

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

2722

1. 10

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297483



x
714

ÜBER DIE ART DES VORKOMMENS

UND DIE

BESCHAFFENHEIT

DES

WASSERS IM UNTERGRUNDE, IN QUELLEN,

FLÜSSEN UND SEEN.

EINE GEOLOGISCHE ÜBERSICHT MIT BERÜCKSICHTIGUNG
PRAKTISCHER BEZIEHUNGEN

VON

PROFESSOR D^r. JULIAN NIEDŹWIEDZKI.

74
MIT ABBILDUNGEN IM TEXTE.

F. N. 31 280



WIEN, 1915.

IN KOMMISSION BEI LEHMANN & WENTZEL,
GESELLSCHAFT M. B. H.

G. 55

127

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

112722

Druck von Adolf Holzhausen,
k. und k. Hof- und Universitäts-Buchdrucker in Wien.

Akc. Nr. 2001/49

VORWORT.

Mit der vorliegenden Publikation beabsichtige ich, eine möglichst kurzgefaßte und doch alles Wesentliche umfassende Darlegung des in ihrem Titel angezeigten Teiles der praktischen Geologie zu bieten. Trotz ihrer Gedrungenheit enthält sie aber doch manches, das in weit größeren Werken nahezu gleichen Lehrumfanges mit Unrecht nicht aufgenommen erscheint, so z. B. auch einige Ausführungen über Flüsse und Seen, die aber vorwiegend bloß hinsichtlich ihres Zusammenhanges mit den Wässern des Untergrundes und in betreff derjenigen Verwendung derselben behandelt worden sind, welche mit der Benützung der Untergrundwässer übereinstimmt. Hydrotechnische Fragen habe ich nur gelegentlich eben berührt, vornehmlich nur, um hinzuweisen, wie sie sich an die geologischen anschließen.

Das hier Gebotene dürfte wohl vor allem denjenigen, die sich zu Hydrotechnikern ausbilden, als ein Behelf zur Festhaltung des wichtigsten Teiles ihrer geologischen Vorbereitung für ihr Fachstudium nützlich sein. Doch dürften es auch viel weitere Kreise der sich für Landwasserfragen Interessierenden mit Nutzen verwenden können, da zum Verständnis desselben zumeist bloß der im Mittelschulunterrichte verarbeitete naturwissenschaftliche Wissensumfang (hauptsächlich aus der Gesteinskunde, geologischen Tektonik und Chemie) erforderlich ist.

Ich glaube auch in diesem kleinen Werke durch meine Fassung einiger, leider noch immer schwankender Begriffsbestimmungen im behandelten Wissensgebiete sowie durch meine darauf begründeten Bezeichnungen der Gegenstände und Verhältnisse einen kleinen Beitrag oder wenigstens ein Votum zur Beseitigung der bezüglichen Unbestimmtheiten geliefert zu haben, wozu ich als langjähriger Lehrer der praktischen Geologie mich nicht nur berechtigt, sondern auch verpflichtet fühle.

Wien, im Juli 1915.

J. Niedźwiedzki.

INHALT.

	Seite
Das Vorkommen des Wassers im Untergrunde	1
Der atmosphärische Niederschlag	1
Eintritt desselben in den Untergrund	2
Wasserdichte und durchlässige Gesteine	4
Unterirdische Wasseransammlungen (Bodenwässer)	8
Arten derselben	9
Ihre Wassermenge	15
Ihre Verbindung mit Oberflächenwässern	17
Gewinnung der Bodenwässer	20
Gewöhnliche Brunnen	21
Artesische Brunnen	22
Quellen	28
Ihre Entstehung	28
Arten derselben	29
Ihre Beständigkeit	34
Ihre Ergiebigkeit	35
Die Beschaffenheit der Bodenwässer und Quellen	38
Temperatur der Bodenwässer	38
Temperatur der Quellen	39
Thermen	40
Die Reinheit — Unreinheit der Bodenwässer und Quellen	43
Die chemische Beschaffenheit der gewöhnlichen Bodenwässer und Quellen	45
Mineralwässer	53
Oberflächenwässer	61
Flüsse	61
Seen	68
Anmerkungen	70
Literatur	71

Das Vorkommen des Wassers im Untergrunde.

Der atmosphärische Niederschlag und dessen Eintritt in den Untergrund.

Das Wasser kommt auf dem Festlande vorerst in der die Erdoberfläche berührenden Atmosphäre vor in der Form des Nebels, einer Anhäufung von durchschnittlich 0·02 mm großen Wasserkügelchen, welche zeitweise und örtlich in sehr großer Menge in der Luft schweben und durch Kondensation des Wasserdampfes in derselben bei Temperaturerniedrigung entstanden sind.

Ganz vorwiegend sammelt sich das Wasser auf der Erdoberfläche an aus dem Regen und dem Schnee, welcher letzterer örtlich sich zu Eis verdichtet, sowie aus dem Nebel, welcher auf die obersten Gesteinslagen und innerhalb derselben, besonders aus den über die Höhen vorbeiziehenden Wolken, sich niederschlägt und zusammenfließt; diese Massen von Wasser und Schnee bilden zusammen den „atmosphärischen Niederschlag“.

Der in der Luft eingeschlossene Wasserdampf gelangt wohl mit ihr in die mannigfaltigen Zwischenräume des Untergrundes und kondensiert sich darin bei eintretender Temperaturabnahme und Luftdruckänderung. Besonders könnte die auf diese Art entstehende Wassermenge bedeutender sein innerhalb der hoch hervorragenden zerrissenen Felsmassen, welche fast ununterbrochen von Luftströmen durchflossen werden; allein der daraus für den Untergrund resultierende Wasserzuwachs dürfte allem Anscheine nach ganz geringfügig und belanglos sein, vornehmlich aus dem Grunde, weil bei der Wasserkondensation Wärme frei wird, welche den Fortgang dieses Prozesses aufhält, und weil weiters die Luftzirkulation im Boden im allgemeinen gering ist.

Große Wassermassen erscheinen weiters dauernd auf der Erdoberfläche in den kontinentalen oberirdischen Wasseransammlungen, den Flüssen und Seen.

Der atmosphärische Niederschlag auf die ganze kontinentale Erdoberfläche innerhalb eines Jahres beträgt gegen 112.000 km^3 , so daß davon bei gleichmäßiger Verteilung auf jeden Ort eine 750 mm hohe Wassersäule entfallen würde. Es fällt auch wirklich den Beobachtungen zufolge ein Niederschlag von solcher Größe auf viele Gegenden des mittleren Europa. Doch ist ja derselbe überall zeitlich wechselnd, besonders während der einzelnen Jahreszeiten, weiters auch in verschiedenen aufeinander folgenden Jahren, vielleicht wohl auch innerhalb größerer Zeitperioden. Sodann verteilt er sich auf die einzelnen Erdbezirke sehr ungleichmäßig. Während es in einem Teile der Wüsten fast keinen Niederschlag gibt, haben dagegen einige, übrigens wenig ausgedehnte Gegenden einen solchen von über 10.000 mm Höhe (in Cherapoonje am südlichen Abhange des Himalaja-Gebirges ergaben die Beobachtungen sogar 14.200 mm).¹

In manchen Gebieten wird das Niederschlagswasser zu Eis, welches aber schließlich doch schmilzt und sich mit ersterem vereinigt, ebenso wie dies mit dem Schneeniederschlag geschieht, der auch örtlich zu Eismassen zusammenbackt.

Vom ganzen atmosphärischen Niederschlage kehrt der überwiegende Teil entweder unmittelbar durch Verdunstung an der Erdoberfläche in die Atmosphäre zurück oder mittelbar durch die pflanzliche Wasserausdünstung; ein Teil fließt oberirdisch ab in die Flüsse, Seen und das Meer; bloß das Übrige dringt, gewöhnlich nach einer zeitweisen Ansammlung auf der Erdoberfläche, in den Untergrund ein. Wieviel dieser letztere Teil ausmacht, das hängt vorerst von den beim Niederschlage herrschenden allgemeinen meteorologischen Verhältnissen ab, von denen ja dessen Größe nur eine Teilerscheinung bildet. Von wesentlichem Einfluß sind namentlich seine Stärke und Dauer, das Verhältnis des schneeigen zum wässerigen Teile desselben sowie die gleichzeitig herrschende Temperatur und Luftbewegung. Dann sind diesbezüglich von Wichtigkeit die örtlichen orographischen Verhältnisse, besonders die Neigung des Terrains und der Grad der Unebenheit des Bodens sowie die Art seiner Pflanzendecke oder deren Mangel. Schließlich erscheinen von wesentlichem Einfluß einige geologische Verhältnisse des den Niederschlag empfangenden Untergrundes, namentlich die Textur und Zerklüftung der ihn aufbauenden Gesteine und die Art ihrer Lagerung (geologische Tektonik).

Vielfachen Beobachtungen zufolge kann man annehmen, daß im Mittel etwa 25% des atmosphärischen Niederschlages in den Unter-

grund eindringt, während dieser Betrag je nach den verschiedenen Gebieten zwischen 5 % und 80 % schwankt.

Bezüglich der Art dieses Eindringens kann man folgende drei Hauptmodalitäten unterscheiden:

Erstens wird das zuzitzende Wasser durch die Kapillarkraft von den Gesteinen in deren kleine, mit bloßem Auge gar nicht oder kaum sichtbare Haarrisse eingesaugt, welche in fast allen Gesteinen vorkommen, vor allem zwischen deren Gemengteilen, aber auch innerhalb der konstituierenden Mineralindividuen, wo sie sekundär, namentlich bei vorhandener Spaltbarkeit, entstanden sind.

Dieses von den Gesteinen eingesaugte Wasser wird von ihnen mit einer gewissen Kraft festgehalten und erscheint bei den frisch aus dem Untergrunde gewonnenen Stücken als deren Feuchtigkeit. Auch bei gleichen äußeren Verhältnissen tritt es in sehr verschiedener, mittels Abwägungen vor und nach Vertreibung durch Wärme leicht bestimmbarer Menge auf, je nach der Gattung und Abart derselben, besonders abhängig von deren Textur.

Bei festen, weder löcherigen noch porösen Gesteinen beträgt sie dem Volumen nach bei dichter Textur, z. B. bei dichtem Kalkstein, gewöhnlich 1—2 %, bei körnigen Felsarten, z. B. bei körnigem Kalkstein und körnigen Silikatgesteinen, steigt sie bis zu 5 %. Bei halbfester Kreide, ebensolchen Mergeln und organischen kleinmuscheligen Kalksteinen u. dgl. steigt die Feuchtigkeit bis über 20 %. Bei festigkeitslosen Gesteinen, vor allem bei Tonen und Tonmergeln, besonders bei feinsandigen Abarten derselben, beträgt sie noch bedeutend mehr, ja es gibt bei derartigen Felsarten, namentlich wenn sie beim Wassereinsaugen zugleich ihr Volumen vergrößern können, keine Grenze für die Wasseraufnahme; der sehr feuchte Ton z. B. geht in breiigen über, bei welchem das Wasser umfänglich über die mineralischen Gesteinsbestandteile überwiegt.

Dabei werden zumal an der Erdoberfläche auftretende sandige Tone und nahestehende Mergelarten zufolge der Wasseraufnahme mehr oder weniger beweglich, rutschig, ja geradezu fließend.

Trotzdem das eingesaugte Wasser einigermaßen zurückgehalten wird, dringt es in den Gesteinen im allgemeinen sehr langsam, aber allseitig vor, also auch gegen oben hin entgegen der Schwere; es verflüchtigt sich erst bei Eintritt in die freie Luft durch Verdunstung. Auch unter hydrostatischem Drucke kann von dem derart eindringen-

den Wasser durch die Gesteine nur eine ganz geringe, quantitativ belanglose Menge durchdringen.

Gesteine, welche Wasser nur in der oben angeführten Weise durch Einsaugung aufnehmen und für Wasser undurchlässig sind, werden als wasserdicht bezeichnet. Das Auftreten einer wenn auch dünnen, aber ununterbrochenen Lage eines derartigen Gesteins im Untergrunde verhindert das weitere Vordringen des Wassers nach der Tiefe, es entsteht dadurch ein undurchlässiger Boden für dasselbe.

Weiters dringt Wasser in die Gesteinsmassen durch Einsickern hinein, nämlich auf die Art, daß es, der Wirkung der Schwere folgend, in miteinander verknüpften, halmdünnen, einige Zehntelmillimeter bis einhalb Zentimeter dicken, sich oft gabelnden Äderchen in kleine, kommunizierende Zwischenräume (größere Poren, kleine Löcher) der Gesteine eindringt und dieselben, trotz der Adhäsion an den Wänden, unter dem hydrostatischen Drucke des oberflächlichen Zuflusses, vorwiegend frei, zumeist in der Tiefenrichtung durchwandert.

Solche kleine Zwischenräume besitzen nun viele Gesteine, vor allem primär infolge ihrer porösen oder löcherigen Textur, wie dies besonders bei zahlreichen Arten von Trümmergesteinen: gröberen Sanden, Schottern, manchen Sandsteinen und Konglomeraten, ferner bei vielen vulkanischen Tuffen, Kalktuffen und organischen Kalksteinen der Fall ist, dann aber auch manche ursprünglich kompakte Gesteine, in welchen kleine Zwischenräume sekundär, namentlich infolge weitgehender feiner Zerklüftung, entstanden sind.

Derartige Gesteine können sich nach und nach mit Wasser, gleichsam als einem sekundären Übergemengteile, in verschiedenem Maße füllen und werden dann zu wasserführenden, Wasserträgern; ihr Wasser kann als Füllwasser bezeichnet werden. Diese Gesteine lassen auch das Wasser durch ihren Körper ganz durchgehen, sind wasserdurchlässig und werden hier weiterhin einfach als durchlässig bezeichnet.

Natürlich ist die Wasseraufnahme, Wasserführung und Wasserdurchlässigkeit bei verschiedenen Gesteinen, ja sogar bei verschiedenen Partien einer und derselben Gesteinsmasse, der Schnelligkeit und Menge nach sehr ungleich, schon wegen der Verschiedenheit und Unbeständigkeit der Texturen, bei Sandsteinen und Konglomeraten auch wegen der Menge des die ursprünglichen Zwischenräume mehr oder weniger ausfüllenden Bindemittels. Sehr ausgiebig ist sie besonders immer bei Schottern und groben Sanden. Aber auch bei feinkörnigen (nichttonigen!)

Abarten derselben, wenigstens bis zur Dicke von 0·1 *mm* der Körner hinab, besteht bei großer Wasseraufnahme — über 30% hinaus — trotz starker Zurückhaltung infolge der Adhäsion doch noch eine ansehnliche Durchlässigkeit.

Eine mit genügend feinem Sande gefüllte Glasröhre läßt trotz voller Sättigung desselben mit Wasser letzteres nicht durchsickern, bis durch weiteren Wasseraufguß von oben der hydrostatische Druck hinzukommt, wo sodann am unteren Ende der Röhre alsogleich Wassertropfen herabzufallen beginnen.

Die kapillare Hebungskraft äußert sich bei Sanden bis zu einer Körnerdicke von ein paar Millimetern. Nach A. Alterberg erfolgt bei einer Körnerdicke von 1—2 *mm* eine kapillare Hebung des Wassers über das hydrostatische Niveau um 6 *cm* (bei Körnerdicke von 0·02—0·01 *mm* bis zu 245 *cm*).

In Sandlagen des Untergrundes kann stellenweise infolge hydrostatischen Druckes von oben eine Wassermenge eindringen, welche die zwischen den Sandkörnern vorhandenen Zwischenräume ganz ausfüllt und diese dann auseinanderpreßt. Wenn nun in solchen mit Wasser überfüllten Sanden durch künstliche Eingrabung (Brunnen, Schächte, Stollen, Bohrungen) eine Öffnung gemacht wird, so dringt die unter Druck befindliche Masse von Sand und Wasser unter Volumzunahme gewaltsam als „Schwimmsand“ in die Öffnung hinaus, den zu bewältigen oftmals schwer fällt.

Auch der Löß läßt — infolge seiner eigentümlichen Textur — Wasser durchsickern, wiewohl nur langsam, beziehungsweise in wenig reichlicher Menge, nahezu in gleichem Maße wie (nichttonige) feinkörnige Sande.

Auf eine dritte Art dringt der atmosphärische Niederschlag in den Untergrund ein, und zwar durch Einsinken in, von den vorhin in Betracht gezogenen, bedeutend größere Zwischenräume innerhalb der Gesteinskörper, welche eine nahezu ganz ungehinderte, fast allein der Schwerkraft folgende Bewegung des Wassers in Adern von verschiedensten Dimensionen erlauben, bei denen doch die Adhäsions- und Reibungswiderstände wenig ins Gewicht fallen.

Derartige, vorwiegend 1 *cm* bis 1 *m*, doch zuweilen auch viele Meter breite Zwischenräume entstanden innerhalb der Gesteinsmassen vorerst durch Zerklüftung der Gesteinskörper, ferner erscheinen sie als Trennungsfugen zwischen einzelnen tektonischen Einheiten des Gebirgsbaues, namentlich am diskordanten Zusammenstosse verschie-

dener Schichtenfolgen oder von Schichtenfolgen und Gesteinsgängen; oftmals wurden sie durch die chemische Tätigkeit des Wassers herausgearbeitet. Im allgemeinen kann aber das in die besagten Hohlräume hineingelaufene (analog den Mineralgängen auftretende) Wasser, im Gegensatze zum Füllwasser, als eingeschlossenes oder als Einschlußwasser bezeichnet werden.

Während, wie angeführt, das Einsaugen des Wassers durch die Gesteine überall stattfindet, sind auch die beiden anderen Arten des Eindringens des Wassers in den Untergrund oft in einer und derselben Gebirgspartie miteinander kombiniert und es kommt auch häufig vor, daß bei einer und derselben Wassermasse in ihrer Wanderung nach unten die Art des Eindringens wechselt.

Viele Gesteine sind, obgleich primär wasserdicht, erst durch eingetretene feine Zerklüftung durchlässig geworden oder erlauben dem Wasser, durch die in ihnen entstandenen weiten Klüfte schnell und in reichlicher Menge durch ihren Körper durchzulaufen. So lassen namentlich die mächtigen Massen von an sich undurchlässigem, dichtem oder organischem, aber nicht porösem Kalkstein, welche die Karstgebirge zusammensetzen, durch die zahlreichen, sie vorwiegend senkrecht durchsetzenden Klüfte das Wasser von ihrer Oberfläche rasch nach der Tiefe einsinken.

Hingegen treten besonders Tone, Lehme und Tonmergel ganz vorherrschend in kompakten, nicht klüftigen Massen auf und ihre Lagen halten gewöhnlich das sich mehr oder weniger frei bewegende Wasser auf; sie sind es zumeist, welche für die Wasserführung eine undurchlässige Unterlage oder Seitenwand bilden.

Je nach dem Vorhandensein oder Fehlen der dargelegten, die Wasserführung bedingenden Umstände trifft man bei den Arbeiten im Untergrunde entweder verschieden reichliche Mengen von „zusitzendem“ Wasser oder aber fast nichts davon an. Eine Anzahl von diesbezüglich gemachten Erfahrungen seien nachfolgend angeführt, um diese Verhältnisse zu erläutern.

Die im Jahre 1894 in Lemberg inmitten des Stryjer Parkes ausgeführte (Ausstellungs-) Bohrung hat in 450 innerhalb des horizontal gelagerten senonen Kalkmergels durchfahrenen Metern kein Wasser angetroffen. Bei Projektierung eines submarinen Tunnels unterhalb des Ärmelkanals hat man bei Sangate westlich von Calais einen 100 m langen Versuchsstollen in dem dortigen cretacischen Mergel ausgeführt und dabei festgestellt, daß die Wände dieses

Stollens ohne eine Verzimmerung trocken verblieben, obgleich er stellenweise bloß 40 *m* tief unter dem hier bis 57 *m* tiefen Meere zu liegen kam. Bei Botalack in Kornwall (SW. England) reichen Bergbaustrecken vom Lande weg auf einige Kilometer weit unter den Meeresboden, welcher stellenweise weniger als 10 *m* oberhalb liegt. In einer Höhle in den schweizerischen Zentralalpen, die sich in einem rundum ganz kompakten (klufflosen) Granite befindet, fallen von der Decke fortwährend einzelne Wassertropfen herunter. Beim Baue des über 13 *km* langen Mt. Cenis-Tunnels betrug der auf der ganzen Strecke erhaltene Wasserzufluß bloß 60 *l/m*.* Beim Baue des über 14 *km* langen St. Gotthard-Tunnels erhielt man auf dessen Nordseite, trotzdem hier diskordante Schichtenfolgen vorwiegend dünner Gesteinslagen durchfahren worden sind, bloß auf der Strecke 1450—1500 *m* vom Eingang einigen Wasserzufluß, nämlich 24—28 *l/m*, dagegen erschien ein solcher auf der Südseite in der Strecke von 3168—7093 *m* im Betrage von 2220 *l/m*. In dem vor einigen Jahren fertig gewordenen Simplon-Tunnel erhielt man in der Südhälfte sehr bedeutende Wasserzuflüsse, welche an zwei Stellen bis zu 60 *m*³/*m* anstiegen und besonders aus dem Grunde, weil die Temperatur dieser Wässer bis 47° C betrug, eine große Hemmung der Tunnelarbeit verursachten. In dem Braunkohlenbergbau Döllinger-Schacht bei Dux (NW. Böhmen) traf man im Jahre 1879 in einer Tiefe von 58 *m* unverhofft einen Wasserzufluß, welcher in den ersten Tagen gegen 800 *m*³/*m* und lange nachher immer noch 12 *m*³/*m* betrug. Ein Schacht in Kały (westlich von Krakau) hatte während einer Anzahl von Jahren an seinem Boden einen Wasserzufluß von 30 *m*³/*m* und dieser erhöhte sich zeitweise bis zu 35 *m*³/*m*. Aus der Steinkohlengrube von Lehigh in Pennsylvanien mußte man lange Zeiten hindurch Wasserzuflüsse von 90 *m*³/*m* herauspumpen.

In vielen Bergwerken gemachte Beobachtungen haben es sicher gestellt, daß die unterirdischen Wasserzuflüsse nach stärkeren Niederschlägen, beziehungsweise nach intensiverem Schneetauen, an der nächstgelegenen Oberfläche zunehmen und daß die zeitlich zusammenhängenden Zunahmen von Wasserausflüssen oder Neuerscheinungen von solchen desto später zum Vorschein kommen, je tiefer der Ort in dem Grubengebiete liegt. Darin haben wir einen unverkennbaren Be-

* *l/m*, *m*³/*m* bezeichnet *l*, beziehungsweise *m*³ in der Minute.

weis dafür, daß die unterirdischen Wässer in der Regel von atmosphärischen Niederschlägen herkommen.

Der Bewegung des Wassers im Untergrunde nach der Tiefe hin, namentlich unter dem hydrostatischen Drucke des Zuflusses von oben, stellt sich, abgesehen von Gebieten mit einer mittleren Jahrestemperatur unterhalb 0°, in welchen das in der wärmeren Jahreszeit einkende Wasser bald in die Gefrierzone gerät, schließlich als hemmender Widerstand die hohe Temperatur des Erdinnern entgegen. Doch dürfte bei vorhandener voller Durchlässigkeit eindringendes Wasser bis zu einer 10 *km* übersteigenden Tiefe hinunterreichen, also zu einer Tiefe, welche die Menschen nicht erreichen können. Gewöhnlich wird aber das flüssige Wasser schon in viel weniger tiefen Stellen der Erdrinde an weiterem Vordringen in die Tiefe dadurch aufgehalten, daß die seine Bewegung ermöglichenden Verhältnisse aufhören. Dies tritt entweder auf die Weise ein, daß die wasserführende Lage selbst endet, oder daß die Durchlässigkeit derselben infolge einer gewöhnlich allmählichen Änderung ihrer Textur, beziehungsweise eines Zurücktretens ihrer feinen Zerklüftung, aufhört oder daß die wasserführenden Spaltklüfte innerhalb der weiter fortsetzenden Gesteinsmassen sich schließen.

Bodenwässer (Untergrundwässer).

Das in den Untergrund eindringende Wasser bildet darin infolge der Hemmungen seines Abflusses in die Tiefe dauernde Ansammlungen (Wasserreservoirs), welche als Untergrund- oder Bodenwasser² bezeichnet werden und gewissermaßen ein Gegenstück zu den kontinentalen oberirdischen Wasseransammlungen (Flüssen, Seen) bilden.

Nach den Darlegungen im vorigen Abschnitte erscheint das Bodenwasser entweder als Füllwasser, das ist als Durchtränkung einzelner Gesteinsmassen, der Wasserträger, oder es ist eingeschlossen in den größeren, vorwiegend kluftartigen Hohlräumen, welche innerhalb von Gesteinsmassen auftreten. Im ersteren Falle bildet ein unterhalb oder eventuell auch seitlich anliegendes undurchlässiges Gestein für die Wasseransammlung einen Boden, beziehungsweise Wände, also gleichsam ein Gefäß; so z. B. bei einer vom Wasser durchtränkten Sandmasse ein unterlagernder oder auch seitlich anliegender Ton.

Natürlich mußte jedes Bodenwasser bei seiner Entstehung ein Zuflußgebiet an der Oberfläche besitzen, zumeist hat es auch gegenwärtig ein solches, eventuell auch ein unterscheidbares Gebiet des

Durchflusses von der Oberfläche zum Ansammlungsorte. Doch kann es auch infolge verschiedener geologischer Vorgänge derzeit von der Oberfläche abgeschlossene Bodenwässer geben. Dabei darf nicht außer acht gelassen werden, daß sie nicht nur aus dem Zufluß atmosphärischen Niederschlages direkt entstehen können, sondern auch bloß mittelbar aus diesem, dagegen direkt aus ober- oder unterirdischen Wasseransammlungen gespeist werden können.

