



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300970

x
2489



G. H. S. G. e. n.

Die Quellen.

Berlin 1863.

Verlag von Ernst & Korn.

(Königliche Buch- und Kunstdruckerei)

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Erster Theil:

Die Quellen.

Erster Band mit 10 Kupfertafeln.

Berlin 1869.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Brunnen, Wasserleitungen

und

Fundirungen.

Von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Forent. sub Litt. D. I. No. 334.

Erster Band.



Mit einem Atlas von 10 Kupfertafeln in Folio.

VII 6.42

Berlin 1869.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

285

*X
2489*

Brunnen, Wasserleitungen

und



11-348612

~~III 18816~~

Hagen

Dritte neu bearbeitete Auflage

Handwritten signature or name, possibly 'Hagen' or similar.



Erster Band

Mit einem Atlas von 10 Kupferplatten in Folio

Berlin 1869

Verlag von Ernst & Korn

(Technische Buch- und Kartendruck)

Akc. Nr.

~~300-3-300/207~~
~~298/52~~

Vorrede

zur dritten Auflage.

Seit dem Erscheinen der ersten Ausgabe dieses Handbuches sind die Methoden der Anordnung und Ausführung der Wasserbauwerke so vervielfältigt worden, daß von ihrer vollständigen Zusammenstellung gegenwärtig abgesehen werden mußte. Viele derselben, die weniger wichtig erschienen, habe ich daher entweder gar nicht, oder nur mit wenig Worten berührt, auch manche Mittheilungen unterdrückt, welche die beiden ersten Ausgaben enthielten. Dagegen sind diejenigen neuern Methoden hinzugefügt, welche sich bereits bewährt haben, oder günstige Erfolge mit großer Wahrscheinlichkeit erwarten lassen.

Außerdem habe ich mich auf diejenigen Gegenstände beschränkt, die unbedingt zum Wasserbau gehören, und habe daher in den vielfachen Beziehungen dieser Wissenschaft zu andern, engere Grenzen gezogen. Eine Ausnahme hiervon macht nur die ausführliche Beschreibung mancher mechanischen Vorrichtungen, die der Baumeister mit Hülfe gewöhnlicher Handwerker selbst zusammenstellen kann.

Bei dieser Beschränkung des Inhaltes wurden manche der früher mitgetheilten Figuren entbehrlich, und hierdurch erklärt es sich, dafs einige Nummern derselben fehlen, während die Nummern der Tafeln geändert sind.

Von besonderer Wichtigkeit für die weitere Entwicklung der Wasserbaukunst erschien der Hinweis auf den Zusammenhang der betreffenden physikalischen Erscheinungen. Ich habe mich daher bemüht, aus den in neuerer Zeit angestellten hieher gehörigen Beobachtungen die wahrscheinlichsten Resultate herzuleiten, und dadurch zu Gesetzen und Regeln zu gelangen, die mit gröfserer Sicherheit, als bisher, auf die zu erwartenden Erfolge schliessen lassen.

Die Anordnung des ganzen Werkes ist die frühere geblieben, doch werden übereinstimmend mit dem vor wenig Jahren erschienenen dritten Theile auch die beiden ersten durch besondere Titel als selbstständige Werke bezeichnet und in mehrere Bände zerlegt werden. Der erste, überschrieben die Quellen, zerfällt in zwei, und der zweite, die Ströme*), wie schon früher, in drei Bände. Jedem Theile wird auch ein alphabetisches Sachregister beigefügt werden.

Es mag auffallen, dafs ich in dieser neuen Ausgabe noch das Rheinländische Fufsmaafs beibehalten habe, obwohl die Einführung des Meters im nördlichen Deutschlande bereits definitiv beschlossen ist. Ich mochte indessen nicht jenes Maafs, welches durch Bessel in grös-

*) Die Worte „und Canäle“ waren ohne mein Vorwissen dem Titel des zweiten Theiles zugesetzt worden, und konnten auch aus der zweiten Ausgabe desselben nicht beseitigt werden, da diese nur wörtlicher Abdruck der ersten sein durfte.

serer Schärfe, als irgend ein andres, festgestellt ist, mit dem metrischen vertauschen, dessen Einheit gesetzlich nur durch ein gewisses Verhältniß zu der ganz unsichern Toise von Peru bestimmt ist, und daher keineswegs die Genauigkeit besitzt, die heutiges Tages die Wissenschaft fordert. Man wird mir freilich entgegen, daß dieser Mangel an Schärfe bei Beschreibung von Bauwerken ohne Bedeutung sei, aber andererseits ist das Meter bei uns noch nicht eingeführt, und da in Frankreich noch jetzt, also 75 Jahre nach der gesetzlichen Einführung des Meters, das frühere Fufsmaafs keineswegs vergessen ist, so durfte ich wohl voraussetzen, daß so lange man dieses Lehrbuch benutzt, der Rheinländische Fufs bekannter bleiben wird, als das Meter gegenwärtig ist.

Berlin, im Mai 1869.

G. Hagen.

Vorrede

zur ersten Auflage.

Der vorliegende erste Theil des Handbuches der Wasserbaukunst enthält die Beschreibung derjenigen Anlagen, wodurch kleinere Wassermassen aufgefangen, geleitet, abgesperrt oder in ihren Wirkungen unschädlich gemacht werden; er behandelt also im Allgemeinen die Quellen. Die beiden folgenden Theile, zu denen die Materialien größtentheils schon gesammelt und geordnet sind, werden die Ströme und das Meer umfassen.

Die einzelnen Gegenstände sind in der Art vorge tragen, dafs zuerst der Zweck und die Wirksamkeit jeder hydrotechnischen Anlage näher erörtert und daraus die Bedingungen und Rücksichten hergeleitet werden, die man bei der Anordnung des Baues oder bei der Entwerfung des Projectes zu beobachten hat; sodann aber werden die verschiedenen Constructionsarten, soweit sie in jedem Falle angewendet sind, möglichst vollständig beschrieben.

Um die Wirkungen der Wasserbauwerke richtig zu beurtheilen, ist es nöthig, den Zusammenhang der dabei vorkommenden Erscheinungen aufzufassen. Die

Erfolge, die man herbeiführen will, und ebenso auch diejenigen, die zuweilen unerwartet eintreten, können zwar nur in den Gesetzen der Mechanik und in den physischen Eigenschaften der Körper ihre Begründung finden; man sucht aber meist vergeblich in der Mechanik und Physik die Aufklärung der Verhältnisse, die hier vorkommen. Manche Erscheinungen, die für den Wasserbau besonders wichtig sind, blieben bisher beinahe ganz unbeachtet, und bei andern hat man sich damit begnügt, gewisse algebraische Ausdrücke mit einigen wenigen Messungen ungefähr in Uebereinstimmung zu bringen. Auf solche Art sind die meisten sogenannten Theorien entstanden; allgemeine Gültigkeit kann man von ihnen eben so wenig erwarten, als sie eine solche wirklich zeigen, doch eben deshalb dürfen sie weder als unumstößliche Wahrheiten angesehen werden, durch deren Entdeckung jede weitere Untersuchung abgeschnitten wurde, noch auch liefern sie den Beweis, daß eine gründliche Forschung in diesem Gebiete zu keinem sichern Resultate führt. Ihre Unhaltbarkeit ist die natürliche Folge ihrer Unvollständigkeit. Vor Allem fehlte es bisher an genauen und vielseitigen Beobachtungen, die einer umfassenden Theorie zum Grunde gelegt werden konnten; sodann aber geschah die Zusammenstellung und Benutzung der beobachteten Resultate auch gar zu willkürlich und keineswegs nach den bestimmten Methoden, welche die Mathematik auf ihrem gegenwärtigen Standpunkte für solche bezeichnet.

Die weitere Ausbildung des wissenschaftlichen Theiles der Wasserbaukunst steht mit der Praxis in sehr naher Beziehung, denn nur durch sie darf man diejenige Sicherheit in der Anordnung der Wasserbauwerke zu

erreichen hoffen, welche man so häufig vermisst und deren Mangel sich noch immer in der Unzulänglichkeit mancher Anlagen zu erkennen giebt. Die Ausfüllung dieser Lücke ist ohne eine kräftige Unterstützung von Seiten des Gouvernements gar nicht denkbar. Zunächst kommt es indessen darauf an, die Lücken bestimmt nachzuweisen und zu zeigen, ob und in welchem Falle man den Regeln und Formeln, die der Wasserbaumeister gegenwärtig benutzt, einige Gültigkeit beilegen darf; ich habe es versucht, diese Aufgabe zu lösen.

Die verschiedenen Constructionen, die man bei gleichartigen Anlagen wählen kann und an verschiedenen Orten auch wirklich zu wählen pflegt, sind zum Theil durch Localverhältnisse bedingt, zum Theil aber stehn sie sich an Zweckmäßigkeit und Solidität auch keineswegs gleich; einzelne darunter verdienen ohne Zweifel eine allgemeinere Anwendung. Ich habe mich bemüht, sie möglichst vollständig zu sammeln, und soweit es geschehn konnte, auch die Data anzuführen, welche ein Urtheil über ihre Brauchbarkeit begründen. Indem die Einführung des Neuen und Fremden gewöhnlich Mißtrauen erregt, so wäre kaum zu erwähnen, daß man dieses nur mit großer Vorsicht versuchen darf. Dagegen muß man aber auch nicht unbeachtet lassen, daß eine Methode, die durch lange Praxis sich bereits bewährt hat, deshalb noch nicht unbedingt die beste ist, und wenn der Versuch, sie durch eine andere zu ersetzen, mißglückt, so folgt daraus wieder noch nicht immer, daß die neue Methode an sich unpraktisch war, denn auch durch Unvorsichtigkeit mißrath Vieles.

Die ausführende Wasserbaukunst ist in der neueren Zeit hauptsächlich durch die vielfache Anwendung

von Maschinen sehr vervollkommnet worden. Die Prüfung und Zubereitung der Materialien, ihre Ver-
setzung und Aufstellung, sowie auch die Untersuchung
ihrer spätern Lage läßt sich zuweilen durch besondere
Maschinen viel sicherer, schneller, und wenn die Ope-
rationen sich vielfach wiederholen, auch wohlfeiler be-
wirken, als dieses durch unmittelbare Handarbeit und
durch gewöhnliche Werkzeuge möglich war. Die Ma-
schinenlehre ist sonach ein wesentlicher Theil der Was-
serbaukunst geworden, und wenn die Kenntniß dersel-
ben im Allgemeinen auch vorausgesetzt werden mußte,
so konnte die Beschreibung der hierher gehörigen Ap-
parate doch um so weniger umgangen werden, als eine
große Vorsicht und Ueberlegung bei ihrer Anordnung
und Aufstellung unerläßliche Bedingung ist.

Berlin, im December 1840.

G. Hagen.

Inhalts-Verzeichnifs

des ersten Bandes.

	Seite
Abschnitt I.	
Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.	
	1
§. 1. Entstehung des Regens	3
§. 2. Messung der Regenmenge	7
§. 3. Beobachtete Regenmengen	12
§. 4. Quantität der Verdunstung	18
§. 5. Cisternen	23
Abschnitt II.	
Quellen und Brunnen.	
	31
§. 6. Wassermenge der Quellen	33
§. 7. Quellenbildung	41
§. 8. Brunnen mit weiten Kesseln	62
§. 9. Artesische Brunnen im Allgemeinen	75
§. 10. Artesische Brunnen: das Gestänge	95
§. 11. Artesische Brunnen: die Bohrer	105
§. 12. Artesische Brunnen: die Futterröhren	114
§. 13. Ausführung der Artesischen Brunnen	122
Abschnitt III.	
Wasserleitungen.	
	135
§. 14. Ausfluß des Wassers durch Oeffnungen in dünnen Wänden	137
§. 15. Ausfluß des Wassers durch Ansatzröhren	161
§. 16. Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen	167
§. 17. Speisung der Leitungen	196
§. 18. Messung des Wassers	212
§. 19. Ansammlung des Wassers	220
§. 20. Filtriren des Wassers	232
§. 21. Leitungsröhren von Holz, Stein, Blei und Asphalt	257
§. 22. Gußeiserne Leitungsröhren	277
§. 23. Versorgung großer Städte mit Wasser	302

Abschnitt IV.

Seite

Entwässerungen und Bewässerungen. 323

§. 24. Vorarbeiten 325

§. 25. Beförderung der Vorfluth 335

§. 26. Entfernung des fremden Wassers 339

§. 27. Abzugsgräben 349

§. 28. Colmationen 355

§. 29. Sickergräben 362

§. 30. Bewässerungsanlagen 369

Nachträglicher Zusatz zu §. 8. 381



Erster Abschnitt.

**Atmosphärischer Niederschlag und
Verdunstung.**

§. 1.

Entstehung des Regens.

Verschiedene hydrotechnische Anlagen haben allein den Zweck, dasjenige Wasser zu sammeln oder abzuleiten, welches als Regen und Schnee auf die Erdoberfläche herabfällt. Schon aus diesem Grunde wird die Erwähnung einiger Beobachtungen über die Menge des atmosphärischen Niederschlages nicht überflüssig erscheinen, der Gegenstand gewinnt aber für den Wasserbaumeister noch an Wichtigkeit, insofern das Wasser, welches als Regen oder in andern Formen aus der Luft herabfällt, die alleinige Veranlassung zum Entstehn der meisten Quellen ist, und die Bäche, Flüsse und Ströme ihren Ursprung und ihre Speisung demselben verdanken.

Die Bäche und Flüsse nehmen jedoch nicht die ganze Wassermenge des atmosphärischen Niederschlages auf, da ein großer Theil desselben schon durch Verdunstung vom Erdboden verschwindet. Ist das Maafs der letzteren, wie auch das des Niederschlages auf einer gegebenen Fläche bekannt, so kann man aus der Gröfse des Flufsgebietes, das heifst aus der Ausdehnung der Fläche, die dem Flusse das Wasser liefert, auf seine Reichhaltigkeit schliessen. Es zeigt sich freilich, dafs theils die Beobachtungen über die Menge des Niederschlages sehr abweichende Resultate geben, und theils auch die Beschaffenheit des Bodens einen großen Einflufs auf die Bildung der Quellen ausübt, wenn aber keine directe Messung der Wassermenge eines Flusses möglich ist, so gewährt diese Methode doch wenigstens einigen Anhalt, und namentlich wird man sie benutzen müssen, wenn es darauf ankommt, die Verhältnisse unter gewissen Umständen zu beurtheilen, zu deren directer Beobachtung die passende Gelegenheit nicht abgewartet werden kann.

4 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

Die Ursache der Circulation des Wassers, wodurch dasselbe von sumpfigen Niederungen, von den Seen und selbst von dem Ocean zurück auf die höchsten Gebirge geführt, und über die ganze Oberfläche der Erde verbreitet wird, beruht in der Eigenschaft der Luft, eine gewisse Quantität Wasserdunst in sich aufzunehmen, die sie unter veränderten Umständen wieder ausstößt. Je weniger Wassertheilchen die Luft enthält, um so begieriger saugt sie das Wasser auf, und um so stärker verdunstet daher eine von ihr berührte Wasserfläche. In dem Maasse, wie sich aber der Wasserdunst in der Luft anhäuft, vermindert sich auch ihre Fähigkeit, noch mehr Wassertheilchen aufzunehmen, und es tritt endlich eine vollständige Sättigung ein. Dieser Sättigungspunkt ist jedoch nicht constant, sondern von der Temperatur abhängig. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasser kann sie aufnehmen.

Unter Voraussetzung der von Regnault ermittelten Spannungen des Wasserdampfes können in 1 Rheinländischem Cubikfuß atmosphärischer Luft unter dem mittleren Drucke von 29 Zoll Rheinl. bei verschiedenen Temperaturen die in der zweiten Spalte der nachstehenden Tabelle angegebene Anzahl Gran Wasser aufgenommen werden. Die dritte Spalte bezeichnet dagegen den Wassergehalt einer gleichfalls gesättigten Luftmasse, welche in der Temperatur des Gefrierpunktes 1 Cubikfuß misst.

Temperatur nach Réaumur	Wassergehalt in Gran	
	in 1 Cubikfuß	in constanter Luft- masse
— 8°	1,76	1,69
— 4°	2,07	1,90
0°	2,48	2,48
+ 4°	2,98	3,04
+ 8°	3,62	3,76
+ 12°	4,42	4,67
+ 16°	5,41	5,81
+ 20°	6,63	7,25
+ 24°	8,11	9,02

Wird sonach eine mit Wasserdunst gesättigte Luftmasse erwärmt, so erhält sie von Neuem das Vermögen, noch mehr Wasser in sich aufzunehmen, wird sie dagegen abgekühlt, so stößt sie einen Theil

des Wassers von sich, das sie bisher gebunden hatte. Letzteres scheidet alsdann als sichtbarer und feuchter Nebel oder als Wolke aus der bisher ganz durchsichtigen Luft aus, und indem die feinen Wassertheilchen sich nach und nach zu Tropfen verbinden, so fallen sie als Regen nieder.

Die vorstehende Tabelle zeigt noch, daß bei gleichen Temperaturveränderungen der Sättigungspunkt sich nicht gleichmäßig verändert, sondern daß bei höherer Temperatur eine gewisse Aenderung derselben, wie etwa um 4 Grade, die Luft zur Aufnahme einer größeren Wassermenge fähig macht, als bei einer niedrigeren Temperatur. Hieraus folgt zunächst, daß im Allgemeinen die atmosphärischen Niederschläge in heißen Zonen reichhaltiger sein müssen, als in kalten. Es ergibt sich daraus aber ferner, daß zur Bildung dieser Niederschläge keine fremdartige Veranlassung zur Abkühlung der Luft erforderlich ist, sondern daß zwei mit Wasserdunst gesättigte Luftmassen von verschiedener Temperatur bei ihrer Verbindung jedesmal einen Theil des enthaltenen Wassers ausstoßen, indem die mittlere Temperatur nicht mehr der mittleren Wassermenge entspricht, sondern immer einer kleinern, woher ein Theil derselben frei wird. Dem letzten Umstande scheinen die atmosphärischen Niederschläge vorzugsweise ihre Entstehung zu verdanken, und es darf nicht befremden, daß dieselben so ungleichmäßig über die Erdoberfläche vertheilt sind. Sobald warme, mit Wasserdunst gesättigte Luft sich abkühlt, so bildet sich der Regen, wenn dagegen die warme Luft nur wenig Wasser enthält und über eine stark erhitze öde Fläche streicht, so erwärmt sie sich noch mehr und wird dadurch in den Stand gesetzt noch größere Wassermassen in sich aufzunehmen. Begegnet sie alsdann einer kalten und sogar mit Wasser gesättigten Luftmasse, so kühlt sie sich zwar ab, aber das in der letzteren enthaltene Wasser wird nicht niedergeschlagen. So geschieht es, daß die Trockenheit des Bodens, wie etwa auf ausgedehnten Sandflächen, die Bildung des Regens verhindert.

Man hat vielfach die Vermuthung ausgesprochen, daß die Vegetation einen merkbaren Einfluß auf die Niederschläge ausübt, und letztere geringer werden, sobald ausgedehnte Waldungen verschwinden. Einzelne Thatfachen bestätigen allerdings diese Auffassung, doch zeigen andere wieder das Gegentheil, und es scheint daher, daß die Luftströmungen, die theils von allgemeinen physischen Ge-

6 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

setzen, theils auch von der Gestaltung des Landes im Ganzen bedingt werden, vorzugsweise die ungleichmäßige Vertheilung des Regens veranlassen.

Dafs die Flüsse und Ströme bei zunehmender Boden-Cultur ihren Charakter auffallend verändern und während der Dürre viel weniger, nach starkem Regen aber und beim Schmelzen des Schnees viel mehr Wasser abführen, als in früherer Zeit, ist freilich nicht zu bezweifeln, doch rührt dieses davon her, dafs bei zunehmender Cultur der schnellere Abflufs des Wassers durch Gräben und Drainirung künstlich befördert wird. Nach den Briefen des Kaisers Julian veränderte sich der Wasserstand der Seine innerhalb Paris im vierten Jahrhundert nicht bedeutend, und ihr Wasser blieb immer klar, woher es als gutes Trinkwasser galt. Jetzt dagegen erhebt sich der Strom zur Zeit der Anschwellungen bis 30 Fufs über seinen niedrigsten Stand, und das Wasser ist stets so trübe, dafs es gar nicht mehr als Trinkwasser benutzt wird. *)

In einem heifsen Klima und auf weit ausgedehnten kahlen Flächen kann die Verdunstung im Verhältnisse zum Niederschlage so zunehmen, dafs Wassermassen, die sich schon zu Strömen angesammelt hatten, beim Eintritt in grofse Niederungen oder in weite Landseen vollständig verschwinden. Die Seen dieser Art können also nicht überfliefsen, oder sie haben keinen Abflufs nach dem Ocean. In unserm Klima ist das Eintreten ähnlicher Verhältnisse undenkbar, wenigstens können sie sich nur im kleinen Maafsstabe zeigen.

Die verschiedenartigen Formen, in denen der atmosphärische Niederschlag sich zeigt, sind vorzugsweise Regen, Schnee und Hagel, und auf diese bezieht sich das vorstehend Gesagte. Der Thau, der bei niedriger Temperatur sich als Reif darstellt, gehört freilich auch hierher, doch ist er von jenen in sofern verschieden, als sein Eintreten und seine Reichhaltigkeit von der Oberfläche der Körper abhängt, an denen er sich zeigt. Wenn letztere in klaren Nächten die Wärme stark ausstrahlen, und sonach schnell erkalten, so kühlen sie auch die zunächst umliegende Luftschicht ab, und indem dadurch wieder Wassertheilchen frei werden, sammeln sich diese als Thautröpfchen, oder bei stärkerer Abkühlung bilden sie die feinen

*) Dausse, *de la pluie et de l'influence des forêts sur les cours d'eau. Annales des ponts et chaussées.* 1842. II. pag. 184.

Eiskrystalle, die man Reif nennt. Auf diese Bildung hat die Vegetation einen wesentlichen Einfluß. Auf kahlem Boden bemerkt man keinen Thau, und eben so wenig in dichten Waldungen, wohl aber auf Wiesenflächen. Unter diesen Umständen bietet die Messung der jährlich niederschlagenden Thaumenge große Schwierigkeiten. Dalton schätzte ihre Höhe für England (wahrscheinlich viel zu hoch) auf 5 Zoll, zu Viviers wurde dagegen diese Höhe nur zu 2,9 Linien beobachtet. Für den vorliegenden Zweck ist der Umstand besonders wichtig, daß der größte Theil des Thaues wieder durch Verdunstung entwindet und nur selten ein Tropfen auf den Boden gelangt. Es darf daher diese Form des Niederschlages hier ganz unbeachtet bleiben.

§. 2.

Messung der Regenmenge.

Zur Bestimmung der Wassermenge, die als Regen niederfällt, dient der Regenmesser, auch Ombrometer oder Udometer genannt. Mit demselben kann auch der Hagel gemessen werden, wenn er geschmolzen ist. Der Schnee bietet dagegen einige Schwierigkeit, indem er bei seiner großen Beweglichkeit sich so verschiedenartig ablagert, daß im Ombrometer leicht eine verhältnißmäßig zu geringe Quantität aufgefangen wird. Man mißt aber nicht unmittelbar sein Volum, sondern das des Wassers, nachdem er geschmolzen ist. Seine Dichtigkeit oder sein specifisches Gewicht ist nämlich sehr verschieden und variirt zwischen 0,04 und 0,50.

Der gewöhnliche Regenmesser (Taf. I. Fig. 1) besteht aus einem Kasten von 1 bis 4 Quadratfuß Oberfläche, der mit einer niedrigen Seitenwand versehen und oben offen ist. Der Boden ist geneigt und über denselben fließt das Wasser nach einer Röhre, die es in ein darunter gestelltes Gefäß führt. Die Wassermenge wird entweder durch unmittelbares Ausmessen oder durch Abwiegen bestimmt. Auf diese Art erfährt man, wie viel Cubikzoll Wasser in den Kasten gefallen sind. Dividirt man diese Zahl durch die Oberfläche des Kastens, in Quadratzollen ausgedrückt, so ergibt sich, wie hoch das beim Regen herabgefallene Wasser den Erdboden be-

8 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

decken würde, wenn derselbe horizontal, und zum Einsaugen des Wassers nicht fähig wäre. Diese Höhe ist das gewöhnliche Maafs des Regens.

Damit die Beobachtungen dieser Art hinreichend genau ausfallen, muß zunächst für die waagrechte Aufstellung des Kastens, und zwar des obern Randes desselben gesorgt werden, weil sonst beim schrägen Herabfallen der Tropfen zu viel oder zu wenig Wasser aufgefangen würde. Ferner haftet nach dem Regen noch ein Theil des Wassers an den Wänden und auf dem Boden des Kastens, ohne in das Gefäß zu fließen. Bei schwachem Regen kann es sogar geschehn, daß die ganze Masse hier hängen bleibt, und durch die bald darauf erfolgende Verdunstung sich der Beobachtung entzieht. Durch Auswischen mit einem Schwamme, der vorher gewogen ist, kann man auch diese Wassermasse auffangen und bestimmen. Endlich bietet das untergestellte Gefäß, wenn es eine passende Form hat, zwar nur eine geringe Wasseroberfläche dar, und die Verdunstung in demselben ist alsdann nicht bedeutend, nichts desto weniger kann letztere sehr groß werden, wenn die Nachmessung erst nach längerer Zeit vorgenommen wird. Um diesem Mangel zu begegnen, hat man den Gebrauch von Apparaten vorgeschlagen, worin das einfließende Wasser ein Kippwerk in Bewegung setzt, und sich dadurch selbst registriert, in ähnlicher Art, wie auf den Salinen die gehobene Soole gewöhnlich gemessen wird. Daß durch dieses Mittel die Genauigkeit der Beobachtung verliert, bedarf kaum der Erwähnung, nichts desto weniger mag die Beschreibung einer Vorrichtung dieser Art dennoch hier mitgetheilt werden, weil dieselbe auch in andern Fällen, wie z. B. bei Wasserleitungen zuweilen Anwendung findet.

In Fig. 2 sind *A* und *B* zwei gleich große Kästen, deren jeder etwa 10 Cubikfuß faßt. Die Soole fließt aus der Röhre *L* durch den Trichter *B* in einen oder den andern dieser Kästen, je nachdem der Trichter die in der Figur angedeutete Lage, oder die entgegengesetzte einnimmt. Dieser Trichter ist nämlich am Balancier *CD* befestigt und dreht sich mit demselben um die horizontale Achse *K*. Damit der Balancier nicht schwankt und jedesmal seine Stellung behält, wobei das Wasser über die Mittelwand fort nach der einen oder der andern Seite abfließt, so liegt in jedem Arme des Balanciers eine eiserne Kugel *E*, *C*, von denen die äußere, also in der Figur

die Kugel *C*, ein entschiedenes Uebergewicht bildet. Sobald der Kasten *A* beinahe bis zum Rande angefüllt ist, fängt das Wasser an, durch eine Seitenrinne in den kleinen Eimer *N* überzufließen, und füllt denselben sehr schnell an, obgleich er im Boden mit einer engen Oeffnung versehen ist. Dieser Eimer hängt am Ende des Balanciers, und wenn er beinahe gefüllt ist, so hebt er das Uebergewicht der Kugel *C* auf und verursacht dadurch die Drehung des Balanciers. Letzterer bewegt sich Anfangs langsam, aber sobald er die horizontale Lage überschreitet, so fangen auch die Kugeln *C* und *E* zu rollen an, und indem die letzte nach *D* gelangt, so stößt der Balancier auf die Seitenwand des Kastens *A* auf, und nimmt diese Stellung mit Sicherheit ein, wodurch das Wasser nunmehr in den Kasten *B* geleitet und der leere Eimer *M* gehoben wird. Bei der Bewegung des Balanciers wird mittelst einer über die Rolle geführten Leine die Klappe *P* am Boden des Kastens *A* gehoben, und die darin befindliche Wassermasse fließt aus. Auch der Eimer *N* entleert sich durch die in seinem Boden angebrachte kleine Oeffnung. Auf solche Art füllt sich abwechselnd der eine und der andere Kasten, und die beiden Sperrhaken, die vom Balancier nach dem Rade *Q* hinaufgehen, von denen der eine zieht und der andere schiebt, rücken bei jedem einzelnen Stosse des Balancier das Rad um einen Zahn und zwar immer in derselben Richtung weiter, woher der an der Achse befestigte Zeiger die Anzahl der vorgekommenen Abwechselungen bezeichnet. Durch Verstellung der Abflusrrinnen, welche das Wasser aus dem Kasten in die Eimer leiten, und durch andere Veränderungen, kann man leicht bewirken, daß die gesammte Wassermasse, die jedesmal in einen Kasten fließt, ein bestimmtes Volumen einnimmt.

Zur Messung der Regenmenge wendet man nicht leicht einen so complicirten Apparat an, vielmehr begnügt man sich für diesen Zweck mit einem kleinen Kipptröge Fig. 3, bei dem das Wasser jedesmal in das obere Reservoir fließt, welches durch die Füllung selbst das Uebergewicht bildet, und dadurch die veränderte Stellung hervorbringt. Um die Anzahl der erfolgten Stöße zu markiren, darf aber auch hier die Anbringung eines Räderwerks nicht fehlen. Es muß dabei noch bemerkt werden, daß Fig. 3, um die Aufstellung des Kipptröges zu verdeutlichen, zwar mit Fig. 1 in Verbindung gesetzt, jedoch in einem viel größeren Maasstabe gezeichnet ist.

10 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

Auch andere selbst registrirende Apparate werden zuweilen benutzt. Auf unsern meteorologischen Stationen macht man aber keinen Gebrauch von denselben, vielmehr wird das aufgefangene Wasser in einer graduirten Glasröhre gemessen. Die hier benutzten Regenmesser sind in der obern Oeffnung 12 Pariser Zoll lang und breit. Die umgebenden Wände sind einige Zolle hoch senkrecht, alsdann aber unter 45 Grad gegen den Horizont geneigt. Aus diesem pyramidalen Körper tritt das Wasser durch eine ziemlich kleine Oeffnung in einen kupfernen Cylinder, der etwa einen halben Cubikfuß faßt, und dessen Boden durch eine Kegelfläche in eine Röhre übergeht. Letztere ist durch einen Hahn geschlossen, und durch diesen kann man das Wasser in eine Glasröhre fließen lassen und messen. Die Theilung der letzteren ist in der Art gewählt, daß man ohne weitere Reduction sogleich die Höhe des Niederschlages in Zehnthellen des Pariser Zolles abliest. Da der kupferne Cylinder bis auf die kleine Zuflufs-Oeffnung ganz geschlossen ist, so findet darin auch kein starker Luftwechsel statt, und sonach vermindert sich auch nicht merklich das darin befindliche Wasser durch Verdunstung.

Zum Auffangen des Schnees bedient man sich eines andern Gefäßes, welches sich unter der Oeffnung bis zum Querschnitte von 18 Zoll Seite erweitert, in seiner obern Oeffnung aber wieder nur 1 Pariser Quadratfuß mißt. Bei dieser Form lagert sich der Schnee sicherer ab, und ist weniger der Gefahr ausgesetzt, vom Winde fortgeführt zu werden.

Beim Gebrauche des Regenmessers zeigt sich noch eine bedeutende Unsicherheit, insofern die Höhe, in welcher er aufgestellt ist, einen auffallenden Einfluß auf das Resultat ausübt, und zwar findet man die Regenmenge um so kleiner, je größer diese Höhe ist. Dalton bemerkte schon, daß auf einem 150 Fuß hohen Thurme die Regenmenge im Sommer um ein Drittel und im Winter sogar um die Hälfte geringer war, als die, welche unten gemessen wurde. Eben so große Unterschiede hat man auch in York wahrgenommen, woselbst auf Veranlassung der *British Association* drei Regenmesser beobachtet wurden. Der erste stand auf einem ausgedehnten niedrigen Grasplatze im Garten des Museums, der zweite auf dem Dache des Gebäudes 43 Fuß 8 Zoll über dem ersten, und der dritte auf einer Rüstung über den Zinnen des Thurmes 212 Fuß 10 Zoll

über dem ersten Apparate. In den drei Jahren von 1832 bis 1835 betrug die Gesammthöhe des Niederschlages in dem ersten Regenschirm 65,43 in dem zweiten 52,17 und in dem dritten 38,97 Zoll. *)

Aehnliche Resultate haben auch die von 1818 bis 1837 auf der Terrasse und auf dem Hofe der Pariser Sternwarte angestellten Beobachtungen ergeben **). Der Höhenunterschied beider Stationen beträgt 89 Rheinl. Fufs, und die Niederschläge maßen durchschnittlich in Rheinl. Zollen

	in 1 Jahr	im Januar	im August
auf dem Hofe	21,88	1,45	1,81
auf der Terrasse	19,18	1,22	1,68
Unterschied	2,70	0,23	0,13.*

Um diesen Einfluß der Höhenlage möglichst zu beseitigen, werden die Regenschirme auf unsern Stationen 8 Fufs über den Erdboden gestellt. Dieses Maafß ist mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit beim Auffangen des Wassers gewählt worden.

Fragt man nach der Ursache dieser auffallenden Erscheinung, so deuten die einzelnen Messungen schon den großen Einfluß des Windes an. Die Unterschiede sind jedesmal um so größer, je heftiger der Wind während des Regens ist, doch bleiben sie auch bei ruhiger Luft noch merklich. Die Ablenkung der Tropfen von der lothrechten Richtung, die offenbar wegen des heftigern Windes in der größeren Höhe auch bedeutender ist, kann natürlich das Phänomen nicht veranlassen, indem der horizontale Abstand der Tropfen durch die schräge Richtung ihrer Bewegung nicht verändert wird. Dagegen ist hierbei gewiß der Umstand von großer Wichtigkeit, daß die Luft nicht mit aufgefangen wird. Indem sie dem Regenschirm ausweicht, so reißt sie eine Masse Wasser mit sich, und führt dieses seitwärts vorbei. Diese Wirkung kann auch in dem Falle nicht ganz verschwinden, wenn der Wind aufhört, oder wenn die Bewegung der Luft für das Gefühl unmerklich wird, denn die feinen Wassertheilchen, die nicht sichtbar herabfallen, sondern noch schwebend sich langsam senken, weichen wieder dem Regenschirm aus, und selbst wenn der Luftstrom ganz aufhören sollte, so können sie nicht so vollständig von dem Regenschirm aufgenommen

*) *Transactions of the association for the year 1835.*

***) *Annales des ponts et chaussées. 1842. I. pag. 187.*

12 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

werden, als sie über dem Erdboden sich ansammeln, und hier ungestört niedersinken.

Hierzu kommt noch eine andere Ursache. Bei der Abkühlung durch den Regen werden nämlich die von der Luft eingesogenen Wassertheilchen bis zum Sättigungs-Punkte frei, und bilden einen feinen Nebel, der vielleicht nicht sichtbar ist, aber an den hindurchfallenden Tropfen haftet und dieselben vergrößert. Die Wirkung wird um so bedeutender, als die in der Luft schwebende Wassermasse das spezifische Gewicht der Luft vergrößert, also der Wassergehalt in der Nähe des Erdbodens am größten ist.

Die vorstehend erwähnte Erscheinung bezieht sich allein auf den Fall, daß die verschiedenen Beobachtungen nahe in derselben Vertikale angestellt werden. Liegen die Beobachtungsorte dagegen meilenweit von einander entfernt, so ist die Regenmenge von andern Umständen abhängig. Nach einer Zusammenstellung*) einiger in England angestellten Messungen scheint die Regenmenge mit der Erhebung des Bodens zuzunehmen und etwa in der Höhe von 2000 Fufs über der See das Maximum zu erreichen, während sie in noch größerer Höhe wieder merklich geringer wird, was vielleicht davon herrührt, daß ein Theil der Wolken sich nicht so hoch erhebt.

§. 3.

Beobachtete Regenmengen.

Was die Resultate der vorstehend beschriebenen Messungen betrifft, so ergibt sich schon aus dem Gesagten, daß die Regenmenge durch verschiedene locale Verhältnisse bedingt wird, und daher nicht überall dieselbe ist. Aufserdem zeigen sich auch zwischen den an einem und demselben Orte angestellten Beobachtungen so große Differenzen, daß die in einem Jahre gefundene Regenmenge oft nur die Hälfte, zuweilen sogar nur den dritten Theil von der beträgt, die in einem andern Jahre eben daselbst gemessen wurde. Man kann daher nur aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen die durchschnittliche Menge des jährlichen Niederschlages eines Ortes ermit-

*) *The Civil-Engineer and Architect's Journal.* 1854. pag. 213.

3. Beobachtete Regenmengen. 13

teln, auch muß man bei Vergleichung verschiedener Orte möglichst dieselben Jahrgänge zum Grunde legen. Seitdem im Jahre 1848 die meteorologischen Stationen in Preußen und den angrenzenden Ländern unter Dove's Leitung eingerichtet sind, ist in dieser Beziehung bereits ein sehr schätzbares Material gesammelt worden, aus dem die nachstehenden Mittheilungen entnommen sind. *)

Die folgende erste Tabelle giebt die Höhe der jährlichen Niederschläge, in Rheinländischen Zollen ausgedrückt, für die 20 Jahre von 1848 bis 1867 an, wie solche in Tilsit, Königsberg, Stettin, Breslau, Frankfurt a. O., Berlin, Erfurt und Cöln gemessen wurden.

	Tilsit	Königsberg	Stettin	Breslau	Frankfurt a. O.	Berlin	Erfurt	Cöln
1848	17,8	24,1	18,8	18,0	20,4	23,0	24,1	28,7
1849	30,0	26,5	15,2	19,8	14,7	16,5	20,0	23,1
1850	27,6	28,9	19,9	23,4	23,3	23,8	21,5	23,9
1851	25,8	31,1	23,1	21,3	22,8	23,9	23,4	29,2
1852	30,4	22,7	18,8	14,4	22,6	24,0	20,2	27,2
1853	31,4	25,5	20,8	25,6	20,3	23,1	19,7	24,1
1854	23,5	27,4	19,9	34,2	26,2	24,0	20,8	27,5
1855	25,7	23,1	20,6	23,8	21,2	23,1	19,7	21,3
1856	19,1	24,7	22,5	16,7	24,2	18,0	18,9	15,3
1857	15,2	14,3	11,4	16,0	12,7	13,5	14,7	12,7
1858	17,4	12,7	14,4	22,7	20,3	16,8	19,3	21,3
1859	20,5	17,3	16,0	23,9	21,5	20,8	17,0	24,4
1860	23,5	21,2	16,4	23,8	21,8	25,0	22,7	35,1
1861	29,9	24,7	20,5	22,8	19,7	26,0	16,8	16,8
1862	24,2	18,4	21,3	19,9	18,5	18,5	25,0	25,6
1863	26,2	22,1	17,3	20,1	15,2	21,1	21,2	19,2
1864	24,9	26,7	17,2	17,0	18,4	20,8	17,4	16,0
1865	21,3	18,4	15,2	20,3	17,8	19,6	16,1	15,4
1866	37,0	23,4	21,4	21,2	20,5	—	17,4	22,5
1867	40,4	32,0	23,5	24,4	22,5	24,7	20,9	19,8
Mittel	25,6	23,3	18,7	21,5	20,2	21,4	19,8	22,5

Unter diesen Jahrgängen zeichnet sich 1857 durch besonders geringe, wie 1867 durch besonders starke Niederschläge aus. Im

*) Die letzte Publication ist im Jahre 1864 erfolgt in dem VI. Hefte der Preussischen Statistik, betitelt Witterungs-Erscheinungen des nördlichen Deutschlands von H. W. Dove.

14 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

August 1866 ist aber die Beobachtung der Regenhöhe in Berlin unterblieben.

Die folgende Tabelle enthält die an einigen andern Stationen in Nord-Deutschland beobachteten mittleren Regenmengen, gleichfalls in Rheinländischen Zollen ausgedrückt, worin zugleich in der zweiten Spalte die Anzahl der Jahre angegeben ist, aus denen das Mittel genommen worden. Die letzten Jahrgänge von 1864 ab, konnten dabei jedoch nicht berücksichtigt werden.

Beobachtungs-Orte	Jahre	Zolle	Beobachtungs-Orte	Jahre	Zolle
Arys	16	19,2	Mühlhausen	12	15,5
Danzig	8	19,8	Salzwedel	15	24,1
Conitz	10	18,0	Heiligenstadt	15	24,1
Posen	13	19,0	Wernigerode	5	25,5
Cöslin	15	22,9	Brocken	4	49,1
Putbus	10	20,1	Clausthal	9	55,8
Wustrow	11	13,7	Lüneburg	10	23,0
Rostock	10	15,5	Jever	7	26,8
Schwerin	10	21,6	Emden	11	26,2
Lübeck	10	20,0	Münster	11	25,9
Kiel	13	24,3	Paderborn	12	26,4
Ratibor	15	22,2	Gütersloh	15	26,6
Görlitz	16	25,9	Cleve	15	29,6
Landskrone	7	24,5	Crefeld	16	25,4
Potsdam	15	20,7	Boppard	16	25,3
Torgau	16	22,5	Kreuznach	13	18,3
Dresden	10	22,2	Trier	14	26,4
Freiberg	14	24,6	Giessen	11	25,0
Halle	13	19,2	Frankfurt a. M.	9	24,9
Gotha	12	23,5			

Es mögen hier noch einige Beobachtungen an verschiedenen Orten im südlichen Deutschlande, wie auch in andern Ländern und Erdtheilen hinzugefügt werden, die sich großentheils auf frühere Messungen beziehen.

Beobachtungs-Orte	Zolle	Beobachtungs-Orte	Zolle
Mannheim	21	Würzburg	14
Carlsruhe	25	Ulm	25
Stuttgart	27	Augsburg	36
Tübingen	24	Tegernsee	44

Beobachtungs-Orte	Zolle	Beobachtungs-Orte	Zolle
Regensburg	21	Oise in den Ardennen .	25
Prag	15	Pontoise an d. Mündung	
Wien	16	der Oise und d. Seine	16
Ofen	16	la Rochelle	25
Trient	33	Poitiers	22
Zürich	32	Mühlhausen im Elsaß .	30
Bern	43	Strasbourg	26
Lausanne	38	Metz	27
Genf	30	Cambray	17
St. Bernhard	59	Brüssel	17,9
Turin	25	Middelburg	25
Mailand	35	Breda	25
Mantua	29	Dortrecht	39
Verona	35	Rotterdam	21
Padua	35	Utrecht	23
Venedig	30	Haag	26
Triest	32	Amsterdam	24
Bologna	29	Dover	42
Rom	29	London	22
Palermo	21	Bristol	21
Lissabon	25	Liverpool	31
Bordeaux	24	Manchester	32
Pau (Pyreneen)	39	Lancaster	36
Toulouse	24	Kendal	49
Montpellier	30	Glasgow	20
Marseille	21	Edinburg	22
Algier	36	Carrickfergus in Irland .	38
Toulon	18	Copenhagen	17
Nimes	24	Lund	18
Joyeuse (im Département		Bergen	83
Ardèche)	48	Upsala	17
Niévre (ebendasselbst) . .	58	Stockholm	19
Settons (ebendasselbst an		Abo	24
der Quelle der Yonne)	60	Petersburg	17
im Thal der Yonne nimmt		Bombay	73
die Regenmenge ab, so		Rio Janeiro	56
dafs am Einflufs in die		Guadeloupe	122
Seine	20	Havannah	86
Quelle der Seine	32	Charlestown	55
Seine-Thal in der Cham-		New-Orleans	51
pagne	16	Philadelphia	44
Paris	20,1	Cincinnati	47
Mündung der Seine bei		Buffalo	39
Fatouville	30		

16 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

Die großen Unterschiede, welche die vorstehende Tabelle nachweist, erklären sich zum Theil durch die localen Verhältnisse der Beobachtungs-Orte, die ein Begegnen verschiedener Luftströme mehr oder weniger begünstigen. Die meteorologischen Schriften von Kämtz, Schübler, Dove und Andern enthalten hierüber das Nähere. Hier dürfte nur noch darauf aufmerksam zu machen sein, daß auf den höchsten Gebirgen, welche die Schneegrenze übersteigen, die Regenmenge wahrscheinlich noch bedeutender ist, insofern die vorüberstreichenden Luftmassen in ihrer Nähe sich viel stärker abkühlen und daher das darin enthaltene Wasser sich vollständiger ausscheidet. Die aus den Gletschern vortretenden Bäche bestätigen auch diese Vermuthung.

Die vorstehend nachgewiesenen Regenmengen sind keineswegs in dem ganzen Jahre gleichmäÙig vertheilt, vielmehr trifft im nördlichen Deutschlande, sowie auch meist in Frankreich der überwiegend größte Theil auf die Sommermonate. In folgender Zusammenstellung sind die auf jeden Monat treffenden Niederschläge für die bereits oben gewählten 8 Beobachtungs-Orte nach den 6 Jahrgängen von 1858 bis 1863 in Theilen des ganzen jährlichen Niederschlages angegeben.

	Tilsit	Königsberg	Stettin	Breslau	Frankfurt a. O.	Berlin	Erfurt	Cöln
Januar	0,051	0,066	0,053	0,051	0,056	0,065	0,040	0,070
Februar	0,056	0,061	0,061	0,058	0,063	0,064	0,051	0,062
März	0,047	0,053	0,050	0,047	0,060	0,058	0,054	0,066
April	0,064	0,042	0,077	0,052	0,074	0,077	0,097	0,082
Mai	0,070	0,066	0,092	0,082	0,106	0,095	0,113	0,093
Juni	0,123	0,103	0,121	0,104	0,117	0,125	0,120	0,101
Juli	0,128	0,100	0,126	0,165	0,149	0,143	0,162	0,107
August	0,121	0,126	0,141	0,185	0,112	0,100	0,099	0,113
September	0,094	0,126	0,073	0,097	0,066	0,062	0,076	0,078
October	0,093	0,100	0,073	0,048	0,060	0,067	0,081	0,080
November	0,084	0,088	0,073	0,053	0,075	0,070	0,062	0,069
December	0,069	0,069	0,060	0,058	0,062	0,074	0,045	0,079

Die mittleren relativen Werthe, sowie auch die auf jeden Monat treffenden absoluten Werthe, wenn die jährliche Regenmenge gleich 22 Zoll gesetzt wird, enthält die folgende Tabelle, darin sind aber noch die 5jährigen Beobachtungen von Nièvre und zwar von den Jahren 1844 bis 1848, sowie auch die Beobachtungen von Algier

3. Beobachtete Regenmengen. 17

nach 10jährigen Messungen aufgenommen, und namentlich zeigen die letzten eine wesentlich andere Vertheilung, als in unserm Klima.

	Nördl. Deutschland		Nièvre		Algier	
	relat.	absol.	relat.	absol.	relat.	absol.
	Höhe		Höhe		Höhe	
		Zolle		Zolle		Zolle
Januar	0,056	1,23	0,077	4,47	0,135	4,89
Februar	0,060	1,32	0,089	5,15	0,157	5,67
März	0,055	1,21	0,086	5,00	0,084	3,02
April	0,071	1,56	0,118	6,85	0,093	3,38
Mai	0,089	1,96	0,053	3,12	0,047	1,68
Juni	0,114	2,51	0,073	4,24	0,008	0,28
Juli	0,135	2,97	0,061	3,53	0,000	0,006
August	0,125	2,75	0,087	5,05	0,008	0,29
September	0,084	1,85	0,063	3,69	0,035	1,27
October	0,075	1,65	0,114	6,63	0,083	2,99
November	0,072	1,58	0,087	5,05	0,164	5,92
December	0,064	1,41	0,092	5,35	0,186	6,71
	1,000	22,00	1,000	58,13	1,000	36,11

In Algier hört sonach in den Monaten Juni, Juli und August, und namentlich im Juli der Regen beinahe ganz auf, woher die übermäßige und den Culturen so nachtheilige Dürre in den Sommermonaten sich erklärt, während die Niederschläge des ganzen Jahres reichlicher sind, als sie im nördlichen Deutschlande vorzukommen pflegen.

In den heißen Zonen ist im Allgemeinen die Vertheilung des Regens viel ungleichmäßiger, als in den gemäßigten. So fällt in Havannah mehr als der vierte Theil des ganzen jährlichen Niederschlages während des Monats Juni herab, und nach den in Bombay angestellten vieljährigen Beobachtungen regnet es daselbst während sieben Monaten, nämlich vom November bis Mai, gar nicht, und die sehr große Regenmenge stürzt nur vom Juni bis September herab.

Für den Wasserbau ist noch die Frage von großer Wichtigkeit, welche Wassermenge während eines und weniger auf einander folgenden Tage herabfällt. Diese Wassermenge ist im nördlichen Deutschland jedenfalls viel unbedeutender, als in den wärmeren Ge-

18 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

genden. So beobachtete man im Februar 1820 in Cayenne in 10 Stunden eine Regenmenge von $10\frac{1}{4}$ Zoll, und in 24 Tagen fielen 123 Zoll. Doch zeigen sich in Europa auch ähnliche Fälle. Am 9. October 1827 betrug der Niederschlag zu Joyeuse (Dep. de l'Ar-dèche) in 22 Stunden 29 Zoll 3 Linien. Am 25. October 1822 fielen zu Genua 30 Zoll und selbst im südwestlichen Deutschlande schlugen am 28. und 29. October 1820 in 36 Stunden $5\frac{1}{2}$ und $7\frac{1}{2}$ Zoll Regen nieder. Die in Berlin angestellten Beobachtungen zeigen, daß fast in jedem Jahre an einzelnen Tagen bis 1 Zoll Regen, und zuweilen sogar bis 1,4 Zoll beobachtet ist. Die früheren Königsberger Beobachtungen (mitgetheilt in den Beiträgen zur Kunde Preussens) geben zuweilen den täglichen Niederschlag auf mehr als $1\frac{1}{2}$ und am 11. August 1818 sogar zu $1\frac{3}{4}$ Zoll an.

§. 4.

Quantität der Verdunstung.

Wenn die Messung des Niederschlages schon in mancher Beziehung unsicher ist, so ist die der Verdunstung dieses noch in höherem Grade. Jenachdem das Gefäß, worin man die Verdunstung beobachtet, der Sonne und dem Winde ausgesetzt, oder so gestellt wird, daß es beiden entzogen bleibt, sind die Resultate so verschieden, daß die ersteren oft das Drei- und Vierfache der letzteren betragen. Dazu kommt noch der Einfluß der Höhe des Wasserstandes, denn es zeigt sich, daß die Verdunstung nicht nur von der Ausdehnung der Oberfläche, sondern auch von der Wassertiefe abhängt, und zwar wird sie größer, wenn die Tiefe zunimmt, vorausgesetzt, daß nicht etwa das flachere Wasser sich stärker erwärmt und deshalb auch stärker verdunstet. Endlich zeigt sich noch eine neue Schwierigkeit, wenn man die Resultate dieser Beobachtungen auf die Bestimmung der Wassermasse anwenden will, welche sich in den Quellen und Flüssen ansammelt. Die Erdoberfläche, welche nämlich den Niederschlag aufgenommen hat, verdunstet nur so lange, als der mit der Luft in Berührung stehende Theil derselben noch feucht ist, nach erfolgter Austrocknung geschieht dieses aber nur in dem Maasse, als die Feuchtigkeit sich von unten heraufzieht. Sonach ist die ver-

dunstete Wassermenge in höhern und trocknen Gegenden ohne Vergleich viel geringer, als das Atmidometer sie anzeigt, welches beständig mit Wasser gefüllt bleibt.

Das Atmidometer, oder der Apparat, womit die Verdunstung gemessen wird, besteht wieder in einem offenen Kasten von bekannter Grundfläche, bei dem man durch Nachwiegen oder Nachmessen die Höhe der Wasserschicht ermittelt, welche täglich daraus entweicht. Beim Gebrauche desselben kommt es besonders darauf an, es so zu stellen, daß es der Sonne und dem Winde nicht zu stark ausgesetzt ist, sondern ungefähr nur in dem Maafse, wie durchschnittlich der Erdboden. Durch eine angebrachte Bedachung muß man aber Regen und Schnee davon abhalten.

Die Anzahl der Beobachtungen dieser Art ist sehr beschränkt. Einige derselben mögen hier mitgetheilt werden, und zwar zunächst solche, die ohnfern der See, oder doch an Orten angestellt sind, welche zu den feuchteren gehören.

Orte.	Verdunstete Wassermengen.
la Rochelle	23,2 Zolle
London	23,8 -
Liverpool	35,7 -
Breda	23,2 -
Rotterdam	23,1 -
Stuttgart	22,9 -

Es stimmt für diese Orte die Verdunstung nahe mit dem Niederschlage überein, dagegen wird sie im Binnenlande gemeinhin größer. Sie beträgt

in Mannheim	73,0 Zolle
in Augsburg	60,0 -
in Bordeaux	59,1 -
in Marseille	85,8 -
in Poitiers	38,6 -
in Troyes	29,8 -

Die an drei verschiedenen Orten neben dem Canal von Bourgogne angestellten Beobachtungen, die einen Zeitraum von 6 Jahren umfaßten, ergaben dagegen durchschnittlich die Höhe der jährlich verdunsteten Wasserschicht nur gleich 22,4 Zoll, während die Höhe des Niederschlages in derselben Zeit 30,7 Zoll maafs. Dieselbe Er-

20 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

scheinung ist auch später an verschiedenen andern Orten in Frankreich beobachtet.

In der heißen Zone ist die Verdunstung bedeutend stärker, und besonders wenn der Wassergehalt der Luft nur geringe ist und von dem Sättigungspunkte weit entfernt bleibt, also wenn der Regen nur selten, vielleicht auch nie vorkommt. Man hat beobachtet, dafs in Cumana jährlich 130 Zoll verdunsten, in den Steppen Africa's steigt dieses Maafs sogar wahrscheinlich auf 300 Zoll.

Die Verdunstung ist augenscheinlich nicht während des ganzen Jahres dieselbe. An einzelnen Orten hat man tägliche Beobachtungen angestellt, und daraus für die verschiedenen Monate die mittlere tägliche Verdunstung gefunden. In Montmorency ist dieses in den 40 Jahren von 1765—1804 geschehen, in Liverpool während 4 Jahren.

Mittlere tägliche Verdunstung.

	Montmorency.	Liverpool.
Januar . . .	0,26 Linien	0,56 Linien
Februar . . .	0,41 -	0,73 -
März	0,70 -	0,98 -
April	1,00 -	1,28 -
Mai	1,24 -	1,63 -
Juni	1,38 -	1,72 -
Juli	1,64 -	1,92 -
August	1,60 -	1,94 -
September . .	1,04 -	1,27 -
October	0,64 -	0,95 -
November . . .	0,32 -	0,58 -
December . . .	0,25 -	0,56 -
Durchschnittlich	0,877 Linien	0,173 Linien.

Plieningen in Stuttgart stellte sowol über die tägliche Verdunstung, wie auch über den täglichen Niederschlag Messungen an, und fand die nachstehenden Resultate, von denen die ersteren aus den 15jährigen Beobachtungen von 1834 bis 1848 und die letztere aus den 24jährigen von 1825 bis 1848 hergeleitet sind.

4. Quantität der Verdunstung. 21

	mittlere Verdunstung	tägliche Niederschläge.
Januar . . .	0,19 Linien	0,48 Linien
Februar . . .	0,31 -	0,56 -
März . . .	0,55 -	0,61 -
April . . .	0,86 -	0,64 -
Mai . . .	1,28 -	0,83 -
Juni . . .	1,35 -	1,18 -
Juli . . .	1,33 -	0,98 -
August . . .	1,16 -	0,98 -
September . .	0,76 -	0,94 -
October . . .	0,44 -	0,69 -
November . .	0,31 -	0,78 -
December . .	0,21 -	0,51 -
Durchschnittlich	0,736 Linien	0,769 Linien.

Um für unsere Gegenden einigen Anhalt zu gewinnen, sind die in Berlin angestellten Beobachtungen für das Jahr 1833 in dieser Beziehung näher untersucht. Dieses Jahr ist gewählt, weil der Niederschlag in demselben ungefähr der Mittelzahl entspricht, und weil die Beobachtungen dieses Jahrganges noch etwas vollständiger, als die der andern sind. *) Nach den mitgetheilten Angaben, wobei jedoch 23 Tage fehlen, beträgt die Verdunstung im ganzen Jahr 26,0 Zoll. Von diesen treffen

	Anzahl der Beob. Tage.	mittlere tägl. Verdunstung.
auf den Januar . .	31	0,29 Linien
- - Februar . .	28	0,35 -
- - März . . .	31	0,50 -
- - April . . .	30	0,96 -
- - Mai . . .	26	2,05 -
- - Juni . . .	29	2,21 -
- - Juli . . .	19	2,08 -
- - August . .	29	1,22 -
- - September .	30	0,43 -
- - October . .	30	0,84 -
- - November .	29	0,37 -
- - December .	30	0,28 -
26,02 Zoll.		

*) Preussische Staatszeitung für 1833.

