenkungen als Folge langer Trockenperioden pflegen rasch und gründlich bei Eintritt der kühleren Jahreszeit zu verschwinden.

Bei der Erschließung des Grundwassers in tief unter der Oberfläche liegenden Erdschichten spielt gerade in den von losen Bildungen, Sanden, Kiesen und Tonen aufgebauten Gebieten des norddeutschen Flachlandes das artesische Wasser eine immer mehr wachsende Rolle. Dieses über Tage ausfließende oder wenigstens hoch über seinen natürlichen Stand emporsteigende Wasser verdankt seine Entstehung dem Drucke einer die höheren Teile der wasserführenden Schicht erfüllenden Wassersäule, wobei der Wasserträger muldenförmig gestaltet sein oder gleichmäßig zur Tiefe niedersinken kann. Von der Memel bis zum Rheine stehen jetzt zahllose artesische Brunnen im Diluvium und fördern Wassermassen, die vereinigt Flüsse bilden würden. Aber abgesehen von einem über 100 Quadratmeilen großen Druckwassergebiet in Posen und Schlesien, sind die deutschen artesischen Wasser meist auf kleine Flächen von höchstens einigen Quadratmeilen Größe beschränkt und dienen ausschließlich der Gewinnung von häuslichem und gewerblichem Wasser. Dagegen spielen solche artesischen Wasser in den Vereinigten Staaten eine enorme Rolle im landwirtschaftlichen Betrieben und liefern aus Tiefen bis zu 1000 m Hunderttausende von Sekundenlitern Wasser, die zur Berieselung ungeheurer landwirtschaftlich genutzter Flächen besonders in den niederschlagsarmen Gebieten zwischen dem Felsengebirge und dem Mississippi verwendet werden. (Vergl. Kapitel 40.)

III. Gesetzgebung und Rechtsprechung

Von Amtsgerichtsrat H. Keilhack in Brandenburg a. H.

72. Kapitel

Die rechtliche Behandlung des Grund- und Quellwassers mit Ausnahme der Quellenschutzvorschriften

Das Wasser ist ein Geschenk der Natur und als solches Gemeingut. Das freie fließende Wasser ist eine verkehrsunfähige Sache, ist herrenlos, steht also niemals im Eigentum einer Person. Jedermann kann es sich aneignen und benutzen. Eine Grenze hierfür ist nur in der Aneignungs- und Benutzungsmöglichkeit gezogen. Während diese bei den öffentlichen Gewässern jedem gegeben ist, kann der Eigentümer der Privatgewässer den Zugang zu diesen verhindern und sich somit deren ausschließliche Benutzung verschaffen. Gewisse Beschränkungen hierin legt ihm aber der Staat mit Rücksicht auf die Gesellschaft und vor allem auf den Nachbar auf.

Das ungeschriebene und geschriebene Recht ist dem gefolgt. Es ist klar, daß die Gesetzgebung ihr Hauptaugenmerk auf die öffentlichen Ströme und Privatflüsse richtet und die eigentlichen Privatgewässer, Grundwasser, Quellen, Teiche, Seen und Bäche stiefmütterlich behandelt. So finden sich gerade über Grund- und Quellwasser, das hier speziell behandelt werden soll, bis in die neueste Zeit hinein die Vorschriften nur höchst spärlich und setzen naturgemäß da ein, wo die Beziehungen zum Grundwasser sinnfällig werden, also bei Brunnen und Quellen. Denn was ist Grundwasser anderes, als noch nicht zutage getretenes Quellwasser? Schenkel in seinem Werke „Das Badische Wasserrecht“ nennt a) Grundwasser dasjenige Wasser, welches sich unter der Erdoberfläche in bestimmten Tiefen auf undurchlässigen Bodenschichten ausbreitet und je nach den Gefällsverhältnissen in einer Abwärtsbewegung begriffen ist; b) Quellwasser dasjenige Wasser, welches aus unterirdischer Wasseransammlung an einer bestimmten Stelle des Bodens nicht bloß vorübergehend zutage tritt¹⁾.

¹⁾ Das Reichsgericht hat in einer Entscheidung des V. Senats vom 2. Juli 1913, abgedruckt im „Recht“ 1913, Sp. 608, auch folgende Erklärung für den Begriff einer

Das alte germanische Recht erkannte das ausschließliche Nutzungsrecht am Grundwasser und an Quellen „wasser under und ob der erde“ dem Eigentümer von Grund und Boden zu und schützte diesen vor Verunreinigung und Beschädigung des Grundwassers und der dieses fördernden Anlagen¹⁾.

Die gleichen Bestimmungen enthalten die deutschen Rechtsbücher des Mittelalters, insbesondere der fast über das ganze nördlich der Mainlinie liegende Deutschland geltende Sachsenspiegel (1225). Dieser bestimmt namentlich über das Eigentum an den Quellen, daß die Quelle und ihr Abfluß bis zum Verlassen des Quellgrundstückes dessen Eigentümer gehört, daß dieser sie fließen lassen oder festhalten kann, wie es ihm beliebt, daß er aber nicht mehr berechtigt ist, die Quelle festzuhalten, wenn er sie dreißig Jahre hindurch hat frei laufen lassen. Der Sachsenspiegel kennt auch das Verbot der Schikane und spricht aus, daß niemand, lediglich um dem Nachbarn zu schaden, Quellwasser zurückhalten darf.

Die gleichen Rechtsgrundsätze wie der Sachsenspiegel enthält der ihm nachgebildete Schwabenspiegel.

Diese deutschrechtlichen Bestimmungen sind noch heute, soweit nicht die moderne wasserrechtliche Gesetzgebung sie aufgehoben hat, vielfach in Geltung und begegnen uns selbst in dieser überall.

Quelle gegeben: „Quelle eines Flusses ist dessen sichtbarer, oberirdischer Anfang, gleichgültig, ob die Quelle in einem Strahle von meßbarem Durchschnitte aus dem Erdboden hervordringt oder ob ihr Wasser in zahlreichen kleinen Tropfen aus der Erde hervorkommt und sich hierbei so mit losen Erdteilen mengt, daß die Quelle den Eindruck eines Tümpels oder Sumpfgeländes macht, sofern nur die in diesem Gelände vorhandenen Rinnale das aus der Quelle entfließende Wasser abführen und sich sodann zum Bache vereinigen.“

¹⁾ Dies ist die herrschende Ansicht. Der bekannte Wasserrechtsforscher Kloess-Dresden, dessen Ausführungen in Gruchots Archiv das Folgende entnommen ist, hat jedoch auf Grund neuerer Forschungen den Nachweis zu erbringen versucht, daß nach deutschem Recht auch an der Quelle Gemeingebrauch bestanden habe. Als das Gemeingut unter die Dorfgenossen verteilt wurde, blieben auch weiter neben den Wegen die sämtlichen Gewässer, einschließlich der Quellen, die auch durch religiöse Vorstellungen geschützt waren, Gemeingut. Herrenlos blieb neben anderem das unbenutzte Grundwasser, das nicht etwa als Bestandteil des Grundstücks galt, wie im römischen Recht. Der Begriff des Gemeinguts schloß für alle Markgenossen die Befugnis der gemeinsamen Nutzung in sich. Die gemeinen Gewässer einschließlich der gemeinen und abfließenden Brunnen und Quellen standen dem Gemeingebrauch und der freien Fischerei aller zu Gebote mit der später sich ergebenden Einschränkung: soweit nicht dadurch einem anderen ein Schaden zugeführt wurde, z. B. dem Müller. Auch spricht für den Gemeingebrauch der Quelle im alten deutschen Rechte die Bestimmung, daß, auch zum Schaden des Müllers und des Unterliegers, an Sonn- und Feiertagen von Abend zu Abend den Wasserläufen und Quellen zur Bewässerung der Wiesen Wasser entzogen werden konnte. Letzteres war stellenweise auf bestimmte Sonntage im Frühling und Herbst beschränkt. Diese Bestimmung findet sich auch in zahlreichen Gesetzen noch des neunzehnten Jahrhunderts.

Ganz besonders wichtig ist die Stellung der Salinen im deutschen Recht. Wegen ihres wirtschaftlichen Wertes waren sie dem Schutze der germanischen Priester unterstellt. Sie waren heiliges Gemeingut. Im Interesse des Gauces wurde die Verwertung der Salinen bestimmten Personen übergeben. Dieses Recht übernahmen später die fränkischen Könige und verliehen es als Regalrecht. Die Salzquellen waren also von alters her herausgehobenes Gemeingut und kein Bestandteil des Grund und Bodens. Sie waren geschützt, weder der Grund- noch der Regalherr durften in der Nähe der Saline neue Salzbrunnen erbohren. Der Schutz der Quelle erstreckte sich somit auch auf die Verfügung über das Grundwasser.

Das römische Recht kennt das Grund- und Quellwasser als Bestandteil des Grundstücks und stellt es somit in das ausschließliche Eigentum des Grundstückseigentümers. Da das römische Recht gegen das Ende des Mittelalters „rezipiert“¹⁾ wurde und teils neben dem alten deutschen Wasserrechte galt, teils dies verdrängte, so mögen die über das Grund- und Quellwasser geltenden Grundsätze, die in den nicht-preußischen Gebieten des gemeinen Rechts noch heute in Kraft sind, hier angeführt werden. Da das Eigentum sich innerhalb der Grenzen des Grundstücks nach oben und unten unbeschränkt ausdehnt, so kann auch der Eigentümer mit dem in und auf seinem Grundstück befindlichen Wasser nach Belieben schalten; er kann es verunreinigen, kann Anlagen herstellen, die den Zufluß des Grundwassers zum Nachbarn beeinträchtigen oder vollständig hindern, so daß der nachbarliche Brunnen versiegt; er kann neue Brunnen anlegen, Quellen verschütten und ihnen einen anderen Lauf geben, aber er darf auch nach gemeinem Rechte diese Vorkehrungen nicht aus Schikane treffen, das heißt, einzig und allein in der ausgesprochenen Absicht, dem Nachbarn dadurch das Wasser zu entziehen. In diesem Falle steht dem Nachbarn ein Widerspruchsrecht und der Anspruch auf Entschädigung zu.

¹⁾ Das römische Recht sollte nur aushilfweise gelten, das heißt nur da, wo sich Lücken im deutschen Recht befanden. Nach den Ausführungen in den vorhergehenden Anmerkungen befanden sich aber Lücken in der Gesetzgebung über Grund- und Quellwasser nicht. Bei der Vorliebe der deutschen Juristen aber für das klassisch durchentwickelte und scharf logische römische Recht wurden überall dessen Rechtssätze angewendet. Das deutsche Recht geriet in Vergessenheit, die romanistische Literatur hielt an dem unbeschränkten Eigentum an Quelle und Grundwasser fest, die deutschrechtlichen Abhandlungen übten keinerlei Einfluß auf die Rechtsprechung aus, weil sie nur wenige deutsche Rechtsquellen nachweisen konnten. So setzte sich die römische Rechtsanschauung durch, und aus ihr heraus lassen sich alle Entscheidungen erklären, vom Urteil des Kammergerichts an im Prozeß des Müllers Arnold, das Friedrichs des Großen drastisch geäußerten Zorn erregte, bis zu den Urteilen des Reichsgerichts auch noch in der neuesten Zeit, die unser Befremden erregen, ganz besonders in der Grundwasserfrage.

Ohne Zweifel wurden die Vorschriften über die Ausschließlichkeit der Wasserbenutzung auf dem eigenen Grundstück als Härte empfunden, denn Schikane ist schwer nachweisbar, und so hat das Allgemeine Landrecht die folgenden Bestimmungen in den achten Titel des ersten Teils aufgenommen, die für Preußen die bisherigen Mißstände wenigstens zum Teil beseitigten:

§ 129, I. 8. Anlagen, durch welche der schon vorhandene Brunnen des Nachbarn verunreinigt oder unbrauchbar gemacht werden würde, sind unzulässig.

Hierzu haben aber Obertribunal und Reichsgericht mehrfach entschieden, daß Verminderung und Entziehung des Wassers durch Anlagen auf eigenem Grund und Boden nicht darunter fällt.

§ 129, I. 8. fährt fort:

Dagegen kann die Grabung eines Brunnens auf eigenem Grund und Boden, wengleich dadurch dem Nachbar sein Wasser entzogen wird, dem Eigentümer nicht gewehrt werden, sobald der Nachbar desfalls kein besonderes Untersagungsrecht erlangt hat.

§ 131, I. 8. Doch darf innerhalb dreier Werkschuhe (= 0,939 m) von des Nachbarns Grenze kein neuer Brunnen angelegt werden.

§ 132, I. 8. Überhaupt darf unter des Nachbarns Grunde niemand graben.

Hierher gehört auch die Vorschrift des § 246, Teil II, Titel 15, daß „einer schon vorhandenen Mühle ein Nachbar, durch dessen Grundstück das zu ihrem Betriebe nötige Wasser fließt, dasselbe nicht entziehen darf“. Liegt also die Mühle dem Quellgrundstück benachbart, so darf der Quelleneigentümer das ihm sonst zustehende Recht der ausschließlichen Ausnutzung der Quelle zuungunsten des Müllers nicht oder doch nur beschränkt ausüben. Der Unterlieger einer Quelle wird jedoch das Recht auf den Zufluß einer Quelle vielfach durch Vereinbarung mit deren Eigentümer, in den weitaus meisten Fällen durch Verjährung, besonders durch die sogenannte unvordenkliche, erworben haben¹⁾. Auf das Grundwasser trifft dies jedoch nicht zu.

Das erste große wasserrechtliche Gesetz Preußens vom 23. Februar 1843 hat über Quellen und Grundwasser keine näheren Bestimmungen getroffen. Nach § 1 des Gesetzes „ist jeder Uferbesitzer an Privatflüssen (Quellen), sofern nicht jemand das ausschließliche Eigentum des Flusses hat, berechtigt, das an seinem Grundstücke vorüberfließende

¹⁾ Als Voraussetzung für die heute noch gegebene Möglichkeit der Quellenersitzung stellt das Reichsgericht in einer Entscheidung des V. Zivilsenats vom 18. Juni 1913 das Erfordernis auf, daß die Anlagen, die den Fall und den Einlauf des Wassers auf das Grundstück des ableitenden Ersitzers befördern sollen, offen sein, also derart sein müssen, daß daraus die Absicht, ein Recht zu erwerben, ersichtlich ist. („Recht.“ 1913 Sp. 532.)

Wasser unter den in den §§ 13 ff. des Gesetzes enthaltenen näheren Vorschriften (Zurückleitung, Verbot der Verunreinigung usw.) zu seinem besonderen Vorteile zu benutzen“.

Neben dem gemeinen Recht und dem allgemeinen Landrecht hat der Code civil, dessen Vorschriften noch in Baden (jetzt fast ganz durch das Badische Wassergesetz aufgehoben), Elsaß-Lothringen und Teilen der Rheinprovinz gelten, einige Vorschriften gegeben, die in den Artikeln 641 bis 643 enthalten sind. Nach ihnen darf der Eigentümer nur dann unbeschränkt über das Quellwasser verfügen, wenn nicht ein dem Unterlieger durch Rechtstitel oder Verjährung zustehendes Recht auf ungehinderten Ablauf des Wassers vorliegt, oder die Quelle den Bewohnern einer Gemeinde das notwendige Trinkwasser liefert.

Fast alle Bundesstaaten und Provinzen haben ihre eigenen Wasserordnungen, die aber sämtlich wenigstens in den Grundzügen übereinstimmen; sie enthalten überwiegend die deutschen Wasserrechtsgrundsätze. Das Grund- und Quellwasser wird in ihnen aber fast gar nicht erwähnt.

Alle diese landesrechtlichen Bestimmungen sind, soweit sie sich auf preußisches Gebiet beziehen, durch das inzwischen in Kraft getretene Preußische Wassergesetz vom 7. April 1913 aufgehoben. Wie viele ihrer waren, ersieht man aus § 399 des Gesetzes, der entgegenstehende Bestimmungen von 79 derartigen Verordnungen aufhebt.

Reichsgesetzliche Bestimmungen über das Wasserrecht befinden sich nur im Einführungsgesetz zum Bürgerlichen Gesetzbuch:

Artikel 65. Unberührt bleiben die landesgesetzlichen Vorschriften, welche dem Wasserrecht angehören, mit Einschluß des Mühlenrechtes, des Flößrechts und des Flößereirechtes sowie der Vorschriften zur Beförderung der Bewässerung und Entwässerung der Grundstücke und der Vorschriften über Anlandungen, entstehende Inseln und verlassene Flußbetten.

Artikel 66. Unberührt bleiben die landesgesetzlichen Vorschriften, welche dem Deich- und Sielrecht angehören.

Aus dem Bürgerlichen Gesetzbuch selbst mögen die Bestimmungen hervorgehoben werden, die in das Wasserrecht hineingreifen und auch von der Landesgesetzgebung nicht geändert werden dürfen:

§ 903 BGB. Der Eigentümer einer Sache kann, soweit nicht das Gesetz oder Rechte Dritter entgegenstehen, mit der Sache nach Belieben verfahren und andere von jeder Einwirkung ausschließen.

§ 904 BGB. Der Eigentümer einer Sache ist nicht berechtigt, die Einwirkung eines anderen auf die Sache zu verbieten, wenn die Einwirkung zur Abwendung einer gegenwärtigen Gefahr notwendig und der drohende Schaden gegenüber dem aus der Einwirkung dem Eigentümer entstehenden Schaden unverhältnismäßig groß ist. Der

Eigentümer kann Ersatz des ihm entstehenden Schadens verlangen (Notstand).

§ 905 BGB. Das Recht des Eigentümers eines Grundstücks erstreckt sich auf den Raum über der Erdoberfläche und auf den Erdkörper unter der Oberfläche. Der Eigentümer kann jedoch Einwirkungen nicht verbieten, die in solcher Höhe oder Tiefe vorgenommen werden, daß er an der Ausschließung kein Interesse hat.

§ 907. Der Eigentümer eines Grundstücks kann verlangen, daß auf den Nachbargrundstücken nicht Anlagen hergestellt oder gehalten werden, von denen mit Sicherheit vorauszusehen ist, daß ihr Bestand oder ihre Benutzung eine unzulässige Einwirkung auf sein Grundstück zur Folge hat. Genügt eine Anlage den landesgesetzlichen Vorschriften, die einen bestimmten Abstand von der Grenze oder sonstige Schutzmaßregeln vorschreiben, so kann die Beseitigung der Anlage erst verlangt werden, wenn die unzulässige Einwirkung tatsächlich hervortritt.

Bäume und Sträucher gehören nicht zu den Anlagen im Sinne dieser Vorschriften.

Im Anschluß hieran seien auch die Vorschriften des BGB. erwähnt, die dem Eigentümer gegen widerrechtliche Eingriffe in sein Wasserrecht Schutz verleihen.

§ 226 BGB. Die Ausübung eines Rechtes ist unzulässig, wenn sie nur den Zweck haben kann, einem anderen Schaden zuzufügen (Schikaneverbot).

§ 823 BGB. Wer vorsätzlich oder fahrlässig . . . das Eigentum oder ein sonstiges Recht eines anderen widerrechtlich verletzt, ist dem anderen zum Ersatze des daraus entstehenden Schadens verpflichtet.

Die gleiche Verpflichtung trifft denjenigen, welcher gegen ein den Schutz eines anderen bezweckendes Gesetz verstößt. Ist nach dem Inhalt des Gesetzes ein Verstoß gegen dieses auch ohne Verschulden möglich, so tritt die Ersatzpflicht nur im Falle des Verschuldens ein.

§ 826 BGB. Wer in einer gegen die guten Sitten verstoßenden Weise einem anderen vorsätzlich Schaden zufügt, ist dem anderen zum Ersatze des Schadens verpflichtet.

Überschaut man nun die bisherige Wassergesetzgebung, so kann man sich vom heutigen Gesichtspunkte der Wasserbe- und -verwertung aus dem Eindruck nicht entziehen, daß alles, was an Gesetzesvorschriften bis zum Schlusse des neunzehnten Jahrhunderts erlassen ist, doch nur recht primitiver Natur ist. Der wunderbare Aufschwung, den die Landwirtschaft und vor allem die Industrie gewonnen haben, die Anforderungen, die die Versorgung gewaltiger, an einzelnen Punkten zusammengedrückter Menschenmassen mit Trink- und Wirtschaftswasser an das

Grund- und Quellwasser stellt, die Mißstände, die sich durch außergewöhnliche Inanspruchnahme des Grundwassers herausstellten, als da sind: Senkung des Grundwasserspiegels, Versiegen von Brunnen und Quellen, Trockenlegung weiter Ländereien, drängten den Gesetzgeber zur Inangriffnahme der zu einer dringenden Notwendigkeit gewordenen Regelung der Wasserrechtsfrage.

Die gewaltige Materie zuerst¹⁾ in die Fesseln des Gesetzes geschlagen zu haben, ist das Verdienst der Badischen Landesregierung.

In dem

Badischen Wassergesetz vom 26. Juni 1899

sind über Grund- und Quellwasser und seine Rechtsbeziehungen folgende Bestimmungen enthalten:

§ 4. Das Eigentumsrecht an einem Grundstück erstreckt sich, soweit nicht die Bestimmungen dieses Gesetzes oder Rechte Dritter entgegenstehen, auch auf das Wasser, welches sich auf oder unter der Oberfläche des Grundstücks befindet, insbesondere auf . . . die Brunnen und Zisternen, die Quellen, das Grundwasser.

§ 20. Die Gewässer unterliegen den für Grundstücke geltenden Vorschriften des Allgemeinen Bürgerlichen Gesetzbuchs, soweit nicht dieses Gesetz entgegensteht.

§ 21 verordnet die Anlegung von Wasserbüchern, in die die Vorschriften der Behörden in bezug auf die Wasserbenutzung, die Entwässerung und den Wasserschutz, sowie Vermerke über die durch Einigung, Urteile, privatrechtliche Titel begründeten Rechte an den Gewässern einzutragen sind. Die Einsicht in die Bücher ist jedem gestattet, der ein berechtigtes Interesse darlegt.

§ 48. Eine Wasserbenutzung oder Entwässerung kann nach Anhörung der Beteiligten von der Verwaltungsbehörde untersagt oder an beschränkende Bedingungen geknüpft werden, wenn und soweit durch die Art der Ausübung für das Gemeinwohl überwiegende Nachteile und Gefahren entstehen. Dies gilt auch für den Fall, daß durch die Ableitung von Quellen, unterirdischen Wasseradern oder durch Arbeiten zur Tieferlegung des Grundwassers einem größeren Kreise von Beteiligten das für den häuslichen und wirtschaftlichen Bedarf nötige und ohne unverhältnismäßigen Aufwand in anderer Weise nicht zu ersetzende Wasser entzogen oder wesentlich geschmälert werden würde. . . . Ist die Ablenkung der Quelle untersagt oder beschränkt worden, so ist in allen Fällen Ersatz zu leisten,

¹⁾ Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, daß Hessen bereits im Jahre 1887 und Elsaß-Lothringen im Jahre 1891 sich in einem neuen Wasserrecht ein wertvolles Werkzeug zur Hebung der Wasserwirtschaft und damit zur Förderung der gesamten Volkswirtschaft geschaffen haben. In letzterem Gesetz fehlen Vorschriften über Grund- und Quellwasser ganz, in dem ersteren sind sie sehr stiefmütterlich behandelt.

sofern nicht die an der Untersagung oder Beschränkung Beteiligten seit dreißig Jahren ununterbrochen ihren Bedarf an Wasser durch die Quelle gedeckt haben.

Württembergisches Wassergesetz vom 1. Dezember 1900

Art. 2. Diejenigen Gewässer, welche nicht unter die Bestimmungen des Art. 1 fallen (die öffentlichen Gewässer, die in natürlichem oder künstlichem Bette ständig fließenden Gewässer, sowie Seen mit Abfluß), sind vorbehaltlich der Vorschriften in Art 3 u. 4 der privatrechtlichen Verfügung des Grundeigentümers überlassen.

Dies gilt insbesondere

1. von den unterirdischen Gewässern, soweit nicht ein öffentliches Gewässer in seiner Fortsetzung streckenweise unterirdisch fließt, sowie von den Quellen, falls diese nicht mit solcher Mächtigkeit hervorbrechen, daß ihr Ablauf sofort einen in einem Bette ständig fließenden Wasserlauf bildet;
2. von dem Wasser, welches in Teichen, Zisternen, Brunnen, Röhren oder Gruben eingeschlossen ist, sowie von dem auf einem Grundstück befindlichen Regenwasser.

Art. 3. Der Eigentümer eines Grundstücks ist, soweit nicht die Vorschrift des § 226 des Bürgerlichen Gesetzbuchs Anwendung findet (Schikaneverbot), befugt, auf seinem Grundstück Zisternen oder Brunnen anzulegen oder in anderer Weise unterirdisches Wasser zutage zu fördern, sowie das durch solche Veranstaltungen oder durch Quellen gewonnene Wasser abzuleiten. Es ist jedoch die Förderung oder Ableitung von Wasser durch die Verwaltungsbehörde zu untersagen oder zu beschränken und die Beseitigung der hierfür getroffenen — oder falls eine Quelle oder unterirdische Wasserader zufällig eröffnet worden ist, die Beseitigung der zu dieser Eröffnung bewirkten — Veranstaltungen anzuordnen, wenn und soweit durch eine solche Veränderung des betreffenden Zustandes ein erhebliches öffentliches Interesse verletzt wird. Das Vorhandensein eines solchen an der Untersagung oder Beschränkung kann insbesondere dann angenommen werden, wenn einer Gemeinde das für den allgemeinen Gebrauch unentbehrliche Trink- oder Nutzwasser ohne ausreichenden Ersatz entzogen oder der Wasserstand eines öffentlichen Gewässers so sehr beeinträchtigt wird, daß hierdurch Wassernutzungsberechtigte in dem ihnen seit langer Zeit zustehenden Wasserbezug oder Grundeigentümer in beträchtlichem Maße als gefährdet erscheinen. In letzterem Falle kann die Verwaltungsbehörde von der Untersagung oder Beschränkung absehen, wenn den geschädigten oder mit Schaden bedrohten Wassernutzungsberechtigten oder Grundeigentümern von demjenigen, dem die Veränderung Vorteil bringt, eine nach dem billigen Ermessen der

Verwaltungsbehörde angemessene Entschädigung gewährt oder Sicherheit geleistet wird.

Wird unterirdisches Wasser, das aus einem öffentlichen Gewässer stammt, in einer solchen Menge zutage gefördert, daß hierdurch Wassernutzungsberechtigte eine erhebliche Schädigung erfahren, so kann diese Förderung untersagt und die Wiederherstellung des früheren Zustandes angeordnet werden.

Abs. 4 dieses Artikels regelt die Entschädigung in solchen Fällen.

Art. 6. Der natürliche Abfluß des aus geschlossenen Gewässern sowie sonstigen in Gräben oder außerhalb solcher (wild) ablaufenden Wassers darf nicht zum Nachteil des höher liegenden Grundstücks gehindert werden. Ebensowenig darf zum Nachteil des tiefer liegenden Grundstücks dem Wasser ein verstärkter oder der Richtung nach veränderter Abfluß gegeben werden. Den Abfluß einer künstlich erschlossenen Quelle aufzunehmen, ist der Eigentümer des tiefer liegenden Grundstücks nicht verpflichtet.

Das Sächsische Wassergesetz vom 12. März 1909

§ 1 Abs. 2. Die Benutzung und die Unterhaltung

1. der unterirdischen Gewässer (Grundwässer),
2. der Quellen und der Abflüsse von den Quellen fließender Gewässer, solange sie noch nicht das Ursprungsgrundstück oder das damit in natürlichem oder wirtschaftlichem Zusammenhang stehende Besitztum des Eigentümers dieses Grundstücks dauernd verlassen haben,
3. . . .

unterliegen der Aufsicht des Staates nur insoweit, als das in diesem Gesetz besonders bestimmt ist (§§ 40—42, 75, 151, 153, 154).

§ 4. Das Eigentum an einem Grundstück erstreckt sich auf die im § 1 Abs. 2 Ziffer 1 und 2 bezeichneten Wässer.

§ 40. Bei den in § 1 Absatz 2 bezeichneten Wässern bedarf es der Erlaubnis der Verwaltungsbehörde:

1. wenn die Wassermenge in einem fließenden Gewässer dadurch dauernd gemindert oder anderen Grundstücken dadurch Wasser entzogen wird, daß entweder
 - a) solches Wasser zur Versorgung einer Gemeinde mit Wasser oder zu dem Betrieb eines Unternehmens abgeleitet werden soll, das sich nicht auf dem Grundstücke des . . . Berechtigten oder dem damit in natürlichem oder wirtschaftlichem Zusammenhang stehenden Besitztume dieses Berechtigten befindet, oder
 - b) eine schon vorhandene Ableitung zu einem der unter a bezeichneten Zwecke erst künftig benutzt werden soll,
2. wenn Stoffe eingeführt werden sollen, wodurch der Gemeingebrauch oder besondere Benutzungen eines fließenden Gewässers oder die

Benutzung einer Wasserleitung oder eines Brunnens beeinträchtigt werden, oder wenn Maßnahmen getroffen werden sollen, die eine solche Einführung zur Folge haben können.

§ 41. In den Fällen des § 40 darf die Erlaubnis nur versagt werden, wenn durch die Ableitung oder die Einführung das Gemeinwohl gefährdet würde.

Wird durch Verminderung der Wassermenge eines fließenden Gewässers oder durch Einführung von Stoffen der Gemeingebrauch eines fließenden Gewässers, oder werden im Falle des § 40 Absatz 1 Ziffer 2 die dort bezeichneten Benutzungen erheblich beeinträchtigt oder wird im Falle des § 40 Absatz 1 Ziffer 1 anderen Grundstücken Wasser entzogen, so hat die Verwaltungsbehörde dem Unternehmer die Herstellung von Vorkehrungen zur Abwendung der Nachteile und, soweit solche Vorkehrungen nicht oder nur mit unverhältnismäßigen Kosten ausführbar sein würden, Entschädigung der Beteiligten in Geld aufzuerlegen.

§ 50 sieht die Anlegung, Einrichtung und Benutzung von Wasserbüchern vor.

§ 75. Die Eigentumswässer und deren Betten und Behälter, sowie die Anlagen zu ihrer Benutzung, insbesondere Quellen, Brunnen, Teiche, Zisternen, Brücken, Wassergruben und Rohrleitungen müssen in solchem Stande erhalten werden, daß eine Beeinträchtigung oder Gefährdung der öffentlichen Sicherheit und Wohlfahrt vermieden wird.

Diese Verpflichtung liegt dem Grundeigentümer, bei Leitungen oder sonstigen Anlagen auf fremden Grundstücken dem Leitungsberechtigten oder dem Besitzer der Anlage ob.

§ 143. Das Enteignungsrecht wird vom Ministerium des Innern verliehen für Anlagen

1. . . .
2. zur Anlegung von Wasserleitungen für Ortschaften oder Ortsteile,
3. . . .
4. zur Zurückhaltung des Wassers im Quell- oder Niederschlagsgebiet.

§ 153 betrifft die Inanspruchnahme des im Eigentum Dritter stehenden Wassers in Fällen gemeiner dringender Gefahr und die Regelung der Entschädigung.

§ 154 betrifft den Rechtsweg und die Rechtsmittel.

§§ 166, 167 enthalten die Strafbestimmungen.

Das Wassergesetz für das Königreich Bayern vom 23. März 1907

Art. 16. Soweit nicht andere Rechtsverhältnisse bestehen, erstreckt sich das Eigentumsrecht an einem Grundstück auf das Wasser, welches

1. auf dem Grundstücke in Seen, Weihern (Teichen), Zisternen, Brunnen und anderen Behältern, in künstlich angelegten Wasserläufen, Kanälen und Gräben sich befindet,
2. auf dem Grundstücke unterirdisch vorhanden ist (Grundwasser),
3. darauf entspringt (Quelle), oder sich natürlich sammelt, solange es von dem Grundstücke nicht abgeflossen ist.

Hinsichtlich der Solquellen und der Grubenwässer finden die Bestimmungen des Berggesetzes Anwendung.

Art. 17. Der Eigentümer ist nicht befugt, dem auf seinem Grundstücke entspringenden oder darauf sich natürlich sammelnden Wasser zum Ablauf auf fremdes Eigentum eine dieses belästigende andere Leitung, als wohin nach der Beschaffenheit des Bodens der natürliche Lauf geht, oder eine belästigende größere als die natürliche Stärke zu geben.

Absatz 2 und 3 regeln diese Vorflut näher.

Nach Artikel 18 kann der Ablauf einer Quelle aus Gründen des Gemeinwohls von der Verwaltungsbehörde eventuell gegen Entschädigung bei Benachteiligung eines Berechtigten anders geordnet werden.

Art. 19. Die Zutageförderung oder Ableitung von Grund- und Quellwasser, sowie die Änderung am Abfluß eines Sees oder Weihers unterliegen der Erlaubnis der Verwaltungsbehörde. Diese Erlaubnis ist nicht erforderlich für die Anlage von Brunnen, welche vorübergehenden Zwecken oder dem eigenen Haus- und Wirtschaftsbedarf, einschließlich des Bedarfs für landwirtschaftliche Nebenbetriebe dienen.