Übrigens wird ziemlich allgemein angenommen, daß in die oberen Zonen der Erdrinde auch Wasser heraufsteigt, welches sich aus dem glutflüssigen Magma des Erdinnern bildet, also für die obere Erdkruste als eine fremde Neubildung erscheint und deshalb als juvenil³ bezeichnet worden ist, im Gegensatze zu dem vorhin in Betracht gezogenen, jedenfalls quantitativ bei weitem überwiegenden, von der Oberfläche herstammenden „vadosen“³ Wasser.

Die Bodenwässer treten in verschiedenen Tiefen unter der Oberfläche auf, besitzen sehr verschiedene Dimensionen und sind morphologisch recht mannigfaltig gestaltet je nach dem geologischen Aufbau des Untergrundes, in welchem sie auftreten, namentlich je nach der Mächtigkeit und Lagerung der bezüglich wasserführenden oder wassereinschließenden Gesteinsmassen.

Vornehmlich nach ihrer Lage und ihren morphologischen Verhältnissen kann man folgende drei Hauptarten derselben unterscheiden, obgleich diese, wie das bei so vielen anderen naturwissenschaftlichen Abteilungen der Fall ist, sich voneinander nicht scharf abgrenzen lassen und durch Übergänge miteinander verbunden sind.

Bei den zwei zuerst anzuführenden Bodenwasserarten haben wir es mit Füllwasser zu tun.

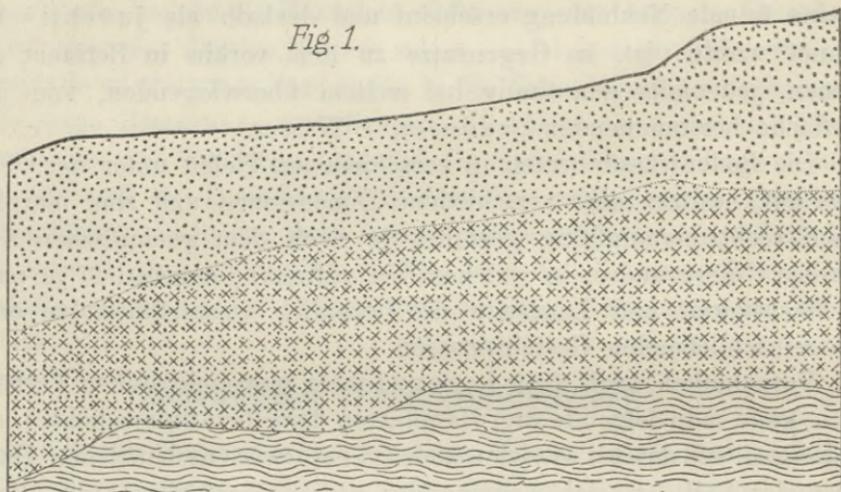
1. **Grundwasser.**⁴ Es befindet sich in geringen Tiefen des Untergrundes, oft bereits in 1, 2 *m* unter der Erdoberfläche, ruht auf einer von oben gezählt ersten, ununterbrochen verlaufenden wasserdichten Gesteinslage, ist somit gegen die Oberfläche gar nicht oder bloß stellenweise, überhaupt ganz unvollständig abgetrennt. Seine Mächtigkeit beträgt oft bis 10 *m*, zuweilen ist sie mehrfach größer. Die Ausdehnung ist häufig sehr groß, geht manchmal über Hunderte von Kilometern weite Gebiete, und zwar erscheint sie entweder flächenhaft, zum Teil seenartig, oder langgezogen, flußartig. Die vorhandene Wassermenge ist oft sehr bedeutend; ganz enorm manchmal in ausgedehnten oberflächlichen Sand- und Schottermassen, welche am Fuße von Gebirgsszügen oder in breiten Tälern jetziger oder einstiger Flüsse

lagern. In diesen Bildungen ist auch am häufigsten Grundwasser anzutreffen, weshalb denn die folgenden Bemerkungen vornehmlich sich auf solche beziehen.

Die (unterirdische) Oberfläche der Grundwässer, ihr „Spiegel“, ist selten ganz oder beinahe horizontal, erscheint gewöhnlich in geringem Maße geneigt, zuweilen nach mehr als einer Richtung, auch flachwellig, zum Teil abhängig von der Lagerung des undurchlässigen Untergrundes, zuweilen auch von der Gestaltung des Geländes darüber.

Zur Veranschaulichung der in dieser Beziehung am häufigsten sich darbietenden Verhältnisse diene Fig. 1, ein Durchschnitt durch das

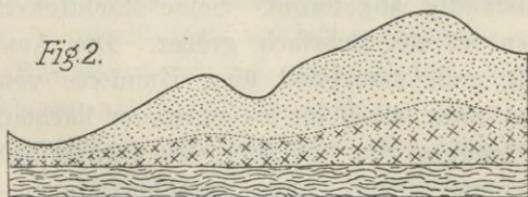
Fig. 1.



Grundwasser in einem Teile des Untergrundes von München nach B. Salbach, im Maße der Länge 1 : 12.000, der Höhe 1 : 200, mit der auch für die weiter folgenden Bilder gültigen Bezeichnung: grobe Punktierung = wasserführende Lage, kleine schiefe Kreuze = Wasser, wellige Streifung = wasserundurchlässige Lage.*

Fig. 2, schematisch — wie auch alle weiter folgenden, wenn nicht anders angegeben — soll die besonderen Verhältnisse in Sand-

Fig. 2.



dünen darstellen, wo das Grundwasser trotz horizontaler Unterlage mit dem Gelände, wenn auch nicht gleichmäßig mit ihm, ansteigt. Offenbar ist dies

* Auch alle folgenden Bilder sollen geologische Durchschnitte darstellen.

eine Folge des kapillaren Festhaltens des von oben einsickernden Niederschlagwassers zwischen den feinen Sandkörnern.

In seltenen Fällen ist bei Grundwasser die ganze oder beinahe ganze Wassermasse in Ruhe; das findet statt, wenn oder insoweit sie von einer beckenartig gestalteten Unterlage allseitig eingefast wird. Viel öfter befindet sich aber ihr Wasser in Bewegung, entweder der Neigung der Unterlage nach oder auch, bei horizontaler Unterlage, nach orographischen Einschnitten, also gegen einen Talweg oder einen Fluß hin.

Die Schnelligkeit der Bewegung ist infolge des großen Reibungswiderstandes, den das Wasser innerhalb des Wasserträgers zu überwinden hat, und wegen der vorwiegend kleinen Neigung der Unterlage gewöhnlich gering, beträgt zuweilen weniger als 1 *m* in 24 Stunden, öfters jedoch bedeutend mehr, namentlich in Sanden im Mittel gegen 4 *m*, in Schottern zuweilen bis 40 *m* in 24 Stunden. Es sind aber bei steilem Einfallen des Untergrundes Schnelligkeiten von über 100 *m* in 24 Stunden beobachtet worden. Namentlich auch innerhalb von Ablagerungen verschieden groben Sandes und Schotters ist die Bewegung auch in demselben Querschnitte des unterirdischen Stromes ungleichmäßig infolge des örtlich verschiedenen Reibungswiderstandes; natürlich wechselt sie auch in der Längsrichtung mit der Neigungsänderung der Unterlage. Stärkere quere Erhebungen desselben bewirken sogar partielle Stauungen.

Manchmal zerteilt sich der Abfluß des Grundwassers nach zwei, seltener auch nach mehr Richtungen von scheidenden Rücken aus, die oft ihre Lage ändern.⁵

Vom gewöhnlichen Grundwasser können als eine Unterart desselben unter dem Namen Seihwasser die Wasseransammlungen abgetrennt werden, welche sich in den ganz oberflächlichen lockeren Gesteinsbildungen — außer in Sanden und Schottern auch in natürlichem und Abraumschutt, aus mechanischer Verwitterung entstehender Gesteinsrinde, Humusdecke u. dgl. — oberhalb hoch hinaufreichendem wasserdichten Gestein ansammelt, schon bei den seichten Grundaushebungen für gewöhnliche Bauten und zu wirtschaftlichen Zwecken angetroffen wird und zumeist nicht über 2 *m* tief reicht. Auch die flächenhaft horizontale Ausdehnung dieser Wässer wie auch ihrer Träger ist gering und dabei unregelmäßig absätzig, die Wassermenge im allgemeinen unbedeutend, so daß sie verhältnismäßig leicht beseitigt oder abgedämmt werden kann.

2. Als **Tiefgrundwasser** kann bezeichnet werden die Wasserfüllung von in größerer, zuweilen weit über tausend Meter betragender Tiefe liegenden, zumeist lockeren Gesteinslagen, welche nicht nur von unten, sondern auch von oben von wasserdichten Schichten eingeschlossen sind. Nur in seltenen Fällen ist bei ihnen der Wasserträger nicht schichtig, sondern unregelmäßig gestaltet.

Im Gegensatz zum Grundwasser, mit dem es sonst in vielem übereinstimmt, welches fast durchgehends an die Atmosphäre angrenzt und demnach nur den Druck einer Atmosphäre trägt, befindet sich der bei weitem überwiegende untere Teil des Tiefgrundwassers unter dem hydrostatischen Drucke der oberhalb gelegenen Partie; es ist je nach seiner Tiefenlage mehr oder weniger gespannt.

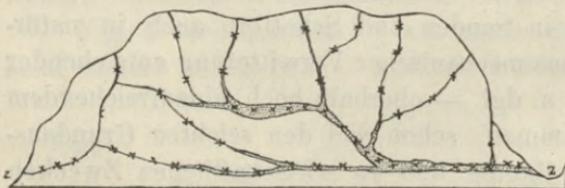
Die Lagerung der Schichten des Tiefgrundwassers ist wenigstens teilweise, und zwar in verschiedenem Maße geneigt. Sonst sind die morphologischen Verhältnisse dieselben wie beim Grundwasser, aber so große Dimensionen wie bei diesem kommen beim Tiefgrundwasser nicht vor.

Wenn es sich überhaupt in Bewegung befindet, so ist diese gewöhnlich sehr langsam.

Tiefgrundwasser, welche in verhältnismäßig geringeren Tiefen liegen, etwa zwischen 10—20 m, und von der Oberfläche nicht durch eine undurchlässige, sondern bloß durch eine schwach durchlässige, aber mächtigere Lage abgetrennt sind, erscheinen als Übergangsglieder zum Grundwasser.

3. **Kluftwasser.** Das sind Wasser, welche Klüfte und diesen ähnliche Hohlräume im ganzen oder zum Teil erfüllen, die innerhalb wasserdichter oder schwach durchlässiger Gesteinsmassen auftreten,

Fig. 3.



gewöhnlich an der Oberfläche anfangen und in unregelmäßigem Verlaufe bald ziemlich geradlinig, bald gekrümmt und winkelig, wenigstens teilweise stark geneigt bis senkrecht, zum Teil aber auch horizontal, oft in große Tiefen reichen (Fig. 3). Stellenweise dehnen sie sich zu schlauchförmigen Kanälen aus oder erweitern sich zu Kesseln und Höhlen; andererseits gehen sie in geradflächige, zwischen den Schichten verlaufende Fugen über.

Wenigstens für die schmäleren Kluftwässer ist auch der Name „Wasseradern“ entsprechend.

Auch die Kluftwässer befinden sich, wie die beiden anderen Arten von Bodenwässern, bald in Ruhe, bald in Bewegung; diese kann bei ihnen stellenweise eine ganz rapide sein. Die von der freien Atmosphäre abgeschlossenen Partien derselben stehen gleichfalls unter hydrostatischem Druck, sind mehr oder weniger gespannt.

In sehr wesentlicher Weise wird die Bewegung, aber auch die Beschaffenheit des Kluftwassers, von welcher später die Rede sein wird, dadurch beeinflußt, daß sich auf ihrem Gange Sandablagerungen einschalten, welche, namentlich wenn sie die ganze Weite des Hohlraumes ausfüllen, die freie Zirkulation des Wassers unterbrechen und demselben durch seinen Körper nur eine langsame Durchsickerung erlauben.

Während Grundwässer ganz vorwiegend in Höhenlagen nahe am allgemeinen Meeresniveau, zumeist in unbedeutenden Höhen über demselben, angetroffen werden, treten die beiden anderen Arten von Bodenwässern in den verschiedensten Höhenlagen, hoch über und tief unter dem Meeresniveau auf.

Unterirdisch benachbarte Bodenwässer, auch verschiedene Arten derselben, stehen manchmal durch seitwärts vorspringende Teile der Wasserträger, beziehungsweise der Klüfte miteinander in Verbindung. Im Falle sich dabei das Wasser bewegt, kann man auch sagen, daß es auf seiner unterirdischen Wanderung, eventuell in verschiedenen Tiefen, verschiedene Gestalt seiner Massen annimmt. So dringt namentlich nicht selten Kluftwasser in unterirdisch angrenzende durchlässige Lagen hinein und wird zu schichtigem Tiefgrundwasser.

Ob und welcher Art Bodenwässer in einer Gegend vorhanden sind, das hängt außer von den Niederschlagsverhältnissen vornehmlich von dem geologischen Aufbaue ihres Untergrundes einschließlich der Oberfläche ab, also vor allem von der Textur der auftretenden Felsarten, eventuell ihrer Zerspaltung, dann von der Art der geologischen Tektonik in dem Gebiete. Wenn diese Verhältnisse in genügendem Maße bekannt sind, der vermag auch, wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit und in allgemeinen Umrissen, über die im Untergrunde zu erhoffenden Bodenwässer Auskunft zu geben.

Im voraus kann mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, daß sich in Gebieten mit nicht ganz geringen Niederschlagsmengen, welche von einigermaßen mächtigen Schotter- und Sandbildungen

überlagert sind, in deren Tiefe sich mehr oder weniger ansehnliche Grundwässer finden. Man trifft denn auch solche z. B. in Mitteleuropa fast überall innerhalb der quartären Ablagerungen am Fuße der Alpen und Karpathen sowie in der norddeutschen und der anschließenden polnischen Niederung.

Ein lehrreiches Beispiel eines Tiefgrundwassers kennt man aus dem Untergrunde der Stadt Anzin im nördlichen Frankreich. Hier lagern unterhalb verschiedener, zum Teil wasserdichter jüngerer Bildungen in einer Tiefe von gegen 100 *m* untercretacische Sande über oberearbonischen wasserdichten Tonen, welche wertvolle Kohlenlager einschließen. So oft nun bei deren Gewinnung in der Grube ihr wasserdichtes Hangende in stärkerem Maße verletzt wurde, ergoß sich wiederholt in die Bergbaustrecken in stürmischer Weise ein Strom Wassers („torrent d'Anzin“) aus dessen Ansammlung in der erwähnten Sandlage auf einem, wie festgestellt worden ist, elliptischen Raume von anfänglich über 24 *km*² Ausdehnung. Zur Sicherung des Bergbaues mußte man im Verlaufe von über 60 Jahren in sehr energischer Weise das eingedrungene Wasser heraufpumpen — in den dreizehn Jahren 1856—1868 über 10,000.000 *m*³ —, wobei der wasserliefernde Raum fortwährend an Ausdehnung abnahm, bis er im Jahre 1880 auf 13 *km*² zusammenschrumpfte. Daraus kann man folgern, daß das vorliegende unterirdische Wasserreservoir entweder von oben her dauernd bloß geringe Zuflüsse erhält und nur durch die sehr lange Dauer derselben so mächtig geworden ist, oder daß es nach erfolgter Einfüllung im Laufe der Zeiten durch spätere Ablagerungen oder infolge von tektonischen Dislokationen von seinem einstigen Nährgebiet abgetrennt worden ist.

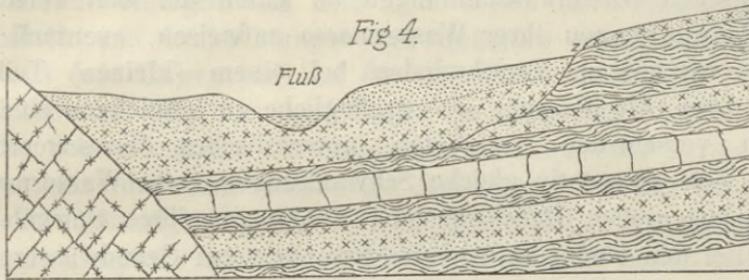
Kluftwässer haben ihre hauptsächlichliche Verbreitung in den Karstgebieten, doch sind sie nicht selten auch im ganzen Bereiche der Kalkalpen anzutreffen. Nach R. Michael befindet sich ein ausge dehntes Netz von Kluftwässern in Oberschlesien innerhalb des dortigen kalkig-dolomitischen Schichtensystems.

Der auf S. 7 erwähnte Wassereinbruch bei Dux kam aus einem weit ausgedehnten Kluftwasser im Porphyr.

Oft treten in einem Gebiete mehrere, bei Königsberg sogar neun, besondere Bodenwässer auf, einer oder verschiedenen Arten derselben angehörig, welche sogar zuweilen von ganz verschiedenen Niederschlagsgebieten gespeist werden und entweder miteinander verknüpft oder ganz abgetrennt sind. Häufiger sind sie miteinander in Verbin-

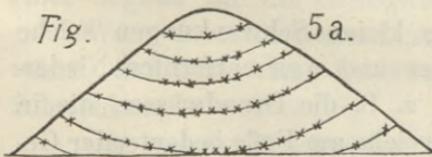
dung. Oft werden namentlich tiefer liegende Bodenwässer von oberhalb gelegenen Grundwässern gespeist oder es treten höher situierte Tiefgrundwässer oder Kluftwässer in die Grundwässer hinein, welche an den Fuß des erstere beherbergenden Gebirges anstoßen.

In dem Durchschnitte Fig. 4 sind rechts drei übereinander lie-



gende Bodenwässer dargestellt, ein Seihwasser oben und zwei verschiedene Untergrundwässer unten; links erscheint ein Kluftwassernetz, in der Mitte ein mächtiges Grundwasser, welches zum Teil neben, zum Teil oberhalb der anderen Bodenwässer situiert ist. Das obere Tiefgrundwasser ist unmittelbar mit dem Grundwasser, das Kluftwasser ebenso mit letzterem und dem unteren Tiefgrundwasser in Verbindung.

Die Menge des in einem unterirdischen Reservoir eingeschlossenen Wassers hängt vorerst von dessen Dimensionen oder eigentlich von dessen Fassungsvermögen, dann von der Menge des atmosphärischen Niederschlages, welches an der das Bodenwasser speisenden Oberfläche in den Untergrund gelangt, und schließlich davon ab, ob und wie dieses eingedrungene Niederschlagswasser zufolge des herrschenden geologischen Baues im Untergrunde eventuell auf mehrere Reservoirs verteilt wird. Keineswegs ist also in dieser Beziehung die orographische Gestaltung des Geländes entscheidend, von welcher die Verteilung des oberirdischen Wasserabflusses abhängt. In scharfer Gegenüberstellung sollen dies die Fig. 5a und 5b zur Anschauung



bringen, von denen die erstere einen Berg darstellt, welcher an der Oberfläche den Niederschlag verteilt, im Innern aber sammelt, während

die zweite eine orographische Einsenkung zeigt, durch welche das Wasser oberflächlich gesammelt, unterirdisch aber auseinandergeführt wird.

Weil die Menge des atmosphärischen Niederschlages einschließlich des Tauungswassers auf jedem Gebiete zeitlichen Schwankungen unterworfen ist, müssen schon infolge dessen alle von ihm gespeisten unterirdischen Wasseransammlungen im Laufe der Zeit verschiedenen große Schwankungen ihrer Wassermasse aufweisen, eventuell bis zu deren vollständigem Verschwinden bei einem (kleinen) Teile der Bodenwässer, die demnach als vergängliche zu bezeichnen sind.

In verschieden gestalteten unterirdischen Wasserreservoirien müssen sich quantitativ gleiche Schwankungen ihrer Wassermasse in verschieden großen Hebungen und Senkungen ihres Spiegels offenbaren. Bei den flächenhaften, also besonders bei Grundwässern, muß die Hebung, beziehungsweise Senkung des Spiegels um so geringer sein im Vergleiche zu inhaltlich gleich großen Kluftwässern, als bei ersteren die horizontale, bei letzteren die vertikale Ausdehnung bei weitem überwiegt.

Natürlich offenbaren sich die Niederschlagsschwankungen an der Oberfläche, deren Größe, wie bekannt, zur Oberfläche des Niederschlagsgebietes im umgekehrten Verhältnisse steht, in den Bodenwässern, wie dies an vielen Orten festgestellt worden ist, stets mit einer gewissen Verspätung, da ja doch das Wasser von der Oberfläche zum unterirdischen Reservoir einen Weg zurücklegen muß, welcher in horizontaler Richtung zuweilen sogar Hunderte von Kilometern betragen dürfte. Auch wird das Ausmaß der Verspätung durch die Geschwindigkeit des Wassers im Untergrunde stark beeinflusst, namentlich durch den Umstand, ob es durchfließt oder bloß durchsickert.

Die Niederschlagsschwankungen müssen sich weiters im Untergrunde stets auch bloß im verkleinerten Maße zeigen, weil die auf dem Wege sich einholenden gegensätzlichen Schwankungen sich gegenseitig schwächen.

Demnach zeigen verhältnismäßig kleine Schwankungen solche Bodenwässer, welche von ausgedehnten und weit entfernten Niederschlagsgebieten gespeist werden, wie z. B. die Grundwässer, die in Schottern und Sanden enthalten sind, welche am Fuße bedeutender Gebirgszüge lagern. Im Gegensatz dazu treten fast überall große Schwankungen der Lage der Spiegel auf bei Sehwässern und solchen Kluftwässern, deren zur Oberfläche offene Kanäle nach der Tiefe hin dem

Wasser keinen oder keinen raschen Abfluß gestatten. Bei derartigen Kluftwässern hat man in Karstgebieten bis zu 40 *m* betragende Spiegelschwankungen beobachtet.

Aber auch bei ausgedehnten Grundwässern sind zuweilen die Spiegelschwankungen recht beträchtlich und erreichen manchmal etliche Meter. Infolgedessen tritt nicht selten in örtlich begrenzten Einschnitten und Einbuchtungen des Geländes das Grundwasser zu Zeiten aus dem Untergrund auf die Oberfläche heraus, es entstehen vergängliche Sümpfe, Seen und Bäche, ja sogar auch kleine Flüsse.

Die Schwankungen des Spiegels seicht liegender Grundwässer, dessen Annäherung und nachherige Entfernung von der Oberfläche, haben oft ungünstigen Einfluß auf die hygienischen Verhältnisse des Erdbodens unterhalb von menschlichen Siedelungen, indem sie in ihm Fäulnisprozesse steigern. Auch agronomische Verhältnisse können davon ungünstig beeinflußt werden. Wegen dieser Schädlichkeiten muß oft der Grundwasserspiegel künstlich — durch Schaffung von Ablaufgräben — dauernd gesenkt werden.

Wie weit zuweilen eine derartige Absenkung seitlich der Gräben reichen kann, lehrt die durch den Bau des Kaiser Wilhelm-Kanals, welcher in Schleswig die Ostsee mit der Nordsee verbindet, gewonnene Erfahrung; durch diesen 9 *m* tiefen Graben wurden die angrenzenden Grundwässer bis auf die Entfernung von 8 *km* stellenweise um 20 *m* abgesenkt.

Wenn die aufstauende wasserdichte Lage nicht dick ist und darunter eine mächtigere, gut durchlässige Gesteinsmasse folgt, kann die Wegschaffung von schädlichen Grundwässern durch sogenannte Schluckbrunnen, nämlich auf die Art ausgeführt werden, daß man ihren Boden an einer oder mehreren Stellen durchbohrt und dadurch dem Wasser einen Abfluß nach der Tiefe eröffnet.

Andererseits hat sich in manchen Fällen die durch Grabenführung unabsichtlich bewirkte Erniedrigung des Grundwassers in einer Gegend für die Grundwirtschaft derselben schädlich erwiesen.

Wenn in einer Gegend mehrere mit einander verknüpfte Bodenwässer auftreten, dann beeinflussen sich natürlich ihre quantitativen Schwankungen gegenseitig.

Oft stehen Bodenwässer mit oberflächlichen Wässern in Verbindung.

So gehen oft Seihwässer in Sümpfe über. In den Flachmooren haben wir gleichsam eine Vereinigung von See-, Sumpf- und Grund-

wasser. Von vielen Orten sind Einmündungen von Tiefgrundwässern und Kluftwässern in Flüsse, Seen und das Meer bekannt geworden.

In mancher Beziehung sind besonders wichtig die Verhältnisse beim Zusammentreffen von Flüssen und Seen einerseits und Grundwässern andererseits, welche zumeist gegen erstere hin in Bewegung sind und durch wenigstens zeitweise Einmündung deren Wassermenge vergrößern. Dabei ist es für das Ergebnis von wesentlicher Wichtigkeit, ob diese beiden Arten von Wässern quantitativ nahezu gleich oder eines gegen das andere ganz untergeordnet sind, dann ob ihr Wasser aus einem und demselben oder aus abgesonderten Niederschlagsgebieten her stammt, die weit voneinander entfernt sind, sowie in Verbindung damit, ob ihre Schwankungen zeitlich zusammentreffen oder mehr oder weniger auseinandergehen. Sehr oft bewirken die Ergüsse des Grundwassers in die Flüsse nicht nur eine bedeutende Stärkung des Wasservorrates derselben im ganzen, sondern infolge der Beständigkeit dieses Zuflusses auch eine große Ausgleichung ihrer zeitlichen Schwankungen. Ein nicht geringer Teil von ihnen führt in Zeiten großer Armut an flüssigen Niederschlägen und bei Mangel an Tauwasser fast bloß eingedrungenes Grundwasser in seinem Bette. Manche Seen, viele Bäche, ja sogar Flüsse, wenigstens in einem Teile ihres Laufes, erhalten dauernd fast bloß solches Wasser; namentlich sind sie häufig nur Teile des Grundwassers des Gebietes, welches infolge begrenzter Einsenkungen des Geländes in diesen zum Vorschein kommt, alle Schwankungen desselben mitmacht und demnach auch zeitlich verschwindet, wenn der allgemeine Grundwasserspiegel in der Gegend sich in ausnahmsweise großem Maße senkt.