22 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

Wenn es statthaft ist, aus diesem einzelnen, und noch dazu unvollständigen Jahrgange einen Schlufs zu ziehn, so wäre für den vorliegenden Zweck die Folgerung wichtig, dafs für die hiesige Gegend die Verdunstung in den Monaten Mai bis Juli am stärksten ist und alsdann durchschnittlich an jedem Tage etwa 2 Linien beträgt, dafs sie aber, wenn der Regen am seltensten wird, unter eine Linie herabsinkt.

Endlich mufs hier noch der Beobachtungen erwähnt werden, welche Dalton in der Nähe von Manchester anstellte, um zu ermitteln, in welchem Verhältnisse die auf den Erdboden herabfallende Wassermenge theils verdunstet, theils offen abfließt und theils unterirdische Quellen bildet. *) Ein Gefäß von verzinnem Eisenblech, 3 Fufs hoch und 10 Zoll weit, wurde sowohl nahe über seinem Boden, als auch unter dem obern Rande mit Oeffnungen und Abflusrröhren versehen. Um das Verstopfen der untern Oeffnung zu verhindern, befand sich über dem Boden eine Kiesschicht, worüber frische Erde geschüttet war. Dieses Gefäß wurde so tief eingegraben, dafs die Oberfläche der Erde im Gefäße so hoch als die des umgebenden Bodens lag. Die beiden Abflusrröhren wurden aber nach andern Gefäßen geleitet, deren Inhalt man bequem untersuchen konnte. Zunächst wurde reichlich Wasser zugegossen, um die vollständige Tränkung der Erde hervorzubringen. Dieses Wasser floß durch beide Oeffnungen ab. Alsdann blieb der Apparat nur demselben Einfluß der Atmosphäre, wie der umgebende Boden, ausgesetzt, und nach einigen Monaten fing man an, die ausfließenden Wassermengen zu messen, während ein danebenstehendes Ombrometer die Regenmenge angab. Diese Beobachtungen wurden während der drei Jahre 1796—1798 fortgesetzt, doch erlitten sie nach kurzer Zeit insofern eine Aenderung, als die Erde im Gefäße sich setzte und der Abfluß durch die obere Oeffnung ganz aufhörte. Nach einem Jahr hatte sich im Gefäße ein Rasen gebildet, welcher indessen auf die Verdunstung keinen Einfluß zu haben schien. Die Resultate waren durchschnittlich für die einzelnen Monate folgende:

*) Gilbert's Annalen. Band 15, S. 266 ff.

	Höhe des aus- fließenden Wassers	Höhe des Nieder- schlages in dem Ombrometer	Differenz beider, oder Höhe der Verdunstung
Januar	1,45 Zoll	2,46 Zoll	1,01 Zoll
Februar	1,27 -	1,80 -	0,53 -
März	0,28 -	0,90 -	0,62 -
April	0,23 -	1,72 -	1,49 -
Mai	1,49 -	4,18 -	2,69 -
Juni	0,30 -	2,48 -	2,18 -
Juli	0,06 -	4,15 -	4,09 -
August	0,17 -	3,55 -	3,38 -
September . . .	0,32 -	3,28 -	2,96 -
October	0,23 -	2,90 -	2,67 -
November . . .	0,88 -	2,94 -	2,06 -
December . . .	1,72 -	3,20 -	1,48 -
Summa	8,40 Zoll	33,56 Zoll	25,16 Zoll.

Von der ganzen Regenmenge verdunsteten also ungefähr drei Viertheile, während nur ein Viertel abfloß, und zwar hörte dieser Abfluß oder die Speisung der Quellen in dem Sommer und Herbste beinahe ganz auf. Ein unmittelbar daneben aufgestelltes Atmidometer ergab den Werth der Verdunstung gleich 30 Zoll, während der beschriebene Apparat nur 25 Zoll dafür nachwies. Dieser Unterschied erklärt sich dadurch, daß das Erdreich oft so trocken wurde, daß seine Oberfläche nicht die Wassermenge enthielt, welche die Luft aufzunehmen fähig war.

§. 5.

Cisternen.

Da das Regen- und Schneewasser sich in ähnlicher Art aus der Luft ausscheidet, wie dieses im Helm der Destillirblase geschieht, so ist es sehr rein und eignet sich sonach vollständig zu den gewöhnlichen wirthschaftlichen Zwecken, und namentlich zur Zubereitung der Speisen und Getränke und zum Waschen. Aus diesem Grunde ist das Auffangen des Regenwassers in größerer oder geringerer Ausdehnung vielfach üblich. Wo andere reiche Quellen zu Gebote stehn, verwendet man indessen hierauf wenig Sorgfalt, und kaum wird dasselbst irgend eine bauliche Einrichtung zu diesem Zwecke getroffen.

24 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

Wenn dagegen der Boden entweder kein Wasser giebt, auch die Zuleitung von Quellen schwierig ist, oder wenn der sumpfige und vielleicht mit Seewasser durchzogene Grund alle Brunnen mit unbrauchbarem Wasser speist, so erhält die Auffangung und Aufbewahrung des Regenwassers solche Wichtigkeit, daß man bedeutende Anlagen zu diesem Zwecke macht. Diese sind die Cisternen, die man, wenn sie nur das Wasser der Dachrinnen aufnehmen, auch wohl Regensärge zu nennen pflegt. Sie bestehn aus wasserdichten überwölbten Bassins, die so tief im Boden liegen, daß weder der Frost, noch die Sommerwärme eindringt, und sind mit den nöthigen Vorrichtungen zur zweckmäßigen Zuleitung und Entnehmung des Wassers, sowie zur Reinigung versehen. Insofern die Speisung der Cisternen von der Quantität des Niederschlages abhängt, und diese wieder in den verschiedenen Jahreszeiten sehr verschieden ist, während der Verbrauch des Wassers ziemlich gleichmäßig erfolgt, so müssen die Cisternen den Bedarf von 3 bis 4 Monaten fassen können, und hieraus ergibt sich sowohl die nöthige Gröfse derselben, als auch die erforderliche Ausdehnung der Oberfläche, die das Wasser aufhängt. Es ist dabei jedoch nicht zu übersehn, daß die aufgefangene Wassermenge etwas geringer ist, als die wirklich niedergeschlagene, und dieses namentlich, wenn man nicht nur Dachflächen, sondern auch gepflasterte Hofräume benutzt, weil alsdann eine merkliche Quantität sich schon durch die Fugen des Pflasters in den Boden zieht.

Nichts desto weniger ist die auf solche Art gewonnene Wassermenge noch sehr bedeutend, und in unserm Klima würde der Bedarf für die gewöhnlichen häuslichen Zwecke durch Cisternen vielfach gesichert werden können. Wenn die aufgefangene Wassermenge auch nur einem Niederschlage von 12 Zoll entspricht, oder jährlich von jedem Quadratfuß Oberfläche nur ein Cubikfuß Wasser in die Cisterne fließt, während jeder Einwohner täglich $\frac{1}{2}$ Cubikfuß Wasser consumirt, was nach den spätern Mittheilungen für häusliche Zwecke gewöhnlich genügt, so würde eine Oberfläche von $1\frac{1}{4}$ Quadratruthen jedem Einwohner das nöthige Wasserquantum liefern. Nimmt man aber, wie Leslie gethan hat, den nothwendigen Bedarf eines Individuums nur zu $\frac{1}{5}$ Cubikfuß englisches Maafs oder sehr nahe 5 preussische Quart an, so liefern schon die Dachflächen das nöthige Wasser.

Wasserdichtigkeit ist bei einer Cisterne das erste Erforderniß,

und hierdurch wird zugleich die möglichste Solidität des Baues bedingt, denn wenn einzelne Theile sich setzen sollten, so würden die entstehenden Risse dem Wasser den Durchfluß gestatten. Aus diesem Grunde pflegt man dem Gewölbe, welches die Decke der Cisterne bildet, keine weite Spannung zu geben, sondern diese im Maximum auf 10 bis 12 Fufs zu beschränken, und dafür lieber, wenn eine gröfsere Breite erforderlich ist, mehrere überwölbte Räume, die unter sich in Verbindung stehn, neben einander anzulegen, wobei die Zwischenmauern die gemeinschaftlichen Widerlager bilden. Diese Anordnung stellt sich bei grofsen Cisternen auch gemeinhin als die wohlfeilste heraus.

Fig. 4 und 5 zeigen eine Cisterne von mittlerer Gröfse, welche durch die Rinnen eines geflasterten Hofes gespeist wird. *A* ist der Brunnen, in welchem das Wasser sich zunächst ansammelt. Derselbe ist oben mit einem Gitter verschlossen, um das Hineinfallen gröfserer Körper zu verhindern. Um Sand und andere schwere Stoffe, welche das Wasser mit sich führt, aufzufangen, steht er nicht an seinem Boden, sondern 1 bis 2 Fufs darüber mit der Cisterne in Verbindung, und läfst sonach das Wasser in seiner Oberfläche abfliefsen. Damit er von Zeit zu Zeit gereinigt werden kann, mufs er wenigstens 3 Fufs weit sein. Bei kleineren Cisternen, welche nur das Regenwasser der Dächer aufnehmen, pflegt man statt dieses Speisebrunnens ein kleines Bassin, der Seiger genannt, unter dem Abfallrohre anzubringen, welches einige Cubikfufs Wasser fafst, und von dessen oberm Rande die Zuleitungsröhre nach der Cisterne führt. Jedenfalls wird das Wasser, bevor es in die Cisterne tritt, noch durch ein zweites enges Gitter oder Drahtnetz geleitet, damit auch kleine schwimmende Körper zurückgehalten werden. Das Saugerrohr *B*, durch welches das Wasser aus der Cisterne gehoben wird, mufs möglichst weit von der Einflußöffnung entfernt sein, damit die feinem erdigen Stoffe nicht leicht zu demselben gelangen. Um durch die Pumpe alles Wasser ausheben und nöthigenfalls die Cisterne ganz trocken legen zu können, giebt man dem Boden eine schwache Neigung von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{200}$ und bringt längs der Stirnmauer, welche die niedrigste Seite des Bodens begrenzt, einen flachen Graben *D* an.

Behufs Reinigung der Cisterne wird noch eine 3 Fufs weite Einsteigeöffnung *C* angebracht, die am passendsten ihre Stelle neben der Pumpe findet, wodurch theils die Reparatur der letzteren und

26 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

theils die Reinigung des Bodens und die Herausschaffung des zusammengekehrten Niederschlages erleichtert wird. Diese Oeffnung ist mit einem Deckel geschlossen. Endlich pflegt man auch dafür zu sorgen, daß die Cisterne nicht bis zum Scheitel des Gewölbes sich anfüllen, und dadurch das letztere einem starken Drucke aussetzen kann. Zu diesem Zwecke geht ein Ableitungsrohr *E* entweder von der Cisterne selbst, oder noch besser von dem Speisebrunnen aus nach einer tiefern Stelle des Hofes.

Ueber die Construction der Cisterne ist wenig zu bemerken. Um das Durchdringen des Wassers durch die Mauern zu verhindern, müssen letztere aus hartgebrannten Steinen in gutem hydraulischem Mörtel ausgeführt werden. Außerdem wird der Boden gewöhnlich mit 3 Schichten flach gelegter Ziegel bedeckt, und zwar wenn der Baugrund fester Kies ist, kann man, wie die Figur andeutet, die untere dieser Schichten unmittelbar auf den sorgfältig geebneten Boden legen. Die Fugen derselben werden mit einem dünnflüssigen hydraulischen Mörtel ausgegossen, die zweite und dritte Schicht, die mit der ersten und unter sich einen guten Verband bilden müssen, legt man in ein Mörtelbette, und sorgt dafür, daß auch hier die Stosfugen nicht offen bleiben. Wenn dagegen der Baugrund einiges Setzen befürchten läßt, so muß der Boden der Cisterne eine größere Stärke erhalten. Bei der Cisterne zu Charlemont, die Bélidor *) beschreibt, bestand derselbe aus einem drei Fuß starken Mauerwerk, worüber jene drei Ziegelschichten noch gelegt wurden.

Nachdem das gesammte Mauerwerk der Cisterne mehrere Monate gestanden hat, und theils gehörig ausgetrocknet ist, theils aber sich vollständig gesetzt hat, so wird gemeinhin die ganze innere Oberfläche der Cisterne und des Brunnens, am Boden, an den Wänden und der gewölbten Decke, und ebenso auch von außen die flache Abdachung über dem Gewölbe mit einer Lage von sorgfältig zubereitetem und schnell bindendem hydraulischen Mörtel 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch überzogen. Damit dieser Ueberzug gut haftet, müssen vorher die sämmtlichen Fugen mit einem eisernen Haken etwa einen Zoll tief geöffnet und das Mauerwerk stark benetzt werden. Der Mörtel wird in kleinen Massen aufgetragen und mit einer schmalen flach convexen Kelle fest eingestrichen. Zur Ausfüllung der Unebenheiten,

*) *Science des Ingénieurs*, Buch IV. Cap. 12.

sowie der feinen Risse, welche sich nach einigen Tagen zeigen, wird eine zweite, jedoch viel dünnere Lage desselben Mörtels aufgebracht und gerieben, bis sie erhärtet. Dieses Verfahren muß so lange von Tage zu Tage wiederholt werden, bis keine Risse mehr zum Vorschein kommen. Die Quantität des aufgetragenen Mörtels muß aber, sobald die Risse feiner werden, auch immer abnehmen, so daß der dünne Mörtel zuletzt nur mit einem Pinsel aufgestrichen wird, doch wird das Einreiben auch alsdann noch fortgesetzt. Bei Anfertigung des Mörtelüberzuges über der äußeren Abdachung muß man durch Ueberdeckung mit Stroh das zu schnelle Austrocknen verhindern und an sehr heißen Tagen die Arbeit ganz einstellen. Endlich ist noch zu erwähnen, daß die Abdachung später gewöhnlich mit Kies beschüttet wird, um das Ansammeln des Wassers darüber zu verhindern.

Wenn der Ueberzug aus gewöhnlichem Mörtel besteht, den man aus fettem Kalke bereitet hat, so darf man die Cisterne nicht früher benutzen, als bis der letztere sich mit Kohlensäure gesättigt hat. Wartet man diesen Zeitpunkt nicht ab, so löst sich zunächst der Kalk im Wasser der Cisterne auf, und verdirbt dasselbe, worauf nach und nach die Mauern undicht werden. Bei einer neben Beaumont an der Oise ausgeführten Cisterne war diese Vorsicht unbeachtet geblieben, und man bemerkte bald, daß das Wasser in derselben sich in Kalkwasser verwandelte. D'Arcet liefs die Cisterne entleeren, möglichst austrocknen, und am Boden mehrere Feuerstellen durch Aufschütten von Asche und Einfassen mit Ziegeln einrichten. Hierin wurden alle Tage große Massen Holzkohlen verbrannt, während in der Nacht die frische Luft hinzutrat. Nach acht Tagen war der Ueberzug schon in kohlensauren Kalk verwandelt, doch setzte man das Verbrennen der Kohlen noch drei Tage fort. Alsdann wurde das Wasser hineingelassen, das sich auch vollständig rein erhielt.

Ist der Untergrund sehr wasserhaltig, so pflegt man denselben mit einer starken Thonschicht zu überdecken, die fest angestampft wird, und den Boden der Cisterne trägt. Nicht selten werden auch die Seitenmauern der letzteren in solchem Falle mit einem Thonschlage umgeben.

Die sehr großen und zum Theil mit auffallendem Luxus ausgeführten alten Cisternen in Constantinopel scheinen nicht sowol zum Auffangen des Regenwassers, als vielmehr desjenigen Wassers be-

28 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

stimmt gewesen zu sein, welches durch die Aquaducte vor dem Eintritt der trocknen Jahreszeit aus den Umgebungen der Stadt zugeführt wurde. *)

Als eine besondere Art von Cisternen verdienen noch die Brunnen in Venedig erwähnt zu werden. Der niedrige, vom Seewasser durchzogene Boden giebt kein brauchbares Wasser, und die weite Entfernung des festen Landes von nahe einer Meile erlaubte nicht eine Wasserleitung von dorthier einzurichten. Der Bedarf wurde also zum Theil in kleinen Fahrzeugen, die man in der Brenta füllte, beigebracht, doch waren diese keineswegs so zweckmäßig eingerichtet, wie jene, welche von der Vechte aus das Wasser nach Amsterdam bringen. Bei den letzten ist nämlich der Wasserraum vollständig abgeschlossen und verdeckt, und wird durch Klappen im Boden gefüllt, während mehrere Pumpen dazu dienen, das Wasser bequem und ohne Verunreinigung zu heben. In Venedig war diese, durch Fahrzeuge herbeigeführte Wassermasse nur unbedeutend gegen die, welche durch Auffangen des Regenwassers angesammelt wurde, und hierzu dienten eben die erwähnten Brunnen. Dieselben werden nicht nur durch den auf die Dächer niederschlagenden Regen gespeist, sondern auch durch das Wasser von den Strafsen und sogar durch Spühlig, das gewöhnlich in die Rinnen neben den Brunnen gegossen wird. Sie sind daher mit einer Vorrichtung zum Filtriren versehen, und dieser Umstand unterscheidet sie eben von den gewöhnlichen Cisternen. Es muß aber noch daran erinnert werden, daß das Sammelwasser von den Strafsen in Venedig nicht in der Art verunreinigt ist, wie in andern Städten, da es hier keine Pferde giebt. Die Einrichtung dieser Brunnen zeigt Fig. 6 im Durchschnitte. Man hebt die Baugrube so tief aus, wie dieses wegen des Wasserzudrangs möglich ist, und mindestens bis zu den fest abgelagerten und bereits stark comprimierten Erdschichten, die man in einer Tiefe von 10 Fufs vorfindet. Die Weite ist gleichfalls sehr verschieden, je nachdem man größere oder kleinere Wassermengen darin auffangen will. Der Grund wird mit einer etwa 1 Fufs hohen Lage fetten Thones sorgfältig ausgestampft und darüber ein wasserdichter Boden von gebrannten Steinen ausgeführt, der zugleich das Fundament der darauf stehenden Mauern bildet. Die äußere dieser

*) Wiener allgemeine Bauzeitung 1853. S. 56.

Mauern, welche entweder einen kreisförmigen, oder einen quadratischen Raum einschließt, und im ersten Falle theils senkrecht steht, theils nach außen überhängt, um den cubischen Inhalt des Brunnens zu vergrößern, muß in allen Theilen wasserdicht sein. Zu diesem Zwecke wird sie gleich bei dem Aufführen mit Thon hinterstampft. Sie erhebt sich so weit, daß ihre Deckplatten einen Theil des Straßenspflasters bilden. Der cylindrische innere Brunnenkessel ist im untern Theile, etwa 2 Fuß hoch, aus roh bearbeiteten Bruchsteinen mit offenen Fugen erbaut, damit das Wasser ohne Schwierigkeit hineindringen kann, weiter aufwärts ist er dagegen wasserdicht und aus gebrannten Steinen ausgeführt, und erhebt sich bis zur Höhe des Straßenspflasters. Er trägt als Einfassung gewöhnlich ein Corinthisches Capitäl aus weißem Marmor. Der Raum zwischen beiden Mauern wird mit reinem Flusssande bis etwa 5 Fuß unter dem Pflaster angefüllt, und nachdem derselbe mit reinem Wasser angegossen und angestampft ist, so daß man ein merkliches Setzen nicht mehr befürchten darf, so legt man als Boden und Fundament für einen kleinen Canal möglichst nahe an der äußern Mauer eine Lage Steinplatten mit offenen Stoszfugen. Hierüber wird aus gebrannten Steinen der zwei Fuß weite und drei Fuß hohe überwölbte Canal ausgeführt, von dem zwei oder vier gemauerte Röhren nach eben so viel durchlochten Steinen des Straßenspflasters hinaufführen. Der übrigbleibende Raum wird wieder mit reinem Sande ausgefüllt, worauf das Pflaster mit den Rinnen liegt, welche das Wasser zu den erwähnten durchlochten Steinen führen. Die Wirksamkeit des Brunnens ist diese, daß das hineinfließende Wasser sich zunächst in dem Canale ansammelt, und von hier langsam durch den Sand in den innern Brunnenkessel dringt. Bei einigen dieser Brunnen soll man auch den innern Kessel, soweit derselbe offene Fugen hat, mit Kohlen umschütten, um dadurch das Wasser noch vollständiger zu reinigen.

Diese Brunnen versiegen niemals ganz, indem der durchnäßte Sand auch während der größten Dürre noch einiges Wasser abscheidet, doch ist die Wassermenge zuweilen so geringe, daß morgens in sehr kurzer Zeit der ganze Vorrath, der sich während 24 Stunden angesammelt hatte, ausgeleert wird, und der Brunnen alsdann während des ganzen Tages geschlossen bleiben muß. Das ausgehobene Wasser ist klar und gewöhnlich von reinem Geschmack,

30 I. Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

so daß es zu allen häuslichen Zwecken benutzt wird, einen großen Uebelstand verursachen aber die selten wiederkehrenden sehr hohen Fluthen des Adriatischen Meeres, welche, indem sie die Straßen unter Wasser setzen, auch in die Brunnen treten und den Sand mit Salztheilchen anfüllen. Es bleibt alsdann nur übrig, den verunreinigten Sand und zugleich die Canäle auszuheben, und nachdem frischer Sand eingeschüttet worden, letztere neu aufzuführen. *)

Die Sandschüttung, durch welche sich der Venetianische Brunnen hauptsächlich von der gewöhnlichen Cisterne unterscheidet, gewährt nicht nur den Vortheil, daß das Wasser filtrirt, sondern dieses auch zurückgehalten wird, so daß es nur nach und nach in das eigentliche Sammelbassin oder den innern Brunnenkessel gelangt. Der letzte Umstand ist nicht minder wichtig, als der erste, denn während das Wasser sich in den Zwischenräumen des Sandes befindet, so ist es bei dessen geschützter Lage vor jeder Verunreinigung von außen, sowie auch vor der Bildung eines organischen Lebens im Innern gesichert, und da es nur in dem Maasse in den Brunnenkessel fließt, wie letzterer ausgeschöpft wird, so bleibt es nicht so lange darin, daß der Zutritt der Luft es daselbst verderben, oder daß Pflanzen und Thiere darin vegetiren könnten. Dieser Brunnen ist also ein fließender Quell, der ähnlich den natürlichen Quellen immer frisches Wasser giebt.

Man hat auch bei andern Cisternen die Vorrichtung angebracht, daß das eintretende Wasser durch Sandschüttungen geleitet wird, doch ist die Quantität des Sandes alsdann so geringe, daß sie nur wenig Wasser zurückhält und der größte Theil desselben sich in dem Reservoir ansammelt. Dieses ist z. B. in der ausgedehnten Cisterne in Livorno der Fall. Ein großes Bassin von etwa 21 Ruthen Länge und 18 Ruthen Breite, dessen gewölbte Decke von zwanzig Mittelpfeilern getragen wird, nimmt das gereinigte Wasser auf, während zwei mit Sand gefüllte Räume zur Seite, deren jeder nur den vierten Theil des Flächeninhalts vom Bassin faßt, als Filter dienen. **)

*) Die vorstehende Beschreibung beruht größtentheils auf Nachrichten, die ich in Venedig gesammelt habe. Die in der Wiener allgemeinen Bauzeitung Jahrgang 1836, wie in den Litteratur-Blättern derselben von 1861 und 1864 gemachten Mittheilungen stimmen hiermit ungefähr überein, indem sie noch verschiedene Details hinzufügen.

**) Förster's Allgemeine Bauzeitung. 1838. S. 165.

Zweiter Abschnitt.

Quellen und Brunnen.

§. 6.
Wassermenge der Quellen.

Aus den im ersten Abschnitte mitgetheilten Beobachtungen ergibt sich, dafs an vielen Orten im Laufe des Jahres eine gröfsere Wassermenge verdunstet, als die atmosphärischen Niederschläge liefern. Wäre daher hier der Erdboden ganz eben und wasserdicht, so dafs der Regen oder das Schneewasser unbeweglich an der Stelle bliebe, wo es niedergefallen, so würde daselbst keineswegs das Wasserquantum fortwährend zunehmen, sondern im Gegentheil würde es zuweilen vollständig verschwinden und der Boden würde ganz trocken werden.

Die Erdoberfläche ist indessen weder eben noch undurchdringlich. Das Regen- und Schneewasser fließt sogleich von allen, und selbst von schwach geneigten Anhöhen herab, und sammelt sich in den tieferen Stellen, also in Sümpfen, Teichen oder Bachbetten. Hier wird es von der Luft nur in einer geringeren Oberfläche berührt, als diejenige war, auf der es niederfiel, und sonach verdunstet es auch nur weniger, als wenn es nicht abgeflossen wäre. Andreerseits dringt das Wasser auch in den Boden ein, und wenn dieses bis zur Tiefe von etwa 1 Fufs oder darüber geschieht, so entzieht es sich vollständig der Verdunstung, bis es vielleicht an einer tiefer belegenen Stelle wieder als Quell hervortritt und mit der Luft aufs Neue in Berührung kommt. Dasjenige Wasser aber, welches die obere Erdschicht benetzt, bleibt der Verdunstung ausgesetzt, und in dem Maafse wie es verdunstet, steigt das darunter befindliche Wasser in Folge der Capillar-Attraction aus der Tiefe von etwa 1 Fufs wieder auf, und verdunstet gleichfalls nach und nach.

In dieser Weise entzieht sich ein großer Theil des Niederschlages der Verdunstung und speiset die Bäche, Ströme und Seen. Das

Verhältniß desselben zur ganzen Masse des Niederschlages hängt aber theils von der Neigung und theils von der Beschaffenheit des Bodens ab. Von steilen Abhängen eines festen Gebirges stürzt das Wasser ohne merklichen Verlust in das Bachbette hinab, in klüftigem Gebirge, wie in der Kreide, verschwindet es dagegen sogleich in den Spalten, woher die wenig ausgebildeten Bachbetten daselbst auch nur zur Zeit des stärksten Regens sich zu füllen pflegen. In den Ebenen sammelt sich das Wasser an, wenn nicht für eine schnelle Entwässerung durch Abzugsgräben künstlich gesorgt wird. Besteht der Boden dagegen aus Torf oder ist er mit Laub oder Moos überdeckt, so nehmen diese Stoffe das Wasser in großer Menge auf und schützen es gegen Verdunstung, während es durch die darunter befindlichen Sand- und Kiesschichten langsam abfließt und nie versiegende Quellen speist.

Wenn auch in früherer Zeit, als man die Wassermassen der Flüsse noch nicht gemessen hatte, diese einfachen Verhältnisse nicht erkannt, vielmehr die wunderbarsten Hypothesen über den Ursprung der Quellen aufgestellt wurden, so überzeugte sich doch schon Mariotte, daß die Seine nur etwa den sechsten Theil desjenigen Wassers dem Meere zuführt, das in ihrem Gebiete als Regen oder Schnee niederfällt.

Dalton stellte sich die Aufgabe, für die sämmtlichen Ströme und Flüsse in England und Wales diesen Vergleich durchzuführen. Wie sicher seine Messungen der Regenmenge indessen auch waren, so blieben die Schätzungen der Wassermengen der Ströme doch höchst zweifelhaft, indem für die Themse nur mittlere Tiefen und Geschwindigkeiten arbitrirt, und die andern Ströme sogar nur nach oberflächlicher Schätzung mit der Themse verglichen wurden. Das Resultat war, daß eine Wassermenge, welche der Höhe von 12 Zoll 7 Linien Rheinländisch entspricht, durch diese Ströme dem Meere zugeführt wird. *)

Für die Seine hat Arago **) eine Berechnung mitgetheilt, die jedenfalls größeres Vertrauen verdient. Hiernach werden an der Brücke unterhalb der Tuileries bei mittlerem Wasserstande 8248 Rhl. Cub. Fufs in der Secunde abgeführt, also während des Jahres 260120 Millionen Cub. Fufs, und der Flächenraum, auf dem das Wasser

*) Gilbert's Annalen, Band 15, S. 249 ff.

**) *Annuaire pour l'an 1834.* S.197 ff.

sich sammelt, hat eine Ausdehnung von 664,2 Deutschen Quadrat-Meilen. Die Höhe der durch die Seine abgeführten Wassermenge beträgt also 7 Zoll 1 Linie, oder sie kommt ungefähr dem dritten Theile des Niederschlages gleich.

Später hat Dausse *) die Höhe desjenigen Theiles des Niederschlages im Gebiete der Seine, der im Flusse abgeführt wird, aus den an der Brücke Tournelle in Paris angestellten Wasserstands-Beobachtungen hergeleitet. Letztere umfassen die dreißig Jahre von 1807 bis 1836. Auf Rheinländische Zolle reducirt ergab sich durchschnittlich diese Höhe

von Mai bis October	2,37 Zoll
von November bis April	4,41 -
also im ganzen Jahre	6,78 -

was mit dem von Arago gefundenen Resultate ungefähr übereinstimmt.

Ich habe versucht, für einige Ströme in Preußen dieses Verhältniß zu ermitteln, und wenn die Resultate auch nicht den Grad von Sicherheit haben, den man bei allen Untersuchungen zu erreichen wünscht, so dürften sie doch den eben mitgetheilten nicht an Genauigkeit nachstehn. Welche Ausdehnung ein Stromgebiet hat, worauf das Wasser sich sammelt, das an einer bestimmten Stelle des Flusses vorbeigeführt wird, läßt sich auf jeder guten Charte genau genug nachmessen. Wie groß die Regenmenge ist, kann man aus der obigen Tabelle, wenn auch nicht ganz sicher, doch wenigstens annähernd entnehmen. Viel schwieriger ist aber die Frage zu beantworten, welche Wassermenge der Strom durchschnittlich abführt. Eine genaue Messung derselben ist schon bei kleinem Wasser und schwacher Strömung sehr zeitraubend und umständlich, bei hohen und den höchsten Wasserständen, die oft ganz unerwartet eintreten und nicht lange anhalten, ist sie aber kaum mit einiger Sicherheit auszuführen. Eine Zusammenstellung aller verschiedenen Wassermengen, die während des ganzen Jahres abgeführt werden, woraus man die mittlere finden könnte, läßt sich sonach nicht machen, und man muß voraussetzen, daß beim mittlern Wasserstande der Strom auch die mittlere Wassermenge abführt. Der mittlere Wasserstand ist überall, wo Pegelbeobachtungen regelmäfsig angestellt

*) *Annales des Ponts et Chaussées* 1842. I. pag. 200.

werden, leicht zu finden. Ich habe in den folgenden Rechnungen denselben allein aus dem Jahre 1833 hergeleitet, da die mittlere Höhe sowohl der Wasserstände, als der atmosphärischen Niederschläge, in diesem Jahre ziemlich nahe gleich kommt den aus mehreren Decennien hergeleiteten arithmetischen Mitteln. Hiernach bestimmten sich die Wasserstände, für welche man die zugehörigen Wassermengen suchen muß, doch trafen die wenigen, meist zu anderem Zwecke angestellten Messungen der Wassermengen nicht auf diese Pegelstände, und es kam daher zunächst darauf an, zu untersuchen, in welchem Maasse die Wassermenge bei höherem oder niedrigerem Stande sich vergrößert oder verkleinert. Hierzu würde eine einfache Interpolation genügen, wenn gröfsere Reihen von Messungen bei verschiedenen Wasserständen vorgelegen hätten, doch war dieses allein bei der Weser der Fall, für alle übrigen Ströme konnte ich nur einzelne Messungen zum Grunde legen.

Wenn auch die neuern Messungen zu einer ganz andern Beziehung zwischen der mittleren Geschwindigkeit und dem Gefälle der Ströme geführt haben, als man bisher annahm *), so haben dieselben dennoch bestätigt, dafs bei gleichem Gefälle die mittlere Geschwindigkeit der Quadratwurzel aus der mittleren Tiefe proportional ist. Indem aber auch die Wassermengen bei gleicher Breite des Flußbettes wieder den Producten aus den mittleren Geschwindigkeiten in die mittleren Tiefen proportional sind, so folgt, dafs bei verschiedenen Wasserständen die Quadrate der Wassermengen zu den dritten Potenzen der mittleren Tiefen in constantem Verhältnisse stehn. Die beiden eingeführten Voraussetzungen sind freilich in aller Strenge nicht richtig, aber sie rechtfertigen sich wohl, wenn der Wasserstand, bei dem die Wassermenge gemessen wurde, demjenigen ziemlich nahe liegt, auf den man letztere reduciren will. Man erhält hiernach die dem mittleren Wasserstande entsprechende Wassermenge

$$M' = \left(\frac{h + a}{h} \right)^{\frac{3}{2}} M$$

wo M die beobachtete Wassermenge für die mittlere Tiefe h , und $h + a$ die mittlere Tiefe beim mittleren Wasserstande bedeutet. Eine

*) Ueber die Bewegung des Wassers in Strömen. Abhandlungen d. Kgl. Academie der Wissenschaften. Berlin 1868.

Vergleichung der hiernach berechneten Resultate mit den an der Weser wirklich beobachteten zeigte, daß die Abweichungen nicht bedeutend sind, woher man mit einigem Vertrauen sich dieses Ausdrucks bedienen kann.

Die folgende Tabelle weist die Resultate der sieben Messungen nach, die mir vorlagen. In der zweiten Spalte derselben ist die Ausdehnung des Flußgebietes nur soweit angegeben, als die Zuflüsse den Strom schon oberhalb des Beobachtungsortes treffen. Die letzte Spalte zeigt aber an, wieviel Zolle hoch das ganze Flußgebiet von demjenigen Theile des jährlichen Niederschlages bedeckt wird, welchen der Fluß abführt.

	Aus- dehnung des Fluß- gebietes	Wasser- menge beim mittleren Wasser- stande	Mittlere Wasser- menge pro Quadrat- meile	Höhe der abgeführten Wasser- menge
	Quadrat-M.	Cubik-F.	Cubik-F.	Zolle.
1) Der Rhein bei Emmerich	2800	76000	27,2	17,8
2) Der Rhein bei Coblenz, oberhalb der Mosel- Mündung	2000	43000	21,5	14,1
3) Die Ems bei Rheine . .	65	600	9,3	6,1
4) Die Weser b. Schlüssel- burg	370	7100	19,2	12,6
5) Die Weichsel b. Schwetz	3400	34000	10,0	6,6
6) Die Weichsel oberhalb der Montauer Spitze	3500	24000	6,9	4,5
7) Der Pissek b. Johanns- burg	35	330	9,4	6,2

Es ergibt sich hieraus wieder, daß auch in diesen Fällen die abgeführte Wassermenge bedeutend kleiner, als der jährliche Niederschlag ist, es zeigen sich dabei aber wesentliche Unterschiede, die man keineswegs als Beobachtungsfehler ansehen kann, sie geben vielmehr, übereinstimmend mit der obigen Auseinandersetzung, zu erkennen, daß die Wassermenge, welche aus Gebirgsgegenden den Strömen zugeführt wird, bedeutender ist, als diejenige, welche eine gleiche Oberfläche des ebenen Landes liefert.

Ueber die einzelnen Beobachtungen muß noch bemerkt werden, daß

- No. 1. zwar nur auf einer einzelnen Messung beruht, die aber bei einem Wasserstande angestellt wurde, der dem mittleren sehr nahe war.
- No. 2. gründet sich auf eine einzige Messung bei sehr niedrigem Wasser, das aus ihr gezogene Resultat verdient sonach wenig Vertrauen.
- No. 3. liegen mehrere Messungen zum Grunde, die jedoch in allen Details nicht mehr bekannt sind.
- No. 4. bezieht sich auf mehrere Beobachtungen, die vor etwa 20 Jahren bei verschiedenen Wasserständen mit Sorgfalt angestellt wurden.
- No. 5. und 6. liegen wieder nur einzelne Messungen zum Grunde, die aber bei Wasserständen gemacht sind, welche nicht viel unter dem mittleren waren.
- No. 7. ist endlich auf eine Messung basirt, die ich bei einem Wasserstande, der dem mittleren sehr nahe kam, ausgeführt habe.

In neuester Zeit sind über denselben Gegenstand sehr interessante Untersuchungen theils bereits angestellt, theils auch eingeleitet worden. Namentlich muß die Einrichtung des hydrometrischen Büreaus für das Seine-Gebiet (*service hydrométrique du bassin de la Seine*) erwähnt werden, die 1854 erfolgte*). Für die Seine selbst, sowie für deren sämtliche Zuflüsse werden nämlich sowol die täglichen Wasserstände, mit Bezeichnung der Reinheit des Wassers, wie auch die täglichen Niederschläge aufgezeichnet, und in großem Maasstabe graphisch dargestellt. Indem jeder Tag durch die Länge von einem Millimeter (0,46 Rheinl. Linie) bezeichnet ist, die Wasserstände aber im hundertsten Theile und die Niederschläge in der vollen Gröfse angegeben sind, so lassen sich alle Maafse aus diesen Scalen mit hinreichender Sicherheit entnehmen, während die verschiedene Färbung der Wasserstände zugleich die Reinheit des Wassers bezeichnet und die Formation des Bodens durch die beigedruckten Bemerkungen namhaft gemacht wird. Es mag hier nur bemerkt werden, daß nach den Scalen von 1866 wieder der stärkste Niederschlag bei Settons im Departement Nièvre gemessen wurde und derselbe am 24. September 3 Zoll 10 Linien betrug.

Auch die Wassermengen andrer Ströme sind sowol für das

*) *Annales des Ponts et Chaussées* 1857. I. pag. 257.

ganze Jahr, als bei besonders hohen oder niedrigen Wasserständen in neuerer Zeit ermittelt.

Die Oder führt bei Steinau *) jährlich ungefähr den dritten Theil des Niederschlages im Stromgebiete ab, nämlich 5,75 Zoll.

Die Weser soll **) zur Zeit des kleinsten Wassers bei Münden 4,7 und unterhalb der Aller-Mündung nur 4 Cubikfuß von jeder Quadratmeile ihres Gebietes in der Secunde abführen, zur Zeit des höchsten Wassers dagegen an denselben Stellen 347 und 282 Cubikfuß von der Quadratmeile. Oberhalb der Mündung der Hase führt die Ems beim niedrigsten und beim höchsten Wasserstande von jeder Quadratmeile ihres Gebietes in der Secunde 3,1 und 415 Cubikfuß ab.

Für die nachstehend benannten Flüsse in Frankreich sollen die abgeführten Wassermengen zur ganzen Regenmenge in folgendem Verhältnisse stehn ***):

bei der Yonne (in der Lias-Formation) zu l'Auxois 0,65 : 1

bei der Saône zu Trévoux 0,53 : 1

bei der Garonne oberhalb Marmande 0,65 : 1 und

bei der Seine oberhalb Paris 0,28 : 1.

Ferner ist zu erwähnen, dafs die Cure bei ihrer Mündung in die Yonne bei Settons nach 5jährigen Beobachtungen während der Sommermonate Juni bis October 0,44 und während der andern 7 Monate 0,98, durchschnittlich im ganzen Jahre aber 0,74 des gesammten Niederschlages abführt. †)

Endlich sind noch die Resultate der von Humphreys und Abbot in dieser Beziehung angestellten Beobachtungen mitzutheilen. Für den ganzen Mississippi stellt sich das Verhältnifs der jährlich abgeführten Wassermenge zum Niederschlage auf 0,25 während es bei einigen Nebenflüssen, wie dem Missouri und Arcansas nur 0,15 bei andern dagegen wie beim Yazoo und St. Francis 0,90 beträgt.

Sehr wichtig sind bei diesen Strömen noch die Verhältnisse zwischen den beim kleinsten und höchsten Stande abgeführten Wassermengen. Bei Columbus, nahe unterhalb der Mündung des Ohio,

*) Zeitschrift für Bauwesen 1868. Seite 90.

**) Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins in Hannover 1849. Seite 234.

***) *Annales des Ponts et Chaussées* 1860. I. pag. 154.

†) *Annales des Ponts et Chaussées* 1853. II. pag. 161.

trat der höchste Wasserstand bei 40,7 Fufs am Pegel den 18. Juni 1858 ein, der niedrigste dagegen am 16. October desselben Jahres bei 3,5 Fufs. Die Differenz betrug also 37,2 Fufs Engl. oder 36,2 Rheinländisch. Die Wassermengen betragen in beiden Fällen nach den dort üblichen Messungsmethoden 1 403 400 und 128 670 Engl. Cubikfufs in der Secunde. Sie verhalten sich daher zu einander, nahe wie 11 : 1.

In Vicksburg dagegen, das $4\frac{1}{2}$ Grade südlicher liegt und wo inzwischen mit vielen andern kleineren Flüssen noch der Arcansas hinzugetreten ist, fand in demselben Jahre der höchste Stand von 48,2 Fufs am 24. Juni und der niedrigste von 8,7 Fufs am 25. October statt. Der Unterschied der Wasserstände betrug also 39,5 Fufs Englisch oder 37,1 Fufs Rheinländisch. Die größte gemessene Wassermenge wird aber nur zu 1 244 500 Cubikfufs Engl., also geringer, wie bei Columbus angegeben, die kleinste dagegen zu 233 329 Fufs. Das Verhältniß beider stellt sich auf 5,4 zu 1.

In Corrollton dicht oberhalb New-Orleans, woselbst die Messungen im Jahre 1851 gemacht wurden, erreichte der Mississippi die größte Höhe von 14,8 Fufs am 17. März und sank am 20. October auf 1,6 Fufs herab. Die Differenz der Wasserstände betrug also nur 13,2 Fufs Engl. oder 12,8 Rhl. Fufs, und das Verhältniß der größten Wassermenge zur kleinsten war wie 4,2 zu 1.

Dafs bei einem so großen Stromgebiete, wie dem des Mississippi, welches etwa 18 Breitengrade umfaßt, die abgeführte Wassermenge viel gleichmäßiger bleibt, als in einem kleineren Flusse, dessen ganzes Gebiet leicht von demselben Regen getroffen wird, ist erklärlich, und ebenso auch die andre Erscheinung, die sich aus den vorstehenden Messungen ergibt, dafs nämlich kleinere Flüsse und Bäche, besonders in festem Gebirge, das Regenwasser viel vollständiger aufnehmen und abführen als größere im flachen Lande. Je länger das Wasser mit der Luft in Berührung bleibt, um so stärker verdunstet es, und je weiter es fließt, um so mehr findet es auch Gelegenheit, die anliegenden Flächen zu durchdringen und auf denselben wieder zu verdunsten.

§. 7.

Quellenbildung.

Nachdem im Vorstehenden nachgewiesen ist, daß selbst kleinere Flüsse nicht die ganze Regenmenge abführen, die in ihrem Gebiete niederschlägt, so fehlt jede Veranlassung, noch andere Erklärungen für den Ursprung der gewöhnlichen Quellen zu suchen. Nichts desto weniger mögen diese dennoch mit wenig Worten erwähnt werden, da sie zum Theil auch in die hydrotechnischen Werke übergegangen sind.

Descartes, und nach ihm Silberschlag, betrachtete die Quellen als Producte einer Destillation. Das Meer soll in die feste Erdmasse eintreten und bis zu derjenigen Tiefe versinken, wo die Temperatur den Siedegrad erreicht. Hier verflüchtigt sich das Wasser und schlägt an der kalten Oberfläche nieder, von wo es durch zufällige Spalten oder Kiesschichten abfließt. Diese Hypothese wird nicht nur durch keine Erscheinung bestätigt, sondern auch durch die Temperatur des Quellwassers widerlegt, die in der Regel mit der mittleren Temperatur des Erdbodens übereinstimmt.

Noch unhaltbarer und augenscheinlich auf einem Irrthume beruhend ist die Voraussetzung, daß das Wasser in Folge der Capillar-Attraction bis zu den höchsten Gebirgen ansteigt und von hier frei abfließt. Selbst in dem feinsten Material, wo also die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnchen möglichst enge sind, erhebt sich das Wasser wohl niemals höher, als etwa 2 Fufs, es füllt aber nur eben die Zwischenräume und wird durch die Capillar-Attraction in diesen zurückgehalten. Legt man einen Schwamm in ein Gefäß mit Wasser, so saugt er das letztere mehrere Zoll hoch an und füllt sich damit in seiner ganzen Höhe, bringt man darin aber eine weite Höhlung an, die nicht bis unter die Oberfläche des umgebenden Wassers herabreicht, so bleibt diese ganz leer.

Endlich ist noch in neuerer Zeit, namentlich in Folge mancher auffallenden Erscheinungen an Artesischen Brunnen, die Vermuthung ausgesprochen, daß im Innern der Erde große Wassermassen durch darüber liegende undurchdringliche, aber doch flexible Schichten einem starken Drucke ausgesetzt sind, in Folge dessen die Quellen bis zur Oberfläche und selbst darüber hinaus ansteigen. Abgesehen von

der vorausgesetzten eigenthümlichen und höchst unwahrscheinlichen Beschaffenheit solcher Schichten widerlegt sich diese Hypothese dadurch, daß die Quellen in solchem Falle nach und nach immer schwächer werden und endlich ganz versiegen müßten. Wenn aber hin und wieder bemerkt worden, daß bei Artesischen Brunnen das Wasser im ersten Momente höher aufspritzt, als später, so erklärt sich dieses leicht aus dem größeren Drucke, dem das stehende Wasser ausgesetzt ist, und der sich vermindert, sobald ein Ausfluß eröffnet wird. Diese letzte Erscheinung kann aber ebensowol durch den hydrostatischen Druck, wie durch den einer auf dem Wasser ruhenden Erdmasse veranlaßt werden.

Die Bildung der gewöhnlichen Quellen erklärt sich in der einfachsten Weise dadurch, daß der atmosphärische Niederschlag in den Erdboden eindringt, und dem Gesetze der Schwere folgend sich abwärts bewegt, so lange er leere Räume findet, die er anfüllen kann. Wird seine Bewegung aber entweder durch eine wasserdichte Schicht oder dadurch unterbrochen, daß die feinen Zwischenräume der lockern Erd- oder Sandschicht bereits vollständig gefüllt sind, so fließt er seitwärts ab, indem er stets demjenigen Wege folgt, der ihn am meisten abwärts führt. Doch auch hier würde die Bewegung durch die vollständige Füllung der Räume bald unterbrochen werden, wenn nicht irgendwo ein Ausfluß sich eröffnete, und zwar an einer Stelle die tiefer liegt, als diejenige, in der das Wasser sich angesammelt hat. Auf solche Art tritt das Wasser durch Sand- und Kiesschichten oder auch wohl durch klüftiges Gestein meist an dem Fusse einer Anhöhe als Quell wieder hervor, und bei dem langen Aufenthalte im Erdboden nimmt es die Temperatur desselben an.

Da die wasserleitenden so wie die undurchdringlichen Erdschichten im aufgeschwemmten Boden sich ganz zufällig und sonach höchst unregelmäßig abgelagert haben, so kann es nicht fehlen, daß die unterirdischen Wasserläufe zuweilen in eigenthümlicher Weise sich bilden, also vielleicht bis zu großer Tiefe herabsinken und alsdann wieder ansteigen, indem sie ringsumher bis zur Ausmündung von undurchdringlichen Schichten eingeschlossen werden. So wurde auf der sehr niedrigen Insel zwischen beiden Pregel-Armen in Königsberg vor etwa 30 Jahren ein Artesischer Brunnen ausgeführt, der zwar nur eine sehr kleine Quantität Wasser lieferte, die jedoch einige Fufs hoch über dem Erdboden ausfloß. Dieses Wasser mußte unbedingt

von einer Anhöhe, also wahrscheinlich von dem nicht weit entfernten nördlichen Pregelufer zufließen, aber es mußte auf diesem Wege den Stromarm passieren, der 20 Fufs tief ist, und zwar ohne mit demselben in Verbindung zu stehn, weil es sich sonst wegen des geringeren Gegendruckes in ihn ergossen hätte.

Auffallender ist noch das Phänomen, welches Poussin erwähnt, daß nämlich vor der Mündung des Mississippi Salzquellen in der Höhe von $7\frac{1}{2}$ Fufs über dem mittleren Stande der See, also noch einige Fufs über dem Hochwasser, austreten. Mehrfach findet man auch sonst am Seestrande, und zwar vor flachen Ufern, Brunnen die süßes Wasser enthalten, also mit der See nicht in Verbindung stehn, vielmehr nur durch die unterirdischen Zuflüsse aus den Dünen gespeist werden.

Die verschiedenen Erdschichten, welche theils das Wasser zurückhalten, theils dasselbe aufnehmen und zugleich eine mehr oder minder gehemmte Durchströmung gestatten, verdienen noch eine eingehende Betrachtung. Die Gartenerde, im gewöhnlichen compacten Zustande, wie sie in Folge der vegetabilischen Zersetzungen einen großen Theil der Oberfläche bedeckt, befeuchtet sich zwar durch den darauf fallenden Regen, doch dringt derselbe, wie schon Seneca bemerkte, nur bis zu sehr geringer Tiefe in sie ein. De la Hire überzeugte sich durch verschiedene Messungen, daß selbst ein lange anhaltender Regen nie tiefer, als etwa 1 Fufs, eindringt. Hiernach scheint der atmosphärische Niederschlag, der eine starke Lage dieser Erde trifft, nicht unmittelbar zur Quellenbildung beitragen zu können, sondern soweit er nicht eingesogen wird, über der Oberfläche abzufließen, wobei er freilich beim Begegnen von Sandschichten später in diese eindringen kann. Es muß aber gleich erwähnt werden, daß vielfach die Quellen, welche man in der Tiefe von mehreren hundert Fufs angetroffen hat, nach starkem Regen oder nach dem Schmelzen des Schnees kräftiger werden, als sie sonst sind. Namentlich beim Bergbau ist diese Erfahrung oft gemacht worden. So bemerkt man in den Gruben von Cornwallis, daß wenige Stunden nach einem starken Regen die Grubenwasser zunehmen. Dasselbe hat man auch in den Kohlenzechen an der Ruhr wahrgenommen. Es ergibt sich hieraus augenscheinlich, daß selbst solche tiefliegende Quellen dem Regen ihren Ursprung verdanken.

Auf welche Art das Wasser in den Boden eindringt und an

den tiefern Stellen der Erdoberfläche wieder zum Vorschein kommt, kann bei kiesigem und sandigem Grunde nicht zweifelhaft sein. Jenachdem die Zwischenräume, die sich darin vorfinden, gröfser oder kleiner sind, und jenachdem der Weg kürzer oder länger ist, so erfolgt das Durchdringen auch mit gröfserer oder minderer Schnelligkeit. Füllt man eine oben und unten offene Glasröhre, die auf eine Metallplatte gestellt ist, mit Sand und giefst Wasser hinein, so wird letzteres schnell in den Sand eingezogen, und man bemerkt, dafs der Sand durchnäfst wird. War die Wassermenge nicht hinreichend, um allen Sand bis zum untern Ende der Röhre zu benetzen, so erfolgt keine Bewegung des Wassers, dasselbe wird vielmehr durch die Capillar-Attraction so fest im Sande gehalten, dafs die Wirkung der Schwere sich nicht zu erkennen giebt. Die vollständige Benetzung des Sandes erfolgt, wenn $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ von dem Volum des Sandes an Wasser zugegossen sind. Ein stärkerer Zusatz kann weder aufgenommen noch gehalten werden, die Capillar-Attraction setzt seiner Bewegung auch kein weiteres Hindernifs entgegen, und erlaubt den einzelnen Wassertheilchen, der Wirkung der Schwere zu folgen, so lange andere an deren Stelle treten, und nur die letzten hält sie mit ihrer ganzen Kraft zurück. So geschieht es, dafs das Wasser, welches in den erwähnten Apparat nach der vollständigen Benetzung des Sandes noch zugegossen wird, aus der untern Oeffnung der Röhre hervorquillt. Wenn man aber umgekehrt das Wasser von unten in die mit trockenem Sande gefüllte Röhre eindringen läfst, so wird der Sand bis zu einer gewissen Höhe benetzt, aber weiter zieht sich kein Wasser hinein, weil die Capillar-Attraction nur bis zu einer bestimmten Grenze wirksam bleibt und eine andere Kraft nicht vorhanden ist, um das Wasser noch höher steigen zu lassen. Auf solche Art stellen sich zwei verschiedene Wasserspiegel, die durch zwischenliegende Sand- oder Kiesmassen von einander getrennt sind, nach und nach in gleiches Niveau. Hierauf beruht die Ansammlung des Wassers im Kessel des Venetianischen Brunnens, und ebendaher ist es auch so schwierig, im Sandboden einen Wasserstand zu halten, der höher oder niedriger als der des Grundwassers ist. Liegt letzteres bedeutend unter der Oberfläche des Erdbodens, so ist die Ableitung des Tagewassers nach einer niedrigeren Gegend überflüssig, indem selbiges sich schon in den Boden einzieht und verschwindet. Dieses eindringende Wasser ist jedoch selten

ganz rein, gewöhnlich schweben darin feine Thon- und Humustheilchen, die es mehr oder weniger trüben. Diese Theilchen dringen gleichfalls in die Zwischenräume zwischen den Sandkörnchen, aber bald finden sie den Weg so verengt, dafs sie stecken bleiben. Sie scheiden sich alsdann vom Wasser aus, oder dieses wird filtrirt und erscheint in dem Quell, den es speist, vollkommen klar. Die Zwischenräume in derjenigen Sandschicht, in welche das trübe Wasser zunächst eintritt, verstopfen sich indessen nach und nach, und der Boden verliert dadurch die Fähigkeit das Wasser aufzunehmen, wenn auch das Grundwasser viel tiefer liegt. Um ein niedriges Terrain, das in dieser Weise versumpft ist, wieder trocken zu legen, mufs man die dünne undurchdringliche Schicht durchstechen und zwar an der tiefsten Stelle, wo die Ansammlung des Wassers vorzugsweise erfolgt. Solche Gruben, die zuweilen ihren Zweck sehr befriedigend erfüllen, nennt man Schling- oder Senkgruben. Sie pflegen indessen sich bald zu verstopfen und werden alsdann unbrauchbar, man kann ihre Dauer jedoch sichern, wenn man sie von Zeit zu Zeit nicht nur aufgräbt, (wodurch sie immer tiefer werden würden, bis man sie endlich verlassen müfste) sondern dafs man nach dem jedesmaligen Ausheben der verunreinigten Sandschicht eine eben so starke Lage reinen Sandes hineinbringt. Die an den Filtrir-Apparaten gemachten Erfahrungen zeigen nämlich, dafs die feinen Erdtheilchen nur wenig Zolle tief in den Sand einzudringen pflegen.

Die mächtigen Ablagerungen des aufgeschwemmten Bodens, welche den grössten Theil der Erdoberfläche bedecken, sind entweder Niederschlag des stehenden, oder doch nur wenig bewegten Wassers, welches die darin schwebenden Thontheilchen fallen liefs, und stellen alsdann eine für das Wasser mehr oder weniger undurchdringliche Schicht dar, oder sie bestehn aus Geschieben, Kies und Sand, die sich im Bette eines mehr oder weniger heftigen Stromes abgelagert haben. Im letzten Falle bildet sich eine wasserleitende Schicht, und dieses geschieht auch, wenn anhaltender Wellenschlag eine frühere Ablagerung traf und alle feinen Erdtheilchen auswusch. Die Verhältnisse bleiben aber keineswegs immer unverändert. Die Umgestaltung des Bodens wird Veranlassung, dafs wasserleitende Schichten von undurchdringlichen überdeckt werden und umgekehrt, wie dieses in Flufsthälern, worin die Ufer nicht vollständig gesichert

sind, auch noch geschieht. Auf diese Art ist eine mannigfache Abwechselung der beiden Gattungen von Schichten entstanden, und in Rücksicht auf die Quellen bildet sich eine noch grössere Verschiedenheit dadurch, daß diese Schichten nicht immer horizontal liegen und oft scharf abgeschnittene Grenzen haben.

Eine wasserleitende Schicht, welche an ihrem obern Ende das Regenwasser aufnimmt, bildet einen natürlichen Quell, wenn sie am untern Ende wieder die Erdoberfläche trifft, erreicht sie jedoch nicht die Erdoberfläche, und bleibt sie des Wasserdruckes ungeachtet mit einer undurchdringlichen Schicht bedeckt, so wird diese, wenn sich auch kein eigentlicher Quell darin bildet, doch immer feucht und deshalb häufig unfähig zur Cultur sein. In solchem Falle befand sich die kleine Besetzung Princetorp in Warwick, wo Elckington den ersten Versuch zur Trockenlegung der Felder machte, und wo er seine Wirksamkeit begann, die bald darauf weit und breit in Anspruch genommen und später auf Veranlassung der Gesellschaft zur Beförderung des Ackerbaues durch Johnston beobachtet und bekannt gemacht wurde. Der thonige Untergrund war dort beständig vom Wasser durchzogen, und die Gräben, die man anlegte, verfehlten ihren Zweck, indem kein Wasser hineinfließ. Elckington hatte als letzten Versuch noch einen sehr tiefen Graben ausheben lassen, der aber, gleich den früheren, sich nicht mit Wasser füllte. Als er jedoch absichtslos seinen Stock in die Sohle des Grabens tief hineinstieß, erreichte er zufällig die wasserleitende Kiesschicht, und ein starker Quell sprudelte mit Heftigkeit hervor, worauf das Feld trocken wurde.