Das Preußische Wassergesetz vom 7. April 1913

Das 401 Paragraphen umfassende Gesetz regelt die Wasserrechtsverhältnisse für das gesamte Staatsgebiet einheitlich und erschöpfend in elf Abschnitten. Der erste Abschnitt spricht in sieben Titeln über den Begriff und die Arten der Wasserläufe, regelt deren Eigentumsverhältnisse, ihre Benutzung durch Gemeingebrauch und durch den Eigentümer, enthält Bestimmungen über Verleihung und Ausgleichung, Stauanlagen und Talsperren, Unterhaltung der Wasserläufe und ihrer Ufer, über deren Ausbau und die Beteiligung des Staates und der Provinzen an dem Ausbau der Wasserläufe zweiter Ordnung, sowie schließlich über die Einrichtung und Führung von Wasserbüchern. Der zweite Abschnitt regelt in nur zehn Paragraphen die Rechtsverhältnisse derjenigen Gewässer, die nicht zu den Wasserläufen gehören, darunter des Grund- und Quellwassers. Er interessiert uns hier allein und ist im folgenden wiedergegeben. Der dritte Abschnitt spricht in sieben Titeln von der Bildung von Wassergenossenschaften, deren Satzung und Auflösung, sowie von den bereits bestehenden Genossenschaften. Der

vierte Abschnitt mit sieben Titeln ist den Vorschriften über die Verhütung von Hochwassergefahr, über Seedeiche und Deichverbände gewidmet. Der fünfte bis neunte Abschnitt enthalten die Vorschriften über Zwangsrechte, Wasserpolizeibehörden, Schauämter, Wasserbeiräte und das Landeswasseramt, der zehnte Abschnitt Strafbestimmungen und schließlich der elfte Übergangs- und Schlußbestimmungen. Aus dem letzten ist hervorzuheben der § 400, der Bestimmungen über den Zeitpunkt des Inkrafttretens des Gesetzes enthält. Danach treten mit dem Tage der Verkündung in Kraft die §§ 1, 2, 4 bis 6 und die §§ 152 bis 175, 383, soweit es sich um den Ausbau von Wasserläufen erster Ordnung handelt. Im übrigen soll das Inkrafttreten durch Königliche Verordnung bestimmt werden. Diese ist am 13. April 1914 ergangen und bestimmt als Zeitpunkt des Inkrafttretens des Gesetzes den 1. Mai 1914.

Der den folgenden Paragraphen beigegebene Kommentar ist im wesentlichen der Begründung des Regierungsentwurfs und bei denjenigen Bestimmungen, die in den beiden Häusern des Landtages ergänzend oder abändernd hinzugetreten sind, den Protokollen über die Kommissionsberatungen und Plenarsitzungen entnommen.

Letztinstanzliche Entscheidungen des Oberverwaltungsgerichts, die wohl in erster Linie zu erwarten sind, und des Reichsgericht sind bisher noch nicht ergangen.

Preußisches Wassergesetz vom 7. April 1913

Zweiter Abschnitt.

Gewässer, die nicht zu den Wasserläufen gehören

§ 196

Der Eigentümer kann über das auf oder unter der Oberfläche befindliche Wasser verfügen, soweit sich nicht aus diesem Gesetz, insbesondere aus den Vorschriften über die Wasserläufe und ihre Benutzung, ein anderes ergibt oder Rechte Dritter entgegenstehen.

Entsprechende Bestimmungen in Baden: § 4, § 20; Württemberg: Art. 2; Sachsen: § 1, § 4; Bayern: Art 16; Österreich: § 3.

Das Gesetz steht bei der Behandlung der nicht zu den Wasserläufen gehörenden Gewässer insofern auf dem Boden des geltenden Rechts, als es dem Eigentümer des Grundstücks, auf oder unter dessen Oberfläche sich diese Gewässer befinden, grundsätzlich das freie Verfügungsrecht über sie zuspricht und dieses Verfügungsrecht nur aus Gründen der Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit Beschränkungen unterwirft. § 196 hebt zur Vermeidung von Zweifeln hervor, daß der Grundeigentümer über das unterirdische Wasser nur insoweit verfügen darf, als nicht die Vorschriften über die Wasserläufe und deren Benutzung

entgegenstehen. Der Grundeigentümer darf daher bei der Verfügung über sein Grundwasser nicht in die dem Eigentümer eines Wasserlaufes zustehenden Rechte eingreifen: Er darf einen Wasserlauf, dessen Eigentümer er nicht ist, nur insoweit benutzen, als nach den Vorschriften über den Gemeingebrauch (§ 25 und folgende: Baden, Waschen, Schöpfen mit Handgefäßen, Viehtränken, Schwimmen, Kahnfahren, Eislaufen, Entnahme von Wasser und Eis für den Hausgebrauch usw. mit den daselbst aufgeführten Einschränkungen) jedermann dazu berechtigt ist. Vor allem kommt die Ableitung von Wasser in Betracht, die unmittelbare sowohl wie die mittelbare. Die Ableitung über die Entnahme für den Haus- und Wirtschaftsgebrauch hinaus ist nur dem Eigentümer des Wasserlaufes gestattet. Dieser findet dabei seine Schranken in den §§ 40 und 43 Abs. 1. Die unmittelbare Ableitung geschieht durch offene Anlagen, Röhrenleitungen, Pumpanlagen usw. Die mittelbare Ableitung von Wasser aus einem Wasserlaufe kann besonders auf unterirdischem Wege geschehen, freilich muß in diesem Falle das aus dem Untergrunde zutage geförderte Wasser auch Wasser aus dem Wasserlaufe sein. Dies wird dann leicht nachweisbar sein, wenn in der Nähe eines Wasserlaufes bei durchlässigem Boden Wasser aus dem Untergrunde gepumpt wird, das sich sofort durch nachströmendes oder nachsickerndes Wasser aus dem Flußlaufe ergänzt. Eine derartige Ableitung ist dem Grundeigentümer als solchem untersagt. Der Eigentümer des Wasserlaufes kann bei derartiger Wasserentziehung auf Unterlassung und, wenn die Entziehung vorsätzlich oder fahrlässig geschieht, auf Ersatz eines ihm etwa entstehenden Schadens klagen und zwar auf Grund der §§ 823 ff. des Bürgerlichen Gesetzbuchs. Auch die Wasserpolizeibehörde ist befugt, nach § 21 des Gesetzes gegen eine derartige unberechtigte Benutzung des Wasserlaufes einzuschreiten. Will der Grundeigentümer das Recht zur Ableitung von Wasser aus dem Wasserlaufe erwerben, so muß er den Weg der Verleihung aus § 46 beschreiten. Auch das bisher geltende Recht gestattete nur dem Uferbesitzer, nicht den andern Grundeigentümern, das Wasser des Flusses mittelbar unter gewissen Beschränkungen abzuleiten. (§ 1, § 13 Abs. 1 Nr. 2 des Privatflußgesetzes vom 28. Februar 1843).

Unter die Gewässer dieses Abschnitts sind nur diejenigen Quellen zu rechnen, welche nicht alsbald von der Ursprungsstelle in einem festen Gerinne abfließen.

§ 197

(1) Der Eigentümer eines Grundstücks darf den Ablauf des oberirdisch außerhalb eines Wasserlaufes abfließenden Wassers nicht künstlich so verändern, daß die tiefer liegenden Grundstücke belästigt werden.

(2) Unter dieses Verbot fällt nicht eine Veränderung des Wasserablaufs infolge veränderter wirtschaftlicher Benutzung des Grundstücks.

Entsprechende Bestimmungen in Baden § 11; Württemberg Art. 6; Sachsen § 13; Bayern Art. 17³.

Unter dem oberirdisch außerhalb eines Wasserlaufs abfließenden Wasser ist alles Wasser zu verstehen, das aus dem Boden herausquellend oder aus der Atmosphäre niedersinkend oberirdisch abfließt, ohne einen Wasserlauf im Sinne des § 1 des Wassergesetzes zu bilden. In der Regel wird es sich um Wasser handeln, das ohne festes Bett dem natürlichen Gefälle folgt. Doch gehört auch Wasser dazu, das in festen Gräben fließt, sofern diese nicht der Vorflut der Grundstücke verschiedener Eigentümer dienen (§ 1 Abs. 2), sich also nicht als Wasserläufe im Sinne des § 1 darstellen.

Das Verbot des Abs. 1 untersagt dem Grundstückseigentümer, durch künstliche Vorrichtungen den natürlichen Ablauf zum Nachteile der tieferliegenden Grundstücke zu verstärken oder ihm eine Richtung zu geben, die das tieferliegende Grundstück mehr als bisher belästigt. Diese Vorschrift entspricht den allgemeinen Bestimmungen des Bürgerlichen Gesetzbuchs (§ 906 ff.) und findet sich, wie oben angegeben, auch in den meisten neueren Wassergesetzen anderer Bundesstaaten.

Ändert sich der natürliche Ablauf des Wildwassers durch natürliche Ereignisse, so hat der Grundeigentümer, dem die Veränderung zum Nachteil gereicht, diesen zu tragen. Das Recht, den früheren Zustand wieder herzustellen, gibt ihm das Preußische Wassergesetz nicht, im Gegensatz zu den oben angeführten Gesetzen anderer Bundesstaaten, die, dem gemeinen Recht folgend, dem Grundstückseigentümer diese Befugnis zugestehen.

Die Rücksichtnahme auf den Unterlieger kann natürlich nicht soweit führen, daß der Oberlieger gehindert wird, in wirtschaftlicher Beziehung sein Grundstück nach Kräften auszunutzen. Ändert sich also der Ablauf des Wildwassers dadurch, daß der Oberlieger aus Acker Wiese, aus Wiese eine Erlenpflanzung oder umgekehrt macht, so hat der Unterlieger weder ein Untersagungsrecht, auch kann er einen Anspruch auf Schadenersatz geltend machen. Dies besagt Abs. 2 mit seiner Ausnahme von dem Verbot des Abs. 1.

§ 198.

(1) Der Eigentümer eines Grundstücks ist berechtigt, das oberirdisch außerhalb eines Wasserlaufs von einem anderen Grundstück abfließende Wasser von seinem Grundstück abzuhalten.

(2) In den Hohenzollerschen Landen, in der Provinz Hessen-Nassau, in denjenigen Gebietsteilen der Rheinprovinz, in denen bisher das französische oder das gemeine Recht galt, und in der Provinz Schleswig-Holstein ist diese Vorschrift nur mit der Maßgabe anzuwenden, daß der Eigentümer eines landwirtschaftlich benutzten Grundstücks verpflichtet ist, den infolge der natürlichen Bodenverhältnisse stattfindenden Wasserablauf von einem anderen landwirtschaftlich benutzten Grundstück zu dulden.

Entsprechende Bestimmungen in Baden § 11 Abs. 1; Württemberg Art. 6 Abs. 1; Sachsen § 11; Bayern Art. 17 Abs. 2.

Die Bestimmungen des allgemeinen Landrechts verpflichten den Unterlieger nicht zur Aufnahme des ihm wild zufließenden Wassers. Er kann sich dagegen durch Anlagen auf seinem Grundstück schützen und er braucht es nur dann aufzunehmen, wenn der Oberlieger es durch Veranstaltung auf eigenem Grund und Boden nicht abführen kann und es ihm selbst nicht etwa durch natürliche Hindernisse unmöglich wird, das Wasser weiterzuleiten. Er muß es aber, auch wenn er es nicht weiter ableiten kann, dann aufnehmen, wenn der für ihn entstehende Schaden durch den Vorteil des Oberliegers überwogen wird und letzterer zur Vergütung des Schadens bereit und vermögend ist (§§ 102 bis 105 A. L. R. I. 8).

Die seit mehr als 100 Jahren praktisch bewährte Kernvorschrift des A. L. R. enthält der Absatz 1 dieses §.

Die entgegenstehende Bestimmung des gemeinen und rheinischen Rechts, dem die modernen Wassergesetze der oben genannten Bundesstaaten gefolgt sind, legt dem Grundeigentümer die Pflicht auf, dem Wildwasser den Übertritt auf sein Grundstück zu gestatten. Da in den im Absatz 2 genannten Gebietsteilen eine außerordentliche Zersplitterung des Grundbesitzes besteht und bei den vielen Gebirgslagen in diesen Gegenden die glatte Durchführung des landrechtlichen Grundsatzes mit großen Nachteilen und Schwierigkeiten verbunden wäre, so ist für die genannten Bezirke, in denen bisher das gemeine und französische Recht galt, dieses bisherige Recht aufrechterhalten, zumal es sich hierbei um berechnete Eigentümlichkeiten handelt, deren Beseitigung, lediglich im Interesse einer Vereinheitlichung des Rechts, sich nicht empfohlen hätte (Kommissionsbericht des Abg.-Hauses S. 305 und 306).

§ 199

(1) Der Eigentümer eines nicht zu den Wasserläufen gehörenden Sees ist nicht befugt, den See abzulassen oder seinen Wasserspiegel erheblich zu senken, wenn dadurch der Grundwasserstand zum Nachteil anderer verändert wird, es sei

denn, daß es zur gewöhnlichen Bodenentwässerung erforderlich ist.

(2) Es ist ihm ferner nicht gestattet, Wasser oder andere flüssige Stoffe in den See einzuleiten oder feste oder schlammige Stoffe in den See einzubringen, durch die das Wasser zum Nachteil anderer verunreinigt wird. Der § 23 Abs. 1, 3 und 4 ist entsprechend anzuwenden, auf den Eigentümer jedoch nur dann, wenn einem anderen ein Recht an dem See zusteht oder wenn durch die Einleitung andere Gewässer verunreinigt werden können.

(3) Ob und in welchem Umfange der bisher übliche Gemeindegebrauch im Falle des Bedürfnisses auch fernerhin zulässig ist, bestimmt der Regierungspräsident. Der Eigentümer des Sees ist vorher zu hören. Der Regierungspräsident kann die getroffene Bestimmung jederzeit widerrufen. Die §§ 36 bis 39 sind entsprechend anzuwenden.

Entsprechende Bestimmungen in Sachsen § 40 Ziffer 2, Österreich §§ 12, 31, 35, Schweiz Art. 706, 707, 709.

Verboten wird in Absatz 1 das Ablassen und jede erhebliche Senkung des Sees durch dessen Eigentümer, wenn dadurch der Grundwasserstand zum Nachteil anderer geändert wird. Bei der Senkung des Wasserspiegels wird es sich vornehmlich um die Entnahme erheblicher Wassermengen durch Schöpf- oder Pumpwerke zu landwirtschaftlichen oder industriellen Zwecken handeln. Würde das Gesetz zulassen, daß der Eigentümer eines Sees durch uneingeschränkte Benutzung des Wassers die benachbarten Grundstücke nach Belieben schädigte, ohne deren Eigentümern einen Anspruch auf Ersatz des ihnen zugefügten Schaden zu geben, so wäre das unbillig. Auch kann es vom volkswirtschaftlichen Standpunkte aus nicht erwünscht sein, wenn durch das Ablassen eines solchen Gewässers oder durch die Senkung seines Wasserspiegels für die Zwecke eines vielleicht unbedeutenden Unternehmens die umliegenden Grundstücke auf weite Strecken entwertet würden. Andererseits darf der Eigentümer des Sees nicht daran gehindert werden, seine eigenen Ländereien von schädlicher Nässe zu befreien und für die landwirtschaftliche oder sonstige Benutzung brauchbar zu machen. Dies wird dem Grundeigentümer, der gleichzeitig Eigentümer eines Sees ist, den sein übriger Grundbesitz umschließt, häufig nur dadurch möglich sein, daß er den Wasserspiegel des Sees senkt, um für die benachbarten Ländereien die nötige Vorflut zu erhalten. Es entspricht daher dem wiederholt zur Anwendung gebrachten Grundsatz des Wassergesetzes, die zur Benutzung des Bodens zu landwirtschaftlichen oder sonstigen Zwecken erforderlichen Maßnahmen nicht zu erschweren, wenn die Schlußbestimmung des Absatz 1 eine zur gewöhnlichen Bodenent-

wässerung erforderliche Senkung des Wasserspiegels von dem Verbote ausnimmt.

Die Kommission des Herrenhauses stellte fest, daß auf das Ablassen künstlicher Fischteiche der Absatz 1 keine Anwendung finden solle. Dies dürfte aber auch aus § 379 Abs. 6 (erster § der Übergangs- und Schlußbestimmungen) hervorgehen, der bestimmt, daß „eine Veränderung des Wasserstandes ferner im bisherigen Umfange gestattet ist, wenn dieselbe durch Einleitung von Wasser aus Seen und Teichen, die der Fischerei dienen, geschieht, sofern diese zur Grundräumung, Ansamung oder Abfischung abgelaßen werden“.

Nach Absatz 2 darf der Eigentümer in den ihm gehörenden See weder Wasser noch andere flüssige Stoffe, weder feste noch schlammige Bestandteile einleiten oder hineinbringen, damit das Seewasser nicht verunreinigt und so für daran Nutzungsberechtigte unbrauchbar wird, mag es sich um fremde Fischereirechte, mehrere Miteigentümer oder Rechte solcher Personen handeln, denen ein servitutarisches Recht an dem See zusteht. Will der Eigentümer des Sees in solchen Fällen, also wenn einem anderen ein Recht an dem See zusteht oder wenn durch die Einleitung oder Einbringung andere Gewässer verunreinigt werden können, derartige Veranstaltungen vornehmen, so muß er dies nach § 23 Abs. 1 der Wasserpolizeibehörde anzeigen, die die Einleitung unter Angabe von Gründen untersagt, wenn polizeiliche Rücksichten entgegenstehen; anderenfalls hat sie dem Anzeigenden mitzuteilen, daß von Polizei wegen keine Bedenken gegen die Einleitung zu erheben seien, und dieses in ortsüblicher Weise bekannt zu machen. Bevor die Mitteilung zugestellt ist oder bevor die von der Wasserpolizeibehörde zur Beseitigung ihres Widerspruchs etwa vorgeschlagenen Vorkehrungen getroffen sind, ist die Einleitung nicht zulässig. Diese Vorschrift des § 23 ist aber nicht anzuwenden, wenn das Recht zur Einleitung durch Verleihung erworben ist oder beim Inkrafttreten des Gesetzes besteht und — zweite Voraussetzung — nach den Übergangsbestimmungen des Gesetzes in §§ 379 bis 381 aufrecht erhalten bleibt, oder wenn die Einleitung von einer anderen zuständigen Polizeibehörde zugelassen oder nach der Gewerbeordnung (§§ 16—25) gestattet ist.

Jede Zuwiderhandlung des Seeigentümers wird nach § 375 unter Strafe gestellt.

Gehört der See dem Eigentümer allein, steht niemand ein Recht daran zu und können andere Gewässer nicht verunreinigt werden, was wohl meist bei abflußlosen, ringsum von den Grundstücken desselben Eigners umgebenen Seen der Fall sein wird, so ist der Eigentümer zu der Einleitung nach Absatz 2 ohne weiteres und ohne vorgängige Anzeige berechtigt.

Der Absatz 3 ist vom Abgeordnetenhouse der Regierungsvorlage hinzugefügt, da sich in denjenigen Rechtsgebieten, in welchen das Preußische Landrecht nicht gilt, auch an derartigen Seen ein Gemeingebrauch — Begriff des Gemeingebrauchs siehe die Anmerkung zu § 196 — gebildet haben kann. Privatrechte zur Benutzung eines solchen Sees, die auf Vertrag, Ersitzung oder sonstigen besonderen Titeln beruhen, werden vom Gesetze nicht berührt (Kommissionsbericht des Herrenhauses Seite 52).

§ 200

(1) Der Eigentümer eines Grundstücks darf das unterirdische Wasser zum Gebrauch oder Verbräuche nicht dauernd in weiterem Umfang als für die eigene Haushaltung und Wirtschaft (§ 25 Abs. 4) zutage fördern, wenn dadurch

1. der Wassergewinnungsanlage oder der benutzten Quelle eines anderen das Wasser entzogen oder wesentlich geschmälert oder
2. die bisherige Benutzung des Grundstücks eines anderen erheblich beeinträchtigt oder
3. der Wasserstand eines Wasserlaufs oder eines Sees (§ 199) derart verändert wird, daß andere in der Ausübung ihrer Rechte daran beeinträchtigt werden.

(2) Den Geschädigten steht kein Anspruch auf Unterlassung zu, wenn der aus der Zutageförderung zu erwartende Nutzen den ihnen erwachsenden Schaden erheblich übersteigt oder wenn das Unternehmen, für das die Zutageförderung erfolgt, dem öffentlichen Wohle dient. Sie können jedoch die Herstellung von Einrichtungen fordern, durch die der Schaden verhütet oder ausgeglichen wird, wenn solche Einrichtungen mit dem Unternehmen vereinbar oder wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Soweit der Schaden nicht verhütet oder ausgeglichen werden kann, ist insofern Schadensersatz zu leisten, als die Billigkeit nach den Umständen eine Entschädigung erfordert.

(3) Die Entschädigung kann, wenn der Unternehmer dies beantragt, auch in wiederkehrenden Leistungen bestehen. Der § 51 Abs. 2 Satz 2 ist entsprechend anzuwenden.

Entsprechende Bestimmungen Baden § 48, Württemberg Art. 3, 4, Sachsen §§ 40, 41, Bayern Art. 19, Österreich §§ 10ff., Schweiz Art. 706 ff.

Der Absatz 1 des § 200 bedeutet einen scharfen Eingriff in die bisherigen Rechte des Grundstückseigentümers und eine vollständige Umwälzung des bisher geltenden Grundwasserrechts. Wie bereits ausgeführt, war der Grundstückseigentümer fast nicht in dem Verfügungsrecht über das in seinem Eigentum stehende auf oder unter der Ober-

fläche seines Grundstücks befindliche Wasser behindert. Er durfte es ganz nach Belieben gebrauchen und verbrauchen, zutage fördern und ableiten, wobei es gleichgültig war, ob dadurch einer Quelle oder einem bereits vorhandenen Brunnen eines anderen das Wasser entzogen wurde oder ob fremde Grundstücke durch die Veränderung des Grundwasserstandes völlig entwertet wurden. Daß diese Zustände das Rechtsempfinden in keiner Weise widerspiegeln und in hohem Maße den Interessen der Allgemeinheit widerstritten, ist bereits erwähnt worden.

Die Bedeutung des Grundwassers für die allgemeine Wasserwirtschaft ist in den letzten Jahrzehnten fortgesetzt gewachsen. In demselben Maße, in dem der Wasserbedarf für die gewaltig emporstrebende Industrie und für die immer mehr anwachsenden Großstädte sich steigerte und häufig weit über die aus den benachbarten Wasserläufen verfügbare Wassermenge hinausging, hat die Zutageförderung unterirdischen Wassers zu gewerblichen Zwecken sowie zur Trinkwasserversorgung zugenommen. Bei dem unmittelbaren und mittelbaren Zusammenhänge der unterirdischen Wasseradern bringen aber umfangreiche Wasserentnahmen fast stets eine Veränderung des Grundwasserstandes für die umliegenden Gegenden mit sich, die nicht selten zu großen Schädigungen führt. Besonders zahlreich sind die Fälle, in denen durch die Senkung des Grundwasserstandes die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlich genutzter Grundstücke erheblich herabgemindert oder bestehenden Hausbrunnen oder Wasserversorgungsanlagen das Wasser entzogen worden ist. Ja, der heute großartig entwickelten Technik ist es gelungen, die Quellen und das Grundwasser durch Sickerrohre, Sicker galerien, Stollen mit Querschlägen und pneumatischer Förderung abzufangen und die wasserführenden Bodenschichten auf kilometerweite Strecken vom Grundwasser zu befreien. Besonders die großen Städte haben unter schwerster Schädigung der Volkswirtschaft auf diese Weise förmlich Raubbau auf Grundwasser getrieben.

Immer mehr hat sich daher die Forderung einer gewissen Einschränkung der Verfügungsbefugnis des Grundeigentümers über das unterirdische Wasser zum Schutze der umliegenden Grundstücke und Brunnenanlagen aus volkswirtschaftlichen Rücksichten und Gründen der Billigkeit Geltung verschafft.

Der § 200 hat dabei darauf Bedacht genommen, daß diese Schranken nicht enger gezogen wurden, als unbedingt notwendig ist, um wirklich großen Mißständen für die Zukunft vorzubeugen, und hat so dem Eigentümer auf seinen Grundstücken die Zutageförderung von unterirdischem Wasser zum Zwecke des Gebrauchs oder Verbrauchs nur insoweit uneingeschränkt zugestanden, als das Wasser vorübergehend, oder, wenn auch dauernd, so doch nur für die eigene Haushaltung und Wirtschaft entnommen wird. Hierdurch wird selten eine größere nachhaltige

Schädigung anderer hervorgerufen werden, da sich die Entnahme immer in verhältnismäßig engen Grenzen halten wird. Wird das Wasser aber in weiterem Umfange, z. B. zur dauernden Versorgung gewerblicher Unternehmungen bestimmt, so ist die Zutageförderung verboten, wenn dadurch eine der in Absatz 1 Nr. 1—3 bezeichneten nachteiligen Folgen eintritt. In diesem Falle darf also nicht der Wassergewinnungsanlage eines anderen das Wasser entzogen oder wesentlich geschmälert werden, ebensowenig einer Quelle, die aber tatsächlich benutzt werden muß und somit ein Vermögenobjekt darstellt. Dieses unter Nr. 1 ausgesprochene Verbot entspricht ebenso wie das in Nr. 2 enthaltene, wonach die bisherige Benutzung des Grundstücks eines anderen nicht erheblich beeinträchtigt werden darf, der Billigkeit. Beide Verbote treffen die wichtigsten Fälle, in denen durch die Zutageförderung unterirdischen Wassers anderen ein Nachteil entstehen kann und in denen sich bisher die größten Mißstände aus der schrankenlosen Verfügungsfreiheit des Grundeigentümers über das unterirdische Wasser ergeben haben.

Nr. 3 verbietet, den Wasserstand eines Wasserlaufs oder eines nicht zu den Wasserläufen gehörenden Sees durch die Zutageförderung unterirdischen Wassers mittelbar derart zu verändern, daß andere in der Ausübung ihrer Rechte an dem Wasserlauf oder See beeinträchtigt werden. Zu § 196 ist besprochen, daß es dem Grundeigentümer nach den §§ 40 und 41 nicht gestattet ist, das unterirdische Wasser beliebig zutage zu fördern, wenn hierin eine Ableitung des Wassers aus einem Wasserlauf, also eine Benutzung des Wasserlaufs zu erblicken ist. Nicht selten wird jedoch die Zutageförderung unterirdischen Wassers durch die daraus folgende Veränderung des Grundwasserstandes mittelbar auf den Wasserstand eines Wasserlaufs nachteilig einwirken, ohne daß von einer Ableitung von Wasser aus dem Wasserlaufe gesprochen werden kann. Dies wird dann vorliegen, wenn durch die Herausförderung von Wasser aus einem Grundstück der Grundwasserstand auf anderen Grundstücken gesenkt und hierdurch ein Nachströmen des Wassers aus dem Wasserlaufe herbeigeführt wird, ohne daß letzteres Wasser auf jenem Grundstücke zutage gefördert wird. Denn hier kann man nicht von einem durch die Ableitung des Wassers erfolgenden Gebrauch oder Verbrauch im Sinne des § 40 Nr. 1 sprechen. Ein weiterer Fall würde gegeben sein, wenn oberhalb eines Wasserlaufs durch Zutageförderung des Grundwassers der Grundwasserstand gesenkt und dadurch mittelbar eine Senkung des Wasserstandes im Wasserlaufe herbeigeführt wird, indem diesem nunmehr weniger Wasser zufließt, als früher. Insbesondere kann die Entnahme unterirdischen Wassers in den Quellgebieten eines Wasserlaufes diese Folgen haben. Es würde zu weit gehen und einen ungerechtfertigten Eingriff in die Freiheit des Grundeigentums bedeuten, wenn man die Zutageförderung des unter-

irdischen Wassers in solchen Fällen der Ableitung von Wasser aus dem Wasserlaufe gleichstellen und dem Grundstückseigentümer ganz untersagen wollte. Andererseits kann sie ihm auch nicht bedingungslos gestattet werden.

Die Veränderung des Wasserstandes eines Wasserlaufes durch Zutageförderung unterirdischen Wassers, die sich nicht als mittelbare Ableitung des Wassers aus dem Wasserlaufe darstellt, soll nur insoweit an Einschränkungen gebunden sein, als die Zutageförderung zum Zwecke des Gebrauchs oder Verbrauchs und nicht lediglich zu vorübergehenden Zwecken, sondern dauernd sowie ferner nicht ausschließlich für die eigene Haushaltung und Wirtschaft erfolgt und als dadurch andere in der Ausübung von Rechten am Wasserlaufe beeinträchtigt werden. Der Schutz dieser Rechte ist geboten, weil sie nicht selten unter erheblichen Aufwendungen erworben oder ausgenutzt sein werden. Die nachteilige Veränderung des Wasserstandes eines nicht zu den Wasserläufen gehörenden Sees ist derjenigen eines Wasserlaufes gleich zu behandeln. Nur macht es hier naturgemäß keinen Unterschied, ob die Veränderung durch Ableitung des Wassers oder auf andere Weise herbeigeführt wird.

Keiner Einschränkung ist die Zutageförderung unterirdischen Wassers unterworfen, die nicht zum Zwecke des Gebrauchs oder Verbrauchs des Wassers erfolgt. Insbesondere ist es daher dem Grundeigentümer unbenommen, dem Boden zum Zwecke der Entwässerung, z. B. auch durch Dränierung, nach Belieben Wasser zu entziehen, mögen dadurch auch benachbarte Grundstücke in Mitleidenschaft gezogen werden (vergl. hierzu §§ 41 Abs. 3, 50 Abs. 3 Satz 3, 156 Abs. 3, 199 Abs. 1, 331 Abs. 2 Satz 2).

Da sonach die bloße Beseitigung von Wasser als ein Gebrauch oder Verbrauch nach § 200 nicht anzusehen ist, so gilt dies auch insbesondere von der Beseitigung der Grubenwässer beim Eigentümerbergbau, jedoch ist der durch die Wasserentziehung Geschädigte, da die §§ 148 ff. des Allg. Berggesetzes auch auf den Eigentümerbergbau anzuwenden sind, voll zu entschädigen.

Der § 25 Abs. 4 begrenzt den Begriff der Haushaltung und der Wirtschaft und erstrebt eine möglichst gleichmäßige Behandlung der landwirtschaftlichen und industriellen Interessen, indem einerseits der landwirtschaftliche Haus- und Hofbetrieb mit Ausschluß der landwirtschaftlichen Nebenbetriebe, andererseits kleingewerbliche Betriebe von geringem Umfange unter den Begriff der Wirtschaft gerechnet werden. Die Entnahme des Wassers zum Tränken des Viehes, zum Reinigen der Haus- und Hofräume und dergl. ist daher jedermann gestattet, nicht dagegen die Entnahme zur Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Grundstücke oder zum Gebrauch oder Verbrauch in einer

Brennerei, Stärkefabrik usw. Was unter einem kleingewerblichen Betriebe von geringerem Umfange zu verstehen ist, muß der Entscheidung im Einzelfall überlassen bleiben. In der Regel werden kleinere handwerksmäßige Betriebe darunter fallen, insbesondere auch die sogenannte Hausindustrie. Die Entnahme für die Wirtschaft und für die Haushaltung findet ihre Grenze an den Bedürfnissen der eigenen Haushaltung und der eigenen Wirtschaft desjenigen, der das Wasser entnimmt. Eine Pumpanlage zur Abgabe von Wasser an andere oder zur Versorgung einer größeren Gemeinschaft von Haushaltungen oder Wirtschaftsbetrieben mit Wasser ist unzulässig (vgl. aber die Ausführungen im nächsten Absatz), wenn auch das Wasser von den einzelnen nur für die eigene Haushaltung und die eigene Wirtschaft verwendet wird.

Fördert ein Grundstückseigentümer unter Nichtbeachtung der Verbotsbestimmungen des § 200 unterirdisches Wasser zutage, so könnten nach den Grundsätzen des allgemeinen bürgerlichen Rechtes die Benachteiligten in allen Fällen auf Unterlassung klagen. Ein Anspruch auf Schadenersatz würde ihnen jedoch nur zustehen, wenn den Unternehmer ein Verschulden träfe, wenn er also die Schädigung vorausgesehen hätte oder, nachdem sich bereits Schäden gezeigt, die Zutageförderung fortsetzte. Nach beiden Richtungen ist es nicht angängig, es bei den aus dem allgemeinen bürgerlichen Rechte sich ergebenden Folgerungen zu belassen. Einerseits würde es das Zustandekommen großer und nützlicher Unternehmungen zur Ausnutzung des unterirdischen Wassers unnötig erschweren, wenn wegen eines jeden, noch so geringen Nachteils auf Unterlassung geklagt werden könnte. Andererseits kann es aber auch nicht als billig anerkannt werden, wenn der Unternehmer Schadenersatz nur zu leisten brauchte, wenn ihn ein Verschulden träfe. Es ist daher im § 200 Abs. 2 den Geschädigten ein Anspruch auf Unterlassung dann nicht gegeben, wenn der aus der Zutageförderung zu erwartende Nutzen den ihnen erwachsenden Schaden erheblich übersteigt oder wenn das Unternehmen, für das die Zutageförderung erfolgt, dem öffentlichen Wohle dient. Letzteres wird z. B. bei größeren kommunalen Wasserversorgungsanlagen stets der Fall sein. Den Benachteiligten ist in allen Fällen, unabhängig von einem Verschulden des Unternehmers, ein Anspruch auf Schadenersatz gegeben, jedoch nur insoweit, als die Billigkeit den Umständen nach eine Entschädigung erfordert. Dies entspricht dem grundsätzlichen Standpunkte, den das Gesetz gegenüber der Entschädigungsfrage bei Veränderung des Grundwasserstandes einnimmt (vgl. § 52 Abs. 2 Satz 2, § 159 Abs. 2). In erster Linie können die Geschädigten die Herstellung von Einrichtungen fordern, durch die der Schaden verhütet oder ausgeglichen wird, falls solche Einrichtungen mit dem Unternehmen vereinbar oder wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Diese Vorschrift ist der für das Verleihungsverfahren

im § 50 Absatz 1 getroffenen Bestimmung nachgebildet. Der Anspruch auf Schadenersatz kann somit erst in zweiter Linie erhoben werden.