Die (dauernden) „masurischen“ Seen sind sehr wahrscheinlich derart durchblickende, manchmal als Seeaugen bezeichnete Partien



von Grundwasser. Sicher sind es zwei kleinere Seen bei Riga in Livland nach der Darstellung von A. Thiem, in dessen Bild (Fig. 6

im Maßstab: Länge 1:100.000, Höhe 1:500) auch ein Abfall des Grundwassers nach den beiden Seen ersichtlich ist.

Umgekehrt erhält oft das an Flüsse angrenzende Grundwasser aus diesen Zuflüssen, aber natürlich nur dann, wenn oder insoweit ihr Bett wasserdurchlässig ist, eventuell nur zur Zeit ihres Hochstandes. Im letzteren Falle wird also ein gewöhnlich zum Flusse seitlich hereinströmendes Grundwasser von dem angeschwollenen Flusse auf eine verschieden große Entfernung zurückgestaut.

Für diese an überaus zahlreichen Orten beobachtbaren Wechselwirkungen zwischen Fluß und Grundwasser seien beispielsweise angeführt die Verhältnisse in dem durchschnittlich gegen 30 *km* breiten Tale des Oberrheins zwischen den Vogesen und dem Schwarzwalde. Dieses Tal wird zu oberst ausgefüllt von Schotter- und Sandlagen von sehr wechselnder, aber durchschnittlich im ganzen gegen 15 *m* betragender Mächtigkeit, worin sich in vorwiegend nördlicher Richtung ein Grundwasserstrom bewegt, welcher zumeist von Niederschlägen aus nabeliegenden Gebieten gespeist wird. Nach der Aufnahmefähigkeit der dortigen Schotter und Sande, die auf nahezu 25% durchschnittlich ermittelt worden ist, wären in einem 1 *m* breiten Querschnitte des dort befindlichen Alluviums gegen 112.000 *m*³ an Grundwasser vorhanden, also eine Masse, welche mehr als hundertmal größer ist als die Masse des Rheinwassers im selben Querschnitte bei mittlerem Stande. Das hierortige Rheinwasser stammt größtenteils aus entlegenen Gebieten innerhalb der Alpen und seine Hochstände auf der Strecke nördlich von Basel treten, da sie vornehmlich durch das Tauen alpiner Schnee- und Eismassen bewirkt werden, erst im Sommer auf, gerade während eines niederen Standes des Grundwassers im besprochenen Gebiete. Infolge dessen tritt hier in dieser Zeitperiode überall seitlich des Flusses eine ansehnliche Hebung des Spiegels des Grundwassers ein, die wegen der Stauung des Abflusses desselben zum Flusse und durch das Eindringen des Flußwassers in den Grundwasserträger bewirkt wird und demnach nahe am Flusse früher und stärker, je weiter von ihm entfernt desto später und schwächer zum Vorschein kommt, also vom Flusse weg nach Art einer Welle fortschreitet. Unter anderem ist diese Schwankung des Grundwasserspiegels auch in den Brunnen des Gebietes von Straßburg ganz ausgeprägt zu beobachten.

In einigen aus Sand- und Schotterablagerungen aufgebauten Gebieten entstanden bedeutende Grundwässer aus Flüssen, welche

bei Eintritt in diese Gebiete nach und nach, zum Teile oder gänzlich, für die Dauer oder bloß zur Zeit ihres geringen Wasservorrates in den Untergrund einsinken. Auch manche ganz ansehnliche Klüftwässer der Karstgebiete entstanden durch Eindringen mehr oder weniger großer Teile des Wassers von Flüssen oder auch durch deren gänzlichcs Einsinken in die Hohlräume des Untergrundes. Bekannt sind auch Fälle, wo solche Flüsse wieder an der Oberfläche zum Vorschein kommen.

Überhaupt geschieht es sehr oft, daß das Wasser seinen Lauf vom Oberirdischen zum Unterirdischen und umgekehrt wechselt.

Gewinnung der Bodenwässer.

Die Wässer des Untergrundes werden, wenn sie ihrer physikalischen und chemischen Beschaffenheit nach, wovon später die Rede sein wird, hiezu geeignet sind, zum Trinken, Kochen, Waschen, zur Erzeugung von gespanntem Dampf für Kraftmaschinen und zu verschiedenartigen chemisch-technischen Zwecken verwendet.

Zur Einrichtung einer rationellen Gewinnung derselben ist es angezeigt, vorerst ein wenigstens ungefähres Bild über die allgemeinen, namentlich geologischen Verhältnisse des auszunützensden Wasserreservoirs zu erhalten und nachher möglichst genaue hydrotechnische Messungen über die quantitativen Verhältnisse auszuführen. Für bescheidene Bedürfnisse genügen aber wohl auch bloß praktische Erfahrungen, die in der betreffenden Gegend im Laufe der Zeit erworben worden sind.

Aus jedem Bodenwasser kann man im besten Falle dauernd so viel Wasser herausholen, als seine dauernden, eventuell indirekten Zuflüsse aus dem Niederschlagsgebiete ausmachen, denn sonst wird sich sein etwa im Laufe der Zeiten vor der Beanspruchung angesammelter Vorrat schließlich erschöpfen. Aber wegen der zeitlichen Schwankungen in der Menge dieser Zuflüsse kann man nur ausnahmsweise, wenn der festgestellte Wasservorrat im Verhältnis zum Zuflusse und der beabsichtigten dauernden Entnahme sehr groß ist, darauf rechnen, eine seinem mittleren Zuflusse entsprechende Menge Wassers dauernd zu erhalten. Sonst kann man nur eine geringere ununterbrochene Entnahme in Rechnung nehmen.

Es ist Sache des Hydrotechnikers, die Ergiebigkeit eines Untergrundwassers zu ermitteln. Es gibt wohl raschere hiezu dienliche Methoden, doch scheint es, daß eine volle Sicherheit dafür, daß eine bestimmte Menge Wassers dauernd wird gewonnen werden können, nur auf die Art zu erhalten ist, daß man eine entsprechende probe-weise Schöpfung ausführen läßt, und zwar während einer längeren Zeitdauer, in welche auch ganz ungünstige Niederschlagsverhältnisse auf dem speisenden Gelände hineinfallen.

Gewöhnlich werden die Bodenwässer entweder mit senkrecht gegrabenen oder gebohrten Brunnen erschlossen oder mit horizontal seitlich eindringenden Stollen, „Wassergalerien“.

Zumeist verringert sich die aus einem eröffneten Bodenwasser anfänglich erhaltene Wassermenge nach einiger Dauer der Gewinnung, namentlich dadurch, daß zu Anfang der im Laufe der Zeiten angesammelte große Wasservorrat zum eröffneten Ausflusse strömt, dieser sich aber nach und nach einigermaßen verringert. Doch steigt manchmal in späterer Zeit die Ergiebigkeit des Zuflusses, weil durch die Zuströmung des Wassers die nach der Entnahmestelle führenden Wege ausgeweitet, der Zufluß dorthin erleichtert wird.

Als Beispiel einer sehr bedeutenden Nutzung von Grundwässern kann die Wasserversorgung von Berlin samt dessen zahlreichen Nachbargemeinden angeführt werden.

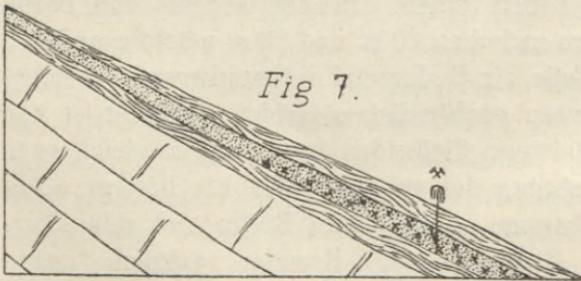
Sie liegen innerhalb des breiten quartären „Urstromtales“, welches in durchschnittlich ostwestlicher Richtung aus der Gegend von Warschau über Krossen bis Havelberg zieht und in dem die jetzigen Flüsse Havel und Spree fließen. Das ganze Tal ist zu oberst erfüllt von Sand und Schotter, welche nur wenig dicke und nur wenig anhaltende tonige Zwischenlagen enthalten und auf mächtigen, teils quartären, teils tertiären Tonen ruhen. In der Gegend von Berlin sind die Sande mit Schottern zwischen 20 *m* und 50 *m* mächtig und enthalten in ihrem unteren Teile ein bedeutendes Grundwasser, welches aus Niederschlägen im ganzen nachbarlichen Gebiete gebildet ist und sich langsam zu der im Talwege fließenden Spree und zugleich nach der westlichen Neigungsrichtung des ganzen Tales hin bewegt. Aus diesem großen Untergrundstrome schöpft nun Berlin und seine Vororte mittels zahlreicher Gruppen von Brunnen jährlich gegen 145,000,000 *m*³ Wasser zum Trinken sowie zu anderen städtischen Bedürfnissen und auch zu Fabrikszwecken. Auch Budapest versorgt sich mit Trinkwasser aus dem in den Alluvialbildungen des Donau-

tales oberhalb der Stadt eingeschlossenen Grundwasser; die Entnahme beträgt nahezu 90,000.000 m^3 jährlich.

In einigen Gebieten, wo das sonst entsprechende Grundwasser trotz der Mächtigkeit und sonstiger guter Beschaffenheit der dasselbe einschließenden obertägigen Sandablagerungen sich als nicht ausreichend ergiebig erwies, hat man mit gutem Erfolge dasselbe anzureichern vermocht durch Überführung von Wasser aus nahe gelegenen Flüssen oder Seen auf sein Gelände („künstliches Grundwasser“).

In Brunnen, welche in ein Grundwasser hinunterreichen, liegt der Wasserspiegel gewöhnlich (bei genügender Ruhepause nach dem Schöpfen) in gleichem Niveau mit der Oberfläche des ganzen Grundwassers und trägt hier auch nur das Gewicht einer Atmosphäre. Wenn dagegen ein Bohrbrunnen eine untere Partie eines Tiefgrundwassers oder eines Kluftwassers erreicht, welches infolge des Druckes seiner oberen Partien hydrostatisch gespannt ist, dann steigt das angefahrne Bodenwasser wie in einem Arme „kommunizierender Gefäße“ über seine bisherige Oberfläche mehr oder weniger hoch hinauf, nämlich bis zu einem Niveau („piézométrique“), welches dem hydrostatischen Drucke entspricht, unter dem es in dem Erreichungspunkte steht, gemindert um den Reibungswiderstand, den es bei seiner Bewegung zu überwinden hat. Bei hinreichendem Drucke erreicht das aufsteigende Wasser die Oberfläche und steigt, eventuell in einer aufgesetzten Röhre, auch darüber verschieden hoch hinauf, in welchem Falle man den Brunnen einen artesischen nennt. (Die Benennung stammt von der Grafschaft Artois im nordwestlichen Frankreich, wo solche Brunnen im zwölften Jahrhundert ausgeführt worden sind. Um ungefähr 3000 Jahre früher geschah dies bereits in Ägypten und China.)

Einen artesischen Bohrbrunnen zu erhalten ist also nur möglich



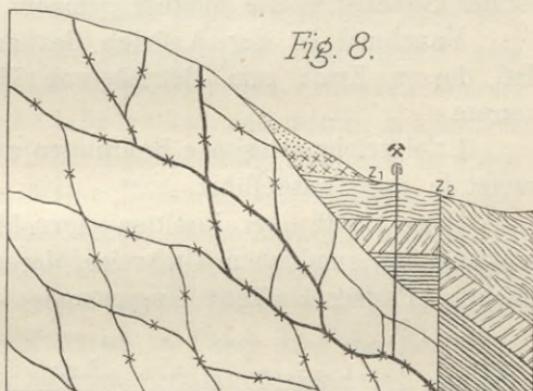
bei Vorhandensein ganz besonderer Verhältnisse des geologischen Baues. Am häufigsten sind diese gegeben in der in Fig. 7 dargestellten Weise, nämlich dadurch, daß inmitten eines geneigten Schichtensystems sich

eine wasserführende Lage befindet, welche nicht nur von unten, sondern auch von oben von wasserdichten Lagen eingeschlossen

ist, einen Wasserzufluß an seinem Ausgehenden auf der Oberfläche in einer weit höheren Lage erhält, als sie von der Bohrung getroffen wurde, und in der Fallrichtung entweder keine Öffnung nach außen hat, oder eine solche erst in weiter Entfernung besitzt, wohin das Wasser erst auf langem Wege und nach Überwindung eines übermäßig großen Reibungswiderstandes gelangen kann.

Besagtes Schichtensystem braucht nicht geradlinig zu sein, sondern kann auch in Biegungen und Knickungen verlaufen; speziell kann eine solche Lagerung, wie sie eine schüsselförmige Schichtensynklinale darstellt, besonders günstige Verhältnisse zum Auftreten artesisch hochgespannten Wassers bieten.

Eine von der obenangeführten verschiedene Grundlage zu artesischen Brunnen können Kluftwässer liefern, deren tiefere Partien sehr oft unter stärkerem hydrostatischen Drucke sich befinden, wenn die Klüfte, in denen sie enthalten sind, nach der Tiefenrichtung nicht nach außen münden, z. B. in der Art, wie es Fig. 8 zeigt, in welcher ein Kluftwasser auch seitlich, und zwar durch eine in einer Verwerfungsspalte angrenzende wasserdichte Gesteinsmasse, abgeschlossen erscheint.



In einem Falle, nämlich bei der Stadt Monmouth des Staates Illinois in Nordamerika, zeigte der erbohrte artesische Brunnen (im aufgesetzten Rohre) eine Steigkraft von 200 m über das Gelände.

Übrigens erscheint gewöhnlich in der ersten Zeitdauer der artesischen Brunnen nicht nur ihre Ergiebigkeit, sondern auch ihre Sprunghöhe bedeutender als späterhin, weil anfänglich der höhere Stand des in langer Vorzeit angesammelten Wasservorrates in Wirksamkeit tritt, welcher sich nach einiger Zeit erschöpft. Zuweilen reicht der weitere Zufluß zu dem Untergrundreservoir nicht aus, um dessen Wasser über das Gelände hinauf zu heben; der Brunnen hört dann auf, ein artesischer zu sein.

Aus einem und demselben gespannten Bodenwasser können auch mehrere Springbrunnen erhalten werden, doch wird gewöhnlich durch die Ergüsse der späteren die Ergiebigkeit und Sprunghöhe des ersten oder der ersten, namentlich wenn sie nicht weit voneinander liegen, geschwächt; oft verdoppelt schon der zweite keineswegs die mit dem ersten erhaltene Wassermenge. Durch Schaffung zahlreicherer artesischer Brunnen in einer Gegend aus einem Bodenwasser hat sich schon mehrmals die Steighöhe eines Teiles derselben so weit erniedrigt, daß sie schließlich aufhörten zu springen.

Die zahlreichsten artesischen Brunnen — Tausende von solchen — wurden in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts ausgeführt für landwirtschaftliche Zwecke, zur Bewässerung von Ländereien, welche nicht genügende atmosphärische Niederschläge erhalten, um einen reicheren Pflanzenwuchs zu ermöglichen. Durch die Erbohrung von Springbrunnen werden für sie die Niederschläge oft weit entfernter Nachbargebiete nutzbar gemacht.

Manchmal ist der Auftrieb des artesischen Wassers so stark, daß dessen Kraft zum Betrieb von Maschinen verwendet werden konnte.

Erfolgreiche artesische Bohrungen wurden im vorigen Jahrhundert zuerst in Paris ausgeführt.

Diese Stadt liegt inmitten einer bis gegen 300 *km* breiten Einsenkung von rundlichem Umkreise, deren Untergrund von dem tektonischen „Pariser Becken“ eingenommen wird. In der Weise, wie es

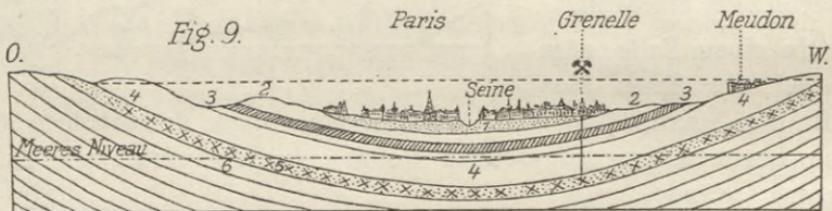


Fig. 9 zeigt, nimmt hier, unter einer Bedeckung von jüngeren Bildungen (1, 2, 3), einen ansehnlichen mittleren Teil der Synklinale eine mächtige Masse von ober- und mittelcretacischer Kreide und Mergel (4) ein. Diese wasserdichten Gesteine schließen von oben die in ihrem Liegenden folgenden, zusammen 9—10 *m* dicken Lagen eines Sandes (5) vollständig ein, welcher infolge Beimengung von Glaukonit grünlich erscheint, darnach „sables verts“ benannt wurde,

und seinerseits auf ganz vorwiegend tonig-mergeligen, also auch wasser- und durchlässigen untercretacischen Schichten (6) ruht.

Die grünen Sande befinden sich unter dem Gelände von Paris, welches bei der Seine 33 *m* über dem Meere liegt, vorwiegend in einer Tiefe von 550—600 *m* und erheben sich gegen Osten samt dem ganzen Flügel der Synklinale bis an die Oberfläche, wo sie in einem das Pariser Becken umfassenden Landstreifen vom Fuße der Ardennen über die Champagne hindurch bis zur Loire innerhalb eines Paris um mehr als 100 *m* überragenden Hügellandes zum Vorschein kommen. Die atmosphärischen Niederschläge, welche auf diesem Landstreifen in den Sand eindringen, müssen sich innerhalb des Bodens der Pariser Synklinale ansammeln und stehen dort unter dem Drucke einer über 600 *m* hohen Wassersäule.

Auf Grund dieser Überlegung führte man im Jahre 1842 eine Bohrung aus im Gebiete der Stadt auf dem Platze Grenelle in einem Niveau von 36·6 *m* über dem Meere und erreichte in der Tiefe von 548 *m* Wasser, welches bei einer anfänglichen Ergiebigkeit von 2 *m*³/*m* im aufgesetzten Rohre bis 32 *m* über den Erdboden hinaufstieg. Später fiel die Ergiebigkeit bedeutend und betrug schließlich im Jahre 1861 bloß 0·63 *m*³/*m*. In diesem Jahre hat man in einer Entfernung von 3 *km* von der ersten Bohrung, im Stadtteile Passy, im Niveau von 53·3 *m* über dem Meere, einen zweiten artesischen Brunnen bei 587 *m* Tiefe ausgeführt, welcher nach eingetretener Stabilisierung gegen 4 *m*³/*m* lieferte. Nach Verlauf von 36 Stunden nach der Eröffnung des Springbrunnens in Passy fing die Ergiebigkeit desjenigen von Grenelle an, sich zu vermindern, und fiel schließlich bis auf 0·45 *m*³/*m*.

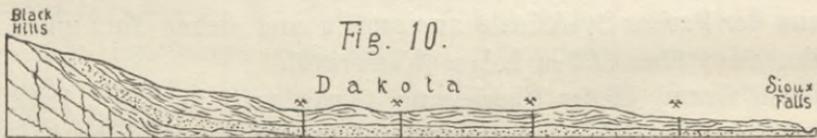
In späteren Zeiten wurden im Gebiete von Paris noch ein paar andere artesische Brunnen durch Anbohrung der „Sables verts“ ausgeführt; alle funktionieren bis jetzt und liefern zusammen über 12 *m*³/*m*.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts haben die Franzosen in der algierischen Sahara Hunderte von artesischen Brunnen ausgeführt behufs Schaffung oder Erweiterung der fruchtbaren Oasen innerhalb des Wüstenlandes, unterhalb dessen in nicht bedeutender Tiefe sich ein ansehnliches Tiefgrundwasser befindet, welches eingeschlossen ist in Schichten, die in weiter Entfernung teils im Atlasgebirge, teils in den Höhen Sudans auf die Oberfläche heraufkommen und hier die atmosphärischen Niederschläge in sich aufnehmen. Im

Gebiete Oued Rbir allein wurden in den Jahren 1856—1880 29 artesische Brunnen geschaffen, welche zusammen $72\text{ m}^3/\text{m}$ Wasser liefern.

Besonders hiezu günstige geologische Verhältnisse ermöglichten die Ausführung zahlreicher artesischer Brunnen auf der durchschnittlich 600 m über dem Meere gelegenen Hochfläche „Great Plains“ in den nordamerikanischen Staaten Nord- und Süd-Dakota sowie Nebraska.

Im Untergrunde dieses Gebietes liegen, in der Tiefe von etlichen Hundert Metern, als wasserdichte Unterlage vorwiegend tonige obercarbonische Schichten, über welchen, wie es das — in der Längenausdehnung unverhältnismäßig verkürzte — Bild Fig. 10 zeigt, in



einer Mächtigkeit von $100\text{—}120\text{ m}$ der cretacische „Dakota“-Sandstein lagert, der stellenweise in Sand übergeht. Dieses stark wasserdurchlässige Schichtenglied ist überlagert von einer ein paar Hundert Meter mächtigen Schichtenfolge von vorwiegend gleichfalls cretacischen wasserdichten Tongesteinen.

Die angeführten Schichtengruppen haben unter den „Great Plains“ eine sehr geringe Neigung nach östlicher Richtung, an der Westgrenze derselben aber erheben sie sich in dem Hügellande „Black Hills“, welches als eine Vorstufe der „Rocky Mountains“ erscheint, rasch durch eine Einbiegung nach oben, so daß der Dakota-Sandstein dort in einem Niveau von $1000\text{—}2000\text{ m}$ über dem Meere oberflächlich auftritt und nicht nur die hier ziemlich ausgiebigen atmosphärischen Niederschläge, sondern teilweise auch Wasser von den das Gebiet verquerenden Flüssen in sich aufnimmt.

Das eingedrungene Wasser bildet in den tieferen Lagen des Sandsteins ein reichliches Bodenwasser, welches sich in östlicher Richtung bewegt, aber erst nach Zurücklegung eines gegen 500 km langen Weges in der Geländeeinsenkung am Flusse Missouri, unter anderem bei der Stadt Sioux Falls, im Niveau von 330 m zum Austritt an die Oberfläche gelangt, vorher also unter dem Drucke einer über 1600 m hohen Wassersäule, seiner oberhalb gelegenen Partie, sich befindet. Infolge dessen besitzt es in einem großen Teile des in Rede stehenden Gebietes eine Steighöhe über das Gelände, die

stellenweise sehr bedeutend ist und bis zu 500 *m* in aufgesetzter Röhre beträgt.

Aus diesem Grunde entstanden in dem in Rede stehenden Gebiete nach und nach Hunderte von ergiebigen und zum Teil hoch aufsteigenden Springbrunnen, welche die Entwicklung einer sehr ertragreichen Agrikultur begründeten, die sonst bei den unzureichenden atmosphärischen Niederschlägen in diesen Landstrecken nicht möglich gewesen wäre. Beispielsweise sei angeführt, daß in der Stadt Woonsocket der Wasserstrahl des Springbrunnens frei bis 35 *m*, im aufgesetzten Rohre von 15 *cm* Durchmesser bis 95 *m* über den Boden sich erhebt und 42 *m*³/*m* Wasser liefert. Die Stoßkraft einiger Springbrunnen dieses Gebietes wird zum Betriebe von Kraftmaschinen benützt.

Wie bekannt, erhält ein großer südwestlicher Teil Australiens bloß sehr dürftige, vorwiegend unter 250 *mm* jährlich betragende atmosphärische Niederschläge. Die dortigen sehr ausgedehnten Ländereien nun, auf denen vordem wegen großer Trockenheit eine Bodenkultur nicht möglich war, sind in neuerer Zeit, vornehmlich in den Staaten Queensland und Neu-Südwestwales, zu fruchtbaren Weideplätzen oder überhaupt zu Kulturzwecken geeignet geworden, nachdem sie durch sehr zahlreich ausgeführte artesischen Brunnen eine genügende Bewässerung erhalten haben. In Queensland allein hat man über 500 Springbrunnen geschaffen, vorwiegend von 350—500 *m*, ausnahmsweise bis zu 1500 *m* Tiefe, welche zusammengenommen gegen 1200 *m*³/*m* liefern, einer davon allein 18·75 *m*³/*m*.

Eine Anzahl, nahezu 20, erfolgreicher Bohrungen nach artesischem Wasser hat man in Südrußland, und zwar bis zu Tiefen von 600 *m*, ausgeführt, vorwiegend im Gouvernement Taurien, dann in den Städten Charków und Kiew, außerdem in Brjansk bei Moskau. (Bei einem im letztgenannten Orte ausgeführten artesischen Brunnen hat infolge nicht entsprechender Verrohrung, das mit Gewalt hervorbrechende Wasser bedeutende Mengen losen Gesteinsmaterials aus der Tiefe mit sich herausgeführt, wodurch im Untergrunde Hohlräume entstanden sind, infolge dessen an der Oberfläche Einstürze stattfanden, in die auch ein großes Gebäude einbezogen worden ist.)

Außer derartigen Springbrunnen, von welchen bisher die Rede war, bei denen das Wasser infolge hydrostatischen Druckes emporsteigt, gibt es, übrigens wenig zahlreiche, andere, bei welchen das angebohrte Bodenwasser zur Oberfläche hinaufgetrieben wird durch

die Spannung, die es durch Aufnahme von Gasen erhalten hat, welche von ihm unter dem in der Tiefe herrschenden Drucke absorbiert worden sind. Wenn in ein solches, vorwiegend in Klüften eingeschlossenes Bodenwasser durch eine Bohrung eine Öffnung gemacht wird, dann steigt durch diese das Wasser, wie auch sonst jede andere Flüssigkeit, samt dem Gase zur freien Oberfläche hinauf. Das treibende Gas ist zumeist Kohlendioxyd.

Ein solcher artesischer Brunnen ist unter anderen der „Große Solsprudel“ in Bad Nauheim (preußische Provinz Hessen-Nassau), erbohrt im Jahre 1855 in der Tiefe von 180 *m*. Im Brohltale am Mittelrheine entsteigt aus Bohrlöchern abwechselnd Wasser mit reichlichem Kohlendioxyd und dieses Gas für sich allein („trocken“).