Erreicht man durch Graben oder Bohren solche Schichten, so füllen sich die Brunnen mit Wasser an, und wenn die Höhenlage es gestattet, so fließen diese Brunnen über. Auch diejenigen Kiesschichten, denen ein natürlicher Abfluß nicht ganz fehlt, sind zur Speisung von Brunnen geeignet, und können sogar fließende Brunnen bilden, wenn das Wasser auf dem neuen künstlichen Wege leichter entweicht, als durch den früheren natürlichen Abfluß.

Manche Kiesschichten haben am obern Ende keinen natürlichen Zufluß, während sie unten geöffnet sind. Wenn in solche zufälligerweise Wasser eindringt, so werden sie dieses leicht aufnehmen und abführen. Dasselbe geschieht auch in andern Schichten, wenn die Capacität des Abflusses größer ist, als die zugeführte Wassermenge.

Dieses sind die absorbirenden Schichten, die sehr geeignet sind, einen Zweck zu erfüllen, welcher dem der gewöhnlichen Brunnen gerade entgegengesetzt ist. Bei den Entwässerungsanlagen, die Elckington ausführte, benutzte er zuweilen auch solche absorbirende Schichten, und stürzte das Wasser unmittelbar aus der Kiesschicht, die es zuführte, durch ein Bohrloch in eine darunter befindliche absorbirende Schicht. Auch bei Brunnenanlagen zeigen sich häufig Schichten der letzten Art. Auf dem hohen Ufer der Samländischen Küste in Ost-Preussen, nahe an der See, besteht unter andern ein achtzig Fufs tiefer Brunnen, der zwar immer Wasser enthielt, aber im Gebrauche unbequem war. Man glaubte, durch weitere Vertiefung reichhaltigere Quellen zu eröffnen und den Wasserspiegel zu heben, doch war der Erfolg gerade ein entgegengesetzter, man traf auf eine absorbirende Schicht, und der Brunnen versiegte ganz. Aehnliche Beispiele ereignen sich nicht selten, wo dergleichen abwechselnde Schichten vorkommen.

Bisher ist nur von wasserleitenden und undurchdringlichen Schichten die Rede gewesen, doch giebt es ausserdem noch vielfache Abstufungen zwischen beiden. Zu diesen gehört auch der feine Sand, der wegen der Art, wie er das Wasser ausfliessen läst, eine besondere Erwähnung verdient. Er kann bei seiner Ablagerung verschiedene Grade von Dichtigkeit annehmen. Wird die Schüttung mit grosfer Vorsicht und recht leise ausgeführt, so dafs die einzelnen Körnchen sich möglichst sanft niederlegen, so lassen sie gröfsere leere Räume zwischen sich, die auch später durch blofsen Druck nicht zu beseitigen sind, weil der reine Sand nicht comprimierbar ist. Wenn dagegen eine Erschütterung erfolgt, so lagern sich die einzelnen Körnchen dichter, wobei ein starkes Setzen eintritt. Dieses Setzen erreicht bei ganz trockenem Sande niemals die äufserste Grenze. Träufelt man nämlich Wasser darauf, so vermindert sich noch merklich der cubische Inhalt. Dagegen kann man bei starker Benetzung und durch heftiges Umrühren auch wieder den allerlockersten Zustand der Schüttung darstellen und die Körnchen so übereinander legen, dafs sie sich gegenseitig eben nur stützen und bei dem leisesten Stofse zusammen fallen. Ich nahm rein ausgewaschenen trockenen Seesand und schüttete ihn durch einen Trichter vorsichtig in ein cylindrisches Gefäfs von $1\frac{3}{4}$ Quadratzoll Grundfläche. Die Höhe der Schüttung betrug 6,92 Zoll. Darauf stampfte ich den

Sand durch wiederholtes Einstoßen eines Drahtes so lange, bis der Draht endlich den Sand nicht mehr durchdringen konnte. Jetzt betrug die Höhe nur noch 6,37 Zoll. Die Dichtigkeit hatte also ungefähr um $\frac{1}{2}$ zugenommen. Durch vorsichtiges Hinzutröpfeln von Wasser, wobei die Luft aus den Zwischenräumen des Sandes vollständig entwich, konnte ich eine Quantität Wasser, die einer Höhe des Cylinders von 2,16 Zoll entsprach, hineinbringen, und indem ich den Sand von Neuem stampfte, betrug seine Höhe nur noch 6,17 Zoll. Das Volum hatte also wieder um $\frac{1}{8}$ abgenommen. Ein fernerer Zusatz von Wasser sammelte sich an der Oberfläche, doch zog er sich beim Umrühren wieder in die dadurch entstehenden Zwischenräume ein, und es war auf solche Art sogar möglich, im Ganzen 3 Cubikzoll Wasser in den Sand zu bringen. Die Höhe des Gemenges betrug alsdann 7,42 Zoll, woher eine gewisse Quantität Luft durch das Umrühren hineingekommen sein mußte.

Die Festigkeit, sowie die Eigenschaft, das Wasser durchzulassen, sind bei diesen verschiedenen Arten der Ablagerung des Sandes sehr verschieden. Compact geschüttet und benetzt widersteht der Sand einem starken Drucke, während die letzterwähnte lose Schüttung dem geringsten Eindrucke nachgiebt. Beide Erscheinungen zeigen sich häufig sehr auffallend an sandigen Meeresufern. Ein niedriger Seestrand, der bei vorhergehenden Stürmen von starkem Wellenschlage getroffen wurde, und noch nicht austrocknete, zeigt eine Festigkeit, die man sonst nur auf chausvirten Wegen findet. Die Wagenräder rollen darüber, ohne eine Spur zu hinterlassen, und kaum erkennt man die Stellen, wo der Pferdehuf aufschlug. Wenn dagegen durch das Steigen des Grundwassers, wie etwa beim Anschwellen der See, aus niedrigen Sandflächen das Wasser aufquillt, alsdann bildet sich jener gefährliche und leicht bewegliche Boden, der unter dem Namen des Triebandes bekannt ist, worin zuweilen Reisende und noch häufiger Pferde und Vieh verunglücken. Am interessantesten ist die Erscheinung des Triebandes, wenn derselbe schon vor einigen Wochen sich gebildet hat und das Wasser von seiner Oberseite verschwunden ist, so daß diese wieder trocken liegt. Man erkennt solche Stelle an ihrer vollkommen horizontalen Lage und an der Abwesenheit jeder Vegetation. Betritt man sie, so fühlt man ein sanftes Schwanken des Bodens, das bei heftigem Auftreten und Springen aber so bedeutend wird, daß Flächen von

mehreren Ruthen merklich auf und niederschwingen. Zu lange darf ein solcher Versuch nicht fortgesetzt werden, sonst bricht der Boden. Man kann aber leicht auch ohne gewaltsames Einbrechen den Trieb- sand verschwinden lassen, um ohne Gefahr darüber zu gehen, man darf nämlich nur eine Stange wiederholentlich einstossen, so quillt das Wasser mit Heftigkeit heraus und der Sand lagert sich fester. Wenn Pferde oder Menschen hineingerathen, so erfolgt auch augenblicklich das Ausscheiden des Wassers. Es spritzt bei dieser Gelegenheit sogar in starken Strahlen herauf, und der Sand lagert sich um den darin steckenden Gegenstand so fest, daß eben dadurch das Herauskommen für Pferde und Vieh ohne fremde Hülfe unmöglich wird. Die Oberfläche bedeckt sich bei dieser Gelegenheit mehrere Zoll hoch mit Wasser, und in weitem Umkreise verschwindet die Gefahr vor einem ähnlichen Einsinken. Bis zu welcher Tiefe der Trieb- sand sich bildet, wird man daraus entnehmen, daß Pferde nicht selten so tief hineinstürzen, daß der Sand über ihrem Rücken zusammenschlägt und nur der Kopf frei bleibt. Auf der Frischen Nehrung habe ich selbst diese Erfahrung gemacht.

Wenn der Sand fest gelagert ist, so dringt das Wasser durch denselben zwar hindurch, doch geschieht dieses weit langsamer, als wenn die Sandkörnchen eine lose Stellung wie im Trieb- sande eingenommen haben. Erfolgt die Durchströmung von oben nach unten, so wird der lockere Zustand bald aufgehoben und es bildet sich eine feste Ablagerung, im umgekehrten Falle verwandelt sich dagegen die feste Ablagerung in eine lose. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man eine Röhre in ein Glas stellt und letzteres rings um die Röhre mit feuchtem Sande so fest anfüllt, daß man einen Draht nur mit Mühe hineinstossen kann. Gießt man darauf in die über den Sand vortretende Röhre Wasser, so daß dieses von unten nach oben den Sand durchdringen muß, um sich ins Gleichgewicht zu setzen, und läßt man es mit dem Drucke von einigen Zollen auf den Sand wirken, so verschwindet sehr schnell die frühere Festigkeit, und jener Draht, den man zuvor nur mit Mühe hineinbringen konnte, sinkt von selbst zu Boden.

Dieser Versuch dürfte in den meisten Fällen die Entstehung des Trieb- sandes erklären, doch giebt es noch eine andere Veranlassung zur Bildung desselben. Die feste Ablagerung des trocknen Sandes beruht nämlich theils auf der hinreichend sichern gegensei-

tigen Unterstützung und theils auf der Reibung der einzelnen Körnchen. Bei einer geringen Benetzung tritt die Wirkung der Capillar-Attraction noch hinzu, welche den gegenseitigen Druck und sonach die Reibung vermehrt. Wird aber das Wasser so reichlich zugesetzt, daß die Capillar-Attraction aufhört, wie dieses geschieht, wenn man trocknen Sand in ein mit Wasser gefülltes Gefäß schüttet, wobei augenscheinlich ein Körnchen nicht mehr an dem andern haftet, so ist die Reibung geringer, als sie bei der trocknen Schüttung war, indem das Wasser sogar wie eine Schmiere wirkt. Diese Verminderung der Reibung beim Zutritt des Wassers bemerkt man sehr deutlich, wenn man die stärksten Böschungen mist, die trockner Sand und Sandschüttungen unter Wasser annehmen. Für jenen reinen Seesand fand ich im trocknen Zustande die stärkste Neigung gegen den Horizont gleich $35\frac{1}{2}$ Grade, während er unter Wasser sich nicht steiler, als auf 29 Grade stellen liefs.

Endlich wird der Triebsand auch noch erzeugt, wenn Sandmassen in stehendes Wasser geweht, oder durch Bäche hineingespült werden. Die drei verschiedenen Ursachen, die ich angeführt habe, scheinen indessen noch nicht zu genügen, um die Auflockerung des Sandes bis zu der Tiefe zu erklären, in welcher der Triebsand zuweilen vorkommt, und man muß wohl die Voraussetzung machen, daß an manchen Stellen der Sand seine lockere Beschaffenheit seit seiner ersten Ablagerung beibehalten hat. Dieses ist derjenige Triebsand, den man bei allen Bauten mit Recht fürchten muß, und man wird ihn erkennen, wenn Pfähle mit Leichtigkeit hineindringen, ohne daß eine Senkung des Wassers in der Baugrube vorgenommen ist, dagegen verwandelt sich auch die festeste Ablagerung in Triebsand, sobald man durch Senkung des Grundwassers die Quellen gewaltsam in der Richtung von unten nach oben hindurchtreibt. Ein fortgesetztes Pumpen kann daher sehr nachtheilige Folgen haben, und einen an sich guten Baugrund vollständig verderben. Man muß daher im sandigen Boden mit der Anwendung von Schöpfmaschinen äußerst behutsam sein, und keine starke Senkung des Grundwassers längere Zeit hindurch erzwingen wollen. Das Anwachsen der Quellen und eine sehr bemerkbare zunehmende Unzulänglichkeit der Pumpen pflegt in solchem Falle auch gewöhnlich zu zeigen, daß die Quellen immer mehr den Grund verschlechtern.

Aehnliche Verhältnisse, wie in dem aufgeschwemmten Boden,

zeigen sich auch in den Gebirgsformationen, und die Bildung der Quellen ist hier zuweilen noch viel auffallender, insofern einige Gebirgsarten dem Wasser einen weit leichteren Durchfluß gestatten, als Kiesablagerungen. Namentlich ist dieses bei manchen Sandsteinen und besonders beim klüftigen Kalk der Fall. In letzterem bilden nicht nur die ursprünglichen Spalten ein zusammenhängendes Netz von offenen Fugen, sondern diese werden auch fortdauernd durch das hindurchfließende Wasser erweitert, und so entstehen vollständige Wasserleitungen und sogar weit ausgedehnte unterirdische Bach- und Flußbetten. Die weiten Höhlen, die man mitunter auf stundenlange Entfernungen verfolgt hat, gehören wenigstens theilweise hierher. Einige derselben werden noch durch starke Bäche durchströmt, wie die Höhle im Thale des Caripe in Peru und manche Höhlen im Adelsberge in Illyrien. Bei andern sind freilich die Oeffnungen nicht so groß, daß man sie verfolgen könnte, aber dennoch zeigt sich hin und wieder die Erscheinung, daß auch größere Körper mit dem Wasser aus dem Boden treten, woraus sich ergibt, daß der unterirdische Lauf ohne Unterbrechung eine entsprechende Weite haben muß. So kamen aus dem Bohrloche bei Tours Saamen von Sumpfpflanzen, Dornenzweige von etwa 1 Zoll Länge, Stücke Wurzeln, kleine Muscheln und dergleichen aus einer Tiefe von 350 Fufs herauf. Durch andere Brunnen sind lebende Fische ausgeworfen, auch hat man beim Abbohren Artesischer Brunnen häufig bemerkt, daß plötzlich das Gestänge des Bohrers herabsank. Zu Fontainebleau geschah dieses bis auf 24 Fufs, oder die Höhle, die man anbohrte, hatte diese Höhe, und hier, wie in andern Fällen, bemerkte man ein fortgesetztes Schwingen des Gestänges, welches sich nur dadurch erklären läßt, daß das untere Ende desselben in einen heftigen Strom eintauchte.

Das Vorhandensein solcher Ströme giebt sich aber auch sehr deutlich durch die großen Wassermassen zu erkennen, die in manchen Fällen theils vom Boden verschluckt werden und theils aus demselben wieder hervorbrechen. Ein Beispiel hiervon war schon im frühesten Alterthume bekannt. Der Kephissos in Bötien ergießt sich in den Kopaischen See, ohne daß letzterer einen offenen Abfluß hat, nichts desto weniger schwillt der See keineswegs fortwährend an, sondern im Gegentheil verschwindet er im Sommer beinahe ganz, und es zeigen sich alsdann in dem Boden, der zur Kalkfor-

mation gehört, fünf Abzugsöffnungen, die zum Theil so geräumig sind, daß man hineingehn kann. Aus eben so vielen Ausflusmündungen kommt das verschluckte Wasser wieder zum Vorschein, vier derselben liegen östlich in der Entfernung von 3 bis 4 Meilen am Ufer der Meerenge von Negropont, eine fünfte befindet sich in der Nähe des Kopaischen Sees, und der Fluß, der daselbst entspringt, führt wieder den Namen Kephissos. Diese natürlichen Abzüge verhindern indessen nicht vollständig die höheren Anschwellungen des Sees, und so hat man schon in der frühesten Zeit zwei künstliche Entwässerungstollen angelegt, die jedoch gegenwärtig verschüttet sind. Auch der See Phonia in Morea hat keinen offenen Abfluß. Je nachdem der unterirdische Abzugsgraben geöffnet ist, oder nicht, wechselt auch der Spiegel des Sees, und zwar in solchem Maasse, daß er in neuerer Zeit 300 Fufs höher stand, als früher *).

Besonders gehört hierher der Zirknitzer See in Illyrien, dessen plötzliches Anschwellen und gänzliches Versiegen schon lange ein Gegenstand der Aufmerksamkeit der Physiker gewesen ist. Er liegt in einem rings umschlossenen Bergkessel der Krainer Alpen, ungefähr zwei Meilen östlich von der Kuppe dieses Gebirges, die unter dem Namen des Schneeberges bekannt ist. Seine Ausdehnung wird verschieden angegeben, und ist ohne Zweifel von dem jedesmaligen Zustande der Ausflus-Oeffnungen abhängig, sie scheint $1\frac{1}{2}$ bis 2 Quadratmeilen zu betragen. Das Bette und die Ufer des Sees bestehn aus Kalkfelsen, worüber ein starker Niederschlag aus Thon und vegetabilischer Erde sich gebildet hat. An manchen Stellen ist jedoch der Kalkboden entblößt, und man bemerkt darin eine große Anzahl von kleinen Oeffnungen. Auch befinden sich am Umfange des Sees eine Menge Höhlen, in welche man zum Theil bis 100 Fufs herabsteigen kann. Alle diese Oeffnungen treten beim Anwachsen und beim Versiegen des Sees in Thätigkeit. Ihre Anzahl, oder vielmehr die Zahl der Hauptgruppen beträgt zwischen 40 und 50. Einige derselben werfen Wasser aus, andere saugen es ein, und die meisten üben in verschiedenen Zeiten beide Functionen aus. Im Allgemeinen werfen die Oeffnungen an der östlichen Seite vorzugsweise das Wasser aus, und die an der westlichen verschlucken es. Bei trockner Jahreszeit fließen auch ungefähr in dieser Richtung

*) Poggendorff's Annalen der Physik. Band 38, Heft 2.

manche Quellen über den Boden des Sees hin. Es ist also wahrscheinlich, daß die Quellen vom Schneeberge gespeist werden. Das Anschwellen und Abfließen des Sees erfolgt sehr unregelmäßig. Im Allgemeinen pflegt zwar der See im Frühjahr trocken zu werden, doch geschieht dieses keineswegs in jedem Jahre und oft bleibt er zwei bis drei Jahre gefüllt. Von 1707 und 1714 wurde er gar nicht trocken, in manchen Jahren füllt er sich dagegen auch gar nicht an. Das Anschwellen erfolgt nie anders, als nach anhaltendem Regen, oder beim Schmelzen eines starken Schneefalls. Alsdann füllt sich aber häufig in wenig Stunden der See, so daß Leute, die sich gerade darauf befinden, kaum Zeit haben, das Ufer zu erreichen. Einzelne Höhlen am Ufer werfen bei dieser Gelegenheit große Wassermassen aus, aber auch die Oeffnungen am Boden werden wirksam, und es spritzen aus denselben mitunter hohe Wasserstrahlen als natürliche Springbrunnen hervor. Das Abfließen des Sees erfolgt immer viel langsamer, und selbst unter günstigen Umständen nur in der Zeit von 14 Tagen. Auch hierbei sind einzelne Höhlen besonders thätig, und indem das Wasser denselben zuströmt, führt es große Massen Schilf und Rohr, Baumstämme und Fischernachen und überhaupt alle schwimmenden Körper mit sich, welche sich über den Oeffnungen ablagern und dieselben verstopfen. Aus diesem Grunde scheint im Allgemeinen die Höhe der Anschwellung immer zuzunehmen, wenigstens zogen sich die culturfähigen Aecker sonst tiefer in den See, als in späterer Zeit.

Die Veranlassung zu dieser merkwürdigen Erscheinung kann keine andre sein, als eine starke Strömung unter der Erdoberfläche. Bei mäßigem Zuflusse entspricht das unterirdische Bette der Wassermenge, bei Anschwellungen dagegen verbreitet sich die Inundation bis über die Oberfläche und füllt den See. In den äußeren Höhlen findet man auch, wenn der See leer ist, große Wasserbecken und zum Theil selbst fließendes Wasser. Diese unterirdischen Bassins sind mit Fischen belebt, die beim Anschwellen des Sees in denselben treten. Die unterirdischen Strömungen geben sich noch auf andere Art zu erkennen, namentlich durch das Einstürzen der Oberfläche, welches erfolgt, sobald die Höhlen sich zu stark verbreiten. Besonders merkwürdig ist auf der westlichen Seite des Sees nach Adelsberg zu im Kamienzwalde ein tiefer Trichter, worin der Strom auf eine kurze Strecke offen fließt und zum Betriebe einer Säge-

mühle benutzt wird. Die vielen Grotten und Felsbrücken im Adelsberge verdanken diesen Strömungen gleichfalls ihre Entstehung, und ebenso werden dadurch auch die Flüsse gespeist, die in das Adriatische Meer ihren großen Wasserreichthum ausgießen. Es scheint indessen, daß ein Theil der Wassermenge des Zirknitzer Sees auch nach dem Norden fließt, denn die Laibach und andere Zuflüsse der Sau bilden sich aus sehr ergiebigen Quellen, die aus dem Kalkboden hervortreten. *)

Die Orbe, welche am Fusse des Jura im Waadtlande entspringt, durchströmt den größeren Lac de Joux und dicht unterhalb desselben den kleinern See gleiches Namens. Sobald sie aus diesem heraustritt, verschwindet sie vor einem Kalkfelsen und erscheint etwa eine halbe Stunde davon am Fusse einer nackten Felswand wieder. Die Oeffnungen, aus welchen sie hier hervorbricht, liegen 680 Fufs unter dem Spiegel jenes Sees. Der Zusammenhang beider Flüsse war schon früher nicht zweifelhaft, doch gab er sich im Jahre 1776 auf eine sehr augenfällige Weise zu erkennen. Die Abzugsöffnungen hatten sich nämlich damals stark verstopft, so daß der kleinere See zum Nachtheil der umliegenden Ländereien bedeutend anschwell. Um diesen Uebelstand zu beseitigen und um eine gründliche Reinigung der Schlinggruben vorzunehmen, durchdämmte man die Orbe zwischen beiden Seen. Der größere See schwoll darauf stark an, durchbrach den Damm und stürzte sich mit Heftigkeit in den kleineren. Bei dieser Gelegenheit wurde das Wasser der unterhalb entspringenden Orbe, welches sonst immer klar ist, stark getrübt. **)

Manche Fälle dieser Art kommen auch im nördlichen Deutschland vor, so entspringt unmittelbar in dem Weserufer, Dölme gegenüber, in dem Kohlenkalksteine ein so kräftiger Bach, daß derselbe sogleich eine Mühle, die Steinmühle, treibt. Die Oeffnung des Felsens, aus welcher er hervorbricht, ist unmittelbar neben dem Mühlrade.

Besonders verdienen die Quellen der Lippe und Pader in der Umgegend von Paderborn Erwähnung. Die folgenden Angaben über die Reichhaltigkeit beziehn sich auf Messungen, die ich im Sommer 1839 zu einer Zeit anstellte, als es zwar einige Tage hindurch stark

*) T. Gruber's Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts aus Krain. Wien 1781.

**) Poggendorff's Annalen. Band XVI. S. 595.

geregnet hatte, jedoch die Wasserstände in den Flüssen und Bächen nur einem mittleren Sommerwasserstande entsprachen. Die Pader, die bei Neuhaus in die Lippe fällt, entspringt am Fusse der Anhöhe in Paderborn, worauf der Dom steht. Die Strafsen in dem untern Theile der Stadt werden etwa 6 Zoll hoch von dem Wasser bedeckt, welches an beiden Seiten unter den erhöhten Trottoirs und unter den Häusern hervorbricht. Auf einem Flächenraume von 50 bis 60 Ruthen Länge und 40 Ruthen Breite sammelt sich eine Wassermasse, welche im Stande ist, zehn unterschlächtige neben einander liegende Mühlräder zu treiben. Die Anzahl aller Wasserräder in Paderborn ist noch gröfser, doch führe ich diejenigen nicht mit auf, welche vor oder hinter der Hauptreihe von Mühlen liegen. Das vorbrechende Wasser ist sehr klar und rein und von angenehmem Geschmack, nur nach heftigem Regen werden einige Quellen getrübt. Grofse Anschwellungen ereignen sich nie und ebenso wenig nehmen die Quellen auch nie stark ab. Der ganze Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande scheint nur etwa 1 Fuß zu betragen. An der Neuen Brücke, dicht vor der Stadt, sind alle Quellen vereinigt, ich fand daselbst die Wassermenge gleich 220 Cubikfuß in der Secunde. Der auf den Charten angegebene kleine Bach, die Raute, hat sich hier noch nicht mit der Pader vereinigt, seine Wassermenge war auch höchst unbedeutend und betrug kaum 1 Cubikfuß in der Secunde. Die erwähnten 220 Cubikfuß sind sonach die Wassermenge, die auf einem Flächenraume von kaum 16 Morgen hervorbricht.

Noch interessanter, wenn gleich minder reichhaltig, ist die Quelle der Lippe bei Lippspringe. Neben dem Städtchen dieses Namens erhebt sich ein Plateau etwa 30 Fuß über den Wiesengrund, das sich nach dem westlichen Abhange des Tentoburger Waldes hinzieht, und dem Anscheine nach ziemlich horizontal liegt, sogar durch eine merkliche Vertiefung noch von der Anhöhe getrennt wird. Diese erhöhte Ebene fällt neben Lippspringe steil ab, und an ihrem Rande liegt die Ruine der alten Tempelburg. Unmittelbar davor befindet sich ein Weiher, der keinen sichtbaren Zuflufs hat. Er ist auf der Seite nach der Wiese durch einen niedrigen Erddamm begrenzt. Seine Länge beträgt etwa 25 Ruthen und seine Breite kaum 5 Ruthen. In der Mitte scheint seine Tiefe sehr bedeutend zu sein, und hier treten die unterirdischen Zuflüsse hinein, welche sich theils durch

die Luftblasen und theils auch dadurch zu erkennen geben, das an der südlichen Seite alle Wasserpflanzen von der starken Strömung niedergelegt werden, während sie auf der nördlichen Seite aufrecht stehn. Am südlichen Ende, wo der Weiher in einen Graben mündet, liegt eine Mühle, die drei unterschlächtige Räder und ein Freigerinne hat. Durch letzteres und durch das eine Mahlgerinne flossen in der Secunde 27 Cubikfuß ab.

Am Fusse desselben Plateau's, etwa 100 Ruthen davon entfernt in nordöstlicher Richtung, entspringt ein anderer Zufluß der Lippe, der Jordan, der der Sage nach seinen Namen erhalten, als Carl der Grosse die Sachsen darin taufen liess. Unter dem üppig bewachsenen ziemlich steilen Ufer trat früher aus einem natürlichen Gewölbe von etwa $1\frac{1}{2}$ Fuß Weite der eine Quell hervor und bildete ein tiefes Bassin im Wiesengrunde. Aus dem Boden dieses Bassins sprudelte der zweite Quell auf, und zwar mit solcher Heftigkeit, das er an der Oberfläche einen Wasserberg von 3 bis 6 Zoll Höhe bildete, der abwechselnd mit lautem Rauschen stieg und niederfiel. Gegenwärtig existirt diese schöne Quellenbildung nicht mehr. Bei Anlage der Promenaden wurde sie zerstört. Von der Fußbrücke aus, die etwa 100 Ruthen unterhalb beider Quellen liegt, maass ich die Wassermenge des Jordan gleich 19 Cubikfuß in der Secunde.

Fragt man, wo diese großen Wassermengen herkommen, so giebt die Umgegend von Paderborn hierüber genügenden Aufschluß. Die kleinen Bäche, die man sowol auf der Strafse nach Gesecke, als nach Lichtenau kreuzt, versiegen im Sommer vollständig, sie führen selbst nach heftigem Regen auch nicht einen Tropfen der Lippe zu, nur bei anhaltend nasser Witterung sammelt sich in ihnen Wasser an. Der in allen Richtungen mit Spalten und Klüften durchzogene Mergelboden im Süden von Paderborn nimmt alles Regenwasser in sich auf, und führt es in unterirdischen Gängen der Lippe und Pader zu. Auf dem Wege nach Lichtenau trifft man zunächst im Haxtergrunde ein Bachbette, welches im Sommer so trocken bleibt, das auf der westlichen Seite der Chaussee zwischen den Ackerflächen gar kein Raum für den Abfluß des Wassers frei gelassen und das Thal in seiner ganzen Breite bestellt wird. Der zweite Bach, den man hier findet, ist die Sauer, die auf der Egge bei Kleinenberg in der Entfernung von 2 Meilen ihre Quellen hat, und deren Bette neben der Chaussee in den Sommermonaten wieder ganz trocken ist.

Verfolgt man dasselbe aber aufwärts, so findet man etwa 300 Ruthen weiter, am untern Ende des Dorfes Grundsteinheim, schon Wasser in dem Bache. Hier ergoß sich etwa ein halber Cubikfuß in der Secunde in eine flache Grube im Kalkboden und verschwand dasselbst. Die Wassermenge, die am obern Ende des Dorfes zufließt, war aber schon viel bedeutender, und weiter aufwärts bei Lichtenau trieb zu derselben Zeit eben dieser Bach einen Mahlgang der dortigen Mühle.

Das Verschwinden dieses sehr bedeutenden Baches wird offenbar noch durch die auffallende Verlängerung seines Laufes befördert. Er entspringt auf der Egge bei Kleinenberg und fließt etwa zwei Meilen bis Iggenhausen vor Grundsteinheim in nördlicher Richtung, hier ist jedoch das Thal auf der Nordseite geschlossen, und das Bachbette zieht sich ganz dem früheren Laufe entgegen $1\frac{1}{2}$ Meile weit südwestlich fort, bis es bei Atteln in die Altenau fällt, die sich später in die Alme ergießt. Der unterirdische Lauf ist also wahrscheinlich um drei Meilen kürzer, als das Bachbette.

Von dem Vorhandensein der unterirdischen Wasserläufe in den Umgebungen von Paderborn geben auch die Erdfälle einen sichern Beweis, und namentlich ereignen sich solche nicht selten westlich von Paderborn. Man sah früher neben der Strafse nach Driburg mehrere derselben, die zum Theil eingefriedigt werden mußten, um zu verhindern, daß nicht Vieh herabstürzen möchte. Auch in den nahen Steinbrüchen findet man häufig röhrenförmige Canäle, die ohne Zweifel in früherer Zeit vom unterirdischen Wasser durchströmt und dabei nach und nach ziemlich regelmäsig erweitert wurden.

Aehnliche Verhältnisse kommen selbst bei größeren Flüssen vor. Die Drome in der Normandie verschwindet bald nach ihrem Entstehn in einer weiten Wiese und kommt später als starker Bach wieder hervor. Dasselbe geschieht mit der Maafs bei Bazailles ohnfern Beaumont. Die Guadiana verliert sich in der Provinz La Mancha, nachdem sie schon 8 Meilen weit geflossen ist, und kommt erst 4 Meilen unterhalb wieder zum Vorschein. Sehr auffallend sind auch die Stromstrecken des Santa Fé und anderer kleinerer Flüsse im nördlichen Florida, wo wieder ein Kalkgebirge die Wassermassen verschluckt und meilenweit unterirdisch abführt.

Daß manche von diesen Wasserläufen an der Oberfläche der Erde gar nicht wieder erscheinen, sondern unmittelbar dem Meere

zugeführt werden, darf nicht befremden, und es erklärt sich daraus die auffallende Erscheinung, daß hin und wieder im Ocean süßes Wasser angetroffen wird, ohne daß ein sichtbarer Strom in der Nähe mündet. So brechen im Meerbusen von Xagua, auf der Südseite von Cuba, in der Entfernung von 2 bis 3 Seemeilen von der Küste, Quellen süßen Wassers hervor, und Buchanan fand im Indischen Meere sogar in einer Entfernung von 100 Seemeilen von der Küste von Chittagong süßes Wasser, welches vermöge des geringeren specifischen Gewichts auf die Oberfläche des Meeres trat. Ebenso bricht bei Astros in dem Meerbusen von Nauplia in der Entfernung von etwa 1000 Fufs ein starker Strom hervor, woselbst das Aufwirbeln und Auftreiben des Sandes bei ruhigem Wetter sehr auffallend bemerkt wird. Dasselbe geschieht im Meerbusen von Spezzia, wo sich durch die Gewalt des aufsteigenden Strahles sogar eine merkliche Erhöhung zu erkennen giebt.

Die Wassermassen, welche durch die Spalten und Fugen eines festen Gesteins abgeführt werden, treffen zuweilen an den Stellen, wo sie an die Oberfläche treten, einen so engen Ausweg, daß sie springende Strahlen oder natürliche Springbrunnen bilden. Die Fälle dieser Art sind indessen nur selten. So spritzt das Wasser am Fusse des Chatagna-Berges im Jura 13 Fufs hoch hervor, und dasselbe thut der Quell von Royat im Fontanat-Thale.

Die großartigste Erscheinung dieser Art ist der Geiser auf Island. Derselbe bildet einen intermittirenden Quell, der gewöhnlich nicht fließt, aber alle 2 Stunden in einem Strahle von 20 Fufs Höhe ausbricht. Die Haupteruptionen erfolgen dagegen in Zwischenzeiten von 30 Stunden. Unter furchtbarem Getöse und von heftigen Erschütterungen begleitet steigt alsdann ein Wasserstrahl von 10 Fufs Durchmesser empor, der bald die Höhe von 80 bis 90 Fufs erreicht, und indem er hierauf langsam abnimmt, nach 10 Minuten verschwindet. Die oben entwickelte Quellentheorie kann diese Erscheinung nicht erklären. Die hohe Temperatur des Wassers, die während der Eruption sich bis 72 und sogar bis 80 Grad steigert, zeigt auch deutlich, daß hier vorzugsweise die Spannung der Wasserdämpfe wirksam ist. Der Hecla befindet sich in der Nähe und erhitzt den Boden so stark, daß ringsumher Dämpfe hervorbrechen. Auf diese Art wird auch der mächtige Quell, der den Geiser speist, bis zum Sieden erhitzt, und das Wasser desselben tritt vielleicht in ein wei-

tes Bassin, das am untern Ende eine Oeffnung hat, durch welche bei niedrigem Wasserstande der Dampf entweichen kann. Sobald aber diese Oeffnung vom zuströmenden Wasser gesperrt wird, so sammeln sich die Dämpfe an, und ihre Spannung nimmt mit der steigenden Temperatur des Wassers zu. Das alsdann erfolgende Ausströmen in mächtigen Strahlen erklärt man unter Voraussetzung eigenthümlicher Gestaltungen der umschliessenden Wände in gleicher Weise, wie Dampfkessel bei zunehmender Spannung sich plötzlich durch das Speiserohr entleeren. Dabei tritt keine allmähliche Ausgleichung ein, sondern wie bei der Entleerung des Kessels die Dampfbildung sich steigert, so erfolgt die Ausströmung mit zunehmender Heftigkeit. *)

Viel bekannter ist ein anderer heifser Quell, der gleichfalls in springendem Strahle mündet. Dieses ist der Sprudel in Carlsbad. Obwohl er nicht aus einer von der Natur gebildeten Oeffnung, vielmehr aus einer eingestellten hölzernen Röhre ausspritzt, so scheint er doch auch früher, ehe er eingefasst war, als Strahl vorgetreten zu sein, wie dieses bei verschiedenen Durchbrüchen in neuerer Zeit auch der Fall gewesen ist, und wobei er sogar eine viel gröfsere Höhe erreichte. Bei diesem Quell tritt die eigenthümliche Erscheinung ein, dafs die Oeffnungen, durch welche der Ausflufs erfolgt, nicht etwa mit der Zeit sich erweitern, sondern vielmehr verengen, und sogar sich vollständig schliessen, wenn sie nicht künstlich aufgebohrt werden.

In der Granit-Formation befinden sich die weit ausgedehnten, mit Wasser gefüllten Höhlen, die sich unter einem grosen Theile der Stadt hinziehen und die übrigen darin vortretenden Heil-Quellen speisen. Diese Quellen haben qualitativ nahe dieselben chemischen Bestandtheile wie der Sprudel, woraus sich ihr gemeinschaftlicher Ursprung ergibt, nur ist ihre Temperatur niedriger und sie sind mehr oder weniger mit reinem Wasser versetzt. Der Gehalt an Kohlensäure vermindert sich aber bei zunehmender Temperatur und ist im Sprudel am geringsten, woselbst das austretende Wasser die Temperatur von nahe 59 Grad Réaumur hat. Das Wasser ist vorzugsweise mit schwefelsaurem Kali und Natron, wie mit salzsau-rem und kohlensaurem Natron, ausserdem aber auch mit kohlen-

*) Karsten's Archiv für Mineralogie. Band IX.

saurem Kalk versetzt, wozu noch in kleineren Quantitäten eine Menge anderer Stoffe kommen. Indem das Wasser beim Austritt an die Oberfläche sich abkühlt und die Kohlensäure ausstößt, schlägt ein großer Theil dieser Beimischung nieder und bildet den sogenannten Sprudelstein, der bei seiner Festigkeit und verschiedenartigen Färbung vielfach zu Schmucksachen verarbeitet wird. Er überdeckt jene unterirdischen Wasserhöhlen. Im Bette der Tepel liegt er in großer Ausdehnung frei zu Tage, bei Fundirungen in der Stadt hat man ihn aber in verschiedenen Lagen über einander in viel größerer Höhe angetroffen, woraus sich ergibt, daß in früherer Zeit, als sich das Bette der Tepel nicht so tief eingeschnitten hatte, der Sprudel in größerer Höhe ausgetreten ist.

Auf der Festigkeit der erwähnten Decke beruht die Existenz der sämtlichen Quellen. Im Winter 1774 brach die Decke plötzlich durch und das unterirdische Wasser ergoß sich in die Tepel, die dadurch 3 bis 4 Fufs hoch anschwell. Der Sprudel und alle übrigen Quellen hörten sogleich auf zu fließen. Nur nach vielfachen mißglückten Versuchen gelang es endlich durch Sandsäcke und eingetriebene Hölzer den Bruch zu schliessen. Die Natur unterstützte aber wesentlich dieses Bemühn, indem die Fugen sich bald mit Sprudelstein versetzten und der wasserdichte Verschluss sich von selbst bildete. Seit jener Zeit ist die frei liegende Decke im Flusse durch einen Holzbelag geschützt, um namentlich Zerstörungen bei starken Eisgängen zu verhindern. Wo sich aber Spalten und Ausflüsse darin bilden, werden diese sogleich durch Keile, die mit Werg umgeben sind, geschlossen. Die Bildung des Sprudelsteines erfolgt dabei sehr schnell und bewirkt den vollständigen Abschlufs.

Zur gehörigen Sicherung der Quellen muß man außerdem auch auf die Mäßigung des Druckes oder der Spannung der Dämpfe und Gase unter der Decke große Sorgfalt verwenden. Sobald der Sprudel mehr als etwa 5 Fufs hoch über die Steigeröhre sich erhebt, so ist dieses ein Zeichen von ungewöhnlicher Anspannung der Dämpfe und es tritt die Gefahr ein, daß die Decke springen möchte. Um dieses zu verhindern, ist dieselbe an mehreren Stellen durchbohrt, wo gleichfalls Wasser und Dämpfe fortwährend austreten, wo aber wieder der Sprudelstein sich schnell bildet. Man muß daher die Oeffnungen in jedem Jahre viermal durch Aufbohren räumen.

Die Oeffnung, durch welche der Sprudel austritt, muß gleich-

falls häufig aufgebohrt werden, sie ist in der Schale des Sprudelsteins ungefähr 10 Fufs tief, und darüber erhebt sich die 7 Fufs lange und im Lichten 5 Zoll weite hölzerne Röhre, aus welcher der Quell ausspritzt. Auch diese Röhre muß jährlich durch eine andre ersetzt werden, da der Sprudelstein sie gleichfalls nach und nach verengt. Man hat es sonach ganz in seiner Gewalt, den Sprudel höher ansteigen zu lassen, wie dieses in früherer Zeit auch geschah, doch ist man hiervon zurückgekommen, um die Decke keiner Gefahr auszusetzen. Der Strahl erhebt sich aber keineswegs zusammenhängend, wie derjenige eines Springbrunnens unter constantem Wasserdrucke, vielmehr bricht er wegen der vielen Gase, die er mit sich führt, schäumend und stofsweise hervor. In der Minute wiederholen sich etwa 40 Stöße, die zusammen ungefähr 11 Cubikfufs Wasser aufwerfen. *)

Unter den Erscheinungen die in der Nähe des Sprudels und selbst in der ganzen Ausdehnung des Quellengebietes auftreten, ist noch die Ansammlung des kohlsauern Gases zu erwähnen, das man in Kellern und andern verschlossnen Räumen vielfach bemerkt, und das auch wiederholentlich zu Unglücksfällen Veranlassung gegeben hat. In dem Souterrain neben der Sprudelhalle lagert es etwa in einer 2 Fufs hohen Schicht über dem Boden, ein Licht, welches man hineintaucht, erlöschet plötzlich.

Fragt man nach der Ursache, die das Austreten der Quellen und das starke Aufspritzen des Sprudels veranlaßt, so liegt die Erklärung nahe. Das Wasser, welches sich in den höheren Umgebungen ansammelt, übt den Druck aus. Ob die Vermuthung richtig ist, dafs das Wasser bis zu derjenigen Tiefe in den Boden eindringt, wo bei der allmählichen Erwärmung, die man aus andern Erfahrungen kennt, die Temperatur dem Siedepunkte sich nähert, muß dahingestellt bleiben. Indem aber der Basalt vielfach neben Carlsbad auftritt, dürfte man auch annehmen, dafs der Boden in geringerer Tiefe noch aus der Zeit der vulkanischen Thätigkeit den hohen Wärmegrad behalten hat. Jedenfalls konnte die Erscheinung sich

*) Eine sehr ausführliche Beschreibung der Carlsbader Quellen und der Vorrichtungen zu ihrer Sicherung, wie sie noch gegenwärtig bestehn, enthält das 1789 erschienene Werk von D. Becher, betitelt: Neue Abhandlungen über das Carlsbad.

aber nur durch die dauernde Absetzung des Sprudelsteins, der die festen und wasserdichten Decken darstellt, so auffallend ausbilden.

Intermittirende Quellen, oder solche, die in gewissen kurzen Perioden abwechselnd fließen und versiegen, kommen in verschiedenen Gebirgs-Formationen, wenn auch nur selten, vor. Bei Como, sowie auch neben der Abtei Haute Combe in Savoyen und bei Puis Gros in der Nähe von Chambéry giebt es dergleichen. Die Periode, welche bei den einzelnen Quellen ziemlich constant ist, beträgt 30 Minuten bis mehrere Stunden. Auch bei Altenbecken ohnfern Paderborn soll im vorigen Jahrhunderte der Quell intermittirend geflossen sein. Diese Erscheinung pflegt man durch Voraussetzung unterirdischer Bassins zu erklären, die bei gleichförmigem Zuflusse sich durch heberförmige Abzugscanäle entleeren.

§. 8.

Brunnen mit weiten Kesseln.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß das Hervortreten der Quellen an der Erdoberfläche theils von der relativen Höhenlage und theils von der Formation des Bodens abhängt. An vielen Stellen ist die Oberfläche wasserarm, wengleich große Wassermassen ebendasselbst unterirdisch sich bewegen. Um diese an einem beliebigen Punkte nutzbar zu machen und in einem zugänglichen Reservoir anzusammeln, werden Brunnen ausgeführt. Aber auch selbst da, wo natürliche Quellen hervorbrechen, ist ein Auffangen derselben und eine Abschließung des unreinen Tagewassers gemeinlich nothwendig. Daher kommen auch in dem letzten Falle Anlagen vor, welche den Brunnen sehr ähnlich sind und sich nur durch die geringere Tiefe von diesen unterscheiden. Von beiden soll hier die Rede sein, doch müssen die Artesischen Brunnen besonders behandelt werden, indem wegen der geringen Weite und großen Tiefe ihre Ausführung wesentlich verschieden ist.

Es ereignet sich häufig, und dieses ist in sandigen Gegenden sogar der gewöhnliche Fall, daß die wasserhaltende Schicht durch keine undurchdringliche überdeckt ist, sondern sich bis zur Erdoberfläche fortsetzt. Indem sie aber nicht vollständig gesättigt ist,

so dringt kein Wasser von selbst hervor, und man muß bis zu einer gewissen Tiefe herabgehn, bevor man das sogenannte Grundwasser erreicht, oder bevor im Brunnenkessel sich Wasser ansammelt. Das Grundwasser steht in der Regel nicht viel höher, als das Niveau der Flüsse und Seen in der Nähe, und es findet sonach in den wasserhaltenden Schichten nicht sowol ein merkliches Strömen, als vielmehr nur eine Ansammlung von stehendem Wasser statt. Daraus erklären sich manche Erscheinungen, die bei Brunnenanlagen unter diesen Verhältnissen sich zu zeigen pflegen, wie zum Beispiel das Steigen des Grundwassers beim Anschwellen der Ströme, das jedoch nicht gleichzeitig, sondern nach Maafsgabe der Entfernung erst später erfolgt. In den niedrig belegenen Stadt-Theilen von Berlin werden die Keller gewöhnlich nicht früher inundirt, als bis der Wasserstand der Spree sich schon merklich senkt.

Bei einem minder durchdringlichen Boden und auf einem festen Untergrunde erreicht das Grundwasser häufig eine bedeutende Höhe im Vergleiche zum Niveau der daneben befindlichen Flüsse. So giebt es in den Vorstädten von Paris, die großentheils weit über dem Spiegel der Seine liegen, viele Brunnen, die nur das Tagewasser sammeln, welches eben wegen des undurchdringlichen Untergrundes sich nicht tief einziehn kann. Auch die eigentliche Stadt hatte noch zur Zeit Franz I. eine Menge gewöhnlicher Brunnen, die reichliches und gutes Wasser gaben. Seitdem aber die freien Plätze, Höfe und Gärten verschwunden und die Strafsen viel dichter an einander gelegt, auch alle Räume, die noch unbebaut blieben, gepflastert und mit Abzugsrinnen versehen sind, so kann der Regen nicht mehr in den Boden dringen und die Brunnen sind versiegt. Dasselbe ist auch in London seit dem Anfange des vorigen Jahrhunderts geschehn.

In Paris tritt zuweilen eine andere sehr auffallende Erscheinung ein. Ganz unabhängig von dem Stande der Seine und weit über dem Spiegel derselben wächst nämlich zuweilen, und zwar durchschnittlich alle 30 Jahre einmal das Grundwasser so an, daß die Keller in einzelnen Stadttheilen sich mit Wasser füllen. Die Erfahrung, daß wenigstens zwei sehr nasse Jahre einer solchen unterirdischen Inundation vorangehn müssen, erklärt ihren Ursprung. Die ohere Erdschicht, welche nämlich in früherer Zeit die Brunnen speiste, erhält jetzt zwar durch das unmittelbar darauf fallende

Wasser keine starken Zuflüsse mehr, aber wenn die benachbarten höher liegenden Plateaus große Wassermassen aufgenommen haben, so fließen diese unter der Oberfläche in jene Stadt-Theile über. *)

Wie langsam sich das Wasser im Sande bewegt, giebt sich schon dadurch zu erkennen, daß manche Quellen erst geraume Zeit nach einem Regen sich verstärken, indem wegen des langen und beengten unterirdischen Laufes ihre Zuflüsse sie nicht früher erreichen, dasselbe zeigt sich auch an vielen Erscheinungen, die man bei Brunnen im sandigen Boden wahrnimmt. So wird bei neu angelegten Brunnen erst nach Monaten und selbst nach Jahren der Sand in ihren Umgebungen rein ausgewaschen, worauf sie brauchbares Wasser geben. Wie langsam das Wasser sich bewegt, zeigte besonders die folgende Thatsache. Ein Fabrikant in der Vorstadt St. Marceau bei Paris wollte das heiße Wasser, welches der Condensator der Dampfmaschine lieferte, ohne Kosten entfernen, und leitete es daher in einen Brunnen seines Hofes, worin der Wasserstand tief genug war, um kein Ueberströmen befürchten zu lassen. Einige Monate hindurch schien diese Einrichtung auch keinen Nachtheil zur Folge zu haben, doch später bemerkten die Nachbarn, daß die Temperatur ihrer Brunnen allmählig zunahm und das Wasser dadurch zu vielen Zwecken unbrauchbar wurde. Auf die deshalb erhobene Beschwerde wurde dem Fabrikanten die fernere Ableitung des warmen Wasser in den Brunnen untersagt, es dauerte jedoch achtzehn Monate, bis die andern Brunnen ihre frühere Temperatur wieder annahmen. **)

Die meisten Quellen, welche unsere Brunnen speisen, werden im Sand- oder Kiesboden gefunden, und selbst diejenigen, welche aus festem Gesteine kommen, treten gewöhnlich in Sand- oder Kiesschichten aus, indem das Tagewasser feine Erdtheilchen und Sand hinzuführt, von denen die erstern durch das durchströmende Quellwasser entfernt werden, letzterer aber liegen bleibt und sich mit weiten Zwischenräumen, oder in Form von Tribsand ablagert. Dieser Umstand ist für das Austreten von Quellwasser sehr günstig, aber er bedingt eine sichere Umschließung der Seitenwände, damit nicht immer neue Sand- und Erdmassen hineinstürzen, was bei dem auf-

*) *Girard, sur les Inondations souterrains de Paris.* Paris 1818.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. pag. 333.

geloockerten Boden leicht geschieht. Es kommt daher bei einer Brunnenanlage nur darauf an, die Oeffnung bis zur wasserführenden Schicht darzustellen und die Seitenwände gegen das Einstürzen zu sichern.

Um zu erfahren, wo die wasserhaltenden Schichten in der geringsten Tiefe vorkommen, und wo man sonach mit den wenigsten Kosten einen Brunnen ausführen kann, sind manche Regeln aufgestellt, welche sich aufser einer gewifs sehr zweckmäfsigen Untersuchung der geognostischen Verhältnisse des Bodens, auch auf die Feuchtigkeit beziehn. Zu dem letzten Zwecke dient vorzugsweise die sorgfältige Beobachtung der Vegetation. Hierauf legte Elckington ein besonderes Gewicht. Das Vorkommen von Binsen und andern Sumpf-Pflanzen liefs ihn oft sehr richtig die Stelle erkennen, wo die wasserhaltende Schicht am nächsten der Erdoberfläche war. In ebenen Gegenden, woselbst man annehmen darf, dafs die wasserführenden Schichten nahe horizontal liegen, ist die Wahl der Brunnenstelle nur von den wirthschaftlichen Rücksichten abhängig.

Am einfachsten gestaltet sich der Brunnen, wenn es nur darauf ankommt, einen Quell einzufassen, der am Fusse einer Anhöhe hervortritt. Die Sand- oder Kies-Schicht bildet alsdann schon die Ausflufs-Oeffnung, ein tieferes Ausgraben ist daher nur in soweit nothwendig, als der zum Schöpfen erforderliche Wasserstand im Kessel sich darstellen mufs. Man pflegt indessen die Sohle abzupflastern und den Kessel rings umher mit Mauern einzufassen, auch für eine hinreichend befestigte Abflufsrinne zu sorgen. Häufig wird aber selbst bei solchen Brunnen, die keine Wasserleitung speisen, der Kessel überwölbt und mit Erde überdeckt, um theils die Verunreinigung, und theils die zu starke Erwärmung oder Abkühlung des Wassers zu verhindern. Bei Gelegenheit der Speisung von Röhrenleitungen werden Anlagen dieser Art näher beschrieben werden.

Zuweilen sind die natürlichen Quellen stark vertheilt, indem die wasserhaltende Schicht in grofser Ausdehnung und in gleicher Höhe die Erdoberfläche trifft. Um in diesem Falle die ganze Wassermenge abzufangen, stellt man gewöhnlich einen unterirdischen Kanal dar. Derselbe schneidet die sämmtlichen Wasserläufe, und damit er diese mit Leichtigkeit aufnehmen kann, wird die Mauer, die ihn auf der Bergseite begränzt, trocken oder mit offenen Fugen ausgeführt. Hierbei kann es jedoch nicht fehlen, dafs Erd- und Sand-

theilchen mit hineindringen, die man durch besondere Schlammfänge entfernen muß. Zuweilen wird das Wasser auch nicht in dem offenen Graben, sondern in Drain-Röhren aufgefangen, die aber, um das Eintreiben von Erde zu verhindern, nicht stumpf zusammengestossen sind, sondern mit Muffen über einander greifen.

Als Beispiel einer weit ausgedehnten Zuleitung dieser Art, wodurch man einzelne sehr vertheilte Wasseradern aufgefangen hat, können die Tunnels angeführt werden, die sich unter Liverpool hinziehen, um daselbst die Quellen zu sammeln, welche die Wasserleitungen speisen. Die Stadt liegt am hohen Ufer des Mersey, welches aus buntem Sandsteine besteht. Es entspringen darin nicht reichhaltige Quellen, sondern das Wasser tritt nur in feinen Adern aus dem Gestein hervor. Um dieses möglichst vollständig aufzufangen, sind Stollen oder Tunnels in der Länge von 100 bis 250 Fufs in den Berg getrieben, die das Wasser den Dampfmaschinen zuführen, die es in die Speisebassins der Röhrenleitung heben.

Je tiefer die wasserhaltenden Schichten liegen, um so schwieriger wird die Ausführung der Brunnen. Ist der Sand und Kies mit Thon- oder Lehm Boden bedeckt, so wird der Quell durch unmittelbares Aufgraben eröffnet. Nach Maafsgabe der Tiefe der Grube muß man dieselbe oben erweitern, auch wohl Absteifungen vornehmen, um das Einstürzen der Wände während des Baues zu verhindern. Das Ausgraben selbst wird bei einem Boden der erwähnten Art gewöhnlich durch keinen starken Wasserzudrang erschwert, indem man nur so tief zu graben braucht, bis sich das Wasser zeigt, sobald man aber die Kiesschicht erreicht, füllt sich die Grube zuweilen mit großer Heftigkeit an. Aus der Geschwindigkeit, womit das Wasser aufsteigt, und zum Theil auch aus der Höhe, die es erreicht, kann man auf die Reichhaltigkeit des eröffneten Quells schließen und darnach beurtheilen, ob man mit demselben sich begnügen darf, oder ob man noch tiefer herabgehn muß. Das Letzte ist nothwendig, wenn das Wasser auffallend unrein ist, und in diesem Falle tritt die Schwierigkeit hinzu, die weitere Ausgrabung unter einem starken Zudrange von Wasser vornehmen zu müssen, auch ist alsdann bei Aufführung des Brunnenkessels darauf Rücksicht zu nehmen, daß derselbe wasserdicht wird, um das Eintreten dieses obern Quells zu verhindern. Dieser Umstand kommt jedoch bei gewöhnlichen Brunnen in aufgeschwemmtem Boden nicht leicht vor,

indem das in gröfserer Tiefe durch den Sand zufließende Wasser ziemlich rein ist, oder man erwarten darf, dafs es mit der Zeit an Reinheit gewinnt.

Hat man die Grube so tief herabgeführt, dafs eine weitere Vertiefung überflüssig erscheint, so mufs die Einfassung dargestellt werden, und diese Arbeit wird namentlich anfangs durch den starken Wasserzudrang erschwert. Durch Schöpfmaschinen und gewöhnlich durch blofses Ausschöpfen mit Eimern und Aufwinden derselben senkt man den Wasserspiegel so weit, dafs die Sohle der Grube wenigstens nicht tief unter demselben liegt. Dieses Verfahren pflegt meist schon zum Ziele zu führen, da der starke Zudrang des Wassers sich bald etwas mäfsigt. Die aufgeschlossene Schicht ist nämlich ganz mit Wasser gesättigt, sobald sie aber den Wasserreichthum, den sie ursprünglich enthielt, zur ersten Füllung des Brunnens abgegeben hat, so fließt das Wasser aus den entfernten Theilen minder schnell hinzu, und sonach pflegt die Reichhaltigkeit der Quellen bei ihrer ersten Eröffnung am stärksten zu sein.

Wenn die Brunnen nur mit Holz eingefafst werden, was wegen der geringen Dauer nicht zu empfehlen ist, so pflegt man gemeinhin aus Halbholz viereckige Brunnenkränze übereinander zu legen und dieselben durch Anstampfen der Hinterfüllungserde in ihrer Lage zu sichern. In manchen Gegenden stellt man auch Eckständer in die Brunnengrube, spreizt dieselben durch zwischengeschobene und leicht befestigte Riegel auseinander und verzapft sie oben in Rahmstücke, welche den obern Theil der Brunneneinfassung bilden. Gegen die Ständer werden alsdann von aussen Bohlenstücke gelehnt, die wenigstens unten keine andere Befestigung als die Hinterfüllungserde erhalten. Diese Constructionsart, die freilich bei der Ausführung manche Bequemlichkeit bietet, hat den grofsen Nachtheil, dafs Reparaturen viel schwieriger, als bei Anwendung der Brunnenkränze auszuführen sind. Indem nämlich das Holz nur über dem Wasserspiegel bald schadhafte zu werden pflegt, so ist eine Erneuerung der untersten Brunnenkränze nicht leicht erforderlich und man braucht nur die über Wasser liegenden von Zeit zu Zeit durch neue zu ersetzen. Bei der letzten Construction wird es dagegen nöthig, sobald die Ständer anfaulen, alles Holzwerk bis zur Sohle des Brunnens herauszunehmen.