Bei Bemessung der Entschädigung lehnt sich das Gesetz an das Bürgerliche Gesetzbuch an, sie ist dem freien richterlichen Ermessen anheimgestellt. Nach einer höchstrichterlichen Entscheidung sind hierbei nur die dem Geschädigten durch das schädigende Unternehmen erwachsenden Vorteile, nicht auch die persönliche Leistungsfähigkeit des Unternehmers sowie diejenige des Geschädigten zu berücksichtigen. Mittelbare und unvorhersehbare Schäden werden bei dem Schadenersatz auszuschließen und insbesondere wird zu erwägen sein, daß die Trinkwasserversorgung durch Grundwasser in neuerer Zeit auch für kleinere Gemeinden notwendig geworden ist, so daß es sich empfiehlt, die im sanitären Interesse gebotenen Trinkwasserversorgungen nicht durch allzu hohe Schadenersatzansprüche zu erschweren. Dieser Gesichtspunkt hat insbesondere für die bereits bestehenden Anlagen dieser Art zu der besonderen Bestimmung des § 379 geführt, daß Schadenersatz nur insoweit verlangt werden darf, als der Unternehmer ohne Gefährdung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Unternehmens zur Entschädigung imstande ist. Wenn bei einer derartigen Gemeindewasserleitung ein einzelnes Gemeindeglied geschädigt wird, so ist es selbstverständlich, daß ihm ein Schadenersatzanspruch ganz ebenso zusteht, wie jedem anderen, daß dagegen bei Bemessung des Schadens der ihm durch die Wasserleitung erwachsende Vorteil entsprechend zu berücksichtigen ist (Komm.-Bericht des Abg.-Hauses S. 310).

Da bei dem bisherigen Rechtszustande jede Entschädigung ausgeschlossen war, wenn eine Ausnutzung des Grundwassers über Gebühr vorlag, so hat der § 200 auch nicht volle Entschädigung geboten, weil es sich empfahl, dem Übergang zu dem neuen Rechtszustand durch Berücksichtigung der Billigkeit die Schärfe zu nehmen.

Der Absatz 3 ist der Regierungsvorlage hinzugefügt, um den Rechtszustand im Sinn des § 200 mit demjenigen im Falle einer besonderen Verleihung in Übereinstimmung zu bringen. Bei der Verleihung ist gemäß § 203 auch § 51 anwendbar, wonach die Entschädigung in wiederkehrenden Leistungen bestehen kann. Wer aber ohne Verleihung unterirdisches Wasser sich aneignet und daher nur nach § 200 behandelt wird, müßte mangels einer entsprechenden Bestimmung die Entschädigung in einem Kapitalsbetrage entrichten. Da aber gerade die Verhältnisse des unterirdischen Wassers noch wenig geklärt sind und infolge der fortschreitenden Technik eine Änderung der Verhältnisse leicht möglich ist, erschien es zweckmäßig, die Bestimmung des § 51 auch in dem § 200 zur Anwendung zu bringen (Verhandlungen des Abg.-Hauses vom 15. Nov. 1912 Seite 8211).

§ 201

Dem Eigentümer eines Grundstücks ist nicht gestattet, den Grundwasserstrom eines Tales durch unterirdische Anlagen aufzustauen.

Entsprechende Bestimmungen fehlen in den übrigen Wassergesetzen.

Auch bei unterirdischen Anlagen, die zur Aufstauung und Zurückhaltung des Grundwasserstroms eines Tales zukünftig bei vermehrten Anforderungen der Wasserversorgung in Frage kommen können, sind erhebliche Schädigungen sowohl der oberhalb wie der unterhalb gelegenen Grundstücke nicht ausgeschlossen. Dem Grundeigentümer ist daher das Recht zur Errichtung solcher Anlagen nicht zugestanden.

§ 202

(1) Der Eigentümer eines Grundstücks ist nicht befugt, Stoffe in den Boden einzubringen oder einzuleiten, durch die das unterirdische Wasser, ein Wasserlauf oder ein See (§ 199) zum Nachteil anderer verunreinigt wird.

(2) Auf die Düngung von Grundstücken ist die Vorschrift des Abs. 1 nicht anzuwenden.

Entsprechende Bestimmungen in Sachsen § 40 Ziffer 2; Österreich § 31; Schweiz Art. 707.

Der Zusammenhang der unterirdischen Wasseradern untereinander und ihre nicht selten bestehende Verbindung mit dem in Wasserläufen oder Seen oberirdisch vorhandenen Wasser macht es ferner notwendig, Vorsorge dagegen zu treffen, daß nicht ein Grundstückseigentümer durch Einleitung von unreinem Wasser oder anderen flüssigen Stoffen, dergleichen durch das Einbringen von festen Stoffen, z. B. löslichen Chemikalien, in den Boden das unterirdische Wasser, einen Wasserlauf oder einen See zum Nachteil anderer verunreinigt.

Durch die Düngung von Grundstücken werden zwar derartige Schädigungen kaum zu befürchten sein, da in geordneten landwirtschaftlichen Betrieben weder natürlicher noch künstlicher Dünger in solchen Massen auf die Grundstücke gebracht wird, daß eine nachteilige Beeinflussung des Wassers eintritt. Doch ist die Vorschrift des Abs. 2, welche die Anwendbarkeit des Abs. 1 auf die Düngung von Grundstücken ausschließt, immerhin zweckmäßig, um die Grundstückseigentümer bei der wirtschaftlichen Ausnutzung des Grund und Bodens nicht lästigen Widersprüchen und Klagen auszusetzen.

Die Vorschrift des Abs. 2 bezieht sich zwar auch auf die Berieselung landwirtschaftlich benutzter Grundstücke aus Kanalisationen. Damit wird aber nur das Recht auf Zuführung von Schmutzstoffen gegeben, auch wenn dadurch ein Wasserlauf oder ein See zum Nachteil anderer verunreinigt werden sollte, nicht jedoch auch das Recht zur Verwässerung

der tieferliegenden Grundstücke. Gelangen Rieselwässer dahin, so stellt das eine unerlaubte Immission dar, die der Eigentümer der betroffenen Grundstücke durch Klage auf Unterlassung oder vollen Schadenersatz abwehren kann (§ 903 BGB), da nach Abs. 2 nur die Düngung von Grundstücken zugelassen ist, während die Berieselung zwar auch der Düngung, in erster Linie aber der Abführung der Abwässer dient.

§ 203

(1) Die dem Grundstückseigentümer nach den §§ 199 bis 202 nicht zustehenden Rechte können von ihm und mit seiner Zustimmung auch von einem anderen durch Verleihung erworben werden. Ferner kann der Gebrauch oder Verbrauch von Wasser sowie die Einleitung von Wasser oder anderen flüssigen Stoffen durch mehrere Berechtigte im Ausgleichungsverfahren geregelt werden.

(2) Die §§ 47 bis 52, 55 bis 73, 75 bis 77, 79 bis 85 und 87 bis 90 sind entsprechend anzuwenden. Handelt es sich bei der Verleihung um den Erwerb eines dem Grundeigentümer nach § 200 nicht zustehenden Rechtes, so gelten die §§ 51, 82 mit der Maßgabe, daß der entstehende Schaden nur zu ersetzen ist, soweit die Billigkeit den Umständen nach eine Entschädigung erfordert.

(3) Soweit das Recht, über das Wasser eines Sees (§ 199) oder über das unterirdische Wasser zu verfügen, dem Grundstückseigentümer nach den §§ 196 bis 202 zusteht oder beim Inkrafttreten dieses Gesetzes besteht und nach § 379 aufrechterhalten bleibt, kann dessen Sicherstellung nach § 86 verlangt werden.

Entsprechende ähnliche Bestimmungen Sachsen § 143; Österreich §§ 11 ff.; Schweiz Art. 711.

Es würde nicht der Ausnutzung des Wasserschatzes dienen, wenn dem Grundeigentümer die ihm nach den §§ 199 bis 202 versagten Rechte gänzlich verschlossen blieben. Viele nützliche Unternehmungen würden dadurch verhindert werden. Das Gesetz gibt daher dem Grundstückseigentümer die Möglichkeit, die ihm nicht zustehenden Rechte im Wege der Verleihung zu erwerben. Gegen seinen Willen, wie bei den Wasserläufen, auch anderen die Verleihung zugänglich zu machen, ist wirtschaftlich nicht erforderlich, da Unternehmungen, die sich des Grundwassers bedienen können, weniger an bestimmte Stellen gebunden sind, als Unternehmungen, die einen Wasserlauf benutzen müssen. Die Verleihung würde daher einen durch das praktische Bedürfnis nicht gerechtfertigten Eingriff in die Rechte des Grundstückseigentümers bedeuten. Derjenige, der des Grundwassers bedarf, wird daher zunächst

ein Grundstück erwerben müssen, gegebenenfalls wird für Unternehmungen, denen Gründe des öffentlichen Wohls zur Seite stehen, das erforderliche Grundeigentum im Wege der Enteignung erworben werden können. Dagegen liegt kein Grund vor, anderen die Verleihung zu verschließen, wenn der Eigentümer des Grundstücks, auf dem die Zutageförderung des Wassers erfolgen soll, zustimmt. Wenn z. B. für eine Gemeinde oder eine Arbeiterkolonie das nötige Trink- und Gebrauchswasser durch die Entnahme aus dem Boden zu beschaffen ist, kann das Recht hierzu durch Verleihung erworben werden, wenn nur der Eigentümer des Grundstücks, auf welchem die zur Entnahme des Wassers nötigen Anlagen hergestellt werden sollen, seine Einwilligung erklärt hat.

Die für das Verleihungsverfahren geltenden, im Absatz 2 für anwendbar erklärten Vorschriften geben die Gewähr, daß kein Unternehmen zur Ausführung gelangt, dem überwiegende Rücksichten des öffentlichen Wohles entgegenstehen (§ 49 Abs. 1), und daß eine Schädigung fremder Interessen nur dann zugelassen wird, wenn das Unternehmen anders nicht zweckmäßig oder doch nur mit erheblichen Mehrkosten durchgeführt werden kann und der daraus zu erwartende Nutzen den Nachteil der Betroffenen erheblich übersteigt (§ 50 Abs. 2). Für nachteilige Wirkungen, die nicht durch zweckentsprechende Einrichtungen verhütet werden, ist Entschädigung zu leisten (§ 51), für welche die einschränkenden Vorschriften des § 52 gelten und, soweit es sich um die Verleihung eines dem Grundeigentümer nach § 200 nicht zustehenden Rechtes handelt, auch die Bestimmung des § 200 Abs. 2 Satz 2 Halbsatz 1 Anwendung finden muß, daß der Schaden nur insoweit zu ersetzen ist, als die Billigkeit den Umständen nach eine Entschädigung erfordert.

Es kann auch zweckdienlich sein, in Ansehung der nicht zu den Wasserläufen gehörenden Seen sowie des unterirdischen Wassers, des Gebrauches oder Verbrauches sowie der Einleitung von Wasser oder anderen flüssigen Stoffen durch mehrere Berechtigte ein Ausgleichungsverfahren zuzulassen (Abs. 1 Satz 2). Durch dieses Verfahren wird in vielen Fällen ein gerechter Ausgleich entgegenstehender Interessen zum Wohle der Allgemeinheit erzielt werden können.

Der Abs. 3 des § 203 ist dem § 86 nachgebildet worden. Wie dort dem zur Benutzung des Wasserlaufs Berechtigten die Möglichkeit gegeben ist, sich sein Recht sicherstellen zu lassen und dadurch für dieses die den verliehenen Rechten gewährte bevorzugte Rechtsstellung zu erwerben, so muß die gleiche Möglichkeit geschaffen werden für denjenigen, der über ein nicht zu den Wasserläufen gehörendes Gewässer innerhalb der ihm gesetzlich gezogenen Schranken verfügen will, dem also der Weg der Verleihung nicht offen steht.

Die Sicherstellung geschieht durch Beschluß der Verleihungsbehörde, und das in dieser Weise sichergestellte Recht steht einem verliehenen Rechte gleich.

§ 204

(1) Wer unterirdisches Wasser zum Gebrauch oder Verbrauch über die Grenzen seines örtlich oder wirtschaftlich zusammenhängenden Grundbesitzes hinaus fortleiten will, bedarf der polizeilichen Genehmigung. Zuständig ist, wenn das Unternehmen der Versorgung von Ortschaften oder größeren Ortsteilen mit Trink- oder Nutzwasser dient, der Regierungspräsident, sonst der Landrat, in Stadtkreisen die Ortspolizeibehörde. Gegen die Entscheidung steht dem Unternehmer nur die Beschwerde im Aufsichtswege zu.

(2) Ist das Recht zur Zutageförderung des unterirdischen Wassers durch Verleihung erworben, so bedarf es keiner polizeilichen Genehmigung nach Abs. 1.

Entsprechende Bestimmungen Baden § 48; Württemberg Art. 3; Sachsen § 40; Bayern Art. 18, 19; Österreich §§ 11, 12; Schweiz Art. 711.

Besonders umfangreiche Schädigungen anderer werden, wie die Erfahrung gezeigt hat, fast regelmäßig dann hervorgerufen, wenn unterirdisches Wasser zum Zwecke des Gebrauchs oder Verbrauchs vom Eigentümer eines Grundstücks über die Grenzen seines zusammenhängenden Grundbesitzes hinaus fortgeleitet wird, z. B. um der Versorgung entfernt liegender gewerblicher Anlagen mit Gebrauchswasser oder größerer Gemeinschaften mit Trinkwasser zu dienen, da die Ableitung zu derartigen Zwecken meist große Wassermassen dem Boden dauernd entzieht und deshalb eine erhebliche Veränderung des Grundwasserstandes herbeizuführen geeignet ist. Es könnte daher in Frage kommen, eine derartige Fortleitung von unterirdischem Wasser dem Grundstückseigentümer zunächst schlechthin zu untersagen und ihm nur zu ermöglichen, im Verleihungsverfahren das Recht hierzu zu erwerben. Davon ist jedoch im Hinblick auf die Vorschriften des § 200 abgesehen worden, da die wesentlichsten Fälle der Schädigung anderer durch Zutageförderung von unterirdischem Wasser auf Grund dieser Vorschriften bereits verboten oder doch durch die im § 200 Abs. 2 vorhergesehene zivilrechtliche Haftung erschwert sind. Andererseits ist zu berücksichtigen, daß durch die Fortleitung von unterirdischem Wasser unter Umständen erhebliche Schädigungen der Allgemeinheit eintreten können, deren nachträgliche Heilung nicht möglich ist. Es ist deshalb mit dem öffentlichen Wohle nicht vereinbar, den Geschädigten lediglich auf den Rechtsweg nach § 200 Abs. 2 zu verweisen, sondern es ist notwendig, für diese Fälle eine Mitwirkung der Behörden vorzusehen.

§ 204 macht hiernach, ohne das Verleihungsverfahren auszuschließen, die Zulassung der Fortleitung von unterirdischem Wasser zum Zwecke des Gebrauchs oder Verbrauchs — nicht etwa auch die Fortleitung von gebrauchtem Wasser zum Zwecke der Beseitigung — über die Grenzen des örtlich oder wirtschaftlich zusammenhängenden Grundbesitzes des Unternehmers hinaus von einer vorgängigen polizeilichen Genehmigung abhängig. Die Genehmigung ist vom Landrat, in Stadtkreisen von der Ortspolizeibehörde, jedoch dann, wenn das Unternehmen der Versorgung von Ortschaften oder größeren Ortsteilen mit Trink- oder Nutzwasser dient, vom Regierungspräsidenten zu erteilen, der auch bisher zur Anlegung von Wasserleitungen die auf Grund des Allg. Landrechts Teil I Titel 8 § 96 erforderliche landespolizeiliche Genehmigung zu erteilen hatte.

Die auf Grund des § 204 erteilte Genehmigung hat lediglich polizeilichen Charakter. Die dem Geschädigten gemäß § 200 Abs. 2 zustehenden Rechte werden dadurch in keiner Weise berührt.

Da im Verleihungsverfahren alle polizeilichen Rücksichten geprüft werden (§ 69 Abs. 1 Satz 2), kann für den Fall, daß das Recht zur Zutageförderung unterirdischen Wassers durch Verleihung erworben ist, die im Abs. 1 vorgeschriebene besondere polizeiliche Genehmigung entbehrt werden (Abs. 2).

§ 205

An Seen, die nicht zu den Wasserläufen gehören, steht, soweit das Eigentum an ihnen nicht anderweit geordnet ist, den Anliegern das Eigentum anteilig zu. Der § 8 Abs. 2, 3 und der § 13 Abs. 2 sind sinngemäß anzuwenden.

Über das Eigentum an den nicht zu den Wasserläufen gehörenden Seen war eine besondere Vorschrift nötig. Im landrechtlichen Gebiet gehören die Landseen, soweit nicht besondere Titel es anders bestimmen, den Anliegern nach der Ausdehnung des Uferbesitzes und bis zur Mitte des Gewässers. Dies ist aber lediglich eine Folgerung aus den bisherigen gesetzlichen Bestimmungen, insbesondere des Allg. Landrechts Teil I Titel 9 §§ 267 und 268. Mit dem Wegfall dieser gesetzlichen Bestimmungen, die durch § 399 Abs. 2 Nr. 1 aufgehoben sind, fällt auch die Folgerung, da der Fortbestand des nur auf gesetzlichen Bestimmungen beruhenden Eigentums den Fortbestand dieser Vorschriften voraussetzt (Entsch. des Ober-Verwaltungsgerichts Bd. 48 S. 179): Es würde künftig in allen Fällen, in denen das Eigentum nicht grundbuchlich feststeht oder sonst eine besondere Regelung getroffen ist, an einer Gesetzesnorm fehlen, die das Eigentum an den nicht zu den Wasserläufen gehörenden Seen regelt. Das allgemeine bürgerliche Recht enthält keine Bestimmung darüber. Das Gesetz schließt sich im wesentlichen dem geltenden Rechte an.

§ 379

- (1) Die beim Inkrafttreten dieses Gesetzes bestehenden Rechte:
1. einen Wasserlauf in einer der im § 46 bezeichneten Art zu benutzen,
 2. über die nicht zu den Wasserläufen gehörenden Gewässer über die Schranken der §§ 199 bis 202 hinaus zu verfügen,
 3. die Aufnahme des wild abfließenden Wassers durch die Eigentümer tiefer liegender Grundstücke zu verlangen,

bleiben aufrecht erhalten, soweit sie auf besonderem Titel beruhen.

(2) Die beim Inkrafttreten dieses Gesetzes bestehenden, nicht auf besonderem Titel beruhenden Rechte zur Benutzung eines Wasserlaufs und anderer Gewässer im Sinne des Abs. 1 Nr. 1, 2 bleiben nur insoweit und so lange aufrechterhalten, als rechtmäßige Anlagen zu ihrer Ausübung vorhanden sind, vorausgesetzt, daß diese Anlagen vor dem 1. Januar 1913 errichtet sind oder daß vor diesem Zeitpunkte mit ihrer Errichtung begonnen ist.

(3) Die Rechtmäßigkeit einer Anlage, die am 1. Januar 1912 schon mehr als 10 Jahre bestanden hat, wird vermutet. Diese Vermutung gilt nicht gegenüber demjenigen, welcher innerhalb der letzten 10 Jahre einen Widerspruch gegen die Rechtmäßigkeit bei einer zuständigen Behörde geltend gemacht hat.

(4) Der Inhalt der hiernach aufrechterhaltenen Rechte bestimmt sich, soweit sie auf besonderem Titel beruhen, nach diesem. Im übrigen bleiben die bisherigen Gesetze mit folgenden näheren Bestimmungen und Beschränkungen maßgebend:

- a) Eine Verunreinigung des Wassers, die über das Gemeinübliche hinausgeht, ist unzulässig.
- b) Entsteht nach dem Inkrafttreten dieses Gesetzes durch die Ausübung des Rechtes zur Zutageförderung unterirdischen Wassers ein Schaden der im § 200 Abs. 1 bezeichneten Art, so können die Geschädigten die Herstellung von Einrichtungen fordern, durch die der Schaden verhütet oder ausgeglichen wird, wenn solche Einrichtungen mit dem Unternehmen vereinbar und wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Andernfalls können sie Schadenersatz verlangen, soweit die Billigkeit nach den Umständen eine Entschädigung erfordert und der Unternehmer ohne Gefährdung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Unternehmens zur Entschädigung imstande ist. Die Entschädigung kann in wiederkehrenden Leistungen bestehen.

(5) Der § 84 ist auf die aufrechterhaltenen Rechte entsprechend anzuwenden.

(6) Eine Veränderung des Wasserstandes ist ferner im bisherigen Umfange gestattet, wenn dieselbe durch Einleitung von Wasser aus Seen und Teichen, die der Fischerei dienen, geschieht, sofern diese zur Grundräumung, Ansamung oder Abfischung abgelaassen werden.

Österreich

Regierungsvorlage eines Österreichischen Reichswasserrechtsgesetzes vom Jahre 1911¹⁾

Artikel X. In dem von den Eisenbahnbehörden nach den Eisenbahnvorschriften durchzuführenden Verfahren sind, sofern Wasserbauten oder Wasserbenützungsanlagen in Betracht kommen, auch die materiellrechtlichen Bestimmungen dieses Gesetzes anzuwenden. Die Errichtung von Grundwasserbenützungsanlagen auf Eisenbahngrundstücken zum Zwecke der Versorgung der Bahnen mit dem erforderlichen Betriebswasser bedarf jedoch keiner besonderen Bewilligung gemäß § 10 des Gesetzes.

§ 3. Folgende Gewässer gehören, wenn nicht von anderen erworbene Rechte entgegenstehen, dem Grundeigentümer zu:

- a) Das in seinen Grundstücken enthaltene unterirdische Wasser (Grundwasser) und das aus seinen Grundstücken zutage quellende Wasser, mit Ausnahme der dem Salzmonopol unterliegenden Salzquellen und der zum Bergregale gehörigen Cementwässer;
- b) die sich auf seinen Grundstücken aus atmosphärischen Niederschlägen ansammelnden Wasser;
- c) das in Brunnen, Teichen, Zisternen oder anderen auf Grund und Boden des Grundeigentümers befindlichen Behältern enthaltene und das in Kanälen, Röhren usw. für Verbrauchszwecke abgeleitete Wasser;
- d) Die Abflüsse aus den vorgenannten Gewässern, solange sie sich nicht in ein fremdes Privat- oder in ein öffentliches Gewässer ergossen haben.

§ 10 Absatz 2. Zur Erschließung und Benützung des Grundwassers in dem zur Deckung des Haus- und Wirtschaftsbedarfs erforderlichen Ausmaße ist der Grundeigentümer ohne Bewilligung der politischen Behörde berechtigt. Das gleiche Recht steht dem Grundeigentümer auch zur Deckung des Wasserbedarfs für gewerbliche Betriebe zu, insofern die Erschließung und Benützung ohne Antrieb durch eine elementare Kraft und nicht durch artesische Brunnen erfolgt. Für jede andere Benützung des Grundwassers ist die Bewilligung der politischen Behörde einzuholen.

Absatz 3. Die Zulässigkeit der Erschließung von Grundwasser durch Arbeiten, welche auf Grund einer nach dem allgemeinen Berggesetze

¹⁾ Die Vorlage ist bis jetzt noch nicht Gesetz geworden.

erlangten Berechtigung vorgenommen werden, ist ausschließlich nach den Bestimmungen des Berggesetzes zu beurteilen. Zur Errichtung von Wasseranlagen über Tag hat der Bergwerksbesitzer die Bewilligung der politischen Behörde nach den Vorschriften dieses Gesetzes einzuholen.

§ 11. Bei Erteilung der Bewilligung sind der Ort, das Maß und die Art der Wasserbenützung zu bestimmen. Hierbei sind nach Erfordernis der Umstände besondere, den allgemeinen Wassergebrauch regelnde und sichernde Bedingungen festzusetzen.

§ 12. Das Maß und die Art der zu bewilligenden Wasserbenützung ist derart zu bestimmen, daß öffentliche Interessen nicht beeinträchtigt und bestehende Rechte nicht verletzt werden.

Als eine Verletzung bestehender Rechte ist eine Veränderung des Wasserstandes fließender Gewässer, von Seen oder des Grundwassers dann nicht anzusehen, wenn hierdurch weder eine Beeinträchtigung rechtmäßig geübter Wassernutzungen noch des Grundeigentums herbeigeführt wird.

§ 31. Zum Schutze von Trink- und Nutzwasserversorgungsanlagen gegen Verunreinigung oder gegen eine Beeinträchtigung ihrer Ergiebigkeit können seitens der politischen Behörden besondere Anordnungen über die Benützung und Bewirtschaftung von Grundstücken unter Festsetzung einer angemessenen Entschädigung getroffen werden.

§ 35. Anlagen zur Entwässerung der verbauten Teile einer Ortschaft (Kanalisation) bedürfen, wenn die Ableitung in öffentliche Gewässer oder in private Tagwässer erfolgen soll oder wenn eine nachteilige Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse entstehen kann, der wasserrechtlichen Bewilligung.

Die Schweiz

Schweizerisches Gesetzbuch vom 10. Dezember 1907

Artikel 704. Quellen sind Bestandteile des Grundstücks und können nur zugleich mit dem Boden, dem sie entspringen, zu Eigentum erworben werden.

Das Recht auf Quellen auf fremdem Boden wird als Dienstbarkeit durch Eintragung in das Grundbuch begründet.

Das Grundwasser ist den Quellen gleichgestellt.

Artikel 705. Durch das kantonale Recht kann zur Wahrung des allgemeinen Wohles die Fortleitung von Quellen geregelt, beschränkt oder untersagt werden.

Ergeben sich hieraus Anstände unter Kantonen, so entscheidet hierüber endgültig der Bundesrat.

Artikel 706. Werden Quellen und Brunnen, die in erheblicher Weise benutzt werden oder zum Zwecke der Verwertung gefaßt worden sind, zum Nachteile des Eigentümers oder Nutzungsberechtigten, durch

Bauten, Anlagen oder Vorkehrungen anderer Art abgegraben, beeinträchtigt oder verunreinigt, so kann dafür Schadenersatz verlangt werden.

Ist der Schaden weder absichtlich noch fahrlässig zugefügt oder trifft den Beschädigten selbst ein Verschulden, so bestimmt der Richter nach seinem Ermessen, ob, in welchem Umfange und in welcher Weise Ersatz zu leisten ist.

Artikel 707. Werden Quellen und Brunnen, die für die Bewirtschaftung oder Bewohnung eines Grundstücks oder für Trinkwasserversorgungen unentbehrlich geworden sind, abgegraben oder verunreinigt, so kann, soweit überhaupt möglich, die Wiederherstellung des früheren Zustandes verlangt werden.

In den anderen Fällen kann diese Wiederherstellung nur verlangt werden, wo besondere Umstände es rechtfertigen.

Artikel 708. Bilden benachbarte Quellen verschiedener Eigentümer als Ausfluß eines gemeinsamen Sammelgebiets zusammen eine Quellengruppe, so kann jeder Eigentümer beantragen, daß sie gemeinschaftlich gefaßt und den Berechtigten im Verhältnis der bisherigen Quellenstärke zugeleitet werden.

Die Kosten der gemeinschaftlichen Anlage tragen die Berechtigten im Verhältnis ihres Interesses.

Widersetzt sich einer der Berechtigten, so ist jeder von ihnen zur ordnungsmäßigen Fassung und Ableitung seiner Quelle auch befugt, wenn die Stärke der anderen Quellen dadurch beeinträchtigt wird, und hat dafür nur insoweit Ersatz zu leisten, als seine Quelle durch die neuen Vorrichtungen verstärkt worden ist.

Artikel 709. Den Kantonen bleibt es überlassen, zu bestimmen, in welchem Umfange Quellen, Brunnen und Bäche, die sich in Privateigentum befinden, auch von den Nachbarn und anderen Personen zum Wasserholen, Tränken und dergleichen benutzt werden dürfen.

Artikel 710. Entbehrt ein Grundstück des für Haus und Hof notwendigen Wassers und läßt sich dieses ohne ganz unverhältnismäßige Mühe und Kosten nicht von anderswo herleiten, so kann der Eigentümer vom Nachbarn, der ohne eigene Not ihm solches abzugeben vermag, gegen volle Entschädigung die Abtretung eines Anteils an Brunnen oder Quellen verlangen.

Bei der Festsetzung des Notbrunnens ist vorzugsweise auf das Interesse des zur Abgabe Verpflichteten Rücksicht zu nehmen.

Ändern sich die Verhältnisse, so kann eine Abänderung der getroffenen Ordnung verlangt werden.

Artikel 711. Sind Quellen, Brunnen oder Bäche ihrem Eigentümer von keinem oder im Verhältnis zu ihrer Verwertbarkeit von ganz geringem Nutzen, so kann vom Eigentümer verlangt werden, daß er sie

gegen volle Entschädigung für Trinkwasserversorgungen, Hydrantenanlagen oder andere Unternehmungen des allgemeinen Wohles abtritt.

Die Entschädigung kann in der Zuleitung von Wasser aus der neuen Anlage bestehen.

Artikel 712. Eigentümer von Trinkwasserversorgungen können auf dem Wege der Enteignung die Abtretung des umliegenden Bodens verlangen, soweit es zum Schutze ihrer Quellen gegen Verunreinigung notwendig ist.

73. Kapitel

Die Vorschriften über den Quellen-Schutz und die Bildung von Schutzgebieten für gemeinnützige Quellen, insbesondere für Preußen

Die dem Schoße der Mutter Erde entspringenden Heilquellen sind für die Menschheit ein unendlicher Segen geworden. Die Kenntnis von ihrer Bedeutung und Heilwirkung ist uralte und reicht bis in vorgeschichtliche Zeiten zurück, wie Funde bei Sankt Moritz nachweisen. Zahllose Kranke haben in ihnen Heilung gefunden. In Millionen von Flaschen geht der Heilung spendende Sprudel in die Welt hinaus, um auch dem vielbeschäftigten oder weniger bemittelten Kranken eine Hauskur zu ermöglichen. Ein Strom von Menschen ergießt sich Jahr für Jahr in die von der Natur so bevorzugten Kurorte und ein Strom von Gold begleitet sie. Mit dem Bestand einer Heilquelle steht und fällt die Bedeutung eines Kurorts. Es war daher ein Gebot der Selbsterhaltung, wenn die Eigentümer von solchen in doppelter Beziehung ergiebigen Quellen alles aufboten, um ihren Bestand zu sichern.

Die Gesetzgebung hat vielfach eingegriffen, und eine ganze Reihe deutscher Bundesstaaten hat Quellenschutzgesetze erlassen. Grundlegende Bedeutung für diese staatlichen Schutzmaßnahmen hat das Französische Gesetz über die Erhaltung der Mineral- und Thermalquellen vom 14. Juli 1856. Koburg-Gotha, Sachsen-Meiningen, Hessen, das vormalige Herzogtum Nassau und Waldeck-Pyrmont haben Quellenschutzgesetze.

Bayern, Württemberg und Sachsen haben in ihren modernen Wassergesetzen Bestimmungen über den Quellenschutz vorgesehen. Diese mögen kurz hier folgen:

Bayern. Gesetz vom 23. März 1907

Art. 20 Abs. 1. Die Vornahme von Grab- und Bohrarbeiten auf Grundstücken im Bereiche von öffentlich benutzten Heilquellen einschließlich der Solquellen ist an die Erlaubnis der Verwaltungsbehörde gebunden. Vor der Erteilung der Erlaubnis ist der Eigentümer der Heilquelle mit seinen Erinnerungen zu hören.

Absatz 2. Die Erlaubnis ist zu versagen oder nur unter Bedingungen oder Beschränkungen zu erteilen, wenn und soweit durch

die Vornahme der Arbeiten eine Gefährdung des Bestandes oder der Beschaffenheit der Heilquelle zu besorgen ist.

Absatz 3. Ergibt sich nach Erteilung der Erlaubnis, daß durch die Arbeiten der Bestand oder die Beschaffenheit der Heilquelle beeinträchtigt wird, so kann die Verwaltungsbehörde auf Antrag des Eigentümers der Quelle die Einstellung der Arbeiten und die möglichste Wiederherstellung des früheren Zustandes verfügen. Der Eigentümer der Heilquelle hat in diesem Falle dem Unternehmer der Arbeiten die auf die Vornahme und die Einstellung der Arbeiten sowie auf die Wiederherstellung des früheren Zustandes erwachsenen Kosten zu ersetzen.

Absatz 4. Die Bezeichnung der öffentlich benutzten Heilquellen und ihres Bereiches erfolgt durch die Staatsregierung.

Württemberg. Gesetz vom 1. Dezember 1900

Art. 4. Öffentlich benutzte Heilquellen dürfen durch Grab- oder Bohrarbeiten nicht beschädigt oder gefährdet werden. Die Vornahme solcher Arbeiten kann untersagt, auch kann dem Eigentümer des Grundstücks, auf dem die Arbeiten ausgeführt wurden, die Beseitigung der hierdurch bewirkten Veränderungen auferlegt werden.

Zu diesem Artikel gibt § 12 der Verfügung des Ministeriums des Innern vom 16. November 1901 eine Definition:

Als öffentlich benutzte Heilquellen sind alle diejenigen Heilquellen anzusehen, deren Benutzung einem unbeschränkten Personenkreis, wenn auch nur eines Geschlechts, gegen Entgelt oder unentgeltlich gestattet ist, auch wenn sie im Eigentum von Privatpersonen stehen. Die Bestimmungen des Art. 4 greifen Platz ohne Rücksicht auf den Zweck, zu welchem die Grab- oder Bohrarbeiten vorgenommen werden.

Sachsen. Gesetz vom 12. März 1909, §§ 54—61

Schutz der Heilquellen

§ 54. Zu Ausgrabungen, Bohrungen und ähnlichen Arbeiten auf Grundstücken, die innerhalb des durch Verordnung zu bestimmenden Bereichs von Heilquellen einschließlich der zu Heilzwecken dienenden Solquellen (Schutzbereich) über eine bestimmte, gleichfalls durch Verordnung festzusetzende Tiefe vorgenommen werden sollen, bedarf es einer besonderen Erlaubnis des Ministeriums des Innern, soweit nicht der Eigentümer der Heilquelle selbst solche Arbeiten ausführen will.