Auch eingeschlossene Erdölgase, namentlich Methan, erscheinen zuweilen als treibende Ursache von Springbrunnen. Dies ist z. B. der Fall bei dem Springbrunnen „Geyserwell“ in der Ortschaft Kane in Pennsylvanien, welcher in 600 *m* Tiefe erbohrt worden ist und dessen Strahl mit einem Drucke bis zu 100 Atmosphären über 40 *m* hoch über den Boden hinaufspritzt.

(Wenigstens nach österreichischen Gesetzen gehören Bodenwässer dem Eigentümer des Grundes oberhalb derselben, sie sind aber rechtlich nicht geschützt vor seitlichem Angriffe, Wegleitung oder überhaupt einer Beschädigung durch Wassergewinnung auf nachbarlichen Feldern.)

Quellen.

Entstehung und Arten der Quellen.

Quellen sind zumeist natürliche Ausflüsse von Bodenwässern auf die Erdoberfläche. Oft münden sie nicht auf freiliegenden Teilen derselben, sondern auf solchen, die vom Wasser bedeckt sind, also in Flüsse, Seen oder in das Meer; zuweilen bilden umgekehrt Quellen seitliche Ausflüsse von Oberflächenwässern. An vielen Stellen hat man mit den Quellen ganz übereinstimmende Wasserausmündungen auch unbeabsichtigt bei ausgedehnteren Grabungen unter der Erdoberfläche, in Schächten, Stollen und Tunnels hervorgerufen.

Insofern sich in der Tiefe der Erde juvenile Wässer bilden, gibt es auch juvenile Quellen. Von solchen wird später bloß anhangsweise die Rede sein. Sonst haben wir es bei Quellen mit vadosem

Wasser zu tun. Dem oben Angeführten zufolge ist das Auftreten einer Quelle bedingt: vorerst durch das Vorhandensein eines Bodenwassers (viel seltener eines Oberflächenwassers) und dann durch besondere Umstände des geologischen Baues, welche den Wasserausfluß ermöglichen.

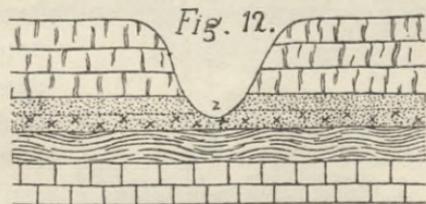
Häufig führt von dem Wasserreservoir, von welchem der Ausfluß stattfindet, zu diesem an die Erdoberfläche ein mehr oder weniger langer, oft rinnenförmiger Weg, „Quellgerinne“ A. Heim's, der auch als Quellenhals im Gegensatze zum Quellenmunde bezeichnet werden kann. Wenn ein solcher fehlt, dann erscheint das Bodenwasser selbst an der Ausflußstelle seitlich angeschnitten bis quer durchschnitten. Wenig verschieden ist das Erscheinen des Ausflusses wegen der Verengung oder vollständigen Auskeilung des Wasserträgers.

Wenn aber ein Quellgerinne vorhanden ist, so bewegt sich darin das Wasser, je nach der relativen Höhenlage des Ausflußortes zum Bodenwasser, entweder vorwiegend gegen unten oder vorherrschend nach oben hin und darnach spricht man von absteigenden und aufsteigenden Quellen. Natürlich gibt es auch Mittelfälle mit durchschnittlich horizontalem Wege.

Sonst kann man, hauptsächlich nach den Besonderheiten des Wasseraustrittes, folgende Arten von Quellen unterscheiden:

1. Schichtquellen. Bei diesen tritt die ganz oder nahezu gerade, horizontale oder nach außen geneigte Schichte, welche die wasserichte Unterlage eines zumeist flächenhaften oder trogförmigen Bodenwassers bildet, an einem geneigten orographischen Geländeabschnitte zur Erdoberfläche heraus, wodurch das auf ihr vorhandene Bodenwasser ebenfalls herausfließen muß (z in Fig. 4 und 11).

2. Anschnittquellen. Mit diesem Namen können solche Quellen bezeichnet werden, welche am Grunde von engen Tälern infolgedessen



auftreten, daß deren Boden unter den Spiegel eines Bodenwassers eingesenkt ist, letzteres also in der Talrinne angeschnitten erscheint, während es sonst verdeckt ist (z in Fig. 12).

Sehr verwandt den beiden vorgenannten Arten sind, übrigens seltenere, Quellen, welche durch Verengung oder Auskeilung des Wasserträgers entstehen, etwa in der in Fig. 13 bei z dargestellten Weise.

Die letztgenannten sowie die Anschnittquellen stellen zumeist Ausmündungen von Grundwässern dar und werden deshalb auch als Grundwasserquellen bezeichnet.

3. Überfallquellen. Sie stellen den Ausfluß von im allgemeinen schüssel- oder trogförmigen Bodenwässern über die tiefste Stelle, der Einbiegung oder Auskerbung, ihrer wasserdichten Umrandung dar (Fig. 14 bei z_2).

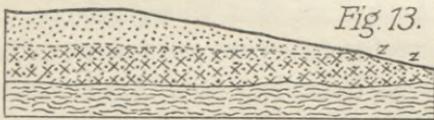


Fig. 13.

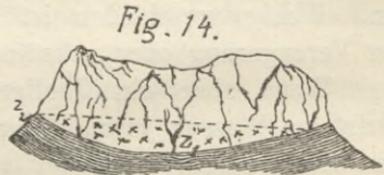


Fig. 14.

4. Spaltquellen. Bei diesen führt ein vorwiegend enger Hals vom Bodenwasser zur Oberfläche hinaus (Fig. 3 z_1 , 14 z_1 , hier Austritt senkrecht zur Zeichnungsfläche). Er ist öfters — bei Sprungklüften — gekrümmt, sogar geknickt, doch auch zuweilen, namentlich wenn er in einer Verwerfungsspalte verläuft, ziemlich gerade.

Sehr angezeigt ist es — natürlich ohne scharfe Abgrenzung — breite und enge Spaltquellen zu unterscheiden, da diese Abarten sich außer morphologisch auch in anderen Beziehungen verschieden verhalten, wie später bemerkt werden wird.

Breitspaltige Quellen erhielten in Frankreich den Namen: „vauclusiennes“ von der großartigen derartigen Quelle im Tale Vaucluse bei Avignon. Diese bildet den Ausfluß eines mächtigen Kluftwassers, eines unterirdischen Baches, welcher zum mindesten 10 Millionen Kubikmeter Wasser enthalten soll. Fig. 15 (nach E. A. Martet, etwas vereinfacht) stellt neben der Quelle (z) den südlichen Teil des Bodenwassers in einem nach unten erweiterten und nur zum Teil gefüllten Spaltensysteme dar.

Fig. 15.



et, etwas vereinfacht) stellt neben der Quelle (z) den südlichen Teil des Bodenwassers in einem nach unten erweiterten und nur zum Teil gefüllten Spaltensysteme dar.

5. Schuttquellen. Sie treten aus den Löchern hervor, welche die Trümmer von Bergschutt zwischen sich lassen, der so oft am Fuße eines Gebirges angelehnt ist, und sind entweder der Ausfluß von un-

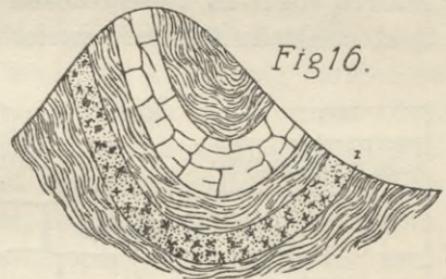
bedeutenden in diesen Anhäufungen gebildeten Bodenwässern (Fig. 8 s_1) oder, was häufiger der Fall ist, sie stellen bloß die Ausmündung von Gerinnen dar, welche aus dem Innern des anliegenden Felsens, beziehungsweise aus dessen Wasserreservoir in den Bergschutt eintreten.

Manchmal ist der Austritt aller angeführten Arten von Quellen durch eine dünne Überdeckung verhüllt und verrät sich bloß durch größere dauernde Feuchtigkeit und dadurch bedingte üppige Vegetation.

Zwar dringen mit Ausnahme der Überfallquellen alle anderen angeführten Arten von Quellen unter einem hydrostatischen Drucke hervor, doch ist dieser gewöhnlich gering. Zumeist sind sie absteigende Quellen.

6. Springquellen. Sie steigen aus dem Untergrund steil, ja oft sogar ganz senkrecht, hinauf und erheben sich oder würden sich im aufgesetzten Rohre über den Boden bei ihrer Mündung erheben.

Solcherart Quellen entstehen bei Vorhandensein von Verhältnissen in der Natur analog denjenigen, welche die Schaffung artesischer Brunnen bedingen, also aus tieferen Bodenwässern, welche hydrostatisch derart gespannt sind, daß ihre Druckhöhe über das Gelände oberhalb ihnen reicht (s. S. 22). Das Heraufkommen des Wassers ist bei ihnen in der Natur entweder dadurch ermöglicht, daß die wasserführende Schichte infolge einer Krümmung nach oben bis an die Oberfläche herantritt, etwa in der Weise, wie es Fig. 16 zeigt, oder dadurch, daß eine gerade oder gekrümmte Spalte in der das Bodenwasser bedeckenden Gebirgspartie diesem einen Aufstieg nach oben erlaubt. Unter dem Zeichen s_2 in dem Durchschnitte Fig. 8 könnte eine Springquelle aufsteigend gedacht werden.



Doch gibt es auch Auftriebe anderer Art, welche die Entstehung von Springquellen bedingen. Vorerst nehmen zuweilen Gase, besonders das nicht selten bei gewissen geologischen Vorgängen im Untergrunde entstehende Kohlendioxyd, das Bodenwasser, wenn sie in dasselbe hineingeraten, bei ihrem Hinaufdringen zur Oberfläche mit. Auf diese Art entstehen gasige Springquellen. Dann treibt oftmals die Spannung des Wasserdampfes, welcher in tiefer gelegenen (vadosen) Bodenwässern durch plutonische Erhitzung entsteht, das Wasser in

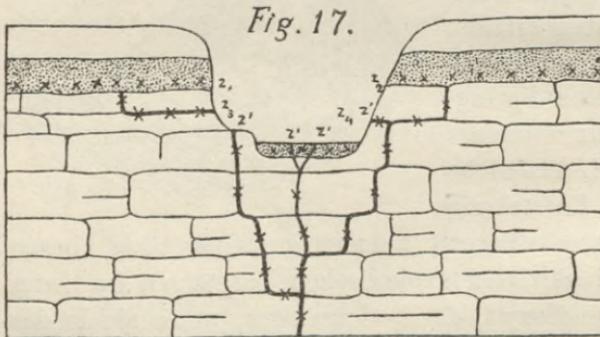
Ausbrüchen hinauf, oft in mannigfacher Weise mit Unterbrechungen, intermittierend, nach eingetretener genügender Steigerung der Überhitzung, wie dies der Fall ist bei den vulkanischen „Geysiren“. Bei diesen tritt ein zeitweises Herausspritzen des Wassers nach dem Aufkochen in der Tiefe einer säulenförmigen Masse desselben ein, welche gewöhnlich dort von einem sackförmigen Reservoir Zufluß erhält.

Schließlich gibt es wahrscheinlich auch solche Springquellen, deren Wasser aus den Dämpfen des vulkanischen Magmas entstanden ist und zugleich von diesen hinaufgetrieben wird, demnach juvenile Springquellen.

Gewiß findet man aber auch Quellen, welche an sich eine Vereinigung von Kennzeichen aufweisen, die oben als Artunterschiede angeführt worden sind, so daß man sie verschiedenen Quellenarten zurechnen könnte.

Aus einem und demselben Bodenwasser können mehrere Quellen entspringen. Im Falle nun, daß das ernährende Wasserreservoir flächenhaft ausgedehnt oder in einer gerade verlaufenden Kluft eingeschlossen ist und das abschneidende Gelände, an welchem die Quellen hervortreten, geradflächig ist, liegen die zugehörigen Teilquellen auf einer geraden Linie verteilt. Sonst ist ihre Gruppierung sehr mannigfaltig und oft ist die darin herrschende Gesetzmäßigkeit recht verschleiert, zumal manche der Teilquellen im Laufe der Zeit aus der ursprünglichen Reihe verschoben worden sind.

Nicht selten sind benachbarte Quellen verschiedener Art und gehören sogar zu verschiedenen Bodenwässern. Weiters sind zuweilen in einer Quelle Ausflüsse zweier verschiedener Bodenwässer vereinigt, sogar vadoser und juveniler.



In Fig. 8 könnte z. B. bei z_1 neben einer Schuttquelle zugleich eine Schichtquelle zum Vorschein kommen und letztere könnte die Ausflüsse eines Grund- und eines Spaltwassers in sich vereinigen. In der

Zeichnung Fig. 17 ist eine Anzahl nahe nebeneinander auftretender Quellen dargestellt, die verschiedenartig sind und zu zwei verschiedenen Bodenwässern gehören. Nämlich aus einem verhältnismäßig

seicht gelegenen Tiefgrundwasser kommen die absteigenden Quellen z_1 und z_2 sowie die Spaltquellen z_3 und z_4 hervor, während unterhalb derselben aus einem (nicht ersichtlichen) tieferen Bodenwasser eine in vier Armen zerteilte Spaltquelle z' hinaufsteigt, von welcher zwei mittlere sich in ein flaches Grundwasser ergießen, ein rechtes sich vor seiner Ausmündung mit der Quelle z_4 vereinigt und nur das linke als eine selbständige Spaltquelle — die möglicherweise auch eine Springquelle sein könnte — aus der freien Oberfläche heraustritt.

An vielen Orten sind Unterwasserquellen bekannt, die am Boden von Seen heraustreten und zur Füllung derselben mehr oder weniger beitragen. Neben manchen Meeresküsten sind Ausmündungen von ansehnlichen Quellen am Meeresboden bekannt geworden; einige davon sind so stark und haben eine so große Steigkraft, daß sich aus ihnen innerhalb des salzigen Meerwassers bis ein paar hundert Meter hohe Säulen von süßem Landwasser bilden, die bis an die Meeresoberfläche reichen und oft eine ganz deutliche Erhebung, einen Wasserhügel, darüber bilden.

Viele verschiedenartige Quellen treten in hoch über den menschlichen Siedelungen befindlichen Lagen, manchmal bis über 5000 *m* über dem Meere, auf. Solche werden oft geographisch als Gebirgsquellen bezeichnet im Gegensatze zu den viel häufigeren Talquellen. Gebirgsquellen, welche nahe unterhalb abgesonderter Bergkuppen zum Vorschein kommen, werden wohl zumeist hauptsächlich von Nebeln der Wolken gespeist.

Behufs Feststellung einer vermuteten Verbindung einer Quelle mit einem bestimmten Bodenwasser sowie um Aufklärung darüber zu erhalten, von welchem Niederschlagsgebiet oder aus welchem Oberflächenwasser sie, wenn auch indirekt, gespeist wird, können Auflösungen von Chemikalien verwendet werden, die das Wasser auch bei äußerst großer Verdünnung färben, so namentlich das Fluorescein, welches, besonders mittels des Fluoroskopes von Marboutin, noch bei einer milliardenfachen Verdünnung gut erkennbar ist. Wenn man solche färbende Substanzen in die Brunnen, welche in die in Betracht kommenden Bodenwässer reichen, in einen See oder einen Fluß an ausgewählter Stelle in entsprechender Menge hineinwirft oder auf dem vermeintlich nährenden Niederschlagsgebiete austretet, so kann man nach Verlauf der zur Ausbreitung nötigen Zeit die Anwesenheit des Färbemittels oft noch in weiter Entfernung in allen Untergrundwässern, also auch in allen Quellen feststellen, die mit den verfärb-

ten Wasserreservoiren, beziehungsweise mit dem bestreuten Niederschlagsgebiete, in Verbindung stehen. So hat F. A. Forel, um die bloß vermutete Verbindung der Orbequelle in der nordwestlichen Schweiz mit dem See Joux festzustellen, in diesen 2 *kg* Fluorescein hineingeworfen. Nach ein paar Tagen zeigte die genannte Quelle ganz ausgesprochen die eingeführte Färbung und außerdem, nach Verlauf einiger Tage, auch eine 4-6 *km* entfernte Quelle, von deren Verknüpfung mit den vorgenannten Wässern man vordem keine Ahnung hatte.

Beständigkeit und Ergiebigkeit der Quellen.

Obgleich man oft mit dem Begriffe einer Quelle die Beständigkeit derselben verbindet und diese auch zumeist wirklich statthat, so lehrt doch eine ausgedehntere Erfahrung nicht selten Ausnahmen davon kennen, also ein zeitweises oder definitives Versiegen von Quellen.

Das zeitweise tritt entweder periodisch ein in bestimmten Teilen des Jahres, auch sogar schon des Tages, oder ganz unregelmäßig bald nach kleinen Zeitabschnitten, bald erst nach einer ganzen Reihe von Jahren, wie dies z. B. im Sommer des Jahres 1904 in einem großen Teile Mitteleuropas der Fall war.

Das zeitweise Verschwinden einer Quelle kann verursacht werden entweder durch ein zeitweises vollständiges Versiegen des Bodengewässers, dessen Ausfluß sie bildet, oder, was häufiger vorkommt, durch ein Absinken desselben unter jenen Stand, welcher notwendig ist, damit ein Ausfluß zu der Quelle stattfindet. Während also unbeständige Bodengewässer nur ebensolche Quellen hervorbringen können, sind auch aus beständigen Bodengewässern entspringende Quellen oft unbeständig, weil sie ihren Ausfluß aus diesen in der Zone der Höhenschwankungen des Spiegels derselben haben, was bei Überfallquellen stets der Fall ist.

Jegliches periodische Versiegen von Quellen kann in seinem Verlaufe verschiedenartig modifiziert werden durch besondere, namentlich heberartige Gestaltung ihrer engen Gerinne.

Da, wie vordem dargelegt worden ist, das Bestehen von Quellen ebenso wie von Bodengewässern auch von der geologischen Tektonik in dem betreffenden Untergrundgebiete abhängig ist, so können vor allem Änderungen derselben, Dislokationen, welche besonders durch

Erdbeben verursacht werden, den Bestand von Quellen ganz vernichten oder dieselben mehr oder weniger weit verlegen oder den Bodenwässern in gewissen Richtungen einen erstmaligen Austritt verschaffen, also neue Quellen hervorbringen. Dies alles kann aber auch verursacht werden durch chemische Tätigkeit des im Untergrunde sich bewegendem Wassers, namentlich durch chemische Absätze, welche alte Zirkulationswege verstopfen, und durch Anätzung der Wände an Gesteinsklüften, wodurch neue Ausflußwege ausgenagt werden.

Aber trotz der angeführten, gegen das Bestehen der Quellen wirkenden Faktoren dauern doch viele Quellen seit Jahrhunderten, vielleicht auch Jahrtausenden, an ihrer Stelle.

Auch beim Vordringen im Untergrunde zu bergbaulichen Zwecken sowie beim Tunnelbau kann die Heraushebung von Gesteinsmassen, indem sie Bodenwässer aufschließt und ihnen neue Abflüsse verschafft, die an der Oberfläche als Quellen bestanden zum Versiegen bringen oder in verschiedener Weise beeinflussen. So verschwanden nach Ableitung der zuzitenden Wässer im Simplontunnel durch dessen Öffnung nach außen einige Quellen auf dem Gelände oberhalb, und der auf S. 7 erwähnte Wassereinbruch in den Duxer Bergbau hat zur Folge gehabt, daß die bis fast an die Oberfläche aufsteigende Heilquelle in der über 6 km entfernten Stadt Teplitz in ihrem senkrechten Halse tief zurückgesunken ist.

Um bei benützten, mittels Leitungen zugeführten Quellen nach Möglichkeit einer Verlegung derselben vorzubeugen und selbe vor Beimischung ungünstig beschaffener, seichter, fremder Bodenwässer zu schützen, erhält gewöhnlich ihre Ausmündung einen möglichst tief eingelassenen Umbau, die sogenannte Fassung, welche, wenn entsprechend ausgeführt, eine langdauernde Benützung der Quelle sichert. Beispielsweise fließt bei Gaëta in Süditalien eine Quelle aus einer Fassung, welche sie von Griechen im Altertume erhalten hat.

Infolge der Schwankungen der vom atmosphärischen Niederschlage in den Untergrund eindringenden Wassermengen und der dadurch verursachten Schwankungen des Wasservorrates in den Untergrundreservoirs wechselt auch gewöhnlich die Ergiebigkeit der Quellen in verschiedenem Grade und nur außerordentlich selten ist sie beinahe gleichbleibend. Schon Quellen, bei denen die Schwankung bloß einige Prozente beträgt, sind sehr selten; etwas häufiger sind Quellen, bei welchen die Ergiebigkeit um das Doppelte schwankt. Auch bei

starken, mittels Wasserleitungen zur Benützung gelangenden Quellen ist eine Schwankung um das Zehnfache gar nicht selten.

Eine größere Gleichmäßigkeit der Ergiebigkeit müssen vor allem solche Quellen aufweisen, welche von Bodenwässern stammen, deren Vorrat nur unbedeutend schwankt. Aber auch Quellen aus quantitativ sehr wechselnden Bodenwässern können in ihrer Ergiebigkeit gleichmäßig sein, wenn diese nur einem Teile des Zuflusses zu ihrem Bodenwasser entspricht oder wenn die Quelle aus diesem unterhalb der Zone seiner Spiegelschwankungen entspringt. Dann beeinflussen diese Schwankungen nur hydrostatisch die Größe des Ausflusses durch die Quelle. Hingegen müssen Quellen, welche dem ganzen atmosphärischen Zuflusse zu ihrem Bodenwasser entsprechen, die ganze Schwankungsamplitude des letzteren zeigen. Ebenso werden gewöhnlich solche Quellen, welche aus verschiedenen hoch gelegenen Stellen eines quantitativ veränderlichen Bodenwassers oder gar aus zwei oder mehreren Bodenwässern mit verschiedenartigem Zuflusse entspringen, große Unterschiede in ihrer Ergiebigkeit aufweisen.

Jedenfalls zeigen auch die Ergiebigkeitsschwankungen der Quellen im allgemeinen eine Gleichläufigkeit (Parallelismus) mit den Schwankungen des atmosphärischen Niederschlages in dem ihre Bodenwässer versorgenden Gelände, aber natürlich mit großer Verspätung der einzelnen Phasen und Schwächung ihrer Unterschiede infolge des Durchganges durch das Wasserreservoir und Zurücklegung eines sehr verschieden, jedoch oft sehr langen Weges in ihrem Gerinne bis zum Quellenmunde. Demnach können Quellen sogar ihre höchste Ergiebigkeit aufweisen in der Zeit, wo an der nächsten Oberfläche die größte Trockenheit herrscht.

Auch die Schwankungen des atmosphärischen Luftdruckes üben einen Einfluß aus auf die Ergiebigkeit der Quellen, indem die verschieden schwere Luftsäule über dem ganzen Zirkulationsgebiet des Wassers dieses aus seiner Ausflußöffnung verschieden stark herauspreßt. Die hiedurch verursachten Schwankungen erreichen bis 10 %.

Die dauernde Ergiebigkeit einer Quelle kann im besten Falle dem dauernden, beziehungsweise mittleren Zuflusse gleichen, den sein Bodenwasser von der Oberfläche erhält; sie kann aber nur einen Teil davon ausmachen je nach dem den Abfluß durch die Quelle bedingenden Verhältnisse.

Am einfachsten mißt man jederzeit die Ergiebigkeit einer Quelle auf die Weise, daß man ihren Ausfluß in ein Gefäß von be-

kanntem Rauminhalte bis zu dessen Füllung einlaufen läßt und dabei die Zeit bestimmt, die während dessen verflossen ist.

Bei sehr seltenen, außerordentlich starken Quellen beträgt die mittlere Ergiebigkeit Hunderte von Kubikmetern in der Minute. Die bereits angeführte Quelle Vacluse liefert im Mittel sogar gegen $1000\text{ m}^3/\text{m}$, bei gewöhnlichen Schwankungen zwischen $500\text{ m}^3/\text{m}$ und $7000\text{ m}^3/\text{m}$ und bei ausnahmsweisen Schwankungen zwischen $240\text{ m}^3/\text{m}$ und $9000\text{ m}^3/\text{m}$ (in abgerundeten Zahlen). Die Quelle Areuse im schweizerischen Juragebirge lieferte während einer Reihe letztverflossener Jahre $213\text{ m}^3/\text{m}$ bis $244\text{ m}^3/\text{m}$, zeigt also bei einem sehr großen Wasserreichtum ganz außergewöhnlich kleine Ergiebigkeitsunterschiede. Die wasserreichste der Sellequellen am Westabhange der südlichen Apenninen, welche in einer Leitung mit einem Hauptkanal von 220 km Länge und einem über 15 km langen Haupttunnel nach Apulien übergeführt worden sind, liefert im Mittel gegen $240\text{ m}^3/\text{m}$. Die Vannequelle, die vermittelt einer 173 km langen Leitung nach Paris zugeführt wird, ergibt im Mittel gegen $8\cdot3\text{ m}^3/\text{m}$ und schwankt gewöhnlich bloß um das Doppelte. Die nach München vom Fuße der Alpen zugeführten Mangfallquellen schwanken zusammengenommen zwischen $40\text{ m}^3/\text{m}$ und $70\text{ m}^3/\text{m}$. Die Ergiebigkeit der Spaltquelle „Kaiserbrunnen“ bei Reichenau in den nordsteirischen Kalkalpen, der Hauptquelle der I. Wiener Wasserleitung, schwankt gewöhnlich in einem Jahre zwischen $10\text{ m}^3/\text{m}$ und $13\text{ m}^3/\text{m}$, ist jedoch einmal in ihrer Ergiebigkeit bis auf $8\text{ m}^3/\text{m}$ gesunken.

Quellen, die bei unterirdischen Bauen erhalten wurden, zeigen gewöhnlich nach einiger Zeit ihres Bestehens eine bedeutend kleinere Ergiebigkeit als anfänglich aus dem Grunde, weil in der ersten Zeit nach ihrem Hervortreten der in langen Zeiträumen angesammelte Vorrat des eröffneten Bodenwassers abfließt, während später bloß sein weiterer beständiger Zuwachs von oben zum Abfluß gelangt.