Viel dauerhafter sind die massiven Brunnenkessel, die man

in cylindrischer Form auszuführen pflegt. Man fundirt sie gemeinhin auf starke hölzerne Brunnenkränze. Dauerhafte und hart gebrannte Steine sind hierbei vorzugsweise nöthig, dieselben müssen aber eine der Weite des Brunnens entsprechende Form haben, damit die Fugen nach außen nicht klaffen, wodurch die Solidität leiden würde. Eine solche Gestalt läßt sich indessen durch bloßes Zuhauen nicht leicht geben, da jeder einzelne Stein in dieser Art behauen werden müßte. Sie erhalten daher schon beim Formen die keilförmige Gestalt. Dieses sind die sogenannten Brunnensteine. Dergleichen Brunnenkessel werden zuweilen in Mörtel, gewöhnlich aber nur in Lehm einen Stein stark aufgeführt. Dafs Brunnen aus festen Werksteinen gleichfalls sehr solide und dauerhaft sind, bedarf kaum der Erwähnung, doch beschränkt sich die Anwendung derselben gemeinhin nur auf die obere Einfassung. Es giebt endlich auch eine große Menge und zum Theil sehr tiefer Brunnen, die aus Bruchsteinen ausgeführt sind. Namentlich existiren viele dergleichen aus früherer Zeit, und sie sind oft aus Granit, also aus einer Felsart erbaut, die wenig lagerhaft bricht, dagegen verdanken sie ihre lange Erhaltung zum Theil der sehr bedeutenden Mauerstärke.

Bei einem Boden, der in geringer Tiefe schon von Wasser durchzogen ist, wird die Ausführung tiefer Brunnen in der erwähnten Art unmöglich, indem der Wasserzudrang zu stark ist, als dafs er selbst durch kräftige Schöpfmaschinen beseitigt werden könnte, und es tritt alsdann noch die neue Schwierigkeit hinzu, dafs die Zuflüsse von der Seite den Einsturz der Wände zur Folge haben. Silberschlag erzählt, wie bei einem Brunnen, den er in feinem Sande unter das Niveau eines in der Nähe befindlichen Flusses herabführen wollte, das Ausheben des Sandes beinahe gar keine Vertiefung des Brunnens zur Folge hatte, indem die einbrechenden Quellen theils wegen der Auflockerung des Grundes und theils wegen des Einsturzes der Seitenwände die Grube immer aufs Neue füllten. Diese Uebelstände wurden jedoch beseitigt, und eine Vertiefung nach Maafs-gabe der ausgebrachten Erdmassen erfolgte wirklich, als Silberschlag dem Hervordringen der Quellen dadurch vorbeugte, dafs er in die Grube reichlich Wasser hineingiefsen liefs. Dieses Mittel setzt aber immer noch ein Arbeiten unter Wasser voraus, und man wird daher bei Anwendung desselben nur wenig unter das Grundwasser herab-

kommen können, indem weiterhin das Verlegen der Brunnenkränze nicht mehr mit der nöthigen Sorgfalt erfolgen kann.

In Fällen dieser Art finden die Senkbrunnen ihre eigentliche Anwendung. Man gräbt bis zum Grundwasser, verlegt alsdann einen in sich fest verbundenen hölzernen Brunnenkranz und führt über demselben den massiven Brunnenkessel bis zu einer solchen Höhe auf, daß derselbe hinreichend schwer wird, um ein leichtes Einsinken zuzulassen, ohne jedoch das Herausschaffen des aufgehobenen Sandes zu sehr zu erschweren. Sodann wird mittelst des Sackbohrers der Brunnen vertieft, und da das zudringende Wasser auch hier den Grund auflockert, so senkt der Brunnenkessel sich langsam herab und man kann durch wiederholtes Aufmauern ihn bis zu großen Tiefen herabführen. Der Vortheil dieses Verfahrens besteht darin, daß man weit unter das Grundwasser herabgeht, ohne ein Ausschöpfen vornehmen zu dürfen, dabei muß aber der Boden leichter Sandboden und vom Wasser stark durchzogen sein, denn sobald keine Auflockerung desselben unter dem Brunnenkessel erfolgt, so sinkt er auch nicht herab.

Fig. 7 zeigt die Zusammenstellung der Apparate, deren man sich bei der Ausführung der Senkbrunnen zu bedienen pflegt. Der hölzerne Brunnenkranz *A* besteht aus doppelten übereinander genagelten Bohlenstücken, mit gehöriger Versetzung der Fugen, wie Fig. 8 in perspectivischer Ansicht darstellt. Dieser Kranz muß in seiner Breite mit der Länge der Brunnensteine übereinstimmen, damit er weder von innen, noch von außen vor die Mauer tritt. Seine Stärke und die Anzahl der Felgenstücke, woraus er zusammengesetzt ist, richtet sich nach der lichten Weite des Brunnens. Beträgt dieselbe, wie hier angenommen ist, $3\frac{1}{2}$ Fufs, so können die einzelnen Felgen noch ganze Quadranten umfassen und brauchen nur $1\frac{1}{2}$ Zoll stark zu sein. Der Brunnenkessel *B* wird aus den bereits erwähnten keilförmigen Brunnensteinen in gehörigem Verbande ausgeführt. Vortheilhaft ist es, hydraulischen Mörtel dabei anzuwenden, weil sonst die Erhärtung nicht sobald erfolgt und das Mauerwerk während des Versenkens sich trennen könnte. Auf dem Brunnenkessel muß eine Rüstung angebracht werden, damit die Arbeiter den Bohrer gehörig einstellen und drehen können. Man pflegt diese Rüstung auch noch durch Steine zu beschweren, wie die Figur zeigt.

Der Bohrer, der in Fig. 9 in größerem Maafsstabe gezeichnet

ist, besteht theils aus einem weit vortretenden starken eisernen Dorne und theils aus einem seitwärts angebrachten Bügel, woran ein leinener Sack befestigt ist. Der erstere dringt leicht in den Boden ein und bildet den untern Stützpunkt, um welchen der Bügel gedreht wird. Der Bügel, häufig nur durch Schraubenbolzen befestigt, ist mit einer Schneide versehen, und zwar befindet sich dieselbe an seinem äufsern Rande, damit der nachfolgende Theil, woran der Sack befestigt ist, keinen Widerstand erfährt. Der Sack hat eine solche Gröfse, dafs er nahe einen Cubikfufs fafst, doch wird er gewöhnlich noch nicht halb gefüllt herausgebracht. Am obern Theile des Bügels befindet sich ein Ring, der mit einem Wirbel versehen ist, und an diesen wird das Tau zum Herausheben des gefüllten Bohrers befestigt. Der Wirbel ist dabei insofern nothwendig, als sonst das Tau beim Bohren immer in derselben Richtung gedreht werden und daher Knoten schlagen würde. Der Hebel, wodurch die Drehung erfolgt, hat wegen der beschränkten Gröfse des Gerüstes meist nur eine Länge von etwa 3 Fufs und wird durch ein Tau an den Stiel des Bohrers befestigt. Nachdem der Bohrer herabgelassen und der Hebel in der gehörigen Höhe angebracht ist, fassen zwei Arbeiter an den letztern und drehen den Bohrer langsam in solcher Richtung, dafs die Schneide des Bügels zur Wirksamkeit kommt. Sie gehen dabei auf dem Gerüste im Kreise herum und sind zugleich bemüht, durch Herabdrücken des Hebels den Bohrer scharf eingreifen zu lassen. Nach einigen Umdrehungen, deren Anzahl sich nach der Festigkeit des Bodens richtet, zieht ein Arbeiter das hintere Ende des Taus an und hebt dadurch mittels der festen Rolle den Bohrer heraus, während ein anderer Arbeiter den Stiel hält und den Bohrer führt und umstürzt, worauf das Einstellen von Neuem erfolgt.

Durch vielfaches Ablothen mufs man sich stets von der senkrechten Stellung des Brunnens überzeugen, und sobald man bemerkt, dafs diese nicht mehr statt findet, so mufs man den Bohrer auch nicht mehr in die Mitte des Brunnens stellen, sondern näher an diejenige Seite, wo die Senkung am wenigsten erfolgt ist. Um aber dem obern Theile der Mauer die nöthige Festigkeit zu geben, pflegt man Brettstücke herzustellen, die durch umgeschlungene und geknebelte Taue und noch besser durch umgelegte Ketten und zwischengeschlagene Holzkeile gehalten werden. Man kann Brunnen dieser Art auch in gröfseren Dimensionen, als den beispielsweise

gewählten, ausführen, ohne dafs in dem Verfahren eine wesentliche Aenderung eintritt. Brunnen von 6 Fufs Weite lassen sich noch mit grosfer Sicherheit senken, selbst von 12 Fufs Weite hat man sie mit der Wandstärke von einem Steine ausgeführt, doch ist alsdann schon eine grosfe Vorsicht nöthig, um den Sand möglichst gleichmäfsig auszuheben. Um die cylindrische Form zu sichern, legt man zuweilen in gewissen Abständen übereinander noch eiserne Ringe, oder hölzerne Kränze, wie den an der Sohle befindlichen, in das Mauerwerk. Trifft es sich aber, dafs der Brunnenkessel bricht und theilweise einstürzt, so mufs der ganze Bau nicht nur aufs Neue angefangen werden, sondern es ist auch alles Material, welches bereits unter das Grundwasser gesunken ist, verloren und es mufs sogar eine andere Baustelle gewählt werden, weil die erste wegen des darin steckenden Mauerwerks und Materials zu sehr verunreinigt ist.

Zu den grössten Senkbrunnen, die jemals ausgeführt sind, gehören ohne Zweifel die Schachte, die zu dem Themse-Tunnel in London herabführen. Im Jahre 1825 wurde mit dem Bau des Schachtes auf der Südseite der Anfang gemacht. Derselbe war 42 Fufs 8 Zoll im Lichten weit, in den Wänden 3 Fufs stark, und von der Sohle bis zur Hochwasser-Marke bei Trinity-House 59 Fufs hoch. Dieser Schacht sowie auch der später auf der Nordseite ausgeführte bildet den Zugang für Fufsgänger. Es war ursprünglich Absicht, noch in zwei andern, viel weiteren Schachten flach geneigte Rampen darzustellen, auf welchen die Wagen auf und ab fahren sollten. Diese sind jedoch nicht zur Ausführung gekommen, indem das ganze Unternehmen, wenn es auch in der Hauptsache beendet wurde, doch keineswegs den Erwartungen entsprach, und als ganz verfehlt angesehen werden mufste.

Was die Construction dieser Schachte betrifft, so wurde für den ersten zunächst aus 48 Segmenten auf einer leichten Rüstung ein gufseiserner Ring zusammengesetzt, indem die einzelnen mit Flanschen versehenen Theile zusammengeschoben wurden. Dieser Ring bildete einen 3 Fufs hohen Cylinder, von 48 Fufs 6 Zoll im Durchmesser. Aus demselben trat auf der innern Seite durch angegossne Eck-Bänder unterstützt und zwar 6 Zoll unter seiner Oberfläche ein 10 Fufs breiter Ring vor. Auf diesem ruhte der 3 Fufs breite und 12 Zoll hohe hölzerne Ring, der die Basis des Mauerwerks bildete. Aus

dem letztern erhoben sich 24 eiserne Bolzen von $1\frac{1}{2}$ Zoll Stärke und 41 Fuß Länge, welche in die Mittellinie der Mauer fielen, und nachdem letztere ausgeführt war, wieder durch einen hölzernen Ring, gleich dem untern, durchgezogen und mittelst Muttern festgeschraubt wurden. Das Mauerwerk bestand aus hart gebrannten Steinen, und der Mörtel aus Roman-Cement. Um bei den voraussichtlichen Erschütterungen die Mauern noch mehr zu sichern, waren in geringen Abständen noch hölzerne Ringe von 3 Zoll Breite und Höhe eingemauert.

Eine nähere Beschreibung der Einzelheiten ist in sofern entbehrlich, als dieselben wohl nicht als musterhaft angesehen werden dürfen. Es wäre nur zu erwähnen, daß auf diesen thurmartigen Bau eine Dampfmaschine gestellt wurde, welche eine Baggermaschine in Bewegung setzte, um aus dem innern Raume die Erde auszuheben. Jene leichte Rüstung, worauf der Fuß ruhte, wurde schon beim Beginne der Maurerarbeit entfernt, indem man nach und nach durch Unterbringen von Keilen und Anstampfen von Erde den ganzen Bau auf den gewachsenen Boden stellte.

Die Versenkung erfolgte keineswegs gleichmäßig, bald neigte sich der Bau nach einer Seite, und bald stürzte er plötzlich mehrere Zoll tief herab, so daß man namentlich wegen der darauf stehenden Maschine besorgt war. In dem festen Kleiboden, den man endlich antraf, hörte aber die Bewegung ganz auf, woher der untere Theil des Schachtes durch Unterfahrung aufgemauert werden mußte.

Der Schacht auf dem nördlichen Ufer der Themse, der sogleich in der Höhe von 77 Fuß dargestellt wurde, scheint ohne Unfall versenkt zu sein. *)

Das in neuerer Zeit bei Fundirungen in Strombetten mehrfach angewendete Verfahren, durch Compression der Luft die Sohle trocken zu legen, wurde, soviel bekannt, zum ersten Male beim Abteufen eines Schachtes ohnfern Rochefort versucht. Die reichen Kohlenflötze an der Charente zwischen Rochefort und Ingrande konnten bisher nicht benutzt werden, weil man etwa bis 60 Fuß unter dem

*) Nähere Beschreibungen dieses Baues, der die allgemeinste Aufmerksamkeit erregte, findet man in verschiedenen technischen Zeitschriften, vorzugsweise ist diejenige in *Weale's quarterly papers of Engineering, Part IV.* zu erwähnen.

Wasserspiegel des Flusses eine mit Wasser durchzogene Sandschicht durchfahren mußte. Um dieses möglich zu machen, stellte der Ingenieur Triger einen Apparat dar, mittelst dessen er das Zudringen des Wassers durch einen entsprechenden Gegendruck stark comprimierter Luft verhinderte. Die von Las Casas angestellten Beobachtungen hatten ergeben, daß man selbst unter einem Drucke von drei Atmosphären über dem der gewöhnlichen Luft, wenn auch unbequem, so doch ohne Nachtheil sich aufhalten, und arbeiten konnte.

Ein aus Eisenblechen zusammengenieteter Cylinder von 64 Fuß Länge, $3\frac{1}{4}$ Fuß Weite und $5\frac{1}{2}$ Linien Wandstärke bildete den Haupttheil des Apparates. Derselbe wurde zunächst mittelst einer Kunstramme etwa 10 Fuß tief eingetrieben. Um ihn mit stark verdichteter Luft zu füllen, mußte er hermetisch verschlossen werden, doch war es auch nothwendig, die Oeffnungen zum Aus- und Eingehn der Arbeiter und zum Herausschaffen des geförderten Sandes frei zu lassen. Dieses wurde erreicht durch einen eingeschobenen Kasten, dessen Zweck und Wirksamkeit schon seine Benennung, nämlich Luft-Schleuse, bezeichnet. Er bestand wieder in einem eisernen Cylinder von $5\frac{1}{2}$ Fuß Höhe, der sich mit hinreichendem Spielraume in den ersten Cylinder einschieben, und durch eine Stopfbüchse luftdicht daran anschließen ließ. Er war sowol oben, als unten mit Oeffnungen versehen, durch welche die Arbeiter hindurchgehn, auch die Einer gefördert werden konnten. Starke und genau schließende Klappen, die sich nach unten öffneten, und jedesmal festgeschroben wurden, sperrten diese Oeffnungen. Der Kasten wurde also abwechselnd mit der äußern und der innern Luft in Verbindung gesetzt, und bei seinem nur mäßigen Rauminhalte trat keine wesentliche Verminderung der Luftspannung im Schachte ein, sobald die untere Klappe geöffnet wurde.

Von der Compressions-Pumpe, die durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wurde, führte eine Röhre bis unter den Boden der Schleuse, und in einer zweiten Röhre stieg das Wasser in Folge des verstärkten Luftdruckes von der Sohle des Schachtes durch die Schleuse bis über den obern Rand des großen Cylinders. Diese Wasserröhre wurde zufälliger Weise beschädigt, so daß durch einige kleine Oeffnungen die verdichtete Luft in das Wasser drang. Letzteres wurde hierdurch specifisch leichter, und man bemerkte, daß nunmehr der Schacht sich schon bei einem geringeren Drucke ent-

leerte, als nöthig gewesen wäre, wenn die Röhre sich ganz mit Wasser gefüllt hätte. Man vermehrte deshalb die Anzahl der kleinen Luftöffnungen, und so gelang es, mit einem Mehrdrucke von einer Atmosphäre das Wasser aus der Tiefe von 60 Fufs zu heben.

Die Arbeiter empfanden, so oft sie durch die Schleuse gingen, bei der Aenderung des Luftdruckes Ohrenscherzen, doch vergingen dieselben sehr schnell, wenn durch wiederholtes Schlucken die Luft im Körper mit der äufsern ins Gleichgewicht gesetzt wurde. Das Sprechen bot selbst unter dem Drucke von drei Atmosphären keine Schwierigkeit, die Kerzen und Lampen leuchteten, wie gewöhnlich, doch rauchten sie stärker, und verbrannten schneller, als in freier Luft.

Als man auf festes Gestein gekommen war, drang die comprimirte Luft, wahrscheinlich durch aufwärts gerichtete Spalten, bis in die Charente, in der man eine Menge Blasen aufsteigen sah. Man teufte alsdann den Schacht noch etwa 20 Fufs tiefer ab, mauerte den untern Theil aus, und verband denselben mit dem eisernen Cylinder, wodurch der Zudrang des Wassers ganz unterbrochen und die fernere Benutzung der Luftschleuse entbehrlich wurde.

Ein weiter Brunnenkessel hat vor einem engen Bohrloche den wichtigen Vorzug, dafs eine grofse Wassermasse, die vielleicht nur langsam aus den Erdschichten hineinfließt, sich darin ansammelt, und sonach bei zufällig eintretendem starken Bedarfe das erforderliche Quantum sicherer entnommen werden kann. In dieser Beziehung ist es aber nicht nothwendig, die grofsen Dimensionen bis zu der Eröffnung der wasserführenden Schicht beizubehalten, vielmehr kann man ohne Nachtheil letztere durch eine enge Röhre mit dem Kessel in Verbindung setzen. Ein solches Verfahren ist besonders in sofern sehr empfehlenswerth, als die Darstellung des Brunnenkessels um Vieles leichter wird, wenn man ihn in festem Thonboden ohne Zutritt von Quellen ausführen, also die Ummauerung im Trocknen vornehmen kann. Man mufs alsdann aber davon überzeugt sein, dafs die wasserführende Schicht ziemlich nahe unter der Sohle liegt, also jenes Verbindungsrohr leicht hindurchgetrieben werden kann. Doch auch in diesem Falle können die einbrechenden Quellen, wenn sie aus einer Schicht feinen Sandes mit grofser Gewalt und starkem Drucke vortreten, soviel Sand mit sich führen, dafs sie nicht nur den Kessel theilweise anfüllen, sondern auch die Röhre vollständig

verstopfen, so daß die fernere Speisung des Brunnens ganz aufhört. Diese Gefahr tritt nur bei der ersten Anfüllung ein, denn späterhin bildet das darin befindliche Wasser einen so starken Gegendruck, daß der Zufluß nur langsam erfolgt und der Sand nicht mehr in Bewegung gesetzt wird.

Um bei der Durchbohrung der letzten Schicht das Eintreiben des Sandes zu verhindern, wandte Hallette bei Ausführung eines Brunnens zu Roubaix im Departement du Nord mit günstigem Erfolge das sogenannte Klärungsrohr an. Er füllte nämlich die eiserne Röhre mit kleinen Steinen, und indem das Wasser zwischen diesen hindurchdrang, mäßigte sich seine Geschwindigkeit so sehr, daß es keinen Sand mit sich rifs, wie dieses bei dem früheren Versuche mit der offenen Röhre geschehn war. Dieses Klärungsrohr wurde auf einen gußeisernen Kegel aufgestellt, indem dessen aufwärts gekehrte Basis mit einem dünnen Rande umgeben war, die das Rohr umfaßte. Dieser Kegel diente als Pfahlschuh, und nachdem er die lockere Sandschicht erreicht hatte, so sank er von selbst so tief herab, daß über ihm das Wasser eintreten konnte.

Ist die wasserführende Schicht fest abgelagert und keinem starken Drucke ausgesetzt, so kann es leicht geschehn, daß selbst ein weiter Brunnenkessel bei fortgesetzter Entnahme von Wasser sich bald entleert. Der Zufluß läßt sich indessen verstärken, wenn man die Differenz zwischen dem äußern und innern Drucke vergrößert. Eine Vermehrung des äußern Druckes ist zwar nicht möglich, wohl aber eine Verminderung des innern, indem man den atmosphärischen Druck im Brunnenkessel theilweise aufhebt, oder hier eine Luftverdünnung bewirkt. Hierauf beruht der in der letzten Pariser Ausstellung bekannt gewordene Brunnen von Donnet. Derselbe ist oben luftdicht abgeschlossen, und über dem Wasser, welches sich in ihm sammelt, wird die Luft durch einen Exhaustor ausgesogen.

§. 9.

Artesische Brunnen im Allgemeinen.

Die Artesischen Brunnen haben ihren Namen von der Französischen Provinz Artois, woselbst sie seit geraumer Zeit üblich

sind, und wo sie besonders diejenigen auffallenden Erscheinungen zeigen, die allgemeines Interesse erregt haben. Der klüftige Kreidboden, der sich von der Mündung der Seine bis zu dem Cap Blanc-Nez ohnfern Calais hinzieht, erstreckt sich in bedeutender Höhe, mehr oder weniger mit aufgeschwemmtem Boden überdeckt, weit landeinwärts und bildet die Wasserscheide zwischen der Somme und der Schelde. Er fällt nordwärts ab und in der Linie, welche die Städte Béthune, Lillers, Aire, St. Omer und Calais verbindet, ist er nahe 100 Fufs hoch mit Sand und Lehm überdeckt. Hier findet auch eine merkliche Abdachung des Bodens statt, welche zwar die Richtung der kleinen Flüsse Yser und Lys und selbst der Schelde bedingt, aber noch nicht ein natürliches Hervortreten derjenigen Wassermassen gestattet, die in den Klüften der Kreide enthalten sind, und in diesen dem Meere zufließen. Gewöhnliche Brunnen geben hier in geringer Tiefe, sobald man wasserführende Schichten antrifft, ziemlich befriedigende Resultate, wenn man aber in großer Tiefe die Kreide erbohrt, so ist der Erfolg viel auffallender, da alsdann das Wasser unter dem Drucke hervorbricht, welcher der Höhe des Niveaus in weiter Entfernung entspricht. In solchen Brunnen sammelt das Wasser sich nicht nur an, sondern es strömt aus denselben frei auf die Erdoberfläche. Bei Gonnehem, ohnfern Béthune, sind vier Brunnen auf einer Wiese angelegt, in denen man die Röhren $11\frac{1}{3}$ Fufs über den Boden heraufgeführt hat, und welche das Wasser in solcher Höhe ausgiefsen, dafs sich ein hinreichendes Gefälle darstellt, um eine Mühle zu treiben, die in 24 Stunden 4 Centner Mehl bereitet.

Bei der großen Tiefe dieser Brunnen ist die vorher beschriebene Art der Ausführung nicht mehr anwendbar. Dieselben werden nicht gegraben, sondern gebohrt, und ihre Weite beschränkt sich meist auf 6 bis 12 Zoll, während eiserne Röhren ihre Umschließungen bilden.

Wenn sich hieraus schon ergibt, was man im Allgemeinen unter der Benennung Artesischer Brunnen versteht, so bleibt es dennoch zweifelhaft, ob das unterscheidende Kennzeichen derselben das freie Ausströmen des Wassers ist, oder ob jeder gebohrte Brunnen ein Artesischer heifst. Es scheint, dafs der Sprachgebrauch hierüber bis jetzt noch nicht bestimmt entschieden hat, und sonach läfst sich die oft angeregte Frage; ob man überall

Artesische Brunnen anlegen könne, nicht beantworten. Es ist gewis, daß man an jeder Stelle ein Bohrloch ausführen, und wenn Mühe und Kosten nicht gescheut werden, man dieses auch auf große Tiefe herabtreiben kann, daß man aber jedesmal Quellen findet, die bis über die Oberfläche steigen, ist nach der gegebenen Erklärung der Quellen nicht anzunehmen.

In Frankreich wird in neuerer Zeit jeder tiefe, gebohrte Brunnen ein Artesischer genannt, woher man dort auch von Artesischen Brunnen spricht, die nicht Wasser geben, sondern solches verschlucken. In dieser Bedeutung soll der Ausdruck auch hier gebraucht werden, da es nur auf die Mittheilung des Verfahrens der Ausführung ankommt.

Die Brunnen dieser Art sind in manchen Theilen von Deutschland, Frankreich und Italien schon seit Jahrhunderten bekannt, ihre erste Anwendung fällt aber in eine viel frühere Zeit, da die alten Egyptier sich ihrer schon zum Bewässern der Oasen bedienten, und ähnliche Brunnen, deren Zweck jedoch ein anderer ist, kommen auch in China häufig vor. Von den gebohrten Brunnen in Egypten spricht bereits Olympiodor und sagt, daß sie eine Tiefe von 200 bis 300 und sogar bis 500 Ellen haben und daß sie das Wasser über die Erdoberfläche ausgießen, welches zur Bewässerung der Aecker benutzt wird. Durch neuere Untersuchungen hat sich die Richtigkeit dieser Angabe bestätigt. Die Pariser Academie der Wissenschaften erhielt hierüber folgende wichtige Mittheilung, und zwar nach den Angaben des Militair- und Civil-Gouverneurs Ayme, der in den Oasen von Theben und Garbe chemische Fabriken eingerichtet hatte.

Die große Oase von Theben und die von Garbe umfaßt beinahe $2\frac{1}{4}$ Quadratmeilen eines Bodens, der sich nach den Versuchen von Ayme zur Cultur von Zuckerrohr, Indigo, Krapp und Baumwolle eignet. Diese beiden Oasen sind wie ein Sieb mit Artesischen Brunnen durchlöchert, die aber größtentheils durch den Einsturz der Einfassungen und durch das Abbröckeln der Seitenwände verschüttet sind. Nachdem im Jahre 1836 ein Bohrgestänge von 500 Fufs Länge zugerichtet war, gelang es, mehrere dieser Brunnen aufzuräumen, in welchen das Wasser bis zur Höhe des Erdbodens aufstieg.

Das Verfahren der alten Einwohner dieser Gegenden beim Brunnenbohren war Folgendes. Es wurden vierseitige Löcher aus-

gehoben, die bei einer Weite von 6 bis 11 Fufs sich bis zum Kalk erstreckten, der in der Tiefe von 60 bis 75 Fufs vorkommt. Die Erdschichten, welche man dabei zu durchgraben hatte, bestanden der Reihe nach aus vegetabilischer Erde, Thon, Mergel und thonigem Mergel. Letzterer liegt auf dem Kalke, unter dem das Wasserbassin sich befindet, das alle Brunnen der Oase speist. Sobald diese weiten Brunnenkessel den Kalk erreicht hatten, wurden sie mit einer dreifachen Schalung von Palmenholz eingefasst, um das Einstürzen der Erde zu verhüten. Bis soweit geschah die Arbeit im Trocknen, und nun mußte die 300 bis 400 Fufs mächtige Kalkschicht durchbohrt werden, ehe man das unterirdische Wasser erreichte. Welche Methode des Bohrens angewendet wurde, ist nicht bekannt, beim Aufräumen der alten Bohrlöcher zeigte es sich aber, das die Quellen unter dem Kalke sich in oder auf einer Sandschicht bewegen, die nach den Proben zu urtheilen, welche der Bohrer davon heraufbrachte, mit dem Sande des Nils übereinstimmt. Einer dieser Brunnen zeigte nach der Aufräumung und Reinigung eine Erscheinung, die auch bei Elbeuf ohnfern Rouen sich wiederholt hat. Aus der Tiefe von 345 Fufs kamen nämlich mit dem Wasser auch Fische herauf.

Man bemerkt, das die Alten vorsichtig zu Werke gingen. Um nämlich ein zu starkes Ausströmen des Wassers zu verhindern, machten sie aus sehr hartem Sandsteine Pfropfen, die mit einer Fassung umgeben, ganz oder theilweise geöffnet werden konnten. Bei andern Brunnen sind statt dieser Pfropfen hölzerne Röhren in die Bohrlöcher getrieben. Die Weite der Bohrlöcher beträgt 8 Zoll.

Aus der großen Anzahl dieser Brunnen und ihrem unregelmäßigen Vorkommen ergibt sich, das man in diesen beiden Oasen überall Wasser findet, und es scheint, das die Wassermenge allein durch die Weite der Bohrlöcher bedingt ist. Der Versuch, die letzteren wieder aufzuräumen, war sehr kostbar, weil bei dem starken Wasserzudrange und bei dem Mangel an andern Hilfsmitteln Taucher angewendet werden mußten, die mit den Händen die Aufräumung vornahmen. Dazu kommt noch der hohe Preis des Holzes in diesen Gegenden. Ayme beabsichtigte, ganz neue Brunnen zu bohren, wobei sich hoffentlich wichtige Aufschlüsse über die Natur des Bo-

dens und den mächtigen unterirdischen Strom ergeben werden, der, wie es scheint, von Darfour herkommt. *)

Die gebohrten Brunnen in China sollen 2000 bis 3000 Fufs tief und 5 bis 6 Zoll weit sein. Sie kommen in so großer Anzahl vor, daß zum Beispiel ohnfern des Fleckens U-Thung-Khiao auf einem Raume von 6 Meilen Länge und 3 Meilen Breite mehrere Zehntausende derselben existiren **). Sie sind in Felsen gebohrt, und das dabei angewendete Verfahren wird als so zeitraubend bezeichnet, daß mehrere Generationen an einem und demselben Brunnen arbeiten müssen, bevor der gesuchte Quell erreicht wird. Diese Brunnen enthalten Quellen von 20 bis 25 Prozent Salzgehalt, und fließen nicht über, sondern die Sohle muß noch aus einer bedeutenden Tiefe mittels einer 24 Fufs langen Bambusröhre, die unten mit einem Ventile versehen ist, geschöpft werden, wozu ein Göpel dient, vor welchen Ochsen gespannt sind. Die Art, wie die Brunnen hier gebohrt werden, gehört zur Methode des Seilbohrens, weshalb man diese auch die Chinesische zu nennen pflegt.

In Europa waren gebohrte Brunnen bei Modena und Bologna, sowie auch in Nieder-Oestreich, schon lange bekannt. Vor 200 Jahren führte Dominicus Cassini im Fort Urbain einen solchen Brunnen aus, in welchem das Wasser bis zu den obersten Geschossen der Häuser anstieg. Im alten Karthäuserkloster zu Lillers soll schon im Jahre 1126 ein Brunnen dieser Art errichtet sein, und Bélidor ***) giebt eine vollständige Beschreibung der gebohrten und überfließenden Brunnen und fügt derselben eine Erklärung und manche Bemerkungen hinzu, welche mit den neuesten Erfahrungen übereinstimmen. Die allgemeine Aufmerksamkeit auf Anlagen dieser Art wurde jedoch erst angeregt, als die Gesellschaft für Beförderung der National-Industrie zu Paris im Jahre 1816 einen Preis von 3000 Franks auf die beste Anweisung zur Aufbohrung fließender Quellen aussetzte, wie solche in der frühern Provinz Artois üblich sind. Diesen Preis gewann der beim Bergbau in Arras angestellte Inge-

*) *Compte rendu des séances de l'Académie des sciences: Séance du Lundi. 10. September 1838.*

***) Poggendorff's Annalen. Bd. XVIII. S. 604.

***) *Science des Ingénieurs. 1729. Cap. IV. Liv. XII.*

nieur Garnier, dessen Abhandlung *) eine ausführliche Beschreibung der anzuwendenden Geräthe sowie des ganzen Verfahrens enthält. Sie giebt zugleich eine Uebersicht der Boden-Verhältnisse, welche die Quellenbildung begünstigen, doch ist dabei vorzugsweise und beinahe ausschließlich die Localität der Provinz Artois im Auge behalten. Von gleicher Wichtigkeit war eine Schrift von Héricart de Thury **), worin besonders die geognostischen Verhältnisse auseinandergesetzt sind, welche bei Bohrbrunnen einen günstigen Erfolg herbeigeführt haben oder erwarten lassen. Ausserdem wird in diesem Werke die Ergiebigkeit und der Nutzen dieser Anlagen an vielen Beispielen nachgewiesen, und zugleich sind die eigenthümlichen Erscheinungen beschrieben, die hin und wieder sich dabei gezeigt haben. Seit dieser Zeit sind Artesische Brunnen in Frankreich, Deutschland, England, Nord-Amerika vielfach ausgeführt. Von grosser Bedeutung für die Landeskultur sind sie auch in Algerien gewesen. Nach dem Berichte des General Desvaux wurden bis zum Jahre 1857 in der Provinz Constantine sechs Brunnen ausgeführt. Der erste derselben, in Tamerna, einer Oase des Qued-Rir, gab bei der Tiefe von nahe 200 Fufs in der Secunde über 2 Cubikfufs Wasser. Auch die andern Anlagen hatten ähnliche, zum Theil noch gröfsere Erfolge.

Die in neuerer Zeit angewendeten Methoden weichen nach den inzwischen gesammelten Erfahrungen wesentlich von denjenigen ab, die Garnier empfohlen hatte. Besonders bei grossen Tiefen mufsten zur Sicherung der Arbeit eigenthümliche Apparate und Verfahrensarten benutzt werden. Eine nähere Bezeichnung derselben würde zu weit führen, sie ist aber an dieser Stelle auch entbehrlich, da vorkommenden Falls die Ausführung nicht dem Baumeister, sondern dem Bergmanne oder einem darin besonders erfahrenen Techniker übertragen wird. Es soll daher im Folgenden nur von dem Durchbohren der Diluvial- und Tertiär-Schichten und zwar bei der mäfsigen Tiefe von einigen hundert Fufs die Rede sein, doch müssen zuvor noch manche Eigenthümlichkeiten der Artesischen Brunnen erwähnt werden. Diejenigen Leser, die sich mit dem Gegenstande

*) *de l'art du fontenier sondeur et des puits Artésiens.* Paris 1822.

**) *Considérations géologiques et physiques sur le gisement des eaux souterrains, relativement au jaillissement des fontaines artésiennes.* Paris 1828.

näher bekannt machen wollen, werden auf die ausführlichen Mittheilungen von Bruckmann, Degoussée, Kind, Beer und Anderer aufmerksam gemacht *).

Was früher über den Ursprung der Quellen gesagt ist, findet auch auf die Artesischen Brunnen Anwendung. In den meisten Fällen kann man mit Sicherheit angeben, woher diese Brunnen ihr Wasser beziehen, und nur selten bleibt bei näherer Untersuchung des Terrains hierüber ein Zweifel übrig. Zuweilen trifft es sich auch, daß man eine eigenthümliche und an sich wenig wahrscheinliche Gestaltung der wasserhaltenden und undurchdringlichen Erdschichten annehmen muß, um übereinstimmend mit der oben entwickelten Quellentheorie die Erscheinung zu erklären. Indem diese Fälle aber sehr selten sind, so darf auch ihr Vorkommen nicht befremden, und es würde sogar auffallen, wenn unter den so verschiedenen Abwechslungen die Erdschichten immer nur in der einfachsten Art sich abgelagert hätten.

Ueber die Richtung, in welcher sich das Wasser in diesen unterirdischen Strömen bewegt, hat man in einzelnen Fällen entscheidende Versuche angestellt. So erzählt Garnier, daß von zwei Brunnen in Béthune der eine sogleich trübes Wasser ausgoß, sobald in den andern, der südwestlich vom ersten liegt, ein Kolben eingebracht und schnell auf und ab bewegt wurde. Im umgekehrten Falle zeigte sich in dem zweiten keine Trübung. Es ergab sich hieraus, daß der unterirdische Strom dieselbe Richtung hatte, in welcher das Gebirge sich senkt.

Der Zusammenhang, in welchem manche Brunnen unter sich stehn, ist zuweilen sehr auffallend. So hat man nicht selten bemerkt, daß durch Aufbohren eines zweiten Brunnens in der Nähe eines schon bestehenden die Ergiebigkeit dieses merklich geringer wurde, und indem man einen von beiden wieder schloß, strömte der andere sogleich um so kräftiger. In andern Fällen zeigt sich diese Erscheinung nicht, und es ist klar, daß sie nur eintreten kann, wenn dieselbe Wasserader beide Brunnen versorgt, sie kann

*) Besonders dürfte das Werk von A. H. Beer, das unter dem Titel *Erdböhrkunde* 1858 in Prag erschienen ist, zu empfehlen sein. Auch die ausführliche Beschreibung der in Frankreich üblichen Methoden in Förster's allgemeiner Bauzeitung, XIV. Jahrgang Seite 217 bis 275 enthält viele wichtige Mittheilungen.

sich außerdem auch nur zu erkennen geben, wenn der zweite Brunnen einen namhaften Theil der Wassermasse dieser Ader abzieht und sie merklich schwächt. Artesische Brunnen, die in der Nähe des Meeres angelegt sind, zeigen gewöhnlich einen auffallenden Zusammenhang mit der Fluth und Ebbe. An das Eintreten der Fluth in den unterirdischen Quell darf man dabei nicht denken, aber dieser hat zwei Ausmündungen, die eine ins Meer und die andere durch das Bohrloch. Je kräftiger jene wirkt, um so weniger Wasser wird diese bei gleichem Zuflusse abführen. Bei größerer Entfernung des Brunnens von der Meeresküste muß dieser Einfluß sich aber später einstellen, und es erklärt sich, daß bei dem verminderten Abflusse während der Fluth die einzelnen Bassins oder die Zwischenräume zwischen den Kiesmassen sich zuerst anfüllen müssen, bevor der verstärkte Druck weiter aufwärts eintritt, und daß die Zwischenzeit leicht mehrere Stunden betragen kann. Dieses ist der Grund, weshalb manche Artesische Brunnen gerade während der Ebbe viel und während der Fluth wenig Wasser geben.

Die Ergiebigkeit eines Bohr-Brunnens und zum Theil sogar sein Gelingen hängt nicht nur von der relativen Höhe der Stelle ab, wo er angelegt wird, sondern eben so sehr auch von der Formation des Bodens. Die Wasserader, die einen reichen Zufluß gewährt, kann nur in einem klüftigen Gesteine oder in ausgedehnten Spalten gesucht werden. Aus diesem Grunde geben dichte und mit keinen oder nur mit engen Spalten durchzogene Gebirgsarten, wie die Urgebirge, auch keine überfließende Brunnen, wie auch die natürlichen Quellen hier schon ziemlich arm zu sein pflegen. Im Granit hat man in England einige Artesische Brunnen ausgeführt, die wenigstens zum Theil ihren Zweck erfüllt haben *), von dem Brunnen in Aberdeen in Schottland, der eine ansehnliche Wassermenge frei ausgießt, hat jedoch Robinson später gezeigt **), daß er nicht im Granit, sondern in einer tiefen mit Sand gefüllten Spalte das Wasser aufnimmt. Die Uebergangsgebirge, wenigstens die Grauwacke und der Thonschiefer, sind ungefähr von derselben Beschaffenheit, und einzelne Brunnen im Thonschiefer sind wegen des schlechten

*) *Civil Engineer and Architect's Journal*, 1839. p. 146.

***) Poggendorff's Annalen. Band 38. S. 588.

Wassers, das vom Schwefelkiese stark verunreinigt war, auch als mißglückt zu betrachten.

Das eigentliche Gebiet der Artesischen Brunnen sind die Flötzgebirge. Der Sandstein ist jedoch wasserarm, und wenn man darin auch Quellen findet, so fließen sie nicht über, beim Keuper haben die bisherigen Versuche dasselbe ergeben, der Muschelkalk und Jura-kalk stellen sich günstiger dar, aber vorzugsweise finden sich in der Kreide reichhaltige Wasseradern, wenn nach den sonstigen Verhältnissen deren Speisung möglich ist. Die Kalkerde wird nur in geringer Menge vom Wasser aufgelöst, daher sind die Quellen, die aus ihr treten, von reinem Geschmack und zu den meisten Zwecken brauchbar. Durch das ununterbrochene Durchströmen von immer neuen Wassertheilchen geht aber die Auflösung der Kreide zwar langsam, doch dauernd fort, und so erweitern sich die Wasserläufe und es bilden sich Höhlungen. Diese sind es, die beim Bohren der Artesischen Brunnen ein plötzliches Herabsinken des Gestänges verursachen, und sie scheinen zum Theil auch von Fischen bewohnt zu sein, wenigstens wäre sonst das Erscheinen derselben im Zirknitzer See und in den Bohrlöchern der Egyptischen Oasen nicht zu erklären. Der Brunnen zu Elbeuf, der 480 Fufs tief ist, warf eine Menge kleiner lebendiger Aale aus, deren Uebereinstimmung mit den gewöhnlichen Aalen constatirt wurde. Im Artesischen Brunnen im Zuchthause zu Beaulieu bei Caen fand man sogar einen lebendigen ausgewachsenen Aal, der sich durch sehr große Augen auszeichnete, was auf einen dauernden Aufenthalt in dunkeln Räumen schliessen liefs.

Die Sandmassen, die einige Bohrlöcher bei ihrer ersten Eröffnung auswarfen, und manche Wahrnehmungen beim Bohren selbst, zeigen, dafs die unterirdischen Ströme nicht immer im Kalke sich befinden, sondern dafs sie zuweilen auch zwischen diesem und einer darunterliegenden Sandschicht (grofsentheils Grünsand) vorkommen. In diesem Falle bildet also der Kalk die feste Decke, welche das Verschütten des Stromschlauches verhindert.

Die Artesischen Brunnen, welche den Felsboden gar nicht erreichen und nur zu den Sand- und Kiesschichten im aufgeschwemmten Boden herabgeführt sind, pflegen im Allgemeinen weniger ergiebig zu sein, indem sich hier keine weiten Oeffnungen bilden können.

Die Höhe, zu welcher das Wasser der Artesischen Brunnen steigt, ist sehr verschieden, und hängt theils von dem Niveau des Speisewassers und theils von der Beschaffenheit der sonstigen Ausflüsse ab. Dafs die Quellen zuweilen 20 bis 30 Fufs über den Boden gehoben werden, ist bereits bemerkt worden, doch giebt es Beispiele, wo sie noch viel höher steigen. In einem Brunnen zu Bruck bei Erlangen soll das Wasser bis 70 Fufs ausgespritzt sein, woher die Steighöhe in einer Röhrenleitung wahrscheinlich noch bedeutend gröfser gewesen wäre. In vielen Fällen dagegen erreicht das Wasser nicht die Oberfläche der Erde, so dafs auch kein freier Ausflufs stattfindet und die Anwendung von Pumpen nöthig wird, wie dieses namentlich in London zu geschehn pflegt.

Eben so verschieden ist die Reichhaltigkeit der Artesischen Brunnen und diese wird wieder durch die Höhe bedingt, zu der man das Wasser ansteigen läfst. Je gröfser die letztere ist, um so mehr nimmt der Druck zu und um so stärker ergiefst sich das Wasser in die andern natürlichen Abzugs-Canäle. Man hat diese Abhängigkeit überall bemerkt, und wo die Steighöhe nicht bedeutend ist, macht eine Differenz von einem Fufs schon einen merklichen Unterschied in der Wassermenge. In jedem Brunnen giebt es eine gewisse Höhe, zu der das Wasser nur eben noch ansteigt, ohne sich darüber zu erheben. Der Abflufs hört also ganz auf, wenn die Oeffnung oberhalb dieser Grenze liegt. Im Allgemeinen sind Brunnen, die in der Secunde 5 Quart, oder gegen $\frac{1}{4}$ Cubikfufs Wasser geben, schon ziemlich selten, doch kommen auch Beispiele vor, dafs sie bis 2 Cubikfufs in der Secunde liefern, wie z. B. der bereits erwähnte Brunnen in Algerien, auch der Brunnen in der Gemeine Bages, 2 Lieues südwestlich von Perpignan, giebt nach Arago's Mittheilung in der Minute 2000 Liter oder in der Secunde über 1 Cubikfufs.

Sehr wichtig ist die Frage, welche Beziehung zwischen der Reichhaltigkeit eines Brunnens und der Höhe seiner Ausflufs-Mündung besteht, oder in welchem Maafse die Wassermenge sich vermindert, wenn man die Steighöhe vergrößert. Darcy theilte hierüber eine Reihe von Beobachtungen mit, die an dem Brunnen von Grenelle in Paris angestellt wurden*).

*) *Les fontaines publiques de la ville de Dijon, par Henry Darcy. Paris 1856. pag. 160.*

Dieses Bohrloch ist durch verschiedene in einander geschobene Röhren eingefasst, welche die nachstehenden lichten Weiten und Längen (in Rheinländischem Fufsmaafse) haben:

der unterste Theil ist	411,5	Fufs lang	und	0,54	Fufs weit,
der nächste	- - 229,6	- - -	-	0,45	- -
der folgende	- - 625,2	- - -	-	0,57	- -
der darauf folgende	- 446,0	- - -	-	0,76	- -

In der Höhe von 1712,3 Fufs über dem untern Ende der Röhre, befindet sich die Sohle des auf dem Terrain ausgeführten Beckens, und von diesem Niveau ab sind die Höhen der verschiedenen Steigeröhren gemessen, die bei den Versuchen verlängert und verkürzt wurden. Die lichte Weite der letzten Röhren betrug 0,69 Fufs.

In der nachstehenden Tabelle sind diese Höhen h , sowie auch die dabei gewonnenen Wassermengen m in Rheinländischem Fufsmaafse angegeben. Die dritte Spalte überschrieben $h + l$ bezeichnet die ganze Steig-Höhe. Die Bedeutung der beiden letzten Spalten wird später erklärt werden.

h	m	$h + l$	H	$H + l$
105,5	0,402	1817,8	4,12	1821,9
90,8	0,434	1803,1	4,76	1807,9
79,8	0,461	1792,1	5,34	1797,4
58,6	0,493	1770,9	6,03	1776,9
49,9	0,514	1762,2	6,51	1768,7
46,2	0,530	1758,5	6,91	1765,4
38,6	0,550	1750,9	7,41	1758,3
19,4	0,589	1731,7	8,42	1740,1
9,7	0,604	1722,0	8,80	1730,8
0,0	0,647	1712,3	10,04	1722,3

Es ergibt sich hieraus, dafs bei gröfserer Höhe der Ausflufs-Mündung die Wassermenge m sich wesentlich vermindert. Die Geschwindigkeit in der Röhre, deren Querschnitt durchschnittlich etwa ein Viertel Quadratfufs misst, beträgt bei den verschiedenen Steighöhen 1,5 bis $2\frac{1}{2}$ Fufs, woher zur Darstellung derselben nur sehr mäfsige Druckhöhen erforderlich sind. Letztere lassen sich nach

den bekannten Gesetzen über die Bewegung des Wassers in cylindrischen Röhren leicht berechnen, um diese aber bequem anwenden zu können, muß man den Einfluß der verschiedenen lichten Durchmesser, die zwischen 0,54 und 0,76 Fufs liegen, beseitigen und den constanten Durchmesser einer solchen Röhre suchen, die bei gleicher Länge, der Bewegung des Wassers denselben Widerstand entgegengesetzt.

Die Längen der einzelnen Röhrentheile bezeichne man mit $l, l'' \dots$, die Weiten oder Durchmesser derselben mit $d, d'' \dots$, die Geschwindigkeiten darin mit $v, v'' \dots$. Die hindurchfließende Wassermenge m ist in allen Theilen dieselbe, man kann also jedes v durch das entsprechende d ausdrücken. Gesucht wird die Geschwindigkeit v und der Durchmesser d derjenigen gleichförmigen Röhre, die bei der Länge

$$l = l_1 + l'' + \dots$$

dieselbe Wassermenge, wie die ungleichförmige Brunnenröhre abführt, oder die der Bewegung dieselben Widerstände entgegengesetzt.

Der Widerstand in jedem Röhrentheile ist nach den gewöhnlichen Annahmen gleich

$$n \cdot l \cdot d \cdot v^2$$

wo n einen constanten Factor bedeutet. Man hat also

$$l \cdot d \cdot v^2 = l_1 d_1 v_1^2 + l'' d'' v''^2 + \dots$$

$$\text{und da } v = \frac{4m}{\pi d^2}$$

so verwandelt sich dieser Ausdruck beim Fortfallen des gemeinschaftlichen Factors

$$\frac{16 m^2}{\pi^2}$$

$$\text{in } \frac{l}{d^3} = \frac{l_1}{d_1^3} + \frac{l''}{d''^3} + \dots$$

l ist aber bekannt, und sonach kann man aus den gegebenen Längen und Weiten der Röhrentheile die gesuchte entsprechende Weite der gleichförmigen Röhre finden.

Setzt man zur Abkürzung der Rechnung die Länge der obersten Röhre, die bei den verschiedenen Versuchen sich verändert, gleich der Hälfte des grössten h oder $= 52,75$ so ergibt sich beim Einführen der mitgetheilten Zahlenwerthe der gesuchte Durchmesser

$$d = 0,564$$

Es muß aber bemerkt werden, daß bei Annahme eines andern Werthes für das letzte l das gesuchte d nur wenig sich ändert.

Nunmehr kann man leicht die Druckhöhen H über der Ausfluß-Oeffnung der Röhre berechnen, welche bei der jedesmaligen Länge der Röhre die beobachteten Wassermengen liefern. Man darf dabei die von Eytelwein gegebene Formel zum Grunde legen, da es auf große Genauigkeit der Rechnung nicht ankommt.

$$m = 5,04 \cdot d^2 \sqrt{\frac{50 \cdot H \cdot d}{l + 50 \cdot d}}$$

also

$$H = \frac{(l + 50 \cdot d) m^2}{1270 \cdot d^3}$$

und führt man für d den gefundenen Werth ein, so erhält man

$$H = \frac{(l + 28,2) m^2}{72,54}$$

Hiernach sind die in der vierten Spalte der vorstehenden Tabelle angegebenen Werthe von H berechnet. Addirt man zu denselben die jedesmalige Länge l , so findet man die ganze Druckhöhe, die bei jeder Beobachtung das Steigen des Wassers veranlafte. Die letzte Spalte bezeichnet diese.

Man bemerkt, wie der Druck in der wasserführenden Erdschicht sich sehr bedeutend, aber ziemlich regelmäfsig mit der Zunahme der aufsteigenden Wassermenge vermindert. Die Erscheinung ist daher ganz analog der Abnahme der Dampfspannung, wenn der Kessel undicht wird und ein Theil des Dampfes durch die geöffneten Fugen entweicht. Trägt man die Wassermengen m und die Druckhöhen $H + l$ nach diesen Beobachtungen als Abscissen und Ordinaten auf, so bemerkt man, daß die Endpunkte der letzteren nahe in eine gerade Linie fallen, die keine Krümmung nach einer oder der andern Seite entschieden erkennen läßt. Verlängert man diese Linie in ihrer wahrscheinlichsten Richtung, so ergibt sich für $m = 0$ der Werth von $H + l$ ungefähr 2000 Fufs, und hieraus dürfte man schliessen, daß in der Höhe von 290 Fufs über der Sohle des erwähnten Beckens der Abfluß ganz aufhört, oder eine solche Höhe der Wassersäule, dem Drucke in der wasserführenden Erdschicht entspricht, bevor dieselbe angebohrt war. Diese Folgerung ist indessen sehr zweifelhaft, da nicht zu verkennen, daß die sämtlichen Beobachtungen von dem Punkte, wo die volle Druckhöhe erreicht wird,

noch weit entfernt sind, also die Verlängerung der Linie bis zu demselben sehr gewagt ist.

Hierbei muß noch erwähnt werden, daß in neuerer Zeit der französische Ingenieur Michal diese Verhältnisse in ganz andrer Art erklärt hat. *) Derselbe geht von der Voraussetzung aus, die Wassermasse, welche sich in der Erde bewegt, sei so groß, daß der Abfluß durch das Bohrloch den Druck nicht vermindert, und die scheinbare Abnahme des Druckes nur von den Oscillationen und dem Gegendrucke der auf der Röhre ruhenden kegelförmigen Wassermasse herrührt, welche bei größerer Ergiebigkeit der Bewegung um so mehr entgegentreit. Die darüber ausgeführte Untersuchung ergibt freilich eine gewisse Uebereinstimmung in den an den Brunnen von Grenelle und bei Passy angestellten Beobachtungen, doch kann diese auch zufällig sein und die ganze Auffassung der Erscheinung wie auch die theoretische Begründung derselben ist nicht überzeugend.

Es ist begreiflich, daß reiche Quellen, wenn sie unerwartet angebohrt werden, große Verlegenheit veranlassen können. Hiervon giebt es mehrfache Beispiele. Héricart de Thury erzählt, daß bei einem Bohrversuche in England das Wasser plötzlich so heftig hervordrang, daß es nicht nur einen Garten überschwemmte, sondern auch die Keller in der Nähe anfüllte. Die Röhre liefs sich aber nicht absperren, indem der Pfropfen immer mit großer Heftigkeit herausgeworfen wurde, bevor man ihn fest eintreiben konnte. Es glückte jedoch, schwache Ringe oder dünne Röhrenstücke einzuschlagen, und dadurch nach und nach die Mündung zu verengen, bis sie zuletzt ganz geschlossen wurde. In Tooting dagegen, wo das plötzlich ausbrechende Wasser die benachbarten Grundstücke inundirte, gelang es zwar, einen starken Pfropfen in die Röhre einzutreiben und dadurch den eigentlichen Artesischen Brunnen zu sperren, aber hierauf drang das Wasser ringsumher aus dem Boden hervor und drohte alle umstehenden Gebäude zu zerstören. Man mußte sich beeilen, die Oeffnung wieder frei zu machen und durch Rinnen und Gräben für den Abfluß des Wassers zu sorgen. Ein ähnlicher Fall ereignete sich auch ohnfern der Eisenbahn-Station Gùldenboden in der Nähe von Elbing.

Indem man bei Ausführung der Artesischen Brunnen gemeinhin

*) *Annales des Ponts et Chaussées* 1866. I. semestre pag. 211.

die Lagerungs-Verhältnisse der Bodenschichten nicht genau kennt, also auch nicht weiß, in welcher Tiefe man die wasserführende Schicht antreffen wird, so empfiehlt es sich, das Gestänge und die sonstigen Apparate in der Art vorzubereiten, daß man im ungünstigen Falle ohne großen Aufenhalt das Bohrloch tiefer treiben kann. Häufig ist der Zufluß aus einer wasserführenden Schicht zu geringe, als daß er dem Bedürfnisse entspricht und alsdann muß gleichfalls die Arbeit fortgesetzt werden, um in einer tieferen Schicht einen reicheren Quell zu eröffnen. In dieser Weise werden zuweilen mehrere wasserführende Schichten durchbohrt, und es kann nicht fehlen daß man mitunter auch Schichten trifft, die nach ihrer Zusammensetzung wasserleitend sind, die jedoch von oben her nicht gespeist werden, wohl aber am untern Ende geöffnet sind. Durch diese kann augenscheinlich das Bohrloch sich nicht füllen, wohl aber wird das in demselben befindliche Wasser in sie abfließen. Es stellt sich alsdann ein Brunnen dar, der nicht Wasser liefert, sondern solches aufnimmt und abführt, man nennt ihn einen absorbirenden oder auch wohl einen negativen Brunnen. In Frankreich hat man solche mehrfach mit großem Nutzen angewendet.

Diese letzte Art Artesischer Brunnen ist indessen keineswegs von den gewöhnlichen wesentlich verschieden. Wie bereits erwähnt, giebt es jedesmal eine gewisse Höhe der Wassersäule, die dem Drucke in der wasserführenden Schicht entspricht. Erhebt sich die Steigeröhre nicht bis zu dieser Höhe, so fließt das Wasser über, im entgegengesetzten Falle kann man durch den Brunnen Wasser ableiten. Derselbe Brunnen wird also unter Umständen Wasser geben, und wieder verschlucken. Ob dieses oder jenes geschieht, hängt gemeinlich nur davon ab, ob das Terrain neben dem Brunnen unter oder über demjenigen Niveau liegt, welches dem hydrostatischen Gleichgewichte entspricht.