Vor der Erteilung der Erlaubnis ist der Eigentümer der Heilquelle zu hören.

§ 55. Die Erlaubnis ist zu versagen oder nur unter Bedingungen und Einschränkungen zu erteilen, soweit durch die Arbeiten eine Gefährdung des Bestandes, der Ergiebigkeit oder der Beschaffenheit der Heilquelle zu besorgen ist.

§ 56. Ergibt sich nach erteilter Erlaubnis, daß durch die Arbeiten der Bestand, die Ergiebigkeit oder die Beschaffenheit der Heilquelle beeinträchtigt wird, so kann das Ministerium des Innern auf Antrag des Eigentümers der Quelle die Einstellung der Arbeiten und die möglichste Wiederherstellung des früheren Zustandes verfügen. Der Eigentümer der Heilquelle hat in diesem Falle dem Unternehmer der Arbeiten die hierauf und auf die Wiederherstellung des früheren Zustandes verwendeten Kosten zu ersetzen.

§ 57. Wird die Erlaubnis nach § 55 versagt oder nach § 56 widerrufen, so ist der Beteiligte berechtigt, von dem Eigentümer der Heilquelle Ersatz des hierdurch erwachsenen Schadens zu verlangen. Für die Entschädigung gelten die Vorschriften des § 10 Abs. 3.

§ 58. Die Bezeichnung der Heilquellen und die Bestimmung ihres Schutzbereichs sowie der in § 54 genannten Tiefe erfolgt durch das Ministerium des Innern. Die Verordnung ist im Gesetz- und Verordnungsblatte zu veröffentlichen.

§ 59. Ist der Schutzbereich einer Heilquelle noch nicht gemäß den vorstehenden Bestimmungen festgestellt, so können Ausgrabungen, Bohrungen und ähnliche Arbeiten durch die Verwaltungsbehörde auf Antrag vorläufig untersagt oder an Bedingungen geknüpft werden, wenn nach dem Gutachten Sachverständiger die Gefahr besteht, daß durch die beabsichtigten Arbeiten der Bestand oder die bestimmungsgemäße Benutzung der Heilquelle beeinträchtigt werden könnte.

Der Antragsteller hat mit dem Antrage die Verbindlichkeit zu übernehmen, für etwa entstehende Schäden Ersatz zu leisten und hierfür eine von der Verwaltungsbehörde zu bestimmende Sicherheit zu bestellen.

§ 60. Steht zu befürchten, daß durch Einführung von Stoffen in ein fließendes Gewässer, einschließlich der in § 1 Absatz 2 bezeichneten Gewässer, eine Heilquelle in ihrer Beschaffenheit gefährdet wird, so sind die Vorschriften des § 23 Ziffer 1 oder der §§ 40 Absatz 1 Ziffer 2, 41 entsprechend anzuwenden.

§ 61. Die Vorschriften der §§ 54—60 finden auf den Betrieb des Bergbaues keine Anwendung; der Schutz der Heilquellen gegen nachteilige Einwirkungen des Bergbaues richtet sich nach den Vorschriften des Allgemeinen Berggesetzes vom 16. Juni 1868, insbesondere den §§ 22 ff. und 141 ff. dieses Gesetzes.

Die Erhaltung des Bestandes, der Ergiebigkeit und der Beschaffenheit einer Heilquelle ist, soweit nicht die in Abs. 1 angeführten

Vorschriften des Allg. Berggesetzes Anwendung finden, wie die Erhaltung der Sicherheit eines Grundstücks nach § 55 des Allg. Berggesetzes zu behandeln.

Baden

Das Großherzogtum Baden hat im § 112 seines Wassergesetzes vom 26. Juni 1899 bezüglich des Quellenschutzes die bereits bestehenden Schutzvorschriften über die Sol-, Mineral- und Thermalquellen aufrecht erhalten. Sie sind erhalten in den §§ 2, 3 und 6 des Berggesetzes vom 22. Juni 1890 (Gesetz- und Verordnungsblatt S. 447).

Preußen

Deutschlands größter Bundesstaat, Preußen, hat lange gezögert, seinen gemeinnützigen Quellen gesetzlichen Schutz angedeihen zu lassen. Es hielt die der Polizei beigelegten Machtbefugnisse für ausreichend, den Bestand und die Sicherheit der Heilquellen zu gewährleisten.

Nach § 10 Teil II Titel 17 des Allgemeinen Preußischen Landrechts „ist es Amt der Polizei, diejenigen Anstalten zur Erhaltung der öffentlichen Ruhe, Sicherheit und Ordnung und zur Abwendung der dem Publiko oder einzelnen Mitgliedern desselben bevorstehenden Gefahr zu treffen“.

Hierauf fußend ist die Polizei tatsächlich in einer ganzen Reihe von Fällen eingeschritten, wenn durch irgendwelche Erdarbeiten oder Anlagen der Bestand einer Heilquelle gefährdet wurde. Das Oberverwaltungsgericht hat freilich demgegenüber in einer Entscheidung vom 28. März 1899 den Grundsatz aufgestellt,

daß das öffentliche Interesse an der Erhaltung und Brauchbarkeit einer Quelle der Polizei nicht ohne weiteres das Recht gebe, jemanden in der Benutzung seines Grundstücks zu beschränken, der in dieser Hinsicht keine öffentlich-rechtliche Verpflichtung habe;

und sprach ferner in dem Erkenntnis vom 29. September 1900 aus:

zur Sicherung des Fortbestandes einer Saline und des mit ihr verbundenen Solbades könnten die Eigentumsrechte anderer durch eine polizeiliche Verfügung nicht schon deshalb beschränkt werden, weil der Betrieb einer großen Anzahl von Personen Arbeitsgelegenheit biete und die Einkünfte zum Teil öffentlichen Anstalten zufließen. Die Rücksicht auf eine ausschließliche Berechtigung zu dem Betrieb und die mögliche Heilung von Krankheiten beim Gebrauche des Solbades mache eine solche Verfügung jedenfalls dann nicht zulässig, wenn nichts dafür beigebracht sei, daß die Berechtigten nicht zeitig den Schutz des ordentlichen Richters hätten finden können, und wenn die Saline Bestandteile enthalte, die eine besondere, anderen Solquellen abgehende Heilwirkung verbürgen, es auch sonst an Solbädern im Bezirke der verfügenden Polizeibehörde nicht fehle.

Hiermit hat das Oberverwaltungsgericht der Polizei die Befugnis abgesprochen, generell für eine gemeinnützige Quelle Schutzverbote für ihren weiteren Umkreis zu erlassen. Der Schutz der Landesgesetze reichte zur Erhaltung des Bestandes der Heilquellen nicht aus, und das Preußische Berggesetz vom 24. Juni 1865 verbietet im § 4 Abs. 2 auch nur das Schürfen in bedrohlicher Nähe von Heilquellen und schützt sie vor den Einwirkungen des Bergbaus. Da auch die Frage der Entschädigung der durch einzelne polizeiliche Verfügungen in ihrem Eigentum im Interesse des Quellschutzes beschränkten Grundstückseigentümer nicht gelöst wurde, insofern, als die obersten Gerichte jeden Schadenersatzanspruch zurückwiesen, so war eine gesetzliche Regelung des Quellschutzes auch nach dieser Richtung hin nicht mehr länger hinauszuschieben.

Nach längeren Vorarbeiten brachte die Regierung im Jahre 1907 den Entwurf eines Quellschutzgesetzes ein, am 23. März 1909 wurde das Gesetz angenommen und am 14. Mai 1909 verkündet. Es ist nach § 33 des Gesetzes in Kraft getreten für die §§ 2—9 mit der Verkündung, für die übrigen Vorschriften am 1. Januar 1909 und zwar für den ganzen Umfang der Monarchie mit Ausnahme des vormaligen Herzogtums Nassau.

Da die Quellschutzvorschriften der übrigen Bundesstaaten nur äußerst knapp gehalten sind, so mögen die außerordentlich sorgfältig durchdachten und auf alle Möglichkeiten zugeschnittenen Bestimmungen des Preußischen Gesetzes hier im Auszuge folgen.

§ 1 stellt fest, welche Quellen unter den Schutz des Gesetzes fallen. Es sind die gemeinnützigen, d. h. natürliche oder künstlich erschlossene Mineral- und Thermalquellen, deren Erhaltung ihrer Heilwirkung wegen aus überwiegenden Gründen des öffentlichen Wohles notwendig erscheint.

Anm. Nicht geschützt sind also 1. Tafelwasserquellen, es sei denn, daß sie Heilwirkung hätten und ihre Erhaltung ihrer Heilwirkung wegen geboten wäre, 2. Mofetten (Ausströmungen trockener gasförmiger Kohlensäure), da Kohlensäure ohnehin in genügender Menge jederzeit erzeugt werden kann und die Ausnutzung dieser Quellen nur das Privatinteresse berührt, 3. kommunale Wasserleitungen. (Kommissionsbericht.)

§ 2. Die Gemeinnützigkeit der Quelle stellt auf Antrag der Beteiligten (also nicht bloß des Quelleigentümers) oder auch von Amts wegen die Gesamtheit der Ministerien für Handel und Gewerbe, des Innern, für Landwirtschaft, Domänen und Forsten und der Medizinalangelegenheiten fest.

Anm. Der Antrag ist nach der Ausführungsanweisung an den zuständigen Regierungspräsidenten zu richten. Dieser hat auch die zur Vorbereitung der Entscheidung über die Gemeinnützigkeit er-

forderlichen Ermittlungen anzustellen und den Ministerien Bericht zu erstatten.

§ 3. Für die Quelle wird dann der Schutzbezirk festgestellt, innerhalb dessen Bohrungen, Ausgrabungen und ähnliche Arbeiten, welche auf den gewachsenen Boden einwirken oder die Ergiebigkeit oder Zusammensetzung der Quelle beeinflussen, nur gegen Genehmigung durch Oberbergamt und Regierungspräsidenten vorgenommen werden dürfen.

Es folgen die Vorschriften über den Umfang des Schutzbezirks. Wichtig ist hierbei, daß in dem von den genannten Behörden gemeinschaftlich zu erlassenden Beschlüsse die Arbeiten zu bestimmen sind, für welche es einer Genehmigung nicht bedarf. Für benachbarte Quellen kann ein gemeinsamer Schutzbezirk festgestellt werden (§§ 4 u. 5). Der Antrag auf Feststellung des Schutzbezirks muß während eines Monats zu jedermanns Einsicht ausliegen (§ 6). Die erhobenen Einwendungen werden, nötigenfalls an Ort und Stelle, von Kommissionen erörtert. Über die Verhandlungen entscheiden die beiden Behörden durch gemeinsamen Beschluß, der den Quelleneigentümern und denjenigen Beteiligten, die Einwendungen erhoben haben, zuzustellen ist. Die Beschwerde gegen den Beschluß geht binnen Monatsfrist an die genannten vier Ministerien (§§ 7—9).

Ist die Feststellung des Schutzbezirks beantragt, so können vorläufige Schutzmaßregeln getroffen werden (§ 10).

Bei der Erweiterung des Schutzbezirks findet dasselbe Verfahren statt, wie bei der Feststellung des Bezirks (§ 11). Stellt sich heraus, daß der Schutzbezirk zu groß war oder daß er aufzuheben ist, welcher Fall bei Versiegen der Quelle oder Verlust ihrer Gemeinnützigkeit denkbar ist, so findet ein Verfahren statt, das in Antrag, Einwendungen, Beschlüssen und Beschwerderecht dem bei der Feststellung des Bezirks gleich ist (§ 12).

Die Bestimmung, daß gewisse Arbeiten im Schutzbezirk der Genehmigung nicht bedürfen, kann auf Antrag oder von Amts wegen festgestellt oder erweitert, ihre Beschränkung und Aufhebung auch vom Quelleneigentümer oder von Amts wegen beantragt werden. Die Bestimmung, daß gewisse Arbeiten vorher anzuzeigen sind, kann in gleicher Weise nachträglich getroffen, erweitert, beschränkt oder aufgehoben werden (§§ 13, 14).

An Kosten kommen nur die baren Auslagen des Verfahrens in Ansatz, die in den Fällen der §§ 3—11 den Quelleneigentümer, bei Zurückweisung eines Antrages den Antragsteller und bei Zurückweisung der Beschwerde den Beschwerdeführer treffen (§ 15).

Die Beschlüsse, die das Grundeigentum beschränken oder von einer Beschränkung befreien, sind öffentlich bekannt zu machen (§ 16).

In den §§ 17 und 18 wird das Beschwerdeverfahren bei Entscheidungen über die Genehmigung zu Arbeiten im Schutzbezirke, in § 18 das Beschlußverfahren geregelt, falls sich herausstellt, daß eine genehmigte oder nicht genehmigungsbedürftige Arbeit die Quelle gefährdet. Hier kann auf Antrag des Quelleneigentümers die Beseitigung einer bereits begonnenen oder vollendeten Arbeit angeordnet werden. Von Wichtigkeit ist die Bestimmung, daß der Quelleneigentümer auf Erfordern und nach Ermessen der Beschlußbehörde Sicherheit leisten muß, ein wirksames Mittel, um der Willkür oder Schikane des Quelleneigentümers vorzubeugen. Bei Gefahr im Verzuge können Oberbergamt und Regierungspräsident jeder für sich allein eingreifen, ein gemeinschaftlicher Beschluß muß aber binnen Monatsfrist folgen und zugestellt werden.

Die §§ 19 bis 27 enthalten die sehr wichtige Entschädigungsregelung: der Quelleneigentümer muß die Grundstückseigentümer, denen eine Arbeit untersagt oder unter erschwerenden Bedingungen genehmigt wird, für die hierdurch herbeigeführte Minderung des Grundstückswertes entschädigen; entgangener Gewinn ist nicht zu vergütigen. Die Entschädigung findet nicht statt, wenn es bei einer angemeldeten Arbeit nur auf die Entschädigung abgesehen ist, wenn die Arbeit bezweckt, eine der geschützten gleichartige Quelle zu erschließen, die gleichzeitig die geschützte Quelle gefährdet, und wenn die Arbeit vor Verkündigung des Gesetzes nach dem vorher geltenden Recht mit Erfolg untersagt war. Die Entschädigung kann herabgesetzt und die bereits gezahlte entsprechend zurückgefordert werden, wenn die Grundeigentumsbeschränkung wegfällt. Die Entschädigung wird in Rentenform gewährt, sie beträgt fünf vom Hundert der Wertminderung; eins vom Hundert dient der Amortisation. Die Rente wird durch 41 Jahre und 13 Tage gezahlt. Der Beschluß, der die Entschädigung festsetzt, ist auch den aus dem Grundbuch — des Entschädigungsberechtigten — ersichtlichen dinglich Berechtigten zuzustellen. Die Rente erlischt mit dem Fortfall der Beschränkung, sie ist jährlich im voraus zu entrichten. Das Recht auf sie geht allen andern Rechten am Quellgrundstück vor. Dessen Eigentümer kann die Rente jederzeit nach einer dem Gesetz beigefügten Tabelle ablösen. Auch der rentenberechtigte Grundstückseigentümer kann die Ablösung verlangen, wenn die Minderung des Wertes seines Grundstücks ein Drittel des bisherigen Wertes oder nicht mehr als 300 Mark beträgt. Macht der Grundstückseigentümer infolge der ihm auferlegten Beschränkungen zweckmäßige Aufwendungen, so kann er Ersatz in Kapital verlangen. Dieser Anspruch verjährt in drei Jahren. Durch die Ersatzleistung wird die Rente ganz oder teilweise abgelöst. Der Rentenanspruch geht verloren, wenn er nicht binnen sechs Monaten nach Zustellung des Beschränkungsbeschlusses angemeldet wird. Der Anmeldung

folgt ein Einigungsverfahren, bei dessen Versagen binnen zwei Jahren der Rentenanspruch gerichtlich geltend zu machen ist. Das Ablösungskapital haftet den dinglich Berechtigten entsprechend den Vorschriften des § 1128 BGB. und der Artikel 52, 53 des Einführungsgesetzes zum BGB. Auch dann ist eine Rente zu gewähren, wenn eine nicht der Beschränkung unterliegende Arbeit nach § 18 des Gesetzes aus nicht vorhergesehenen Gründen verboten wird. Der Anspruch verjährt ebenfalls in drei Jahren. § 27 regelt endlich die Haftung mehrerer Quelleneigentümer den Berechtigten gegenüber und untereinander.

Die Veränderung einer Quelle oder ihrer Fassung bedarf der Genehmigung. Schon bei Feststellung des Schutzbezirkes werden die Arbeiten an der Quelle, die der Genehmigung nicht bedürfen, festgelegt. Für gewisse Arbeiten ist Anzeigepflicht vorgeschrieben. Gefährdet die Arbeit an der Quelle eine benachbarte gemeinnützige Quelle, so ist deren Eigentümer zu hören (§ 28).

Zweckgefährdende und zweckwidrige Ausbeutung der Quelle kann unter Bestimmung einer angemessenen Frist zur Abstellung untersagt werden. Nach fruchtlosem Ablauf der Frist können die dem Quelleneigentümer gehörigen Grundstücke mit Zubehör zugunsten eines zuverlässigen Unternehmers enteignet werden. Für die Enteignung gelten die Vorschriften des Enteignungsgesetzes vom 11. Juni 1874 (§ 29).

An die Stelle des Quelleneigentümers tritt, wenn die Nutzung der Quelle auf Grund eines zeitlich nicht begrenzten Rechtes, also etwa eines Erbbaurechtes oder einer Grunddienstbarkeit, einem anderen zusteht, der Nutzungsberechtigte. Auch das Nutzungsrecht unterliegt im Falle des § 29 der Enteignung.

§ 31 enthält die einzige Strafbestimmung. Die Höchststrafe ist bei vorsätzlichem Handeln Geldstrafe von 1000 M. oder 6 Monate Gefängnis, bei Fahrlässigkeit Geldstrafe von 150 M. oder Haft.

Die Schlußbestimmung besagt, daß auf die Arbeiten, welche auf Grund des Berggesetzes untersagt werden können, das Quellenschutzgesetz keine Anwendung findet.

Österreich

Entwurf eines Reichswasserrechtsgesetzes¹⁾

§ 32 Abs. 1. Zum Schutze natürlicher oder künstlich erschlossener Mineral- und Thermalquellen, deren Erhaltung ihrer Heilwirkung wegen aus überwiegenden Gründen des öffentlichen Wohles geboten ist, kann die politische Landesbehörde nach Einvernehmung des Landesausschusses im Verordnungswege festsetzen, daß innerhalb

¹⁾ Die Vorlage ist bis jetzt noch nicht Gesetz geworden.

topographisch begrenzter Gebiete (Schutzgebiete) für bestimmte Arten von Arbeiten, welche die Ergiebigkeit oder die Steighöhe der Quellen, den Lauf ihrer Zuflüsse, die Reinheit, die chemische Zusammensetzung oder die physikalischen Eigenschaften des Wassers, insbesondere auch die Radioaktivität beeinflussen können, wie beispielsweise für Grabungen, Bohrungen, Sprengungen und Bauführungen aller Art, Fassung von Quellen, Erschließung, Ableitung oder Benutzung von Grundwasser, neben der nach anderen Vorschriften etwa erforderlichen Genehmigung die Bewilligung der politischen Behörde einzuholen ist.

Abs. 2. Diese Bewilligung darf nur dann erteilt werden, wenn nach fachmännischer Voraussicht eine Gefährdung einer derartigen Quelle durch die beabsichtigten Arbeiten ausgeschlossen ist oder wenn die Bewilligung an solche Bedingungen geknüpft werden kann, die geeignet sind, eine Schädigung der Quelle hintanzuhalten.

Abs. 3. Zeigt sich in der Folge, daß durch die mit behördlicher Bewilligung ausgeführten Arbeiten die Quelle gefährdet wird, so kann die politische Behörde den Unternehmer verhalten, nachträglich die erforderlichen Vorkehrungen zum Schutze der Quelle durchzuführen oder den früheren Zustand nach Möglichkeit wieder herzustellen.

Abs. 4. Zum Schutze von Mineral- und Thermalquellen jeder Art kann die politische Behörde innerhalb oder außerhalb eines Schutzgebietes, sowie auch dann, wenn kein Schutzgebiet (Absatz 1) festgesetzt wurde, besondere Anordnungen über die Benutzung und Bewirtschaftung bestimmter Grundstücke treffen.

Abs. 5. Wird durch die auf Grund der vorstehenden Bestimmungen zum Schutze einer Mineral- oder Thermalquelle erlassenen Anordnungen oder Verbote der Grundeigentümer in der freien Benützung seines Grundes beschränkt, so steht ihm gegen den Besitzer der Quelle ein Anspruch auf angemessene, nach § 47 zu ermittelnde Entschädigung unter der Voraussetzung zu, daß er in einer Benützungsweise gehindert wird, welche im Zeitpunkte der Festsetzung des Schutzgebietes oder, sofern das Grundstück nicht in ein Schutzgebiet fällt, im Zeitpunkte der Erlassung der besonderen behördlichen Anordnung rechtmäßig ausgeübt wurde oder rechtlich begründet war.

Abs. 6. Zur Überwachung der Einhaltung der auf Grund dieses Gesetzes zum Schutze von Mineral- und Thermalquellen erlassenen Vorschriften können von der Regierung besondere Aufsichtsorgane bestellt werden.

Abs. 7. Diese Organe sind in Ausübung ihres Amtes berechtigt, gegen Vorweisung einer von der politischen Landesbehörde ausgefertigten Legitimationskarte die für den Quellenschutz in Betracht kommenden Grundstücke, Gebäude und Betriebsstätten zu betreten und von ihren Eigentümern oder deren Vertretern die ihren Wirkungskreis

betreffenden Aufklärungen zu begehren. Auch sind ihnen über ihr Verlangen die behördlichen Bewilligungsdokumente nebst den dazu gehörigen Plänen oder Zeichnungen vorzuweisen.

Abs. 8. Auf Arbeiten, die auf Grund einer gemäß dem allgemeinen Berggesetze erlangten Berechtigung vorgenommen werden, finden ausschließlich die Bestimmungen des Berggesetzes Anwendung.

74. Kapitel

Entscheidungen

der höchsten Gerichte in Grund- und Quellwasserfragen

Entscheidung ¹⁾ des Reichsgerichts — V. Zivilsenat — vom 8. Februar 1890

Der Kläger besitzt ein Grundstück mit 2 Brunnen, die nach seiner Behauptung früher reichliches Wasser enthalten hatten, jedoch jetzt versiegt und ganz trocken sind, so daß aus ihnen das für den Wirtschaftsbedarf erforderliche Wasser nicht mehr entnommen werden kann. Die Ursache hiervon führt der Kläger darauf zurück, daß die Beklagte, eine Bergwerks-Aktiengesellschaft, behufs Entwässerung der durch ihren Bergbau gesunkenen und versumpften Gegend eine Anlage gemacht habe, welche eine allgemeine Senkung des Grundwasserstandes zur notwendigen Folge hatte. Die Entwässerung durch diese Anlage enthält nach der Behauptung des Klägers einen nach allgemeinen Rechtsgrundsätzen unerlaubten Eingriff in fremdes Eigentum, auch finde die Vorschrift des § 148 des Allg. Preußischen Berggesetzes vom 24. Juni 1865 Anwendung, denn die Entwässerung sei die Bedingung für die Fortsetzung des Betriebes der Beklagten gewesen, und es liege deshalb ein durch den Betrieb des Bergwerks ihm zugefügter Schaden vor.

Die Klage auf Schadenersatz ist in allen Instanzen abgewiesen.

Aus den Gründen:

Durch die Senkung des Grundwasserstandes hat die Beklagte nicht ungerechtfertigt in das Eigentum des Klägers eingegriffen. Das Allg. Landrecht bestimmt in § 26 Teil I Titel 8, daß jeder Gebrauch des Eigentums erlaubt ist, durch welchen weder wohlerworbene Rechte eines anderen gekränkt, noch die in den Gesetzen des Staates vorgeschriebenen Schranken überschritten werden. Nach § 130 I. 8 ALR. kann dem Eigentümer das Graben eines Brunnens, wenngleich dem Nachbar sein Wasser entzogen wird, auf seinem eigenen Grund und Boden nicht ge-

¹⁾ Die nachstehend angeführten Entscheidungen sind, dem Stoffe dieses Werkes entsprechend erheblich abgekürzt, der von den Mitgliedern des Reichsgericht herausgegebenen Sammlung sowie Gruchot, Beiträge zur Erläuterung des Deutschen und Preußischen Rechts, entnommen.

wehrt werden, sofern der Nachbar desfalls kein besonderes Untersagungsrecht erworben hat. Dies führt zur Zurückweisung des klägerischen Anspruches, weil keinem Eigentümer das Recht auf Erhaltung eines bestimmten Grundwasserstandes zusteht. Von einem Untersagungsrecht des Klägers oder von einer Schikane in der Ausübung der dem benachbarten Eigentümer zustehenden Befugnisse kann hier keine Rede sein.

Es wird in dem Urteile noch des weiteren ausgeführt, daß die Entwässerungsanlage nicht zum Bergwerksbetriebe gehöre, und somit auch aus § 148 des Preußischen Berggesetzes dem Kläger ein Anspruch auf Schadenersatz nicht zustehe. Derselbe Senat hat durch Urteil vom 2. Februar 1895 in einem ganz ähnlich liegenden Falle vorstehendes Urteil bestätigt. Die Beklagte — die kupferschieferbauende Mansfeldsche Gewerkschaft — hatte zur Versorgung der durch ihren Betrieb trocken gelegten Gemeinden mit Wasser einen Tiefbrunnen in einem Kalkbruch angelegt und dadurch dem Kläger das Wasser entzogen.

Entscheidung des Reichsgerichts — V. Zivilsenat — vom 7. Februar 1906

Die beklagte Stadtgemeinde hatte im Jahre 1902 in einer Straße, an der die Brauerei des Klägers lag, Kanalisationsarbeiten ausführen lassen, wobei der sogenannte Stadtbach beseitigt und an seine Stelle ein vertiefter Kanal angelegt wurde, dessen Sohle 1,25 m und dessen Kiesbett an der Unterkante 1,70 m tiefer lag, als die Fundamentsohle der Gebäude des Klägers. Dieser behauptete, durch die Kanalisationsarbeiten seien seine Brauereigebäude durch Risse im Mauerwerk erheblich geschädigt worden. Der Schadenersatzanspruch des Klägers wurde in allen Instanzen dem Grunde nach für gerechtfertigt erklärt.

Gründe:

Es ist festgestellt worden, daß die Beschädigungen der Gebäude des Klägers dadurch entstanden sind, daß während der Ausführung der Kanalisationsarbeiten der Grundwasserspiegel durch Pumpen auf der Höhe der Kanalsohle habe gehalten werden müssen, wodurch das Erdreich unter den Fundamenten der Brauereigebäude entwässert und in seinem Volumen gemindert worden sei, und der Boden die erforderliche Stütze verloren habe. Die Beklagte habe gegen das Verbot des § 909 BGB. verstoßen und müsse den dem Kläger erwachsenen Schaden ersetzen, wenn ihr ein Verschulden zur Last falle, § 823 BGB. Sei durch technische Maßregeln eine genügende Sicherung des klägerischen Grundstücks nicht möglich gewesen, so habe die Vertiefung unterbleiben müssen, oder es sei der Schaden zu ersetzen. Es liege Fahrlässigkeit der Beklagten vor, da sie bei Anwendung der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt habe erkennen müssen, daß durch die Vertiefung der Kanalsohle das Grundstück des Klägers seine Stütze verlieren und ein Schaden an den Gebäuden angerichtet werden würde. Dieser Schaden

sei durch Entziehung des Grundwassers entstanden, wodurch das darüberliegende Erdreich gesenkt wurde. Nicht der schädliche Erfolg, daß durch die Vertiefung der Grundwasserstand des Nachbarn sinkt, soll durch § 909 BGB. verhindert werden, sondern der, daß durch die Vertiefung (des Kanals) dem Boden des Nachbargrundstücks gerade seine in dem vorhandenen Grundwasser bestehende oder mitbestehende Stütze entzogen wird.

Es kommt also in diesem Falle der Grundwasserentziehung nicht das dem Landesrecht vorbehaltene Wasserrecht, sondern das Recht des BGB. zur Anwendung.

Entscheidung des Reichsgerichts — VII. Zivilsenat — vom 3. Juli 1906

Die Regierung hatte den Stau einer aufgekauften Mühle beseitigt und am Flußlauf Regulierungsarbeiten vorgenommen. Hierdurch wurde während der zehn folgenden Jahre eine nicht unerhebliche Senkung des Wasserspiegels des Flusses herbeigeführt. Der Kläger, der einen umfangreichen Wiesenbesitz oberhalb der betreffenden Stelle hatte, behauptete, daß durch die Maßnahmen des Fiskus ihm ein Schaden insofern erwachsen sei, als der Grundwasserstand auf seinem Besitz mit gesunken sei und die früheren durchfeuchtenden und befruchtenden Überschwemmungen fortgefallen seien.

Die Klage ist in allen Instanzen abgewiesen worden.

Aus den Gründen:

Durch Anlage eines Staus wird ein Recht der Anlieger auf Fortbestehen des Staus nicht begründet, wenn auch durch die Fortnahme des Staus etwa anderen Besitzern Nachteile erwachsen. Im vorliegenden Falle hatte der Kläger auch den Erwerb eines besonderen Privatrechts an dem Stau nicht dargetan. Die Entscheidung hing in erster Linie von der Frage ab, ob nach dem hier allein in Betracht kommenden preußischen Rechte der Eigentümer eines Grundstücks nach allgemeinen Grundsätzen Schadenersatzansprüche deswegen erheben kann, weil durch Maßnahmen auf dem Nachbargrundstücke der Grundwasserstand seines Grundstücks gesenkt worden ist. Eine Einwirkung liegt vor, sie findet ihre Ursache in dem natürlichen Zusammenhang, in welchem der Grundwasserstand eines Grundstücks mit dem benachbarter Grundstücks und dem Wasserstand der in der Nähe befindlichen Gewässer steht. Diese Einwirkung wird durch keine gesetzliche Bestimmung für unzulässig erklärt, vielmehr zeigt die Vorschrift des § 120 I. 8 Allg. Landrechts und die dazu ergangene Rechtsprechung des Obertribunals und des Reichsgerichts, daß, wenn nur der Eigentümer im übrigen in den Schranken seines Eigentums bleibt, die durch ihn bewirkte Entziehung von Grundwasser ihn nicht haftpflichtig macht. Wenn der Kläger hiergegen ausführt, diese Grundsätze mögen wohl bei Privatgrundstücken

gelten, nicht aber für Handlungen an öffentlichen Flüssen, so ist solche Unterscheidung unbegründet. Wenn der Staat durch Wegräumung künstlicher Hindernisse einem öffentlichen Flusse seinen natürlichen Wasserstand wiedergibt, so kann er dadurch den Anliegern nicht schadenersatzpflichtig werden, da aus keiner Bestimmung des Preußischen Rechts ein Privatrecht der Anlieger eines öffentlichen Flusses auf Bestehen eines bestimmten Wasserstandes des Flusses zum Zwecke der Erhaltung eines bestimmten Grundwasserstandes ihrer Grundstücke herzuleiten ist.

Entscheidung des Reichsgerichts — II. Zivilsenat — am 9. November 1880

Badisches Recht

Eine Gemeinde hatte das durch Titel und unvordenkliche Verjährung erworbene Recht auf Entnahme von Wasser zur Versorgung ihrer Bewohner mit Trinkwasser auf einem bestimmten Grundstück. Der Nachbar grub auf seinem Grundstück nach einer Quelle und leitete das gefundene Wasser ab. Dadurch drohte die erstere Quelle zu versiegen. Die Gemeinde klagte auf Unterlassung von Grabungen nach der Quelle.

Die Klage wurde in allen Instanzen abgewiesen, da die Klägerin weder ihr Eigentum an der Quelle des Beklagten nachgewiesen, noch eine Dienstbarkeit an ihr durch Rechtstitel oder Ersitzung erworben habe. Ihr steht kein Verbot gegen den Nachbarn zu, der in Ausübung seines Eigentums auf seinem Grund und Boden Grabungen vornimmt, welche das Versiegen der Quellen bewirken. Darin, daß durch diese Benutzung des Eigentums nach seinem gesetzlichen vollen Inhalte dem Nachbargute Vorteile entzogen werden, welche ihm bis dahin zu statten kamen, kann ein unerlaubtes Hinübergreifen in das fremde Eigentum nicht erkannt werden.

Entscheidung des Reichsgerichts — III. Zivilsenat — vom 30. Oktober 1884

Gemeines Recht

Der Beklagte hatte das auf seinem Grundstück hervortretende Quellwasser für die Zwecke einer Quellwasserleitung gesammelt. Der Kläger, Eigentümer zweier an einem Fließchen gelegenen Mühlen, behauptete, durch die Abfangung der Quellen sei seinen Mühlen ein Teil der treibenden Kraft entzogen, er hielt das Tun des Beklagten für rechtswidrig, weil die abgefangenen Quellen die Ausgangspunkte eines öffentlichen Gewässers seien, und verlangt Schadenersatz.

Die Klage wurde in allen Instanzen abgewiesen.

Aus den Gründen:

Die auf der Erdoberfläche zutage tretende Quelle ist ebenso wie das Grundwasser nach römischem Recht Bestandteil des Bodens und steht im Eigentume des Grundeigentümers. Fließt das Wasser ab, so

ist zwar Eigentum an der fließenden Wasserwelle nicht möglich, aber das Wasser steht zur freiesten Verfügung des Grundeigentümers, der es abfließen lassen, zurückhalten und ganz verbrauchen kann. Die Anlagen des Beklagten sind aber nicht im öffentlichen Flusse errichtet, sondern die Quellen sind abgefangen, ehe sie in die Nebengewässer des öffentlichen Flusses gelangten. Der Beklagte hielt sich also ganz in den Grenzen der ihm nach römischem Rechte als Grundeigentümer zustehenden Befugnisse.