Durch eine geschickte Fassung einer Quelle kann manchmal ihre Ergiebigkeit vermehrt werden, indem durch eine solche einerseits die den vollen Ausfluß hemmenden Hindernisse beseitigt, andererseits seitliche Abflüsse von der Quelle verhindert werden.

Manchmal bietet sich sogar die Möglichkeit, einem Bodenwasser den Ausfluß an einer erwählten Stelle zu öffnen, also eine neue Quelle zu schaffen.

Für die Ausnützung einer Quelle ist weder ihre größte noch ihre mittlere, wenn auch durch langjährige Beobachtungen ermittelte

Ergiebigkeit entscheidend, sondern ihre verminderte Ergiebigkeit, eventuell auch die Ergiebigkeit zur Zeit des größten Bedürfnisses, da man doch in den Reservoirien der Wasserleitungen nur einen sehr bescheidenen Wasservorrat aufzuspeichern imstande ist.

Aber für kurz dauernde Bedürfnisse, z. B. bei vorübergehenden Straßen- und Eisenbahnbauten im Felde, bringt die Benützung auch ärmlicher, in der Nähe gelegener Quellen oft großen Vorteil.

Die Beschaffenheit der Bodenwässer und Quellen.

Temperatur.

Die verschiedenen Arten der Bodenwässer zeigen in Hinsicht auf ihre Temperatur recht bedeutende Verschiedenheiten.

Im allgemeinen kann man aber sagen, daß die schichtigen Bodenwässer sich so ziemlich die Temperaturen des Bodens aneignen, innerhalb dessen sie auftreten.

Demgemäß besitzen — unter normalen Verhältnissen — die Grundwässer, besonders die etwas tiefer liegenden, eine mittlere Jahrestemperatur, die gegenüber derjenigen der anliegenden Luft um 0.5 — 2° * höher ist. Dabei zeigen die in ganz geringer Tiefe liegenden bedeutende, wenn auch gegenüber der Luft viel geringere Jahres-, die Seihwässer auch Tagesschwankungen. Auch die ersteren werden schon in einigen Metern Tiefe recht klein und jedenfalls schon von 10 m Tiefe an so gering, daß sie praktisch ganz belanglos sind. So wurde z. B. die Temperatur des vordem angeführten Grundwassers bei Straßburg in 10 m Tiefe mit „ 11.8° fast konstant“ gefunden, während die mittlere Jahrestemperatur der Stadt mit 9.82° angegeben wird.

Abnormale Temperaturverhältnisse, besonders Schwankungen, werden in Grundwässern nicht selten durch den dauernden oder zeitweisen Eintritt von Flußwasser in dieselben verursacht; ferner wird

* Grade nach Celsius, so auch weiterhin.

durch Aufnahme von wärmeren Quellen eine Erhöhung ihrer Temperatur bewirkt.

Bei Tiefgrundwässern ist die Temperatur gewöhnlich gleichbleibend und dabei, je nach der Tiefe ihrer Lage, gegenüber der Lufttemperatur höher in dem Verhältnis, daß bei je 33 *m* größerer Tiefe ihre stets gleichbleibende Temperatur um nahezu 1° höher erscheint.

Bei Kluftwässern trifft man recht verschiedenartige Temperaturverhältnisse, und zwar abhängig davon, wie sie mit der Oberfläche in Verbindung stehen, in welcher Tiefe sie zirkulieren, wie weit die sie einschließenden Klüfte sind und ganz besonders abhängig davon, ob im Kluftwege dieser Wässer Sandablagen zwischengeschaltet sind. Wenn solche vorhanden sind oder wenn die Wässer wenigstens stellenweise durch ein Netz dünner Spalten sich durchdrängen müssen, wird ihre Bewegung verlangsamt, infolgedessen sie die konstante Temperatur des umliegenden Gebirges annehmen. Andernfalls zeigen sie oftmals sogar in großer Tiefe keine gleichbleibende Temperatur und erscheinen gegenüber ihrer Umgebung kälter, namentlich dann, wenn sie weite, vorwiegend steil geneigte Klüfte, die bis in schneebedeckte Regionen hinaufreichen, in rapider Weise durchlaufen.

Obige Hinweise geben darüber Aufklärung, welche Temperaturen man in Bodenwässern zu erwarten hat, die man in gewöhnlichen Brunnen erreicht. Bei artesischen Brunnen zeigt das Wasser sehr oft gleichbleibende höhere Temperaturen nicht nur entsprechend der größeren Tiefe, bis zu welcher die Brunnen häufig reichen, sondern auch aus dem Grunde, weil in ihnen Wasser oft aus noch bedeutenderer Tiefe hinaufsteigt. So zeigt das Wasser des vorhin angeführten artesischen Brunnens am Platze Grenelle in Paris 27·6°, während die mittlere Jahrestemperatur der Stadt 11·6° beträgt, und das Wasser des in Budapest, im „Stadtwäldchen“, im Jahre 1877 in der Tiefe von 970 *m* erbohrten, bis 13 *m* über den Boden aufsteigenden, 827 *l/m* ergiebigen Springbrunnens hat eine gleichbleibende Temperatur von 73·9°.

Was die Temperaturverhältnisse der Quellen anbetrifft, so ist vor allem zu bemerken, daß sie im allgemeinen in dieser Hinsicht mit den Bodenwässern, aus welchen sie hervorkommen, übereinstimmen, insofern auf ihrem oft nicht nur langen, sondern auch nach verschiedener Richtung, also auch nach unten hin, gekrümmten Wege ihre Anfangstemperatur nicht geändert, erhöht oder erniedrigt worden ist.

Dementsprechend weisen Quellen, welche aus seicht liegenden Grundwässern und solchen Kluftwässern entstammen, die keine Sandablagerungen enthalten, oft ziemlich bedeutende, bis einige Grade betragende Schwankungen der Temperatur innerhalb des Jahres auf. Der größte Teil der Quellen besitzt aber eine vollkommen oder nahezu gleichbleibende, weniger als um 2° schwankende Temperatur, welche entweder mit der mittleren Jahrestemperatur des Ortes ihrer Ausmündung ganz übereinstimmt oder von dieser höchstens um 2° abweicht, demnach zwischen 0° im hohen Norden und nahezu 30° in den heißesten Äquatorialgegenden (im Meeresniveau) liegt. Derartige Quellen stammen offenbar aus Bodenwässern, die in Tiefen gelegen sind, in welchen eine gleichbleibende Temperatur herrscht, aber keineswegs in sehr großen Tiefen mit hoher Temperatur, weil es, abgesehen von seltenen aufsteigenden Spaltquellen, nicht wahrscheinlich erscheint, daß das Wasser während seines Heraufkommens eine bedeutendere Abkühlung erfahren hätte.

Von den im Vorhergehenden angeführten Quellen schwankt „Vauluse“ um 1.5° und zeigt eine gegen die umgebende Luft um 2° niedrigere mittlere Jahrestemperatur, der „Kaiserbrunnen“ schwankt zwischen 7° und 7.75° bei 8° mittlerer Jahrestemperatur seines Ortes.

Bei einigen, nicht zahlreichen, Quellen erscheint ihre schwankende oder konstante Temperatur um ein paar Grade niedriger als die mittlere jährliche ihres Ausmündungsortes. Dies ist auf die Weise zu erklären, daß diese Quellen Bodenwässern von geringer Tiefe entstammen, die mit Zuflüssen aus schnee- und eisbedeckten Geländen versorgt werden, und daß sie auf ihrem Wege zur Oberfläche nur wenig erwärmt werden.

Unvergleichlich zahlreicher sind Quellen von vorwiegend gleichbleibender Temperatur, welche wenigstens um ein paar Grade höher ist als die mittlere Lufttemperatur an ihrem Orte. Solche werden als warme, beziehungsweise heiße Quellen oder Thermen bezeichnet, wobei man bei dem Vorkommen in Ländern von einer mit Mittel- und Südeuropa übereinstimmenden geographischen Lage diejenigen, welche eine Temperatur von wenigstens 20° aufweisen, als absolute Thermen bezeichnet.⁷ Sie zeigen übrigens verschieden hohe Temperaturen bis hinauf zu der des kochenden Wassers.

Bereits die „Elisabethquelle“ in Kreuznach in Rheinpreußen mit 12.5° Wärme bei 9.1° mittlerer Jahrestemperatur des Ortes wird, wenigstens von einem großen Teile der Fachmänner, als Therme bezeichnet. Von absoluten Thermen seien beispielsweise angeführt:

1. Jaszczurówka am Nordfuße des Tatragebirges mit 20° ,
2. „Edelquelle“ in Johanniskbad (im böhmischen Riesengebirge) mit 28° ,
3. Baden bei Wien mit 36° ,
4. „Hauptquelle“ in Badgastein (Salzburger Zentralalpen) mit 49° ,
5. „Kaiserquelle“ in Aachen (Rheinpreußen) mit 55° ,
6. die wärmste Hauptquelle in Plombières (französische Vogesen) mit 65° ,
7. „Sprudel“ in Karlsbad (Nordwestböhmen) mit 71.1° ,
8. Albano bei Verona in Norditalien mit 84° ,
9. „Hammam Meskoutine“ bei Constantine in Algerien mit 96° .

(Einige andere Thermen werden noch später gelegentlich angeführt werden.)

Thermen werden in den verschiedensten Höhenlagen über dem Meere angetroffen, bis zur Höhe von 5700 m in Tibet. Sie gehören zu verschiedenen Gattungen der Quellen, obgleich unter ihnen aufsteigende Spaltquellen überwiegen.

Die höhere Temperatur eines Teiles der Thermen hat ihren Grund in einer, relativ zur Oberfläche genommen, außerordentlich tiefen Lage der Bodenwässer, aus denen sie heraufkommen und welche durch die allgemeine Wärme des Erdinnern erwärmt werden; diese Thermen können als vados-plutonische bezeichnet werden. Namentlich sehr tief hinunterreichende Dislokationsspalten ermöglichen es vadosen Wässern, zu großen Tiefen zu gelangen, von wo sie an anderen Orten ebenfalls in Spaltklüften zur Oberfläche hinaufzusteigen Gelegenheit haben und dabei die unten angenommene und unterwegs nur wenig erniedrigte Temperatur mitbringen. Deshalb treffen wir auch in manchen Gebieten der Erde Thermen längs bedeutender Dislokationslinien angereicht.

Da es sich aber bei dieser ganzen Erscheinung nicht um absolute, sondern bloß um relative Tiefenlagen der speisenden Bodenwässer handelt, so können auch Quellen, welche am Fuße von hoch aufragenden Gebirgen oder am Grunde tief eingeschnittener Bergtäler hervortreten, auch wenn ihre Gerinne vorwiegend horizontal verlaufen, also selbst einfache Schichtquellen, aus dem Innern des Gebirges, aus welchem sie hervorkommen, an die Oberfläche eine höhere Temperatur mitbringen.

Die oben angeführten Thermen, mit Ausnahme der unter 7. und 8. erwähnten, werden allgemein als vados-plutonische betrachtet.

Für die Gruppe der Thermen, welche im nordschweizerischen Hügellande an der Limmat im Gebiete der Stadt Baden hervortreten und Temperaturen zwischen 48° und 50° besitzen, erweist Alb. Heim,

daß ihr Wasser aus Niederschlägen im Kalk-Hochgebirge der Mittelschweiz her stammt, in dem dortigen Untergrund sich ansammelt, nach Norden in einer Tiefe von 1500 *m* unterhalb Zürich vorrückt und sich dabei entsprechend hoch erwärmt. In Übereinstimmung damit zeigen die, übrigens ganz unbedeutenden, bloß gegen achtprozentigen Ergiebigkeitsschwankungen der besagten Quellen einen ganz unverkennbaren Gleichlauf mit den Niederschlagschwankungen im Hochgebirgsgebiete, aus welchem ihr Bodenwasser versorgt wird, jedoch mit 1½—2jähriger Verspätung.

Eine eigene Gruppe unter den Thermen bilden solche Quellen, deren erhöhte Temperatur vom irdischen Vulkanismus her stammt, demnach vulkanische Thermen darstellen. Ein Teil von ihnen erhielt die Erwärmung auf die Weise, daß ihre vadosen Bodenwässer in die Nähe von wenigstens in der Tiefe tätigen Vulkanen gelangt sind. Dann geben die Lavamassen und ihre Dämpfe die Hitze an die von oben eingedrungenen Wässer ab und unterstützen schon durch die Erwärmung die Rückkehr dieser Wässer zur Oberfläche auf zugänglichen Wegen; unter besonderen Umständen bewirkt die Überhitzung, wie schon angeführt, ein Heraussprudeln des Wassers.

Eine letzte, gewiß wenig zahlreiche, auch nicht allgemein anerkannte Gruppe von Thermen wären die juvenil-vulkanischen, deren Wasser aus den Lavadämpfen entstehen würde und seine ursprüngliche Wärme beim Heraufsteigen zur Oberfläche nicht verloren hätte.

Die oben unter 8. angeführte Therme ist wohl sicher vulkanisch, sehr wahrscheinlich sind es auch die Karlsbader Thermen; von namhaften Autoritäten wurden letztere sogar als juvenil bezeichnet.

Infolge zufälligen Zusammentreffens im Untergrunde hat man manchmal in einer Therme ein warmes Wasser verschiedener Herkunft mit irgendeinem von normaler Temperatur vereinigt.

Bei vulkanischen Thermen muß die Temperatur starke Schwankungen aufweisen wegen der gewöhnlich ungleichen Stärke der vulkanischen Tätigkeit zu verschiedenen Zeiten an demselben Orte. Andere Thermen zeigen eine ziemliche Beständigkeit ihres Wärmegrades, natürlich ausgenommen in dem Falle, wenn sich ihnen beim Aufstieg zur Oberfläche kältere Wässer in zeitlich verschiedener Menge beimischen. Da die eine solche Vereinigung ermöglichenden Wege im Laufe der Zeiten durch eintretende, namentlich durch Erdbeben verursachte Dislokationen verstellt werden, so liegt darin eine weitere Ursache der Temperaturänderung von Thermen.

Reinheit — Unreinheit der Bodenwässer und Quellen.

Man bezeichnet das Wasser als rein, wenn es vollständig durchsichtig und wenigstens in dezimeterdicken Partien ganz farblos erscheint.

Trübes Untergrundwasser enthält vor allem schwebende winzige Teilchen von festen oder halbfesten Körpern, welche es vorwiegend von der Oberfläche mitgenommen hat, wo sie fast überall angehäuft sind. Demgemäß findet man eine solche Trübung oft bei nahe der Oberfläche gelegenen Grundwässern, vor allem bei Seihwässern. Aber auch diese können unter besonderen Verhältnissen rein sein, z. B. in naacktfelsigen Gegenden, von welchen der Wind allen Staub wegführt.

Beim Vordringen von trübem Wasser in die Tiefe, also ins Innere von Gesteinsmassen, werden die trübenden Teilchen zurückgehalten, es wird (in natürlicher Weise) filtriert. Das geschieht vornehmlich in der Weise, daß die kleinen, vom bewegten Wasser mitgeführten Partikelchen bei der eintretenden sehr großen Verlangsamung der Bewegung absinken, daß sie durch die feinen Zwischenräume innerhalb des Wasserträgers nicht durchkommen können, also zurückgehalten werden, und daß sie auch durch Adhäsion an den Bodenbestandteilen anhaften.

Beispielsweise genügt es unter gewöhnlichen Verhältnissen zur mechanischen Reinigung des in den Untergrund eindringenden Wassers, daß es durch eine ein paar Meter dicke Masse feinen oder eine 10 m dicke Lage groben Sandes durchsickere. Beim Schotter gehört dazu eine viel größere Dicke.

Aus diesem Grunde treffen wir die Bodenwässer und somit auch die aus ihnen hervortretenden Quellen trotz ihres vadosen Herkommens gewöhnlich in ziemlich vollkommener mechanischer Reinheit. Doch ist dies bei weitem nicht immer der Fall.

Da ist diesbezüglich vor allem darauf aufmerksam zu machen, daß auch in mäßig tiefen, im allgemeinen reinen Grundwässern durch zeitweises Eindringen von stark trübem Wasser aus Flüssen, besonders bei deren Ausuferungen, die Trübung des Grundwassers auf eine Strecke weit durch längere Zeit andauert, weil das Filtrationsvermögen des Wasserträgers für die ungewöhnlich große Menge der trübenden Teilchen und außergewöhnliche Strömung nicht ausreicht. Dann verschwindet die bräunlichgelbe Trübung des von torfigen Gründen eindringenden Wassers nur äußerst langsam wegen der

besonderen Beschaffenheit der diese Trübung verursachenden Humuspartikeln. Nicht gerade sehr selten tritt in Brunnen, die in schichtige Bodenwässer, auch in Tiefgrundwässer eingelassen sind, mehr oder weniger dauernd trübes Wasser hinein, weil ausnahmsweise der Wasserträger so viel äußerst feines Material enthält, daß dieses durch die Bewegung des Wassers leicht zum Brunnenboden mitgenommen wird.

Bei den Kluftwässern mit etwas weiteren Rinnen kann nur in dem Falle eine Zurückhaltung der von der Oberfläche hereingebrachten Verunreinigungen stattfinden, wenn sie, bei stärkerer Ausdehnung, horizontale Strecken mit mangelnder Wasserbewegung — analog den oberirdischen Klärbecken — oder Einschaltungen von Sandablagerungen enthalten. Sonst erscheinen aus ihnen hervortretende Quellen wenigstens zeitweise, nach stärkeren Regengüssen oder plötzlichem Schneetauen, infolge ungenügender Filtrierung mit Trübungen.

Sehr belehrend für diese Verhältnisse ist die bei der schon erwähnten Quelle „Kaiserbrunnen“ gewonnene Erfahrung. Trotzdem sie im allgemeinen so wertvoll ist, so kommt doch bei ihr zuweilen, sogar für die Dauer von 2—3 Tagen, Trübung zum Vorschein, so daß sie dann von der Wasserleitung ausgeschaltet werden muß und einigermaßen ersetzt wird durch die unvergleichlich kleinere Stixensteinquelle, welche in einer Entfernung von etwa 13 km aus demselben Schichtensystem wie der „Kaiserbrunnen“ entspringt, ebenfalls eine Kluftquelle ist, ohne Zweifel von demselben Niederschlagsgebiete gespeist wird und doch immerfort, also auch während der Trübung der großen Quelle, ganz reines Wasser liefert.

Wohl mit Ausnahme der Tiefgrundwässer findet man sonst manche auch dem Aussehen nach reine Bodenwässer dadurch in ganz anderer Weise verunreinigt, daß sie, oft sogar in sehr bedeutender Menge, verschiedenartige Mikroorganismen, namentlich Bakterien, oft Tausende in einem Kubikmillimeter, enthalten, welche erst unter dem Mikroskop unterschieden werden können. Diese stammen teils von der Oberfläche, teils von Seihwässern aus der Nähe von menschlichen Ansiedelungen her, wo durch Anhäufung von organischen Zersetzungstoffen günstige Verhältnisse für ihre üppigste Vermehrung vorhanden sind. Im tieferen Untergrunde verschwinden sie nach und nach bei der Durchsickerung des Wassers durch sehr feine Zwischenräume innerhalb der Wasserträger, wohl auch durch das Zurücktreten ihrer Lebensbedingungen überhaupt. Der Stillstand in der Wasserbewegung

allein übt darauf keine Wirkung aus, da ja die Körper der Mikroorganismen nicht zum Absatz kommen.

Nicht genügend reines Boden- und Quellenwasser muß, um gut benützlich zu sein, (künstlich) filtriert werden. Im besonderen, um es zu Trinkwasser geeignet zu machen, muß es vom Gehalte an gesundheitsschädlichen (pathogenen) oder wenigstens verdächtigen Bakterien befreit werden. Diese „Sterilisierung“ des Wassers geschieht vornehmlich entweder auf chemischem Wege, namentlich durch Beimengung entsprechender Gaben von Ozon, Chlorkalk oder Chlor, oder vermittels Durchleuchtung mit ultravioletten Strahlen.

Bei Fassungen der Quellen bezweckt man auch, eine Verunreinigung derselben von außen her hintanzuhalten.

Chemische Beschaffenheit gewöhnlicher Bodenwässer und gewöhnlicher Quellen.

Das Niederschlagswasser enthält — abgesehen von etwaigen mechanischen Verunreinigungen — vor allem Luft absorbiert, maximal gegen 20 cm^3 auf 1 l (bei der Temperatur von 15° und dem Barometerstand von 760 mm). An der Zusammensetzung dieser absorbierten Luft beteiligt sich aber Sauerstoff in fast doppelter und Kohlendioxyd (CO_2 , auch als Kohlensäure-Anhydrit oder kurzweg Kohlensäure bezeichnet) in vielemals größerer Menge, als das bei der freien atmosphärischen Luft der Fall ist. Weiters sind im Niederschlagswasser häufig Natrium- und Ammoniums Salze enthalten, aber gewöhnlich in so geringen Mengen — zumeist weniger als 10 mg in 1 l —, daß ihrer Anwesenheit keine praktische Bedeutung zukommt.

Auch in allen Arten von Bodenwässern ist Luft enthalten, doch in sehr verschiedener Menge und auch mit ganz anderen Mengenverhältnissen ihrer Bestandteile im Vergleiche zur atmosphärischen Luft. Demnach enthalten die Bodenwässer sehr oft eine, zumeist etliche Milligramm im Liter betragende Menge von freiem Sauerstoff; doch fehlt dieser zuweilen auch vollständig.

Abgesehen davon finden wir bei Bodenwässern und Quellen eine sehr große Mannigfaltigkeit in der chemischen Beschaffenheit derselben.

Es zeigt sich diese große Verschiedenheit vor allem bei Seihwässern. In solchen von menschlichen Wohnstätten entfernten Gegenden, welche keine Vegetationsdecke besitzen, also namentlich in

nacktfelsigen Gebirgsgegenden, unterscheiden sie sich chemisch fast gar nicht von Niederschlagswässern. In der Nähe von menschlichen Siedelungen hingegen erscheinen sie mehr oder weniger erfüllt von organischen, besonders tierischen Zersetzungsprodukten; unter anderem enthalten sie Ammoniak, Schwefelwasserstoff sowie Salze der Salpetersäure und salpetrigen Säure, während dann freier Sauerstoff fehlt.

Seicht gelegene Grundwässer, welche mit Niederungsmooren, torfigen Wiesen und Sümpfen vergesellschaftet sind, enthalten gewöhnlich, neben einem Reichtum an Kohlendioxyd, Methan und verschiedenen anderen Kohlenwasserstoffen, bedeutende Mengen von Humussubstanzen, kohlen-saurem, salpetersaurem und phosphorsaurem Kalk und Eisen aufgelöst.

Alle Grundwässer, welche wenigstens zeitweise bis an die Oberfläche reichen oder, wenn auch nur seitlich, mit unreinen Seihwässern in Verbindung stehen, nehmen die vorhin erwähnten Verunreinigungen in sich auf. Insoweit das Wasser von Flüssen in Grundwässer eintritt, beeinflußt dessen chemische Beschaffenheit, von welcher später die Rede sein wird, zuweilen sogar recht wesentlich den chemischen Bestand der letzteren.

Durch Überflutungen von Geländen wird weiters der chemische Bestand der unter ihnen befindlichen Grundwässer oft auf die Art geändert, daß das Wasser, welches in letztere durch die über ihm befindlichen Gesteinslager eindringt, aus diesen durch Auslaugung verschiedene Substanzen in das Grundwasser hineinbringt. So geschah es beispielsweise infolge der im Jahre 1906 eingetretenen Ausuferung der Oder über das Gelände bei Breslau mit dem von dieser Stadt verwendeten Grundwasser. Das von oben in die etwas torfige, Schwefel-eisen und dessen Oxydationsprodukte: Eisensulfate und freie Schwefel-säure enthaltende Bedeckung desselben eingedrungene Oder-Wasser löste aus ihr die letztgenannten sowie mit deren Hilfe auch andere Stoffe, namentlich Manganverbindungen, heraus und brachte sie in das Grundwasser hinein. Infolge dessen ist dieses aus einem schwach alkalis-chen ein saures geworden, sein ganzer Mineralgehalt ist fast verdrei-facht worden, insbesondere ist sein vorheriger Eisengehalt von 9 mg im l auf über 100 mg gestiegen und es erschien in ihm ein verhältnis-mäßig bedeutender Betrag von Mangan.

Solche Kluftwässer, deren Kanäle weit nach oben hin unge-schützt geöffnet sind und keine filtrierenden Sandablagerungen ein-geschaltet enthalten, zeigen nicht selten mehr oder weniger be-

deutende Reste von oben mitgebrachter tierischer Zersetzungsprodukte.

Die bei weitem meisten Tiefgrundwässer sowie tiefere Grundwässer und Kluftwässer, außer den oben angeführten Ausnahmen, sowie die von ihnen gespeisten zahlreichsten unter den Quellen zeigen folgende chemische Beschaffenheit, welche als die bei Bodenwässern und Quellen gewöhnliche bezeichnet werden kann. Da sie ganz vorwiegend an Quellen erforscht worden ist, so wird in der folgenden Auseinandersetzung vorwiegend von ihnen die Rede sein.

Chemisch gewöhnliche Quellen enthalten vor allem von gasigen Gemengteilen, außer den anderen schon erwähnten Bestandteilen der Luft, Kohlendioxyd, und zwar aufgelöst und auch außerdem als ganz freies Gas, in Mengen, die zumeist zwischen 0.1 cm^3 und 5 cm^3 oder zwischen 0.2 mg und 10 mg im Liter Wasser* schwanken. Bereits kleine Mengen dieses Gases, vielleicht zusammen mit dem mitvorkommenden Sauerstoffe, erteilen dem Wasser einen erfrischenden Geschmack.

Ferner enthalten alle Quellen weiter unten im einzelnen anzuführende Substanzen aufgelöst, welche nach Verdampfen des Wassers und nach geringem, dabei durch Austritt flüchtiger Substanzen entstandenem Verluste als fester Absatz zurückbleiben und demzufolge als mineralische Gemengteile des Wassers bezeichnet werden.