Die absorbirenden Brunnen sind in mancher Beziehung so wichtig, daß eine kurze Erwähnung der dabei wahrgenommenen Erscheinungen nicht umgangen werden kann. Zu St. Denis hatte man einen Artesischen Brunnen angelegt, dessen Wasser nicht den gewünschten Grad von Reinheit besaß und welches überdies in solcher Menge hervorbrach, daß namentlich im Winter die Passage auf den Straßen beschwerlich und bei eintretendem Froste sogar gefährlich wurde. Die städtische Behörde wollte schon den Brunnen

wieder schliesen, als im Jahre 1828 der Ingenieur Mulot sich erbot, alle Uebelstände zu beseitigen, ohne daß der Brunnen eingehn dürfe. Dieses gelang in der That und es wurde ein Brunnen dargestellt, der zu den interessantesten gehört, die überhaupt vorkommen. Mulot benutzte zuerst eine absorbirende Schicht, deren Tiefe jedoch nicht angegeben ist, um das überflüssige Wasser fortzuschaffen. Die Bohrung wurde alsdann weiter fortgesetzt, und in der Tiefe von 157 Fufs fand er dieselbe reiche Wasserader, die schon früher benutzt war. Er ging aber noch weiter und schloß in der Tiefe von 207 Fufs einen Quell von großer Reinheit auf, der jedoch nicht stark genug war, um den ersten ganz entbehrlich zu machen. Eine Röhre von 3 Zoll Weite führt den letzten Quell herauf und liefert sonach das Wasser zum Trinken und Kochen. Diese Röhre steckt in einer andern, die 4 Zoll weiter ist, und das minder reine Wasser in ein Becken leitet, welches zugleich den ersten Quell aufnimmt, insofern er nicht benutzt wird. Das erwähnte Becken gießt endlich das überflüssige Wasser in ein darunter befindliches Reservoir, und dieses wird durch eine 11 Zoll weite Röhre, welche die beiden andern einschließt, in die absorbirende Schicht gegossen. So steigt das Wasser an derselben Stelle aus zwei verschiedenen Tiefen herauf, und wird wieder in den Boden zurückgeleitet *).

In diesem Falle hatte man der absorbirenden Schicht nur reines Wasser zugeführt, wenige Jahre später versuchte man auch, auf dieselbe Art unreines Wasser abzuleiten. Der Abgang und das Spühligt einer Stärkefabrik zu Villetaneuse, einem Flecken ohnfern St. Denis, verunreinigte die Brunnen in der Nachbarschaft und nicht minder den Bach Enghien, worüber weit und breit Klagen erhoben wurden. Der Versuch, dasselbe durch Senkgruben fortzuschaffen, mißglückte, und deshalb wurde im Jahre 1831 ein Ausschufs des Gesundheitsrathes mit der nähern Untersuchung der Angelegenheit beauftragt. Derselbe erkannte es für nothwendig, das schmutzige Wasser auf irgend eine Weise zu entfernen, und machte zugleich den Vorschlag, es in Bohrlöcher zu versenken. Der Ingenieur Mulot übernahm wieder die Ausführung, und es gelang demselben, in

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1833. II. p. 314.

der Tiefe von 204 Fufs den gewünschten Abflufs zu eröffnen. Während des Winters von 1832 auf 1833 verschluckte der Brunnen täglich 2570 Cubikfufs oder in 33 Secunden einen Cubikfufs, ohne dafs weder von den nächsten Nachbarn, noch sonst irgendwo eine Beschwerde erhoben wurde. Nachdem dieser günstige Erfolg bekannt geworden war, wurde bald bei einer andern Anlage gleichfalls in der Nähe von Paris dasselbe versucht, und zwar unter Umständen, die viel bedenklicher erschienen. In dem Bois de Bondy ohnfern des Ourcq-Canals, 4 Lieues von Paris, bestand nämlich seit geraumer Zeit eine Poudretfabrik, welche aus den Cloaken von Paris das Material bezieht und weit und breit um sich die Luft verpestete, auch das Wasser des Crou-Baches inficirte, der bei St. Denis in die Seine fließt. Zur Einrichtung eines bequemen Betriebes der Fabrik wurde hier wieder durch Mulot, ohne dafs die Genehmigung dazu eingeholt war, ein absorbirendes Bohrloch eröffnet, welches innerhalb 24 Stunden über 4000 Cubikfufs oder in 22 Secunden einen Cubikfufs von dem höchst unreinen Wasser verschluckte. Als die Polizeibehörde hiervon Kenntnifs erhielt, liefs sie aus Besorgnifs, dafs alle Artesische Brunnen bei Paris dadurch verunreinigt werden möchten, die Benutzung des Bohrloches einstellen und es wurde eine Commission zur Untersuchung des Gegenstandes niedergesetzt. Das Gutachten derselben sprach sich unbedingt für die Beibehaltung der Anlage aus. Manche Beispiele zeigten nämlich, dafs die wasserführenden Schichten, wenn sie verunreinigt werden, ihren Einflufs nur auf die nächsten Umgebungen erstrecken, und besonders ergab sich dies am Irrenhause in Bicêtre, wo man den Urin, Spühlig und dergleichen von 4000 bis 6000 Menschen seit dem Jahre 1810 in die zweite wasserführende Schicht geleitet hat, ohne dafs die Brunnen in der Nähe, die nach ihrer Tiefe zu urtheilen, durch dieselbe Schicht gespeist werden, eine Spur von Verunreinigung zeigen. Hiernach war nicht zu erwarten, dafs ein nachtheiliger Einflufs sich bis nach Paris erstrecken könne. Bei Ausführung dieses Bohrloches hatte Mulot in der Tiefe von 125 bis 145 Fufs in klüftigem Kalk eine absorbirende Schicht gefunden, die jedoch in 24 Stunden nur 1600 bis 2000 Cubikfufs aufnahm, dagegen fand sich in der Tiefe von 210 bis 240 Fufs eine Sandschicht, welche die erwähnte Masse verschluckte. Es ist auffallend, dafs die Capacität des Bohrloches nach

der Eröffnung desselben sehr schnell und ziemlich regelmässig zu-
nahm *), dasselbe absorbirte nämlich

zu Ende März 1834	täglich	3460	Cubikfufs
Anfang April	- -	4430	-
Mitte April	- -	4750	-
Ende April	- -	4750	-
Anfang Mai	- -	5070	-

Das Vertrauen zu Anlagen dieser Art nahm schnell zu, und im Jahre 1834 liefs der Magistrat von Paris drei absorbirende Brunnen an den Thoren du Combat, de Saint-Mandé und de la Cunette ausführen. Der erste, der hauptsächlich einen sumpfigen District, dem die natürliche Entwässerung fehlt, trocken legen sollte, war in demselben Jahr durch Mulot auf 258 Fufs herabgetrieben und im folgenden Winter stellte man Versuche über seine Capacität an. Diese gaben das überraschende Resultat, dafs er in einer Stunde 1620, 2260 und zuletzt sogar 3240 Cubikfufs, oder in einer Secunde bis $\frac{2}{10}$ Cubikfufs Wasser verschluckte. Die Weite der Röhre war nach der Tiefe verschieden, sie betrug zum Theil nur 5 Zoll. Man versuchte auch durch einen aufrecht schwimmenden Maafsstab die Erhebung des Wasserspiegels im Bohrloche während des Zuflusses zu beobachten, doch gelang es nicht, hierüber zu einem entscheidenden Resulte zu kommen, weil der Schwimmer von dem abwärts gerichteten Strome heruntergezogen wurde. **)

In Bezug auf den ersten Zweck der Artesischen Brunnen, nämlich die Zuleitung von Wasser, mufs noch auf die verschiedenartige Benutzung desselben hingewiesen werden. Wenn durch dieses in einzelnen Fällen auch Mühlen und andre kleine Maschinen getrieben werden, so ist diese Verwendung doch nur von untergeordneter Bedeutung. Wichtiger ist es, dafs man zuweilen durch passende Zuleitung dieses Wassers, das wegen der grossen Tiefe, aus der es tritt, auch im Winter eine höhere Temperatur behält, das Eis aus den Radstuben beseitigt, wie dieses namentlich in einer Papier-Fabrik bei Heilbronn geschieht.

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1833. II. p. 324 ff. und 1835. I. p. 126. Nach spätern mir gemachten Mittheilungen hat der Brunnen nach wenig Jahren zu wirken aufgehört.

**) *Annales des ponts et chaussées*. 1835. II. p. 362.

Die Versuche, durch Artesische Brunnen dem Wassermangel in Canälen und Hafenbassins abzuhelfen, haben überall unzulängliche Resultate gegeben. Dieses war sowol bei dem Hafen St. Ouen bei Paris der Fall, wie auch nach Seaward's Mittheilung bei einigen Canälen in und neben London. In gleicher Weise zeigte sich kein merklicher Erfolg, als man den nunmehr eingegangenen Max-Clemens-Canal bei Münster durch Artesische Brunnen speisen wollte.

Vielfach werden die Artesischen Brunnen zur Bewässerung von Gärten und anderer Culturen benutzt, ihr wichtigster Zweck bleibt aber unbedingt die Beschaffung von reinem Wasser für verschiedene industrielle Etablissements und vorzugsweise für den häuslichen Bedarf. In letzter Beziehung tritt ihr großer Werth besonders in solchen Gegenden hervor, wo gewöhnliche Brunnen entweder gar kein Wasser oder nur unbrauchbares liefern. Der noch im Bau begriffene Norddeutsche Kriegshafen an der Mündung der Jade ist in meilenweiter Entfernung nur von niedrigen Marschen umgeben, die durch Alluvionen im Meere gebildet, die Bestandtheile des Seewassers noch so reichlich enthalten, daß das Wasser in gewöhnlichen Brunnen, die man hier ausführen könnte, für den häuslichen Gebrauch ganz ungeeignet wäre. Es war hier üblich, neben den Gehöften tiefe Gruben auszuheben, die durch Thonschlag gedichtet waren, und welche sich beim Regen anfüllten. Indem aber die Verunreinigung nicht verhindert war, so konnte man das Wasser nicht trinken, wenn es auch zum Kochen benutzt wurde. Beim Beginne des Hafenbaues wurde zunächst eine große ausgemauerte und überwölbte Cisterne in dem Dienstgebäude der Bau-Beamten ausgeführt, welche durch die Dachrinnen gespeist, bei dem damaligen noch geringen Bedürfnisse und bei den starken Niederschlägen in dortiger Gegend sich als genügend erwies. Später mußte indessen in anderer Weise gesorgt werden, und da das nächstgelegene höhere Terrain in den Umgebungen von Jever über eine Meile entfernt ist, auch die dortigen Brunnen nur spärlich Wasser sammeln, so schien es nothwendig mit Artesischen Brunnen den Versuch zu machen. Der erste Bohrversuch, in den Jahren 1856 und 1857 ausgeführt, und etwa bis auf 200 Fuß Tiefe fortgesetzt, gab kein Resultat und mußte aufgegeben werden, da die Futterröhre so beschädigt war, daß sie weder weiter herabgetrieben, noch eine andere darin eingeschoben werden konnte.

Im Jahre 1862 wurde ein zweiter Versuch an einer andern Stelle des Hafengebietes begonnen, nachdem Seitens der Bergbehörde die gutachtliche Aeufserung dahin abgegeben war, dafs der Erfolg zwar keineswegs ganz sicher, es aber dennoch wahrscheinlich sei, dafs die Kreide, die bei Braunschweig und Helgoland, so wie auch an manchen zwischenliegenden Punkten zu Tage tritt, und die man in Glückstadt in der Tiefe von 480 Fufs angebohrt hat, auch hier durchstreiche, und man daher hoffen dürfe, über oder in ihr Quellen zu finden, die von viel höher liegenden Gegenden gespeist werden. Man erwartete, in der Tiefe von 400 bis 500 Fufs die wasserhaltende Schicht zu erreichen.

Mit einer 24 Zoll weiten Röhre wurde der Anfang gemacht, jedoch diese nur bis auf 12 Fufs durch die Dargschicht getrieben. Hierin wurde ein 18zölliges Rohr gestellt, welches 34 Fufs tief eindrang. Den weiten Zwischenraum zwischen beiden vergoßs man mit dünnflüssigem Cement, um das unreine Wasser aus den obern Erdschichten abzuhalten. Nunmehr wurde eine 14zöllige, alsdann eine 12zöllige, ferner eine 10zöllige, in diese eine 8zöllige und darin wieder eine 6zöllige Röhre eingeschoben. Mit der letzteren erreichte man endlich in der Tiefe 636 Fufs einen Quell süßen Wassers, der nicht nur die ganze Röhre füllte, sondern auch etwa 3 Fufs über der allgemeinen Terrainhöhe abfloß.

Das Resultat war wegen der sehr geringen Wassermasse keineswegs befriedigend, nämlich 350 Cubikfufs in 24 Stunden, oder in 4 Minuten nahe 1 Cubikfufs, aber es erweckte doch die Hoffnung, dafs man auf diesem Wege das Bedürfnifs befriedigen könne. Das Wasser ist so rein, dafs es als Trinkwasser benutzt wird, wenn es auch eine geringe Masse Salz enthält, nämlich etwa $\frac{1}{3}$ Procent. In dieser Beziehung soll es aber seit Eröffnung des Brunnens sich schon merklich verbessert haben.

Gegenwärtig hat man einen zweiten Brunnen in geringer Entfernung vom ersten und zwar in größeren Dimensionen abgeteuft, der aber in der Tiefe von 687 Fufs die wasserführende Schicht noch nicht erreicht hat. Man schließt hieraus, dafs derselbe die Ergiebigkeit des ersten Brunnens nicht vermindern wird.

Wenn die Wassermenge eines Artesischen Brunnens dem Bedürfnisse nicht entspricht, so läßt sich dieselbe dadurch etwas vergrößern, dafs man das Niveau in der Steigeröhre senkt, und hier-

durch, wie sich aus Obigem ergibt, den Zufluss aus der wasserführenden Schicht verstärkt. Man hat in England mehrfach dieses Mittel mit Erfolg angewendet, indem man aus der Röhre einen Abfluss nach einem weiten Brunnenkessel eröffnet, der durch eine Schöpfmaschine ausgepumpt wird.

Endlich sind die Artesischen Brunnen auch vielfach benutzt worden, um aus Steinsalzlageren in großer Tiefe eine reiche Soole zu gewinnen, welche das Gradiren ganz oder theilweise entbehrlich macht. Dieses ist z. B. bei Rehme ohnfern Minden in dem Bade Oynhausen geschehn. Es sind daselbst zwei Brunnen etwa 2000 Fufs tief gebohrt, von denen der zweite nur für die Soolbäder benutzt wird, die er sämmtlich speist, ohne dafs dabei eine Schöpfmaschine erforderlich wäre. Indem jedoch diese Bäder mit sehr seltenen Ausnahmen nur während des Sommers benutzt werden, so hat man sich bemüht, während der übrigen Zeit den Brunnen zu schliessen, um die werthvolle Soole nicht zwecklos abfliessen zu lassen. Dieser Versuch ist jedoch bis jetzt noch nicht geglückt, da man bei dem sehr starken Wasserdrucke die Vorrichtung, woran sich der Abflafhahn befindet, nicht sicher und hinreichend dicht schliessend befestigen konnte.

Beim Vortreten der Soole findet häufig auch ein starkes Ausströmen von Gas statt. Im Bade Oynhausen wird kohlen-saures Gas in einem Gasometer aufgefangen, und dieses leitet man in besondere Räume der Badehäuser. Auf der Saline Gottesgabe bei Rheine an der Ems giebt dagegen das Bohrloch Kohlenwasserstoffgas, das zur Beleuchtung und zum Kochen verwendet wurde.

§. 10.

Artesische Brunnen: das Gestänge.

Die Ausführung der Artesischen Brunnen wird vorzugsweise durch die große Tiefe derselben erschwert, die nicht gestattet, die Bohrer und sonstigen Apparate unmittelbar zu fassen und ihnen die gehörige Richtung und Haltung zu geben, dieses muß vielmehr durch Vermittelung des Gestänges oder auch eines Seils von hunderten und selbst tausenden Fufs Länge geschehn. Das Bohrloch soll aber

immer senkrecht gehalten werden und einen bestimmten und regelmäßigen Querschnitt haben, weil sonst der Bohrer nicht gehörig wirken könnte, auch die Einführung der Futter- und Steigeröhren unmöglich würde. Dazu kommt noch, daß der Boden oft von sehr wechselnder Beschaffenheit ist, so daß man bald auf Sand und bald auf feste Geschiebe trifft, von denen der erstere eine Ausfütterung verlangt und die letzten nicht mit gewöhnlichen Erdbohrern, sondern mit Meißeln durchstossen werden müssen, und daß vielleicht unter diesen wieder eine lose Schicht, oder ein bröckelndes Gestein liegt, welches die Einbringung von Futterröhren aufs Neue fordert. Den größten Uebelstand bilden die Zufälligkeiten, die bei solcher Arbeit unvermeidlich sind. Einzelne Theile des Apparats brechen und bleiben im Bohrloche stecken, hin und wieder fallen Schrauben oder andere Stücke herab, die bereits eingesetzten Futterröhren werden beschädigt und dergleichen mehr. Auf solche Art ist der Erfolg dieser Anlagen immer weit unsicherer, als der von andern Bauwerken, und dieses nicht nur in Bezug auf die Tiefe, worin die Quellen angetroffen werden, sondern auch auf die Arbeit selbst. Wenn bei geschickter Leitung und bei hinreichenden Geldmitteln diese Schwierigkeiten auch meist zu überwinden sind, bleiben die vielfachen unerwarteten Unterbrechungen doch überaus störend. Anfangs schreitet das Bohren sehr schnell vor, doch bald werden alle Operationen viel zeitraubender, und in der Tiefe von einigen Hundert Fufs pflegt man täglich kaum einen Fufs zu gewinnen, und dabei werden die zufälligen Störungen immer häufiger und bedenklicher. Bricht in großer Tiefe ein Theil des Apparats und stürzt in das Bohrloch herab, so müssen zahllose Versuche gemacht werden, das verlorne Stück wieder zu fassen. Eine Methode, deren Erfolg ganz sicher wäre, giebt es nicht und bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Zufälle, die hierbei eintreten können, und die man von oben her auch nicht immer zu beurtheilen im Stande ist, bleibt nur übrig, ein und das andere Mittel zu versuchen, bis es oft nach Wochen und selbst nach Monaten gelingt, das verlorne Stück zu fassen und zu heben.

Beim Bohren werden zwei wesentlich verschiedene Methoden angewandt, nämlich entweder mit festem Gestänge, oder mit dem Seile. Nach der ersteren wird der Stiel des Bohrers bei der zunehmenden Tiefe des Bohrloches nach und nach durch angesetzte

Stangen verlängert, und indem die Bewegung, die man der obersten Stange giebt, sich durch die folgenden dem Bohrer mittheilt, so behält man immer einigermaassen die Führung des Bohrers und kann ihn wenigstens drehn und in jeder beliebigen Richtung herablassen. Ein großer Uebelstand hierbei ist der Zeitverlust, den jedesmal das Herausheben und Wiedereinstellen des Bohrers verursacht, indem das Gestänge in einzelne Theile zerlegt werden muß, wozu bei größeren Tiefen mehrere Stunden, auch wohl halbe Tage gehören, so daß gemeinhin der größte Theil der Zeit auf das immer wiederholte Auseinandernehmen und Zusammensetzen des Gestänges verwendet wird. Das große Gewicht und die Kostbarkeit eines langen Gestänges sind gleichfalls Uebelstände dieser Methode. Beim Seilbohren wird das Gestänge durch ein Seil ersetzt, woran der Bohrer hängt. Will man letzteren haben, so braucht man nur das Seil aufzuwinden, was in einer ungleich kürzeren Zeit geschieht. Dagegen vermißt man bei dieser Methode den großen Vortheil, daß man den Bohrer beliebig drehn kann und sonach wird theils das Durchfahren von lockern Erdschichten beinahe unmöglich, theils aber nehmen auch die Schwierigkeiten beim Fassen herabgestürzter oder zerbrochener Bohrer in hohem Grade zu. Das Seilbohren findet daher seine eigentliche Anwendung nur in festem und zusammenhängendem Gesteine. Die dazu gehörigen Apparate lassen sich mit minderen Kosten beschaffen, und wenn kein Bruch sich ereignet und alle Arbeiten glücklich von Statten gehn, so kann man die Anlage selbst in kürzerer Zeit, als nach der ersten Methode, beendigen. Doch ist jene unbedingt viel sicherer im Erfolge, woher sie in neuerer Zeit beinahe ausschließlich angewendet wird.

Das Gestänge bildet die Verlängerung der Bohrer und der sonstigen Instrumente zum Aufräumen und Vertiefen der Bohrlöcher. Es besteht aus Stangen von geschmiedetem Eisen, die an ihren Enden mit Vorrichtungen versehen sind, wodurch sie möglichst leicht und fest verbunden werden können. Diese einzelnen Theile oder Glieder müssen nicht nur die nöthige Stärke und Festigkeit besitzen, um nicht unter der eignen Last zu zerreißen, sondern sie müssen auch der Drehung und dem verstärkten Zuge widerstehn, wenn der Bohrer sich klemmen sollte. Da ein zu großer Querschnitt ihr Gewicht unnöthiger Weise vermehren und dadurch die Arbeit erschweren würde, so müssen namentlich lange Gestänge aus dem

besten Material und sorgfältig bearbeitet sein. Die Stangen haben jedesmal einen quadratischen Querschnitt, damit sie an jeder Stelle mit dem Schlüssel sicher gefasst und gedreht werden können. Ihre Stärke ist von der Länge und zum Theil auch von der Weite des Bohrloches und manchen Eigenthümlichkeiten des Bodens abhängig, die einen größeren oder minderen Widerstand bedingen. Der geringste Querschnitt eines Gestänges, welches dauernd benutzt werden soll, beträgt 1 Quadratzoll, für größere Tiefen von etwa 200 Fufs pflegt die Seite des Quadrates schon $1\frac{1}{4}$ Zoll zu messen, und $1\frac{1}{2}$ Zoll, wenn man gegen 1000 Fufs herabgehn will. Beim Bohrapparate, der im Schlachthause von Grenelle zu Paris angewandt wurde, hielt der Querschnitt des Gestänges beinahe 4 Quadratzoll.

Man könnte meinen, dafs bei größerer Tiefe nur die obern Glieder verstärkt werden dürfen, doch lehrt die Erfahrung, dafs die untern der Gefahr des Biegens immer am meisten ausgesetzt sind, und daher pflegt man in Frankreich, wenn man nicht einen gleichen Querschnitt wählt, diesen sogar in den untern Gliedern zu verstärken. Bei dem ersten in Artern herabgeführten Bohrloch hatte der größte Theil des Gestänges nur den Querschnitt von 1 Quadratzoll, während die untern Stangen $1\frac{1}{4}$ Zoll in der Seite hielten, doch wurde das Gestänge hier auch besonders stark angegriffen.

Die Länge der einzelnen Glieder pflegt man um so größer anzunehmen, je tiefer voraussichtlich das Bohrloch abzuteufen ist, weil alsdann wegen der schwierigeren und ausgedehnteren Arbeit die Einrichtungen vollständiger getroffen werden müssen und höhere Bohrthürme nicht zu vermeiden sind. In neuerer Zeit giebt man aber den Gliedern gewöhnlich die Länge von 20 bis 30 Fufs, während einzelne kürzere Glieder nach Bedürfnis aufgesteckt werden, damit das Gestänge beim Bohren nicht zu weit die Mündung des Bohrloches überragt.

Die Art der Verbindung der einzelnen Glieder ist sehr verschieden, aber keine derselben entspricht vollständig allen Anforderungen, die man an ein Gestänge macht. Eine Hauptbedingung ist, dafs die Theile nicht nur gegen eine zufällige Trennung gesichert sind, sondern auch so fest schliessen, dafs sie nicht schlottern. Ferner muß eine Drehung des Gestänges wenigstens in einer Richtung vorgenommen werden können, es ist aber vortheilhaft, wenn nöthigenfalls auch rückwärts gedreht werden kann, denn ein festgeklemm-

ter Bohrer läßt sich auf diese Art am leichtesten lösen. Sodann muß das Verfahren beim Auseinandernehmen und Zusammensetzen des Gestänges möglichst einfach und wenig zeitraubend sein, und endlich ist es noch von großer Wichtigkeit, daß keine kleineren Verbindungsstücke, wie Schraubenbolzen oder Muttern, vorkommen, da diese leicht in das Bohrloch herabfallen und alsdann nur nach vielfachem Suchen wieder heraufgebracht oder seitwärts gedrängt werden können.

Die einfachste und vielleicht auch die beste Art der Verbindung der Glieder ist die gewöhnliche Schraube, indem jedes Glied an einem Ende mit einer Schraubenspindel und am andern mit einer Mutter versehen ist. Die Schraube darf aber keine schwache Stelle im Gestänge bilden, vielmehr muß sie denselben Querschnitt, wie der übrige Theil des Gestänges haben, woher die Mutter eine entsprechende Verstärkung oder einen Bundring auf dem Gliede bildet. Wollte man beim scharfen Anziehn der Schraube nur die Oberfläche der Spindel gegen den Boden der Oeffnung in der Mutter drücken lassen, so würde die Verbindung nicht fest genug sein, indem theils die Fläche, auf der die Reibung erfolgt, zu klein ist, und theils auch die Schraubengänge in der Mutter nahe am Boden nicht scharf ausgeschnitten werden können. Aus diesem Grunde versieht man auch dasjenige Ende des Gliedes, woran die Schraubenspindel sich befindet, mit einem Bundringe, und beide äußere Flächen dieser Bünde werden abgedreht, so daß beim Anziehn der Schraube zwischen ihnen der scharfe Schluß erfolgt. Die Schraubenspindel muß dabei so kurz sein, daß sie den Boden der Mutter nicht berührt, auch bei einem später erfolgenden tieferen Eindringen nicht dagegen stößt. Um eine noch innigere Berührung hervorzubringen, werden zuweilen die Endflächen flach abgedreht, die eine hohl, die andere erhaben, wie Fig. 10, und zwar *a* im Durchschnitt und *b* in der Seitenansicht, zeigt. Dabei wird noch der Vortheil erreicht, daß nicht nur die Schraube, sondern auch diese conischen Flächen eine scharfe Centrirung des Gestänges veranlassen.

Wie fest und einfach diese Verbindung auch immer ist, so tritt dabei der Uebelstand ein, daß man den Bohrer nicht zurückdrehn darf, weil sich sonst die Glieder lösen. Man hat zwar manche Vorrichtungen zur Verhütung des Auslösens beim Zurückdrehn vorge schlagen und zuweilen auch wirklich ausgeführt, dabei wird aber

das scharfe Anziehn der Schraube und dadurch die Festigkeit und Steifigkeit des Gestänges beeinträchtigt.

Zuweilen wählt man statt der Schrauben, gabelförmige Verbindungen, wobei das Ende des einen Gliedes das des nächsten umfaßt und mittelst Seitenschrauben gehalten wird. Auch hierbei kommen manche Modificationen vor, sowie überhaupt fast bei jedem neuen Gestänge, auch einige Aenderungen versucht werden. Die von Garnier empfohlne Verbindung, Fig. 11, gestattet das Zurückdrehn des Bohrers. Der größte Uebelstand dabei ist das Vorkommen der losen Schraubenbolzen und Muttern, von denen die letzten jedoch ohne Nachtheil entbehrt werden können, wenn die Gewinde in die hintern Lappen eingeschnitten werden. Wenn man Muttern anwendet, so müssen die Schraubenbolzen in der Nähe des Kopfes viereckig ausgeschmiedet sein, und einen gleichen Querschnitt müssen auch die Löcher in dem vorderen Lappen haben, weil sonst beim Anziehn der Muttern die Schraubenbolzen sich drehn würden. Ferner ist zu bemerken, wie dieses auch die Figur zeigt, daß die Bolzen in entgegengesetzter Richtung eingesteckt werden, damit sie gleichzeitig durch zwei Arbeiter befestigt und gelöst werden können. Noch muß erinnert werden, daß eine gleichmäßige Bearbeitung aller Theile nothwendig ist, damit die einzelnen Glieder nicht ihrer Reihenfolge nach ausgesucht werden dürfen.

Das Gestänge darf während des Bohrens nicht auf der Sohle des Bohrloches ruhen, weil es dabei sich theils biegen, theils auch durch sein Gewicht das Drehn verhindern würde. Es hängt daher dauernd an der Rüstung und ist mit dem Windetau durch ein Kopfstück oder einen Bohrwirbel verbunden, den Fig. 12 in seiner einfachsten Form zeigt. In neuerer Zeit pflegt man diesen jedoch nicht unmittelbar an das Tau, vielmehr an eine etwa 2 Fuß lange Schraubenspindel zu hängen. Man erreicht dabei den Vortheil, daß man beim Drehn der gewöhnlichen Erdbohrer, um diese tiefer eingreifen zu lassen, nicht mittelst der Winde das Gestänge zu senken braucht, sondern hierzu schon die Schraube Gelegenheit bietet. Fig. 33 auf Taf. III. zeigt diese Vorrichtung.

Soll das Gestänge in die einzelnen Glieder zerlegt oder aus diesen zusammengesetzt werden, so muß man das erwähnte Kopfstück beseitigen und dafür das Gestänge in andrer Weise fassen. Besonders bequem und sicher für diesen Zweck ist der Doppelhaken,

den Fig. 13 *a* und *b* in der Ansicht von vorn und von der Seite zeigt. Die Entfernung seiner beiden Arme von einander ist so groß, daß zwar der mittlere Theil eines Gliedes, aber nicht die Verstärkung oder der Bundring dazwischen Raum finden. Zur größeren Sicherheit werden die beiden Arme an ihren Enden noch mit einem Bolzen verbunden, um das gefasste Glied nicht entweichen zu lassen. Der Haken muß übrigens so geformt sein, daß er den Kopf jedes Gliedes in der Mitte trägt, und nirgend ein Klemmen oder Biegen erfolgt. Der Fig. 14 *a* und *b* dargestellte Haken faßt nicht nur den Kopf des Gliedes, sondern jede Stelle des Gestänges. Fig. 14 *a* zeigt, wie er beim Eingreifen eine etwas schräge Lage annimmt, und der starke Seitendruck alsdann die nöthige Reibung veranlaßt. Bei seinem Gebrauche tritt aber die Gefahr ein, daß er die Stange verbiegt und man muß daher, während das Gestänge daran hängt, jede Erschütterung vermeiden.

In neuerer Zeit bedient man sich hierzu vorzugsweise der Abfange-Schere, die Taf. III. Fig. 38 dargestellt ist. Die beiden, an einem Ende durch ein Charnier verbundenen Arme derselben lassen zwischen sich, wenn sie geschlossen sind, einen quadratischen Raum frei, der dem Querschnitte des Gestänges entspricht, durch welchen also die Bundringe nicht hindurchgleiten können. Damit die Schere sich aber nicht zufällig öffnet, so werden die Arme an dem, dem Charnier entgegengesetzten Ende durch einen starken Ueberwurf zusammengehalten. Beim Heben oder Senken des Gestänges ruht die Schere auf dem obern Ende der Bohrröhre, über welche sie auf beiden Seiten noch übertritt.

Will man das Gestänge ausheben, dessen oberes Ende jedesmal an dem Windetau hängt, so hebt man es mittelst des letzteren so weit, daß der Bundring, der sich zunächst unter dem zu lösenden Theile befindet, über die Bohrröhre tritt, und faßt diesen Ring mit der Schere oder dem Doppelhaken. Alsdann kann man den freischwebenden Theil, der aus einem oder zwei Gliedern besteht, lösen und in den Bohrturm stellen. Dieselbe Operation wiederholt sich beim Lösen der folgenden Theile. Damit aber dieselbe Winde beim jedesmaligen Heben des Gestänges benutzt werden kann, und die Haken nicht gewechselt werden dürfen, versieht man zuweilen das obere Ende jedes Gliedes mit zwei Bundringen, so daß jeder derselben besonders gefast werden kann. Hierdurch wird das wieder-

holte Anbringen des Kopfstückes vermieden. Beim Herablassen des Gestänges wiederholt sich dasselbe Verfahren in umgekehrter Reihenfolge.

Ueber das Anknüpfen eines starken Tauens an einen eisernen Ring oder Haken mag hier gleich das Nöthige bemerkt werden. Wollte man das Tau unmittelbar um den eisernen Ring schlingen, so würden bei der scharfen Biegung des Tauens die Fäden sehr ungleich gespannt werden, und indem die am stärksten gespannten bald zerreißen, so kämen nach und nach alle Theile des Tauens zum Bruche, und der ganzen Verbindung fehlte die nöthige Festigkeit. Außerdem aber würde bei jeder Bewegung auch der Ring gegen das Tau reiben und letzteres leicht abnutzen. Aus diesen Gründen pflegt man nicht nur im vorliegenden Falle, sondern bei jeder dauernden Benutzung von Hebezeugen die in Fig. 14 Taf. I. dargestellte Vorrichtung anzuwenden, die man eine Kausche nennt. Sie besteht aus einem Ringe von Eisenblech von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, doch ist das Blech, bevor es zum Ringe gebogen wird, als flache Rinne ausgeschmiedet worden. In diese wird das Tau gelegt. Die Befestigung oder das Anknüpfen des Tauens geschieht, wie Fig. 14 *b* zeigt, durch einmaliges Umschlingen, also durch einen halben Knoten oder einen einfachen Schlag. Nachdem das Tau umgelegt ist, klopf man die scharfe Windung bei *B* mit einem hölzernen Hammer möglichst fest, während man bei *A* das Tau hält, und zieht alsdann das kurze Ende herauf und bindet es mit einer dünnen Leine scharf gegen das längere. Diese Verbindung ist nicht nur vollkommen sicher, sondern auch so fest, daß die Kausche immer scharf eingeklemmt bleibt und daher gegen das Tau nicht reiben kann.

Zum Drehen des Gestänges bedient man sich eines Hebels, der doppelarmig sein muß, weil ein einarmiger das Gestänge verbiegen würde. Fig. 15 *a* und *b* auf Taf. II. zeigen in der Ansicht von der Seite und von oben einen solchen Hebel, der aus Holz besteht. Derselbe wird auf das Gestänge von oben aufgesteckt, und die Oeffnung *A* ist so geräumig, daß sie nicht nur über die einzelnen Glieder, sondern auch über die Verbindung von zweien geschoben werden kann. Damit das Holz nicht spaltet, sind zwei eiserne Ringe *B* aufgetrieben, und in dem einen derselben ist ein Einschnitt von der Größe des Querschnittes des Gestänges angebracht, worin dieses beim Einstellen gelegt wird (Fig. 15 *b*). Ist

letzteres geschehn, so schließt man die Oeffnung *A* mit einem hölzernen Keile *C* und treibt denselben fest ein. Dieser Hebel wurde von Garnier empfohlen, doch bedient man sich in neuerer Zeit gewöhnlich eines eisernen. Einen solchen und zwar, wie er in Frankreich angewendet wurde, zeigt Fig. 16. Derselbe ist nicht nur sehr bequem, sondern gewährt auch den Vortheil, daß gar keine losen Theile dabei vorkommen. Es trifft sich indessen zuweilen, daß man eine sehr große Kraft anzuwenden gezwungen ist. In diesem Falle muß man noch lange Hebel, wie Schraubenschlüssel geformt, in Bereitschaft halten. Ein solcher ist Fig. 17 dargestellt. Letztere werden auch zur Zusammensetzung des Gestänges benutzt, falls die Glieder durch Schrauben verbunden sind.

Wenn die Tiefe des Bohrloches sehr groß und ein festes Gestein zu durchfahren ist, das nur durch fortgesetztes Aufstoßen der meißelartigen Bohrer zerbröckelt werden kann, so treten bei Anwendung des bisher beschriebenen fest verbundenen Gestänges wesentliche Schwierigkeiten ein, indem theils die zu hebende Masse einen sehr großen Kraftaufwand erfordert, theils aber das Gestänge, indem es sich bei jedem Stöße plötzlich auf sein unteres Ende oder auf den Bohrer aufstellt, heftigen Erschütterungen und vielfachen Beschädigungen ausgesetzt wird. Dazu kommt noch, daß der Stoß des Bohrers in Folge der Wirkung des schweren Gegengewichtes, das bei dieser Art der Bewegung nicht vermieden werden kann, weniger scharf und kräftig ist, als wenn ein leichteres Gestänge frei herabfällt.

Man setzt aus diesen Gründen die langen Gestänge, und zwar wenn die Bohrer durch den Stoß wirken sollen, aus zwei verschiedenen Theilen zusammen, die zwar mit einander verbunden sind, so daß beim Herausziehen des obern, der untere mit gehoben wird, die jedoch innerhalb gewisser Grenzen sich unabhängig von einander bewegen können. Indem der obere Theil, der viel länger, als der untere ist, auf diese Art vor Erschütterungen geschützt wird, so ist es zulässig, demselben einen geringeren Querschnitt zu geben, als ein in gewöhnlicher Weise zusammengesetztes Gestänge erfordert haben würde. Man hat denselben Zweck auch auf andre Art zu erreichen versucht, namentlich durch Anwendung von hölzernen Latzen und eisernen Hohlcyindern statt der eisernen Stangen. In beiden Fällen tritt aber bei dem Eintauchen in das Wasser, das sich im

Bohrloche sammelt, eine bedeutende Verminderung des Gewichtes ein. Ein solches Hohlgestänge von $1\frac{1}{4}$ Zoll lichter Weite und 2 Linien Wandstärke wurde bei der Ausführung des ersten Bohrloches bei Rehme angewendet.

Passender war die bereits erwähnte Trennung des Gestänges, die von Oynhausen bei Ausführung desselben Bohrbrunnens gleichfalls vornahm. Um nämlich das Gestänge den Erschütterungen beim Aufstossen der Bohrer zu entziehen, wurde der untere etwa 100 Fufs lange und besonders stark construirte Theil an ein sogenanntes Wechselstück gehängt. Dieses besteht, wie Fig. 34, *a* und *b* auf Taf. III in der Seitenansicht und im Querschnitt zeigt, aus einer aufgeschlitzten starken Röhre, die etwa 2 Fufs lang ist und eine mit durchgreifenden Armen versehene Stange umfaßt. Letztere kann sich auf und ab bewegen, und legt sich beim Heben des Gestänges mit ihren Armen auf den untern Ring auf. Bei dieser Verbindung wird nur der untere Theil des Gestänges von der Erschütterung beim Aufstossen des Bohrers getroffen.

Um ferner den untern Theil des Gestänges ganz frei, also unabhängig von dem obern herabfallen zu lassen, hat man auch das sogenannte Fallstück an Stelle des Wechselstückes benutzt. Es unterscheidet sich von diesem dadurch, daß die erwähnten Arme zwar in den Schlitzten frei herabfallen, aber beim Anheben des Gestänges durch Seiten-Ansätze zurückgehalten werden, so daß sie nicht auf dem untern Ringe aufliegen. Sobald daher diese Hemmung beseitigt wird, so fällt der untere Theil mit dem Bohrer frei herab, während der obere Theil des Gestänges ihm langsam folgt. Die Darstellung und Lösung dieser Hemmung ist auf verschiedene Weise versucht worden. Am einfachsten erfolgt sie dadurch, daß das Gestänge nach der einen, oder der andern Seite durch den Bohrmeister etwas gedreht wird, und zwar so rasch, daß diese Bewegung sich auf den untern Theil nicht überträgt.

Von großer Wichtigkeit ist es, die Länge jedes einzelnen Gliedes vom Gestänge so wie auch jedes Bohrers sorgfältig zu messen, damit man jederzeit bis auf einen Zoll genau angeben kann, in welcher Tiefe der Bohrer arbeitet. Wenn man auch im Allgemeinen hierauf schon große Aufmerksamkeit zu verwenden pflegt, um den Fortgang der Arbeit zu controlliren, so ist dieses doch besonders nöthig, sobald man gebrochene oder gelöste und herabgefallene

Theile des Apparates fassen und heben will, oder wenn man festen Geschieben begegnet.

§. 11.

Artesische Brunnen: die Bohrer.

Die Einrichtung und Form der Bohrer ist nach der Beschaffenheit des Bodens, worin sie benutzt werden, wesentlich verschieden, auch sind dieselben vielfach verändert worden, indem man sie in einer oder der andern Beziehung brauchbarer zu machen gesucht hat. Eine vollständige Aufzählung aller verschiedenen Modificationen würde zu weit führen, hier sollen nur die Hauptformen und namentlich solche, die im aufgeschwemmten Boden brauchbar sind, beschrieben werden. Jeder Bohrer ist an einem Stiele befestigt, der mit demselben Kopfe versehen ist, wie jedes andere Glied des Gestänges und kann sonach mit allen Gliedern verbunden werden. Die Dimensionen der Bohrer entsprechen in den meisten Fällen der Weite des Bohrloches.

Für Bohrer, die in Erde, Lehm und festem Sande arbeiten, bildet die in Taf. II Fig. 18 *a* und *b* dargestellte Form den Haupttypus. Dieselbe kommt freilich nur selten vor, doch muß sie zuerst erwähnt werden, weil die andern gewöhnlichen Formen aus ihr abgeleitet sind. Der vollständige cylindrische Mantel ist am Boden durch eine Fläche geschlossen, die sich spiralförmig, wie ein Schraubengang, um einen senkrechten Dorn windet. Diese Bodenfläche entsteht, indem ein Halbmesser des Cylinders sich um die Achse dreht und dabei gleichmäÙig längs der Achse sich bewegt. In eine leicht trennbare, aber doch cohärirende Erde schneidet bei eintretender Drehung die Bodenfläche sich schraubenförmig ein, und sobald man den Bohrer hebt, wird die abgeschnittene Erdmasse vollständig unterstützt und getragen, so daß sie nicht herabfallen kann, sondern zugleich mit dem Bohrer gehoben wird. Man pflegt indessen diese Einrichtung nicht leicht zu wählen, weil eines Theils die Anfertigung Schwierigkeiten bietet, und sodann, weil die Reibung und das Ankleben einer zähen Erde auf der Bodenfläche den Gebrauch des Bohrers erschwert. Dazu kommt noch die Unbequemlichkeit, den

Inhalt herauszuschaffen, oder den Bohrer zu leeren. Nur bei reinem Sande verschwinden diese Uebelstände, doch fließt der Sand, sobald er viel Wasser enthält, von selbst heraus und namentlich erfolgt dieses in der Nähe der Achse, wo der Boden am stärksten geneigt ist.

Die gewöhnlichste Form des Erd- oder Brunnenbohrers, die sich auch für einen lehmigen Grund vorzüglich eignet, ist Fig. 19 *a* und *b* in zwei Seitenansichten und Fig. 19 *c* im Grundrisse dargestellt. Die Cylinderfläche ist nicht geschlossen, ihr fehlt vielmehr der zehnte bis der dritte Theil, und zwar ist diese größte Oeffnung bei der Durchbohrung eines sehr zähen Thones vortheilhaft, weil sie die Entleerung des Instrumentes erleichtert, bei stärkerer Sandbeimengung ist dagegen eine vollständigere Umschließung erforderlich. Die Bodenfläche stellt wieder ein Schraubengewinde dar, doch fehlt der mittlere Theil desselben. Man pflegt auch an dem Boden eine etwas vortretende Zunge *D* anzubringen, welche zuweilen den Schraubengang zu einer vollen Windung ergänzt, während der Cylindermantel die weite Spalte behält. John Good brachte bei diesem Instrumente noch die Aenderung an, dafs er die Bodenfläche nicht annethete, wie gewöhnlich geschieht, sondern sie vielmehr durch Schrauben gegen die Cylinderfläche befestigte, wie Fig. 20 im Querschnitte zeigt, wodurch er den Vortheil erreichte, dafs er die Zunge *D*, die beim Gebrauche am meisten leidet, sobald es nöthig ist, schärfen, auch frisch verstähien konnte.

Die Befestigung des Bodens an die Cylinderfläche bildet indessen eine schwache Stelle im Bohrer, und man hat daher die Aenderung eingeführt, dafs man durch Krümmung die eine Fläche in die andere übergehn läfst, ohngefähr in der Art, als wenn der Cylinder durch eine Halbkugel geschlossen wäre, wobei der Quadrant, der durch seine Drehung um die Achse die Halbkugel erzeugt, bei dieser Drehung auch gleichmäfsig längs der Achse fortrückt. Diesen Bohrer zeigt Fig. 21 in der Seitenansicht.

Bei einem sehr zähen Thonboden pflegt man das Bohrloch nicht sogleich in der vollen Weite zu öffnen, sondern ein 3 bis 4 Zoll weites Loch vorzubohren und dieses später zu vergrößern. Zum Vorbohren dient der Fig. 22 *a*, *b* und *c* dargestellte Bohrer, der mit dem gewöhnlichen Löffelbohrer der Zimmerleute genau übereinstimmt und wesentlich nichts andres ist, als der eben erwähnte abgerundete

Erdbohrer (Fig. 21). Er hat den cylindrischen Mantel, die Bodenfläche und die vortretende Zunge *D*, und unterscheidet sich nur dadurch, daß er nur zur Hälfte umschlossen ist.

Der zur Erweiterung dienende Bohrer muß unten in eine Spitze auslaufen, damit er sich immer in die Achse des engeren Bohrloches einstellt, und insofern er von dem zähen Thone nur dünne Schalen abschneidet, so haften dieselben an ihm, wenn er auch noch bedeutend weniger, als den halben Cylinder umfaßt. Fig. 23 *a*, *b* und *c* zeigt einen solchen. Zuweilen schneidet man von diesem Bohrer noch die Hinterfläche des Löffels aus, so daß nur ein Reif übrig bleibt, der nicht nur schneidet, sondern auch den abgeschnittenen Thon festhält. Um das Anhaften zu befördern, hat man diesem Reif zuweilen verschiedene Biegungen und scharfe Falten gegeben. Andererseits aber hat man die Löffelform auch ganz verlassen und beide Schenkel mit Schneiden versehen, so daß sie bei der Drehung gleichmäßig zur Wirksamkeit kommen. Fig. 24 *a* und *b* zeigt diese Form.

Indem der Bohrer durch die Futterröhre herabgelassen wird, so kann er bei gewöhnlicher Einrichtung nur ein Bohrloch darstellen, dessen Weite sich dem innern Durchmesser der Röhre nähert. Der feste Thon unter der Röhrenwand wird also von ihm nicht angegriffen und verhindert leicht das tiefere Eindringen der Futterröhre. Der Bohrer muß sich daher erweitern, sobald er aus der letzteren tritt. Dabei kann man ihm aber nicht mehr die Einrichtung geben, daß er das gelöste Material noch in sich aufnimmt oder festhält, vielmehr muß dieses später durch andere Apparate gehoben werden.

Eine hierher gehörige Vorrichtung, die Kresschere genannt, zeigt Fig. 25 *a* und *b* in zwei Seitenansichten und *c* im horizontalen Querschnitte. Ihre beiden Schenkel sind nämlich von einander getrennt und wie die Schenkel eines Tastercircels durch ein Charnier befestigt. Zwei Federn drücken sie auseinander, während durch Anbringung zweier Bolzen *F* dafür gesorgt ist, daß sie nicht zu weit zurückschlagen, was bei der Form der Schneiden erfolgen müßte. Es ergibt sich aus der Zeichnung, daß beim Zurückziehen die Schenkel sich von selbst anlegen, und daß ihre Schneiden die Röhren nicht berühren. Mittelst dieser Vorrichtung kann man Bohrlöcher darstellen, die um 2 bis 3 Zoll weiter sind, als der innere Durchmesser der Futterröhre.

Fig. 26 *a*, *b* und *c* zeigt eine andere Vorrichtung, die zu demselben Zwecke dient. Zwei sichelförmig gebogene Arme drehn sich horizontal um zwei Achsen, so daß sie entweder eingeschlagen werden können (Fig. *b*) oder weit vorstehn (Fig. *c*). In der ersten Stellung werden sie durch die Futterröhre herabgelassen, und indem das Gestänge auf den Boden des Bohrloches fest aufgestellt wird, so drücken sich die Spitzen dieser Arme, die besonders tief herabreichen, in den Boden ein. Dreht man alsdann das Gestänge vorwärts, so öffnen sich die Arme, wie Fig. *c* zeigt, und beim Zurückdrehn schließsen sie sich wieder, so daß man sie durch die engere Röhre hindurchziehn kann. Bei hölzernen Futterröhren von bedeutender Wandstärke thut dieses Instrument gute Dienste, es kann jedoch nur in dem Falle angewendet werden, wenn das Gestänge ein Rückwärtsdrehen erlaubt. Außerdem tritt noch der Uebelstand ein, daß nicht ein allmähliges Eingreifen der Arme erfolgt, wie bei der in Fig. 25 dargestellten Vorrichtung, sondern daß die Arme plötzlich ausgespannt werden und alsdann einem starken Widerstande ausgesetzt sind.

Die sämtlichen bisher erwähnten Bohrer finden in zäher Erde ihre Anwendung, zeigen sich aber in reinem Sande unbrauchbar, indem sie denselben nicht in sich aufnehmen. Der Bohrer Fig. 18 allein macht hiervon eine Ausnahme, doch hebt er auch nur in dem Falle den Sand, wenn derselbe nur feucht, aber nicht nafs ist. Gemeinhin ist das Bohrloch mit Wasser gefüllt, und sobald man den Bohrer herauszieht, so strömt das Wasser hindurch und spült dabei den Sand aus, so daß der Bohrer ganz leer zum Vorschein kommt. Aus diesem Grunde muß der Sand an einer Stelle im Bohrer aufgefangen werden, wo er vom durchströmenden Wasser nicht fortgespült werden kann. Dieses geschieht gewöhnlich mit dem sogenannten Löffel. Derselbe besteht aus einer cylindrischen Röhre, die am Boden durch ein Ventil geschlossen ist. Letzteres wird am vortheilhaftesten an einem eisernen abgedrehten Ringe angebracht, der in die Blechröhre gesteckt und mit Seitenschrauben daran befestigt ist. Bei dieser Anordnung läßt sich das Ventil leicht herausnehmen und falls es schadhafte werden sollte, durch ein anderes ersetzen. Dasselbe besteht gewöhnlich in einer einfachen Klappe (Fig. 27), zuweilen aber auch aus einem doppelten Ventile, bei dem jede Klappe einen Halbkreis umfaßt (Fig. 28). Häufig wird auch

zum Schließen der Oeffnung eine Kugel angewendet (Fig. 29), die so abgewogen ist, daß ihr specifisches Gewicht ungefähr das Doppelte von dem des zu hebenden Sandes (und zwar mit Rücksicht auf die Beimischung von Wasser) beträgt. Damit aber die Kugel nicht zu weit heraufgehoben werden kann, wird sie durch einen Bügel in der Nähe des Ventils zurückgehalten.

Man gebraucht diese Instrumente in der Art, daß man sie abwechselnd hebt und senkt, das im Bohrloche befindliche Wasser wird dadurch in starke Bewegung versetzt, die sich auch dem Sande mittheilt. Letzterer dringt mit dem Wasser beim Niederfallen der Röhre in dieselbe ein, aber sobald die Röhre wieder gehoben wird, kann er wegen des geschlossenen Ventils nicht entweichen. Beim nächsten Niederfallen tritt eine neue Quantität Sand hinzu und so füllt sich nach und nach die Röhre. Nach 20 bis 30 Stößen zieht man sie heraus und mit ihr den hineingedrungenen Sand. Eine besondere Vorrichtung zum Auflockern des Sandes ist nicht erforderlich, man kann vielmehr allein durch diese Röhre die Vertiefung des Bohrloches bewirken, damit man aber wirklich auf die Vertiefung hinwirkt und nicht etwa den Sand von den Seiten löst, so muß man häufig die Futterröhre nachtreiben und dafür sorgen, daß diese immer dem Bohrer vorangeht. Degousée führt an, daß er mit solchem Apparate aus einer Tiefe von 300 Fufs täglich über 32 Cubikfufs flüssigen Sandes gehoben hat.

Zur Hervorbringung eines bessern Schlusses hat man der Röhre zuweilen zwei Ventile, nämlich eines oben und eines unten, gegeben, und sie sogar in eine vollständige Saugpumpe verwandelt. Das Bohrgestänge ist nämlich in diesem Falle mit der Kolbenstange verbunden und an letzterer befinden sich zwei Bundringe *E*, wie Fig. 30 zeigt, die gegen einen Steg *F* am obern Ende des Cylinders sich lehnen, sobald der Kolben den zulässigen höchsten oder niedrigsten Stand erreicht hat. Auch den gewöhnlichen Erdbohrer und zwar mit ganz geschlossenem Cylinder (Fig. 18) versieht man beim Gebrauche in flüssigem Sande zuweilen mit einer Klappe über der Oeffnung im Boden. Das Eintreten des Sandes wird dadurch freilich beim Drehen des Bohrers etwas erschwert, dagegen wird die darin aufgefangene Masse vollständiger gehoben.

Eine andere Vorrichtung zum Heben des reinen Sandes zeigt Fig. 31. Sie besteht in einem conischen Eimer, der unten mit einem

Schraubengänge versehn ist, damit er beim Drehn von selbst in den Boden eindringt. Dieser Schraubengang ist zuweilen, wie hier dargestellt, mit keiner Spindel verbunden und wie ein Korkzieher geformt, zuweilen bringt man ihn auch am Umfange des Eimers an. Beim Drehen des Instrumentes veranlaßt die Schraube eine starke Auflockerung des Sandes, namentlich wenn das Bohrloch schon mit Wasser gefüllt ist, und hierdurch wird es möglich, den Eimer in seiner ganzen Höhe in den Sand zu versenken. Ist dieses geschehn, so stürzt der Sand von oben hinein und füllt den innern Raum. Um den Widerstand möglichst zu mälsigen, den der Sand dem Eindringen des Eimers entgegengesetzt, muß man sich bemühen, durch abwechselndes Heben des Gestänges die Ablagerung noch mehr aufzulockern.

Zur Ausführung von Bohrlöchern in festem Gestein müssen Instrumente angewendet werden, welche denen der Steinmetze ähnlich, durch fortwährendes Aufstossen kleine Splitter lösen und dadurch nach und nach die beabsichtigten Oeffnungen darstellen. Die Bohrer bestehn in diesem Falle nur in Meißeln, die mit Stahlschneiden versehn sind. Letztere dürfen aber nicht durch Ebenen begrenzt werden, die sehr spitze Winkel bilden, vielmehr müssen die beiden Flächen der eigentlichen Schneide sich unter Winkeln von 45 Graden treffen. Das Stumpfwerden der Schneiden erfolgt besonders schnell, wenn das angegriffene Gestein trocken ist, man muß daher, sobald sich im Bohrloche nicht von selbst Wasser ansammelt, solches häufig zugiefsen. Die Enden der Schneiden an den Meißeln sind vorzugsweise einer starken Abnutzung ausgesetzt, und dieses ist der Grund, weshalb bei Anwendung desselben Bohrers das Bohrloch in der Tiefe immer enger zu werden pflegt. Um dieses zu vermeiden, müssen die Meißel bei jeder Instandsetzung auf ihre ursprüngliche Breite wieder ausgeschmiedet werden. Damit das Bohrloch sich kreisförmig abrundet, pflegt man das Gestänge nach jedem Stosse mittelst eines Hebels etwas zu drehen. Von dem Nutzen, den die Anwendung eines Wechselstückes oder eines Fallstückes in diesem Falle gewährt, ist bereits die Rede gewesen. Das auf diese Art gelöste Material kann durch die Steinbohrer selbst nicht gehoben werden, es sammelt sich daher als feiner Sand oder auch als dicker und zäher Schlamm im Bohrloche an, wodurch nach und nach die Wirkung des Bohrers verhindert wird. Zur Entfernung desselben

dienen die oben beschriebenen Instrumente und besonders die Löffel Fig. 27, 28 und 29.

Wenn der Bohrer nur eine einfache und zwar gerade Schneide hat, so nennt man ihn einen Meißelbohrer, ist die Schneide dagegen S-förmig gekrümmt, wie Fig. 35 Taf. III zeigt, wobei das Loch sich besser abrundet, so heißt er ein S-Bohrer. Beim Kreuzbohrer durchkreuzen sich zwei Schneiden, während beim Kronenbohrer eine große Anzahl von solchen radial gekehrt sind. Endlich wäre noch die sogenannte Büchse zu erwähnen, die durch eine kreisförmige Schneide gebildet wird und vorzugsweise zur nachträglichen Beseitigung der etwa vortretenden Unebenheiten dient.