Entscheidung des Reichsgerichts — V. Zivilsenat — vom 26. Juni 1886
Preußisches Landrecht

Eine Stadtgemeinde hatte zur Versorgung der Stadt mit Trinkwasser die im städtischen Walde ermittelten unterirdischen Wasservorräte durch einen Stollen geleitet und dadurch eine Quelle, deren Wasser als Bach in geregelter Lauf abfloß, zum Versiegen gebracht. Der Kläger, der an diesem Bache ein Triebwerk hatte, klagte auf Rückleitung des durch die Anlage abgeleiteten Wassers in den Bach.

Der erste Richter wies die Klage ab, das Berufungsgericht verurteilte nach dem Klageantrage, das Reichsgericht stellte das erste Urteil wieder her und zwar aus folgenden Gründen:

Das Berufungsgericht irrt sich, wenn es annimmt, die unterirdische Wasserader sei ein Teil des der Quelle entströmenden Wassers, wobei das Berufungsgericht jedenfalls gemeint habe, die unterirdische Wasserader, durch deren Zutagetreten die Quelle sich bilde, sei ein Teil der Quelle selbst und mit dieser ein Teil des Flusses; und durch die Abgrabung der unterirdischen Wasserader werde das Recht des unterhalb liegenden Uferbesitzers in gleicher Weise beeinträchtigt, wie durch eine oberirdische Ableitung des schon zutage getretenen Wassers. Man muß vielmehr zwischen solchen größeren Quellen, welche den Anfang eines Baches bilden, und kleineren Quellen, deren Wasser sich über das Ursprungsgebiet hinaus nicht ergießt, unterscheiden. Nur an dem letzteren steht dem Eigentümer freies Verfügungsrecht zu, während dieses an den größeren Quellen zugunsten des Unterliegers beschränkt ist. Aber auch bei größeren Quellen wird diese Verfügungsbeschränkung nicht auf die die Quellen speisenden unterirdischen Wasseradern ausgedehnt, vielmehr wird der Eigentümer für befugt erachtet, durch Grabungen die Wasseradern, die den Nachbarn das Wasser zuführen, in andere Wege zu leiten. Dies die Bestimmungen des römischen Rechtes. Für Preußen bestehen zwar keine Vorschriften zum Schutze unterirdischer Wassergänge; geht man indessen davon aus, daß der Eigentümer des Bodens wenn auch nicht Eigentümer des strömenden Wassers, so doch des Flußbettes und demnach zur Verfügung über das fließende Wasser berechtigt ist, so muß auch in Ermangelung positiver

Vorschriften das Wasser, welches noch nicht durch seinen Eintritt in einen Fluß oder dessen Quelle den für diese geltenden Beschränkungen unterworfen ist, als Gegenstand der freien Verfügung des Grundeigentümers angesehen werden, so daß nur eine aus Schikane getroffene Verfügung unstatthaft sein würde. Daß wirtschaftlich durch die unterirdische Ableitung derselbe Erfolg für den Nachbarn eintritt, wie durch die Ableitung des bereits zutage getretenen Wassers, ist ohne Einfluß auf die rechtliche Beurteilung.

Diese Entscheidung hat das Reichsgericht — II. Zivilsenat — durch Urteil vom 11. November 1890 für das Rechtsgebiet des Code civil in einem gleichliegenden Falle bestätigt.

Entscheidung des Reichsgerichts — V. Zivilsenat — vom 5. November 1904

Bei Anlegung eines Bahnhofs hatte die Bahnverwaltung neben einem Kulturweg längs des Bahndammes zwischen beiden auf eigenem Grund und Boden einen Graben anlegen lassen, der die Vorflut aufnahm. An dem Wege hatte der Kläger zwei Häuser gebaut und, als er im Keller Grundwasser hatte, dies durch eine unter dem Wege durchgeleitete Röhrenleitung in den Graben geführt. Bei Erweiterung der Bahnanlage wurde der Graben zugeschüttet und dadurch das Grundwasser in den Keller des Klägers zurückgestaut. Dieser verlangte Schadenersatz. Der Anspruch wurde in den beiden ersten Instanzen dem Grunde nach für gerechtfertigt erklärt, vom Reichsgericht aber aus folgenden Gründen abgewiesen.

Der Graben gehört zu den Gräben und Kanälen, durch welche nach § 100 Teil I Titel 8 das Wasser „seinen ordentlichen und gewöhnlichen Ablauf“ hat und für deren unversehrte Erhaltung deren Eigentümer haftbar gemacht wird. Durch diese Vorschrift soll auch der ordentliche und gewöhnliche Ablauf des Grundwassers und Quellwassers, nicht bloß des Niederschlagswassers geschützt werden, aber auch nur der natürliche Ablauf. Der Ablauf darf nicht künstlich herbeigeführt sein. Der Kläger hatte sich auf ein Urteil des Reichsgerichts berufen, worin die Vermehrung des Wasserablaufs durch Drainierung für statthaft erklärt worden ist. Das Reichsgericht hatte aber damals hervorgehoben, daß bei der Drainage doch noch ein nach Naturgesetzen sich vollziehender Wasserablauf stattfindet. Hier handelt es sich aber um eine künstliche Zuleitung; denn das in dem Keller des Klägers sich sammelnde Grundwasser findet nach dem natürlichen Gefälle keinen Abfluß, sondern würde ohne die Röhrenleitung im Keller stehen bleiben. Der Ablauf des Grundwassers ist also erst durch die künstliche Vorrichtung ermöglicht. Der Einwand des Klägers, daß der Graben doch das Grundwasser in dem Falle hätte aufnehmen müssen, wenn er das Wasser ausgepumpt hätte, ist dadurch hinfällig, daß durch die Pump-

vorrichtung, also ebenfalls durch eine künstliche Vorrichtung, dem Graben das Wasser zugeführt wäre, das sonst nicht dorthin gelangt sein würde.

Der § 100 ALR. I. 8 versagt also in vorliegendem Falle.

Entscheidung des Ober-Tribunals zu Berlin vom 18. Februar 1853

Der Beklagte hatte infolge einer Verabredung mit den Interessenten von Mutungen das Bohrloch eines artesischen Brunnens auf seinem Grund und Boden gestoßen und zwar gegen eine ihm von jenen Mutungs-Interessenten zugesicherte Vergütung und zu dem ausdrücklich vereinbarten Zwecke, dem Kläger das Wasser zu entziehen und ihn damit um seinen sonst gesetzlich gegen die Interessenten jener Mutungen zulässigen und zu verfolgenden Entschädigungsanspruch zu bringen.

Nach dieser tatsächlichen Feststellung charakterisiert sich die Handlungweise des Beklagten als Mißbrauch seiner Eigentumsrechte zur Kränkung und Schädigung des Klägers. Jeder Eigentümer ist zwar befugt, auf seinem Grund und Boden einen Brunnen zu graben und die Nachbarn können, selbst wenn ihnen dadurch das Wasser entzogen wird, weder die Grabung des Brunnens wehren noch auch Entschädigung für den Verlust des Wassers fordern. Diese Regel leidet indessen eine Ausnahme aus § 27 und 28 Teil I Titel 8 Allg. Landrechts, wenn ein Mißbrauch, d. h. ein solcher Gebrauch des Eigentums vorliegt, welcher vermöge seiner Natur nur die Kränkung eines andern zur Absicht haben kann. Ein solcher Mißbrauch liegt aber vor, wenn der gegrabene Brunnen über seinen Zweck hinaus nur dazu dienen soll, dem Nachbar das Wasser zu entziehen. Er liegt um so mehr vor, wenn der Eigentümer des Brunnens sich von einem Dritten, der das Wasser entzogen haben will, eine Geldsumme zahlen läßt, und wenn sein Zweck dahin geht, diesen Dritten von der Entschädigung, zu welcher dieser bei der von ihm ausgegangenen Wasserentziehung verpflichtet wäre, zu befreien (aus Gruchot, Beiträge, Band 6 Seite 288).

Entscheidung des Reichsgerichts — V. Zivilsenat — vom 7. April 1894

Preußisches Recht

Auf dem Grundstück des Beklagten befindet sich eine ummauerte Quelle, deren Wasser die Klägerin, eine Wasserversorgungsanstalt, ihren Mitgliedern durch eine Leitung zuführt. Der Beklagte grub nun in unmittelbarer Nähe der Quellen auf seinem Grundstück einen Brunnen, von dessen Benutzung die Klägerin eine Verminderung bezw. Entziehung des ihren Mitgliedern notwendigen Wassers befürchtete. Auf ihren Antrag wurde durch einstweilige Verfügung dem Beklagten das Abteufen eines Brunnens sowie das Treiben eines Stollens neben der Quelle, aus der die Klägerin für ihre Mitglieder das Wasser entnimmt und zu diesem

Zwecke ableitet, sowie überhaupt die Entnahme von Wasser aus der Quelle und dem Brunnen untersagt. Beklagter erhob Widerspruch, die Verfügung wurde durch Urteil bestätigt. Die Berufung des Beklagten hatte nur den Erfolg, daß in der einstweiligen Verfügung an Stelle der Worte „Entnahme von Wasser“ gesetzt wurde „Ableitung von Wasser“. Die Revision des Beklagten wurde zurückgewiesen und zwar aus folgenden Gründen:

Die Klägerin verlangt Schutz im Besitze ihres Rechts, aus der auf dem Grundstücke des Beklagten befindlichen Quelle das Wasser ihren Mitgliedern zuzuführen. Hierzu war die einstweilige Verfügung geeignet. Es fragte sich, wie weit sich das bescheinigte servitutartige Recht der Klägerin erstreckte: ob es auf die Wasserentnahme aus der Quelle beschränkt ist, oder ob es zugleich die Befugnis umfaßt, unter Ausschluß des Beklagten, das gesamte Wasser, welches der Quelle aus unterirdischen Wasseradern zugeführt wird, unbeschränkt zu benutzen. Das Berufungsgericht hat unanfechtbar festgestellt, daß von der Klägerin der tatsächliche Besitz eines Rechts in dem zuletzt bezeichneten größeren Umfange glaubhaft gemacht sei. Ist dies aber der Fall, dann kennzeichnet sich die Anlage eines neuen Brunnens und Schachtes von seiten des Beklagten, welcher aller Wahrscheinlichkeit nach das Wasser der Quelle entziehen und diese trüben wird, als ein Eingriff in den Besitz der Klägerin, den diese abzuwehren berechtigt ist. Die Berufung des Beklagten auf ein entgegenstehendes Urteil des Reichsgerichts kann dem Beklagten nicht dienen: denn in jenem Falle handelte es sich nur um die Begrenzung der Rechte auf Wasser, welche dem Grundeigentümer und einem Dritten nach allgemeinen gesetzlichen Vorschriften zustehen. Wo aber, wie hier, das Recht auf Entnahme von Wasser nicht auf allgemeinen Gesetzen beruht, sondern durch einen besonderen privatrechtlichen Titel begründet ist, da kommt es lediglich auf den Umfang des so begründeten Rechtes an.

Entscheidung des Landgerichts II, Berlin, bestätigt durch Urteil des Kammergerichts — U. 3249, 98 — vom 20. Dezember 1898

Aus einer großen Reihe gleichliegender Prozesse der den Charlottenburger Rieselfeldern benachbart liegenden Grundbesitzer gegen die Stadt Charlottenburg auf Schadenersatz wegen Immission von Rieselwässern sei nachstehendes Erkenntnis im Auszuge gegeben, dessen Tatbestand erheblich gekürzt dem landgerichtlichen Urteile entnommen ist.

Der Kläger ist Pächter von zehn Morgen Land in den Spandauer Weinbergen. In einer Entfernung von etwa 1300 Metern oberhalb dieses Landes hat die beklagte Gemeinde Grundbesitz, den sie mit den Abwässern der Stadt Charlottenburg berieselt. Der Kläger behauptet, sein Pachtland hätte bis zum Jahre 1896 niemals an Nässe gelitten, in

den Jahren 1895 und 1896 sei Wasser auf ihm hervorgetreten und hätte es versumpft. 1896 sei dies so stark geschehen, daß die Bewirtschaftung des Ackers teilweise unmöglich, teils sehr gehemmt gewesen sei. Er hätte das Land, das er gärtnerisch nutze, nur zur Hälfte bestellen können, und auf der andern Hälfte einen Schaden von 75 Prozent der vollen Ernte gehabt. Ferner habe er auch Wasser in seinen Keller bekommen, in dem er sonst Milch, Kartoffeln und Gemüse zum Verkauf gelagert hätte, und zwar steige und falle das Wasser je nach der Jahreszeit, stehe aber immer mindestens einen Fuß hoch. Der Kläger behauptet, die Beklagte habe die Versumpfung seines Landes und die Durchfeuchtung seines Kellers durch ihren Rieselbetrieb verursacht und sei zum Ersatz des dadurch entstandenen Schadens verpflichtet, weil sie diese Folgen bei Anwendung der erforderlichen Sorgfalt bei der Anlegung des Rieselfeldes hätte voraussehen können.

Die Beklagte hat Klageabweisung beantragt. Sie hat zwar das jetzige Vorhandensein der Versumpfung des klägerischen Landes zugegeben, aber bestritten, daß ihr Rieselbetrieb dies veranlaßt hätte, da die Entfernung des versumpften Landes viel zu weit von den Rieselfeldern sei, als daß die Berieselung den behaupteten Einfluß hätte haben können; auch sei das Rieselfeld drainiert und führe das Rieselwasser unschädlich zur Havel ab. Die Versumpfung sei auf atmosphärische Einflüsse zurückzuführen.

Aus den Gründen:

Nach dem Gutachten des Sachverständigen Keilhack ist der erhöhte Grundwasserstand ausschließlich auf die von der Beklagten angelegten Rieselfelder zurückzuführen. Denn da das Grundstück bis zum Jahre 1895 trocken gewesen sei, so blieben für die Herkunft der heutigen großen Grundwassermengen nur zwei Wege übrig: Sie können aus der teils nach Norden sich anschließenden Talniederung herrühren oder sie müssen aus dem nach Süden sich anschließenden Plateau kommen. Das erstere sei ausgeschlossen, da das Gelände von dem Grundstücke des Klägers aus nach Norden zu sich senke und das Grundwasser nicht bergauf fließen könne. Das Grundwasser könne daher nur aus dem südlich gelegenen Plateau kommen, und da die natürlichen Niederschläge nicht imstande seien, die Grundwassermengen so gewaltig zu erhöhen, so blieben für diese Erhöhung nur die durch die Rieselwirtschaft der Beklagten dem Plateau zugeführten gewaltigen Wassermengen zur Erklärung übrig. Dazu seien die geologischen Verhältnisse im Plateau durchaus geeignet, einen solchen Wasseraustritt in erhöhtem Umfange zu erklären, da diese Hochflächen aus einer mächtigen Sandmasse beständen und von einer ausgedehnten zusammenhängenden wasserundurchlässigen Schicht unterlagert seien. Trotz aller Drainage und Entwässerungsgräben sinke das Grundwasser in dem durchlässigen Sande

in die Tiefe, sammelte sich auf der undurchlässigen Unterlage in den dort vorhandenen Einsenkungen an und trete dann, zum Überfließen gebracht, am Gehänge heraus. Infolgedessen habe sich der erhöhte Grundwasserstand erst nach Ablauf eines längeren Zeitraums nach Beginn der Berieselung gezeigt. Nach diesem Gutachten stehe fest, daß die Versumpfung allein auf die Rieselanlage der Beklagten zurückzuführen sei. Für den durch diese Immission erwachsenden Schaden kann der Kläger Ersatz verlangen, jedenfalls dann, wenn die Beklagte bei der Anlage des Rieselfeldes ein Verschulden beging, wenn sie also den Eintritt des Schadens voraussehen konnte. Nach dem weiteren Gutachten des Sachverständigen hätte die Beklagte bei sorgfältiger Untersuchung und einer genügenden Anzahl von Bohrungen auf dem Plateau und an seinen Rändern zu der Überzeugung kommen müssen, daß durch die Anlage des Rieselfeldes die nach Norden anschließenden Ränder des Plateaus der Gefahr der Versumpfung ausgesetzt seien, und daß die Möglichkeit des Grundwasseraustritts für jede Stelle des Plateaurandes vorhanden sei, wenngleich die genaue Feststellung derjenigen Teile, in denen dieser Wasseraustritt tatsächlich erfolgen würde, nur nach ungeheuren Schwierigkeiten und Kosten hätte erfolgen können. Konnten somit die von der Beklagten mit der Anlegung des Rieselfeldes Beauftragten entweder auf Grund eigener Sachkenntnis oder durch Befragung geeigneter Sachverständiger die Möglichkeit der Versumpfung des klägerischen Grundstücks erkennen, so begingen sie mindestens ein mäßiges Versehen, wenn sie ohne Rücksicht auf diese Möglichkeit die Rieselfelder anlegten. Die Beklagte muß aber für dieses Verschulden ihrer Angestellten, als wäre es ihr eigenes, haften und daher für den entstandenen Schaden einstehen.

In der Berufungsinstanz vor dem Kammergerichte hatte sich die Beklagte noch darauf berufen, daß zur Abgabe des Gutachtens nicht ein Geolog, sondern ein Kanalisationstechniker geeignet wäre, und daß die Rieselanlage die landespolizeiliche Genehmigung erhalten hätte. Das Berufungsgericht hat aber entschieden, daß der Sachverständige als Geolog durchaus kompetent für alle hier in Frage kommenden Verhältnisse wäre, der Kanalisationstechniker könnte sich höchstens dahin äußern, daß die Anlage des Rieselfeldes technisch richtig erfolgt sei. Durch die polizeiliche Genehmigung der Rieselanlage wird die Beklagte von ihrer Pflicht, auch ihrerseits die mögliche Einwirkung auf die Nachbargrundstücke in Erwägung zu ziehen, nicht befreit, da für die behördliche Genehmigung das öffentliche Interesse maßgebend sei, es aber Pflicht der Beklagten als Unternehmerin bliebe, die Möglichkeit des Eingriffes in Privatrechte Dritter zu prüfen. Das Verschulden sieht schließlich das Berufungsgericht besonders auch darin, daß die Beklagte bei Anlage der Rieselfelder keinen Geologen zu Rate gezogen hat.

Ortsverzeichnis

- Aachen**, Schwefelquelle 412
Aachen-Burtscheid, Ursprung der Thermen 366
Aach-Quelle, Zusammenhang mit der Donauversinkung 175
—, Ergiebigkeit 487
Aaretal, alte tiefe Rinnen 146
Achenbachschacht bei Staßfurt, Ersaufen des — 539
Agramer Beben, Beeinflussung von Thermen 385
Alb, Basalt als Wasserbringer 352
—, Quelltöpfe der — 334
Alexanderbad, Eisenquelle 411
Alford, Stickstoff im Wasser 60
Aller, Verunreinigungsgrenze des Wassers 452
Alpen, Kristallkeller 52
—, Tote Täler im Vorlande 138
—, Einfluß der — auf den Rhein 152
—, Grundwasserbewegung im Vorlande 157
—, Verwerfungsquellen 355
Altmark, Urstromtal 22
—, artesisches Wasser 303
Altreichenau, Säuerling 409
Altstetten bei Zürich, Grundwasser 177
Amazonas, Abflußmenge 90
Ammendorf bei Merseburg, Wassergewinnung durch Sprengschuß 492
Ampen, Solquelle 536
Amsterdam, Grundwasser in den Dünen 162
Anna-Hilfsbau bei Brüx, Wassereinbruch 533
Anzin, Torrent d'— 221
—, Schichtenprofil 222
Apollinarisbrunnen, alkalische Quelle 410
Äquatorialgebiet, warme Quellen 125
Arakli, Austreten des Grundwassers bei Erdbeben 386
Arbroath, Stickstoff im Wasser 60
Ärmel-Kanal, Undurchlässigkeit des Untergrundes 110
Arnstadt, Solquelle 410
Ars an der Mosel, Verwerfungsquelle 357
Artern, Solquelle 410
Artois, artesische Brunnen 264
Assam, Niederschläge 86
Astenberg, Lennequelle 102
Aure, Verschwinden der — 173
Australien, künstliche Bewässerung 4
Aveyron, Quellentemperaturen 134
Avrefluß, Zusammenhang mit Quelle 41
Baden-Baden, Thermen von — 366
—, Quellen 324
Baden bei Schaffhausen, alte Rinne des Rheins 146
Badener Höhe, Quellen 324
Baden in der Schweiz, Thermalquellen 366
—, Verzögerung der Quellenerträge 379
Baden, Solquelle 410
Badenweiler, Akratotherme 409
Bad Lands, Tertiärtone 291
Baikalsee, Erdbebenwirkung auf Grundwasser 383
Balkanhalbinsel, Karstgebiete 247
Baltischer Höhenrücken, Eisrandlage 23
— —, Kalktuff 424
Banjsko bei Strumica, Thermenbeeinflussung durch Erdbeben 386
Bantorfer, Kohlenbergbau 537
Basel, größte und kleinste Abflußmenge des Rheins 97
—, Rhein bei — 152
—, Rheintal bei — 151
Bayrische Alpen, Quellentemperaturen 134
Bayrisch-schwäbische Hochebene, Wechselagerung durchlässiger und undurchlässiger Schichten 213

- Beehive-Geiser** 371
Bekecs, Entstehung der Schwefelquelle 385
Belgien, Glazialbildungen 19
Bellegarde, Verschwinden der Rhone bei — 173
Belzig, Profil des Fläminggrundwassers 159
Berg, Quellen bei — 331
Berggießhübel, Eisenquelle 411
Berlin, Brunnenprofile 216
 —, Grund- und Spreewasserstand 188
 —, Grundwasser und Niederschläge 198
 —, Grundwasserverhältnisse 203
 —, Grunewaldseen 231
 —, Jahresperiode für das Grundwasser 204
 —, Jahresperiode für Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdefizit 205
 —, Jahresperiode von Grundwasser und Niederschlag 207
 —, Lage im Urstromtal 1, 3, 550
 —, Plötzenseer Schleuse 155
 —, Profil des Untergrundes 24, 25
 —, Rieselfelder 544
 —, Sole im Unteroligozän 400
 —, Stahnsdorfer Friedhof 127
 —, Tagesmittel des Sättigungsdefizits 199
 —, Untergrundbahnbau 3
 —, Wälder auf Talsand 550
 —, Wasserbedarf 556
 —, Zuströmen des Grundwassers zum Flusse 181
Bernburg, Klüfte in den Triasgesteinen 318
 —, Kluftsysteme im Muschelkalk 44
 —, Solquelle 410
 —, Versalzung des Grundwassers 401
Bertrich a.d. Mosel, antike Quellenfassung 467
 —, alkalische Quelle 410
Bethlehem, 346
Bibra, Akratopege 409
Big Horn Mountains, Flußversinkungen 173
 ———, Nährgebiet artesischen Wassers 290
Birmingham, Stickstoff im Wasser 60
Birresborn, alkalische Quelle 410
Bitterfeld, Bewurzelungstiefe von Bäumen 550
Bitteswell, Stickstoff im Wasser 60
Black Hills, Flußversinkungen 173
 ———, Nährgebiet artesischen Wassers 290
Blaubeuren, Blautopf 332
Blaue Grotte 54
Blautopf bei Blaubeuren 332
Bocca di Falco, Verwerfungsquelle 355
Bochum i. W., artesischer Brunnen 272
Bodendorf, Akratotherme 409
Bodensee als Klärbecken 19
Böhmen, Bruchlinie am Erzgebirge 366
 —, Wassereinbruch bei Brüx 533
Böhmerwald, Blockmeere 16
Boll in Baden, Bitterquelle 411
Borkum, Tagesmittel des Sättigungsdefizits 199
Bourg-en-Bresse, Kalkgehalt der Quellwasser 181
Brandenburg a. H., Urstromtal 22
 —, Grundwasserbeobachtung 554
 —, Pegelbohrlöcher bei — 211
Braunschweig, elektrisches Leitvermögen des Schunterwassers 452
Bremen, Grund und Weserwasserstand 191
 —, Grundwasserbewegung 206
 —, Jahresperiode von Grundwasser und Niederschlag 207
Breslau-Bremer Urstromtal 22
Breslau, Mangan im Grundwasser 405, 416
 —, Tagesmittel des Sättigungsdefizits 199
Bretagne, Löß in der 15, 17
 —, Lößverbreitung 29
 —, Strandwälle 17
Briare, Abflußmenge der Loire 97
Brocken, Blockmeere 16
Brohital, Kohlensäure 375
Broller, intermittierende Quelle 360
Bronnbach im Neckartal, Muschelkalkquelle 329
Brück i. M., Grundwasserbeobachtung 554
Brückenau, Sauerling 409
Brunnhraun, Lavaquellen 314
 —, Karte 315
Brünn, Grundwasserbewegung 206
 —, Jahresperiode von Grundwasser und Niederschlag 207
Brüx in Böhmen, Wassereinbruch im Annahilsschacht 533
 —, Schwimmsand unter — 534
Bublitz, aufsteigende Quelle 361
Budapest, elektrisches Leitvermögen des Leitungswassers 450
 —, Erdbeben von 1783 385
Bulach, Wasserversorgung 382
Calbe a. S., Braunkohlenbergbau bei — 531
Cambridge, Stickstoff im Wasser 60
Cantarellequelle in Pozzuoli 383
Capri, blaue Grotte 54
Casamicciola, heiße Quellen 382
Cevennen, Niederschläge 86

Champagne, Quellenlinien 1
 —, Grundwasserverhältnisse 239
Charlottenbrunn, Säuerling 409
Charlottenburg, Austrocknung von Brunnen 173
 —, Rieselfelder 547
Cheyenne River, jungtertiäre Sandsteine 291
Chicago, artesische Brunnen 287
 —, artesisches Wasser 300
China, Lößverbreitung 15
Comelquelle bei Neu-Braunfels in Texas 302
 —, artesische Quelle, 365
Comstockgang, heiße Quellen auf dem — 535
Comtat, Ebene von 342
Creuzburg a. d. Werra, Kochsalzquelle 395
Crozeau, Quelle von 339
Czuchow, geothermische Tiefenstufe 132

Dakota, Steighöhe artesischen Wassers 277
 —, geologischer Bau 291
 —, Erzeugung von Druckwasser durch Flexur 290
 —, artesische Brunnen 292
 —, Sammelteiche für Druckwasser 298
Danzig, Rieselfelder 544
Darlington, Stickstoff im Wasser 60
Daun, alkalische Quelle 410
Deal, Stickstoff im Wasser 60
Deisenhofen, Grundwasserkurven 226
 —, Senkungstrichter im Grundwasser 226
Delft, Grundwasser in den Dünen 162
Dellenberg, Quellen am 382
Dhuis, Quellen 463
Dimbowitza, Wirkung von Erdbeben auf Grundwasser 383
Ditzenbach, Säuerling 409
Dniepr, Abflußmenge 90
Dniestr, Abflußmenge, 90
Döberitz, Pegelbohrlöcher bei — 211
Döllinger-Grube bei Dux 541
Donau, Abflußmenge 90
 —, Versinkung bei Tuttingen 175
 —, Grundwasser zwischen — und Theiß 181
 —, Erdbebenwirkungen an der unteren — 383
 —, Normalwasser 95
 —, versinkende Menge 487
Donaugebiet, Gletscherströme 22
 —, Niederschläge 86
Donaukanal, Beziehung zum Grundwasserstande 192

Donaukanal, Schwankungen 193
Donauwörth, Niederschläge 86
Dornstetten, Muschelkalkquelle 327
 —, Quellen bei — 330
Doubsfluß, Zusammenhang mit der Loue-
 quelle 487
Drinovci, Bijelo-Polje 262
Drôme, Verschwinden der — 173
Drömling 303
Düben, artesisches Wasser 306
Dubinín, Entstehung von Springquellen bei Erdbeben 383
Durance, Vermutung unterirdischen Abflusses 342
Durham, Stickstoff im Wasser 60
Dux, geologische Verhältnisse der Gegend von —, 541

Eggegebirge, Kreideplateau westlich vom — 245
 —, Grenze des Nährgebietes der Paderquellen 350
Eifel, Lavasäulen 40
 —, Kohlensäureaustritte 375, 407
Eilenburg, Grundwasserverhältnisse 144
Eisleben, Verschwinden des Salzigen Sees bei — 529
Elbe, Normalwasser 95
 —, in Urstromtälern 22, 23
 —, Einfluß auf Grundwasser bei Magdeburg 135
 —, Versalzung von Grundwasser 401
Elberfelder Farbenwerke, Wasserverbrauch 72
Elgersburg, Profil 33
Elmen, Solquelle 410
Elsaß, Quellentemperaturen 134
Elstertal, altes diluviales Tal bei Leipzig 142
Elsterwerda, Wasserdrucklinienkarte 275
Emmental, Grundwassergeschwindigkeit 482
Ems, alkalische Quelle 410
 —, Thermen im Bette der Lahn 425
 —, Kränchenbrunnen 469
England, Versickerungsmengen von Schnee und Regen 379
Erzgebirge, Randverwerfung 366
Erzgebirgische Thermenlinie 366
Eschachtal 327
Etschtal, Fontanili 307
Etzin, Pegelbohrlöcher bei — 211
Eyachsprudel, Bitterquelle 411

- Fachingen**, alkalische Quelle 410
Felsengebirge, Nährgebiet artesischen Wassers 290
 —, Druckwassergebiete 557
Ferrara, Spiegellage des Po 154
Fichtelgebirge, Blockmeere 16
 —, Quellentemperaturen 134
Fiener Bruch, Grundwasserschichtlinien 119
Fläming, Eisrandlage 22
 —, Wasserführung 158
 —, Grundwasserprofil 159
 —, Quellenlinie 455
Fläschlochquelle, Ertragswechsel 379
Flinsberg, Eisenquelle 411
Forcalquier, Aven von Cruis 343
Forio, Quelle von — 382
Fortschrittgrube bei Dux 541
Franken, Zechsteinsalze 399
Frankenberg, Verwerfungsquellen 363
Frankfurt a. M., Grundwasserverhältnisse 191
 —, Grundwasserbewegung 206
 —, Jahresperiode von Grundwasser und Niederschlag 207
Frankreich, Dünen der „Landes“ 28
Französisches Zentralplateau, Lavaquellen 314
Freienwalde, Akratopege 409
Friedland, Blitzgrundquelle 323
Friedrichshall, Bitterquelle 411
Fulham, Einwirkung der Gezeiten auf artesisches Wasser 273
Fürstenbrunnen bei Jena 326
Fürstenfeld in Steiermark, Sandleisten im Tegel 219
 —, Schichtenprofil 220 u. 221
Fürstenwalde, Wälder auf Talsand 550
- Gablenberg**, Quellen bei — 331
Gaëta, Konstanz der Quellen 383
Gaisburg, Quellen bei — 331
Galizien, Salzlager im Tertiär 401
Ganges, Abflußmenge 90
Garonne, Dünengebiet 28
 —, Normalwasser 95
Gatower Hochfläche, Rieselfelder 547
Gatower Senke und Rieselfelder 548
 —, Versumpfung durch Rieselfelder 548
Geismar, Säuerling 409
Genfer See als Klärbecken 19
Genthin, Grundwasserschichtlinien 119
Gerfin bei Bublitz, aufsteigende Quelle 361
Gerolstein, alkalische Quelle 410
- Gespringe** am Meißner 357
Giant-Geiser 371
Gießen, Niederschläge 86
Giselagrube, bei Dux 541
Glattal bei Zürich, Grundwasserstrom des — 146, 348
Glogau-Baruther Urstromtal 23
 — — Urstromtal, Grundwasserbeobachtung 554
 — —, Grundwasserschichtlinien bei Genthin 119
Glogau, artesisches Wasser 305
Godavery, Abflußmenge 90
Goldap, Kieseinlagerungen im Geschiebemergel 219
Gommern, Sole im Silur 400
Göppingen, Säuerling 409
Horze bei Metz, Verwerfungsquelle 356
Gösseltal bei Leipzig 144
Goudron, Kohlensäuresprudel 375
Gramenz in Hinterpommern, artesisches Wasser in — 305
Graubünden, größte und kleinste Abflußmenge des Rheins 97
 —, intermittierende Quelle 360
Graz, Grundwasserbeobachtung 206
 —, elektrische Leitfähigkeit des Brunnenwassers 450
Greiz, Wasser im kambrischen Quarzit 246
Grenelle, Temperatur artesischen Wassers 276
 —, artesischer Brunnen, Tiefe und Temperatur 285, 289
Grimma, Grundwasserverhältnisse 144
Große Geiser 370
Grunewald, Spiegelgang der Seen 231
 —, Kurven des Spiegelganges 232
Gütergotz, Profil zum Teltowkanal 159
Güvesno, Austreten von Grundwasser bei Erdbeben 386
- Haag**, Grundwasser in den Dünen 162
Haarlem, Höhe der Dünen 166
Hachinger Bach, Versinken im Boden 178
Hagelberg, Tiefbohrung 158
 —, Tiefe des Grundwasserspiegels 159
Hall, Solquelle 410
Hamburg, Tagesmittel des Sättigungsdefizits 199
Harz, Niederschläge 86
Harzburg, Solquelle 410