Der Betrag dieses ganzen Rückstandes, die „Summe“ der mineralischen Gemengteile, schwankt bei chemisch gewöhnlichen Quellen zumeist zwischen 100 mg und 400 mg . Selten ist er geringer, obgleich Quellen bekannt sind, welche bloß 25 mg enthalten. Viel häufiger ist der Mineralgehalt beträchtlich größer, indem er 500 mg bis 800 mg ausmacht.

Wässer, die davon mehr als 600 mg enthalten, werden als „harte“ bezeichnet gegenüber den übrigen „weichen“.

Im besonderen belehren uns über die chemische Zusammensetzung der Bodenwässer und Quellen vollständige chemische Analysen. Diese liefern als Ergebnis der bezüglichen Untersuchung außer der Bestimmung über den Gehalt einiger Gase zunächst bloß die Feststellung des Vorkommens einer Anzahl von chemischen Elementen in der vorgelegenen wässerigen Lösung und der Menge jedes

* Auch spätere in *mg* oder *g* angegebene Mengen der im Wasser eingeschlossenen Substanzen beziehen sich auf ein Liter desselben.

einzelnen davon. Nur auf Grund der allgemeinen chemischen Wissenschaft kann man mit einer mehr oder weniger großen Wahrscheinlichkeit vermuten, wie die gefundenen chemischen Elemente miteinander, vorwiegend zu Salzen, verbunden sind oder verbunden sein könnten. Die neuere physikalische Chemie, namentlich ihre Lehre von den Ionen, erweist sogar, daß in so schwachen Lösungen, wie sie uns in den Bodenwässern vorliegen, Salze in nur ganz untergeordneter Menge vorhanden sein können, dafür aber bei weitem vorherrschend bloß die Produkte ihrer Dissoziation, die gesonderten Ionen.

Trotzdem werden in der folgenden Darlegung nach alter Weise die Gehalte des Wassers an vermutlich vorhandenen Salzen angegeben aus dem Grunde, weil die Ionentheorie außerhalb der Kreise wissenschaftlicher Chemiker nicht so allgemein zur Kenntnis genommen und vertraut geworden ist, als daß nicht zu befürchten wäre, es könnte eine die Ionen allein berücksichtigende Darstellung für viele Nichtchemiker, namentlich unter den älteren Lesern, nicht leicht verständlich sein, während doch eine Darstellung nach der früheren Art ohne Zweifel von allen nur einigermaßen chemisch Vorgebildeten ohne weiteres verstanden werden wird.

Unter obiger Verwahrung kann also vor allem angeführt werden, daß in Bodenwässern und Quellen innerhalb ihres ganzen Mineralgehaltes gewöhnlich die Hydrocarbonate stark überwiegen und daß namentlich das Calciumhydrocarbonat ($\text{Ca}[\text{HCO}_3]_2$), welches nie vollständig fehlt, oft mehr als die Hälfte des ganzen Mineralgehaltes ausmacht. Neben ihm tritt beständig Magnesiumhydrocarbonat auf, gewöhnlich aber in mehrmals bis vielenmalen geringeren Mengen. Nicht immer, aber doch häufig, findet sich auch Ferrohydrocarbonat vor, gewöhnlich sehr untergeordnet, aber doch zuweilen in der Menge von 10—30 mg.

Von den angeführten Hydrocarbonaten trennt sich besonders bei Erwärmung, aber auch, wenngleich langsamer, schon bei gewöhnlicher Temperatur, in freier Luft ein Molekül Kohlensäure leicht ab, weshalb dieser Teil der Kohlensäure als halbgebundene bezeichnet wird. Nach Abtrennung derselben scheidet sich aus der Lösung des Calciumhydrocarbonates der bei weitem größere Teil des dabei entstehenden normalen Calciumcarbonates als ein fester Körper, als Calcit oder Aragonit, aus.

Eine nicht viel geringere Rolle als der kohlensaure Kalk spielt der schwefelsaure Kalk, indem er in den Bodenwässern mancher

Gegenden an Menge dem ersteren gleichkommt oder ihn sogar übertrifft und nur selten ganz fehlt. Infolgedessen kann man unter den harten Wässern von den gewöhnlichen, an kohlensaurem Kalk reichen, seltenere Gipswässer unterscheiden.

Neben den bisher angeführten Salzen treten weiters allgemein verbreitet auf: Natriumchlorid (Kochsalz) und Metakieselsäure (H_2SiO_3), letztere gewöhnlich bloß in Mengen unter 25 mg, ersteres zuweilen in unvergleichlich größerer Menge, die in manchen Gegenden bis 250 mg ansteigt. Weiters erweisen die chemischen Analysen oft die Anwesenheit von Carbonaten und Sulfaten der Alkalien, namentlich des Natriums, aber fast immer ganz untergeordnet, unter 30 mg. Ebenso treten ziemlich allgemein Nitrate auf, aber bloß in ganz kleinen Mengen unter 20 mg, jedoch ausnahmsweise bis zu 100 mg ansteigend. Schließlich kommt auch recht verbreitet ein vorwiegend ganz geringer, unter 1 mg betragender Gehalt an phosphorsauren Salzen vor.

Zur Erläuterung dieser Verhältnisse seien nachfolgend zwei Analysen angeführt, eine *a*) der schon erwähnten Quelle „Kaiserbrunnen“ von F. C. Schneider und eine zweite *b*) des Grundwassers in Świerczków bei Tarnów, für diese Stadt verwendet, von K. Trochanowski. Die analysierten Wässer „entsprechen in ihrer Zusammensetzung ungefähr einer Lösung“, welche in 1 l enthalten (etwas abgerundet) Milligramme:

	<i>a</i>	<i>b</i>
Calciumhydrocarbonat	168	507
Magnesiumhydrocarbonat	32	87
Eisenhydrocarbonat	Spur	18·5
Calciumsulfat	8	29
Natrium- und Kaliumsulfat	3	—
Natriumchlorid	1·5	6
Metakieselsäure	2·5	15·5
Summe der mineralischen Gemengteile .	219	663
Kohlendioxid (frei)	29	20

Ziemlich häufig weisen die Analysen sowohl von Bodenwässern als auch von Quellen einen übrigens gewöhnlich unbedeutenden Gehalt an „organischen Substanzen“ auf, die zumeist nicht näher bezeichnet werden. So verzeichnet z. B. die oben angeführte Analyse *a*) davon 4 mg. Manchmal sind dies bloß vorwiegend vegetabilische

Stoffe, welche in das analysierte Wasser an dessen Schöpfstelle aus der Umgebung hineingeraten sind. In selteneren Fällen hat man es aber mit Substanzen zu tun, die aus der Zersetzung von Organismen und deren Abfallstoffen an oder nahe der Erdoberfläche herrühren, welche, wie vorher erwähnt, nicht selten und in größerer Menge besonders in seicht gelegenen Grundwässern auftreten, zuweilen aber auch noch in tieferen Bodenwässern in Resten vorkommen, weil sie bei der Zirkulation des Wassers weder chemisch (wegen Mangels an Sauerstoff) vollständig zerstört, noch mechanisch beseitigt worden sind.

Der Gehalt an diesen „organischen Substanzen“ wird sehr häufig auf die Art bestimmt, daß man zu dem untersuchten Wasser die dunkelrote Lösung von übermangansaurem Kali (KMnO_4), welche 0.2 mg dieses Körpers in 1 cm^3 (angesäuerten) Wassers enthält, tropfenweise zusetzt und damit die „organischen Substanzen“ unter Entfärbung des Versuchsmittels oxydiert. Die davon bis zur Nichtentfärbung eines weiteren Tropfens verbrauchte Menge desselben gilt als Maß für den Gehalt an „organischen Substanzen“. Beispielsweise enthält die oben angeführte Analyse *b*) des Grundwassers bei Świerczkó w den Beisatz, daß zur Oxydation der in ihm enthaltenen „organischen Substanzen“ 5 mg des besagten Reagens verbraucht worden sind.⁸

Bodenwässer und Quellen von der im Vorhergehenden geschilderten chemischen Beschaffenheit, die schon vorher als die gewöhnlichste bei ihnen bezeichnet worden ist und mit welcher wenigstens kein schlechter Geschmack verbunden ist, können, wenn sie dabei weder (mechanisch) verunreinigt, noch durch Bakterien infiziert sind und außerdem keine höhere Temperatur als 12° besitzen, ohne weiters als gesundes Trinkwasser genossen werden. Sie entsprechen vollständig den hiefür aus Gesundheitsrücksichten aufgestellten Bedingungen.

Zu diesen gehört vor allem die Abwesenheit auch geringer, an und für sich nicht schädlicher Mengen von Nitriten, die fast immer auf eine bestehende Verbindung des Wassers mit starken, durch vorhandene, namentlich oxydierende, Gegenwirkungen nicht bezwingbaren Zersetzungsherden an der Erdoberfläche hinweisen, welcher Zusammenhang unter Umständen gefährlich sein könnte. Dasselbe ist bezüglich der Anwesenheit von Ammoniak und Schwefelwasserstoff zu bemerken, sofern diese Substanzen nicht aus unorganischen Prozessen in der Tiefe stammen.

Namentlich wenn in betreff der genannten Verknüpfung Ungewißheit besteht, ist es bei beabsichtigter Wasserversorgung sehr angezeigt, sich über das Herkommen des in Betracht kommenden Wassers Aufschluß zu verschaffen durch diesbezügliche geologische Nachforschungen im allgemeinen und insbesondere durch Versuche mit Fluorescein oder ähnlichen Mitteln, wovon schon auf S. 33 die Rede war.

Natürlich würden größere Mengen von Ammoniak und Schwefelwasserstoff unter allen Umständen für sich allein durch Verursachung eines widrigen Geschmackes ein Wasser ungenießbar machen.

Als weitere unter den Forderungen, die man an ein gutes Trinkwasser zu stellen gewohnt ist, sind noch folgende zwei anzuführen: Der Gehalt an Chlor (vorwiegend im Natriumchlorid) soll nicht mehr als 30 *mg*, derjenige an (hauptsächlich an Calcium gebundener) Schwefelsäure nicht mehr als 100 *mg* betragen. Doch werden diese Grenzen nicht selten, besonders notgedrungen, unberücksichtigt gelassen, wohl ohne offensichtlichen Schaden für die Benützer, namentlich nach langer Angewöhnung an den Gebrauch des bezüglichen Wassers.

In betreff der Anwesenheit von „organischen Substanzen“ wird die Forderung aufgestellt, daß deren Menge in 1 *l* Wasser nicht größer sei, als durch 12 *mg* übermangansaures Kali oxydiert wird. Es findet aber auch diese Bedingung keine strenge Beachtung, besonders dann, wenn angenommen werden kann, daß wenigstens ein Teil der oxydierbaren Substanzen, namentlich Ammoniak und Schwefelwasserstoff, nicht aus der Zersetzung tierischer Substanzen stammen.

Sehr unerwünscht ist im Trinkwasser, besonders wenn es durch lange Röhrentouren zugeleitet werden soll, ein Gehalt von über 0.3 *mg* Eisen (entsprechend 1.2 *mg* Ferrohydrocarbonat), denn das daraus bei freiem Luftzutritt entstehende und als Flocken ausgeschiedene Eisenhydroxyd ($\text{Fe}[\text{OH}]_3$) macht das Wasser schmutzig und verengt, ja verstopft öfters die Leitungsröhren. Außerdem ist ein solches Wasser auch zu manchen Fabrikszwecken nicht geeignet.

Jedoch bereitet die Befreiung eines Wassers von dem größten Teile seines Eisens zumeist weder bedeutendere technische Schwierigkeiten, noch erfordert sie größere Kosten. Es ist nur mit der gewöhnlichsten Methode der Enteisung, der Herausfällung des Eisens als Eisenhydroxyd mittels starker Durchlüftung, der Übelstand verbunden, daß dabei auch — bis auf einen geringen Rest — das Kohlendioxyd vertrieben wird.

Wenn aber das Eisen in Grundwässern, welche mit torfigen Stümpfen zusammenhängen, an humöse Substanzen gebunden ist, dann erscheint dessen Beseitigung viel schwieriger.⁹

Eine dem des Eisens sehr ähnliche Rolle spielt in Bodenwässern das Mangan, welches in früheren Zeiten bei Analysen sehr oft übersehen worden ist, dessen Anwesenheit aber in denselben jetzt als sehr allgemein festgestellt werden konnte.

Chemisch gewöhnliche Bodenwässer werden in großen Massen zur Erzeugung von Wasserdampf in Kesseln verwendet. Hiezu ist Wasser mit einem großen Gehalte von Calcium und Magnesium (als Carbonate und Sulfate) nicht vorteilhaft, weil durch Wasserverdampfung ein starker Absatz dieser Körper an den Wänden der Kessel als sogenannter Kesselstein zurückbleibt, welcher die weitere Dampferzeugung beeinträchtigt.

Besonders mit Rücksicht auf letzterwähnte Verwendung der verschiedenen Landwässer, aber auch behufs leichter Beurteilung seiner Eignung als Trinkwasser und zu verschiedenen häuslichen und gewerblichen Zwecken, wird oft ihr Gehalt an Calcium- und Magnesiumoxyd mittels „Härtegraden“ ausgedrückt, indem man — in Deutschland — 10 mg Calciumoxyd und die ihm äquivalente Menge, also 7 mg, Magnesiumoxyd als einen „deutschen“ Härtegrad annimmt. Französische Härtegrade drücken den Gehalt des Wassers an Calcium- und Magnesiumcarbonat aus, so daß ein französischer Härtegrad 0.56 deutschen gleichkommt.

Die Härte der Wässer, deren Analysen vorhin angeführt worden sind, wäre in deutschen Graden: *a*) bei der Quelle „Kaiserbrunnen“ 7.3, *b*) bei dem Grundwasser von Świerczków 12.

Übrigens kann man aus hartem Wasser den überwiegenden Teil seiner Härte durch Erwärmung bis zum Sieden beseitigen. Die dabei nicht verschwindende Härte wird als bleibende bezeichnet. Sie rührt hauptsächlich von dem Gehalte an schwefelsaurem Kalk und an Natriumsalzen her.¹⁰

(Aus Ersparungsrücksichten beschränkt sich oft die chemische Untersuchung eines zur Benützung in Aussicht genommenen Wassers nur auf die Bestimmung des Abdampfrückstandes und der Gehalte an Chlor, Schwefelsäure, Calcium- und Magnesiumoxyd.)

Mineralwässer.

Außer den im vorhergehenden Abschnitte gekennzeichneten chemisch gewöhnlichen Wässern des Untergrundes und der Quellen treten zahlreiche solche auf, welche in der Weise eine außergewöhnliche chemische Beschaffenheit aufweisen, daß sie entweder die chemischen Bestandteile der gewöhnlichen Wässer in unvergleichlich größerer Menge oder, wenn auch in ganz geringen Mengen, solche Körper aufgelöst enthalten, die in den chemisch gewöhnlichen Wässern fehlen. Besonders diejenigen von ihnen, welche als Heilquellen Verwendung finden, werden als Mineralwässer, beziehungsweise als Mineralquellen bezeichnet. Es gehören aber zu Heilquellen, außer einer geringen Anzahl von chemisch und thermisch gewöhnlichen Quellen („Akratopegen“),¹¹ besonders auch Thermen („Akratothermen“), welche keinen ungewöhnlichen chemischen Gehalt aufweisen, z. B. die in Pfäfers in der nordöstlichen Schweiz, welche bei einer Temperatur von 37.5° bloß Substanzen gewöhnlicher Quellen in der Gesamtmenge von 290 mg enthält. Hingegen finden zahlreiche Quellen von ungewöhnlich hohem oder außergewöhnlichem Gehalt an aufgelösten Stoffen keine Verwendung zu Heilzwecken. Es ist wohl angezeigt, auch solche naturwissenschaftlich als Mineralwässer zu bezeichnen.

Sie lassen sich übrigens keineswegs scharf abtrennen von chemisch gewöhnlichen Wässern.

Man kann folgende Hauptarten von Mineralwässern unterscheiden:

Radioaktive Quellen. Diese zeichnen sich durch bedeutenderen Gehalt an dem Gase „radioaktive Emanation“ aus,¹² welches in geringerer Menge in sehr vielen gewöhnlichen und sonstigen Mineralquellen gefunden worden ist. Nur zum Teile erscheinen sie als Thermen. Ganz überwiegend enthalten sie nur geringe Mengen von Mineralstoffen aufgelöst.

Am besten untersucht unter den Quellen dieser Gruppe ist die „Hauptquelle“ in Badgastein in den Salzburger Zentralalpen, eine vadose Spaltquelle von 49.2° mit einer Ergiebigkeit von $2.2\text{ m}^3/\text{m}$. Sie weist einen Emanationsgehalt von 133 Mache-Einheiten auf und enthält sonst 400 mg mineralische Substanzen aufgelöst, darunter: 80 mg Calciumhydrocarbonat, 50 mg Natriumhydrocarbonat, 160 mg Natriumsulfat, 50 mg Metakieselsäure und außerdem 10 mg freies Kohlendioxid.

In St. Joachimstal im böhmischen sowie bei Brambach im sächsischen Erzgebirge tritt eine Anzahl von sonst chemisch indifferenten und thermisch normalen* Quellen von außerordentlich großer Radioaktivität auf, die bei einigen davon eine Stärke von Tausenden von Mache-Einheiten zeigt.

Einfache Säuerlinge. Sie zeigen bei einem unter 1 *g* bleibenden Mineralgehalt gewöhnlicher Art einen 1 *g* übersteigenden und bis über 2 *g* ansteigenden Reichtum an freiem Kohlendioxyd. Dasselbe ist vorerst als absorbiertes Gas enthalten, dann, bei eingetretener Verminderung des Luftdruckes, in vollkommen freiem Zustande in Bläschen im Wasser aufsteigend, somit in verschieden großer Menge bei Änderungen des Luftdruckes.

Beispiele: „Herma“-Quelle in Deutsch-Jasnik in Mähren, welche, bei einem Mineralgehalte von 440 *mg*, 2·41 *mg* freies Kohlendioxyd enthält, die „Wernarzer“-Quelle in Bad Brückenau (Unter-Franken) mit einem Gehalte von 2·24 *mg* an freiem Kohlendioxyd neben 150 *mg* im ganzen an Mineralsubstanzen, die Quelle bei Vittel in den französischen Vogesen, ganz ähnlich der zuletzt angeführten.

Wie schon vorher erwähnt, bewirkt manchmal der Gasdruck des vom Wasser in der Tiefe eingeschlossenen Kohlendioxyds das Hervorbrechen des Wassers bis an die Erdoberfläche in Gestalt von Springbrunnen.

Säuerlinge treten vorwiegend in der Nähe von erloschenen Vulkanen auf, so z. B. in dem Gebiete des Laacher Sees nordwestlich von Koblenz am Rhein.

Bei großer Ergiebigkeit werden sie, ebenso wie das in „trockenen Gasquellen“ als „Mofetten“ aufsteigende Kohlendioxyd, benützt zur Produktion von flüssiger Kohlensäure; sie hat im Jahre 1899 im westlichen Deutschland allein 90.000 *q* betragen.

Oft treten in an Kohlendioxyd reichen Quellen größere Mengen von verschiedenen Carbonaten auf, welche Quellen dann als zusammengesetzte oder gemischte Säuerlinge bezeichnet werden können; sie werden später vorwiegend als Varietäten von verschiedenen weiteren Arten von Mineralquellen angeführt werden.

Kohlenwasserstoffquellen. Bei diesen sind dem Wasser verschiedenartige gasige und flüssige Kohlenwasserstoffe beigemischt,

* Wenn bei den nachfolgend beispielsweise angeführten Mineralquellen nichts anderes angegeben wird, ist ebenfalls normale Temperatur anzunehmen.

welche sonst das Erdöl zusammensetzen, und zwar in wechselnden Mengen bis zu ihrem Überwiegen. Als Beispiel kann der auf S. 28 erwähnte Kane-Geysir angeführt werden.

Alkalische Quellen. Diese enthalten einen 1 *g* übersteigenden Mineralgehalt, worin entweder das Natriumhydrocarbonat (NaHCO_3) allein oder im Vereine mit Natriumsulfat oder auch zusammen mit Natriumchlorid (Kochsalz) überwiegt.

Einem Reichtum an Natriumhydroxyd — in den gewöhnlichsten alkalischen Quellen — erscheint oft auch ein Reichtum an Kohlendioxyd beigesellt und man hat dann, namentlich bei einem 1 *g* übersteigenden Gehalt an diesem, alkalische Säuerlinge. Beispiele: Franz Josef-Quelle in Gießhübel (Nordwest-Böhmen) enthält, bei einem Mineralgehalte von 1·73 *g*, 1·36 *g* Natriumhydrocarbonat und 2·5 *g* freies Kohlendioxyd; die Quelle Nr. IV in Bilin (Nordwest-Böhmen) enthält, bei einem Mineralgehalte von 7·31 *g*, 5 *g* Natriumhydrocarbonat und 2·32 *g* freies Kohlendioxyd. Sehr ähnliche chemische Beschaffenheit zeigen die Thermen von Vichy am Nordsaume der vulkanischen Auvergne in Süd-Frankreich, worunter „Grand Grille“, eine Therme von 41·8°, mit 4·88 *g* Natriumhydrocarbonat und 0·53 *g* Natriumchlorid, sowie die Quelle von Fachingen in der preußischen Provinz Hessen-Nassau, welche, bei einem Mineralgehalt von 6·15 *g* und einem Gehalt an freiem Kohlendioxyd von 1·78 *g*, neben 4·01 *g* Natriumhydrocarbonat auch 0·6 *g* Natriumchlorid enthält. Wegen ihres bereits nicht zu übersehenden Gehaltes an letzterem bilden die beiden letztgenannten Quellen den Übergang zu den **muriatisch¹³-alkalischen Quellen**, in welchen zu den Bestandteilen der alkalischen Quellen, namentlich in den Säuerlingen unter denselben, ein ansehnlicherer Betrag von Natriumchlorid hinzutritt. Beispiele: Therme „Kränchen“ I in Ems (preußische Provinz Hessen-Nassau) mit 2·19 *g* Natriumhydrocarbonat und 0·99 *g* Natriumchlorid, bei ganzem Mineralgehalte von 3·86 *g* und einem Gehalte an freiem Kohlendioxyd von 1·10 *g*; Konstantin-Quelle in Gleichenberg (Kärnten) mit 3·99 *g* Natriumhydrocarbonat und 1·75 *g* Natriumchlorid; bei 7·34 *g* Mineralgehalt und 2·04 *g* freiem Kohlendioxyd; Quelle in Niederselters (preußische Provinz Hessen-Nassau) mit 1·39 *g* Natriumhydrocarbonat und 2·30 *g* Natriumchlorid bei 4·69 *g* Mineralgehalt im ganzen und 2·24 *g* freiem Kohlendioxyd.

Die in Karlsbad (Nordwest-Böhmen) als Kluftquellen aufsteigenden Thermen sind an Natriumsulfat reiche alkalische Quellen. Der

„Sprudel“ darunter enthält 2·39 *g* Natriumsulfat, 2·05 *g* Natriumhydrocarbonat, 0·40 *g* Natriumchlorid, bei 6·35 *g* ganzem Mineralgehalte und 0·1 *g* freiem Kohlendioxyd. (Er besitzt eine Ergiebigkeit von 1·7 *m*³ und springt über die Oberfläche infolge des Druckes des Kohlendioxydgases, welches sich an seinem Austritte unterhalb der von ihm abgesetzten „Sprudelschale“ ansammelt, nach Art der Wirkung im Heronsballe.)

In den erdigen Säuerlingen sind neben viel freiem Kohlendioxyd ungewöhnlich große Mengen von Calciumhydrocarbonat, oft auch Magnesiumhydrocarbonat enthalten. So z. B. in der Helenen-Quelle in Wildungen (Fürstentum Waldeck), welche, bei einem Mineralgehalte von 5·09 *g* im ganzen, 1·43 *g* Calciumhydrocarbonat und 1·55 *g* Magnesiumhydrocarbonat neben 2·55 *g* freiem Kohlendioxyd aufweist.

Von ähnlicher Beschaffenheit sind die Mineralquellen in Rohitsch-Sauerbrunn (Süd-Steiermark), aber ihr Gehalt an Magnesiumhydrocarbonat ist im Mittel viel bedeutender und steigt in der dortigen Donati-Quelle bis auf 5·75 *g*, wie er sonst in Mineralwässern nirgends angetroffen wird.

Eisenquellen. Diese enthalten über 10 *mg* Eisen, und zwar entweder als Ferrohydrocarbonat, gewöhnlich bei großem Gehalte an freiem Kohlendioxyd, in welchem Falle sie **Eisensäuerlinge** genannt werden, oder als Ferrosulfat,* zuweilen mit Beimengung von Schwefelsäure, und heißen dann **Vitriolquellen**. Als hervorragendes Beispiel der ersteren erscheint die Peter-Quelle in Dorna Watra (Südwest-Bukowina), welche, bei einem Mineralgehalte von 0·45 *g*, 0·27 *g* Ferrohydrocarbonat (also 70 *mg* Eisen) und 1·46 *g* freies Kohlendioxyd enthält. Eine Vitriolquelle ist die Quelle von Levico-Vetriolo in den Trienter Südalpen, welche, bei einem Mineralgehalte von 8·02 *g*, 5·13 *g* Ferrosulfat, dabei 1·35 *g* freie Schwefelsäure und auch 0·01 *g* Calciumhydroarsenat, also nahezu 0·008 *g* Arsensäure enthält. Letztere tritt in der Quelle von Roncegno, welches unweit von Levico gelegen ist, neben 3·04 *g* Ferrosulfat und 0·02 *g* Ferrisulfat, in einer Menge von 0·07 *g* auf, die größer ist als in irgendeiner anderen Quelle.