Die Anfertigung und Unterhaltung der complicirteren Bohrer dieser Art bietet große Schwierigkeiten, da die verschiedenen mit einander verbundenen Schneiden sich nicht in einem Stücke schmieden, verstählen und schärfen lassen. Es bleibt daher nur übrig sie einzeln zu bearbeiten und alsdann an den Block zu befestigen, der am Gestänge hängt. Bei den übermäßigen Erschütterungen ist aber keine Art der Verbindung hinreichend sicher, Schrauben, wie Splinte und Keile brechen oder lösen sich, und alsdann tritt die Gefahr ein, daß die getrennten Theile in das Bohrloch herabfallen. Aus diesem Grunde wird dem einfachen Meißelbohrer wohl unbedingt vor allen andern der Vorzug gegeben, und bei sorgfältiger Arbeit kann man mit demselben und durch Nachhülfe mit dem S-Bohrer das Bohrloch auch ziemlich regelmäÙig darstellen. Wenn vielleicht einzelne Theile der Wand zu weit vortreten und die Weite beschränken, so lassen sich dieselben auch durch einen einfachen Meißelbohrer beseitigen, welcher der Weite des Bohrloches entsprechend gekrümmt ist und mittelst einer an der Rückseite angebrachten Feder an die Wand des Bohrloches gedrückt wird. Dasselbe Instrument wird auch mit Vortheil angewendet, wenn im aufgeschwemmten Boden ein einzelner Stein mit der, meist sehr glatten Seitenfläche in das Bohrloch tritt. Der frei herabfallende Bohrer wird nämlich von dem Steine in diesem Falle jedesmal abgesetzt, so daß er ihn nicht angreift, während die Feder das Abspringen verhindert. Es muß aber bemerkt werden, daß ein abgerundeter Stein, der in der Richtung des Bohrloches liegt, leichter diametral durchbohrt werden kann, als eine nur wenig vortretende Seitenfläche desselben sich abstofsen läßt.

Bei den Bohrarbeiten brechen zuweilen die Gestänge oder die Bohrer, oder es stürzen durch Unvorsichtigkeit Theile des Apparats in das Bohrloch herab. Jedesmal müssen diese Gegenstände zuerst entfernt werden, bevor man die Arbeit fortsetzen kann. Hierzu dienen die Fange-Instrumente. Der Gebrauch derselben besteht in einem sehr unsichern und oft lange Zeit hindurch fortgesetzten Probiren, bevor es gelingt, den gesuchten Gegenstand sicher zu fassen und heraufzuziehn. Nicht selten muß man sich auch begnügen, ihn seitwärts zu drängen oder zu zerschlagen, oder auch wohl soweit zusammendrücken, daß er die Fortsetzung der Arbeit nicht weiter behindert. Jedenfalls muß man die Tiefe, in welcher der zu beseitigende Gegenstand gefaßt werden kann, genau kennen. Sollte etwa das Gestänge brechen, so würde man aus der Länge des ausgehobenen Theiles sicher entnehmen können, in welcher Tiefe das abgebrochene Ende zu suchen ist.

Die Einrichtung der Fange-Instrumente hängt von der Größe und Gestalt der Gegenstände ab, die man damit ausheben will. Man pflegt deshalb sie auch nicht sogleich beim Beginne der Bohrarbeit anzuschaffen, vielmehr werden sie erst, sobald sie gebraucht werden sollen, in derjenigen Form und Stärke angefertigt, die dem jedesmaligen Zwecke am besten zu entsprechen scheint.

Wenn eine Schraubenmutter oder ein anderer sehr kleiner Gegenstand herabgefallen ist, so gelingt es wohl mittelst des gewöhnlichen Erdbohrers denselben zu fassen und zu heben. Liegen größere Körper frei im Bohrloche, so versucht man sie durch untergeschobene Haken herauszuschaffen, oder sie mittelst mehrarmiger Zangen zu greifen, die mit Widerhaken versehen sind und fest aufgestoßen werden. Vielfach werden auch glockenartige Instrumente angewendet, die beinahe über das ganze Bohrloch greifen. Zuweilen sind sie im Innern mit mehreren Armen versehen, die mit scharfen Stahlkanten sich dagegen lehnen. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß man beim Gebrauche dieser sämtlichen Apparate niemals weiß, ob der Versuch, den man soeben anstellt, geglückt ist, oder nicht. Nach mehrmaligem Drehen oder starkem Aufsetzen des Gestänges hebt man dasselbe aus, und erst wenn das letzte Glied mit dem Fange-Instrumente aus dem Bohrloche tritt, kann man sich überzeugen ob der Zweck erreicht ist, oder ob man die mühevollen und zeitraubende Probe aufs Neue wiederholen muß.

Wenn das Gestänge selbst gebrochen ist und der herabgestürzte Theil, wie gewöhnlich geschieht, sich stark verbogen und festgeklemmt hat, so ist freilich das sichere Fassen desselben nicht leicht, aber man kann in diesem Falle aus dem Widerstande beim Anheben entnehmen, ob das Eingreifen erfolgt ist, oder nicht, so daß also das wiederholte vergebliche Aufwinden und Zusammensetzen des Gestänges vermieden wird.

Hat das Gestänge in einer Verbindung zweier Glieder oder dicht darüber sich getrennt, so bemüht man sich mit spiralförmig gewundenen Haken den nächsten Bundring zu fassen, erhebt sich dagegen das abgerissene Ende des Gliedes weit über den Bundring, so muß dieses gefast werden. Hierzu dient wieder jene Glocke mit den Stahlarmen, oder man verengt auch wohl die Glocke so sehr, daß der Durchmesser der obern cylindrischen Höhlung in ihr kleiner als die Diagonale des Gestänges ist und versieht jene Höhlung wie eine Kluppe mit einem Schraubengewinde. Die Glocke, die in diesem Falle aus Stahl besteht und gehärtet sein muß, schneidet alsdann in das Ende der gefasteten Stange ein Gewinde ein und zieht an diesem das Gestänge heraus. Taf. III Fig. 37.

Auch die Fig. 36 dargestellte Spirale, die aus hartem Stahl besteht und auf der innern Seite mit einer Schneide versehen ist, wie Fig. 36 *c* zeigt, ist in diesem Falle mehrfach mit Vortheil benutzt worden. Beim Drehn derselben wird durch die weit vortretende Spitze das Gestänge leicht gefast und in die Windung, die sich immer mehr verengt, hineingeschoben. Sobald aber bei wiederholten Versuchen zum Weiter-Drehen, die Schneide in eine Kante eingreift, so faßt sie zuweilen das Gestänge so sicher, daß dieses gehoben werden kann.

Endlich ist noch zu erwähnen, daß wenn die herabgestürzten Theile des Gestänges, oder Stücke von eisernen Futterröhren, oder sonstige Apparate sich im Bohrloche so fest geklemmt haben, daß alle Fange-Instrumente sie weder fassen noch heben können, alsdann noch das Mittel bleibt, durch passend geformte große Feilen, die am besten eine birnförmige Gestalt haben, das Hinderniß zu beseitigen.

§. 12.

Artesische Brunnen: die Futterröhren.

Der aufgeschwemmte Boden, besonders wenn er sandig und kiesig ist, stürzt beim Abbohren sehr bald nach, und dasselbe geschieht auch in einem Felsboden, der aus leicht abbröckelndem Gestein besteht. In beiden Fällen muß man daher die Verschüttung des Bohrloches und das Einstürzen der Wände durch Einfassung der letztern verhindern. Dieses geschieht mittelst der Futterröhren oder Bohrröhren. Dieselben sind nur in festem Gesteine entbehrlich, auch in zähem Klauboden wendet man sie zuweilen nicht an, doch muß man in diesem Falle überzeugt sein, die gesuchten Quellen bald zu erreichen und die Steigröhren früher einsetzen zu können, ehe der Thon nachstürzt.

In demselben Maasse, wie die Tiefe des Bohrloches zunimmt, muß auch die Futterröhre herabgetrieben werden, so lange ihre Anwendung überhaupt nothwendig ist, sie muß daher auch verlängert werden. Das Herabtreiben geschieht entweder mittelst einer Ramme oder durch todten Druck. In beiden Fällen wird die Röhre stark angegriffen, woher die möglichste Schonung derselben und die Beseitigung der Hindernisse, welche ihrem weiteren Eindringen entgegengetreten, eine der wichtigsten Rücksichten ist, die beim Bohren der Artesischen Brunnen überhaupt zu nehmen sind. Der Widerstand, den der umgebende Boden ausübt, läßt sich einigermaßen dadurch vermindern, daß man die Erde nicht seitwärts drängt, wie dieses geschehn würde, wenn die Futterröhre die scharfe Schneide an der innern Seite hätte, man muß im Gegentheil die Erde von den Seiten nach der Mitte des Bohrloches schieben, von wo man sie mittelst der Bohrer ausheben kann. Aus diesem Grunde erhält das untere Ende oder der Schuh der Futterröhre eine nach außen vortretende Schneide, die zuweilen noch einen halben Zoll vor die äußere Wandfläche tritt. Nichts desto weniger wird das Herabtreiben der Futterröhre mit der zunehmenden Länge immer schwieriger und zuletzt entweder unmöglich, oder es ist mit Gefahr für die Röhre verbunden. Wenn unter diesen Umständen die Einfassung des Bohrloches auch weiterhin noch nothwendig ist, so muß man eine neue Futterröhre einschieben, die gleich anfangs die ganze

Länge der ersten, jedoch eine geringere Weite hat. Diese erleidet in dem Theile, wo sie von der ersten umgeben wird, keine merkliche Reibung und läßt sich daher bei gleicher Beschaffenheit des Bodens während des fortgesetzten Bohrens fast bis zur doppelten Tiefe herabtreiben. Man ist zuweilen gezwungen, bis fünf derselben in einander zu schieben. Hieraus ergibt sich, daß man Anfangs passende Dimensionen für die Futterröhre wählen und in zweifelhaften Fällen solche lieber zu groß als zu klein annehmen muß, damit die letzten nicht zu enge ausfallen.

Hölzerne Röhren wurden früher in vielen Fällen zur Einfassung des Bohrloches benutzt. Es fehlt solchen keineswegs an Festigkeit, dagegen bedürfen sie einer großen Wandstärke, woher einerseits das Bohrloch bedeutend erweitert werden muß und andererseits das Einschieben einer zweiten ähnlichen Röhre in die erste nicht möglich ist. Hiernach beschränkt sich die Anwendung der hölzernen cylindrischen Futterröhren nur auf solche Fälle, wo man in geringer Tiefe die gesuchten Quellen zu finden hofft. Dagegen macht man vielfach von hölzernen, und zwar sehr weiten Röhren beim Brunnenbohren einen andern Gebrauch. Dieselben besitzen nämlich bei hinreichender Wandstärke nicht nur eine große Steifigkeit, sondern sie lassen sich auch leicht und sicher mit den Rüstungen verbinden und in andrer Weise solide befestigen. Sie sind daher sehr geeignet, eiserne Futterröhren die nahe schließend in sie eingesetzt werden, sicher zu führen, und denselben eine lothrechte Stellung zu geben. Haben sie diesen Zweck, so bedürfen sie nur der mässi gen Länge von 8 bis 10 Fufs. Man nennt sie alsdann Bohrtäucher.

Zum Eintreiben der hölzernen Futterröhren bedient man sich der gewöhnlichen Rammen, doch muß man, um den Beschädigungen durch das unmittelbare Aufschlagen des Klotzes zu begegnen, einen Knecht oder Aufsetzer anwenden, der mit einem Zapfen in die Röhre greift und dessen Kopf durch einen starken eisernen Ring vor dem Spalten gesichert ist. Wenn die Röhren zugleich als Steigeröhren für das Quellwasser dienen sollen, was gemeinhin geschieht, so ist es nöthig, sie in den Stößen, wo sie zapfenartig in einander greifen, wasserdicht zu schliessen. Zu diesem Zwecke bringt man daselbst Ringe von getheerter Leinwand an, doch darf man nicht hoffen, hierdurch das Durchfließen zu hindern, wenn von einer oder der

andern Seite der Druck viel stärker ist. Ist dieses der Fall, so müssen noch metallene Steigeröhren eingesetzt werden.

Eine andere Art, die Bohrlöcher einzufassen, besteht in der Anwendung hölzerner Kasten. Dieselben haben einen quadratischen Querschnitt und eine Wandstärke von mindestens $1\frac{1}{2}$ Zoll. Garnier hat sie besonders empfohlen und die Art ihrer Zusammensetzung ausführlich beschrieben. Wenn ihre Verlängerung auch den Vortheil bietet, daß die Stöße nicht ringsumher zusammenfallen, so besitzen sie doch nicht entfernt die Festigkeit der eisernen Röhren, woher sie gegenwärtig nicht mehr Anwendung finden.

Gusseiserne Futterröhren, die zugleich Steigeröhren für das Quellwasser bilden, waren besonders in England üblich. Ihre regelmäßige und unveränderliche Form, ihre Steifigkeit, auch ihr großes Gewicht bei geringer Wandstärke sind sehr empfehlenswerthe Eigenschaften, und es kommt noch dazu, daß sie in reinem Boden einen mächtigen Schlag des Rammklotzes sicher ertragen. Eine Hauptbedingung ihrer Anwendung ist aber ein möglichst genauer Guß, und dieses namentlich in dem Falle, wenn sie mit Zapfen, die um die halbe Wandstärke gegen die äußere Fläche zurücktreten, ineinander greifen. Man giebt ihnen bei 9 Fufs Länge und 6 Zoll Durchmesser nur eine Wandstärke von 4 Linien, und an den Enden, wo eine Röhre die andere umfaßt, sogar nur von 2 Linien. In dem aus England bezogenen Apparate, dessen man sich bei einem Bohrversuche in Bremerhaven bedient hatte, wobei jedoch wegen eines Bruches dieser Röhren die Arbeit eingestellt werden mußte, war jedes Ende der Röhre mit einem 2 Zoll hohen Zapfen versehen, dessen Wandstärke gleich der halben Wandstärke des übrigen Theiles der Röhre maafs, und zur Verbindung beider dienten abgedrehte Ringe von Schmiedeeisen, die wieder 2 Linien Stärke und etwas über 4 Zoll Höhe hatten. Letztere verhinderten die unmittelbare Berührung beider Röhren und umschlossen und verstärkten zugleich die Enden derselben. Um die Schwächung der Röhren in den Stößen zu vermeiden, versieht man zuweilen auch jede derselben an dem obern Ende mit einem erweiterten Halse, in den die folgende Röhre gestellt und wie bei Wasserleitungen gedichtet wird. Obwohl man hierdurch eine wesentliche Verstärkung einführt, so wird doch das tiefere Eindringen der Röhre erschwert.

Das Eintreiben der gusseisernen Röhren geschieht entweder unter

der gewöhnlichen Ramme, oder man stellt auch einen leichten Rammapparat auf die Röhre. Der hölzerne Aufsetzer oder Knecht trägt nämlich in der Achse der Röhre eine eiserne Stange, die als Läufer-*ruthe* zur Führung des Klotzes dient. Letzterer wiegt 2 bis 3 Centner, und besteht aus Gufseisen. Er ist der Länge nach durchlocht, umfaßt die erwähnte Stange und wird mittelst eines Rammtaues gehoben, welches über eine darüber befindliche Rolle geführt ist.

Endlich sind noch die Futterröhren aus Eisenblech zu erwähnen. Sie werden in neuerer Zeit beinahe ausschliesslich angewendet. In Bezug auf Steifigkeit stehn sie den gufseisernen und selbst den hölzernen ausgebohrten Röhren nach, dagegen fehlt ihnen die Sprödigkeit der ersteren und vor beiden haben sie den Vorzug der geringeren Wanddicke, auch lassen sich ihre Theile sehr sicher unter einander verbinden. Den Schlägen des Rammklotzes widerstehn sie nicht, werden vielmehr durch dieselben leicht verbogen, dagegen erleichtert ihre glatte Aufsenfläche das tiefere Eindringen unter mäfsigem Drucke. Dazu kommt noch, dafs die Anzahl der in einander geschobenen Röhrenfahrten eben wegen der geringen Wanddicke gröfser sein kann, als bei andern gleich weiten Röhren. Sobald sie aber durch ihr eignes Gewicht nicht mehr von selbst herabsinken, werden sie durch aufgelegte Gewichte, oder in andrer Weise herabgedrückt. Am vortheilhaftesten geschieht dieses durch Schrauben, doch mufs man für dieselben sichere Stützpunkte bilden. Wie solches geschehn kann, wird im Folgenden mitgetheilt werden. Vielfach hat man auch versucht, durch lange, mit kreisförmigen Einschnitten versehene Hebel, die an die Röhre geschroben werden, letztere zu drehen und dadurch herabzutreiben. Obwohl diese Versuche zuweilen geglückt sind, so wurden dadurch doch in andern Fällen, die Röhren zerrissen oder so stark gewunden, dafs man sie ausziehen und durch neue ersetzen mußte.

Die Bleche, die man zu diesen Röhren anwendet, haben die Stärke von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll. Degousée gab den engsten Röhren, die er benutzte, bei $7\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, eine Blechstärke von 0,92 Linien und den weitesten Röhren, von $12\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, die Blechstärke von 2,29 Linien. Die Länge der einzelnen Röhrenstücke richtet sich nach der Breite der Bleche und beschränkte sich früher gemeinhin auf 4 Fufs, doch kann man gegenwärtig leicht gröfsere Längen darstellen. Die Bleche werden gewöhnlich mit übergreifenden Rändern

in der vorgeschriebenen Weite cylindrisch gebogen und verniethet. Ihre Zusammensetzung zum ganzen Röhrensatze erfolgt entweder mittelst 8 Zoll hoher, von aufsen aufgeschobener Ringe, die ebenso wie die Röhren zusammengesetzt sind. Auf der Hütte selbst, wo die Anfertigung geschieht, wird alsdann ein Verbindungsring an jedes Röhrenstück geniethet. Andernfalls giebt man jedem Stücke eine flachconische Gestalt, so das jede Verlängerung in den bereits eingestellten Röhrenstrang geschoben werden kann. Es bedarf kaum der Erwähnung, das die Näthe der beiden zu verbindenden Stücke nicht zusammenfallen dürfen, weil sonst vier Blechstärken übereinander liegen würden. Auf das genaue Zusammentreffen der Niethlöcher ist aber besonders zu achten.

Die Niethe, welche versenkte Köpfe erhalten, werden von innen eingesetzt und von aufsen mit flachen Köpfen versehn. Ist das Röhrenstück hinreichend weit und nicht lang, so kann man dabei von innen einen Hammer dagegen halten, der die Schläge aufnimmt. Ist dieses nicht thunlich, so bedient man sich hierbei eines gusseisernen Blockes, der auf der einen Seite sich der Röhrenfläche anschliesst, auf der andern dagegen durch eine starke Feder angedrückt wird. Man benutzt auch zwei schräge abgeschnittene Cylinder-Segmente, die durch einen passenden Keil fest gespannt werden. In diesem Falle muß jedes der drei Stücke mit einem hinreichend langen Stiele versehn sein.

Eine andre Verbindungsart der Röhren aus Eisenblech beruht darauf, das man die Verbindungsringe anlöthet, was besonders in Bezug auf die Wasserdichtigkeit vortheilhaft ist. Außerdem kann bei diesem Verfahren noch ein wesentlicher Zweck erreicht werden. Die Verbindungsringe vergrößern nämlich den äußern Durchmesser der Futterröhre, und diese Ungleichmäßigkeit erschwert das Eindringen, wenn man aber die Verbindungsringe so lang macht, das sie sich unmittelbar berühren, oder eine vollständige äußere Röhre bilden, so verschwindet nicht nur der erwähnte Nachtheil, sondern die Röhre wird bei gleicher Wandstärke auch fester, oder man darf zur Hervorbringung des nöthigen Grades von Festigkeit schwächere Bleche anwenden. Zu einem Röhrensatze werden in diesem Falle innere und äußere Röhren von gleicher Länge angefertigt, von denen die letzteren sich mit Leichtigkeit und mit reichlichem Spielraume über die ersteren schieben lassen. Sie werden so gestellt, das jede innere

Röhre mit der halben Länge vor der äußern vorsteht. Soll die Verlängerung vorgenommen werden, so schiebt man zuerst ein äußeres Stück auf, so daß es auf dem darunter befindlichen fest aufsteht, alsdann stellt man ebenso ein inneres ein. Man schiebt hierauf eine Art von Kolben unter die Fuge der inneren Röhrenstücke, stampft darüber Lehm, um das Ausfließen des Lothes zu verhindern und dichtet gleichfalls durch umgeschlagenen Lehm die Fuge zwischen den äußern Röhren. Ein aus zwei Hälften bestehender Kohlenkorb wird darauf um die Röhre befestigt und darin das Feuer so lange unterhalten, bis die Röhren für die Löthung hinreichend erwärmt sind. Endlich gießt man von oben das Loth ein, wodurch sich der zuletzt aufgebrachte äußere Cylinder mit den beiden innern verbindet. Hierbei ist es erforderlich, die zusammenzulöthenden Flächen vorher zu verzinnen. Sollte das Loth in die Röhre hineinfließen und dadurch die innere Weite etwas verengen, so ist dasselbe mit einem Apparate, ähnlich dem Fig. 24 dargestellten, leicht auszuschneiden oder auszubohren, man kann zu diesem Zwecke auch große halbrunde Feilen an das Gestänge befestigen, die mittelst Federn angedrückt werden. Diese Art der Verbindung, welche bei Artern angewendet wurde, hat noch den Vortheil, daß man den Röhrensatz, sobald es nöthig wird, sicher herausziehen und durch Erwärmung in seine einzelne Theile wieder zerlegen kann. Die Kosten für solche doppelte, zusammengelöthete Röhren stellen sich freilich etwas höher, als für einfache. Dieser Umstand ist indessen bei großen Bohrarbeiten von geringer Bedeutung, indem der Betrag der Arbeitslöhne jederzeit viel größer ausfällt, als der des angeschafften Materials, und sonach jede Verbesserung, wodurch Zufälligkeiten vermieden werden, sehr zu empfehlen ist. Die in dieser Art zusammengesetzte Röhre für das Bohrloch zu Artern hatte in den einzelnen Theilen eine Wandstärke von $\frac{1}{3}$ Zoll, ihre lichte Weite konnte nur $2\frac{1}{8}$ Zoll betragen, und der lichte Zwischenraum zwischen der innern und äußern Röhre, der mit Zinn ausgegossen wurde, maas $\frac{1}{6}$ Zoll.

Wenn mehrere Röhren in einem Bohrloche in einander geschoben sind, während die wasserdichte Absperrung des Grundwassers und der sonst etwa zwischenliegenden Quellen nicht nöthig ist, so ist es überflüssig, daß die sämmtlichen Röhren im Bohrloche bleiben, und es genügt, nur eine darin zu belassen. Man kann jedoch die äußere nicht zuerst entfernen, und daher pflegt man unter den er-

wähnten Umständen jede von den innern Röhren etwas über dem untern Ende der nächstfolgenden äufsern abzuschneiden. Dieses geschieht, indem man am Gestänge einen scharfen und gehörig gehärteten stählernen Zahn befestigt, der durch eine Feder an die Röhrenwand gedrückt wird. Durch Vorwärtsdrehn bringt man ihn zum Einschneiden, während er bei der Bewegung auf- und abwärts die Röhren beinahe gar nicht angreift. Auf solche Art schneidet man zunächst die innere Röhre an der Stelle durch, wo das Bohrloch eine doppelte Ausfütterung hat. Das Ausheben des abgeschnittenen freistehenden Stückes bietet alsdann keine Schwierigkeit und demnächst geht man zur folgenden Röhre über, und so fort, bis zuletzt das ganze Bohrloch überall nur von einer einfachen Röhre umschlossen bleibt.

Zur Vollendung eines Artesischen Brunnens gehört endlich noch die Steigeröhre, oder diejenige Röhre, durch welche der aufgeschlossene Quell zur Erdoberfläche heraufsteigt. Die Steigeröhren sind, nachdem sie eingebracht, keinen gewaltsamen Beschädigungen wie die Futterröhren ausgesetzt, dagegen muß man bei ihnen in der Wahl des Materials besonders vorsichtig sein, damit sie nicht durch das fortdauernd durchfließende Wasser chemisch angegriffen werden, und überdies müssen sie auch wasserdicht sein, damit sie weder einen Theil des aufgenommenen Quellwassers ausfließen, noch auch dasselbe mit anderm minder reinem Wasser sich vermischen lassen. Was die erste Rücksicht betrifft, so erscheint die Anwendung des Eisens und namentlich die des Schmiedeeisens bedenklich. Degousée führt an, daß solche Röhren nach vier bis fünf Jahren an einzelnen Stellen vom Roste zerfressen waren und das Wasser entweichen ließen. Eine Verzinnung auf der innern Seite kann diesem Uebelstande kaum begegnen, da neben den Niethen und in den Stößen sich unbedeckte Stellen finden. Wenn dieselbe Röhre aber schon beim Bohren als Futterröhre gedient hat, so muß man sich darauf gefaßt machen, daß ein großer Theil des Zinnüberzuges bereits zerstört ist.

Dauerhafter sind die gußeisernen Steigeröhren. Man dreht sie an den Enden sorgfältig ab, so daß sie scharf schließsen und versieht jeden Stoß mit vier Schraubenlöchern. Wenn sie aufgestellt werden sollen, bringt man in den Verbindungen, sowol auf der innern, als auf der äufsern abgedrehten Fläche, einen fetten Ueberzug

an, schiebt und dreht sie alsdann sorgfältig aufeinander und schraubt die Bolzen ein, doch müssen letztere weder von innen, noch von außen vorstehn. In schwefelhaltigem Wasser sind Zinkröhren besonders zu empfehlen. Von häufiger Anwendung und sehr dauerhaft sind auch dünne Kupferröhren, die von innen verzinkt und mit Hartloth in den vertikalen Fugen verbunden sind. Die einzelnen Röhrenstücke werden mittelst übergeschobener Ringe über einander gestellt, worauf man mit dem schon oben erwähnten Feuerkorbe die Röhre erwärmt und geschmolzenes Zinn dazwischen gießt. Die Blechstärke des Kupfers braucht nur 1 bis höchstens 2 Linien zu betragen. Diese Röhren haben den großen Vorzug, daß sie etwas biegsam sind und sich daher selbst in unregelmäßige Bohrlöcher ohne Beschädigung einbringen lassen. Die Kosten für solche Röhren sind freilich nicht unbedeutend, wenn man aber bei einer schwierigen Anlage dieser Art ein günstiges Resultat am Ende erreicht hat, so ist es gewiß keine Verschwendung, dieses für eine lange Reihe von Jahren zu sichern.

Häufig wendet man zu den Steigeröhren auch hölzerne Röhren an, dieselben müssen aber aus einer Holzart bestehn, die weder den Geschmack des Wassers verdirbt, wie z. B. Eichenholz, noch auch darf sie besonders vergänglich sein. Gewöhnlich wählt man Kiefern- oder Ellernholz, und die Röhren, die etwa 8 Fuß lang sind, erhalten einen äußern Durchmesser von 7 Zoll und eine lichte Weite von 3 Zoll. Die Zusammensetzung der einzelnen Stücke geschieht am vortheilhaftesten in der Art, daß sie mit Zapfen von der halben Wandstärke in einander greifen, und ein übergeschobener eiserner Ring von etwa 3 Zoll Höhe die Fuge überdeckt und zugleich das Spalten der Röhre verhindert.

Beim Einbringen der Steigeröhren muß man besondere Vorsicht anwenden, da dieselbe dauernd im Gebrauche bleiben und daher vor jeder Beschädigung gesichert sein müssen. Nach ihrer Aufstellung dürfen die Futterröhren unbedenklich entfernt werden, was jedoch häufig nicht gelingt, es empfiehlt sich indessen den Raum rings um die Steigeröhre durch eingeschütteten zähen Thon oder durch hydraulischen Mörtel möglichst zu dichten.

§. 13.

Ausführung der Artesischen Brunnen.

Um die Anwendung der vorstehend erwähnten Apparate und zugleich die Methode darzustellen, wie Artesische Brunnen ausgeführt werden, empfiehlt es sich, das ganze Verfahren nach der Reihenfolge der einzelnen dabei vorkommenden Arbeiten zu beschreiben. Es ist jedoch hier nur der einfachste und gewöhnlichste Fall zu berücksichtigen, nämlich das nicht im Felsen, auch nicht in sehr großer Tiefe gebohrt wird, sondern nur in Diluvial- oder tertiären Formationen, wobei man kein festes Gestein antrifft, aber doch vielleicht erratische Blöcke durchstoßen oder seitwärts geschoben werden müssen. Andern Falls pflegt die Leitung der Arbeit nicht mehr dem Baumeister, sondern dem Bergmanne oder einem in Ausführungen dieser Art geübten andern Techniker übertragen zu werden.

Wenn bei solchen schwierigeren Unternehmungen die Methoden, wie die Apparate sehr verschieden sind, und sogar jedesmal neue Erfindungen gemacht werden, so findet in geringerem Grade dasselbe auch schon im vorliegenden Falle statt, wie sich aus der Vergleichung der darüber veröffentlichten Beschreibungen ergibt. Nachstehend sind diejenigen Methoden bezeichnet, welche die zweckmäßigsten zu sein schienen und ich verdanke dieselben zum Theil der sehr gefälligen Mittheilung eines in Ausführung solcher Arbeiten sehr geübten Technikers, des Herrn Obersteiger Wagner in Rüdersdorf bei Berlin.

Zunächst kommt es darauf an, die passendste Stelle für das Bohrloch zu ermitteln. Dieselbe ist nicht leicht durch die Situation von Gebäuden oder industriellen Etablissements in der Nachbarschaft ganz bestimmt gegeben, vielmehr bleibt innerhalb gewisser Grenzen die Wahl jederzeit frei. An der Beschaffenheit des Bodens und der Vegetation kann man zwar auf das Vorhandensein von Quellen in geringer Tiefe schließen, wenn diese aber durch Erdschichten von 100 Fufs Mächtigkeit überdeckt sind, so verschwindet jede Spurderselben. Die Wahrscheinlichkeit, Quellen zu eröffnen, ist daher in weiter Umgebung gleich groß, und nur äufsere Umstände können die Wahl leiten. Hieher gehört zunächst die Höhenlage des Bodens. Bei unebenem Terrain wird man das Bohrloch nicht auf

Hügeln ausführen, weil man bis zu der voraussichtlich nahe horizontalen Lage der wasserführenden Schicht alsdann um so tiefer herabgehn muß. Andererseits aber wird man auch solches Terrain vermeiden, welches sich nur wenig über das Grundwasser erhebt, weil die Arbeit sich wesentlich erleichtert, wenn man einen wasserfreien Schacht wenigstens 8 Fufs unter den Erdboden herabführen kann. Außerdem muß man auch auf die Zugänglichkeit des Punktes Rücksicht nehmen, und denselben so wählen, dass man die erforderlichen Apparate bequem anfahren kann. Besonders wichtig ist dieser Umstand, wenn man, wie gewöhnlich geschieht, einen Bohrthurm errichtet, und das dazu erforderliche Bauholz gleichfalls beigebracht werden muß. Endlich ist aber noch die Nähe von Ortschaften zu beachten, wo die Arbeiter ein Unterkommen finden.

Wenn man hoffen darf, die Arbeit in sehr kurzer Zeit zu beendigen auch voraussichtlich nicht bis zu einer großen Tiefe herabgegangen werden darf, so läßt sich der Bohrthurm zwar entbehren, und dafür eine leichte Rüstung, bestehend aus einem dreibeinigen Bocke benutzen, woran das Gestänge gehoben und herabgelassen wird. Da jedoch in diesem Falle keine sonstigen Hilfsmittel, als der Flaschenzug und eine einfache Winde angewandt werden können, und außerdem bei ungünstiger Witterung die Arbeit sehr erschwert, vielleicht sogar unmöglich wird, wie auch die Fortsetzung derselben während der Nacht sich verbietet, weil die nöthige Beleuchtung sich nicht darstellen läßt, so empfiehlt es sich immer, einen leichten Bohrthurm zu errichten, der vielleicht zu gleichem Zwecke später noch anderweit benutzt werden kann. Fig. 39 auf Taf. III zeigt den Bohrthurm mit den darin befindlichen Apparaten. Derselbe besteht zunächst aus dem eigentlichen Thurme, der so hoch sein muß, daß darin auf etwa 30 Fufs Länge das Gestänge ausgehoben werden kann, also die einzelnen Glieder des Gestänges diese Länge erhalten dürfen. Das Zerlegen und Zusammenfügen derselben nimmt bei dem in kurzen Zwischenzeiten nöthigen Ausheben und Herablassen der Bohrer und sonstigen Apparate einen großen Theil der Zeit in Anspruch und dieser wird um so größer, in je mehr Theile das Gestänge zerlegt werden muß, oder je kürzer die einzelnen Glieder sind. Außerdem befindet sich in dem Thurme das Spillrad, das etwa 15 Fufs im Durchmesser hält und das entweder an den Sprossen, oder dadurch gedreht wird, daß die Arbeiter auf die

letzteren steigen und das Rad als Laufrad benutzen. Um die Welle dieses Rades windet sich das Tau, das unter dem Dache des Thurmes über eine Rolle läuft, und das Gestänge trägt.

Endlich befindet sich in dem Bohrthurme noch die Vorrichtung, mittelst deren die Steinbohrer stofsweise auf und nieder bewegt werden. Dieses ist der Schwengel, an den man das Gestänge hängt, sobald man auf festes Gestein, oder auf einen Granitblock trifft. Ereignet sich dieses in der Nähe der Oberfläche, also in der Zeit, wo das Gestänge noch nicht schwer ist, so läßt die stofsweise Bewegung sich leicht durch einen Handschwengel, der dem gewöhnlichen Pumpenschwengel ähnlich ist, ausführen. In der Tiefe von 50 Fufs oder darüber ist dagegen die vereinigte Kraft einer gröfseren Anzahl von Arbeitern nothwendig, und auferdem mufs man auch dafür sorgen, dafs der Bohrer bei jedem Schlage scharf aufstößt und unmittelbar darauf sich wieder abhebt. Der Schwengel besteht alsdann in einem 30 bis 40 Fufs langen hochkantigen Halbholze oder auch wohl in einem Balken, der einen ungleicharmigen Hebel bildet. Die Längen der beiden Arme verhalten sich zu einander gewöhnlich wie 5 : 1 oder 6 : 1 und bei sehr langen Gestängen sogar wie 9 : 1. Häufig sind die Schienen an beiden Seiten des Schwengels, die unmittelbar auf der Achse liegen, mit mehreren Einschnitten versehen und ebenso auch diejenigen in dem Schwengelbocke, so dafs man bei Verlegung der eisernen Achse beliebig das Längenverhältnifs der Arme ändern kann, ohne dafs dabei der Kopf des Schwengels sich von der Mittellinie des Bohrloches entfernt. An diesem Kopfe, oder dem Ende des kürzeren Armes, hängt das Gestänge, am Ende des längeren befinden sich dagegen durchgesteckte Stangen, welche von den Arbeitern entweder unmittelbar oder mittelst Zugleinen niedergedrückt werden. Nachdem Letzteres geschehn ist, fällt das Gestänge, das stets ein bedeutendes Uebergewicht behalten mufs, von selbst herab, oder es löst sich dabei auch wohl das bereits beschriebene Fallstück. Damit der Meißel aber nicht auf dem Gestein stehn bleibt, sondern augenblicklich zurückspringt, so wird über dem langen Hebelsarme noch ein elastisches starkes Holz, der Prellbalken, angebracht, der während der letzten Zeit der Bewegung aufwärts gestofsen wird, und unmittelbar darauf wieder zurückweicht, wobei er das Gestänge etwas anhebt.

Es muß erwähnt werden, daß man von dieser einfachsten Einrichtung vielfach abgewichen ist, namentlich um den Verlust an lebendiger Kraft zu vermindern, den die entgegengesetzten Bewegungen des schweren Schwengels veranlassen. Zu diesem Zwecke hängt man zuweilen an den langen Arm desselben einen Kasten mit Gewichten, der beim Herabsinken in Wasser taucht und alsdann die Hebung erleichtert. Andererseits läßt man den Schwengel nicht um eine feste Achse drehen, sondern auf zwei starken Bogen wiegenförmig rollen, wobei das Verhältniß der beiden Arme sich fortwährend ändert und das Niederdrücken des langen Armes, wegen der Verlängerung desselben, Anfangs erleichtert wird. Diese und ähnliche Vorkehrungen finden indessen nur bei schweren Gestängen, also bei tiefen Bohrungen Anwendung, von denen hier nicht die Rede ist.

An der Stelle, wo das Bohrloch ausgeführt werden soll, teuft man einen kleinen Schacht ab, um sowol in der größeren Tiefe den Bohrtäucher sicherer befestigen zu können, als auch um die nöthigen Stützpunkte zum Niederdrücken der Bohrröhren zu gewinnen. Dieser Schacht muß wenigstens 8 Fuß tief sein und dasselbe Maas in der Weite haben, weil sonst der Raum für die darin auszuführenden Arbeiten zu beschränkt wäre. Fig. 40, *a* und *b* zeigt den Schacht im vertikalen Durchschnitt und im Grundrisse. Ein vierseitiger Rahmen, oder das sogenannte Joch *A*, aus schwachen Bauhölzern gebildet, die in den Enden überblattet sind, wird in den gehörig geebneten Boden versenkt, und während man darin die Grube aushebt, werden gleichzeitig, rings umher zugeschärfte Brettstücken *C*, Pfähle genannt, eingetrieben, die das Nachstürzen der Wände verhindern. Sobald der Schacht etwa 3 Fuß tief ist, bringt man das zweite Joch ein, und stützt gegen dieses das obere Joch durch senkrechte Stiele *B*, Bolzen genannt. Alsdann treibt man eine neue Reihe Pfähle ein. Damit diese sich aber nicht flach gegen die ersten anlehnen und dadurch theils nicht so leicht mit dem hölzernen Schlägel, der hier die Stelle der Ramme vertritt, getroffen werden können, theils aber auch gegen die ersten Pfähle eine starke Reibung entstehn würde, so bringt man zwischen beide noch Keile ein, die sogenannte Pfändung.

In dieser Weise setzt man das Abteufen des Schachtes fort, bis

die beabsichtigte Tiefe erreicht ist. Indem diese nicht groß ist, so lassen sich auch leicht durch unmittelbares Aufgraben zur Seite zwei starke Balken *D* einbringen, die als Widerlager für die Schrauben-Vorrichtung dienen, und unter denen noch zwei andere kürzere Balken *E* liegen. Um das Heben der ersten Balken zu verhindern, überdeckt man die Enden derselben mit Bohlen und die darauf gebrachte Erde wird fest angestampft.

Zwischen die vier Balken *D* und *E* wird der Täufer eingestellt und in den Grund getrieben. Es ist von großer Wichtigkeit, denselben möglichst fest und lothrecht einzusetzen, weil hiervon vorzugsweise das regelmäßige Eindringen der Röhren und sonach das Gelingen des ganzen Brunnens abhängt.

Der Täufer besteht aus einer starken hölzernen Röhre, gewöhnlich von 6 bis 8 Fuß Länge, die mit ihrer untern Hälfte in den Boden getrieben, und gegen die umgebenden Hölzer fest verkeilt wird. Ihr lichter Durchmesser wird so gewählt, daß die erste Bohrröhre sich so eben hindurchschieben läßt, und darin eine sichere Führung findet. Der Täufer wird entweder, wie die Figur angiebt, aus Falsdauben von $2\frac{1}{2}$ Zoll Stärke, oder noch besser nur aus zwei starken Holzstücken zusammengesetzt, die bei hinreichender Wanddicke die cylindrische Oeffnung von der erforderlichen Weite darstellen.

Was das Bohren selbst betrifft, so geschieht dieses in der §. 12 beschriebenen Bohrröhre aus Eisenblech. Man stellt, nachdem die erwähnten Einrichtungen getroffen sind, diese Röhre in den Täufer ein. Der Erdbohrer ist an ein Glied des Gestänges von passender Länge geschroben und dieses hängt an dem Tau oder dem Bande, welches durch das Spillrad angezogen und nachgelassen werden kann. Indem ein einfaches Tau beim Auf- und Abwinden sich zu drehen pflegt, so ist es vortheilhafter, mehrere derselben zu einem flachen Bandseile zusammenzunähen. Das Ende des letzteren ist an die cylindrische Welle des Spillrades befestigt und von hier aufwärts nach einer Scheibe mit entsprechender Rille geführt, die in der verlängerten Achse des Bohrloches möglichst hoch, also nahe unter dem Dache des Bohrthurmes angebracht ist. Das von dieser herabführende Ende des Seiles ist mittelst des Fig. 33 dargestellten Kopfstückes, mit dem Gestänge verbunden.

Sobald der Bohrer sich mit der Erde gefüllt hat, wird er heraus-

gezogen und entleert. Beim Herausziehen stürzen indessen bei leichtem und quelligem Boden die Wände des so eben unter der Bohrröhre dargestellten Loches zusammen, und das hineingefallene Material müßte man immer von Neuem ausheben. Hierdurch würde nicht nur die Arbeit unnöthiger Weise ausgedehnt, sondern es wäre auch zu besorgen, daß unter der Röhre die seitwärts befindliche Erde in das Bohrloch fiel, und dadurch Höhlungen entstünden, die plötzliche Erdstürze veranlassen könnten. Letztere sind aber besonders in sofern gefährlich, als die Röhre dabei leicht eingedrückt wird. Es ist sonach nothwendig, daß unmittelbar nach der weitem Vertiefung des Bohrloches die Röhre der Sohle desselben jedesmal folgt.

Die Röhre wird durch den Seitendruck der Erde so sehr zurückgehalten, daß sie durch ihr eigenes Gewicht nicht herabzusinken pflegt. Man schraubt daher zuweilen eiserne Ringe mit Seitenarmen nahe unter das obere Ende der Röhre, bildet darüber eine einfache Rüstung und beschwert diese mit aufgelegten Steinen, oder in anderer Weise. Hierdurch läßt sich allerdings das Gewicht vergrößern, doch genügt auch dieses vielfach nicht, um die Röhre gleichmäßig zu senken, auch tritt dabei häufig der Uebelstand ein, daß die Röhre längere Zeit hindurch dem Bohrer nicht folgt, und alsdann plötzlich mit starker Erschütterung herabsinkt. Andererseits hat man nicht selten versucht, die Röhre durch Drehen herabzutreiben, doch ist dieses Verfahren, wie bereits erwähnt, sehr bedenklich.

Die in Fig. 40 dargestellte Vorrichtung, wodurch die Röhre mittelst zweier starken Schrauben senkrecht herabgedrückt wird, empfiehlt sich sowol wegen ihrer Wirksamkeit, als auch dadurch, daß die Röhre dabei nicht zu leiden pflegt. Die Schrauben greifen mit ihren untern Enden durch die Balken *E*, und werden hier durch Splinte gehalten, während die Balken *E* sich gegen die Widerlagsbalken *D* stützen. Die obern Enden der Schrauben greifen durch einen Rahmen, der aus den Hölzern *F* und *G* besteht und an zwei flachen Haken hängt, die über die Röhre übergreifen. Diese Haken fassen aber, wie die Figur zeigt, die starken Bolzen, welche die beiden Hölzer *G* unter sich verbinden. Indem die auf den Hölzern *F* ruhenden Schraubenmuttern mit starken Schlüsseln angezogen werden, so erfolgt der beabsichtigte Druck gegen die Röhre, der ihr weiteres Eindringen veranlaßt. Es darf dabei kaum erwähnt werden, daß sowol über den Splinten, wie unter den Muttern der Schrau-

ben Unterlagsplatten angebracht werden müssen, und daß man Haken von verschiedener Länge in Bereitschaft haben muß, um jederzeit die Röhre gehörig fassen zu können.

Indem es darauf ankommt, die Röhre sogleich weiter eindringen zu lassen, wie das Bohrloch sich vertieft, so werden die Schraubenschlüssel jedesmal in Bewegung gesetzt, sobald der Erdbohrer sich gefüllt hat, und mit seinem Inhalte gehoben wird.

Ueber die weitere Fortsetzung der Arbeit ist nach den bereits gemachten Mittheilungen wenig hinzuzufügen. Der Erdbohrer oder auch wohl der Löffel, den man im Sande anwendet, wird abwechselnd gefüllt, und alsdann gehoben und entleert, während man die Röhre jedesmal kräftig herabdrückt. Sobald letztere mit ihrem obern Ende den Täucher nahe erreicht hat, so wird sie verlängert, und ebenso verlängert man durch Ansetzen eines neuen Gliedes auch das Gestänge. Es tritt indessen, wenn der Boden auch von Geschieben und andern festen und harten Körpern frei ist, bei zunehmender Tiefe endlich der Zeitpunkt ein, wo die Reibung der Röhre gegen die umgebende Erde so groß wird, daß man sie nicht weiter herabtreiben kann, oder auch wohl bei Anwendung einer starken Kraft ihre Beschädigung besorgt werden mußte. Dieses pflegt in der Tiefe von etwa 100 Fuß zu geschehn, und alsdann bleibt nur übrig, eine zweite, etwas engere Röhre einzubringen, die sich in die erste leicht einschieben läßt, also in der ganzen Tiefe des bereits ausgeführten Bohrloches keine merkliche Reibung erfährt. Es ist dabei aber Bedingung, dieser zweiten Röhre die möglichst größte Weite zu geben, da man nicht weiß, wie viele Röhren später noch eingeschoben werden müssen, bevor man den gesuchten reichhaltigen und reinen Quell anbohrt.

Der geregelte Fortgang der Arbeit wird wesentlich gestört, sobald man auf Geschiebe trifft, und hierauf muß man beim Durchbohren der Alluvial- und Diluvial-Schichten im nördlichen Deutschlande immer gefaßt sein, da die erraticen Granitblöcke sich fast überall in verschiedenen Tiefen vorfinden. Dieselben sind gewöhnlich mehr oder weniger abgerundet, woher der Meißel, wenn er die Oberfläche nicht normal trifft, seitwärts davon abspringt, und sie nur wenig oder gar nicht angreift. Eine sehr sichere Führung desselben ist daher nothwendig. Wie solche durch eine seitwärts angebrachte Feder bewirkt werden kann, ist bereits oben (§. 11) mit-

getheilt worden. Zuweilen treten indessen sehr kleine Geschiebe nur wenig in das Bohrloch und es gelingt alsdann wohl, durch passend geformte Werkzeuge sie soweit seitwärts zu drängen, daß die Röhre neben ihnen vorbeigeschoben werden kann. Dieses ist indessen häufig nicht möglich, und man muß in solchem Falle den vortretenden Theil mit dem Meißel beseitigen. Wenn aber der Stein nicht groß und nahe kugelförmig abgerundet ist, so wird die Wirkung des Meißels noch dadurch geschwächt, daß der Stein in seinem Lager sich dreht und sonach jedem Stöße eine neue Angriffs-Fläche bietet. Wenn man nach dem langsamen Fortgange der Arbeit dieses vermuthet, so empfiehlt es sich, eine Quantität recht zähen Thon in das Bohrloch zu werfen und diesen möglichst compact anzustampfen. Hierdurch gelingt es, den Stein fest einzubetten, so daß er unbeweglich seine Lage behält und nunmehr der Meißel gehörig auf ihn einwirken und den vortretenden Theil abstofsen kann.

Schon in diesem Falle läßt sich die Anwendung des Schwengels nicht vermeiden, wobei die Stöße viel schneller und schärfer erfolgen, als wenn man das Gestänge noch mit der Winde heben und herablassen wollte. Auch die Anwendung des oben beschriebenen Fallstückes erleichtert diese Arbeit wesentlich.

Andere Schwierigkeiten treten beim Durchbohren von Sandschichten ein, besonders wenn dieselben stark mit Wasser durchzogen sind. Die Erdbohrer, wie auch die Löffel werden bei nassem Sande leicht von dem hindurchdringenden Wasser, sobald man sie anhebt, vollständig entleert. In solchem Falle kann man einen Apparat anwenden, der unten ganz geschlossen ist, wie Fig. 31 darstellt. Derselbe muß, da er sich nur von oben füllen kann, ringsum in der Röhre einen weiten Spielraum von 1 bis 2 Zoll frei lassen, damit der lose Sand zur Seite ansteigen und in ihn hineinfallen kann. Zuweilen gelingt es auch, solche Sandschichten mit weniger Mühe zu durchfahren, wenn man wieder zähen Thon in das Bohrloch wirft, denselben durch Aufstossen von Meißeln mit dem Sande vermengt und dadurch eine festere Masse darstellt, die sich mit dem Erdbohrer heben läßt.

Es muß in Betreff der Sandschichten noch daran erinnert werden, daß dieselben sich in hohem Grade auflockern, und alsdann um so störender sind, mit je größerem Drucke das Wasser sie in der Richtung von unten nach oben durchdringt. Jeder Löffel, den

man aushebt, vermindert den Druck, den der Sand von oben erfährt, veranlaßt also ein solches Aufsteigen des Wassers. Dieses läßt sich aber verhindern, wenn man durch Hinzugießen von Wasser wieder auf der obern Seite den stärkern Druck darstellt. In manchen Fällen ist dieses Verfahren mit Vortheil angewendet worden.

Dieses Auftreiben des Sandes ist besonders beim Einsetzen einer neuen Röhrentour sehr nachtheilig, indem der Sand alsdann den engen Zwischenraum zwischen dieser und der vorhergehenden Röhre so vollständig anfüllt und sich darin so fest ablagert, daß die neue Röhre sich nicht weiter herabtreiben läßt, und daher ihr Zweck ganz verfehlt wird. In diesem Falle muß man den Sand durch Zusatz von anderem Boden zu binden suchen, und dieses geschieht in folgender Weise. Man bringt wieder fetten Thon in das Bohrloch, vermengt denselben mittelst Meißelschlägen mit dem Sande und läßt auf das Gemenge einen besondern Stampfer einwirken, um eine recht geschlossene Masse darzustellen. Diese hebt man mittelst des Bohrers aus, ohne jedoch die natürliche Ablagerung des reinen Sandes zu berühren. Man muß daher große Aufmerksamkeit auf den jedesmaligen Inhalt des Bohrers verwenden und denselben nicht weiter wirken lassen, sobald das Gemenge nur noch wenig Thontheilchen enthält. Alsdann wirft man aufs Neue zähen Thon in das Bohrloch, das nunmehr sich schon bis unter die Röhre fortsetzt, und wiederholt dieselbe Operation. Dieses geschieht so lange, bis man das Bohrloch etwa 3 Fufs vor die Röhre getrieben hat. Nunmehr säubert man die Röhre von dem daran vielleicht noch haftenden Sande und bringt aufs Neue fetten Thon ein, der in einzelnen Lagen fest angestampft wird, bis er nicht nur das vorgetriebene Bohrloch füllt, sondern auch 4 bis 5 Fufs hoch in die Röhre tritt. Wenn Alles möglichst fest angestossen ist, wartet man 24 Stunden, damit die im Wasser noch schwebenden Erdtheilchen vollständig niederschlagen können. Diese werden nunmehr ausgehoben und es wird ein Bohrloch eingetrieben, welches der Weite der neuen Röhrentour entspricht. Sobald dieses sich bis auf 8 oder 10 Zoll dem Ende der ersten Röhre genähert hat, so stellt man die folgende engere Röhre ein, und die Bohrung wird alsdann wieder unter stetem Nachtreiben der Röhre fortgesetzt. Der Thonring zwischen beiden Wänden verhindert schon das Durchdringen des Sandes, und noch mehr wird derselbe durch

13. Ausführung der Artesischen Brunnen. 131

das feste Gemenge abgehalten, das sich mehrere Fufs tief unter die erste Röhre fortsetzt.

In gleicher Art, wie nach vorstehenden Mittheilungen durch das Einbringen von zähem Thon das Bohren im Sande erleichtert wird und an Sicherheit gewinnt, so ist andern Falls auch das Einschütten reinen Sandes zuweilen sehr vortheilhaft. Wenn nämlich in plastischem Thone gebohrt wird, während das Bohrloch mit Wasser gefüllt ist, so setzt sich derselbe um den Erdbohrer so fest an, daß dieser sich in einen Cylinder verwandelt, dessen Durchmesser sich bis zur Weite der Röhre vergrößert, und dadurch wird sowol das Drehen, wie auch das Ausheben übermäfsig erschwert. Geschieht dieses, so kann man durch einen Zusatz von Sand, und durch Vermengung desselben mit dem Thone die Masse in der Art verändern, daß jener Uebelstand verschwindet.

Beim Durchbohren des Thones treten oft noch andre Hindernisse ein, die nicht unerwähnt bleiben dürfen. Ist derselbe sehr trocken, so wirkt der Erdbohrer nicht mehr, man muß vielmehr, wie im Felsboden die Meißeln benutzen. Wenn aber das Bohrloch gleichzeitig mit Wasser gefüllt ist, so dringt dieses bald in die gelösten Thonstücke, sowie auch in die frei gelegten Seitenwände des Bohrloches ein, und in dem die Masse zu quellen anfängt, also ein größeres Volum annimmt, so wird die Reibung gegen die Röhre so stark, daß sie sich nicht weiter herabtreiben läßt. Um dieses zu verhindern, empfiehlt es sich, die oben beschriebenen Erweiterungs-Bohrer anzuwenden.

Zuweilen wird die Röhre, wenn sie auch noch nicht weit über die vorhergehende hinaus eingedrungen ist, entweder durch ein dagegen stossendes Geschiebe oder in andrer Weise so fest gehalten, daß mittelst der Schrauben-Vorrichtung die Reibung nicht überwunden werden kann. In solchem Falle ist ein kräftiger Schlag mit einem Rammklotze oft von großer Wirksamkeit, namentlich wenn gleichzeitig die Schrauben einen starken Druck ausüben, also das Zurückgehen der Röhre in ihre frühere Stellung verhindern. Zu diesem Zwecke wird die Ramme vielfach benutzt, wenn sie aber, wie immer geschieht mittelst eines aufgelegten Blockes auf das obere Ende der Röhre wirkt, so schwächt sich der Stofs in hohem Maasse bis zum Uebergange zu dem Punkte, wo das Hinderniß sich befindet,

das gewöhnlich dem untern Ende ziemlich nahe liegt. Bei der Nachgiebigkeit und Elasticität der Röhre leidet diese unter den heftigen Rammschlägen und ihre Verbindung in den Stößen lockert sich oft so sehr, daß die Fortsetzung der Arbeit unmöglich wird. Dieses ließe sich vermeiden und ein günstigerer Erfolg erwarten, wenn die Rammschläge nicht auf das obere, sondern auf das untere Ende der Röhre ausgeübt werden könnten. Das Fallstück am Gestänge bietet hierzu Gelegenheit. Die Schwierigkeit liegt nur darin, einen Block am untern Ende der Röhre so zu befestigen, daß der darauf fallende Schlag sich auf die letztere überträgt. Es ist vorgeschlagen worden, die Röhre zu diesem Zwecke mit einem stählernen Schuh zu versehen, der einen halben Zoll vor die innere Röhrenwand vortritt, aber gerade dadurch wird theils der Gebrauch der verschiedenen Bohrer, theils aber auch das Einbringen einer folgenden Röhrentour sehr erschwert, woher man diese wichtige Aufgabe noch nicht als vollständig gelöst ansehen kann.

Die vorstehenden Mittheilungen beziehn sich allein auf die Ausführung Artesischer Brunnen mittelst fester Gestänge. Wesentlich verschieden davon sind die Methoden des Seilbohrens. Nach diesen hängt man die Bohrer und sonstigen Apparate an ein Seil, wodurch denselben keine drehende, sondern nur eine auf und abwärts gerichtete Bewegung mitgetheilt werden kann. Letztere genügt auch zum Aufstoßen der Meißelbohrer, wie zum Heben des gelösten Materials mittelst der Löffel, und sonach kann man in festem und gleichmäßigem Gestein auch nach dieser Methode Bohrlöcher ausführen, wie mehrfach gescheln ist. Die ganze Einrichtung vereinfacht sich dabei ungemein und wird viel wohlfeiler, während zugleich das schwierige und sehr zeitraubende Zerlegen und Zusammensetzen des Gestänges beim jedesmaligen Ausheben des Bohrers fortfällt. Dagegen treten die wesentlichsten und oft unüberwindlichen Schwierigkeiten ein, sobald man den gewachsenen und gleichmäßig festen Stein verläßt. Das Durchfahren einer losen Schicht ist in der Tiefe kaum noch ausführbar, während das Einbringen von Futterröhren sich dadurch verbietet, daß das Bohrloch nicht mehr den kreisförmigen Querschnitt behält, sondern sich zufällig anders gestaltet. Dazu kommt noch, daß durch die Elasticität des Seiles ein großer Theil des Hubes aufgehoben, und das Seil in kurzer Zeit durch Abreiben unbrauchbar wird. Die größte Verlegenheit tritt

endlich ein, wenn Bohrer oder andere Theile des Apparates herabgefallen sind. Man hat zwar Fange-Instrumente auch für die Aufhängung am Seile angegeben, doch sind diese in ihrem Gebrauche noch unsicherer, als diejenigen an festem Gestänge. Mit Rücksicht auf diese sehr großen Nachtheile ist das Seilbohren in neuester Zeit ganz außer Gebrauch gekommen, und die nähere Beschreibung des betreffenden Verfahrens und der Apparate ist um so mehr entbehrlich, als diese Methode in denjenigen Fällen, die bei uns am häufigsten vorkommen, nämlich beim Bohren im aufgeschwemmten Boden, überhaupt nicht Anwendung findet.

Dritter Abschnitt.

Wasserleitungen.

§. 14.

Ausfluß des Wassers durch Oeffnungen in dünnen Wänden.