- Hastings**, Kreidegebirge von — 289
Havel, Pegelbohrlöcher aus dem Gebiete der — 210
 —, Quellenbildung durch Rieselfelder 548
 — **und Strunne**, Pegelbohrlöcher zwischen — 211
Havelländisches Luch, Moormergel im — 552
Hegyallya, Erdbeben von 1713 385
Heidelberg, Buntsandsteinwasser 413
Heilbronn, Namenshinweis 1
Hekla-Gebiet, Lavaquellen 314
Hercynia bei Vienenburg 538
Herne, artesischer Brunnen 273
Hessen-Nassau, Wasserrecht 572
Hessisches Bergland, Grabenversenkung 52
Hillmorton, Stickstoff im Wasser 60
Hoangho, Abflußmenge 90
Hohenzalza, Zechsteinsalze 399
Hohenzollernsche Lande, Wasserrecht 572
Holland, Dünengebiete 27
 —, Glazialbildungen 19
Homburg, Kohlsäuerling 376
Idzuk-Quelle 360
Ill, Einfluß auf das Grundwasser 186
 —, Pegelstände 186
 —, Schwankungen 187
Illfluß, im Rheintale 151
Illinoisfluß, Bohrungen auf artesisches Wasser 299
Illinois, Geologischer Bau 298
Imotski, Polje von 262
Indien, künstliche Bewässerung 4
Indisches Beben von 1897 384
Indus, Abflußmenge 90
Innsbruck, Grundwasserbewegung 206
Inverness, Stickstoff im Wasser 60
Iowa, Dakotasandstein 292
Irawaddi, Abflußmenge 90
Isar, Einfluß auf das Grundwasser in München 182, 183
 —, Wasserstände 182, 183
Ischia, Wirkung der Erdbeben auf Quellen 382
Island, Geiser in 369
 —, Grundwasserquellen 310
 —, Kieselsinter 406
 —, Lavahöhlen 53
 —, Lavaquellen 314
 —, Thermen in Flüssen 425
Italien, Karstgebiete 247
Italien, Salzlager im Tertiär 401
Iton, Verschwinden des — bei Villalet 173
Jablanica, Komadinaquelle 260
James River, artesisches Gebiet 295
Janegg-Teplitzer Porphyrgebiet 541
 —, **und Teplitz**, Spaltenzüge zwischen — 542
Jederitz, Pegelbohrlöcher bei — 211
Jena, Schichtenquelle 326
Jeseriger See, Pegelbohrlöcher nördlich vom — 211
Johannisberg am Taunus 376
Jura, Quellen 462
 —, Schweizer, Schichtquellen 335
Jüterbog, Fläming bei — 158
Kainzenbad, Akropoige 409
Kaiserstuhlgebirge, Quelltemperaturen 134
Kaiser-Wilhelm-Kanal, Kieslinsen im Geschiebemergel 219
Kalabrien, Erdbebenwirkung auf Grundwasser 384
Kalau, aufsteigende Quelle 361
Kalte Born am Meißner 358
Kaltental, Quellen bei — 331
Kane-Geiser in Kansas 377
Kansas, Kane-Geiser 377
 —, Grundwasserbewegung 481
Karlsbad, heiße Quelle 366, 367
Karlsbader Sprudel 424
 — —, kein Einfluß des Lissaboner Erdbebens 387
 — —, Erbsenstein 424
Kaspisches Meer, Niederschläge 86
Kassel, Tagesmittel des Sättigungsdefizits 199
Kaukasus, Niederschläge 86
Kellerwald, Verwerfungsquellen 363
Kendahl, Stickstoff im Wasser 60
Kiel, Tagesmittel des Sättigungsdefizits 199
Kimp, Idzukquelle 360
Kinzigtal, 327
Kissingen, Brunnensprudel 376
 —, Sole im Buntsandstein 400
 —, Solquelle 410
Kistna, Abflußmenge 90
Kleinental, 327
Kl. Leipisch, Druckwassergebiet, Karte 276
Kl. Schwalg, Kies im Geschiebemergel 219
Klein-Wanzleben, Wassergewinnung durch Sprengschuß 492

- Koblenz**, Niederschläge 86
Koburg, Niederschläge 86
Kolberg, Sole im Alluvium 400
Kolbitzer Forst, Nährgebiet eines artesischen Stromes 307
Köln, Grundwasserbewegung 153
Komadinaquelle, Abbildung 259, 260
Komorn, Erdbeben von 1783 385
Kongo, Abflußmenge 90
Königswusterhausen, Rieselfelder 546
Köpenick, Wälder auf Talsand 551
Korinthischer Meerbusen, Hervortreten von Grundwasser bei Erdbeben 383
Kösen, Solquelle 410
Krapina-Töplitz, Therme von — 385
Kresna-Defilé, Entstehen von Thermen bei Erdbeben 386
Kreuznach, Sole im Porphyry 400
 —, Solquelle 410
Krim, Strandwälle 17
Kruft in der Eifel, Wasserentziehung bei 528
Krumme Lanke, Sinken der — 156
 —, Spiegelgang 231
Kuba, Karstgebiete 55
Kudara, Erdbebenwirkung auf Brunnen 388
Kudowa, Eisenquelle 411
Küßnacht bei Zürich, Grundwasser im eingedeckten Tale 145
Küstrin, Spiegellage der Oder 154

La Doux-Quelle 335
Lägerdorf in Holstein, Wasserbewegung in — 335
La Foce, Verwerfungsquelle 356
Lahnkopf, Lahnquelle 102
Lahnquelle 102
Laibach, Seismometer 387
Lake Michigan, artesisches Wasser 300
Landeshut in Schlesien 346
Lauchstädt, Akratopege 409
Laufenburg am Rhein, Quellenzerstörung 382
Lauffenburg, Grundwasser im alten Rheinlauf 145
Lausitz, Urstromtal 22
 —, Wasserdrucklinienkarte 275
 —, Durchlässigkeit der Kohlenflöze 317
Lausitzer Urstromtal, Profil des Untergrundes 24, 25
 — —, Grundwasserfälle 217
 — —, Senkungstrichter im — 224, 227, 228
 — Granit, Absonderung 41
 — Grenzwall, Grundwasserfälle 217

Lea Bridge Station, wasserführ. Klüfte 239
Leipzig, Grundwasserverhältnisse 142
Lennequelle, 102
Leobersdorf, Quellenentstehung bei Erdbeben 385
Leopoldshall, Ersaufen des Salzbergwerkes 539
Les Landes, Dünengebiet 28
Letzlinger Forst, Nährgebiet eines artesischen Stromes 303
Leuk, Schichtquelle 336
Liebenstein, Versinken der Wilden Gera 177
 —, Eisenquelle 411
Lille, Einwirkung der Gezeiten auf artesisches Wasser 273
Lillers, artesischer Brunnen von — 264
Limmattal, alte tiefe Rinnen 145
 —, Grundwassergeschwindigkeit 482
Lippspringe, Namenshinweis 1
 —, Bitterquelle 411
Lissabon, Wirkung des Erdbebens auf Quellen 387
Ljubuski, Vrioštica-Quelle 262
Lobenstein, Eisenquelle 411
Loire, Abflußmenge 90
 —, größte und kleinste Abflußmenge 97
 —, Beziehungen zum Grundwasser 182
 —, Normalwasser 95
Lombardei, Berieselungswesen 554
 —, Glazialbildungen 22
 —, Fontanili 307
London, Wasserversorgung 1
 —, Stickstoff im Wasser 60
Londoner Becken, geologischer Bau 289
Long Island, Grundwasserbewegung 481
Lonsinger Tal, intermittierende Quellen 360
Louequelle, Zusammenhang mit dem Doubsfluß 487
Louisiana, artesisches Wasser im Eozän 270
Luckenwalde, Grundwasserbeobachtung 554
Lüneburger Heide, Eisrandlage 22
Lyon, Alpenvergletscherung 22

Magdalena, Abflußmenge 90
Magdeburg, Grundwassertemperatur 135, 158
 —, Fleming bei — 158
 —, Wasserversorgung der Eisenbahnanlagen 280
 —, Kolbitzer Forst bei — 303
Magdeburgerforth, Quellenlinie 455
Mailand, Alpenvergletscherung 22
Main, Dünengebiet 27

- Main**, Spiegelschwankungen bei Frankfurt 192
- Maingebiet**, Niederschläge 86
- Mainz**, Rheinthal bei — 151
- Malmedy**, Säuerling 409
- Mammuth Hot Springs** 424
— — —, Kalktuffabsätze 424
- Mannheim**, Niederschläge 86
- Marga**, Braunkohlengrube 160
— —, Senkungstrichter 154
- Marlborough**, Stickstoff im Wasser 60
- Marseilles**, artesische Brunnen 299
- Masurische Seenplatte**, Kieseinlagerungen im Geschiebemergel 219
- Mazedonien**, Thermen- und Erdbebenlinien 386
- Mecklenburg**, Eisrandlage 23
- Meißner**, 417
—, Quellen 3, 326
—, Überfallquellen 347
—, Stauquelle 352
—, Verwerfungsquelle 357
—, Quellenanalysen 418—419
- Memel**, artesischer Brunnen 273
—, Normalwasser 95
- Mergentheim**, Bitterquelle 411
- Metz**, größte und kleinste Abflußmenge der Mosel 92
—, Verwerfungsquelle bei Gorze 356
- Metzingen**, 332
- Meuselwitz**, Druckniveau des tieferen Grundwasserhorizontes 233
—, Braunkohlenformation 233
- Mexiko**, Lavahöhlen 53
- Mississippi**, Abflußmenge 90
—, Druckwassergebiete 557
- Mississippital**, Wirkung von Erdbeben auf Grundwasser 383
- Missouri**, Austritt artesischen Wassers 293
- Mittelmark**, Eisrandlage 23
- Mittenwalde**, Moormergelgebiete 552
- Bladebach** im Karst 262
- Möhringen**, Donauversinkung 175
- Mölln**, Akratopege 409
- Monmouth**, artesischer Wasserdruck 300
- Montana**, Flexur 282
—, Geisergebiet 371
- Mont Cenis**, Wassermangel im Tunnel 3
— —, Wasserarmut im Tunnel 110
- Monte Cuccio**, Verwerfungsquelle 355
- Monte Nuovo**, Entstehung 382—383
- Mont Ventoux**, Neokomgebiet 341
- Mosel**, größte und kleinste Abflußmenge 97
- Mühlborn**, am Meißner 347
- Muldetal**, altes diluviales Tal 142
—, artesisches Wasser bei Düben 306
- München**, Schneeanalyse 58
—, mittlerer Grundwasserstand 180
—, Grundwasserstände 182, 200
—, Einfluß der Isar auf das Grundwasser 183
—, Schwankungen des Grundwassers 184, 199
—, Grundwasser und Niederschläge 198
—, Jahresperiode von Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdefizit 201
—, Grundwasser bei Deisenhofen 226
- Münchener Hochfläche**, Versickerung des Würmflusses 172
- Münchener Hochebene**, Versinken des Hachinger Baches 178
- Münster** am Stein, Analyse des Hauptbrunnens 397
—, Schichtenfolge im Becken von — 535
- Münstersches Becken**, Kreideschichten des — 530
- Mur**, elektrisches Leitvermögen des Wassers 450
- Muskau**, Eisenquelle 411
- Naarden**, Polderland 165
- Naisum-Chuja** in Tibet, Geiser 371
- Namedy**, Kohlensäuresprudel 376
—, alkalische Quelle 410
- Narentatal**, Komadinaquelle 260
- Naheim**, Kohlensäuresprudel 375
—, Sole im Stringocephalenkalk 400
—, Solquelle 410
—, Erbohrung des Sprudels 478
- Neapel**, Solfatara 375
- Nebraska**, Steighöhe artesischen Wassers 277
—, Erzeugung von Druckwasser durch Flexur 290
—, geologischer Bau 291
—, artesischer Brunnen 292
- Negorce** bei Gjegelj, Thermenbeeinflussung durch Erdbeben 386
- Nenndorf**, Schwefelquelle 412, 537
- Nesque-Schlucht** 341
- Netze**, Dünengebiete 27
- Neu-Braunfels**, artesischer Brunnen 301, 365
- Neuenahr**, alkalische Quelle 410

- Neu-England-Staaten**, Grundwasser im Granit 241
- Neuhaldensleben**, artesische Brunnen 303
- Neuhausen**, eingedecktes Rheintal 146, 332
- Neu-Madrid**, Wirkung von Erdbeben auf Grundwasser 383
- Neumark**, Eisrandlage 23
- Neuseeland**, Geiser 369
- , Thermen in Flüssen 425
- Neu-Staßfurt**, Ersaufen des Salzbergwerkes 539
- Newark**, Stickstoff im Wasser 60
- Newent**, Stickstoff im Wasser 60
- Niederlausitz**, schnelles Steigen des Grundwassers 103
- , Druckniveau des tieferen Grundwasserhorizontes 233
- , Braunkohlenrevier 233
- Niedermendig**, künstliche Eishöhlen 104
- Niederösterreich**, Erdbeben 385
- Niederrhein**, höchste und geringste Abflußmenge 97
- Niederschlesien**, miocäne Braunkohlenformation 534
- Niderselters**, alkalische Quelle 410
- Niemen**, Abflußmenge 90
- Nil**, Abflußmenge 90
- Niobrara River**, artesisches Gebiet 295
- Nodorf** bei Zürich, Überfallquelle 349
- Noiraigue**, unterirdischer Wasserabfluß 175
- Nordamerika**, Karstgebiete 55
- , Geiser 369
- Nordböhmisches Tertiärbecken**, Braunkohlenbergbau 541
- Norddeutsches Flachland**, Glazialbildungen 19
- , Wechsellagerung durchlässiger und undurchlässiger Gesteine 213
- Norddeutschland**, artesisches Wasser 557
- , Dünengebiete 27
- , Eisengehalt der Quellen 420
- , Glazialablagerungen 464
- , Grundwasserhorizont des Unteren Geschiebemergels 464
- , Niederschläge 86
- , Urstromtäler 22
- , Urstromtälerkarte 20 u. 21
- Norderney**, Bohrprofile 162
- , Dünengrundwasser 162
- Nordholland**, tiefelegene Torfmoore 167
- Nordostseekanal**, Änderung des Grundwassers 4
- Nordsee**, Dünengürtel in Holland 167
- Nordseebecken** zur Eiszeit 22
- Nordseeküste**, Dünengebiete 27
- Nordvogesen**, Überfallquelle 346
- Nottefließ**, Rieselfelder am — 546
- Novara**, Fontanili 307
- Oberbayern**, Glazialablagerungen 22
- Oberbayrische Hochebene**, Senkungstrichter bei Deisenhofen 226
- , Quellen 309
- Oberlausitz**, Dünengebiete 27
- Oberndorf**, Hungerbrunnen 328
- Oberrheinische Tiefebene**, geologischer Bau 151
- , Wechsellagerung durchlässiger und undurchlässiger Gesteine 213
- Oberschlesien**, Salzlager im Tertiär 401
- Oberselters**, alkalischer Sauerling 410
- Oblong Geiser** 424
- , Kalktuffabsätze 424
- Odenwald**, Blockmeere 16
- , Quellen des — 95
- Oder** in Urstromtälern 22, 23
- , Abflußmenge 90
- , Normalwasser 95
- , Spiegellage bei Küstrin 154
- Oderbruch**, Tonsümpfe 553
- Odergebiet**, Niederschläge 86
- Oeynhausens**, Sole in der Kreide 400
- , Solquelle 410
- Ogley Hay** 60
- Ohre**, artesischer Strom 280
- Ohretal**, artesischer Grundwasserstrom 303
- Oker**, Verunreinigungsgrenze des Wassers 452
- Old Faithful Geiser** 371
- Olifant**, Abflußmenge 90
- Orange**, Abflußmenge 90
- Orbequelle** 489
- Orinoco**, Abflußmenge 90
- Österreich**, Salzlager im Tertiär 401
- Ostfriesische Inseln**, Grundwasser unter den — 162
- Ostpreußen**, Eisrandlage 23
- , artesisches Wasser 274
- Ostsee**, Grundwasser in den Dünen 161
- Ostseebecken** zur Eiszeit 22
- Ostseeküste**, Dünen 28
- Ottawa**, artesische Brunnen 299

- Paderborn**, Kreideplateau von — 245
 —, Namenshinweis 1
 —, Paderquellen 350
 —, Stauquellen 349
Paderquellen, Einzugsgebiet 101
Parey, Pegelbohrlöcher bei — 211
Paris, artesische Brunnen 285
 —, elektrisches Leitvermögen des Leitungswasser 450
 —, Quellen der Dhuis 463
 —, mittleres Gefälle des Grundwassers 180
 —, Wasserversorgung 1
Pariser Becken, geologischer Bau 288
Parthetal bei Leipzig 142
Passy, artesischer Brunnen 286, 289
Pei-ho, Abflußmenge 90
Pepper Harrow, Stickstoff im Wasser 60
Perlach, Wasserführung des Hachinger Baches 178
Peschadoires, Quelle von 314
Pest, Grundwasserverhältnisse 181
Pfäffers, Spaltenquellen 366
Phlegraeische Felder, heiße und kalte Quellen 382
Pianura di Rosarno, Erdbebenwirkung auf Grundwasser 384
Pilatus, intermittierende Quelle 360
Plaue in Thüringen, Verschwinden der Wilden Gera 176
Pleißetal bei Leipzig 142
Plötzensee, Einwirkung des Schleusenbaues 173
 —, Unabhängigkeit von Kanal- und Grundwasser 155
Plötzenseer Schleuse, Dichtigkeit ihrer Sohle 155
Po, Abflußmenge 90
 —, Spiegellage bei Ferrara 154
Pogebiet, Fontanili 307
Polargebiet, warme Quellen 126
Polla Cadimare, Verwerfungsquelle 356
Polzin, Eisenquelle 411
Pommern, aufsteigende Quellen 361
 —, Eisrandlage 23
 —, Radüetal 463
 —, unsymmetrische Täler 464
Popovo polje 257
Posen, artesisches Wasser 304
 —, Eisrandlage 23
 —, Druckwassergebiete 557
 —, miocäne Braunkohlenfomation 534
 —, Niederschläge 86
Posen, Tagesmittel des Sättigungsdefizits 199
 —, Urstromtal 22
Pozzuoli, Quellenkonstanz 382
 —, Serapistempel 382
Preßburg, Brunnen auf der Theben-Karlsdorfer Insel 185
Pretzsch, Nährgebiet artesischen Wassers 306
Preußen, Bohrarchiv der Geologischen Landesanstalt von — 475
Pritzerbe, Pegelbohrlöcher bei — 211
Przibram, Ende der Wasserführung in der Tiefe 111
Purmallen, artesisches Wasser 273
Puy de Côme, Lavaquelle 314
Pymont, Eisenquelle 411
Rabental bei Liebau, Quellen in — 312
Radüe, Talterrassen 463
Ran of Kachh, Hervortreten von Grundwasser bei Erdbeben 384
Recklinghausen, Versiegen einer Quelle 537
Recklinghäuser Sandmergel 537
Rehburg, Säuerling 409
Rehme, Brunnentemperatur 275
Reichenhall, Solquelle 410
Remscheid, Talsperre 101
Remüs, intermittierende Quelle 360
Rhein, Abflußmenge 90
 —, Einfluß auf das Grundwasser 186
 —, Flußlehm am Alten — in Holland 167
 —, Normalwasser 95
 —, Pegelstände 186
 —, Schlickablagerungen 553
 —, Schwankungen 185
Rheinisches Schiefergebirge bei Nauheim 375
Rheinland, Zechsteinsalze 399
Rheinprovinz, Kohlensäureexhalationen 375
 —, Wasserrecht 572
Rheinstrom in der Oberrheinischen Tiefebene 151
Rheintal, alte tiefe Rinnen 145, 167
 —, — — oberhalb Basel 146
 —, Grundwasserbewegung bei Köln 153
 —, Grundwasserströme des — 146
 —, Quellen der Talränder 462
Rheintalebene, Niederschläge 86
Rhone, Abflußmenge 90
 —, Normalwasser 95
 —, Verschwinden der — bei Bellegarde 173
Riesenquelle bei Teplitz 541
Rio de la Plata, Abflußmenge 90

- Rio Grande**, Abflußmenge 90
Rippoldsau, Eisenquelle 411
Rohrbach im Graben, Verwerfungsquelle 356
Rollmannsbrunnen bei Herne 273
Rom, Wasserversorgung 1
Ronneburg, Jod im Kieselschiefer 406
Rothenburg o. d. Tauber, Schwefelquelle 412
Rottenburg, Quellenverhältnisse des Mutschelkalkgebiets 329
Ruhland, Wasserdrucklinienkarte 275
Ruhrbecken, Tiefbauschächte 536
Russisches Flachland, Glazialbildungen 19
Rußland, Urstromtäler 23
 —, Lößverbreitung 29
 —, Niederschläge 86

Saale, Versalzung des Grundwassers 401
 —, Abflußmenge 90
Saalegebiet, Niederschläge 86
Sachsen, Prov., Urstromtal 22
Sächsische Schweiz, Kluftsysteme in Sandstein 45
Sajnovac-Ponor 262
Sagansk, Entstehung von Springquellen bei Erdbeben 383
Saloniki, Erdbeben von 1902 386
Salzbrunn, alkalische Quelle 410
Salzburg, Grundwasserbeobachtung 206
Salziger See bei Eisleben, Verschwinden des — 529
Salzkotten, Solquellen 536
Salzschlirf, Solquelle 410
San Antonio, artesische Quellen 288, 301, 365
Sandwichinseln, Lavahöhlen 53
San Franzisko, Abflußmenge 90
San Marcos-Quelle in Texas, artesische Quelle 301, 365
Sauerland, Gipfelquellen 102
Schaffhausen, alte Rheintäler 146
Schemnitz, Thermenerwärmung bei Erdbeben 385
Schlachtensee, Sinken des — 156
 —, Spiegelgang 231
Schlangenbad, Akrotherme 409
Schlesien, Druckwassergebiete 557
 —, Urstromtal 22
Schleswig, Niederschläge 86
Schleswig-Holstein, Eisrandlage 23
 — —, Wasserrecht 572
 — —, Zechsteinsalze 399
Schmiedeburg, Schwefelsäure im Moorschlamm 401

Schneidemühl, artesischer Brunnen 303
Schönau, Thermen 541
Schönauer Quellen, Verschwinden der — 542
Schönbuch, Quellen im — 330
Schönebeck, Salz im Röt 401
Schöneberg, Rieselfelder 546
Schottland, Niederschläge 86
Schramberg 327
Schunter, elektrisches Leitvermögen des Wassers 452
 —, Verunreinigungsgrenze des Wasser 452
Schwäbische Alb, Quellenlinien 1
 — — als Wassersammler 333
Schwäbischer Jura, Basalt als Wasserstauer 352
 — —, intermittierende Quellen 360
 — —, rasche Reaktion der Schichtquellen 378
Schwalbenstein am Meißner, Quellen 326
Schwalheim, Säuerling 409
Schwarze Elster, Undurchlässigkeit ihres Bettes bei Senftenberg 155
Schwarzwald, Niederschläge 86
 —, Rheintal entlang dem — 151
 —, Quellen bei Baden-Baden 324
 —, Quellen des — 95, 462
 —, Quellenhorizont im — 325
 —, Quellen im Deckenschotter 382
Schweizer Jura, rasche Reaktion der Schichtquellen 378
Sclafani, Verwerfungsquelle 355
Seesteinquelle am Meißner 347
Seine, Abflußmenge 90
 —, Normalwasser 95
Selengadelta, Erdbebenwirkung auf Grundwasser 383
Selters bei Weilburg, Säuerling 409
Senftenberg, Senkungstrichter unter der Elster 173
 —, Senkungstrichter bei — 226
Sennewitz, Sole im Porphyrt 400
Sereth-Tal, Erdbebenwirkung auf Grundwasser 383
Sheffield, Stickstoff im Wasser 60
Siebenbrunnen bei Leuk 336
Siebengebirge, säulenförmige Absonderung 40
Siegquelle 102
Simitli, Entstehung von Thermen bei Erdbeben 386
Simplon, Wassereinbrüche im Tunnel 3, 110, 135

- Simplon**, auf- und absteigende Zuflüsse im Tunnel 244
- Sinzig**, Säuerling 409
- Sioule Tal**, Lavaquellen 314
- Sioux Falls**, Ausstrich des Dakotasandsteins 292
- Sisteron**, Gebiet von —, geologische Beschreibung 341
- Sizilien**, Verwerfungsquellen 355
- Skandinavien**, Strandwälle 17
- Slano**, Süßwasser im Meerbusen von — 257
- Soden** am Taunus, Solquelle 410
- Soest**, Solquelle 536
- Solfatara**, Kohlensäureaustritt 375
- Somreton**, Stickstoff im Wasser 60
- Sontra**, Kohlensäurequelle 375
- Sooden** a. d. Werra, Solquelle 410
- Sorgue**, Abfluß der Vaucluse-Quelle 340
- Sour Spring**, Schwefelsäure in der Quelle 402
- Spandau**, Rieselfelder 547
- Spanien**, Karstgebiete 247
—, Salzlager im Tertiär 401
- Spezia**, Verwerfungsquellen im Golfe von — 355
- Spragola**, Verwerfungsquelle 356
- Spree** im Urstromtale fließend 1
- Stackelitz**, abflußloses Gebiet 158
- Staffelbachtal**, Quellen am — 328
- Stahnsdorf**, Bohrungen im Quadratnetz 475
—, Grundwasserschichtlinien 119
—, oberirdische Wasserscheide, Karte 160
- Stahnsdorfer Friedhof**, Grundwasserscheide 159
—, thermisches Verhalten des Grundwassers 127
- Staffurt**, Einwirkungen des Salzbergbaues 539
- St. Canzian**, Karstgerinne bei — 252, 253
- St. Lorenz**, Abflußmenge 90
- Stralsund**, Fließgeschwindigkeit des Grundwassers 481
- Straßburg**, Zusammenhang von Fluß- und Grundwasser 187
—, Seismometer 387
- Streitmansköpfe**, bei Baden-Baden, Quellen 324
- Strodehne**, Pegelbohrlöcher bei — 211
- Strokkur** in Island, Geiser 370
- Struma**, warme Quellen bei Erdbeben entstanden 386
- Stuttgart**, Wasser im Gipskeuper 330
- Stuttgart**, Quellen des Stubensandstein 331
- Stuttgarter Höhen**, Quellen in den — 330
- St. Sulpice**, Quelle der Areuse 353
- St. Sulpicequelle**, Ergiebigkeitsschwankungen 379
- Süddeutschland**, Niederschläge 86
- Südfrankreich**, Karstgebiete 247
- Suffolk**, Niveauunterschiede des Grundwassers 239
- Sulza**, Solquelle 410
- Sutinsko**, Beeinflussung der Thermen durch Erdbeben 385
- Szolnok**, Grundwasserverhältnisse 181
- Taunus** bei Nauheim 375
—, Sole im Devon 400
- Telfs**, Quellen im Triaskalk 463
- Teltow-Hochfläche**, Rieselfelder 546
- Teltowkanal**, Änderung des Grundwassers 4
—, Grundwasserprofil 159
—, — bei Stahnsdorf 159
- Teplitz**, heiße Quelle 366, 541
—, Einfluß des Lissaboner Erdbebens 387
—, Riesenquelle 541
—-Schönauer Quellen 541
— und Janegg, Spaltenzüge zwischen — 542
- Teplitzer Quellen**, Spiegelerniedrigung 543
— Thermen, Gefährdung durch Bergbau 541
— Urquelle 542
- Teverone**, unterirdischer Lauf bei Tivoli 175
- Texas**, artesische Quellen 288, 365
—, geologischer Bau 300
- Thame**, Stickstoff im Wasser 60
- Theben-Karlsdorfer Insel**, Brunnenwasserstände 185
- Theben**, artesisches Wasser in den Oasen von — 264
- Theeßen**, Quellenlinie 455
- Theiß**, Grundwasser zwischen — und Donau 181
- Theme**, artesisches Wasser an der Mündung der — 273
- Thorn-Eberswalder Haupttal** 23
- Thüringen**, Salz im Muschelkalk 401
- Thüringer Wald**, Randprofil 33
—, Kohlensäurequelle von Sontra 375
- Tibet**, Geiser 369, 371
- Tihaljina-Quelle** 261, 262
- Tivoli**, unterirdischer Lauf des Teverone 175
- Tokaier Weingebirge**, Entstehung von Schwefelquellen 385

- Tölz**, Akratopege 409
Torrent d'Anzin, Wasseransammlung 221, 222
Töftal bei Zürich, Quellen 310
Toulourenc, Tal des — 342
Toumple, Aven von — 343
Tours, artesischer Brunnen 272
Trebežat, Karstfluß 262
Treuenbrietzen, Grundwasserbeobachtung 554
Tuttlingen, Donauversinkung 175
- Ullah-Bund**, Hervorbrechen von Wasser bei Erdbeben 384
Ungarn, Karstgebiete 55, 247
 —, Salzlager im Tertiär 401
Unterbiberg, Wasserführung des Baches 178
Unterhaching, Wasserführung des Baches 178
Urach, intermittierende Quelle 360
 —, Opalinuston 332
Urlebrunn, 312
Uruguay, Abflußmenge 90
Usatal bei Nauheim 375
Utrecht, Polderland 165
- Val d'Arsa**, intermittierende Quelle 360
Vannetal, Richtung des Grundwasserstromes 244
Vatna Jökull, Gletscherablagerungen 310
Vaucluse-Quelle 337 ff.
 —, Abbildungen 338, 339
 —, Ergiebigkeit 340, 341
Vecht, Flußlehm 167
Venedig, artesisches Wasser 306—307
Venetien, Fontanili 307
Vereinigte Staaten von Amerika, künstliche Bewässerung 4
 —, Druckwassergebiete 557
Verloren Wasser, Bachversickerung 172
Verona, Alpenvergletscherung 22
Victorinegrube bei Dux 541
Vienenburg, Hercynia 538
Vihnye (Eisenbad), Erdbebeneinfluß auf Thermen 385
Villalet, Verschwinden des Iton 173
Vockerode, Stauquelle 352
 —, Quellenanalyse 419
Vogelsberg, Austritt von Kohlensäure 407
Vogesen, Niederschläge 86
 —, Quellentemperaturen 134
 —, Rheintal entlang den — 151
 —, Zuflüsse zum Rhein 151
 —, Verwerfungsquellen 355
- Vogesen**, Sprudelquellen 361
 —, Quellen 462
Vogtland, Wasserarmut der paläozoischen Schiefer 246
Vreeswijk, Polderland 165
Vriostica-Quelle 260
Vrlika, Karstfluß 262
- Wäggital**, Fläschlochquelle 379
Waikatosee, Geiser 369
Wales, Strandterrassen 17
Warkton, Stickstoff im Wasser 60
Warmbad, Akratotherme 409
Warmbrunn, Akratotherme 409
Warschau-Berliner Tal 23
Warthe, Dünengebiete 27
Weichsel in Urstromtälern 22
 —, Abflußmenge 90
 —, Normalwasser 95
 —, Schlickablagerungen 553
Weichselgebiet, Zechsteinsalze 399
Welsikon bei Winterthur, Überfallquelle 349
Welzheimer Wald, Quellen im — 330
Werl, Solquelle 536
Weser, Spiegelschwankungen bei Bremen 207
 —, Normalwasser 95
Westerwald, Kohlensäureaustritte 375, 407
Westfalen, Sole in der Kreide 400
Westfälischer Steinkohlenbergbau, Grundwasserhältnisse 535
Westfälisches Steinkohlengebirge, Wasserführung 530
Westfriesland, jüngste Ablagerungen 167
Westharz, Kulmkieselschiefer 34
Westpreußen, Eisrandlage 23
 —, Niederschläge 86
 —, unsymmetrische Täler 464
Wetterau, Spalten 375
White River, Tertiärtone 291
Wiednitz, Härte des Grundwassers 413
Wien, Wasserversorgung 1
 —, Brunnenwasserstände 180
 —, Beziehungen des Grundwassers zum Donaukanal 192
 —, Jahresperiode des Grundwassers, der Niederschläge u. des Sättigungsdefizits 194
 —, Sättigungsdefizit 195
 —, Wasserversorgung 347
 —, Thermallinie 385
 —, Hochquellenleitung 463
Wiener Thermenlinie 366

Wiesbaden, Kochbrunnen 378
 —, Eisenabscheidung des Kochbrunnens 404
 —, Solquellen 410
Wiesbadener Kochbrunnen, Beständigkeit 378
Wiesbaden, Akratotherme 409
Wiesenburg, Tiefbohrung 158
 —, Verschwinden eines Baches 172
Wildbad, aufsteigende Spaltenquelle 366
 —, Akratotherme 409
 — **-Trarbach**, Akratotherme 409
Wilde Gera, Versinken bei Liebenstein 176
Wildstein, Akratotherme 409
Wildungen, Säuerling 409
Wilhelmsglücksbrunn, Kochsalzquelle 395
Windsor, Stickstoff im Wasser 60
Windsheim, Bitterquelle 41
Winterschan bei Teplitz, Erbohrung artesischer Thermen 541
Wisconsin, geologischer Bau 296
Wittenberge, Urstromtäler-Vereinigung 23
Wittlesey, Stickstoff im Wasser 60
Wolfsberg, Brunnen von — 122
Wolga, Abflußmenge 90
Wolkersdorf, Verwerfungsquellen 363
Wolmirstedt, Ergiebigkeit eines artesischen Brunnens 280
 —, artesische Brunnen 303

Würmfluß, Versickerung 172
Würzburg, Niederschläge 86
Wurzen, Grundwasserverhältnisse 144
Wyoming, Flexur 282
 —, Geisergebiet 371
Yang-tse-kiang, Abflußmenge 90
Yellowstone-Park, Geiser 371, 375
 —, Kohlensäureaustritte 376, 407
Yukatan, Karstgebirge 55
Zeitz, Wassergewinnung durch Sprengschuß 492
Zemliner Komitat, Entstehung von Schwefelquellen bei Erdbeben 385
Zentralasien, Geiser 369
Zentralfrankreich, Lavahöhlen 53
Ziesar, Grundwasserschichtlinien im Urstromtale 120
 —, Quellenlinie 455
Zossen, Moormergelgebiete 552
Zuidersee, Polderland 165
Zürich, Grundwasserspiegellage 177, 180
 —, Töbital bei — 310
 —, Thermalwasser im Untergrunde 367
 —, Grundwassergeschwindigkeit im Limattal 482
Zürichberg, Versickerungsmenge von Schnee und Regen 379