Es sind Quellen bekannt, in denen freie Schwefelsäure in ansehnlicherer Menge als in der Levico-Quelle auftritt und über die übrigen Gemengteile vorwaltet. So z. B. enthält davon die 69·4° heiße Therme am Parano de Ruiz (bei 3800 *m* Höhe) in Neu-Granada

* Dieses ist schon bei einem Betrage von 7 *mg* auffallend schmeckbar.

2.99 g, neben 1.67 g schwefelsaurer Tonerde, bei mineralischem Gesamtgehalte von 7.22 g. Gar nicht so selten treten geringere Mengen freier Schwefelsäure in Quellen namentlich zeitweise auf.

Als **Alaunquellen** bezeichnet man vorwiegend an schwefelsaurer Tonerde reiche Quellen. Eine solche in Rockbridge Co. (Virginia, Nordamerika) enthält von dieser 12.41 g bei einem mineralischen Gesamtgehalte von 16.13 g.

Bitterwässer sind reich an Magnesiumsulfat, gewöhnlich auch an Natriumsulfat. Solche Beschaffenheit ist namentlich bekannt bei Tiefgrundwässern einiger Gegenden, welche mittels Brunnen herausgeschöpft werden. Ausgezeichnete Repräsentanten derselben sind die im Untergrunde von Ofen, Stadtteil von Budapest, auftretenden „Ofner“ Bitterwässer. Sie enthalten weit über 10 g von jedem der genannten Sulfate und außerdem über 7 g Natriumhydrocarbonat und über 2 g Natriumchlorid.

Zu dieser Art Mineralquellen gehört auch das Warmwasser, welches in einer Tiefe von 400 m in Krozingen bei Freiburg i. B. erbohrt worden ist, 4.8 m³/m liefert und damit als das ergiebigste Mineral-(Heil-)Wasser Europas erscheint.

Kochsalz- und Solquellen, beziehungsweise Kochsalz- und Solwässer, sind durch großen und gegenüber den mitvorkommenden gelösten Mineralbestandteilen stark vorwaltenden Gehalt an Natriumchlorid charakterisiert, etwa von einem Gehalte von 0.5 g an, welcher sich bereits stark durch den Geschmack kundgibt, bis nahe an den sättigenden Gehalt (gegen 260 g im reinen Wasser). Ein Gehalt von 15 g wird oft als Grenze der „schwächeren“ Kochsalzquellen gegen die Solquellen gesetzt. Beispielsweise enthält die „Edelquelle“ in Reichenhall in den bayrischen Kalkalpen 227 g Natriumchlorid. In Delatyn am Pruth in den ostgalizischen Karpathen pumpt man aus geringer Tiefe eine 242.4 g-hältige Sole heraus und am ganzen ostgalizischen, nordostungarischen und nordostrumänischen Karpathenrande, an dessen Aufbau auch Steinsalz führende Gesteinschichten teilnehmen, treten zahlreiche Salzquellen von sehr verschiedenem Chlornatriumgehalte hervor, ebenso wie in vielen anderen Ländern, in deren Untergrunde Steinsalz wenigstens als untergeordneter Gemengteil seiner Gesteinslagen vorkommt.

Aus gehaltreicheren Solen wird Speisesalz (Sudsalz) herausgesotten.

Manchmal sind in Solquellen auch kleine Mengen von Natriumjodid und Natriumbromid enthalten.

Zuweilen tritt in Kochsalzquellen ein bedeutender Gehalt von freiem Kohlendioxyd auf, dann haben wir **Salzsäuerlinge**. Zu diesen gehört das 30° warme Wasser des bereits erwähnten 300 l/m ergiebigen Sprudels von Nauheim, welches bei 24·96 g gelöster Mineralsubstanz im ganzen, neben ansehnlicher Menge etlicher anderer Chloride, 19·54 g Natriumchlorid, auch 2·13 g Calciumhydrocarbonat und außerdem 3·96 g freies Kohlendioxyd enthält.

Die Therme „Maxquelle“ in Dürkheim in der Rheinpfalz mit 13·86 g Natriumchlorid und 2·79 g Calciumchlorid, bei einem Mineralgehalte von 17·79 g, enthält auch einen verhältnismäßig hohen Gehalt an Arsenrioxyd, nämlich 0·017 g davon.

In den ziemlich seltenen **Boraxquellen** tritt in reichlicher Menge, gewöhnlich neben anderen Natronsalzen, borsaures Natron (Borax) auf. So enthält eine der bis 75° heißen Boraxthermen beim Clear-Lake (nordwestlich von S. Francisco) in Kalifornien 14·76 g borsaures Natron neben 12·09 g Natriumchlorid, 9·63 g Ammonium- und 7·77 g Natriumcarbonat, bei ganzem Mineralgehalte von 55·01 g. Reichhaltige Boraxquellen kommen weiters noch in anderen Teilen der nordamerikanischen sowie in den südamerikanischen Anden und dann auch in Tibet vor.

Schwefelquellen weisen einen, wenn auch geringen, Gehalt auf von Natriumhydrosulfid (NaHS)* und Schwefelwasserstoff oder bloß von einer dieser Substanzen. Oft tritt auch ein ansehnlicher Gehalt von Calciumsulfat hinzu. Als besonders starke Schwefelquellen seien angeführt die Quelle von Lubień Wielki bei Lemberg mit 0·47 g Natriumhydrosulfid, 0·07 g Schwefelwasserstoff und 1·50 g Calciumsulfat, bei 2·39 g gelöster Mineralsubstanz im ganzen, sowie die „Trinkquelle“ in Bad Nenndorf bei Kassel mit 0·05 g Natriumhydrosulfid, 0·30 g Schwefelwasserstoff neben 2·19 g verschiedenen Calcium- und 0·39 g Natriumsalzen, bei 2·76 g gelöster Mineralsubstanz im ganzen. König Ludwig III.-Quelle in Wiessee am Tegernsee in den bayrischen Kalkalpen enthält, bei 13·49 g gelöster Mineralsubstanz im ganzen, 9·60 g Natriumchlorid, 0·08 g Natriumbromid, 0·04 g Natriumjodid, 3·03 g Natriumhydrocarbonat, 0·18 g Natriumhydrosulfid und 0·21 g Borsäure (meta), ist somit eine alkalische Schwefelquelle, die sich durch bedeutenden Jod-, Brom- und Borsäuregehalt auszeichnet. Sie enthält auch 0·056 g „organische Substanzen“, welche hier aus

* In seltenen Fällen ist auch Calciumhydrosulfid (Ca[SH]₂) zugegen.

der Tiefe stammende Kohlenwasserstoffgase sind. Die Quelle zeigt eine Temperatur von 21.2° .

Wärmere Schwefelquellen enthalten fast stets bloß ganz geringe Mengen von Natriumhydrosulfid, beziehungsweise Schwefelwasserstoff. So unter anderem die Kaiserquelle von Aachen, eine Schwefeltherme von 55° , welche, bei einem Mineralgehalte von 4.65 g im ganzen, neben 1.99 g verschiedener Natriumsalze 0.26 g Calciumhydrocarbonat und 0.15 g Eisenhydrocarbonat, 0.009 g Natriumhydrosulfid und 0.002 g Schwefelwasserstoff enthält.

Die 29° warme, allgemein als Schwefeltherme bezeichnete Georgen-Quelle in Landeck (nördliche Sudeten) enthält, bei einem Mineralgehalte von 0.16 g im ganzen, bloß 0.002 g Natriumhydrosulfid (bei Abwesenheit von Schwefelwasserstoff und freiem Kohlendioxyd), sie ist aber durch eine Radioaktivität von 206 M.-E. ausgezeichnet.

In Gipswässern erscheint, neben verschiedenen anderen Mineralsubstanzen gewöhnlicher Art, gegen diese stark vorwaltend, Calciumsulfat in großer, oft 1 g weit übersteigender Menge. Solche Wässer treten häufig innerhalb gipshaltigen Untergrundes auf. Z. B. die „Badequelle“ in dem schweizerischen Badeorte Leuk enthält 1.68 g Calciumsulfat bei 2.61 g gelöster Mineralsubstanz im ganzen.

Kieselsäurequellen enthalten außergewöhnlich große, zuweilen 1 g übersteigende Mengen von Metakieselsäure. Fast stets sind sie vulkanisch erwärmte Thermen, zum Teile, wie die „Geysire“ auf Island und im Yellowstone-Park Nordamerikas, periodisch springend durch die Spannkraft des in der Tiefe durch Überhitzung explosionsartig entstehenden Dampfes.

Die über 90° heißen Thermen Las Trincheras bei N. Valencia in Venezuela enthalten bis 1.46 g Metakieselsäure.

Wie schon aus der im Vorhergehenden gebotenen Übersicht der Mineralquellen hervorgeht, besitzt nur ein, allerdings vielleicht überwiegender Teil derselben eine erhöhte Temperatur, erscheint somit als Thermen; es gehören demnach zahlreiche Thermen zu chemisch gewöhnlichen („akratischen“, medizinisch „indifferenten“) Quellen, wie z. B. die schon erwähnte Therme von Pfäfers.

Bei einigen Mineralwässern wurde wohl eine große Beständigkeit ihrer chemischen Zusammensetzung während mehrerer Jahrzehnte festgestellt. So zeigten die chemischen Analysen der $0.38\text{ m}^3/\text{m}$

ergiebigen Quelle „Kochbrunnen“ in Wiesbaden (preußische Provinz Hessen-Nassau), einer ansehnlich radioaktiven Kochsalztherme von 68·7°, welche in den Jahren 1849 und 1885, also in einem Abstände von 36 Jahren, ausgeführt worden sind, bloß einen 0·3prozentigen Unterschied des Mineralgehaltes im ganzen. Häufiger wurden aber bei Mineralwässern Schwankungen ihres chemischen Bestandes beobachtet, wengleich vorwiegend bloß in betreff der Summe des gelösten Mineralgehaltes, und zwar zumeist im Zusammenhange mit den Schwankungen ihrer Ergiebigkeit, also offenbar verursacht durch Änderungen in den unterirdischen Wasserzuflüssen mit geringerem Mineralgehalte, beziehungsweise von chemisch ganz gewöhnlichen Bodenwässern. Überhaupt unterliegen Quellen, welche in ihrer Ergiebigkeit und ihrer Temperatur nicht bedeutend schwanken, im allgemeinen nur wenig Änderungen ihrer chemischen Zusammensetzung. Bei manchen anderen können solche in bedeutenderem Maße eintreten, außer infolge der Änderungen ihrer Verbindungen mit nachbarlichen Bodenwässern, durch geologisch-tektonische Verschiebungen sowie durch verschiedene andere geologische Vorgänge innerhalb des Untergrundes, in welchem sie zirkulieren. Denn es geht ja die chemische Beschaffenheit der Bodenwässer, ihre Verschiedenheit in dieser Beziehung gegenüber dem Niederschlagswasser, aus welchem sie doch wenigstens ganz überwiegend entstehen, zum größten Teile aus ihrer Einwirkung auf die umgebenden Gesteine hervor, welche Einwirkung jedoch oft in bedeutendem Maße durch aus dem Erdinnern heraufsteigende Dämpfe und Gase gesteigert und modifiziert wird. Diese Prozesse unterliegen auch bei sonst gleichbleibenden geologischen Verhältnissen in sich selbst Änderungen in ihrem Verlaufe, da doch das angegriffene Gesteinsmaterial schließlich entweder verschwindet oder eine so große Umwandlung erleidet, daß es, wenigstens in der gleichen Richtung, keine weitere Veränderung erfahren kann. Um so weniger können die Bodenwässer in ihrer Umgebung immer in gleicher Weise beeinflusst werden, wenn noch anderweitige geologische Änderungen in ihrem Untergrunde sich vollziehen.

Viele Quellen, besonders solche mit ganz außergewöhnlichem chemischen Gehalte, verdanken ihn vulkanischen Ausdünstungen, welche, ebenso wie die vulkanische Tätigkeit im allgemeinen, regional im Laufe der Zeiten großen Änderungen unterliegen, die auch bedeutende Unterschiede in der Mineralisierung der Bodenwässer nach sich ziehen.

Näheres über diese genetischen Verhältnisse bieten die bezüglichen Abschnitte der dynamischen Geologie.

Mit Rücksicht auf ihre allgemeinere Wichtigkeit für das Gemeinwohl werden bereits für chemisch gewöhnliche, zur Wasserversorgung dienende, um so mehr denn für die vorwiegend seltenen, zu Heilzwecken verwendeten Quellen durch Behörden „Schutzgebiete“ auf der Erdoberfläche um ihre Ausmündung herum abgegrenzt, innerhalb welcher vor allem bergbauliche, aber auch andere Erdarbeiten, welche den Bestand der zu schützenden Wässer, ihre Ergiebigkeit und Beschaffenheit, schädigen könnten, nicht gestattet und fremde Wegleitungen verboten werden. In welcher Abgrenzungsform und in welcher Ausdehnung solche Schutzbezirke abgesteckt werden sollen, darüber kann in jedem Einzelfalle nur auf Grund sorgfältiger Untersuchung über die das Auftreten der Bodenwässer und Quellen bedingenden geologischen Verhältnisse in der bezüglichen Gegend entschieden werden, und zwar bloß mit einer angenäherten Sicherheit, daß dadurch eine unbegründete Schädigung der Wasserunternehmung einerseits oder der sonstigen privaten oder öffentlichen Interessen andererseits in diesem Gebiete abgewendet wird.¹⁴

Kontinentale oberirdische Wasseransammlungen.

Flüsse.

Das aus dem Untergrunde als Quelle heraustretende Wasser bildet oft unmittelbar bei der Ausmündung für sich selbst kleine Quellenbäche und Quellenseen. Doch bald verreinigt es sich auf seinem weiteren Wege mit dem aus dem atmosphärischen Niederschlag auf der Erdoberfläche sich ansammelnden Wasser, und aus diesen beiden Arten von Zuflüssen entstehen bei weitem vorwiegend Bäche und Flüsse.

Die Wassermenge in einem Flusse ist vorerst abhängig von der Menge des atmosphärischen Niederschlages in seinem Zuflußgebiete, von den in diesem Gelände herrschenden Verhältnissen der direkten und indirekten (pflanzlichen) Verdampfung und dann auch von den

geologischen Verhältnissen im zugehörigen Untergrunde, von welchen es abhängt, was für ein Teil des in denselben eingedrungenen Niederschlages schließlich als Quellen zum Flusse hingeführt oder im Gegenteil auf die nachbarlichen Gebiete abgeleitet wird.

Weil von den angeführten, den Wasserstand im Flusse bedingenden Verhältnissen die meteorologischen stark wechseln, so muß dieser auch mehr oder weniger große Schwankungen oft schon in ganz kurzen Zeiträumen aufweisen. Bei kleinen Flüssen geht dieses Schwanken bis zu ihrem vollständigen Versiegen, wie dies z. B. im Jahre 1904 infolge der ganz außerordentlichen, „seit Gedenken nicht dagewesenen“ Regenlosigkeit im karpathischen Gebiete Westgaliziens eingetreten ist, wo die obersten Teile der Flußbette der Skawa, Raba, Biała, Ropa und Wisłoka (Nebenflüsse der Weichsel) für einige Zeit ganz trocken geworden sind.

Im allgemeinen schwankt der Wasserstand eines Flusses um so weniger, je größeren Anteil an seiner Speisung die Zuflüsse aus den Bodenwässern haben, bei welchen die Mengenschwankung bei weitem nicht so groß ist wie bei dem atmosphärischen Niederschlage. Bei kleinen Flüssen ist oft ihre kleinste Wassermenge, welche fast ganz aus den Zuflüssen des Untergrundes stammt, ein paar hundertmal kleiner als diejenige bei Hochwasser. Aber auch bei größeren Flüssen erscheint zuweilen der Unterschied zwischen Nieder- und Hochwasserstand größer als im Verhältnis 1:100, wobei dieser Unterschied im Oberlaufe eines Flusses bedeutender ist als im Unterlaufe. So erscheint beispielsweise das Verhältnis zwischen Niedrig- und Hochwasser bei der Loire neben der Stadt Nevers wie 1:300; bei der Elbe neben Melnik wie 1:113, bei Dresden wie 1:82, bei Magdeburg wie 1:33, bei Artlenburg wie 1:23; beim Main wie 1:91; bei der Seine in Paris wie 1:60; bei der Weichsel in Krakau wie 1:43, unterhalb Warschau wie 1:24; beim Rhein neben Basel wie 1:18, bei Rees in seinem Unterlaufe wie 1:18; beim Mississippi-Missouri wie 1:10; beim Orinoco und beim Ganges-Brahmaputra wie 1:3 (alles in abgerundeten Zahlen).

Vorwiegend führen die Flüsse 25—50 % des atmosphärischen Niederschlages in ihrem oberflächlichen Zuflußgebiete aus, z. B. die Elbe bei Tetschen nahezu 25 %, die Weichsel und der Dnieper nur wenig mehr, die Wolga über 31 %, der Rhein 44 %, die Donau bei Wien über 52 %. Ausnahmen nach oben bildet beispielsweise der Inn mit 68 %, nach unten: Colorado mit 17.4 % und Ebro gar mit bloß 6.25 %.

Weil die Momente, von denen die Wassermenge eines Flusses abhängt, zum Teile, namentlich was die meteorologischen Verhältnisse anbetrifft, sehr unbeständig und kompliziert, zum Teile, wie in betreff der örtlichen geologischen Verhältnisse, gewöhnlich nur unvollständig bekannt sind, ist eine Vorausbestimmung seines zu erwartenden Wasserstandes, und zwar vornehmlich aus der Größe seines oberflächlichen Zuflußgebietes und der Höhe des atmosphärischen Niederschlages auf demselben in vergangener Zeit, zumeist nicht gut ausführbar, jedenfalls nicht mit einer für praktische Zwecke erforderlichen Genauigkeit. Aus Beobachtungen und Messungen, die über die Wasserstände eines Flusses aus vergangener Zeit vorliegen, kann wohl, wenn sie eine längere Reihe von Jahren umfassen, mit großer Wahrscheinlichkeit auf seinen Bestand (régime) in der Zukunft geschlossen werden, aber diese Erfahrungen und Schlüsse auf andere Flüsse zu übertragen wäre nur dann statthaft, wenn die vorhin angeführten, den Wasserstand bedingenden Verhältnisse übereinstimmen würden, was jedoch, von ganz unmittelbarer Nachbarschaft abgesehen, nur sehr selten zutrifft.

Durch eine künstliche Erniedrigung des Bettes, also auch des mittleren Wasserstandes eines Flusses wird auch das mittlere Niveau des Grundwassers in der Nachbarschaft abgesenkt, da dessen Abfluß dadurch erleichtert wird.

Auf ihrem der allgemeinen Abdachung ihres Geländes folgenden oder auf einem, mehr oder weniger unabhängig davon, selbständig gebahnten Wege fortschreitend, erreichen die Flüsse entweder schließlich das Meer oder sie beenden ihren Lauf innerhalb des Landes, und zwar auf zweifache Art. Entweder münden sie ein in einen „abflußlosen“, d. h. keinen oberflächlichen Abfluß besitzenden See, oder sie verschwinden, gewöhnlich nach und nach, zeitweise oder für immer in den Untergrund. Dies letztere geschieht vor allem auf die Weise, daß der Fluß in weite Klüfte innerhalb der Gesteinsmassen versinkt, über welche sein Weg führt. Solches ereignet sich häufiger in Karstgegenden, ist aber auch in anderen Gebieten bekannt. Es tritt z. B. zeitweise auch bei der Donau im südwestlichen Teile des Herzogtums Baden, zwischen den Ortschaften Immendingen und Möhringen, ein. Der Fluß bewegt sich hier über einem Schichtensysteme von dichtem, klüftigem Kalkstein, sinkt aber fast jedes Jahr während des Sommers, wo seine Wassermenge bloß gegen $120 \text{ m}^3/\text{m}$ ausmacht, in die Klüfte

seines Bettes und verschwindet auf diese Weise vollständig von der Oberfläche auf einer Strecke von 2—3 *km*. Man konnte sich überzeugen, daß die mächtige Aach-Quelle, welche in einer Entfernung von 11 *km* südwestlich von dem Orte des Einsinkens der Donau, und zwar in einer 165 *m* niedrigeren Lage, hervortritt, von der versunkenen Donau her stammt, denn das in diese an der Versinkungsstelle hineingeworfene Steinsalz im Gewichte von 100 *g* trat in der Quelle Aach ganz unverkennbar zum Vorschein, in den ersten deutlichen Spuren bereits nach 20 Stunden.

In einer anderen Art vollzieht sich das Verschwinden eines Flusses von der Oberfläche dadurch, daß er in seinem Laufe auf ein von so mächtigen Sand- und Schottermassen überdecktes Gebiet gerät, daß sein ganzer Wasservorrat — mangels einer wasserdichten Auskleidung seines Bettes — nach und nach in den anliegenden Sand und Schotter hineinsickert und schließlich ganz zum Grundwasser wird.

Bei beiden angeführten Arten des Verschwindens eines Flusses von der Oberfläche kann, nach einem Laufe im Untergrunde, ein Neuerscheinen an der Oberfläche stattfinden.

Unvergleichlich häufiger als zum vollständigen kommt es, wie schon vorher angeführt, zu einem teilweisen Einsickern und Einsinken des Flußwassers in den anliegenden Untergrund, was ebenfalls häufig örtlich und zeitlich beschränkt ist, namentlich oft nur bei erhöhtem Stande desselben stattfindet, und zwar beim Übergreifen über sein wasserdichtes Bett, welches sonst stets jedwelchen Austritt des Flußwassers verhindert.

Auf diese Art führen die Flüsse, obgleich sie vorwiegend Landgebiete entwässern, für manche Gegenden doch auch eine Bewässerung herbei, namentlich für den obersten Teil des anliegenden Untergrundes.

Die Temperatur der Flüsse ist ähnlichem Wechsel unterworfen wie die der Atmosphäre, aber sowohl die täglichen als auch die jährlichen Schwankungen sind bei ihnen viel geringer als bei letzterer. Andererseits treten sie jedoch bedeutend stärker auf als im anliegenden Untergrunde. Namentlich erscheinen die Gebirgsflüsse im Winter wärmer, im Sommer hingegen kälter als die Atmosphäre über ihnen. Bei Niederungsflüssen ist die mittlere Jahrestemperatur gewöhnlich etwas höher als bei der umgebenden Luft und nähert sich mehr derjenigen des wenig tiefen Untergrundes. Dagegen sind die Temperaturschwankungen bei den Flüssen bedeutend größer als bei letzterem und beeinflussen die Temperatur der Grundwässer im Falle ihrer Bei-

mengung so ausgeprägt, daß man oft aus den bei diesen beobachteten Temperaturschwankungen auf einen stattfindenden Eintritt von Flußwasser schließen kann.

Das zum Talwege zusammenfließende Niederschlagswasser nimmt auf dem Gelände fast überall herumliegende, durch Verwitterung am Orte entstandene oder in verschiedener Weise zugeführte mineralische und organische lose Teilchen mit und bringt sie in den Fluß, welcher solche auch durch die Kraft der Strömung von seinem Bette ablöst. Dieses im bewegten Wasser schwebende Material bildet dessen Trübe, deren Menge örtlich und zeitlich sehr verschieden, im allgemeinen bei starker Bewegung sehr bedeutend ist und erst bei dem vollständigen Aufhören derselben sich am Boden des Flußbettes absetzt, wodurch dessen etwa vorher bestandene Durchlässigkeit oft ganz aufgehoben werden kann.

Aus torfigen Geländen kommt oft in die Flüsse eine Humustrübe hinein. In einigen brasilianischen Flüssen, zum Teile auch im Kongo-Flusse (in Mittelafrika), findet sich eine so außerordentlich große Menge von Humusstoffen, daß sie dem Wasser eine gelbliche bis braune Färbung verleihen.

Nicht selten dringt starke Flußtrübung, besonders bei Ausuferungen, ziemlich weit in die Grundwässer hinein, welche an den Fluß angrenzen.

Wie in allen Oberflächenwässern fehlen auch im Flußwasser Mikroorganismen, zumeist Bakterien, nie ganz. In der Nähe von Städten reichern sie sich gewöhnlich stark an, besonders durch Einfuhr von der Oberfläche und aus den Seihwässern. Im weiteren Laufe des Flusses, in einer größeren Entfernung von menschlichen Siedlungen, tritt das Übermaß an Mikroorganismen wiederum zurück infolge ihrer geschwächten Vermehrung beim Ausfall der Zufuhr an organischen Zerfallsstoffen, wegen der Verfütterung derselben durch höhere Organismen und schließlich auch durch die für lebende und tote organische Substanzen vernichtende Wirkung der Sonnenbestrahlung.

Immerhin kommt es nicht selten vor, daß der besagte Bakterienreichtum mit dem Flußwasser wenigstens teilweise in seicht liegende Grundwässer gelangt.

Was die chemische Beschaffenheit des Wassers der Flüsse anbetrifft, so stimmt dieselbe bei dem ganz überwiegenden Teile derselben mit der chemischen Zusammensetzung der an mineralischen

Stoffen ärmeren gewöhnlichen Bodenwässer und Quellen überein, da doch ihr Wasser nur eine Mischung von Niederschlagswasser und von allerlei Untergrundwässern darstellt, wobei die Mineralwässer infolge ihrer Seltenheit und unbedeutenden Ergiebigkeit bloß von geringem Einflusse sein dürften.

Demgemäß enthält das Flußwasser in der großen Mehrzahl der Fälle 200—350 *mg* an mineralischen Bestandteilen. So beträgt z. B. dieser Gehalt in der Donau bei Budapest 238 *mg*, im Rhein bei Köln nahezu 255 *mg*, in der Weichsel bei Warschau 302 *mg* und setzt sich hauptsächlich zusammen aus: Calciumhydrocarbonat — gegen 58 ‰, Magnesiumhydrocarbonat — gegen 12 ‰, Calciumsulfat — über 5 ‰, Magnesiumsulfat — gegen 1·5 ‰, Sulfaten von Alkalien — gegen 5 ‰, Natriumchlorid — gegen 3·5 ‰, Metakieselsäure — gegen 2 ‰, neben ganz untergeordneten Mengen von verschiedenen Eisensalzen, Phosphaten, Nitraten usw. Zu diesen Stoffen gesellt sich jedoch gewöhnlich eine durchschnittlich kleine Menge von „organischer Substanz“, übereinstimmend mit derjenigen, von welcher schon bei den Quellen die Rede war, und oft auch von Humusstoffen, welche aus der Umwandlung der Pflanzendecke herkommen.