Vielfach und selbst von den berühmtesten Mathematikern ist versucht worden, die eigenthümlichen Bewegungen des Wassers und der Flüssigkeiten überhaupt, aus den allgemein gültigen Gesetzen der Mechanik zu erklären. Dabei zeigen sich jedoch selbst unter den einfachsten Voraussetzungen so große Schwierigkeiten, daß nur in wenigen Fällen die Rechnungen durchgeführt werden können. Diese Schwierigkeiten steigern sich aber noch in hohem Maasse, wenn die unverkennbare Eigenschaft aller Flüssigkeiten berücksichtigt wird, wonach die einzelnen Theilchen derselben an einander haften, also zwischen ihnen nur unmerkliche Uebergänge der Geschwindigkeiten stattfinden. Hierdurch bilden sich vielfache innere Bewegungen, welche mit der allgemeinen Richtung der Strömung nicht zusammenfallen, und derselben oft direct entgegengekehrt sind.

Dieser rein theoretische Weg hat bisher in der Hydraulik noch zu keinem Resultate geführt, welches durch die Beobachtungen bestätigt wäre. Nichts desto weniger ist es dringendes Bedürfnis, bei jeder hydrotechnischen Anlage den zu erwartenden Erfolg wenigstens annähernd vorher zu kennen, und zu diesem Zwecke bleibt nur übrig, die unter ähnlichen Verhältnissen gemachten Erfahrungen zu sammeln, und daraus auf die Gesetze der Bewegung zu schließen. Die Resultate, zu welchen man auf diesem empirischen Wege gelangt, sind aber keineswegs so sicher und allgemein gültig, wie mathematische Sätze, und bei ihrer Anwendung muß man sich vorzugsweise hüten, sie über die Grenzen der zum Grunde liegenden Beobachtungen hinaus noch benutzen zu wollen. Das allgemeine Gesetz ist unbekannt, aus den Beobachtungen weiß man nur, daß innerhalb gewisser Grenzen die Erscheinungen sich an das daraus

hergeleitete Gesetz anschließen. Ob dieses darüber hinaus noch gilt, weiß man nicht, da man aber nur von Erfahrungen ausgegangen ist, so darf man auch keine allgemeine Gültigkeit voraussetzen. Man hat sich zwar mehrfach bemüht, die in solcher Weise gefundenen Gesetze zu erklären und sogar durch leichte Raisonsnements zu beweisen, diese Beweise beruhen indessen gewöhnlich auf ganz unsichern Voraussetzungen, und sind sogar in vielen Fällen augenscheinlich unrichtig.

Im Folgenden sollen die wichtigsten derjenigen empirischen Gesetze, die sich auf den Ausfluß des Wassers durch Oeffnungen in Wänden, oder durch Röhrenleitungen beziehen, mitgetheilt und soweit es geschehn kann, der Zusammenhang derselben mit den allgemeinen mechanischen Gesetzen nachgewiesen werden. Die Bewegung des Wassers in offenen Leitungen wird bei Gelegenheit der Ströme behandelt werden.

Nach einem bekannten Gesetze der Hydrostatik ist der Druck, den das Wasser auf jeden kleinen Theil der Wand eines Behälters ausübt, dem Gewichte eines Wasserprisma's gleich, welches diesen Theil der Wand zur Grundfläche und den verticalen Abstand desselben vom freien Wasserspiegel zur Höhe hat. Dieser Druck wirkt normal gegen die Wandfläche. Für größere Theile der Wand, wo der Abstand vom Wasserspiegel, oder auch die Richtung der Wandfläche sich ändert, läßt sich das Gesetz über Stärke und Richtung des Druckes nicht so kurz ausdrücken. Aus der Zusammensetzung der verschiedenen Pressungen auf die einzelnen Theile kann man indessen immer die Resultate darstellen.

Die Wassertheilchen befinden sich sämmtlich in einer Spannung oder unter einem Drucke, welcher ihrer Druckhöhe oder ihrer verticalen Entfernung vom Wasserspiegel entspricht. Wenn also plötzlich an einer Stelle die Wand des Gefäßes beseitigt wird, so werden die zunächst liegenden Wassertheilchen einen Impuls erhalten, der dem verticalen Abstände vom Wasserspiegel oder der Druckhöhe entspricht, das heißt, sie nehmen dieselbe Geschwindigkeit an, welche sie erhalten hätten, wenn sie aus der Höhe des Wasserspiegels bis zu der Oeffnung frei herabgefallen wären. Im Allgemeinen können jedoch nur die ersten Wassertheilchen diese Geschwindigkeit annehmen, die folgenden werden nur in dem Falle ebenso heftig ausspritzen, wenn der Druck vor der Oeffnung durch die

eintretende Bewegung nicht vermindert wird. So pflegt beim schnellen Oeffnen des Hahns neben der Ausflussmündung eines Springbrunnens der Strahl sich im ersten Momente höher zu erheben, als später, nachdem die regelmässige Strömung in der Röhre eingetreten ist. Aus gleichem Grunde spritzt der so eben erbohrte Artesische Quell unter dem vollen hydrostatischen Wasserdrucke höher, als später geschieht, indem der Druck nur nach Maafsgabe des Zuflusses sich ersetzt.

Das Wasser, welches durch eine Oeffnung in der Wand des Behälters ausströmt, ersetzt sich mittelbar aus derjenigen Wasserschicht, welche die freie Oberfläche bildet. Es entsteht nämlich weder vor der Oeffnung, noch an irgend einer andern Stelle im Innern der Wassermasse ein leerer Raum, sondern der Wasserspiegel senkt sich. Wenn man daher unter dem allgemeinen mechanischen Gesichtspunkte die Verhältnisse beurtheilt, so kommt man zu dem Resultate, dafs die ausströmende Wassermenge wirklich die Geschwindigkeit hat, die der ganzen Druckhöhe entspricht, vorausgesetzt, dafs keine Widerstände eintreten, welche einen Verlust an lebendiger Kraft veranlassen. Es kommt darauf an, zu prüfen, inwiefern die Erfahrung dieses bestätigt.

Man nehme ein Gefäfs, welches durch eine treppenartig gebrochene Fläche begrenzt wird, deren untere Seite im Innern des Gefäfses liegt. Versieht man die horizontalen Ebenen, welche den Trittstufen einer Treppe entsprechen, mit feinen Oeffnungen, so bilden sich bei der Füllung des Gefäfses eben so viele springende Strahlen, die zwar unter verschiedenen Druckhöhen austreten, aber sämmtlich beinahe die Höhe des Wasserspiegels im Gefäfs erreichen. Da nun nach den bekannten Gesetzen der Mechanik die Geschwindigkeit eines frei aufsteigenden Körpers in derselben Art abnimmt, wie die des frei fallenden Körpers zunimmt, so darf man den Schluss ziehn, dafs die bemerkten geringen Unterschiede nur vom Widerstande der Luft herrühren, und dafs die Geschwindigkeit, womit das Wasser ausspritzt, eben so grofs ist, als wenn dasselbe von der Oberfläche bis zu den Ausflussöffnungen frei herabgefallen wäre. Diesen Satz sprach zuerst Torricelli im Jahre 1643 aus, nachdem er die Bestätigung desselben in dem erwähnten Versuche gefunden hatte.

Es blieb indessen ungewifs, ob die geringe Verminderung der

Steighöhe nur durch den Widerstand der Luft veranlaßt wird, oder ob vielleicht die Geschwindigkeit des austretenden Wassers nicht ganz so groß ist, als jenes Gesetz besagt. Die Versuche von Michelotti haben die Richtigkeit der ersten Voraussetzung und sonach auch den Torricelli'schen Lehrsatz bestätigt. Bei diesen Versuchen wurde aber nicht die Höhe des springenden Strahls gemessen, die niemals genau bestimmt werden kann, vielmehr liefs Michelotti den Strahl aus einer verticalen Wand hervorspringen und bestimmte die Curve, welche derselbe bildete. Wenn der Torricelli'sche Lehrsatz richtig war, so mußte der Strahl eine halbe Parabel beschreiben, deren Parameter der vierfachen Druckhöhe gleich ist. Michelotti bestimmte durch Messung der Coordinaten die Parameter von drei Parabeln, die sich unter Druckhöhen von ungefähr 7, 12 und 22 Fuß bildeten und fand die Verhältnisse der wirklichen Druckhöhen zu denen, die sich unter obiger Voraussetzung aus der Messung ergaben, gleich

$$1 : 0,993$$

$$1 : 0,988 \text{ und}$$

$$1 : 0,983$$

Man ersieht also, daß die Unterschiede bei kleineren Druckhöhen und folglich bei kleineren Geschwindigkeiten, wobei der Widerstand der Luft geringer ist, noch nicht ein Procent erreichen, mit zunehmender Geschwindigkeit wachsen sie etwas an, und dieser Umstand bestätigt die Voraussetzung, daß nur der Widerstand der Luft die Verminderung der Geschwindigkeit veranlaßt.

Man sollte hiernach vermuthen, daß die Wassermenge, die in der Zeiteinheit durch eine kleine Oeffnung abfließt, gleich sei dem Producte aus dem Flächeninhalte der Oeffnung in die Geschwindigkeit, welche der Druckhöhe entspricht. Dieses ist indessen nicht der Fall, alle Beobachtungen zeigen vielmehr, daß weniger Wasser ausfließt. Diese Beobachtungen geben aber auch zu erkennen, daß unter übrigens gleichen Umständen die Wassermengen den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen proportional sind, oder daß sie zu jenen Producten in einem constanten Verhältnisse stehn. So ergiebt sich durch Interpolation der von Poncelet und Lesbros gefundenen Resultate, daß durch eine quadratische Oeffnung von 2 Decimeter Seite, unter dem Drucke von

$$0,40 \quad 0,70 \quad 1,00 \quad 1,30 \text{ und } 1,60 \text{ Meter,}$$

Wassermassen ausflossen, die sich zu einander verhielten, wie

$$1,000 : 1,330 : 1,590 : 1,806 : 2,000$$

was sehr genau mit dem Verhältnisse der Quadratwurzeln aus den Druckhöhen übereinstimmt, dieses ist nämlich

$$1,000 : 1,323 : 1,581 : 1,803 : 2,000.$$

Es läßt sich sonach die wirklich ausfließende Wassermenge berechnen, wenn der Flächeninhalt der Oeffnung in einem bestimmten Verhältnisse verkleinert, oder mit einem aus den Beobachtungen hergeleiteten constanten Factor multiplicirt wird. Letzteren nennt man den Contractions-Coefficient. Die genaue Ermittlung desselben hat seit langer Zeit die Physiker beschäftigt, und wenn gleich der größte Theil der angestellten Beobachtungen und Messungen nur in sehr kleinem Maasstabe ausgeführt ist, so befinden sich darunter doch manche, die sich auf gröfsere Oeffnungen beziehen und deren Resultate daher eine sichere Anwendung auf Schützöffnungen und dergleichen gestatten. Unter den ältern Beobachtungen dieser Art sind besonders diejenigen wichtig, die Michelotti, sowol der Vater, als der Sohn angestellt haben. Beide benutzten dazu das Wasser des Doria, den sie in einiger Entfernung von Turin nach einem Thurme führten, der nur zu diesem Zwecke gebaut war, und wo Druckhöhen sich darstellen liefsen, die bis 24 Fufs mafsen.

Unter den neueren Arbeiten müssen vorzugsweise die von Poncelet und Lesbros erwähnt werden, die sich dadurch auszeichnen, dafs eine sehr grofse Wassermenge, die beliebig aus der Mosel entnommen wurde, zu den Versuchen verwendet werden durfte. Eine kurze Beschreibung der Beobachtungsmethode und des ganzen Apparates *) wird schon insofern hier nicht überflüssig sein, als die verschiedenen Rücksichten und Vorsichtsmaafsregeln, die man bei Anstellung hydraulischer Messungen zu nehmen hat, sich dabei klar herausstellen. Auferdem aber wird sich hiernach auch um so sicherer die Zuverlässigkeit der gefundenen Resultate beurtheilen lassen. Die Versuche wurden auf Veranlassung des französischen Kriegsministeriums in den Jahren 1827 und 1828 angestellt, und die Vorkehrungen, die dabei getroffen waren, sind folgende.

Innerhalb der Festungswerke zu Metz hat die Mosel ein Gefälle

*) *Expériences hydrauliques sur les lois d'écoulement de l'eau, par Poncelet et Lesbros.* Paris 1832.

von $12\frac{1}{4}$ Fufs, wovon jedoch nur ein kleiner Theil als Druckhöhe für den ausfliessenden Wasserstrahl benutzt werden konnte, weil der grösste Theil desselben für das zweckmäfsige und bequeme Auffangen und Abführen des ausströmenden Wassers erforderlich war. Die grösste Druckhöhe, die man darstellte, betrug $4\frac{1}{4}$ Rheinländische Fufs. Die vorhandenen Bassins und Stauanlagen, welche im fortificatorischen Interesse hier bestehn, eigneten sich nicht zu den Beobachtungen, indem keine Aenderungen daran gestattet waren. Es wurde sonach ein besonderes Bassin für das Druckwasser von ungefähr 112 Quadratruthen Flächeninhalt ausgegraben und eingedeicht, welches durch einen Zuleitungscanal mit dem Oberwasser der Mosel in Verbindung stand. Es konnte beliebig trocken gelegt und bis $11\frac{3}{4}$ Fufs mit Wasser angefüllt werden. Um den Wasserstand in diesem Bassin auf jeder Höhe constant zu erhalten, während bei jedem Versuche eine verschiedene Wassermenge consumirt wurde, war es nöthig, den Ab- und Zuflufs jedesmal zu reguliren und ausserdem die Höhe des Wasserstandes sehr genau zu messen. Jener Zuleitungscanal wurde demnach mit einem Schütz versehen, und aus dem Bassin wurde das Wasser nicht nur durch diejenigen Oeffnungen abgeführt, deren Ergiebigkeit man messen wollte, sondern ausserdem noch durch einen seitwärts belegenen Grundabflafs, der zur Regulirung des Wasserstandes diente, sobald einige Veränderung desselben sich bemerken liess. Der Grundabflafs hatte zugleich den Zweck, das Bassin am Schlusse jeder Beobachtungsreihe trocken zu legen. Bei der grossen Ausdehnung des Bassins erzeugte jedoch theils der Wind einen merklichen Wellenschlag, theils aber liessen sich auch nach Maafsgabe des jedesmaligen Abflusses gewisse partielle Strömungen erkennen. Um beide Uebelstände zu beseitigen, wurde eine Weidenpflanzung darin angelegt.

Zur Beobachtung des Wasserstandes dienten besondere Pegel. Diese bestanden aus sorgfältig bearbeiteten Maafsstäben, die am Ufer lothrecht aufgestellt, und mit Nonien versehen waren, welche durch Stellschrauben bewegt werden konnten. Die Nonien waren verbunden mit abwärts gekehrten Stahlspitzen, deren Berührung mit dem Wasserspiegel sich sehr genau beobachten liess. Die einzelnen Millimeter (0,46 Linien) konnte man unmittelbar ablesen, doch war es unter günstigen Umständen nicht schwer, die Zehntheile derselben durch Schätzung zu bestimmen. Von diesen Maafsstäben waren an

dem erwähnten Bassin drei angebracht, die während der Versuche fortdauernd beobachtet wurden. Der erste befand sich ohnfern der Mündung des Zuleitungscanals, der zweite 13 Fufs vor der Abflußöffnung und der letzte unmittelbar neben derselben, und zwar diente dieser hauptsächlich, um die Senkung des Wasserspiegels über der Oeffnung zu messen. Zur Vergleichung der drei Pegel unter sich wurde der Zu- und Abfluß des Bassins unterbrochen, und dadurch das Wasser ins Niveau gestellt.

Die Durchflußöffnung, worin der zu untersuchende Strahl sich bildete, war vierseitig, und zwar 2 Decimeter oder 7 Zoll $7\frac{3}{4}$ Linien breit und eben so hoch, in einer Messingplatte ausgeschnitten. Man hatte aber, um das Eintreten aller derjenigen Erscheinungen zu vermeiden, welche schon bei kurzen Röhren vorzukommen pflegen und wovon später die Rede sein wird, diese quadratische Oeffnung durch Schneiden begrenzt, welche in derjenigen Oberfläche der Platte lagen, die dem Druckwasser zugekehrt war. Dafs diese Platte mit großer Vorsicht eingesetzt wurde, so dafs die Ränder der Oeffnung wirklich horizontal und vertical lagen, bedarf kaum der Erwähnung, doch muß darauf aufmerksam gemacht werden, dafs mittelst des dritten Pegels auch die Höhe des untern Randes der Oeffnung bestimmt werden konnte, sobald man das Wasser im Bassin weit genug gesenkt hatte. Die Oeffnung wurde durch ein messingenes Schütz, das an seinem untern Rande gleichfalls zugeschärft war, geschlossen, und der Maafsstab an der Zugstange liefs die jedesmalige Höhe der Oeffnung beurtheilen. Hierbei zeigten sich indessen manche Schwierigkeiten, denn die Platte, die das Schütz bildete, bog sich merklich ein, auch die Zugstange behielt nicht unverändert ihre Länge, woher die Anbringung von Absteifungen und andern Vorsichtsmaafsregeln und Correctionen nöthig wurde.

Das durch diese Oeffnung strömende Wasser wurde in einem hölzernen Gerinne aufgefangen, und nach dem Unterwasser der Mosel geführt. Man liefs jedesmal so lange den Strahl ausspritzen, ohne seine Ergiebigkeit zu messen, bis die Zu- und Abflüsse vollständig regulirt waren, oder bis man sich durch Beobachtung der Pegel überzeugt hatte, dafs das Wasser in dem Bassin weder stieg noch fiel, sondern seine Höhe unverändert behielt. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten war, ging man zur Bestimmung der Wassermenge über, und hierzu diente ein hölzerner Kasten unter dem Ge-

rinne, der 808 Cubikfuß faßte. Ueber diesem Kasten befand sich im Boden des Gerinnes eine Klappe, bei deren Oeffnung die ganze durchfließende Wassermenge in den Kasten stürzte. Oeffnete man also beim Schlage einer bestimmten Secunde die Klappe und schloß man sie wieder nach Verlauf einer passenden Anzahl von Secunden, so fing man in dem Kasten die ganze Wassermenge auf, die während dieser Zeit vorbeiströmte, oder die in einer gleichen Zeit aus der Oeffnung geflossen war. Die erwähnte Klappe schloß indessen nicht scharf genug, um ein Durchtröpfeln des Wassers zu verhüten, wodurch schon vorher der Kasten zum Theil gefüllt worden wäre. Man brachte deshalb noch eine zweite leichte Rinne unmittelbar über dem Kasten an, die jedesmal beim Oeffnen und Schließsen der Klappe zurückgezogen oder vorgeschoben wurde.

Um endlich die in dem Kasten aufgefangene Wassermenge zu messen, genügte es nicht, nur die Höhe der Füllung zu beobachten, denn man durfte weder eine genau prismatische Form, noch auch eine absolute Steifigkeit der Seitenwände voraussetzen, vielmehr bauchten diese sich aus, sobald Wasser hineinfließte. Man stellte daher neben dem Kasten ein am Boden mit einem Hahne versehenes Faß auf, welches 968 Liter oder 845 Quart maas. Dieses füllte man wiederholentlich mit Wasser an und entleerte es in den Kasten, bei letzterem wurde aber jedesmal mittelst eines Pegels, der den am Bassin aufgestellten gleich war, die Höhe des Wasserspiegels gemessen, und man konnte sonach auch umgekehrt durch einfaches Ablesen des Pegels den jedesmaligen Inhalt ermitteln. Der Kasten war übrigens am Boden mit einem Hahn versehen, und wurde, so oft nur geringe Wassermengen aufgefangen werden sollten, durch Zwischenwände verkleinert, damit aus der beobachteten Höhe um so sicherer der Inhalt gefunden werden konnte.

Um den Contractions-Coefficient, oder das Verhältniß der wirklich ausfließenden Wassermenge gegen diejenigen zu ermitteln, die man erhalten würde, wenn durch alle Theile der Oeffnung das Wasser mit der Geschwindigkeit durchströmte, die der jedesmaligen Druckhöhe entspricht, so muß zunächst untersucht werden, ob die Differenz in der Druckhöhe außer Betracht gelassen werden darf, oder ob sie auf das Resultat einen merklichen Einfluß behält. Bei sehr kleinen oder niedrigen Oeffnungen ist die im Mittelpunkte derselben stattfindende Druckhöhe als die gemeinschaftliche zu betrachten, und

wenn b die Breite eines horizontalen Abschnittes der Oeffnung, dh die Höhe desselben und h die mittlere Druckhöhe bedeutet, während g wie gewöhnlich den Raum bezeichnet, den ein frei fallender Körper in der ersten Secunde durchläuft, so würde, wenn alle Theilchen frei herabfielen, die Wassermenge oder

$$dM = 2b \cdot dh \cdot \sqrt{gh}$$

sein. Der Fall, dass auch b variabel ist, wie dieses etwa bei kreisförmigen Oeffnungen geschieht, ist hier ausser Betracht geblieben, indem er auf diese Beobachtungen nicht Anwendung findet. Es folgt hiernach

$$M = \frac{4}{3} b \cdot \sqrt{g} \cdot h \cdot \sqrt{h} + \text{Const.}$$

Nennt man h diejenige Druckhöhe, die dem Mittelpunkte der Oeffnung entspricht, und a die ganze Höhe der Oeffnung, so erhält man

$$M = \frac{4}{3} b \sqrt{g} \left[\left(h + \frac{1}{2} a \right)^{\frac{3}{2}} - \left(h - \frac{1}{2} a \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

oder

$$M = \frac{2}{3} b h \cdot 2\sqrt{gh} \left[\left(1 + \frac{a}{2h} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(1 - \frac{a}{2h} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

Wenn die Oeffnung über den Wasserspiegel hinausreicht und letzterer sich in der Höhe H über dem untern Rande der ersten befindet, so wird

$$M = \frac{2}{3} b H \cdot 2\sqrt{gH}$$

Das heisst, es wird in diesem Falle der dritte Theil weniger ausfliessen, als wenn die ganze Oeffnung dem Drucke H ausgesetzt wäre.

Wenn dagegen der obere Rand der Oeffnung unter dem Wasserspiegel liegt, oder wenn

$$\frac{1}{2} a < h$$

ist, während h wieder die Höhe bezeichnet, in welcher der Wasserspiegel über dem Mittelpunkte der Oeffnung sich befindet, so kann man leicht den obigen Werth für M in eine stark convergirende Reihe verwandeln. Man erhält nämlich

$$M = ab \cdot 2\sqrt{gh} \left(1 - \frac{1}{96} \cdot \frac{a^2}{h^2} - \frac{1}{2048} \cdot \frac{a^4}{h^4} - \dots \right)$$

Der Factor vor der Parenthese bezeichnet die Wassermenge, welche durch die Oeffnung ausfliessen würde, wenn die Druckhöhe überall gleich h wäre, und man kann die Reihe in der Parenthese oder den zweiten Factor unbedenklich gleich Eins setzen, oder die Ver-

schiedenheit des Druckes vernachlässigen, sobald $\frac{a}{h}$ ein kleiner Bruch ist. Selbst wenn $a = \frac{1}{2}h$ wäre, oder der Wasserspiegel nur um die anderthalbmalige Höhe der Oeffnung über dem obern Rande derselben läge, so würde der Fehler, den man durch Vernachlässigung der folgenden Glieder begeht, nur etwa $\frac{1}{4}$ Procent betragen. Hiernach ist in den nachstehend mitgetheilten Resultaten die Aenderung des Druckes nur bei den Poncelet'schen Beobachtungen und denen, die an Schleusenschützen angestellt sind, berücksichtigt worden.

Die folgenden Mittheilungen sind grosstentheils aus dem Werke von d'Aubuisson *) entnommen, doch sind die Dimensionen der Oeffnungen und die Druckhöhen über den Mittelpunkten auf Rheinländisches Maafs reducirt.

A. Kreisförmige Oeffnungen.

Beobachter	Durchmesser	Druckhöhe	Contractions-Coefficient
1) Mariotte	3,1 Linien	5,69 Fuß	0,692
2) Derselbe	3,1 "	25,17 "	0,692
3) Castel	4,6 "	0,16 "	0,673
4) Derselbe	4,6 "	0,99 "	0,654
5) Derselbe	6,9 "	0,44 "	0,632
6) Derselbe	6,9 "	0,96 "	0,617
7) Eytelwein	1 Zoll	2,35 "	0,618
8) Bossut	1,04 "	4,14 "	0,619
9) Michelotti	1,04 "	7,10 "	0,618
10) Castel	1,15 "	0,53 "	0,629
11) Weisbach	1,51 "	1,78 "	0,606
12) Venturi	1,57 "	2,80 "	0,622
13) Bossut	2,06 "	12,14 "	0,618
14) Michelotti	2,06 "	7,01 "	0,607
15) Derselbe	3,10 "	7,14 "	0,613
16) Derselbe	3,10 "	12,14 "	0,612
17) Derselbe	3,10 "	21,54 "	0,597
18) Derselbe	6,20 "	6,72 "	0,619
19) Derselbe	6,20 "	11,66 "	0,619

*) *Traité d'hydraulique à l'usage des Ingénieurs par J. E. d'Aubuisson de Voisins.*

B. Quadratische Oeffnungen.

Beobachter	Seite des Quadrats	Druckhöhe	Contractions- Coefficient
1) Castel	4,6 Linien	0,16 Fufs	0,655
2) Bossut	1,03 Zoll	12,14 "	0,616
3) Michelotti	1,03 "	12,14 "	0,607
4) Derselbe	1,03 "	21,76 "	0,606
5) Bossut	2,06 "	12,14 "	0,618
6) Michelotti	2,06 "	7,14 "	0,603
7) Derselbe	2,06 "	12,20 "	0,603
8) Derselbe	2,06 "	21,60 "	0,602
9) Derselbe	3,13 "	7,20 "	0,616
10) Derselbe	3,10 "	12,20 "	0,619
11) Derselbe	3,10 "	21,73 "	0,616

C. Rechteckige breite Oeffnungen.

Beobachter	Höhe	Breite	Druckhöhe	Contractions- Coefficient
	der Oeffnung			
1) Bidone	0,35 Zoll	0,75 Zoll	1,05 Fufs	0,620
2) Derselbe	0,35 "	1,41 "	1,05 "	0,620
3) Derselbe	0,35 "	2,82 "	1,05 "	0,621
4) Derselbe	0,35 "	5,65 "	1,05 "	0,626
5) Weisbach	0,96 "	1,93 "	0,76 "	0,657
6) Derselbe	0,96 "	1,93 "	1,78 "	0,614

D. Beobachtungen von Poncelet und Lesbros an rechteckigen Oeffnungen von 7,647 Zoll Breite.

Höhe der Oeffnung Zolle	Contractions-Coefficienten für verschiedene Wasserstände über dem obern Rande der Oeffnung			
	zwischen 5 Fufs u. 2 Fufs	zwischen 2 Fufs u. 6 Zoll	zwischen 6 Zoll u. 2 Zoll	unter 2 Zoll
	7,646	0,603	0,602	0,599
3,823	0,613	0,617	0,613	0,611
1,912	0,619	0,629	0,630	0,624
1,147	0,624	0,632	nicht beobachtet	0,643
0,764	0,625	0,642	0,656	0,667
0,382	0,623	0,649	0,679	0,702

In Bezug auf die letzte Tabelle, welche die Poncelet'schen Resultate enthält, ist zu bemerken, daß die angeführten Werthe der Contractions - Coefficienten großentheils Mittelzahlen aus mehreren Beobachtungen sind, die innerhalb derjenigen Grenzen des Wasserstandes angestellt wurden, welche die Ueberschriften der einzelnen Spalten bezeichnen. Dabei ist die unmittelbar über der Oeffnung eintretende Senkung des Niveau's nicht berücksichtigt, sondern die Druckhöhe ist vielmehr aus dem Wasserstande hergeleitet, den der zweite in 13 Fufs Entfernung aufgestellte Pegel bezeichnete. Wenn man die Senkung des Wasserspiegels berücksichtigt, wie Poncelet gethan hat, so findet man weit größere Anomalien, und bei den kleinsten Wasserständen steigern sich alsdann die Werthe der Coefficienten bis gegen 0,8. Die Contractions - Coefficienten sind aber in der Art berechnet, daß die wirklich ausfließenden Wassermengen mit denjenigen verglichen wurden, welche man erhalten würde, wenn durch jeden horizontalen Schnitt der Oeffnung das Wasser ohne Contraction nach Maafsgabe des darüber stattfindenden Druckes ausströmte. Endlich ist noch zu bemerken, daß hier nur diejenigen Beobachtungen berücksichtigt sind, die im Jahre 1828 angestellt wurden, indem die im vorhergehenden Sommer gemachten Beobachtungen weniger vollständig aufgezeichnet waren.

Schließlich erwähne ich noch einer Beobachtung, die ich einst an der neueren Schleuse zu Mühlheim an der Ruhr anstellte. Während die Unterthore und deren Schütze geschlossen waren, liefs ich die Kammer durch ein Schütz in einem Oberthore füllen. Die Oeffnung hielt 9,03 Quadratfufs. Die Kammer ist 18 Fufs breit, und bis zum Abfallboden nahe 140 Fufs lang, wegen der Neigung des letztern ist der horizontale Querschnitt der Kammer in verschiedenen Höhen verschieden. Der Stand des Oberwassers über dem obern Rande der Schütz-Oeffnung betrug 8 Zoll 11 Linien, senkte sich jedoch während der Strömung unmittelbar vor den Thoren um $1\frac{1}{2}$ Zoll. An einem in der Kammer aufgestellten Maafsstabe wurde das Steigen des Wassers von 6 zu 6 Zoll beobachtet, bis dasselbe den untern Rand der Durchflufs-Oeffnung erreichte. Die Rechnung ergab aus 10 einzelnen Beobachtungen den Werth des Contractions - Coefficient zwischen 0,57 und 0,63, im Mittel aber 0,604. Die bedeutenden Abweichungen rührten augenscheinlich von der heftigen Strömung in der Schleusenkammer her, wobei das Wasser periodisch vor dem

Maafsstabe immer mehrere Zolle hoch answoll, und alsdann wieder sich senkte. Diese Unsicherheit der einzelnen Messungen hatte aber auf die ganze Beobachtung oder den angegebenen mittleren Werth nur geringen Einflufs, und die Uebereinstimmung desselben mit dem von Poncelet bei der grössten Oeffnung und der grössten Druckhöhe gefundenen Coefficienten verdient bemerkt zu werden. Im Oberwasser bildete sich während der Beobachtung eine lebhafte Strömung, welche eine geringe Senkung des Wasserspiegels vor der Durchflufs-Oeffnung veranlafste. Dieselbe ist in der Rechnung nicht berücksichtigt, da sie ungefähr der Geschwindigkeit entsprechen mußte, die das Wasser schon vor dem Eintritt in die Oeffnung hatte.

Die angeführten sämmtlichen Beobachtungen zeigen eine gewisse Uebereinstimmung der Werthe des Contractions-Coefficienten. Derselbe scheint zu wachsen, wenn das Verhältnifs der Druckhöhe zur Höhe der Oeffnung zunimmt. Für die in der Praxis vorkommenden Fälle, wo große Oeffnungen und verhältnißmäfsig kleine Druckhöhen sich am häufigsten wiederholen, dürfte der Coefficient gleich 0,61 anzuwenden sein. Lesbros hat versucht, die Abhängigkeit des Coefficienten von der Druckhöhe und der Weite der Oeffnung aus seinen Beobachtungen nachzuweisen, doch bestätigt sich das in dieser Beziehung gefundene Resultat nicht durch die übrigen Messungen. Erwähnung verdient noch, daß kreisförmige und quadratische Oeffnungen unter übrigens gleichen Umständen, beinahe dieselbe Contraction zeigen, bei sehr flachen Strahlen nimmt dagegen der Contractions-Coefficient merklich zu.

Im Vorstehenden war nur von dem Falle die Rede, daß der Strahl frei austritt, und die ganze Ausflufs-Oeffnung füllt. Es bleibt daher noch zu untersuchen, ob die Resultate sich wesentlich ändern, wenn der Strahl entweder in ein zweites mit Wasser gefülltes Gefäß fließt, oder wenn über ihm die Oeffnung nicht geschlossen ist.

Wenn die Oeffnung sich in einer Zwischenwand zwischen zwei Gefäßen befindet, die beide bis über den obern Rand der Oeffnung gefüllt sind, so ist die Druckhöhe gleich der Niveaudifferenz der beiderseitigen Wasserstände, und es ist zu vermuthen, daß die Durchströmung in gleicher Art erfolgen wird, als wenn unter demselben Drucke der Strahl frei austritt. Ein Unterschied findet nur in sofern statt, als bei dem Ausflufs unter Wasser die obern, wie die untern Schichten demselben Drucke ausgesetzt sind. Vielfache Beob-

achtungen haben in der That gezeigt, daß durch gleiche Oeffnungen bei gleichem Drucke auch gleiche Wassermengen abfließen, und daß der Umstand, ob der Strahl frei in die Luft oder unter Wasser austritt, keinen Unterschied macht. Besonders wichtig sind in dieser Beziehung die Messungen, die man über die Zeit der Füllung von Schleusenammern angestellt hat. Die Resultate, welche Eytelwein in Betreff der Füllung der zweiten massiven Schleuse am Bromberger Canale anführt, und welche sich auf zwei verschiedene Höhen des Schützenzuges beziehen, gehören hierher. Wenn man diejenige Angabe vernachlässigt, welche sich auf die vollständige Füllung der Kammer bezieht, die sich nicht scharf beobachten läßt, so folgt aus der ersten Beobachtungsreihe der Contractions-Coefficient gleich 0,613 und aus der letzten 0,636. Die einzelnen Beobachtungen zeigen so große Abweichungen, daß dieser Unterschied der Hauptresultate nicht auffallen darf.

Aehnliche Beobachtungen führen auch Navier (in Belidor's *Science des Ingénieurs*) und d'Aubuisson an, die theils an einer Schleuse des Canal du Midi und theils zu Havre angestellt sind. Jene geben den Contractions-Coefficient bei verschiedenen Wiederholungen zwischen 0,594 und 0,647, im Mittel aber 0,625 und diese bei einmaliger Messung gleichfalls 0,625. Es muß aber bemerkt werden, daß bei diesen beiden Beobachtungen der Strahl Anfangs noch nicht unter Wasser ausströmte, sondern dieses erst gegen die Mitte jedes Versuches geschah.

Für die unter Wasser ausfließenden Strahlen stellt sich demnach der Contractions-Coefficient, soweit die Beobachtungen hierüber ein Urtheil gestatten, ebenso groß heraus, wie bei denjenigen, welche frei in die Luft treten. Dieses Resultat durfte man auch erwarten, wenn man nicht etwa annehmen wollte, daß unter starkem Drucke das Wasser an Beweglichkeit verliert. Daß Letzteres nicht der Fall ist, haben vielfache Beobachtungen bewiesen, und namentlich in neuerer Zeit diejenigen von Darcy, welche zeigen, daß bei gleichem Ueberdrucke die Röhren noch dieselbe Wassermenge liefern, wenn man auf beiden Seiten die Druckhöhe um 50 Fuß vergrößert.

Endlich bleibt noch zu untersuchen, welchen Contractions-Coefficient die Beobachtungen ergeben, wenn die Ausflußöffnung bis über das Oberwasser hinausreicht, also die oberste Schicht des Strahles gar keinem Drucke ausgesetzt ist. Diese Schicht, welche

auf den darunter befindlichen aufliegt, wird augenscheinlich nur von diesen in Bewegung gesetzt. Hieraus erklärt sich die starke Senkung des Wasserspiegels vor der Oeffnung. Wenn man diese unbeachtet läßt, und die Druckhöhe nach dem Niveau in einiger Entfernung vor der Oeffnung bestimmt, so wird dadurch gewissermaafsen eine Ausgleichung veranlaßt.

Zur Ermittlung des Contractions-Coefficient für diesen Fall sind wieder vielfache Messungen angestellt. Bidone fand ihn nach drei Beobachtungen gleich 0,607 und aus andern sechs Beobachtungen im Mittel gleich 0,603. D'Aubuisson dagegen im Mittel aus sechs Beobachtungen bei sehr kleinen Wasserständen von 1 bis 2 Zoll gleich 0,617. Die Messungen, welche Eytelwein in seinem Handbuche der Hydraulik anführt, die in einem Bache neben Bromberg vom Bau-Inspector Kypke angestellt wurden, sind

Breite der Oeffnung	Druckhöhe über dem unteren Rande	Contractions- Coefficient
0,500 Fufs	1,250 Fufs	0,632
0,833 "	0,900 "	0,621
1,167 "	0,720 "	0,633
1,500 "	0,596 "	0,640
2,146 "	0,480 "	0,619
3,448 "	0,344 "	0,633

Bei den Beobachtungen von Poncelet und Lesbros war dagegen die Breite der Durchflußöffnung gleich 7,647 Zoll.

Druckhöhe über d. untern Rande	Contractions- Coefficient
7,95 Zoll	0,583
6,23 "	0,589
3,94 "	0,593
2,33 "	0,600
1,72 "	0,610
0,88 "	0,624

Die Werthe der Contractions-Coefficienten, die Poncelet aus denselben Beobachtungen findet, sind theils größer, theils auch weniger übereinstimmend, als die vorstehenden. Er führte indessen die

Rechnung in der Art, daß er aus den Senkungen des Wasserspiegels in der Oeffnung die gewonnenen lebendigen Kräfte und aus diesen die in Vergleichung gestellten Wassermengen herleitete. Ich habe dagegen, wie auch Eytelwein, die Senkung des Wasserspiegels vor der Oeffnung unbeachtet gelassen und die Rechnung so geführt, als ob bis zur Oeffnung das Niveau des Oberwassers sich fortsetzte.

Nachdem gezeigt worden, daß die Wassermenge, welche durch die Oeffnung in der Wand eines Gefäßes ausfließt, nicht so groß ist, als man nach der Größe der Oeffnung und nach der Druckhöhe erwarten sollte, daß sie vielmehr in einem beinahe constanten Verhältnisse kleiner ausfällt, und nachdem schon früher nachgewiesen ist, daß die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers wirklich der jedesmaligen Druckhöhe entspricht, so kann jener Unterschied der Wassermengen nur dadurch erklärt werden, daß der Strahl an der Stelle, wo er die volle Geschwindigkeit annimmt, einen Querschnitt bildet, der in einem constanten Verhältnisse kleiner, als der Flächeninhalt der Oeffnung ist. Die Beobachtungen zeigen auch sehr deutlich, daß der Strahl beim Austreten aus der Oeffnung dünner wird, und dieses nicht nur, wenn er herabfällt, wo die Abnahme seines Durchmessers eine Folge der Beschleunigung durch den freien Fall wäre, sondern die Verminderung des Querschnittes hinter der Oeffnung giebt sich auch sehr augenscheinlich zu erkennen, wenn der Strahl horizontal oder aufwärts gerichtet ist.

Bei kreisförmigen Oeffnungen hat man vielfach den Durchmesser des contrahirten Strahles unmittelbar gemessen und dadurch das Verhältniß zum Durchmesser der Oeffnung bestimmt. Dasselbe stellte sich nach früheren Untersuchungen annähernd auf 0,80 zu 1. Michelotti's genauere Beobachtungen ergaben folgende Resultate.

Druckhöhe	Durchmesser der Oeffnung	kleinster Durchmesser	Abstand des letzten von der Oeffnung
6,7 Fufs	6,299 Zoll	4,902 Zoll	2,45 Zoll
11,7 "	6,209 "	4,894 "	2,45 "
7,1 "	3,104 "	2,439 "	1,22 "
12,1 "	3,104 "	2,432 "	1,19 "
21,5 "	3,104 "	2,344 "	1,15 "

Vernachlässigt man die kleinen Differenzen, die eine Verminderung des kleinsten Durchmessers des Strahles bei zunehmendem Druck zeigen, so nimmt nach den ersten beiden Beobachtungen der Durchmesser des Strahles im Verhältnisse von 6,209 zu 4,898 und nach den drei letzten im Verhältnisse von 3,104 zu 2,405 ab. Hieraus ergeben sich die Coefficienten für die Verminderung der Durchmesser gleich 0,789 und 0,775 und für die Verminderung der Querschnitte gleich 0,622 und 0,601, also nahe übereinstimmend mit den aus der Vergleichung der Wassermengen gefundenen Contractions-Coefficienten.

In der letzten Spalte der vorstehenden Tabelle sind noch die Abstände der stärksten Contraction des Strahles von der Oeffnung angegeben, wiewohl die Bestimmung derselben ziemlich unsicher ist. Der Theil des Strahles, der zunächst der Oeffnung liegt, bildet also einen abgestutzten Kegel, und das Verhältniß des Durchmessers der Oeffnung zu dem des kleinsten Querschnittes und zum Abstände beider ist

$$1 : 0,78 : 0,39.$$

Wenn die Ausflußöffnung nicht kreisförmig ist, sondern eine geradlinige Figur bildet, so zeigt sich die auffallende Erscheinung, daß die Querschnitte des Strahles nicht immer derjenigen der Oeffnung entsprechen, sondern in geringem Abstände von der letztern die vortretenden Kanten sich abstumpfen und weiterhin statt derselben tiefe Furchen sich bilden, wogegen der Strahl in der Mitte der Seiten stark anschwillt. Der Strahl behält indessen auch diese Form nicht lange. Die vortretenden Rippen, die niemals scharfe Kanten bilden, senken sich, während die dazwischen liegenden Flächen anschwellen, und aus ihnen wieder neue Rippen hervortreten, so daß die Rippen sich in Furchen und umgekehrt die letzteren in Rippen verwandeln. In dieser Weise nimmt der Strahl, so lange er eine zusammenhängende Masse bildet, abwechselnd verschiedene Querschnitte an, indem die stumpfen Kanten sich in hohle Seitenflächen und umgekehrt verwandeln. Bei Strahlen, die aus dreiseitigen Oeffnungen unter starkem Drucke austreten, kann man bis zehn solcher Abwechselungen wahrnehmen.

Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung ist allein in der sogenannten Molecular-Attraction, oder in der Spannung der Oberfläche zu suchen. Dieselbe ist bekanntlich umgekehrt dem Krüm-

mungshalbmesser proportional, sie zieht also am stärksten die scharf vortretenden Kanten und Rippen zurück und theilt dadurch der Wassermasse in denselben eine solche Seitenbewegung mit, daß letztere sich noch fortsetzt, wenn auch die Kraft aufhört und ihr sogar entgegenwirkt.

Am sorgfältigsten haben Poncelet und Lesbros diese Erscheinung beobachtet, indem sie in bestimmten Entfernungen kleine Rahmen um den Strahl anbrachten, von welchen aus scharfe Stahlspitzen bis zur Berührung gegen den Strahl geschoben und dadurch seine Form bestimmt wurde. Diese Messungen sind insofern sehr wichtig, als sie auf manche Umstände hinweisen, die beim freien Ausflusse des Wassers in Betracht kommen. In Fig. 69 und 70 auf Taf. IV sind die Längen- und Querschnitte zweier Strahlen dargestellt, wie die Messungen sie ergaben. Die Seitenansicht Fig. 69 zeigt einen Strahl, der aus einer quadratischen Oeffnung von 7,647 Zoll Weite unter einem Drucke von 5,353 Fufs über dem Mittelpunkte der Oeffnung tritt. Die mit *a*, *b*, *c* u. s. w. bezeichneten punktirten Linien weisen die Stellen nach, wo die mit denselben Buchstaben überschriebenen senkrechten Querschnitte gemessen sind. Bei letzteren ist zugleich die Ausflufs-Oeffnung in der entsprechenden Höhenlage angegeben. Der Einflufs der Schwere giebt sich durch die Senkung des Strahles schon in dem Profile *d* deutlich zu erkennen, und noch auffallender in allen folgenden.

Die Verfasser haben die Flächeninhalte der sämtlichen gemessenen Querschnitte und deren Verhältnisse zur Fläche der Oeffnung wie nachstehend gefunden.

Profil	Abstand: Centimeter	Querschnitt: Quadrat-Centimeter	Verhältniß
—	0,0	400,00	1,000
<i>a</i>	6,4	252,05	0,630
<i>b</i>	11,0	245,12	0,613
<i>c</i>	15,0	237,46	0,594
<i>d</i>	20,0	233,01	0,583
<i>e</i>	25,0	232,04	0,580
<i>f</i>	30,0	225,06	0,563
<i>g</i>	35,0	239,48	0,599
<i>h</i>	40,0	243,62	0,609
<i>i</i>	45,0	244,27	0,615

Die starke Verminderung der Fläche im Profil *f* gab Veranlassung, die Messung derselben zu wiederholen. Ihr Werth stellte sich dabei auf 226,925 und bei nochmaliger Wiederholung auf 226,848 Quadrat-Centimeter. Das Verhältniß zur Fläche der Durchfluß-Oeffnung war demnach 0,567. Wenn man die Differenzen der Zahlen in der letzten Spalte vergleicht, so lassen sie ein sehr complicirtes Gesetz vermuthen, und besonders auffallend sind dabei die Unregelmäßigkeiten, die das Profil *f* zeigt. Man kann nicht umhin, einigem Verdachte in Bezug auf die Richtigkeit der Messung Raum zu geben, man müßte aber vermuthen, daß dieses Profil und sonach auch das Verhältniß desselben größer wäre, als es angegeben ist.

Der gegen das Profil *f* angeregte Zweifel erklärt indessen noch keineswegs die starke Verengung, oder die große Geschwindigkeit in allen nächsten Profilen. Diese ist vielmehr die Folge von der Senkung des Strahles, nachdem er die Oeffnung passirt hat. Wegen dieser Senkung sind die vertical gemessenen Profile etwas größer als die gegen den Strahl normal gerichteten, und da letztere allein die wirkliche Geschwindigkeit bezeichnen, so ist diese sogar noch größer, als sie sich nach Poncelet's Rechnung herausstellt. Ich habe aus der mittleren Geschwindigkeit des Strahles in der Oeffnung, wie ihn die Rechnung ergibt, nämlich 5,7424 Meter und unter der Voraussetzung, daß die Richtung derselben horizontal sei, die Senkungen für die Abstände 0,15 u. s. w. bis 0,35 also für die Profile *c* bis *g* berechnet und daraus die Zunahme der Geschwindigkeit hergeleitet. Ferner habe ich die in der obigen Tabelle angegebenen Flächen der Querprofile auf den normalen Querschnitt reducirt, und gefunden, daß sie nach Entfernung des Einflusses der Senkung des Strahles in folgenden Verhältnissen zur Durchflußöffnung stehn:

Profil <i>c</i> . . .	0,6190
- <i>d</i> . . .	0,6157
- <i>e</i> . . .	0,6213
- <i>f</i> . . .	0,6105
- <i>g</i> . . .	0,6578

Es ergibt sich hieraus in Bezug auf das Profil *f* eine noch auffallendere Anomalie, als aus der früheren Tabelle, dagegen zeigen diese Verhältnisse durchaus nichts, was mit dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte im Widerspruch wäre. Der Contractions-Coefficient erreicht vielmehr hiernach noch nicht die früher an-

gegebene Gröfse, und um ihn mit der wirklich erhaltenen Wassermenge in Uebereinstimmung zu bringen, mufs man noch einigen Verlust an lebendiger Kraft voraussetzen.

Fig. 70 zeigt die Seitenansicht und die Querprofile eines Strahles, der durch dieselbe Oeffnung, jedoch bei einem so niedrigen Wasserstande ausfließt, dafs der obere Rand der Oeffnung nicht benetzt wird. Der untere Rand derselben befindet sich 6,894 Zoll unter dem Spiegel der ungesenkten Wasserfläche. Beim Punkte *A*, in einem Abstände von 11,47 Zoll beginnt die Senkung, und in der Oeffnung selbst beträgt sie schon 7,3 Linien. Das erste Querprofil *a* ist in der Oeffnung gemessen, die folgenden an den Stellen, die in der Seitenansicht mit denselben Buchstaben bezeichnet sind. Diese Profile sind insofern wichtig, als sie zeigen, dafs die oberen Wasserschichten, die keinem starken Drucke ausgesetzt waren, und denen daher durch solchen auch keine grofse Geschwindigkeit mitgetheilt wurde, sich nicht in ihrer Lage erhielten, sondern bald, wie namentlich das Profil *d* zeigt, seitwärts herabflossen.

Es mufs noch erwähnt werden, dafs die Profil-Messungen an beiden Strahlen nicht weiter fortgesetzt werden konnten, weil letztere über diese Grenzen hinaus nicht zusammenhängend blieben, vielmehr einzelne Tropfen sich schon von ihnen ablösten.

Im Vorstehenden sind die Erscheinungen mitgetheilt, welche beim Durchfließen des Wassers durch Oeffnungen in dünnen Wänden eintreten, und zwar unter der Voraussetzung, dafs der Querschnitt des Gefäßes viel gröfser, als der der Oeffnung ist, oder dafs das Wasser ohne merkliche Geschwindigkeit sich der letzteren nähert. Findet diese Bedingung nicht statt, so ändert sich der Contractions-Coefficient sehr bedeutend nach Maafsgabe der Geschwindigkeit des zuströmenden Wassers. *) Hierauf wird später bei Gelegenheit der Röhrenleitungen zurückgekommen werden. Diejenige Contraction, von der hier die Rede ist, stellt sich aber, wie nachgewiesen worden, beim Wasser unter sehr verschiedenen Umständen immer nahe in gleicher Gröfse heraus, auch für die Luft weicht sie nach andern Beobachtungen nicht wesentlich davon ab, und selbst der Strahl des ausfließenden Sandes nimmt in einiger Entfernung unter der hori-

*) Untersuchungen im Gebiete der Mechanik und Hydraulik von J. Weisbach. II. Abtheilung. Leipzig 1843.

zontalen Oeffnung wieder in ähnlichem Verhältnisse einen geringeren Querschnitt an. Die Ursache der Contraction darf man daher weniger in den Eigenschaften der Flüssigkeiten, als in den allgemeinen Gesetzen der Mechanik suchen.

Newton *) erklärte zuerst die Erscheinung, indem er sagte: „die Wassertheilchen treten nicht sämmtlich senkrecht durch die Oeffnung, sondern gehn großentheils in schräger Richtung hindurch, indem sie von allen Seiten aus dem Gefäße zusammenfließen und gegen die Oeffnung convergiren. Da sie aber ihre Richtung verändern, und die des ausspritzenden Strahles annehmen müssen, so wird letzterer etwas unterhalb der Oeffnung dünner, als in der Oeffnung selbst.“

Newton untersucht die hierbei eintretenden mechanischen Verhältnisse nicht näher, führt aber an, er habe in einem Strahle, der aus einer Oeffnung von $\frac{5}{8}$ Zoll austrat, das Verhältniß der Durchmesser gleich 25 : 21 also der Flächen gleich 1 : 0,706 gefunden, und macht darauf aufmerksam, daß dieses mit

$$1 : \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ oder } 1 : 0,7071$$

nahe übereinstimmt, woraus folgen würde, daß die Ergiebigkeit des Strahles eben so groß wäre, als wenn die Wasserfäden sich senkrecht bewegten, die Druckhöhe aber nur die halbe Größe hätte.

Navier **) gelangt zu demselben Resultate, indem er von dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte ausgeht, und annimmt, daß die Wassertheilchen bis unmittelbar vor der Oeffnung sich vollständig in Ruhe befinden, hier aber plötzlich durch einen starken Stofs herausgetrieben werden. Unter dieser Voraussetzung stellt sich allerdings das Verhältniß zwischen der erlangten Geschwindigkeit und der zur ganzen Druckhöhe gehörigen, wie 1 : $\sqrt{2}$ heraus. Man kann diese Erklärung indessen nicht als richtig ansehen, weil nach den obigen Mittheilungen die Geschwindigkeit keine merkliche Verminderung erfährt.

Außerdem ist die Voraussetzung, daß die Wassertheilchen in der Oeffnung durch einen plötzlichen Stofs in heftige Bewegung ver-

*) *Philosophiae naturalis principia*, Vol. II. Sect. VII. Probl. VIII.

**) *Résumé des leçons données à l'école des ponts et chaussées*. II. Partie.

setzt werden, nicht richtig. In ein gläsernes Gefäß, dessen Boden die Ausfluß-Oeffnung enthielt, leitete ich mittelst einer feinen Röhre eine gefärbte Flüssigkeit, deren Bewegung nach dem Eintritt in die Wassermasse deutlich wahrgenommen werden konnte. Es ergab sich, daß der gefärbte Faden, dessen Geschwindigkeit sich aus dem Querschnitte ungefähr beurtheilen liefs, sich anfangs sehr langsam der Oeffnung näherte, sich aber allmählig beschleunigte, und ohne einen plötzlichen Stofs zu erfahren durch die Oeffnung drang. Dabei muß auch noch bemerkt werden, daß dieser Faden nirgend eine scharfe Ecke zeigte, sondern wenn er auch zur Seite der Oeffnung dicht über dem Boden seinen Anfang nahm, doch immer eine gekrümmte, nicht aber eine gebrochene Linie bildete.

Eine zweite Erklärung der Contraction, die gleichfalls von Navier herrührt, darf ebenso, wie die von Andern darin eingeführten Modificationen, unbeachtet bleiben, da sie augenscheinlich auf unrichtigen Voraussetzungen beruht, wenn sie gleich den Coefficienten sehr nahe in derselben Gröfse darstellt, den die Beobachtungen ergaben.

Unter allen Versuchen zur theoretischen Begründung des Werthes des Contractions-Coefficienten verdient wohl diejenige vorzugsweise beachtet zu werden, die schon Dubuat *) andeutete. Dieselbe beruht auf Annahmen, die auch nach andern Erscheinungen sehr wahrscheinlich sind, und den allgemeinen Gesetzen der Mechanik nicht widersprechen.

Das Wasser fließt nicht durch alle Theile der Oeffnung mit gleicher Geschwindigkeit. Vielfache Erfahrungen zeigen nämlich, daß das bewegte Wasser die ruhenden Wassertheilchen, die es berührt, mit sich fortreißt. Ebenso werden auch die bewegten Theilchen durch die ruhenden zurückgehalten, und so geschieht es, daß die größte Geschwindigkeit in dem Mittelpunkte der Oeffnung sich bildet, während von hier ab die Wasserfäden rings umher sich immer langsamer bewegen und unmittelbar neben dem Rande an der Bewegung gar nicht Theil nehmen. Diese Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers bedingt aber keineswegs eine Verminderung der lebendigen Kraft, wie dieses der Fall wäre, wenn eine bereits erzeugte Geschwindigkeit durch Reibung zerstört würde. Eben so

*) *Principes d'Hydraulique*. I. §. 5.

wenig wie ein Verlust an lebendiger Kraft dadurch entsteht, daß die übrigen Theile der Wand gar kein Durchfließen gestatten, oder die Geschwindigkeit daselbst gleich Null ist, so tritt ein solcher auch hier nicht ein, wo die Nähe der Wand nur die Bildung einer mäßigeren Geschwindigkeit erlaubt. Sodann bewegen sich die einzelnen Wassertheilchen convergirend gegen den Mittelpunkt der Oeffnung, und indem sie sich hier weder kreuzen noch durchdringen, so müssen sie parallel zur Achse des Strahls sich weiter bewegen. Hieraus entsteht ein vermehrter Druck gegen die mittleren Fäden und sonach eine größere Geschwindigkeit derselben. Auf diese Art kann die Geschwindigkeit des mittleren Fadens größer werden, als diejenige, welche ihm nach Maafsgabe des Wasserstandes über der Oeffnung zukommt. Es schließt aber durchaus keinen Widerspruch in sich, wenn bei der Bewegung eines Systems von Körpern einzelne derselben eine größere Geschwindigkeit annehmen, als die, welche ihrer Fallhöhe entspricht, insofern andre den betreffenden Verlust tragen. Läßt man z. B. einen Wassertropfen aus der Höhe von 4 Zoll in eine Schale mit Wasser fallen, so spritzen häufig einige kleine Tröpfchen bis 8 Zoll hoch und noch darüber. Es wird also in diesem Falle eine Geschwindigkeit erzeugt, die größer ist, als sie bei der Fallhöhe sein sollte, aber nur ein kleiner Theil der herabgefallenen Masse nimmt diese Geschwindigkeit an.

Die Geschwindigkeit des Wassers ist sonach während des Durchganges durch die Oeffnung sehr verschieden. Am Rande der letzteren ist sie nämlich gleich Null, sie vergrößert sich in den Fäden, die der Mitte näher liegen und erreicht in allmählichen Uebergängen in der Achse des Strahles ihr Maximum. Die ganze lebendige Kraft des austretenden Strahles muß aber, insofern von jeder Reibung abgesehn wird, derjenigen gleich sein, welche das Wasser im Gefäße durch seine Senkung erzeugt.