Sachverzeichnis

- Abdichtung** der Quellwege 425
Abfluß aus Quellen 71
Abflußgebiet des artesischen Stromes 263
— artesischen Wassers 278
Absenkung des Grundwassers 223
— des Grundwasserspiegels durch Pumpen 520
Absenkungskurve, natürliche, des Grundwassers 319
Absteigende Quellen 308
Abszissenabstände der Spiegelkurven 139
Abwässer, Beseitigung der — 2
Acker und Grundwasser 552
Agricola 76
Akratopegen 408
Akratothermen 409
Aktive Zone im Grundwasser 243
Algenkalke 9
Alkalische Kochsalzquellen 410
— Quellen 410
Alkalisch-erdige Quellen 410
— muriatische Quellen 410
— muriatisch-salinische Quellen 410
— salinische Kochsalzquellen 410
— — — Quellen 410
Allgemeines Landrecht 561
Alluvialtäler 213
Alluvium 55
Alpine eingedockte Täler 145
Altquartär 55
Ammoniak im Schnee 59
—, Entstehung 65
— im Grundwasser 406
— im Trinkwasser 445
Ammoniakgehalt im Regenwasser 58
Ammoniaksalze im Regenwasser 58
Andesit, Zusammensetzung 8
Anhydrit 10, 538
— im Zechstein 318, 400
Anionen 392
Anlagerung undurchlässiger Schichten als Ursache artesischen Wassers 265, 269
Anschwellungen der Flüsse 185
Ansteigen des Grundwassers 101
—, rapides — des Grundwassers 103
Antiklinalen 34
Apatit, chemische Zusammensetzung 7
Archaikum 56
Archaische Gesteine, Durchlässigkeit im großen 318
Architektonische Geologie 5
Argovien, Wasserführung 335
Aristoteles 74
Arsen im Mineralwasser 405
Artesische Brunnen, Absenkung 280
— —, Ergiebigkeit 281
— —, gegenseitige Beeinflussung 276
— —, Geschichtliches 264
— —, Senkungskurve 281
Artesischer Strom, Abflußgebiet 263
— —, Nährgebiet 263
Artesisches Wasser 71
— —, Abflußgebiet 278
— —, Auftrieb 263
— —, Ausdehnung des Nährgebietes 284
— —, Beeinflussung von Brunnen 288
— —, Begriffsbestimmung 262
— —, Beispiele für muldenförmigen Schichtenbau 288
— —, Druckebene 263, 275
— —, Druckflächen 275
— —, Druckgebiet 278
— —, Druckhöhe 263
— —, Druckhöhenlinien 275, 277
— — durch Anlagerung undurchlässiger Schichten 265, 269
— — durch Einlagerung undurchlässiger Schichten 265, 270
— — durch Flexur 265, 268

- Artesisches Wasser** durch geneigte Schichtenlagerung 265, 269
 — — durch Hohlraumbildung 265, 281
 — — — muldenförmige Lagerung 265
 — — in Norddeutschland 557
 — — durch Spaltenbildung 265, 271
 — — in Texas 300
 — —, Lage des Nährgebietes 284
 — —, Lebewesen im — 272
 — —, Nährgebiet 278
 — —, piezometrisches Niveau 263, 275
 — —, Temperatur 274
- Artesische Wassergebiete** in den Vereinigten Staaten 290
 — Wasserversorgung 283
- Atmosphärische Niederschläge**, Absorptionsvermögen der 58
- Aufbiegungen** wasserführender Schichten, Beispiele 306
- Aufhöhung** des Flußbettes 154
 — des Grundwassers unter Rieselfeldern 545, 546
- Auflockerung** des Wasserträgers durch strömendes Grundwasser 540
- Auflösung** von Gesteinen durch Wasser 60
- Aufnahmefähigkeit** der Gesteine für Wasser 114
- Aufstauung** des Grundwassers 152
- Aufsteigende Quellen** 308
- Aufsuchung** von Grundwasser 472
 — — Quellen 453
 — — — im festen Gestein 458
 — — — in lockeren Gesteinen 463
 — — Wasser 453
- Auftrieb** artesischen Wassers 263
 — durch hydrostatischen Druck 360
- Augit**, chemische Zusammensetzung 7
 —, Löslichkeit 61
- Ausdehnung** des Nährgebietes artesischen Wassers 284
- Ausflußgeschwindigkeit** 67
- Ausflußmenge** 67, 493
- Ausfüllung** der Klüfte 237
- Auskeilende Schichten** 215
- Auskesselungen** in Höhlen 54
- Aussaat** für bakteriolog. Untersuchung 435
- Aven** 343
- Badisches Wassergesetz** 564
- Badon-Ghybensches Prinzip** 168
- Baggerbetrieb** auf nutzbare Ablagerungen 519
- Bakteriologische** Untersuchung des Wassers 433
 — — von Quellen 465
- Bändertone**, Entstehung 26
- Barrierenquelle** 308, 349
- Baryum** in Mineralquellen 405
 — — Wasser 399
- Basalt** des Meißner 346
 —, Klüftigkeit 236
 —, Löslichkeit 412
 —, Säulenbildung 40
 —, Wassergehalt 106
 —, Zusammensetzung 8
- Basaltgänge** der Alb 352
- Basaltquellen** am Meißner 418
- Bauwesen**, Grundwasser und — 3
- Bayrisches** Quellenschutzgesetz 590
 — Wassergesetz 567
- Beeinflussung** artesischer Brunnen und Quellen 288
 —, gegenseitige, artesischer Brunnen 276
- Beharrungszustand** des Wasserspiegels 110
- Beobachtungsdienst** für Grundwasser 554
- Bergbau**, Grundwasser im — 2
 — und Hydrologie 519
- Bergbaubetrieb**, Einwirkung auf Wiesen 527
- Bergfeuchtigkeit** 99, 106
- Bergstürze** 13
- Bergsturmassen** 29
- Berieselung**, Verwendung von Grundwasser zur — 554
 —, Wirkungen der — 544
 — zur Ergänzung des Grundwassers 556
- Bertholin** 80
- Bestimmung** der schwebenden festen Körper 440
 — des Glühverlustes 441
 — des Grundwassergefälles 116
 — der Härte des Wassers 441
 — des Porenvolumens 114
 — — Rückstandes des Wassers 441
 — schädlicher Stoffe 444
- Bétoires** 174
- Beurteilung** von Quellen 465
- Bewegtes** Wasser, untere Grenze des 242
- Bewegung** des Grundwasserspiegels 138
- Bewegungsgeschwindigkeit** des Grundwassers 239
- Bewurzelungstiefe** der Bäume 527
 — — Kulturpflanzen 527, 550

- Bimssteintuff** 11
Bitterquellen 408
 —, echte 411
Bittersalz, Löslichkeit 63
Bittersalzwasser 415
Bitterwasser 402
Bitumen in Wasser 416
Bituminöse Mergel im Jura 317
Blasen in Eruptivgesteinen 52
Blattverwerfung 46
Bleibende Absenkung 223
 — — bei Entnahme artesischen Wassers 279
 — Härte 444
Bleilösende Eigenschaften des Wassers 446
Blockmeere, Entstehung 16
Bodenbeschattung 88
Bodensenkungen durch Schwimmsandeinbrüche 534
Bodensenkung durch Wasserentziehung 539
Bodenwärme, indifferente Zone der — 163
Bodenwasser 68
Bohrarchiv der geologisch Landesanstalten 475
Bohrungen, Untersuchung einer Lagerstätte durch — 520
Borsäure im Wasser 399, 405
Brackwasserquellen im Karst 259
Brandungserölle 13
Brandungshöhlen 54
Braunkohle 9
 — am Meißner 347
 —, Durchlässigkeit 317
 —, Klüftigkeit 227
 —, Wasseraufnahmefähigkeit 108
Braunkohlenbergbau, Entwässerung 530
 —, — der Hangendschichten 531, 532
 —, — der Liegendschichten 532
 — und Gebirgswasser 530
Braunkohlenbruchbau 530
Braunkohlenflöze der Provinz Posen, Druckwasserführung 304
Braunkohlenformation, undurchlässige Schichten in der — 216
Braunkohlentagebau 525
Braunkohlentiefbau 530
Brennereien, Wasserbedarf 555
Bromide im Wasser 399
Brom in Mineralwasser 406
Bromverbindungen im Zechsteinsalz 401
Bruchfugen 30, 39
Brücknersche Klimaschwankungen 557
Brunnen, Senkung des Wasserspiegels in
 — durch Bergbau 521
Brunnensprudel von Kissingen 376
Bryozoenkalk 10
Buntsandstein 56
 —, Auslaugung in — 54
 — bei Baden Baden 324
 — im Kellerwald, Wasserführung 364
 —, Klüfte im — 318
 —, Kluftsystem im — von Bernburg 44
 —, Oberer, Solquellen im — 415
 — von Heidelberg, Wasserreinheit 413
 —, Wasser im — 535
Buntsandsteinformation, Gesteine der — 318
 —, Schichtquellen in der — 324
Buntsandsteingebirge, Quellen des — 326
Buntsandsteinquellen am Meißner 417
Bürgerliches Gesetzbuch, wasserrechtliche Bestimmungen 562

Cäsium in Gesteinen 405
Carnallit 399
Cartesius 75
Cenoman 56
 — Ton in Sizilien 355
Chemie der Mineralwässer 388
Chemische Grundlagen der Grundwasserkunde 58
 — Theorien über die Zusammensetzung der Mineralwasser 388
 — Untersuchung des Wassers 440
 — — von Quellen 465
 — Veränderung von Gesteinen im Wasser 60
 — Verwitterung 64
 — Wirkung der Bodenfeuchtigkeit 64
 — — des Grundwassers 64
Chemisch reines Wasser 58
Chlamydothrix 404
Chlorammonium zur Messung von Fließgeschwindigkeit 481
Chlorgehalt des Grundwassers 401
 — — Wassers in Küstennähe 162
Chloride im Wasser 399
Chlor im Wasser 445
 — in Mineralquellen 399
 — im Rieselwasser 549
Chlorit, Löslichkeit 61
Chloritschiefer, Zusammensetzung 9
Chlorkalium 64
 — im Zechstein 401

- Chlorkalk** zur Verfolgung unterirdischen Wassers 486
- Chlorlithium** zur Verfolgung unterirdischen Wassers 486
- Chlormagnesium** 63
— als Zersetzungsmittel 65
— im Zechstein 401
- Chlornatrium** als Zersetzungsmittel 65
— im Grundwasser 416
- Chlornatriumgehalt** und Keimprozeß 406
- Chlorrubidium** im Zechstein 401
- Code civil**, wasserrechtliche Bestimmungen 562
- Crenothrix** 404
- Culm** 56
- Cuvierpläner**, Wasserführung 536
- Cypriniden** in artesischem Wasser 272
- Cyrenenmergel** als Wasserstauer 317
- Dachschiefer** 15
- Dakotaformation** 292
- Dakotasandstein**, Flußversinkungen im — 173
—, Wasserführung 292
- Dauerpumpversuch** 482
- Dauerquellen** im Karstgebirge 259
- Deckenschotter**, Quellenerträge 480
- De la Metherie** 81
- Depressionstrichter** 534
- Descartes** 77
- Deutsche Härtegrade** 441
- Deutsches Bäderbuch** 126
- Deutschrechtliche Bestimmungen** über Grundwasser 559
- Devonische Formation** 56
- Diabas**, Zusammensetzung 7
- Diagonalverwerfung** 49
- Diaklasen** 39, 42, 236
- Diallag**, chemische Zusammensetzung 7
- Dichtigkeit** der Flußbetten 154, 155
- Dichtung**, natürliche, des Flußbettes 154
- Diffusion** 67
- Diluvialwasser** 415
- Diluvium** 55
— des Alpenvorlandes 213
—, glaziales, im Berliner Urstromtal 216
- Diorit**, Zusammensetzung 7
- Diskordanz** 33
- Dogger** 56
— im Faltenjura 335
—, lockere Gesteine im — 216
- Dolinen** 248
- Dolomit** als Magnesiumlieferant für Wasser 403
— in der Trias 318, im Zechstein 318
—, Klüftigkeit 236
—, Löslichkeit 412
—, Wasseraufnahmefähigkeit 108
- Dolomitgebirge**, Karstlandschaften im — 247
- Dolomithöhlen** 55
- Dolomitmergel**, Wasseraufnahmefähigkeit 107
- Donauversinkung** 175
- Doux** 343
- Drainage** 72, 556
—, Einfluß von — auf Grundwasser 526
- Drigalskischer Spatel** 436
- Druckebene** artesischen Wassers 263, 275
- Druckgebiet** artesischen Wassers 278
- Druckhöhe** artesischen Wassers 263
- Druckhöhenlinien** artesischen Wassers 277
- Druckwasser** 212
—, Begriffsbestimmung 71, 262
—, unter Lagerstätten 520
- Druckwassergebiete** 277
- Druckwasser** im Braunkohlenbergbau 285
- Druckwassersystem** 263
- Dünen** 161
—, Entstehung 27
— Zusammensetzung 15
- Dünengebiete** 27, 162
—, Grundwasser in — 161
- Dünengürtel** der Nordsee 166
- Düneninseln**, Grundwasser in — 162
- Dunstabälle** 99
- Durchflußgeschwindigkeit** 535
- Durchlässigkeit**, abnehmende, als Ursache artesischen Wassers 271
— an Verwerfungen 362
— der Gesteine im Kleinen 307
— — Oberflächenschichten 91
- Durchtrümmerung** der Gesteine 42
- Dyas** 56
- Dynamische Geologie** 5
- Einfache kalte Quellen** 408
— warme Quellen 408
— Säuerlinge 408
- Einfluß** von Erderschütterungen auf Quellen 382
- Einlagerung** undurchlässiger Schichten als Ursache artesischen Wassers 265, 270
- Einsickerung** von Flußwasser 181

- Einsturztrichter** 174
Einwirkung des Bergbaubetriebes auf Wiesen 527
Einwirkungen des Inlandeises auf plastische Gesteine 269
Eisen 404
 — im Wasser 399
Eisenabscheidungen von Quellen 457
Eisenbahneinschnitte, Grundwasser und — 3
Eisenfuchs 553
Eisengehalt des Grundwassers 404
Eisenkarbonatbitterquellen 411
Eisenkarbonat, Löslichkeit von — 62
 —, Oxydationsfähigkeit von — 62
Eisenkarbonatquellen 411
 —, alkalische 411
 —, erdige 411
 —, muriatische 411
 —, reine 411
Eisnocker als Quellenabsatz 420
Eisenquellen 411
Eisensäuerlinge 411
Eis 103
Eishöhlen 100, 104
Eiszeit 19
Elektrische Leitfähigkeit d. Wassers 394, 447
 — Zentralen, Wasserbedarf 555
Elektrolyse 392
Elektrolyte 392
Elektrolytische Dissoziation 393
Elektrolytischer Dissoziationsgrad 395
Emposieux 174
Emscher bei Paderborn 350
Emschermergel, Wasserundurchlässigkeit 536
Endigung des Wasserträgers, Quellen durch — 313
Endmoränen, Entstehung 19
 — Karte 20
Englische Härtegrade 441
Enstatit, chemische Zusammensetzung 7
Entnahme der Wasserprobe für bakteriologische Untersuchung 433
Entonnoirs 174
Entscheidungen der höchsten Gerichte in Grund- und Quellwasserfragen 599
Entstehung des Grundwassers 67, 74
Entwässerung des Flözliegenden 534
 — von Sümpfen 72
Eozän 56
 —, undurchlässige Schichten im — 216
Eozäner Ton in Sizilien 355
Eozän, Undurchlässigkeit 317
Epidot, chemische Zusammensetzung 7
Erbstein 424
Erdbeben, Einwirkungen von — auf Quellen 384
 —, tektonische 383
 — von Lissabon 387
 —, vulkanische 382
 —, wallachisches 383
Erdfälle 54, 529
 — durch Salzbergbau 539
 — — Schwimmsandeinbrüche 534
Erdige Säuerlinge 408
Erdmuriatische Kochsalzquellen 410
Ergiebigkeit eines Grundwasserstromes 480
Erstarrungsrisse 39
Erstarrungsspalten 173
Eruptivgesteine 6
 —, basische, Löslichkeit 412
 —, Durchlässigkeit im großen 318
 — in Sedimenten 56
 —, Klüftigkeit 236
 —, saure, Löslichkeit 412
 —, Verteilung der Spalten in — 240
 —, Wassergehalt 107
Erweiterung der Quellenwege 381
 — — Spalten 237
Erzbergbau und Grundwasser 535
Erzgänge und Spaltenwasser 535
Exposition, Einfluß der — auf die Verdunstung 88
Fallen der Gesteine 34
Faltenjura, Quellen im — 335
Faltensystem, isoklinales 35, 50
Färbungsversuch zur Feststellung der Dichtigkeit von Flußbetten 235
Fassung von Mineralquellen 467
 — — Quellen 466
Faulschlamm in Seen 551
Feinkies, Aufnahmefähigkeit für Wasser 109
Feinsand 14, 18
Felder, Minderung des Ertrages, durch Wasserspiegelsenkung infolge von Bergbau 521
Feldspat, chemische Zusammensetzung 6
 —, Löslichkeit 61
 —, Wassergehalt 106
Felsgebiet, kahles —, Quellenergiebigkeit 96
Felsitporphyr in den Nordvogesen, Wasserführung 346
Felsquellen 308

- Feststellung** der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers 480
- Feuchtigkeit**, absolute 195
—, relative 195
- Feuerstein**, Wassergehalt 106
- Filtrierfähigkeit** des Bodens von Riesefeldern 542
- Flachmoore** 551, 552
- Flammenmergel**, Wasseraufnahmefähigkeit 107
- Flammenton** als Stauer artesischen Wassers 304
—, Undurchlässigkeit 317
- Flexur** 38
— als Ursache artesischen Wassers 265 268
- Flexuren**, Beispiele für Erzeugung artesischen Wassers durch — 290
- Fließrichtung** des Grundwassers 136
- Flinz** 182
—, Undurchlässigkeit 309
- Flößereirecht** 562
- Flötzrecht** 562
- Flözbrände** 132
- Flözlagerstätten**, Tagebaubetrieb auf — 519
- Flußhochwasser** 184
- Flußkunde** 69
- Flußläufe**, epigenetische 146
- Flußschlamm** in Überschwemmungsgebieten 553
- Flußschlick** 213
— im Alluvium 316
- Flußschwinden** im Karstgebirge 258
- Flußtäler**, alluviale 149
- Flußversinkungen** 173
- Flußwasserstand**, Schwankungen 182
- Flußwasser** und Grundwasser 135
- Fontanili** 307
- Formsand**, Undurchlässigkeit 317
- Forsten**, Schädigung von — durch Bergbau 521
- Forstwirtschaft**, Beziehungen zum Grundwasser 549
- Fortschreitende** Elektrolyse 481
- Französische** Härtegrade 441
- Fuchsin** zur Verfolgung unterirdischen Wassers 486
- Gabbro**, Wassergehalt 106
—, Zusammensetzung 7
- Galium uliginosum** in artesischem Wasser 272
- Gasblasen**, kinetische Energie der — 369
- Gasführende Quellen**, Mechanismus der — 367
- Gault** 56
- Gefälle** des Grundwassers 116
- Gefäll-Quotient** 124
- Gehaltsschwankungen** eines Mineralwassers 378
- Gehängemoore** 423, 434
- Geiser** 369
- Geiserverscheinung**, Erklärung der — 371
- Geneigte Lagerung** der Schichten als Ursache artesischen Wassers 265, 269
— — — — —, Beispiele 298
- Geologische Methode** der Quellenuntersuchung 465
- Geothermisch** erwärmte Gesteinsschichten 133
- Geothermische** Tiefenstufe 131, 369
- Germanisches** Recht 559
- Gerölle**, Entstehung 17
- Geröllmaterial**, Entstehung 18
- Gesamthärte** 443
- Geschiebemergel** als Wasserstauer 316
—, Einlagerungen im Sande 216, 219
—, Kalkgehalt des — 403
—, Löslichkeit 412
— unter Riesefeldern 548
- Geschwindigkeiten** des Grundwassers 480
- Gesetzgebung** 558
- Gesteine**, wenig wasseraufnahmefähige 107
—, undurchlässige 107
—, Gewichtsvolumen der — 113
- Geisergebiete**, Kieselsäure der — 406
- Gips** 10, 318
—, Durchlässigkeit 91
—, Höhlenwasser im — 529
—, im Zechstein 399
—, Löslichkeit 62, 412
—, natürliches Vorkommen 401
—, Wassergehalt 106
- Gipsgebirge**, Verkarstung im — 247
- Gipskeuper**, Salzlager im — 401
- Gipsmergel**, Wasseraufnahmefähigkeit 107
—, Zusammensetzung 15
- Glaubersalz**, Löslichkeit 63
- Glaukonitmergel**, Verhalten gegen Wasser 536
- Glaukonitsande** im Tertiär und in der Kreide 214
- Gleichgewichtszustand** im Grundwasserhaushalt 73

- Gletscher- und Firngebiet**, Quellenergiebigkeit 96
- Gletscherwirkung** 18
- Glimmer**, chem. Zusammensetzung 6
—, Löslichkeit 61
- Glimmersand**, Durchlässigkeit 317
- Glimmerschiefer**, Zusammensetzung 9
- Glimmerton**, Undurchlässigkeit 317
- Gneis**, Löslichkeit 412
—, Wassergehalt 106
—, Zusammensetzung 8
- Gotthardtgranit**, Diaklasen im — 43
- Graben** 51
- Grabenversenkung** 51
- Grammäquivalentgewicht** 390
- Granat**, chem. Zusammensetzung 7
- Granit**, Aufnahmefähigkeit für Wasser 114
— bei Baden-Baden 324
—, Klüftigkeit 236
—, Löslichkeit 412
—, Spaltenquellen im — 353
— von Heidelberg 414
— von Karlsbad 366
—, Wasseraufnahmefähigkeit 106
—, Wassergehalt 106
—, Zerklüftung des — 40
—, Zusammensetzung 7
- Granitgebiete**, Wasserführung in — 241
- Granitverwitterung** 16
- Grauwacke** 14
—, Durchlässigkeit im großen 318
—, Zerklüftung 41
- Grobsand**, Aufnahmefähigkeit für Wasser 109
- Grotten** im Karstgebirge 256
- Grundmoränen**, Entstehung 19
- Grundwasser**, Bedeutung des — 1
—, allgemeiner Senkungsprozeß 557
—, Aufhöhung unter Riesefeldern 545, 548
—, Beziehungen zur Land- und Forstwirtschaft 549
—, Ergänzung durch Berieselung 556
—, Schwankungen des — 210
—, jährliche Schwankung des — 526
—, Raubbau auf — 556
—, Rechtsdefinition 558
— und Acker 552
— und Tagebaubetrieb 519
— und Tiefbau 529
— und Wald 552
— und Wiese 552
—, Definition 67
- Grundwasser**, Ermittlung der Ergiebigkeit 480
—, Gefälle 116
— in der Nähe von Riesefeldern 416
— in diluvialen Hochflächen 156
— in München, Schwankungen des — 183
— in Dünengebieten 161
—, Jahresperiode 206
—, mit luftbedeckter Oberfläche 71
— nach Steuer 68
— und Flußwasser 150
—, Verdunstung des — 72
- Grundwasserbildung**, Wald und — 89
- Grundwasserfälle** 137
- Grundwasserhaushalt** 71
- Grundwasserhöhenlinien** 118
- Grundwasserhorizont**, Definition 70
- Grundwasserkarten** 141, 474
- Grundwasserkurven** 139
- Grundwasserkurve**, Gestalt einer — 141
- Grundwassermenge**, Bestimmung der — 480 ff
- Grundwasserprofil**, Definition 71
- Grundwasserscheide** 157, 159
—, Definition 70
—, Verlegung der — 381
- Grundwasserschichtlinien** 526
- Grundwasserschichtlinienkarten** 119
- Grundwasserschwankungen**, Einfluß nasser und trockener Jahre auf — 526
- Grundwasserseen** 137, 322
—, Vortorfung 551
- Grundwassersenkung**, Einfluß der — auf Äcker bei Bergbaubetrieb 527
- Grundwasserspiegel** 69
—, Ansteigen des — 180
- Grundwasserspiegelhöhe** 138
- Grundwasserstauer**, Definition 70
- Grundwasserstockwerk**, Definition 70
- Grundwasserstrom**, Bestimmung des Gefälles 544
—, Bestimmung der Richtung 544
- Grundwasserströme** 137
- Grundwasserstromschnellen** 137
- Grundwassersträger**, Definition 70
—, notwendige Beschaffenheit des — 494
—, Sicherheit gegen Verunreinigung 494
- Grundwasserüberschwemmungen**, 554
- Grundwasserwelle** 69
- Grünsand**, Durchlässigkeit 317
— in der Kreideformation 317
—, unteroligozäner 531

- Grünsand** der Kreide, Undurchlässigkeit 536
 — des Münsterschen Beckens 530
Grünsandstein des Münsterschen Beckens 530
Haarrisse 39, 41
Haarröhrchenanziehung 550
Haarröhrchenstruktur 111
Hagel, 85
Halley 81
Härtebestimmung 441
 —, Tabelle zur — 443
Hauptbundsandstein der Vogesen, Verwerfungsquellen im — 354
Heberprinzip 359
Heiden-Agar 436
Heiße Quellen 366
Helix rotundata in artesischem Wasser 272
 — *striata* in artesischem Wasser 272
Helmont 75
Henrysches Gesetz 368
Heterotherm 126
Hochbau, Grundwasser und — 3
Hochgestade 149
Hochmoore 552
Hochterrassenschotter 146
Hochwasser, Beziehungen zum Grundwasser 184
 — der Ströme 150
 — in Flüssen 92
Hochwassergebiete des Flusses 149
Höhlen 173
 — in Eruptivgesteinen 52
 — des weißen Jura 53
 — im Karstgebirge 256
Höhlenbildung in Gips 54
 — in Steinsalz 54
Höhlengerinne im Karstgebirge 256, 258
Höhlenwasser im Kalkstein und Gips 529
Hohlräume, in Korallenriffen 53
 — in Vulkanen 53
Hohlraumbildungen in Gesteinen 173
 — als Ursache artesischen Wassers 225, 271
Homotherm 126
Hornblende, chem. Zusammensetzung 7
 —, Löslichkeit 61
Hornblendeschiefer, Zusammensetzung 10
Horst 51
Huminsubstanzen im Wasser 432
Humusablagerungen durch Quellentätigkeit 424
Humusortstein 553
Humussäuren, Entstehung 65
Humussaure Verbindungen im Bodenwasser 59
Hungerbrunnen, Oberndorf 328
Hydrologie und Bergbau 519
 — und Rieselfeldwirtschaft 543
Hydromechanik 66
Hydrophylacien 78
Hydrostatisches Gleichgewicht verschiedener Flüssigkeiten 163
Hydrostatischer Druck als Ursache artesischen Wassers 273
Hypersthen, Löslichkeit 61
 —, chem. Zusammensetzung 7
Immissionen durch Rieselfelder 549
Impressatone als Wassersammler 333
Infiltrationskoeffizient 94
Infiltrationstheorie 85
Intermittierende Quellen 358
 — Quellen 291, 308, 358
 — im Karst 258
Jod, Gehalt an — 332
Jodgehalt im Kieselschiefer 406
 — in Quellen 406
Jodide im Mineralwasser 399
Ionen 392
Juraformation 56
 —, Gesteine der 317
 —, Quellen in der 331
Juvenile Kohlensäure 407
Juveniles Wasser 73, 133, 366, 369
Kalialz 10
Kalialzlagerstätten 400, 538
Kalium im Wasser 399
Kalk, Durchlässigkeit 91
Kalkfels, Quellenerträge 480
Kalkgebirge, Verkarstung der 247
Kalkgehalt in Glazialbildungen 403
Kalksandsteine, äolische 27
Kalksinter 10
Kalksinterablagerungen an heißen Quellen 421
Kalkstein in der Kreide 317
 — im Jura 317
 — in der Trias 318
 — im Zechstein 318
 — im Paläozoikum 318
 — Höhlenwasser im — 529
 —, Klüftigkeit 236
 —, Löslichkeit 412

- Kalkstein**, Porenvolumen 114
 —, Spaltenquellen 353
Kalksteingebirge, unregelmäßige Wasserführung im 247
Kalksteinhöhlen 55
Kalktuff 10
 — als Quellenabsatz 421
 — im nordischen Glazialdiluvium 421
Kalktuffablagerungen 455
Kalzium im Wasser 399
Kalziumbikarbonat 64
 — im Wasser 403
Kalziumsulfat als Lösungsmittel 66
 — im Grundwasser 416
Kambrische Formation 56
Kambrischer Quarzit bei Greiz, Wasserführung 246
Kanalbau, Grundwasser beim 3
Kanal-Tunnel 110
Kapillares Wasser 104, 109, 136
Kapillarität 111, 528, 550
Karbonate im Wasser 399, 403
Karbonformation 56
Karren im Kalkstein 247
Karstbecken 248
Karsterscheinungen 248
Karstgebirge, hydrologische Verhältnisse 247
Karstgerinne 252
Karsthydrologie 250
Karstlandschaften 55
Karstmulden 248
Karstquellen 258
Karsttrichter 248
Karstwasser 250
Karstwasserhypothese 251
Kationen 392
Keferstein 82
Keime, Zählung der — für bakt. Unters. 440
Keuper 56
 —, Auslaugung im — 54
 —, Magnesia im — 403
 —, Mittlere, Solquellen im — 415
 —, Quellenhorizonte 330
Keuperformation, Gesteine der — 318
Kiesdiluvium in Holland 167
Kies 14
 —, Aufnahmefähigkeit für Wasser 109
 —, Durchlässigkeit 91, 316
 —, Entstehung 17, 26
 —, glazialer 19
 —, Porenvolumen 322
Kieselgur, Zusammensetzung 9
Kieselsäure, Löslichkeit 61
 — im Wasser 399
 — in Geisergebieten 405
 — als Quellenabsatz 424
 — als Dichtungsmittel für Quellen 426
Kieselschiefer 14
 —, Wassergehalt 106
 —, Aufnahmefähigkeit für Wasser 114
 —, Durchlässigkeit im großen 318
 —, Jodgehalt des — 406
Kieselsinter der Geiser 370
Kieserit 400
Kieslinsen im Geschiebemergel 219
Kircher 77
Klastische Gesteine 6
Klimaschwankungen, 557
Klüfte im festen Gestein 236
Kluftgerinne im Karstgebirge 255
Klüftigkeit der Gesteine 307
 — der Lava 313
Kluftwasser, 529, 537
 —, nach Steuer 68
Kluftwassersystem 542
Kochende Springquellen 369
Kochsalzquellen, 408
 —, einfache 410
 —, erdige 410
 —, reine 410
 —, salinische 410
Kochsalzsäuerlinge 410
Kochsalz zur Verfolgung unterirdischen Wasser 486
Kohlenflöze, Verhalten gegen Wasser 217
Kohlenletten, Einlagerungen von — 211
 — bei Senftenberg 227
 —, Undurchlässigkeit 317
Kohlensäuerlinge 375
Kohlensaure Alkalien 64
Kohlensäure, Löslichkeit im Wasser 58
 — im Schnee 59
 — in der Grundluft 59
 — in der Bodenfeuchtigkeit 65
 —, Auftrieb des Wassers durch — 375
 — im Mineralwasser 399
 — im Wasser 407, 445
Kohlensaurer Kalk, Löslichkeit 61
Kohlenwasserstoff, Auftrieb des Wassers durch — 376
 — im Wasser 399
Kohlenwasserstoffgeiser 377
Kommunizierende Röhren 66, 277
Kondensationstheorie 85, 97

- Kondensation** von Wasserdämpfen 73
Konglomerate 14
 — im Tertiär 214
 — in der Kreide 317
Konkordanz 33
Kontrolle von Wasserversorgungsanlagen 449
Korallenkalk 10
Korallenriffe, Höhlen in — 53
Kornbindung 214, 317
 — der Gesteine 110
Kornbindungstypen der Gesteine 12
Korngröße und Kapillarität 550
Kreide, Durchlässigkeit 91
 —, Porenvolumen 114
Kreideformation 56
 —, lockere Gesteine in der — 214
 —, Gesteine der 317
 —, Wasserbewegung in der — 335
Kreidemergel, Undurchlässigkeit 317
Kreidesandstein der Sächs. Schweiz 44
Kreideschichten des Münsterschen Beckens 530
Kreideton in Sizilien 355
Krinoidenkalk 10
Kristallinische Gesteine 5
 — Schiefer 6
 —, Wassergehalt 107
Kristalline Schiefer, Klüftigkeit 236
 —, Wasserführung 318
 —, Spaltenquellen in — 353
Kristalkeller 52
Kulturen, Anlage der — für bakt. Unters. 439
Kulturland, aufgebrochenes, Quellenergiebigkeit 96
Kulturpflanzen Wasserbedarf 88
Kupferschieferlagerstätte 529

Labiatus-Pläner, Wasserführung 536
Lage des Nährgebietes artesischen Wassers 284
Landregen 88
Land- und Forstwirtschaft, Beziehungen zum Grundwasser 549
Landwirtschaft und Grundwasser 4
Längstäler, Wasserführung 320
Längsverwerfung 48
Laramieformation 291
Laubwald, Verdunstung im — 88
Lava, Zusammensetzung 8
 — bei Niedermendig 104
 —, Durchlässigkeit 318