Vor allem ist nun der Gehalt an den erwähnten „organischen Substanzen“ in einem und demselben Flusse an verschiedenen Stellen sehr ungleich; verhältnismäßig bedeutend ist er in der Nähe der Städte und verschwindet gewöhnlich unterhalb derselben ziemlich bald infolge der Umwandlung durch Aufnahme von Sauerstoff, der aus der Atmosphäre stammt.

Aber auch der Gehalt an mineralischen Gemengteilen kann an verschiedenen Stellen des Flußlaufes sehr bedeutende Unterschiede aufweisen, namentlich infolge von örtlichen Einmündungen chemisch verschiedener, oberflächlicher und unterirdischer Wässer. So enthält z. B. die Donau bei Regensburg in Bayern im ganzen 329 *mg* mineralischer Gemengteile, dagegen bei Passau nur 173 *mg*, weil ihre in der Zwischenstrecke einmündenden Nebenflüsse ein an Mineralsalzen ärmeres Wasser führen. Im allgemeinen kann angenommen werden, daß im Oberlaufe eines Flusses der Mineralgehalt seines Wassers in der Regel geringer ist als in seinem Unterlaufe, und zwar aus dem Grunde, weil er unten viel mehr Zuflüsse aus tieferen Bodenwässern bekommt, die gewöhnlich an Mineralsalzen verhältnismäßig reich sind, als oben.

Die Menge des im Flußwasser absorbierten Kohlendioxydes ist fast immer bedeutend geringer als in chemisch gewöhnlichen Quellen.

Nach Durchführung einer künstlichen Filtration und einer genügenden Sterilisation kann auch Flußwasser zum Trinken verwendet werden. So versorgen sich mit Trinkwasser Magdeburg aus der Elbe, Warschau aus der Weichsel und London (vorwiegend) aus der oberen Themse. Für die in 84 *m* über dem Meere gelegene Stadt Los Angeles in Kalifornien wird in einer fast 400 *km* langen Leitung Trinkwasser — rund 1,000.000 *m*³ für 24 Stunden — aus dem 1160 *m* über dem Meere gelegenen Flusse Owens River zugeführt (welche Anlage wohl besonders aus dem Grunde ökonomisch entspricht, weil die Strömung des Wassers unterwegs zur Gewinnung elektrischer Kraft ausgenützt wird).

Von der im Vorhergehenden geschilderten, bei Flüssen gewöhnlich angetroffenen chemischen Beschaffenheit sind sehr weit auseinandergelagerte Ausnahmen bekannt geworden, und zwar sowohl was die Gesamtmenge der gelösten Substanzen, als auch was das Verhältnis der einzelnen darin enthaltenen Körper anbetrifft. So zeigt das Wasser des Amazonasstromes, welcher bloß außergewöhnlich geringe Zuflüsse aus tieferem Untergrunde erhält, einen nur gegen 70 *mg* betragenden Gesamtgehalt an mineralischer Substanz. Im Gegensatze dazu enthält davon der Fluß Jordan im Mittel 1 *g*, und zwar finden sich darin (in abgerundeten Zahlen): 500 *mg* Natriumchlorid, 250 *mg* Magnesiumchlorid, 180 *mg* Calcium- und Magnesiumhydrocarbonat (zusammengenommen) und 70 *mg* verschiedener Sulfate. Kleine Flüsse und Bäche nähern sich chemisch nicht selten harten, ja ausnahmsweise sogar Mineralwässern. So enthält die kurländische Aa 89 *mg* Calciumsulfat neben 27 *mg* Magnesiumsulfat, weist also 15 deutsche Härtegrade auf, und der kleine Fluß Chelif bei Orléansville in Algerien enthält (wenigstens zeitweise) gegen 11·80 *g* Mineralsubstanzen aufgelöst. Bei alledem zeigen die Flüsse in ihrem mineralischen Gesamtgehalte zeitliche Schwankungen. Namentlich erscheinen sie bei Hochwasser an Lösung bedeutend ärmer als bei Niedrigwasser, und zwar so ziemlich im Verhältnis der Wasserzunahme. Dies erklärt sich einfach dadurch, daß bei Niedrigwasser der Anteil an den Zuflüssen aus den im allgemeinen härteren Bodenwässern, bei hohem Wasserstande im Flusse dagegen der Zufluß aus atmosphärischem Niederschlage überwiegt, welcher an mineralischen Lösungen ganz arm ist. Bei aus diesem Verhältnisse hervorgehenden Schwankungen zeigen sich oft bei einem und demselben Flusse an derselben Stelle oft doppelt oder dreifach, ausnahmsweise sogar auch vielfach größere Werte als vorhin.

Seen.

Seen von vorwiegend unbedeutender Ausdehnung und oft von sehr wechselndem Wasserstande, welche nur vom atmosphärischen Niederschlage gefüllt werden und irgendeinen Abfluß besitzen, enthalten ein Wasser, das sich chemisch nur sehr wenig vom Niederschlagswasser unterscheidet, da es ja fast keine Gelegenheit gehabt hat, sich mit mineralischen Stoffen anzureichern.

Von Bächen und Flüssen gespeiste Seen, deren Ablauf nicht wesentlich kleiner ist als ihr Zufluß, welche also eigentlich nur bauchig erweiterte Flüsse darstellen, besitzen ein Wasser, welches mit dem der Flüsse übereinstimmt.

Ebenso zeigt das Wasser von Seen, welche einen oberflächlich entblößten Teil von seichteren Grundwässern darstellen, in chemischer Beziehung eine Übereinstimmung mit letzteren.

Zu den angeführten drei Arten von Seen gehört z. B. die große Mehrzahl der Schweizer Seen, bei welchen zwischen 79 *mg* und 168 *mg* liegende Mineralgehalte festgestellt worden sind.

Was die Temperaturverhältnisse anbetrifft, so dringt in stehenden Gewässern die Wärmeschwankung kaum bis 40 *cm* tief, die jährliche nur wenig über 7 *cm* tief hinein. Tiefer herrscht also eine stabilere Temperatur. In tieferen Süßwasserseen, die innerhalb von Ländern mit niedrigen Wintertemperaturen gelegen sind, besitzen die unteren Wasserschichten dauernd eine Temperatur von 4°.

Da das Wasser von derartigen Seen, namentlich von größeren derselben, infolge Absatzes der von der Strömung hereingebrachten Trübe beim Aufhören der Bewegung wenigstens in größeren Partien genügend rein ist und in seinen tieferen Lagen eine entsprechende Temperatur besitzt, so kann es nicht nur zur Speisung von Dampfkesseln, sondern, trotz seiner Armut an Kohlendioxyd, auch als Trinkwasser verwendet werden. So versorgen sich einige der am Bodensee liegenden Städte aus diesem mit Trinkwasser. (Die Entnahme des Wassers befindet sich zum mindesten in 400 *m* Entfernung vom Ufer und in einer Tiefe von 30 *m*.)

In neueren Zeit wird das Wasser kleinerer Flüsse durch Wehren in „Staubecken“ angesammelt, um zum Teile auch als Trinkwasser verwendet zu werden.

Ganz anders verhalten sich die chemischen Verhältnisse bei Seen, welche keinen Abfluß besitzen, bei denen das Wasser also bloß

durch Verdampfung in die Atmosphäre unter Zurücklassung der von ihm gelösten Mineralstoffe fortgeht. Letztere müssen sich dadurch immer mehr ansammeln — besonders schnell, wenn die Zuflüsse aus Mineralwässern bestehen — und im Laufe der Zeit werden derartige Seen zu hoch mineralisierten Wässern, ja zu gesättigten Lösungen. Namentlich ist dies nicht selten in betreff von Calcium-, Natrium- und Eisensalzen der Fall.

Im Toten Meere enthält 1 l Wasser 188·4 g verschiedener Salze, hauptsächlich Magnesium- und Natriumchlorid. In vielen Gebieten der Erde gibt es zahlreiche an Natriumchlorid reiche „Salzseen“, von denen manche einen 20 %o daran übersteigenden Gehalt aufweisen; aus vielen wird in vorteilhafter Weise Speisesalz gewonnen. Dies ist der Fall bei dem eine Oberfläche von über 190 km² bedeckenden Elton-See in der kaspischen Niederung des europäischen Südost-Rußlands, welcher, wenigstens bei niederem Wasserstande, eine konzentrierte Salzlösung darstellt, aus der jährlich bis 800.000 g Speisesalz gewonnen werden. Der (unvergleichlich kleinere) Medve-See in Siebenbürgen zeigt an der Oberfläche einen Gehalt von 23·15 %o, am Boden einen Gehalt von 25 %o an Natriumchlorid. Der „Große Salzsee“ (Great Salt-Lake) im nordamerikanischen Staate Utah, bis 12·8 km lang und nahezu 15 m tief, enthält (bei niedrigem Wasserstande) über 20 g Natriumchlorid neben 1·8 g Natriumsulfat.

In manchen Erdgebieten, namentlich in Vorderasien, Nordafrika und im westlichen Nordamerika, gibt es Seen mit reichem Gehalte an Natriumcarbonat neben Natriumsulfat und Natriumchlorid. So sind beispielsweise enthalten in dem See „Owens Lake“ in Kalifornien: 32·68 g Natriumcarbonate, 11·08 g Natriumsulfat und 29·42 g Natriumchlorid neben 3·14 g Kaliumchlorid (Summe = 77·10 g). Aus derartigen Seen wird mit Vorteil Soda, zum Teile auch Glaubersalz gewonnen.

Selten sind Seen, die an borsauerm Natrium reich, ja sogar gesättigt sind; solche sind in den nordamerikanischen Staaten Nevada und Kalifornien bekannt. Der nordwestlich von S. Francisco gelegene Borax-Lake, in welchen sich neben anderen die auf S. 58 erwähnte Quelle ergießt, enthält, neben 38·99 g Natriumchlorid und 23·02 g Natriumhydrocarbonat, 5 g Natriumborat; fortdauernd scheiden sich aus ihm große Boraxkristalle aus.

Anmerkungen.

1. Messungen des atmosphärischen Niederschlages werden von „meteorologischen Stationen“ ausgeführt; in welcher Weise, darüber kann man sich belehren aus der amtlichen Publikation: „Vorschriften für ombrometrische Beobachtungen“. Wien 1895, Staatsdruckerei.

2. Franz. l'eau souterraine, engl. underground water.

3. Aus dem Lateinischen: juvenilis = jugendlich und vadosus = seicht.

4. Dieser Name wird leider in verschiedenem Sinne verwendet, so von einigen auch zur Bezeichnung jedweden Wassers im Untergrunde bei Unterlassung einer Unterscheidung von verschiedenen Arten desselben.

5. Aufschlüsse über die Bewegungsverhältnisse eines Grundwassers werden hydrotechnisch zumeist auf die Art erhalten, daß man in dasselbe an einem Orte eine größere Menge von Kochsalz hineinbringt und dann an geeignet gelegenen benachbarten Stellen an geschöpften Proben chemisch feststellt, in welcher Weise die Lösung sich ausbreitet.

6. Auch Lithiumchlorid läßt sich noch bei einem Gehalte der Lösung von $\frac{1}{7000}$ mg in 1 l Wasser spektroskopisch nachweisen. Unter besonderen Verhältnissen, so namentlich bei Voraussetzung eines Zusammenhanges der Quelle mit torfigen Wässern, muß man saure Färbemittel anwenden.

7. Einige nehmen als niedrigste Temperatur für die Bezeichnung einer Quelle als absolute Therme 25° oder gar 30° an.

8. Die zur Oxydation verbrauchte Menge von übermangansaurem Kali bestimmt jedoch keineswegs genau die Menge der vorhandenen organischen Substanzen, weil erstens zur Oxydation gleicher Mengen verschiedener organischer Körper verschiedene Mengen dieses Prüfungsmittels erforderlich sind und weil zweitens dasselbe auch einige anorganische Gemengteile unter Entfärbung oxydiert.

9. Oft häuft sich der Absatz des Eisenhydroxydes örtlich stark an in Folge sehr üppiger Generation der Bakteriengattung *Crenothrix polyspora*, besonders bei Anwesenheit von organischen Substanzen, z. B. in Grundwässern, welche mit torfigen Stümpfen in Verbindung stehen. Diese Bakterie baut sich nämlich entweder ihre mikroskopisch kleinen Schälchen aus Eisenhydroxyd auf oder letztere geben diesem bloß den Anlaß und den Boden zum reichen Absatze.

Übrigens reichert sich Leitungswasser, welches viel freies Kohlendioxyd bei Zutritt von Sauerstoff enthält, an Eisen an durch chemischen Angriff der eisernen Röhren.

10. Seit einiger Zeit hat man angefangen, das Trinkwasser von seinem Gehalte an Calcium, Eisen und Mangan vermittels einer Behandlung mit Per-

mutiten zu befreien. Dies sind künstliche, den Mineralien aus der Gruppe der Zeolite entsprechende Aluminium- und Natriumsilikate, welche, ins Wasser hineingebracht, diesem die vorhin angeführten Bestandteile entziehen, indem sie dieselben gegen Natrium austauschen. Sie lassen sich nachher durch Begießung mit Natriumchlorid regenerieren und zu neuerlichem Gebrauche wieder geeignet machen.

11. Aus dem Griechischen: akratos = ungemischt, pege = Quelle.

12. In seltenen Fällen konnten auch winzige Mengen von Radium, der Muttersubstanz der Emanation, festgestellt werden.

13. Aus dem Lateinischen: muria = Salzbrühe.

14. Besonders bei der Fassung von Mineralquellen muß deren chemische Beschaffenheit bei der Auswahl des Baumaterials berücksichtigt werden, damit der Einbau nicht in kurzer Zeit infolge chemischer Zersetzung der Verderbnis verfallt.

Literatur.

In ausführlicherer Weise werden Bodenwässer und Quellen in nachfolgenden Werken behandelt:

Daubrée A. Les eaux souterraines à l'époque actuelle. 1887.

Haas H. Quellenkunde. 1895.

Höfer H. v. Grundwasser und Quellen. 1912.

Keilhack K. Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. 1912.

O. Lueger — R. Weyrauch. Die Wasserversorgung der Städte. I. 1914.

Eine gute Anleitung zur vorläufigen chemischen Untersuchung von Bodenwässern und Quellen bietet das Buch von A. Klut, Die Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle. 1911.

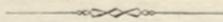
Eine sehr eingehende Schilderung der Mineralwässer Deutschlands und Österreichs enthalten die mustergültigen Publikationen: Deutsches Bäderbuch, 1907, und Dr. C. Diem, Österreichisches Bäderbuch, 1914.

Alphabetisches Verzeichnis.

	Seite		Seite
Aachener Kaiserquelle	59	Boraxquellen	58
Absenkung des Grundwassers	17	Breslauer Grundwasser	46
Absteigende Quellen	29	Brunnen, artesische	22
Akratopegen	53	— gewöhnliche	21
Akratothermen	53	Chemische Analysen von Wässern	47
Alaunquellen	56	— Beschaffenheit der großen Mehr-	
Alkalische Quellen	55	zahl der Quellen	47
— Säuerlinge	55	— — des Wassers bei der großen	
Analysen von Bodenwässern und		Mehrzahl der Flüsse	65
Quellen	49	Dakotas artesische Brunnen	26
Anschnittquellen	29	Donau-Versinkung im Großherzog-	
Anziner Tiefgrundwasser	14	tum Baden	63
Areuse-Quelle	37	Dorna Watra, Peter-Quelle	56
Arten von Bodenwässern	9—13	Durchlässige Gesteine	4
— von Quellen	29	Durchlässigkeit der Gesteine für	
Artesische Brunnen, Begriffsbestim-		Wasser	4
mung	22	Dürkheimer Max-Quelle	57
— — in Australien	27	Dux-Teplitzer Kluftwasser	14
— — im Budapester Stadtwaldchen	39	Eingesaugtes Wasser	3
— — in Dakota	26, 27	Einschlußwasser	6
— — in Paris	24, 39	Einsickerung des Wassers	4
Artesisches Niveau piézométrique	22	Einsinken des Wassers	5
Atmosphärischer Niederschlag, Ar-		Eisengehalt des Trinkwassers	51
ten desselben	1	Eisenquellen	56
— — chemische Beschaffenheit	45	Eisensäuerlinge	56
— — Verteilung desselben	2	Emser Kränchen	55
Aufsteigende Quellen	29	Erdige Säuerlinge	56
Badgasteiner Hauptquelle	41, 53	Ergiebigkeit von Bodenwässern	20
Bad Nenndorfer Trinkquelle	58	— von Quellen	35
Bakterien in Bodenwässern	44	Feuchtigkeitsmenge in Gesteinen	3
Berlins Wasserversorgung	21	Filtrierung, natürliche	43
Beständigkeit der Quellen	34, 35	Fluorescein-Färbung	33
Bewegung des Grundwassers	11	Flüsse	61
Bitterwässer	57	— mit ausnahmsweiser chemischer	
Bodenwässer, Entstehung	8	Wasserbeschaffenheit	67

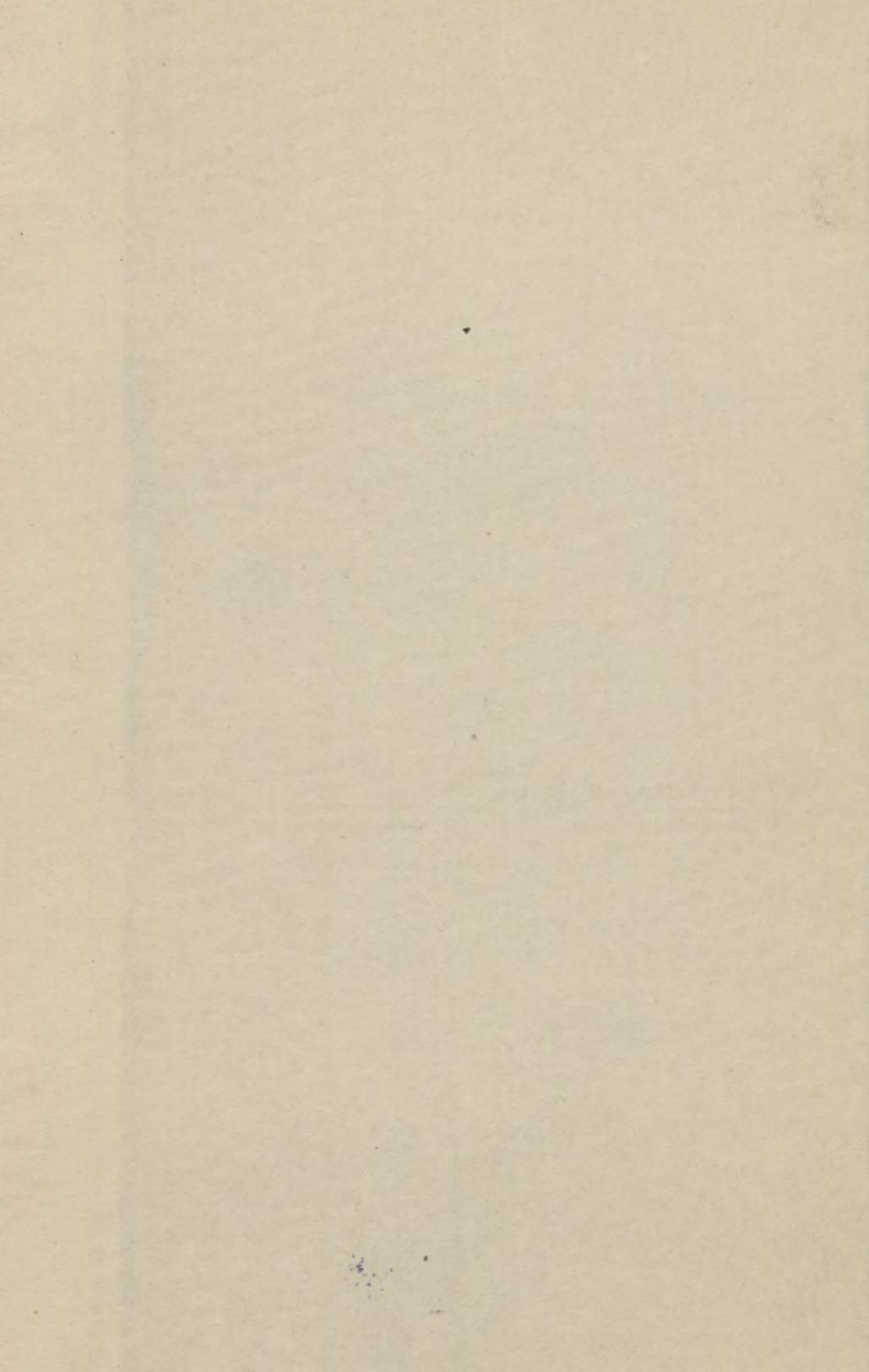
	Seite		Seite
Füllwasser	4	Leuker Badequelle	59
Gasige Springbrunnen	28	Levico-Vetriolo-Quelle	56
— Springquellen	31	Lubiń Wielki-Quelle	58
Gebirgsquellen	33	Luft im Wasser	45
Gehaltsschwankungen bei Mineral-		Mineralquellen	53
wässern	59	Mineralwässer	53
Gewinnung von Bodenwässern 20—28		Muriatisch-alkalische Quellen	55
Geyserwell-Springbrunnen	28	Nauheimer Salzsprudel	28
Geysire	32, 59	Nebel	1
Gießhübler Franz Josef-Quelle	55	Niederschlagswasser, chemische Be-	
Gipswässer	59	schaffenheit	45
Grundwasser, Beeinflussung durch		Niederselters-Quelle	55
Flußwasser	43	Niveau piézométrique	22
— Begriffsbestimmung	9	Ofner Bitterwässer	57
— bei Tarnów, chemische Analyse		Orbe-Quelle	34
desselben	49	Organische Substanzen in Wässern	49
— chemische Beschaffenheit	46	Pfäfers-Therme	53
— in München	10	Quellen, absteigende	29
— in Sanddünen	10	— aufsteigende	29
— künstliches	22	Quellenbäche	61
Grundwasserquellen	30	Quellen, Begriff und Entstehung	28
Grundwasserseen	18	— chemisch gewöhnliche	47
Härte der Wässer	52	— juvenile	28
— — bleibende	52	Quellenfassung	35, 37
Härtegrade des Wassers	52	Quellenhals	29
Harte Wässer	47	Quellenlinie	32
Heilquellen	53	Quellenmund	29
Heiße Quellen	40	Quellenschutzgebiete	60
Hineinreichen des Wassers in den		Quellenseen	61
Untergrund	8	Quellgerinne	29
Juvenile Quellen	28	Radioaktive Quellen	53
— Springquellen	32	Reinheit der Bodenwässer u. Quellen	43
Juveniles Wasser	9	Rheintal-Grundwasser	19, 38
Kaiserbrunnen-Quelle	37, 44	Salzsäuerlinge	57
Kapillare Hebung des Wassers	5	Säuerlinge, einfache	54
Karlsbader Sprudel	56	Schichtquellen	29
— Thermen	41, 42	Schuttquellen	30
Kieselsäurequellen	59	Schwankungen des chemischen Be-	
Kluftwasser	12	standes bei Mineralquellen	59
Kochsalzquellen	57	— der Wassermenge in Boden-	
Kohlendioxyd in gewöhnlichen Bo-		wässern	16
denwässern und Quellen	47	— der chemischen Beschaffenheit	
Kohlensäurequellen	28	des Flußwassers	67
Kohlenwasserstoffquellen	54	Schwefelquellen	58
Kondensiertes Wasser	1	Schwimmsand	5
Landecker Georgen-Quelle	59	Seen	68

	Seite		Seite
Seihwasser	11	Verbindung von verschiedenen Bodenwässern	15
— chemische Beschaffenheit	45	Verschwinden von Quellen	34
Simplon-Tunnel-Quellen	7, 35	Versickerung des atmosphärischen Niederschlages	4
Solquellen	57	Versinken von Flüssen	63
Spaltquellen	30	Verunreinigung des Grundwassers bei Breslau	46
Spiegel eines Grundwassers	10	Verunreinigungen bei Flußwasser	64
Spiegelschwankungen bei Bodenwässern	16	Verwendung der Bodenwässer	20
Springbrunnen	22	Vichy, Grand Grille-Therme	55
Springquellen	31	Vitriolquellen	56
Sterilisierung des Wassers	45	Warme Quellen	40
Talquellen	33	Wärmeschwankungen bei Thermen	42
Temperatur der Bodenwässer	38	Wasserader	13
— der Flußwässer	64	Wasseraufnahmefähigkeit der Gesteine	3
— der großen Mehrzahl der Quellen	39	Wasserdichte Gesteine	4
Temperaturschwankungen bei Quellen	40, 42	Wasserführende Gesteine	4
Thermen, Begriff	40	Wassergalerien	21
— bei Baden (Schweiz)	41	Wassermangel im Untergrunde, Beispiele davon	6
— vados-plutonische	41	Wassermenge der Bodenwässer	15
— vulkanische	42	— in Flüssen	61
Tiefgrundwasser	12	Wasserträger	4
Torrent d'Anzin	14	Wasserversorgung von Berlin	21
Trinkwasser-Beschaffenheit	50	Wasservorkommen im Untergrunde, Beispiele	7
Überfallquellen	30	Wechsel des Wasserstandes in Flüssen	61
Unbeständigkeit der Quellen	34	Weiche Wässer	47
Unreinheit bei Bodenwässern	43	Wernarzer Quelle	54
— bei Quellen	44, 47	Wiesbadener Kochbrunnen	59
Untergrundwasser	8	Wiessee-Quelle	58
Unterwasserquellen	33	Wildunger Helenen-Quelle	56
Vadoses Wasser	9		
Vauclusiennes-Quellen	30		
Verbindung von Bodenwässern mit oberflächlichen Wässern	17—20		



82-2

S-96



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297483