Lavahöhlen 53
Lavaströme 173, 313
 —, Höhlen in 52
Lavaquellen 313
Lebende Täler 550
Leitungsvermögen der Gesteine 106
Leuzit, Löslichkeit 61
Leptoklassen 39
Leptothrix 404
Letten in der Trias 318, im Zechstein 318
Lettenklüfte 237
Lettenkohle, Quellhorizont 330
Leuzit, chemische Zusammensetzung 7
Lias 56
 —, lockere Gesteine im — 214
 — in Sizilien 355
Liaskalkstein in Sizilien 355
Liasmergel, Wasseraufnahmefähigkeit 107
Liassande 317
Liastone bei Metz 357
Liegendschichten, Entwässerung der — 534
Limnologie 69
Linsenförmige Schichtenkörper 215
Litengewicht eines Bodens 115
Lithium im Wasser 399
 — Mineralwasser 405
Lithoklassen 39
Lockere Gesteine 16
Löslichkeit der Mineralien im Wasser 60
 —, des Chlornatriums 63
 — der Salze 538
Löß, Durchlässigkeit 91, 316
 —, Entstehung 28
 —, Kalkgehalt 403
 —, Leitungsvermögen für Wasser 108
 —, Wasserabgabe 109
 —, Zusammensetzung 15
Lößboden, Fruchtbarkeit 554
Lößdecken 27
Lucretius Carus 74
Luftbedecktes Grundwasser 212
Luftsattel 36
Lulofs 78
Lysimeter 92

Magnesium im Wasser 399
Magnesiumkarbonat, Lösungsfähigkeit von 62
 —, Lösungsfähigkeit 65
Magnesiumsalze im Wasser 407
Magnesiumsulfat als Lösungsmittel 66
Magnesit, chem. Zusammensetzung 7

- Makkaluben** 377
Malm 56, 335
Mangan im Wasser 399
 — im Grundwasser 404
Mangangehalt des Breslauer Grundwassers 416
Mangankarbonat, Löslichkeit — 62
 —, Oxydationsfähigkeit — 62
Mangansulfid 404
Marcus Vitruvius Pollio 75
Mariotte 80
Mariottesches Gesetz 368
Markasit, 402
Marmor, Wassergehalt 106
 —, Aufnahmefähigkeit für Wasser 114
Maximale Ergiebigkeit artesischer Pumpbrunnen 281
Mechanische Erweichung von Gesteinen im Wasser 60
Meereskunde 69
Meermühle im Karst 259
Melaphyr, Zusammensetzung 7
Mergel, Zusammensetzung 15
 —, Wasseraufnahmefähigkeit 107
Mergelkalk Verhalten gegen Wasser 536
Mergelsand, Entstehung 26
 —, Undurchlässigkeit 316
 —, Kalkgehalt 403
Mergelsandboden, Fruchtbarkeit 555
Mergelschiefer im Jura 317
Mesozoikum 56
Messung der Ergiebigkeit von Quellen 479
Meteorologie 69
Methode zur Berechnung der Ergiebigkeit von Smreker 482
 — von Slichter zur Feststellung der Fließgeschwindigkeit 481
 — von Smreker zur Feststellung der Fließgeschwindigkeit 481
 — von Richert zur Berechnung der Ergiebigkeit 484
Mikroseismische Pulsationen als angenommene Ursache artesischen Wassers 274
Milligramm-Äquivalentgewicht 390
Millimol 390
Mineralgehalt und technische Verwertbarkeit des Wassers 406
Mineralwasser 398
Mineralwasseranalyse 388
Mineralquellen 308
 —, Gefährdung durch Bergbau 541
Miozän 55
Miozän, undurchlässige Schichten im — 216
 —, Salzlager 401
Mittelschenkel 38
Mittlerer Muschelkalk, Salzager — 401
 —, Dolomitgehalt des — 403
Mofetten 407
Mol 390
Molasse, Täler in der — 310
 —, Gesteine 317
 —, Quellenerträge 480
Molkereien, Wasserbedarf 555
Moorede 552
Moormergel 552
Moräne, Quellenerträge 480
Moränenbildungen 19
Moränenschutz 13, 14
Morts-terrains 222
Mühlenrecht 562
Mühlenwasser 561
Muldenbau 34
Muldenförmige Lagerung als Ursache artesischen Wassers 265
Muldenlinie 34
Muldentäler, Wasserführung 321
Muriatische echte Bitterquellen 411
Muriatisch-salinische Bitterquellen 411
 —sulfatische Bitterquellen 411
Murray 88
Muschelkalk, Kluftsysteme im — von Bernburg 44
 —, Auslaugungen 54
 — 56
 —, Gesteine 318
 —, Klüfte 318
 —, Quellen 326
 — am Meißner 357
 —, Mittlerer, Bittersalzquellen im 415
Muschelkalkgebiet, Quellen des — 327
Muschelkalkquellen am Meißner 417
Musteranalyse 397
Myophorienschichten, Flußversinkung im — 177
Nadelwald, Verdunstung im — 88
Nährgebiet des artesischen Stromes 263
 — artesischen Wassers 278
Nährgelatine 436
 —, Herstellung 438
Naßgallen 320
Natrium im Wasser 399
Natriumsulfat, Löslichkeit von 63
Naturschächte 173

- Negative** Druckebenenstücke artesischen Wassers 264
 — Oberflächenstücke artesischer Druckebenen 277
Neigung der Grundwasserwelle 118
Neogen 55
Neokom 56
Neokomgebiet der Vauclusequelle 341
Nephelin, chem. Zusammensetzung 7
 —, Löslichkeit 61
Neutrale Zone im Grundwasser 243
Nichtelektrolyte 392
Niederbiegungen wasserführender Schichten, Beispiele 306
Niederschlagskarten 86
Niederterrassen, Quellenerträge 480
Niederwasser in Flüssen 92
Niederziehung des Grundwassers 173
 — — — durch Bergbau 230
Niobararakalk 291
Nischenbildung infolge von Gehängerut- schungen 456
Nodosenschichten am Meißner 357
Nummulitenkalk in Sizilien 355
- Oberer Buntsandstein** am Meißner 357
 — —, Salzlager 401
 — Malm im Faltenjura 335
Oberflächliche Gerinne 177
Oberirdischer Abfluß 91
Öffentliche Gewässer 558
 — Ströme 558
Österreichischer Wassergesetzentwurf 587
Oligozän 56
Olivin, chem. Zusammensetzung 7
 —, Löslichkeit 61
Olivingesteine, Zusammensetzung 8
Oolithische Kalksteine, Wasseraufnah- mefähigkeit 108
 — Kalksteine bei Metz, Verwerfungsquellen 357
Opalinuston im Faltenjura 335
Ornatenton, Quellen im — 333
Orthogonale Trajektorie 526
Ortstein 553
Oxford im Faltenjura 335
Oxfordkalk im Vauclusegebiete 342
Ozeanographie 69
- Paläogen** 56
Paläozoikum 56
Paläozoische Formationen, Gesteine 316
- Paläozoische** Schiefergebiete, Wasserarmut 245
Paläozän 56
Pallissy 78
Parabolische Kurven des Steigens und Sinkens abgepumpter Brunnen 283
Paraklasen 39
Passive Zone im Grundwasser 243
Pegelbohrlöcher 225, 520, 521
 — auf Riesefeldern 545
 — in Nährgebieten artesischen Wassers 284
Pegelbrunnen 225
Pegelkurven 208, 209
Periodische Wasserentziehung durch Stein- bruchbetrieb 528
Permische Formation 56
Perrault 78
Petrische Schalen 435
Petrographie 5
Petroleum zur Verfolgung unterirdischen Wassers 486
Phonolith, Löslichkeit 412
 —, plattige Absonderung 40
 —, Zusammensetzung 8
 —, Klüftigkeit 236
Phosphate im Wasser 399
 — im Mineralwasser 405
Phyllit, Zusammensetzung 9
Piezoklasen 39
Piezometrisches Niveau des artesischen Wassers 263, 275
Pingenbildung durch Schwimmsandeinbrüche 534
Pisolith 424
Plänerkalk, Wasserzirkulation im — 245
 — bei Paderborn 350
Plänerkalkschichten in Nordböhen 541
Planorbis marginatus in artesischem Wasser 272
Plastischer Ton, Wasseraufnahmefähigkeit 107
Plato 74
plattige Absonderung der Gesteine 40
Platzregen 88
Pleistozän 55
Pliozän 55
 —, Ton über Braunkohlen 534
Polderland 165
Poljen 249
Polyhalit im Zechstein 400
Porenvolumen 114
 — der Gesteine 114

Porositätstypen der Gesteine 11
Porphyr, Zusammensetzung 7
 —, Wassergehalt 106
 — von Teplitz 366
Porphyrit, Zusammensetzung 8
Posidonienschiefer, Jodgehalt 406
 —, Quellen im 332
Positive Druckebenenstücke artesischen
 Wassers 264
 — Oberflächenstücke artesischer Druck-
 ebenen 277
Potamologie 69
Potsdam-Sandstein, artesisches Wasser im
 — 299
Präkambriische Formation 56
Preußische Anweisung für Wasserversor-
 gung 495
 — Vorschriften für Quellenschutz 590
Preußisches Wassergesetz von 1913 562,
 568, 569
Privatflüsse 558
Privatgewässer 558
Probeentnahme von Wasser 426
 — für bakteriologische Untersuchung 434
Probepumpen 520
Pylonotenbank als Quellensammler 332
Pyrit, chem. Zusammensetzung 7

Qualitative Untersuchungen im Felde 447
Quartär, Schichtquellen im 337
Quartäre Gesteine, Abwesenheit von Ver-
 werfungsquellen 354
Quartärformation 55
 —, Gesteine der — 316
Quarz, chemische Zusammensetzung 6
 —, Druckfestigkeit 540
 —, Wassergehalt 106
Quarzit 14
 —, Durchlässigkeit im großen 317
 —, Löslichkeit 412
 —, Spalten 44
 —, Spaltenquellen 353
 —, Wassergehalt 106
Quarzschiefer, Zusammensetzung 9
Quarzkies, Durchlässigkeit 317
 —, Löslichkeit 412
Quarzporphyr, säulenförmige Absonderung
 40
 —, Thermalspalten im — 541
Quarzsand 214
 —, Durchlässigkeit 317
 — in der Kreide 317

Quarzsandstein 14
Quelle, Definition 70
Quellen durch hydrostatischen Druck 308
 — Profilverengung 288, 308
 — Verminderung des Gefälles 309
 — Verringerung der Durchlässigkeit 309
 — Verkleinerung des Gesamtprofils 309
 — Auftrieb vermittelt Gasen 308
 —, absteigende 308
 — in Sanderflächen 310
 —, Verschwinden von 381
 — in der Juraformation 331
 — im Muschelkalk 326
 — unter Verwitterungsschutt 457
 — in sanitärer Hinsicht 465
 —, Verminderung von — durch Bergbau
 521
 —, Vernichtung von — durch Bergbau 521
Quellenablagerungen 420
Quellenersitzung 561
Quellenertrag pro Sammelgebietsfläche 480
Quellenhorizont, Definition 70
Quellenlinie 366
 —, Definition 70
Quellenschutz in Baden 593
 — Bayern 590
 — Österreich 597
 — Preußen 593
 — Sachsen 591
 — Württemberg 591
Quellenschutzgesetze 590
Quellentemperaturen 134
Quellenwege, Erweiterung der — 381
Quellkalke, Schichtung der — 33
Quellkuppen von Torf 425
Quellwasser, Rechtsdefinition 558
Quertäler, Wasserführung 319
Querverwerfung 48, 49

Randverwerfungen im Kellerwald 364
Raubbau auf Grundwasser 556
Raseneisenstein 553
Regen 85
Regenhöhen 86
Regenmenge 85
 —, absolute 197
Regenverteilung in Mitteleuropa 199
Reibungswiderstand der Gesteine 122
 —, Berechnung des 123
Reichsgerichtsentscheidungen 599
Reif 85

- Rhät** 56
 — in Sizilien 355
Rheindiluvium 186
Rieselfelder, Aufhöhung des Grundwassers 545
 —, Filtrierfähigkeit des Bodens von — 543
 —, Pegelbohrlöcher 545
 —, Entschädigungspflicht 606—608
Rieselfeldwirtschaft und Hydrologie 543
Risse der Gesteine 39
Rogenstein im Buntsandstein 318
Römisches Recht, Grund- und Quellwasser im 560
Rosahegische Fläschchen 435
Röt, Gesteine des 324
 —, Salzlager 401
 —, Bittersalzwasser 415
Rötelschiefer, Undurchlässigkeit 318
 — der Nordvogesen 354
Rotliegendes 56
Rötton am Meißner 357
Rubidium in Gesteinen 405
Rutil, chemische Zusammensetzung 7

Sachsenspiegel 559
Sächsisches Quellenschutzgesetz 591
 — Wassergesetz 566
Salinen, Stellung im deutschen Rechte 560
 —, Sicherung gegen äußere Eingriffe 593
Salinische Bitterquellen 411
Salpetersäure im Regenwasser 58
 — im Schnee 59
 —, Entstehung 65
 — im Grundwasser 406
 — im Wasser 444
Salpetrige Säure im Grundwasser 406
 — im Wasser 444
 — im Wasser und Textilindustrie 407
Salzbergbau 538
 — und Gebirgswasser 530
Salzgebirge, Karstbildung im — 247
Salzlager im Miozän 401
Salzsäure in vulkanischen Quellen 399
Salzton, Undurchlässigkeit 538
 — im Zechstein 318
Sand, Durchlässigkeit 91, 316
 —, Entstehung 17, 26
 —, feiner, Reibungswiderstand 123
 —, glazialer 19
 —, Undurchlässigkeit 109
 —, Wasseraufnahmefähigkeit 114
 — von Hautrage 222

Sanddiluvium in Holland 167
Sanddünen 27
Sanderflächen, Quellenbildung in — 310
Sandige Bildungen 14
Sandleisten im Tegel 220
Sandstein 14
 — Wassergehalt 106
 —, Durchlässigkeit im großen 317, 318
 — mit kieseligem Bindemittel, Löslichkeit 412
 — mit tonigem Bindemittel, Löslichkeit 412
Sandstein, Durchlässigkeit 110
 —, Aufnahmefähigkeit für Wasser 114
 — im Tertiär 214
 —, Klüftigkeit 236
 —, quarzitischer, Löslichkeit 412
Sandsteinhöhlen 54
Saprol zur Verfolgung unterirdischen Wassers 486
Sattelbau 34
Sattellinie 34
Sattelstellung der Schichten, Wasserführung bei — 321
Sättigungsdefizit 87, 88, 195
 —, Jahresperiode des — 199
Säuerlinge, einfache 409
Sauerstoff, Löslichkeit im Wasser 58
Saugschlünde im Karstgebirge 259
Schaukelbewegungen im Grundwasser 153
Schichten, gegenfallende 48
 —, rechtfallende 48
Schichtenreihen, Wiederholung von — 50
Schichtenstörungen 46
Schichtfugen 30
Schichtfugengerinne im Karstgebirge 255
Schichtgesteine 6
Schichtlinien des Grundwassers 141, 544
Schichtquellen 308, 316
 —, aufsteigende 360
Schichtung 30
 —, auskeilende 31
Schichtwasser, 529, 537
 —, nach Steuer 68
Schiefergesteine, Klüftigkeit 245
Schieferletten im Buntsandstein 318
Schieferöl zur Verfolgung unterirdischen Wassers 486
Schieferton 15
Schikane in Wasserverhältnissen 561, 563
Schilfsandstein, Quellwasser 331
 —, Wasser im — 330
Schlammvulkane 377

- Schlotten** 54, 529
Schluffsand, Entstehung 17, 26
 —, Undurchlässigkeit 316
Schnee 85
 —, Absorptionsvermögen 58
Schneeschemelze, Einfluß auf die Quellen-
 speisung 379
Schollengebiete, Verwerfungsquellen in —
 354
Schotter 14
 —, Entstehung 17
 —, grober, Reibungswiderstand 123
 —, Durchlässigkeit 317
 —, Porenvolumen 322
Schreibkreide, Wasseraufnahmefähigkeit
 108
 —, Durchlässigkeit 317
Schuppenstruktur 50
Schuttgrundquellen 308
Schuttkegel 13, 29
Schuttquellen 308, 317
Schutzbezirke, Bildung von — für Wasser-
 versorgungsanlagen 512—519
Schutzgebiete, Bildung von — für gemein-
 nützige Quellen 533
 — für gemeinnützige Quellen 590
Schwabenspiegel 559
Schwalglöcher 245
Schwankungen des Grundwassers 195
 — — Grundwasserspiegels 138
 — — Salzgehaltes, selbsttätige Aufzeich-
 nung der — 447
Schwefel als Quellenablagerung 424
Schwefelkies 402
Schwefelquellen 408, 411
Schwefelsäure im Schnee 58
 — — Regenwasser 58
 — — Rieselwasser 549
 — — Grundwasser 402
 — — Wasser 445
Schwefelsaures Kalium 64
 — **Magnesium** 63
Schwefelwasserstoff im Mineralwasser 399
 — im Wasser 445
 — -Bitterquellen 412
Schwefelwasserstoffquellen 412
 —, alkalische 412
 —, erdige 412
 —, muriatische 412
 —, reine 412
Schweizerisches Wassergesetz 588
Schwimmer mit Meßstange 116
Schwimmsande in der Braunkohlenformation
 532
Schwimmsand, 530, 532
 —, Porenvolumen 532
Sedimente, fluvio-glaziale 19
Sedimentgesteine 6
Seenkunde 69
Seespiegelsenkung, rechtliche Verhältnisse
 572
Seifenlösung 441
Selbstdichtung der Flußbetten 155, 172
Seneca 75
Senkung des Wasserspiegels in Brunen durch
 Bergbau 521, 527
Senkungsprozeß, natürlicher, des Grund-
 wassers 557
Senkungskurven 230
Senkungskurve eines artesischen Brunnens
 281
Senkungstrichter 173, 225, 234
 — im Grundwasser 155
Senon 56
Septarienton 531
 — als Wasserstauer 317
 —, Gips im — 401
Sequanien im Faltenjura 335
Serpentin, Wassergehalt 106
Serpentingesteine, Zusammensetzung 8
Sicherheitspfeiler 538
Sickerwasser 68
Silurische Formation 56
Sinkstoffe, Dichtung von Flüssen durch—155
Sole im Buntsandstein 400
 — in der Kreideformation 400
 — in der Tertiärformation 400
 — im Alluvium 400
Solfataren 407
Solquellen 410, 415
 — im bayrischen Berggesetz 568
 — im Kreidebecken von Münster 536
Sommerquelle 335
Spalten der Gesteine 39
Spaltenbildung als Ursache artesischen
 Wassers 265, 271
Spaltenquellen 308, 353
Spaltenverteilung im Gestein 241
Spaltenwasser 529
 — und Erzgänge 535
Spaltzüge 173
Spezifische Ergiebigkeit 482
Spiegelgang von Seen 231
Sprengungen zur Wassergewinnung 491

- Sprudelquellen** 361, 377
Sprudelstein 424
Sprunghöhe 47
Stärkefabriken, Wasserbedarf 555
Staffelbrüche im Kellerwald 365
Staffelförmiger Bau 49
Stahlquellen 411
Staubecken und Grundwasser 4
Stauquellen 308, 349
Stauseen, glaziale 23
Stehendes Grundwasser 136
Steighöhe artesischer Brunnen 297
Steinbruchbetrieb 2, 519
Steineis 104
Steinkohle 9
Steinkohlenbergbau 530
— und Gebirgswasser 530
— und Grundwasser 535
Steinkohlenformation 56
Steinsalz 10
—, Löslichkeit 412
Steinsalzlager 399
Stickstoff, Löslichkeit im Wasser 58
— im Wasser 399
Störungszonen 49
St. Peter-Sandstein, Wasserführung im — 299
Strandwälle, Entstehung 17
Stratigraphie 5
Streichende Verwerfung 48
Stringozephalenkalk von Nauheim 375
Strontium im Mineralwasser 399, 405
Strukturporen 12
Stubensandstein, Wasser im — 330
Sulfate im Wasser 399
Sulfatische Bitterquellen 411
— Kochsalzquellen 410
Sulfide im Wasser 399
— der Alkalien, Entstehung 403
Süßwasserkrabben in artesischem Wasser 272
Süßwasserquarzit 10
Süßwasserschnellen in artesischem Wasser 272
Süßwasser und Salzwasser 162
Syenit, Zusammensetzung 7
—, Wassergehalt 106
Synklasen 39
Synklinalen 34

Tabelle zur Härtebestimmung von Faist und Knauß 443

Tachhydrit 400
Tafeljura, Schichtquellen im — 332
Tafelländer, Fehlen von Verwerfungsquellen 357
Tagebaubetrieb 519
— auf Flözlagerstätten 519
— und Grundwasser 519
—, Grundwasser im — 2
Talbildungen, eiszeitliche 22
Talk, Löslichkeit 61
Täler, lebende 550
Talsand bei Senftenberg 227
Talterrassen 23
Tau 85
Tegel, Sandleisten im — 220
Tektonische Erdbeben 383
Telphusa in artesischem Wasser 272
Temperatur des Wassers, Schwankungen der 127
— des artesischen Wassers 274
— der Wasserprobe 430
Temperaturbeobachtung bei Grundwasser-senkungen 234
Temperaturerhöhung, chemische — des Grundwassers 132
Tension der Luft 195
Terebratelkalk 10
Terrassen, Entstehung 18
Tertiär, Schichtquellen im — 337
Tertiärformation 55
—, lockere Gesteine in der — 213
—, Gesteine der — 316
Tertiärquellen am Meißner 417
Texturporen 12
Thales von Milet 74
Theorie der Lösungen 389
Thermalinie von Wien 385
Thermalquellen, Gefährdung durch Bergbau 541
Therme 126
Thermen 308
— von Sutinsko 385
— von Banjsko bei Strumica 386
— von Negorče bei Gjegeļj 386
Thermenlinie 366
Tholeyer Schichten, undurchlässige Schiefer-tone der — 346
Tiefbau auf Braunkohle 530
— und Grundwasser 529
Tiefbaubetrieb 519
Tiefe der Salzwassergrenze im Küstengebiet 168

- Titanit**, chem. Zusammensetzung 7
Titer der Seifenlösung 443
Ton 14
 —, glazialer 19
 —, — Entstehung 26
 —, Wassergehalt 107
 —, Löslichkeit 412
Tone im Diluvium und Tertiär 316
Tongesteine 15
Tonmergel, glazialer 26
 —, Undurchlässigkeit 316
 —, Kalkgehalt der — 403
 —, Löslichkeit 412
Tonschiefer 15
 —, Wassergehalt 106
 —, Aufnahmefähigkeit für Wasser 114
 —, im Jura 317
 —, in der Trias 318
 —, Löslichkeit 412
Töpfe (Quellen) 332, 334
Torf 9
 —, Wasseraufnahmefähigkeit 108
Torfmoore 551
Torpedieren von Wasserbohrungen 491
Tote Täler 138
Tourtia, Wasserundurchlässigkeit 536
Trachyt, Zusammensetzung 8
Traß, Durchlässigkeit 318
 —, Grundwasser im — 528
 —, Wasserentziehung durch Steinbrüche im — 528
Trennungsfugen der Gesteine 30
Treppenförmiger Bau 49
Trias von Bernburg 44
Triasdolomit in Sizilien 355
Triasformation 56
 —, Gesteine der — 316
 —, Quellenverhältnisse der süddeutschen — 326
Triaskalk in Sizilien 355
Trochitenkalk am Meißner 357
Trockentäler 24
Tropfbarflüssiges Wasser 104
Trümmergesteine 6
 —, Wasseraufnahmefähigkeit 109
Tuff, vulkanischer 10
 —, Durchlässigkeit 318
 —, Bergfeuchtigkeit 106
Tuffe, vulkanische, in Sedimenten 56
Tuffgestein 10
Tunnelbau und Grundwasser 3
Turon 56
Turon, Wasserführung in Westfalen 536
Überfallquellen 308, 337
 — in Moränengebieten 348
Überschiebungen 47, 49
Überschwemmungen, Einfluß von — auf den Grundwasserstand 526
Überschwemmungsgebiet 149
Umkehrung der Grundwasserbewegung 150
Untergrundbahnen, Grundwasser und — 3
Unterschiebung 47
Uranin zur Verfolg. unterird. Wassers 486
Uraninlösung, Feststellung von Wasserzusammenhängen durch — 235
Urstromtal 157
 —, Berliner, und Rieselfelder 548
 — der Elbe, Wasserführung 531
 —, pommersches 23
Urstromtäler 22, 24, 119, 138, 142, 226, 550
Urstromtälerkarte 20
Uvalas 248
Vadoses Wasser 73, 133, 366
Varians-Pläner, Wasserdurchlässigkeit 536
Vegetationsdecke, schwimmende, auf verlandenden Seen 551
Vegetation, Versorgung der — mit Wasser 555
Veränderlichkeit der Quellen 378
Verdichtung des Wasserdampfes 97
Verdunstung 86
 — der Niederschläge 87
Verdunstungsgrößen, absolute 197
Verfolgung unterirdisch fließenden Wassers 486
Verjähung, unvordenkliche 561
Verkittung der Gesteine 11
Verlandende Seen, schwimmende Pflanzen-
 decke auf — 551
Verlegung der Grundwasserscheide 381
Verminderung des Grundwassers 72
Verschwinden von Flüssen 172
 — des Iton 173
 — der Rhone 173
 — der Aure 173
 — natürlicher Quellen durch Bergbau 527
 — von Oberflächengewässern 177
 — von Quellen 382
Verschwindende Härte 444
Versickerung der atmosphärischen Nieder-
 schläge 73
Versickerungsbetrag, Ermittlung des — 92

- Versickerungsleitungen** 136
Versickerungsmenge 93
Versickerungsmesser 92
Verstopfung der Spalten im Gestein 239
Versumpfungerscheinungen bei Rieselfeldern 548
Vertikalbewegung des Wassers 136
Verunreinigung von Flüssen 431
— von Wässern 431
Verwerfungen 39, 46
—, spießbeckige 49
Verwerfungsquellen 308, 353
— in Sizilien 355
— am Meißner 357
—, aufsteigende 361
Verwerfungsquellenlinien 362
Vitriolquellen 411
Volger 85
Volumengewicht eines Bodens 115
Vorlandvergletscherung 145
Vossius 79
Vulkanische Trümmerprodukte 29
— Tuffschichten, Schichtung der — 33
— Erdbeben 382

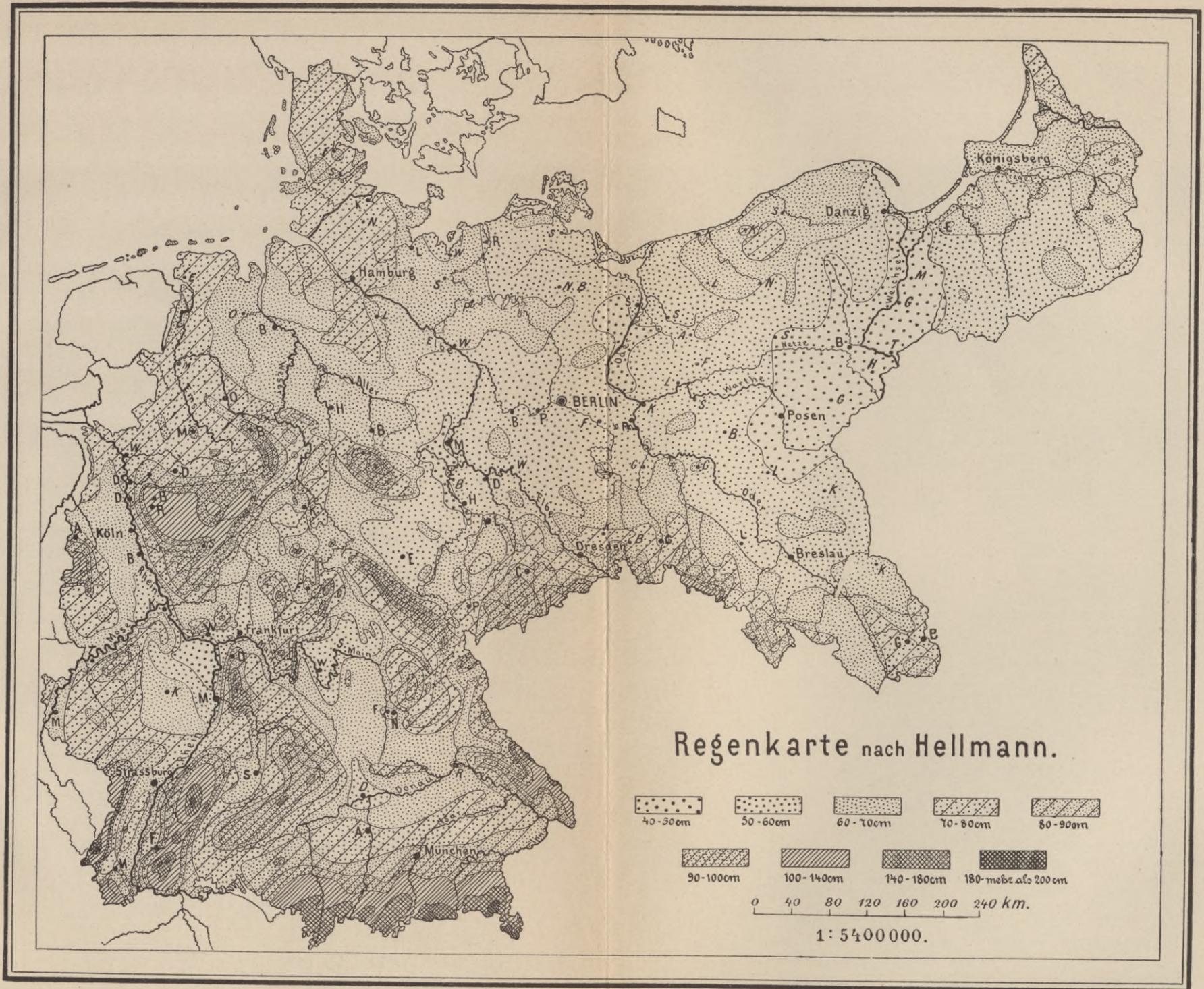
Wald und Grundwasser 552
Waldung, geschlossene —, Quellenergiebigkeit 96
Wanderdünen 28
Warmes Grundwasser 126
Warme Quellen 126, 366
—, einfache 409
Wärmeschwankungen des Wassers 128
Wasser für haushaltliche und gewerbliche Zwecke 72
—, gasförmiges 105
Wasseraufnahmefähigkeit der Gesteine 106, 113
— toniger Gesteine 107
Wasserbedarf von Industrien 72
—, Grundsätze 493
Wasserbeschaffenheit, Grundsätze 493
—, Vorschriften für Wasserversorgungsanlagen 497—508
Wasserbücher 564, 567
Wasserdampf, Auftrieb durch — 369
Wasserdruck 66
—, Messung 263
Wasserdruckflächen artesischen Wassers 275
Wasserdrucklinien artesischen Wassers 275

Wasserdurchlässigkeit 110
Wassereinbruch in Tunnels 135
Wassereinbrüche im Braunkohlenbergbau 530
Wasserentnahmeapparat nach Spitta-Imhoff 429
Wasserentziehung durch Bergbau, Folgen der — 521
— und Bodensenkung 539
Wassergehalt im Magma 105
Wasserergiebigkeit durchlässiger Gesteine 215
Wasserführung der Gesteine in der Tiefe 111
— tiefer Schichten 237
— der Gesteine 307
Wassergenossenschaften 568
Wassergesetz, Badisches 564
— Bayrisches 567
— Preußisches 568
— Sächsisches 566
— Württembergisches 565
Wasserleitungsfähigkeit des Torfes 108
Wassermenge, Vorschriften für Wasserversorgungsanstalten 508—512
Wasserpfeife 117
Wasserproben aus Bohrlöchern 428
—, Entnahme der — für bakter. Unters. 439
Wasserrecht in Elsaß-Lothringen 564
— in Hessen 564
Wasserrechtliches Gesetz Preußens von 1843 561
Wasserspiegelsenkung durch Bergbau 521
— in Brunnen durch Bergbau 521
Wasserstein 352
Wasserstockwerk 233
Wasserstoff im Wasser 399
Wasserundurchlässigkeit der Gesteine 107—108
Wasseruntersuchung 426
—, Ausführung der — zur Härtebestimmung 443
Wasserverbrauch der Vegetation 71
Wasserversorgung, zentrale 2
Wasserversorgungsanlagen, Grundsätze für öffentliche — 493
Wasserwirtschaft, bergmännische 519
Wealden 400
Wealdenformation 56
Wechsellagerung, auskeilende 32
— durchlässiger und undurchlässiger Gesteine 212
Wechselschlünde im Karstgebirge 258

- Weideland**, Quellenergiebigkeit 96
Weißer Jura, Schichtquellen im — 332
Weißjura β als Wassersammler 333
Wellenkalk, Flußversinkung im — 177
Wurfener Schichten als Wasserstauer 348
 — Schiefer, Verwerfungsquellen im — 356
Wertverminderung von Äckern durch Bergbau 528
Wiesen, Einfluß von Bergbaubetrieb auf — 527
 —, Schädigung oder Veränderung von — durch Bergbau 521
Wiesenkalklager in Seen 551
Wiese und Grundwasser 552
Wildbäder 409
Wildwasser in rechtlicher Beziehung 571
Württembergisches Quellenschutzgesetz 591
- Württembergisches** Wassergesetz 565
Wurzeltiefe der Kulturpflanzen 550
- Zahnkarpfen** im artesischen Wasser 272
Zanclodonletten, Wasser im 330
Zechstein 56
 —, Auslaugung im — 54
 — im Kellerwald 364
 —, Salze des — 399
 —, Dolomite im — 403
Zechsteininformation, Gesteine der — 316
 —, Solquellen in der — 415
Zechsteinquellen am Meißner 352, 417
Zeolithe, Löslichkeit 61
Zerfall festen Gesteins 16
Zuckerfabriken, Wasserbedarf 555
Zuflüsse von Grundwasser zum Mineralwasser 425

Druckfehlerberichtigung

S. 349 Zeile 1 von oben lies Überfallquelle statt Überfallsquelle.



88-51

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297167