Unter diesen Voraussetzungen tritt in jeder Zeiteinheit ein Wasserkegel aus der Oeffnung hervor, der letztere zur Basis hat und dessen Höhe der Geschwindigkeit des mittleren Fadens gleichkommt. Der Einfachheit wegen nehme ich an, daß die Oeffnung kreisförmig ist, und setze den Radius der Oeffnung gleich ρ und die Geschwindigkeit des mittleren Fadens gleich c , alsdann ist die Geschwindigkeit im Abstände r vom Rande

$$v = \frac{r}{\varrho} c$$

Bezeichnet nun M die Wassermenge, die in der Zeiteinheit austritt, und L die lebendige Kraft derselben, so hat man für den dünnen Ring im Abstände r vom Rande

$$dM = 2(\varrho - r) \frac{r}{\varrho} dr \cdot c \pi$$

$$\text{und } dL = 2(\varrho - r) \left(\frac{r}{\varrho}\right)^3 dr \cdot c \pi^3$$

Beides integrirt in den Grenzen

$$\text{von } r = 0$$

$$\text{bis } r = \varrho$$

$$\text{giebt } M = \frac{1}{3} \varrho^2 \pi c$$

$$\text{und } L = \frac{1}{10} \varrho^2 \pi c^3$$

Die verschiedenen Geschwindigkeiten der austretenden Wasserfäden gleichen sich aber nach dem Austritt aus der Oeffnung bald aus, indem der Strahl sich nunmehr ganz frei bewegt. Die mittleren Fäden werden daher von den äußern zurückgehalten und diese von jenen beschleunigt. Nach dieser Ausgleichung sei die gemeinschaftliche Geschwindigkeit gleich \varkappa und der Halbmesser des Wasserstrahles verwandle sich nunmehr in R , so hat man

$$M = R^2 \pi \cdot \varkappa$$

$$L = R^2 \pi \cdot \varkappa^3$$

Setzt man die beiden Ausdrücke für M einander gleich und ebenso die beiden für L , so findet man

$$\varkappa = c \cdot \sqrt{0,3}$$

$$\text{und } R^2 = 0,6086 \cdot \varrho^2$$

Der letzte Zahlen-Coefficient bezeichnet das Verhältniß, in welchem der Flächeninhalt der Oeffnung verkleinert werden muß, wenn man mit Berücksichtigung der jedesmaligen Druckhöhe die ausfließende Wassermenge finden will, und dieses stimmt in der That mit dem beobachteten nahe überein. Man überzeugt sich übrigens leicht, daß, wenn kein Verlust an lebendiger Kraft eintritt, \varkappa nichts anderes sein kann, als die der Druckhöhe des Wassers entsprechende Geschwindigkeit, und sonach ist die Geschwindigkeit des mittleren Fadens beim Austritt aus der Oeffnung

$$c = 1,8258 \cdot \varkappa$$

das heißt, um fünf Sechstheile größer, als sie beim freien Herab-

fallen der Wassertheilchen vom Wasserspiegel bis zur Oeffnung sein würde.

Die vorstehende Herleitung bezieht sich nur auf die Erscheinung im Allgemeinen, läßt aber alle Einzelheiten unberührt, die ohne Zweifel manche Modificationen veranlassen. Schon eine andere Form der Oeffnung dürfte eine geringe Aenderung des Contractions-Coefficienten zur Folge haben. Besonders wichtig ist aber der Einfluß, den auf denselben die Gestaltung des Behälters in der Nähe der Oeffnung ausübt, indem dadurch der Zutritt des Wassers von der Seite bedingt wird. Wenn nämlich die Ausflußöffnung sich nicht in einer ebenen Fläche und in hinreichendem Abstände von den Seitenwänden befindet, so vergrößert oder vermindert sich der Coefficient. Das erste geschieht, sobald eine oder mehrere Wände sich sehr nahe an der Oeffnung befinden, oder dieselbe seitwärts berühren. Wenn dagegen die Oeffnung durch eine Röhre in das Innere des Behälters verlegt wird, so vermindert sich die ausfließende Wassermenge. Borda's Versuche zeigen, daß bei der letzten Anordnung der Contractions-Coefficient bis auf 0,515 verringert werden kann. Man muß dabei aber vermeiden, daß der Strahl die Wände der Röhre berührt, denn sonst wirkt letztere, wie eine Ansatzröhre, und vergrößert die Ergiebigkeit der Oeffnung.

§. 15.

Ausfluß des Wassers durch Ansatzröhren.

Wenn der Ausfluß durch sehr kurze Röhren erfolgt, deren Länge nur wenig größer ist, als ihr lichter Durchmesser, oder durch sogenannte Ansatzröhren, so zeigen die austretenden Strahlen manche auffallende Unterschiede gegen diejenigen, die sich in der Oeffnung einer dünnen Wand bilden.

In die verticale und ebene Wand eines Blechgefäßes, das etwa 3 Zoll weit und 9 Zoll hoch war, schnitt ich ohnfern des Bodens eine Oeffnung von 1 Zoll Breite und $\frac{1}{2}$ Zoll Höhe ein, und löthete in diese eine Messingplatte, worin sich zwei gleiche kreisförmige Oeffnungen befanden, von denen die eine in dünner Wand eingeschnitten, und die andre mit kurzer Ansatzröhre versehen war. So-

bald ich das Gefäß mit Wasser füllte, stellten sich beide Strahlen nebeneinander dar. Sie unterschieden sich in dreifacher Beziehung.

- 1) Der Strahl aus der Oeffnung in der dünnen Wand hatte einen geringeren Querschnitt, als der aus der Ansatzröhre.
- 2) Der erste wurde in gleichem Abstände viel weniger, als der letzte, durch die Schwere herabgezogen. Das Wasser in ihm hatte also eine gröfsere Geschwindigkeit angenommen.
- 3) Das äufsere Ansehn beider Strahlen war auffallend verschieden. Der Strahl aus der Oeffnung in der dünnen Wand glich einem geschliffenen Glasstabe, alle Gegenstände spiegelten sich darin und er zeigte keine Bewegung. Der Strahl aus der Ansatzröhre hatte dagegen ein mattes Ansehn und eine trübe Färbung, seine Oberfläche war fein gefurcht, und indem die Furchen wie kleine Wellen ihre Stellung fortwährend veränderten, so entstand ein flimmernder Glanz auf demselben. Doch nicht allein diese Bewegungen unterscheiden ihn von dem ersteren, sondern auferdem war er einem starken Schwanken ausgesetzt, welches in sehr kurzen Perioden sich wiederholte. Sobald aber der Wasserstand im Gefäße sich bis auf einige Linien über den Oeffnungen vermindert hatte, verschwanden die Eigenthümlichkeiten des zweiten Strahles und er nahm das Ansehn des ersteren an.

Die beiden ersten Unterschiede sind schon oft bemerkt worden, man hat auch die Wassermengen, welche durch cylindrische Ansatzröhren abgeführt werden, durch vielfache Beobachtungen zu ermitteln gesucht. Wählt man zur Vergleichung wieder diejenige Wassermenge, welche abfliefsen würde, wenn keine Contraction des Strahles eintrete, so ist das Verhältnifs durchschnittlich, wie 1 zu 0,82. Der Werth dieses Contractions-Coefficienten schwankt nach den verschiedenen Beobachtungen zwischen 0,80 und 0,83. Wenn hierin eine gröfsere Uebereinstimmung, als in den Beobachtungen über den Ausflufs durch Oeffnungen in einer dünnen Wand zu liegen scheint, so rührt dieses wohl davon her, dafs diese Beobachtungen minder zahlreich und nur in kleinem Maafsstabe ausgeführt wurden. Später hat sich besonders Castel, Ingenieur der Wasserwerke zu Toulouse, mit Beobachtungen über Ansatzröhren beschäftigt, und nicht nur die Wassermengen, sondern auch die Geschwindigkeiten untersucht, womit der Strahl ausfließt. Nach den im Jahre 1837 zu Toulouse

angestellten Beobachtungen *) gab eine cylindrische Röhre von 7,1 Linien Weite und 18,4 Linien Länge unter Druckhöhen von 8 Zoll bis 10 Fufs, nach sechs verschiedenen Beobachtungen das Verhältnifs der Wassermengen sehr übereinstimmend 0,829 und die Form des Bogens, welche der Strahl beschrieb, zeigte, dafs die Geschwindigkeit sich zu derjenigen, die der Druckhöhe entsprach, wie 0,826 bis 0,833 oder im Mittel wieder wie 0,829 : 1 verhielt. Es ergibt sich hieraus, dafs in diesem Falle keine eigentliche Contraction stattfindet, der Durchmesser des Strahles vielmehr mit dem der Oeffnung übereinstimmt, und die geringere Ergiebigkeit der Oeffnung allein von der Verringerung der Geschwindigkeit herrührt.

Fragt man, woher die Ansatzröhre die ausfliessende Wassermenge vermehrt und deren Geschwindigkeit vermindert, so läfst sich wohl eine Erklärung dafür geben, doch ist es bis jetzt nicht gelungen, den Zahlenwerth des Coefficienten durch Rechnung zu begründen. Das Wasser haftet bekanntlich an den Metallen, woraus man die Röhren darstellt. Es haftet aber auch an der umgebenden Luft, und der Wasserstrahl reifst letztere mit Heftigkeit mit sich, wie man dieses bei Wasserfällen und starken springenden Strahlen wahrnehmen kann. Wird nun die Oeffnung in der dünnen Wand mit einer Ansatzröhre versehen, die sehr kurz ist und noch nicht ihren innern Durchmesser zur Länge hat, so berührt der Strahl gar nicht die Röhre und tritt in gleicher Art, wie aus einer Oeffnung in dünner Wand heraus. Sobald aber die Röhre an Länge zunimmt, oder auch wenn die Geschwindigkeit sehr geringe wird, so berührt der Strahl an irgend einer Stelle die Röhre und sogleich haftet er daran. Die Berührung dehnt sich aber weiter aus, während die Luft, die früher zwischen dem Strahle und der Röhrenwand befindlich war, von ersterem herausgeführt wird und sich nicht mehr ersetzt, weil alle Zugänge gesperrt sind. Auf solche Art ist der Druck der Luft eine zweite Veranlassung, um die Ansatzröhre vollständig mit Wasser zu füllen. Die Wassertheilchen, welche in die Oeffnung treten, können sich alsdann nicht mehr wie früher überwiegend in der Mitte anhäufen und hier die grofse Geschwindigkeit erzeugen, weil sonst die Röhre am Rande leer bleiben würde. Es erfolgt also eine gleichmäfsigere Vertheilung der Wassermasse über die ganze Fläche der

*) Mitgetheilt in den *Annales des Mines*. Tome XIV. Sept. u. Oct. 1838.

Oeffnung, als früher, und die lebendige Kraft, welche die zutretenden Wassertheilchen haben, wird weniger auf die Bildung der starken Geschwindigkeit des mittleren Fadens verwandt, als auf die Vergrößerung der bewegten Masse. Auffallend ist es, daß die lebendige Kraft des aus der Oeffnung in der dünnen Wand tretenden Strahles ziemlich nahe gleich ist der lebendigen Kraft des, durch die gleich weite Ansatzröhre fließenden Strahles, während die Wassermengen sich nahe wie 3 zu 4 verhalten.

Wichtig sind noch andre Erscheinungen an den Ansatzröhren. Venturi versah die Ansatzröhre mit feinen Seitenöffnungen, durch diese floß aber nicht Wasser ab, vielmehr drang Luft hinein. Der Strahl löste sich alsdann von den Wänden und nahm die Eigenschaften des aus der Oeffnung in dünner Wand austretenden Strahles an. Man hat diesen Versuch auch unter dem Recipienten der Luftpumpe wiederholt, dabei jedoch im Allgemeinen keine Aenderung wahrgenommen, und nur in einzelnen Fällen, wo die Ansatzröhre besonders kurz war, schien der Strahl zur Füllung der ganzen Röhre weniger geneigt zu sein, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. Ueberraschend ist noch die Erscheinung, die schon Daniel Bernoulli bemerkte, daß nämlich durch eine abwärts gekehrte Seitenröhre, welche in die Ansatzröhre an derjenigen Stelle einmündet, wo der freie Strahl die stärkste Contraction erfährt, kein Wasser ausfließt, vielmehr aus einem darunter befindlichen Gefäße Wasser aufgesogen wird.

Die Ansatzröhren haben oft andere Formen, als die cylindrische, und namentlich die Gestalt von Kegeln oder Pyramiden, die in der Richtung des Strahles sich verengen, oder erweitern. Den ersten Fall hat besonders Castel sehr ausführlich untersucht. Wenn der Winkel der Convergenz der gegenüberstehenden Seiten sich von 0 Grad bis 180 Grad verändert, so kann man sowol die Oeffnung in der dünnen Wand, als auch die cylindrische Ansatzröhre als äußerste Grenzen der conischen Ansatzröhren betrachten.

Castel benutzte in der That eine Reihe von conischen Ansatzröhren, die verschieden convergirten, und bestimmte sowol die ausfließenden Wassermengen, als auch die Geschwindigkeiten, und zwar wurden die letzteren aus der Form der Parabel hergeleitet, welche der Strahl beschrieb, sie bezogen sich aber auf den kleinsten oder den äußersten Querschnitt der Ansatzröhre. Auf diese Art stellte

er zwei Coefficienten, einen für die Wassermenge und einen für die Geschwindigkeit dar, durch Division des ersten durch den zweiten ergab sich aber noch ein dritter Coefficient, nämlich der der Contraction. *) Bei diesen Ansatzröhren, deren Durchmesser an der engsten Stelle jedesmal 7,1 Linie und deren Länge 18,4 Linien betrug, wurden als Mittelzahlen von 5 und 6 Beobachtungen, die bei abwechselndem Drucke von 8 Zoll bis 10 Fufs angestellt waren, für die verschiedenen Convergenzwinkel die folgenden Coefficienten gefunden:

Convergenzwinkel	Coefficient der		
	Wassermenge	Geschwindigkeit	Contraction.
0° 0'	0,829	0,829	1,00
1° 36'	0,866	0,867	1,00
3° 10'	0,895	0,894	1,00
4° 10'	0,912	0,910	1,00
5° 26'	0,924	0,919	1,00
7° 52'	0,930	0,932	1,00
8° 58'	0,934	0,942	0,99
10° 20'	0,938	0,951	0,99
12° 4'	0,942	0,955	0,99
13° 24'	0,946	0,963	0,98
14° 28'	0,941	0,966	0,97
16° 36'	0,938	0,971	0,97
19° 28'	0,924	0,970	0,96
21° 0'	0,919	0,972	0,95
23° 0'	0,914	0,974	0,94
29° 58'	0,895	0,975	0,92
40° 20'	0,870	0,980	0,89
48° 50'	0,847	0,984	0,86

Castel theilt noch andere Beobachtungen mit, die sich auf Ansatzröhren von verschiedener Weite und verschiedener Länge beziehen. Ich übergehe dieselben, da sie nicht genügen, um das Gesetz genauer zu verfolgen, welches sich hiernach schon im Allgemeinen herausstellt. Man bemerkt, dafs der Coefficient der Geschwindigkeit

*) Diese Beobachtungen sind in den *Annales des Mines 1833* mitgetheilt.

bei zunehmender Convergenz wächst und der der Contraction abnimmt. Durch Verbindung beider erhält man den Coefficient der Wassermenge, der, soweit sich dieses aus der Tabelle beurtheilen läßt, etwa bei 13 Graden sein Maximum erreicht.

Es giebt noch einige Beobachtungen, die über die conischen oder vielmehr pyramidalen Ansatzröhren im Großen angestellt sind. Bei den im südlichen Frankreich seit langer Zeit üblichen horizontalen Mühlrädern wird nämlich der Wasserstrahl durch eine pyramidale Zuleitungsröhre auf die Schaufeln des Rades geführt. Der Ingenieur Lespinnasse untersuchte eine solche Röhre, sie war 9 Fufs 4 Zoll lang und ihr oblonger Querschnitt maafs neben der Einflusmündung in den Seiten 27,9 und 37,3 Zoll, dagegen in der Ausflusmündung 5,2 und 7,2 Zoll. Die Seiten convergirten also in Winkeln von $11\frac{1}{2}$ und $15\frac{1}{2}$ Graden. Die Druckhöhe betrug 9 Fufs 4 Zoll. Es ergaben sich aus drei Beobachtungen die Coefficienten der Wassermenge

0,987 0,976 und 0,979.

Es war also der Erfolg noch günstiger, als man nach den Castelschen Beobachtungen erwarten sollte, und es ist bemerkenswerth, dafs man durch die ziemlich rohe Praxis dieses Mühlenbaues auf den vortheilhaftesten Convergenzwinkel geführt worden ist.

Endlich können die Ansatzröhren auch divergirend sein, d. h. sie können abgestutzte Kegel bilden, deren engere Oeffnung die Einflusmündung und deren weitere Oeffnung die Ausflusmündung ist. Mittelst dieser kann man den grössten Coefficient der Wassermenge darstellen, wenn man das engste Profil, also die Einflusmündung als Querschnitt des in Vergleich gestellten Cylinders ansieht. Für die Oeffnung in der dünnen Wand war der Coefficient gleich 0,61, für die cylindrische Ansatzröhre 0,82, für die divergirende conische Ansatzröhre wird er gröfser als Eins und nach den Beobachtungen von Venturi und Eytelwein wächst er bis $1\frac{1}{2}$ und sogar bis $1\frac{1}{2}$. Letzteres geschieht, wenn man eine convergirende conische Ansatzröhre von der Form des contrahirten Strahles unmittelbar davor anbringt und der divergirenden Ansatzröhre den neunfachen Durchmesser des kleinsten Querschnittes zur Länge giebt und ihre Seiten unter einem Winkel von $5^{\circ} 6'$ gegen einander neigt. In die näheren Details dieser Beobachtungen einzugehn scheint überflüssig, da eine Anwendung derselben kaum denkbar ist.

Es muß hierbei noch bemerkt werden, daß die in dem engsten Profile der zuletzt erwähnten Ansatzröhre erzeugte sehr große Geschwindigkeit keineswegs mit den allgemeinen dynamischen Gesetzen in Widerspruch steht. Dieses würde nur der Fall sein, wenn das Wasser mit dieser Geschwindigkeit frei ausströme, was jedoch keineswegs geschieht. Die ganze Wassermenge, die sich auf einmal in der Röhre befindet, ist als ein zusammenhängendes System von Körpern zu betrachten, welches gegenseitig seine Geschwindigkeit bedingt. Ist die mittlere Geschwindigkeit im engsten Profile gleich 1, so beträgt sie bei der angegebenen Gestalt der divergirenden Röhre in der Ausflusmündung noch nicht $\frac{1}{3}$, oder die Geschwindigkeit, womit das Wasser ausspritzt, ist nur etwa die Hälfte von der, die es beim freien Falle von der ganzen Druckhöhe erlangen würde. Die lebendige Kraft wird also nicht vergrößert, sondern im Gegentheil sehr bedeutend vermindert. Es muß aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß in diesem Falle nahe dieselbe Erscheinung durch die Beobachtung sicher festgestellt ist, die bei der Erklärung der Contraction des aus dünner Wand austretenden Strahles vorausgesetzt wurde, daß nämlich einzelne Theile der bewegten Wassermasse oder des Strahles eine größere Geschwindigkeit annehmen, als diejenige ist, die sie beim freien Herabfallen vom Niveau des Druckwassers erhalten konnten.

§. 16.

Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Wenn eine längere, vollständig mit Wasser gefüllte cylindrische Röhre aus einem weiteren Bassin gespeist wird, so ist der erste Theil derselben nichts anderes, als eine Ansatzröhre. In diesem bildet sich die Geschwindigkeit, die, in der Richtung der Röhre gemessen, sich unverändert durch die ganze Leitung fortsetzt, weil eben sowol die Querschnitte, wie auch die Wassermengen, welche durch diese hindurchfließen, dieselben sind. Letzteres ist die nothwendige Folge theils von dem Mangel an merklicher Comprimirbarkeit des Wassers, und theils von dem Drucke der äußern Luft, der die Bildung leerer Räume in der Röhre nicht

gestattet. Diese constante Geschwindigkeit in der ganzen Ausdehnung der cylindrischen Leitung bezieht sich aber keineswegs auf alle darin befindlichen Wassertheilchen, nur die mittlere Geschwindigkeit in jedem Querschnitt, und zwar in der Richtung der Röhre gemessen, bleibt überall dieselbe. Sie ändert sich auch bei fortgesetztem Durchflusse nicht, wenn die Druckhöhe constant ist. Unter Druckhöhe versteht man aber die Niveau-Differenz zwischen Ober- und Unterwasser, oder wenn der Strahl nicht unter Wasser austritt, zwischen dem Oberwasser und dem Mittelpunkte der Ausflusmündung.

Ein Theil dieser Druckhöhe wird verwendet, um dem Wasser, welches gewöhnlich sich vorher in Ruhe befand, die Geschwindigkeit mitzuthellen, während der andre die Widerstände in der Leitung überwindet. Man unterscheidet daher die Geschwindigkeits-Höhe und die Widerstands-Höhe, die zusammen die Druckhöhe darstellen. Was die erstere betrifft, so ergeben die Beobachtungen bei engen Röhren, und zwar bei mäfsigen Geschwindigkeiten, dafs dieselbe mit dem oben (§. 15.) hergeleiteten Contractions-Coefficienten der cylindrischen Ansatzröhren übereinstimmt. Bei längeren Leitungen ist aber die Geschwindigkeits-Höhe vergleichungsweise zur Widerstands-Höhe unmerklich klein, und kann daher ohne Nachtheil unbeachtet bleiben, wie dieses in Frankreich auch üblich ist.

Man sollte vermuthen, dafs die Bewegung des Wassers in cylindrischen Röhren, als eine der einfachsten hydraulischen Erscheinungen, leicht zu verfolgen, und daher die Gesetze, denen sie unterworfen ist, eben so leicht nachzuweisen sein müßten. Bei sehr engen Röhren und mäfsigen Geschwindigkeiten ist dieses allerdings der Fall, aber keineswegs bei weiteren Röhren.

In dieser Untersuchung muß auch die Neigung der Röhre gegen den Horizont berücksichtigt werden. Zuerst mag von solchen Leitungen die Rede sein, die ganz oder doch nahe horizontal verlegt sind. Der Druck, der in der ganzen Länge derselben die Widerstände überwinden muß, kann nicht wie in einem offenen Gerinne, oder in einem Stromlaufe durch seine freie Oberfläche an jeder Stelle unmittelbar dasjenige Gefälle darstellen, welches den Widerständen entspricht. Es muß vielmehr eine Uebertragung des Druckes eintreten, und diese erfolgt entweder nur durch die starke Spannung, in welcher die ganze Wassermasse sich befindet, was

eben in jenen engen Röhren der Fall ist, oder es treten innere Bewegungen ein, die häufig übermächtig stark sind, die man auch deutlich erkennt, wenn man durch Glasröhren mit dem Wasser zugleich Sägespähne hindurchtreiben läßt. Man bemerkt alsdann, daß die ganze Masse sich in wirbelnder und anscheinend ganz unregelmäßiger Bewegung befindet. Sehr auffallend unterscheiden sich auch beide Arten der Bewegung durch das Ansehn des aus der Leitung austretenden Strahles. Derselbe gleicht einem festen Glasstabe mit glatter Oberfläche und zeigt sich ganz unbeweglich, so lange die innern Bewegungen in der Röhre fehlen. Sobald diese jedoch eintreten, so schwankt er nicht nur hin und her, sondern seine Oberfläche nimmt auch einen matten Glanz, wie geätztes Glas an, und läßt unter der Lupe eine zahllose Menge kleiner Wellen erkennen.

Im letzten Falle wird also dem Wasser eine viel grössere Geschwindigkeit mitgetheilt, als sich aus der austretenden Masse erkennen läßt. Letztere, dividirt durch den Querschnitt, giebt die mittlere Geschwindigkeit in der Richtung der Leitung gemessen, während der erwähnte Versuch deutlich zeigt, daß die Wassertheilchen sich wirklich in ganz anderen Richtungen bewegen. Es ist denkbar, daß die große lebendige Kraft, die dem Wasser bei dem Eintritt in die Röhre mitgetheilt wird, und die sich eben in den Wirbeln zu erkennen giebt, zur Ueberwindung der Widerstände auf dem ganzen Wege dient. In diesem Falle müßte indessen in der Nähe der obern Mündung die innere Bewegung stärker sein, als vor der Ausmündung, was ich doch nie bemerken konnte. Die Erscheinung ist daher keineswegs aufgeklärt, und man ist noch nicht im Stande, sie auf die allgemeinen Gesetze der Mechanik zurückzuführen. Gewiß ist nur, daß die sogenannte Widerstandshöhe keineswegs allein zur Ueberwindung der Widerstände neben der Röhrenwand, die man theils als Reibung und theils als Klebrigkeit ansieht, verwendet wird, sondern vorzugsweise die innern Bewegungen erzeugt.

Unzweifelhaft gestaltet sich die Erscheinung am einfachsten in engen Röhren und zwar bis zu denjenigen Geschwindigkeiten, wo die innern Bewegungen beginnen. Obwohl dieser Fall in grössern Wasserleitungen nicht leicht vorkommt, so steht er doch mit den Erscheinungen bei diesen in sehr naher Beziehung und dient zum Theil zur Erklärung derselben. In jenem Falle ist die Wider-

standshöhe oder die Niveau-Differenz, welche zur Ueberwindung der Widerstände verwendet wird, der ersten Potenz der mittleren Geschwindigkeit, oder der ausfließenden Wassermenge proportional, außerdem ist sie aber auch umgekehrt proportional dem Quadrate des Durchmessers der Röhre.

Letzteres ergab sich unzweifelhaft aus Beobachtungen, die ich mit drei verschiedenen, sorgfältig ausgeschliffenen Röhren von 1,17 . . . 1,84 und von 2,71 Rheinh. Linien Weite anstellte *), ersteres war schon früher bemerkt worden. Wenige Jahre später gelangte Poiseuille zu demselben Resultate, indem er zu den Messungen sehr feine Haarröhren von 0,007 bis 0,40 Rheinh. Linien Weite benutzte. Diese Untersuchung verfolgte vorzugsweise den physiologischen Zweck, die Gesetze der Bewegung des Blutes im thierischen Körper aufzufinden. Poiseuille legte seine Arbeit der Pariser Academie der Wissenschaften vor, und da die bereits erwähnten Resultate, von den bisher geltenden wesentlich abwichen, so ernannte die Academie eine Commission, zu der auch Arago gehörte, welche den Gegenstand näher prüfen sollte. Diese betheiligte sich an den Messungen und konnte nur die gefundenen Resultate bestätigen **).

Sowol meine, als diese Untersuchung zeigte, daß die Bewegung des Wassers in engen Röhren in hohem Grade von der Temperatur abhängt, wie Gerstner dieses schon früher gefunden hatte ***). Dieser Einfluß der Temperatur veranlaßt eigenthümliche Erscheinungen. Bei höherem Wärmegrade gewinnt das Wasser an Beweglichkeit, hierdurch bilden sich innere Bewegungen, und in Folge derselben vermindert sich die in der Richtung der Röhre gemessene Geschwindigkeit, oder die ausfließende Wassermenge. Wenn ich beispielsweise auf die enge Röhre von 1,17 Linie Weite und 18 Zoll Länge einen Druck von 11 Zoll wirken ließe, so nahm in der Richtung der Röhre gemessen die Geschwindigkeit von 27 bis 36 Zoll zu, sobald das Wasser von 0 bis 18 Grad Réaumur erwärmt wurde. Bei weiterer Erwärmung traten innere Bewegungen ein, die einen Theil der Druckhöhe consumirten, und dadurch jene Geschwindigkeit

*) Poggendorff's Annalen. Bd. 46. 1839.

***) Der Commissions-Bericht vom 25. December 1842 ist in den *Annales de chimie, Ser. III. Tom. VII.* vom Jahre 1843 abgedruckt, derselbe ist auch in Poggendorff's Annalen, Band 58. 1843 aufgenommen.

****) Gilbert's Annalen. Band 5. 1800.

wieder verminderten, die bei 32 Grad nur noch 31,6 Zoll maafs. Bei dieser Temperatur hatten sie sich vollständig ausgebildet und nunmehr vergrößerte sich wieder bei noch höheren Wärmegraden die ausfließende Wassermenge oder die Geschwindigkeit in der Richtung der Röhre. Letztere nahm freilich nur sehr langsam zu, doch fand ich sie bei 67 Grad gleich 35,4 Zoll. Indem ich diese Verhältnisse näher untersuchte *), bemühte ich mich nochmals, ein allgemein gültiges Gesetz für die Bewegung des Wassers in Röhren aufzustellen. Ich benutzte zu den Versuchen wieder dieselben Röhren, deren Weite ich aufs Neue maafs, ich liefs jedoch die Strahlen frei in die Luft austreten, um ihre Beschaffenheit wahrnehmen zu können.

Wenn c die mittlere Geschwindigkeit in der Richtung der Röhre, h die Druckhöhe (also die Niveau-Differenz zwischen dem Spiegel des Druckwassers und dem Mittelpunkte der Ausflufs-Oeffnung), L die Länge der Röhre und D ihren Durchmesser bezeichnet, Alles in Rheinländischen Zollen ausgedrückt, so fand ich

$$h = \alpha \cdot D + \beta \frac{cL}{D^2} + \gamma c^2 + \delta \frac{c^2 L}{D}$$

Der constante Factor α des ersten Gliedes, das von der Geschwindigkeit ganz unabhängig ist, bezeichnete die Molecular-Attraction oder die Spannung der Oberfläche im austretenden Strahle, die nach Maafsgabe des Durchmessers D einen bestimmten Gegendruck bildete. Die Stärke dieser Spannung schlofs sich sehr nahe an denselben Werth an, der sich für die frisch gebildete Oberfläche des Wassers, aus der Gröfse der abfallenden Tropfen ergibt. Er ist von der Temperatur abhängig, doch stellt sich dieses erste Glied stets so geringe dar, dafs man es vernachlässigen darf. Es verschwindet auch ganz, wenn man den Strahl unter Wasser austreten läfst.

Das dritte Glied bezeichnet die Geschwindigkeits-Höhe, der constante Factor γ hatte nahe denselben Werth, den die mit kurzen Ansatzröhren angestellten Versuche ergaben (§. 15), derselbe ist sowol von der Temperatur, wie auch von der Länge und Weite der Röhre unabhängig.

*) Ueber den Einflufs der Temperatur auf die Bewegung des Wassers in Röhren. Abhandlungen der Academie der Wissenschaften. Berlin 1854.

Eine nähere Betrachtung verdient das zweite Glied, welches bei engen Röhren und mäfsigen Geschwindigkeiten vorzugsweise die letzteren bedingt. Indem es das Quadrat des Durchmessers im Nenner enthält, so ergibt sich, dafs es für kleine D überwiegend grofs sein mufs. Es wäre dabei zu erwähnen, dafs eine etwas grössere Uebereinstimmung mit den Beobachtungen sich noch darstellen liefs, wenn ich annahm, dafs eine sehr dünne Wasserschicht neben der Röhrenwand an der Bewegung gar nicht Theil nahm. Die Dicke derselben fand ich gleich 0,0013 Zoll, doch schien sie auch von der Temperatur abhängig zu sein. Dadurch verwandelt sich das zweite Glied in

$$\beta \frac{c L D^2}{(D - 0,0026)^4}$$

doch kann man von dieser unbedeutenden Correction absehn, da sie das Resultat nur wenig ändert, auch kaum durch meine Beobachtungen unzweifelhaft festgestellt ist, während Poiseuille's Beobachtungen ihr direct widersprechen. Der Factor β ändert sich sehr auffallend mit der Temperatur. Indem ich die Beziehung zwischen beiden suchte, kam ich endlich zu den Ausdrücken

$$\beta = 0,00006338 - 0,00001441 \sqrt[3]{\tau}$$

oder auch

$$\beta = 0,000015 (\sqrt[3]{80} - \sqrt[3]{\tau})$$

worin τ den Thermometer-Grad nach der Réaumur'schen Scale bezeichnet und Rheinländisches Zollmaafs zum Grunde gelegt ist.

Ich mufs nech hinzufügen, dafs die erste Potenz der Geschwindigkeit im Zähler dieses Gliedes und die zweite des Durchmessers im Nenner sich vollständig erklären, wenn man wieder in derselben Weise, wie beim Ausflufs des Wassers durch Oeffnungen in dünner Wand (§. 14) geschah, eine stätige Zunahme der Geschwindigkeit von der Wand der Röhre bis zur Achse derselben annimmt. Es mag in dieser Beziehung genügen, auf meine letzterwähnte Abhandlung zu verweisen, und wäre nur zu erwähnen, dafs keine andre Voraussetzung dabei gemacht ist, als die an sich sehr plausible, dafs der Widerstand den zwei sich begrenzende unendlich dünne Lamellen ihrer gegenseitigen Verschiebung entgegensetzen, bei gleichen Flächen, der Gröfse dieser Verschiebung proportional ist.

Was endlich das vierte Glied des obigen Ausdrucks für h be-

trifft, so stellt es den üblichen Werth der Widerstandshöhe für weitere Röhren dar. Nach meinen Beobachtungen ist der constante Factor δ gleichfalls, jedoch nur in sehr geringem Grade von der Temperatur abhängig. Außerdem stellte sich auch eine etwas größere Uebereinstimmung zwischen den Beobachtungen dar, wenn ich den Exponent von c etwas verminderte und den von D etwas vergrößerte, doch konnten die in sehr kleinem Maafsstabe angestellten Messungen hierüber nicht entscheiden, vielmehr läßt sich über die Form und den constanten Factor dieses vierten Gliedes nur unter Zugrundelegung von Beobachtungen an weiteren Röhren mit Sicherheit urtheilen.

Unter diesen an weiten Röhren angestellten Messungen sind zuerst diejenigen zu erwähnen, die Couplet im Jahre 1732 der Pariser Academie vorlegte. Er hatte dieselben an 7 verschiedenen Leitungen bei Versailles gemacht. Die Leitungen waren 4 bis 18 Zoll weit und 1700 bis 11400 Fufs lang, man würde also hieraus sehr wichtige Resultate ziehn können, wenn die Messungen sicher wären. Von der einen Leitung bemerkte Couplet selbst, dafs sie sich in sehr schlechtem Zustande befunden habe, ob die sämtlichen Röhren aber durch Niederschläge oder vielleicht durch angesammelte Luft stellenweise verengt waren, wurde nicht untersucht. Diese gesammten Messungen schliesen sich auch an keine der bisher aufgestellten Theorien an, woher man daraus immer nur zwei bestimmte ausgewählt hat, bei denen dieses ungefähr statt findet.

Demnächst hat Bossut mit 3 Röhren Beobachtungen angestellt, die 1, $1\frac{1}{2}$ und 2 Zoll weit waren, und nach und nach von 30 bis 180 Fufs verlängert, und jedesmal dem Drucke von 1 und 2 Fufs ausgesetzt wurden. Endlich theilt Dubuat in seinem bekannten Werke noch 56 eigne Messungen an Röhren von $\frac{2}{3}$ Linien bis 1 Zoll Durchmesser mit. Von diesen sind jedoch bisher immer nur diejenigen 10 benutzt worden, die sich auf die einzölligen Röhren beziehen.

Die vorstehend benannten Beobachtungen, die sämtlich aus dem vorigen Jahrhunderte herrühren, liegen allein allen bisherigen Theorien zum Grunde. In neuerer Zeit sind freilich noch durch das *Institution of Civil Engineers* Messungen von Provis an einer $1\frac{1}{2}$ zölligen Röhre bekannt gemacht worden, die jedoch unter sich viel

weniger übereinstimmen, als diejenigen von Bossut und Dubuat, woher von denselben nie Gebrauch gemacht ist.

Dubuat versuchte zuerst aus seinen eignen und den erwähnten frühern Beobachtungen eine allgemein gültige Regel über die Bewegung des Wassers in Röhren aufzustellen, der Ausdruck zu dem er gelangte und der zugleich die Bewegung in offenen Gerinnen umfassen sollte, war indessen so complicirt, dafs er wohl niemals einer Rechnung zum Grunde gelegt ist.

Woltman, der die Deutschen Hydrotecnen zuerst mit Dubuat's *Principes d'hydraulique* bekannt machte *), vereinfachte diesen Ausdruck in Betreff der Röhrenleitungen sehr wesentlich, indem er nachwies, dafs nach den vorliegenden Beobachtungen der Widerstand, also die Druckhöhe nahe der $\frac{7}{4}$ Potenz der Geschwindigkeit und umgekehrt der Röhrenweite proportional sei. Auch Eytelwein empfahl, bei genaueren Rechnungen nicht die zweite, sondern eine etwas niedrigere Potenz, nämlich die $\frac{3}{8}$ zu wählen.

Für gewöhnliche Fälle stellte Eytelwein **) das einfache Gesetz auf, dafs die Widerstandshöhe $H' = K \frac{c^2 L}{D}$ sei. Eytelwein versuchte auch, das Quadrat der Geschwindigkeit dadurch zu begründen, dafs bei doppelter Geschwindigkeit in gleicher Zeit von derselben Röhrenwand nicht nur die doppelte Anzahl der Wassertheilchen, sondern diese auch noch einmal so schnell abgerissen werden müssen. Dieses Raisonement ist indessen sehr zweifelhaft, wenn man die mechanischen Verhältnisse schärfer auffafst. Ausserdem wird dabei nur die Reibung gegen die Röhrenwand in Betracht gezogen, von den innern Bewegungen aber ganz abgesehn, und endlich fiudet dieses Gesetz, wie bereits erwähnt, in engen Röhren keine Bestätigung. Was dagegen die Einführung des Durchmessers D in den Nenner betrifft, so erklärt Eytelwein dieselbe dadurch, dafs der Widerstand bei gleicher Länge verschiedener Röhren dem Umfange, also dem Durchmesser proportional sein müsse, sich aber auf die ganze Wassermasse, oder auf den Querschnitt vertheile, woher der Widerstand für jeden einzelnen Wasserfaden dem Durchmesser dividirt durch das Quadrat desselben, oder umgekehrt dem Durchmesser proportional sei.

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur. Band I. Göttingen 1791.

**) Handbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin 1801.

Obwohl diese Begründungen, wobei die ganze Wassermenge, die sich gerade in der Röhre befindet, als ein fester Körper betrachtet wird, keineswegs als vollgültige Beweise angesehen werden können, so stellt der Ausdruck, zu dem sie führen, sich doch sehr bequem dar, und dieses um so mehr als die sogenannte Geschwindigkeits-Höhe gleichfalls dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, und sich sonach leicht mit der Widerstands-Höhe verbinden läßt. Ist H die ganze Druckhöhe und L die Länge der Röhre, so findet Eytelwein, wenn alle Gröfsen in Rheinländischen Fussen ausgedrückt sind

$$c = 45,4 \sqrt{\frac{HD}{L + 50 \cdot D}}$$

In gleicher Weise, wie diese Formel bisher bei uns allen betreffenden Rechnungen zum Grunde gelegt wurde, so ist dieses in Frankreich mit dem Ausdrucke geschehn, den Prony wenige Jahre später aus denselben Beobachtungen herleitete *). Der letzte Ausdruck unterscheidet sich jedoch von jenem dadurch, dafs darin die Geschwindigkeitshöhe unbeachtet bleibt, dagegen vorausgesetzt wird, dafs der Widerstand nicht nur von der Reibung der Röhrenwand, sondern auch von der Klebrigkeit derselben herrührt. Prony nimmt aber an, dafs jene der zweiten und diese der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional sei. Ob diese Unterscheidung, die schon Coulomb einführte, sich wirklich begründet, mag dahin gestellt bleiben, jedenfalls liefs sich aber ein schärferer Anschlufs an die Beobachtungen erreichen, indem zwei Glieder, mit zwei unbekannt constanten Factoren eingeführt wurden. Zur Zeit, als Prony die Formel berechnete, war indessen die Methode zur Auffindung der wahrscheinlichsten Werthe der Factoren aus einer gröfseren Anzahl von Beobachtungen noch wenig bekannt, und daher sind die Resultate auch nicht in aller Strenge richtig. Er gelangte zu dem Ausdruck

$$c = - 0,175 + \sqrt{0,03 + 922 \cdot PD}$$

worin P das relative Gefälle, also die Widerstandshöhe dividirt durch die Länge der Röhre bedeutet, und c und D in Metern ausgedrückt sind. Wenn dagegen die Geschwindigkeit und die Röhrenweite in Rheinländischen Fussen gemessen werden, so verwandelt sich dieser Ausdruck in

*) *Recherches physico-mathématiques des eaux courantes. Paris 1804.*

$$c = -0,557 + \sqrt{0,31 + 2937 \cdot PD}$$

Indem aus den erwähnten Beobachtungen mit einiger Sicherheit gefolgert werden konnte, daß der Widerstand nicht der zweiten, sondern einer etwas geringeren Potenz der Geschwindigkeit proportional sei, so mußte entweder eine solche angenommen oder noch ein zweites Glied eingeführt werden, welches die erste Potenz enthielt. Letzteres hat Prony gethan, und gewiß war dieses das Passendere, dadurch kommt man aber, wenn man c ausdrücken will, auf eine quadratische Gleichung, welche zugleich die erste Potenz der Unbekannten enthält, und daher in der Anwendung etwas unbequem ist. Um diesem geringen Uebelstande zu begegnen, ist der Vorschlag von Woltman, c unter einen gebrochenen Exponenten einzuführen, mehrfach befolgt, was um so mehr zulässig erschien, als bei der Unsicherheit der zum Grunde liegenden Beobachtungen doch kein sicheres Resultat zu erwarten stand. In dieser Beziehung hatte ich in der früheren Ausgabe dieses Werkes die Einführung der $\frac{7}{4}$ Potenz empfohlen, die nach jenen Beobachtungen sich als die wahrscheinlichste herausstellte und eine sehr bequeme logarithmische Berechnung gestattete. Saint Venant veränderte diesen Exponenten in $\frac{1,2}{7}$, während Dupui dem Ausdrucke, wonach aus der Wassermenge und dem Gefälle die Weite der Röhre berechnet werden soll, wieder die Voraussetzung zum Grunde legte, daß die Druckhöhe der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportional sei.

Indem größere Leitungen weder vollkommen cylindrisch dargestellt, noch auch wenn dieses der Fall wäre, dauernd in dieser Regelmäßigkeit erhalten werden können, da Verengungen durch Niederschläge, auch wohl durch Ansammlung von Luft aller Vorsicht unerachtet, unvermeidlich sind, so rechtfertigt sich gewiß die Vorsicht, stets solche Weiten zu wählen, daß voraussichtlich die Ergiebigkeit größer, als das Bedürfnis ist. Durch theilweise Schließung der Hähne kann man alsdann leicht die nöthige Regulirung veranlassen. Aus diesem Grunde ist die Ansicht vielfach verbreitet, daß die Technik einer nähern Kenntniß der Gesetze über die Bewegung des Wassers in cylindrischen Röhren nicht bedarf, dieses ist aber nicht der Fall, da die Anlage sich unbedingt wesentlich vertheuert, wenn man Weiten wählt, welche jedes Bedürfnis weit übersteigen, man aber auch bemüht sein muß, nach den jedesmaligen localen Verhältnissen den erforderlichen Zusatz in den Weiten

richtig zu bemessen, und hierzu die Kenntniß der Ergiebigkeit, die in normalem Zustand eintreten würde, unentbehrlich ist. Dazu kommt aber noch, daß eine Technik, die ihrer Natur nach sich auf Wissenschaft gründet, von solcher Willkür frei werden muß, sobald dazu die Gelegenheit sich bietet.

Letzteres war bisher nicht der Fall, da die vorliegenden Beobachtungen, in so fern sie sich auf weitere Röhren bezogen, zu unsicher waren, als daß man zuverlässige Resultate daraus hätte ziehn können. Dieser Mangel ist gegenwärtig in höchst anerkennungswerther Weise durch die Messungen gehoben, welche Darcy an der Wasserleitung Chaillot in Paris angestellt hat *). Wenn dadurch auch keineswegs alle Zweifel vollständig gelöst sind, so übertreffen diese Beobachtungen doch so sehr alle früheren an Vollständigkeit und Schärfe, daß der Versuch sich rechtfertigt, aus ihnen die Gesetze herzuleiten, denen das Wasser beim Durchfließen cylindrischer Röhren folgt. Darcy hatte freilich nicht zu diesem Zwecke die Messungen angestellt, er wollte vielmehr daraus nur gewisse Regeln ableiten, wonach die Ergiebigkeit verschiedener Röhren, wie sie gewöhnlich zur Anwendung kommen, beurtheilt werden kann. Er benutzte daher auch Röhren, worin sich durch langen Gebrauch Niederschläge abgesetzt hatten, so wie auch solche, von denen jede an einem Ende weiter, als am andern war. Bei den Glasröhren verhielten sich die an verschiedenen Stellen gemessenen Querschnitte wie 5 zu 7 gegen einander, auch bei den Asphaltröhren und den engeren Blechröhren war die regelmässige cylindrische Form keineswegs vorauszusetzen. Ob solche, mit unregelmässigen Röhren angestellten Versuche wirklich von Nutzen sind, muß man wohl bezweifeln, da die GröÙe der Unregelmässigkeiten doch nicht constant ist, und man daher bei Anwendung der Röhren gleicher Art auch keineswegs dieselben Resultate erwarten darf. Gewiß würden diese Messungen von viel gröÙerer Bedeutung und zugleich in technischer Beziehung viel nützlicher gewesen sein, wenn auf die Darstellung möglichst regelmässiger cylindrischer Formen mehr Aufmerksamkeit verwendet wäre. Hiernach war es nothwendig, der nachstehenden Untersuchung nur diejenigen Beobachtungsreihen zum Grunde zu

*) *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux*, par H. Darcy. Paris 1857.

legen, bei denen vorausgesetzt werden durfte, daß die Röhren nicht auffallend unregelmäßig waren.

Der Einfluß dieser größern, oder minderen Abweichungen von der regelmäßigen Form stellt sich in den Beobachtungen augenscheinlich heraus. Eine Asphaltröhre (No. VII) hatte zum Beispiel sehr genau dieselbe Weite, wie eine Blechröhre (No. II) und dennoch sind die darnach berechneten Constanten im Verhältnisse von 2 zu 3 verschieden. Die an den einzelnen Röhren angestellten Messungen stimmen dagegen unter sich so genau überein, wie dieses nur zu wünschen ist, und hiervon überzeugt man sich leicht, wenn man die Messungen nach den relativen Gefällen P und den mittleren Geschwindigkeiten c graphisch aufträgt: ein Beweis, daß die Beobachtungen mit großer Vorsicht ausgeführt sind. Vergleicht man dagegen unter einander die Resultate, die sich aus den Beobachtungen mit verschiedenen Röhren herausstellen, so bemerkt man die auffallendsten Abweichungen und diese erklärt Darcy durch ein stärkeres oder schwächeres Haften des Wassers an den verschiedenen Wänden, woher er für jedes Material einen andern Reibungs-Coefficienten einführt. Diese Voraussetzung ist indessen an sich höchst unwahrscheinlich und es ist sogar undenkbar, daß die Wand über eine sehr dünne Schicht hinaus noch einen verschiedenartigen Einfluß auf die Bewegung des Wassers ausüben sollte, namentlich wenn man die Bewegungen im Innern der Masse berücksichtigt. Wenn man aber neben der Röhrenwand eine ruhende Wasserschicht voraussetzen wollte, deren Dicke von dem Material abhängig wäre, so läge die Vermuthung viel näher, daß die Gestaltung der Wand, also die Unregelmäßigkeit derselben den bemerkten Einfluß ausübt.

Die Grenzen dieses Handbuches würden weit überschritten werden, wenn ich die Rechnungen, denen ich Darcy's Beobachtungen unterwarf, vollständig mittheilen wollte, ich beschränke mich daher, den Gang derselben und die Hauptresultate anzuführen, nachdem ich die Beobachtungen kurz beschrieben habe.

Darcy benutzte 22 Röhren, deren Weite er großentheils dadurch bestimmte, daß er sie mit Wasser anfüllte, und darauf den Inhalt maafs. In den weiteren Röhren wurden auch an beiden Enden jedes einzelnen Theiles die Durchmesser in kreuzweiser Richtung unmittelbar gemessen. Das Verlegen der Röhren erfolgte in der Art, daß nicht nur alle Biegungen des Stranges vermieden wurden, son-

dern derselbe auch in der Richtung der Strömung sanft anstieg, damit die Luftblasen, die in den Leitungen nicht selten vorkommen, sich nicht ansammeln, sondern sogleich mit dem Wasser fortgetrieben werden möchten.

Die Stränge waren über 100 Meter lang, nur die der Bleiröhren beschränkten sich auf die Hälfte. Sehr zweckmäfsig war die Vorrichtung zur genauen Bestimmung der Druckhöhen gewählt. Es wurde nämlich nicht, wie sonst geschieht, die Niveau-Differenz zwischen Ober- und Unterwasser, sondern der Druck gemessen, der an verschiedenen Stellen der Leitung statt fand. Hierzu diente das zu ähnlichen Zwecken schon sonst benutzte Piezometer, welches in einer oben offenen Glasröhre besteht, in der das Wasser aus der Röhre bis zu derjenigen Höhe frei ansteigt, welche dem Drucke an dieser Stelle entspricht. Ein solches Instrument befand sich in einiger Entfernung hinter dem obern Ende der Leitung, ein zweites vor dem untern Ende, und ein drittes oder zwei solche, die nur zur Controlle dienten, an dazwischen liegenden Stellen. Von allen diesen Piezometern waren Bleiröhren nach einer in der Mitte stehenden Säule gezogen, wo alle Glasröhren neben einander standen und an demselben Maafse abgelesen werden konnten. Die Differenzen zeigten unmittelbar diejenige Druckhöhe an, die in dem betreffenden Theile der Leitung zur Ueberwindung der Widerstände verwendet wurde. Durch diese Anordnung wurde zugleich der Vortheil erreicht, dafs derjenige Theil der Druckhöhe, der dem Wasser beim Eintritt in die Röhre die Geschwindigkeit mittheilt, mit der es diese durchfließt, oder die sogenannte Geschwindigkeits-Höhe, ganz umgangen wird.

Sobald sich beim Beginne der Beobachtungen eine gleichmäfsige Strömung eingestellt hatte, hörten an den drei oder vier Piezometern die Schwankungen auf, und alsdann leitete man das abfließende Wasser unterhalb der Versuchsröhre durch Oeffnen einer Bodenklappe eine bestimmte Zeit hindurch in ein cylindrisches Gefäß, dessen Inhalt demnächst gemessen wurde. Dieser Abfluß war aber so angeordnet, dafs er auf die Durchströmung der Versuchsröhre keinen Einfluß ausübte, was sich durch fortgesetzte Beobachtung der Piezometer leicht erkennen liefs.

Zuerst wurden drei Röhren aus Eisenblech (I, II und III) von 0,47 . . . 1,02 und 1,51 Zoll Durchmesser benutzt, an denen unter

verschiedenen Druckhöhen, also bei verschiedenen Geschwindigkeiten 13 . . . 13 und 12 einzelne Beobachtungen angestellt wurden.

Die Röhren IV, V und VI waren Bleiröhren von 0,54 . . . 1,03 und 1,56 Zoll Weite. Mit jeder machte man 7 Beobachtungen.

Sodann folgen die Asphaltröhren VII, VIII, IX und X von 1,02 . . . 3,16 . . . 7,49 und 10,89 Zoll, damit wurden 12 . . . 12 . . . 11 und 7 einzelne Beobachtungen ausgeführt.

XI ist eine Glasröhre, durchschnittlich 1,90 Zoll weit. 6 Beobachtungen.

Die folgenden Nummern bis XXII sind sämmtlich gusseiserne Röhren, von denen ich aber diejenigen ausschloß, die nicht rein, vielmehr durch Niederschläge in Folge der frühern Benutzung verengt waren, die übrigen waren theils ganz neu, nämlich XVI, XVII, XVIII und XXII, theils vorher gereinigt, XIII, XV, XX, und XXI. Die Weiten, sowie die Anzahl der damit angestellten Beobachtungen betragen

bei XIII	1,39 Zoll und	7 Beobachtungen		
- XV	3,06	- -	7	-
- XVI	3,13	- -	13	-
- XVII	5,24	- -	10	-
- XVIII	7,19	- -	9	-
- XX	9,35	- -	8	-
- XXI	11,36	- -	8	-
- XXII	19,15	- -	9	-

Zunächst kam es darauf an, die Form des Ausdrucks kennen zu lernen, an welche die mit jeder Röhre angestellte Beobachtungsreihe sich am besten anschließt. Ich versuchte zuerst, wie die früheren Messungen darauf hingedeutet hatten, den Widerstand einer unbekanntem Potenz der Geschwindigkeit proportional zu setzen, und wählte daher den Ausdruck

$$P = mc^x$$

Indem ich für jede Reihe den wahrscheinlichsten Werth des Exponenten x berechnete, ergab es sich, daß derselbe für die engsten Röhren sich auf 1,5 stellte, mit der Weite der Röhren zunahm und für die Röhre No. XXII sogar etwas größer, als 2 wurde.

Von der Einführung eines allgemein gültigen Exponenten mußte daher abgesehen werden, doch kam es noch darauf an, zu prüfen,

ob vielleicht die einzelnen Reihen sich an diesen Ausdruck besser anschließen, als an denjenigen der zwei Glieder mit der ersten und zweiten Potenz der Geschwindigkeit enthält. Zu diesem Zwecke wählte ich diejenigen beiden Reihen aus, welche sowol eine große Anzahl einzelner Beobachtungen umfaßten, als auch in anderer Beziehung als besonders zuverlässig angesehen werden durften. Dieses waren die Reihen III und XVI. Ich verglich dieselben mit den drei Ausdrücken

$$A \dots P = mc^x$$

$$B \dots P = rc + sc^2$$

$$\text{und } C \dots P = s'c^2$$

Der dritte Vergleich war an sich zwar entbehrlich, indem schon der zweite ein sicheres Urtheil in dieser Beziehung gestattete, doch erschien es angemessen die Form *C*, da sie besonders häufig angewendet wird, noch speciell einer Prüfung zu unterwerfen. Um die Constanten *m*, *x*, *r*, *s* und *s'* nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen, mußte ich die Bedingung stellen, daß nicht sowol die Summe der Quadrate der absoluten, als die der relativen Fehler von *P* ein Minimum wird, weil sonst ausschließlich diejenigen Beobachtungen berücksichtigt worden wären, in welchen die Gefälle sehr groß sind, und diejenigen mit den kleinsten Gefällen allen Einfluß verloren hätten. Zu diesem Zwecke dividirte ich alle drei Ausdrücke durch *c*, was auch in allen folgenden Untersuchungen geschehn ist. Nachdem in dieser Weise die betreffenden Constanten gefunden waren, führte ich dieselben in die Ausdrücke

ein und berechnete darnach die Werthe von $\frac{P}{c}$. Die Unterschiede

zwischen diesen und den beobachteten Werthen, waren die Fehler, deren Quadrate, mit $[x' x']$ bezeichnet, ein Minimum sein sollten.

Ich fand

für die Reihe III

$$\text{nach } A \dots [x' x'] = 0,00001691$$

$$- B \dots = 0,00001441$$

$$- C \dots = 0,00011135$$

und für die Reihe XVI

$$\text{nach } A \dots [x' x'] = 0,00002980$$

$$- B \dots = 0,00000285$$

$$- C \dots = 0,00000724$$

In beiden Fällen war also die Summe der Quadrate bei Anwendung des zweiten Ausdruckes am geringsten, und sonach dieser der wahrscheinlichste.

Es entstand ferner die Frage, ob das zweite Glied wirklich das Quadrat, oder vielleicht eine andre Potenz der Geschwindigkeit zum Factor hat. Für das erste Glied war nach meinen oben erwähnten Beobachtungen ein ähnlicher Zweifel bereits beseitigt. Ich verglich daher den Ausdruck

$$P = rc + sc^z$$

mit den einzelnen Beobachtungsreihen und berechnete daraus den unbekanntenen Exponenten z . Die Lösung dieser Aufgabe nach der Methode der kleinsten Quadrate würde aber die Einführung von Näherungswerthen gefordert haben und daher sehr mühsam gewesen sein, woher ich es vorzog, nachdem ich die einzelnen Reihen graphisch aufgetragen hatte, daraus je drei Beobachtungen auszusuchen, die theils recht weit aus einander lagen, und theils dem allgemeinen Zuge der Curve sich gut anschlossen. Hiernach fielen die Werthe von z zwischen 1,82 und 2,06, nur zweimal wichen sie sehr stark ab, indem sie 1,59 und 3,20 betrugten. Diese beiden großen Abweichungen rührten aber allein von denjenigen Beobachtungen her, bei welchen die relativen Gefälle sehr klein, also auch sehr unsicher waren. Nachdem ich diese ausgeschlossen, stellten sich alle Werthe von z nahe auf 2, und es muß noch bemerkt werden, daß ihre Größe keine Beziehung zur Weite der Röhre erkennen liefs. Der vorstehende Ausdruck B darf also als der richtige angesehen werden.

Bevor ich zur nähern Bestimmung der Constanten überging, war es nöthig diejenigen Beobachtungsreihen auszuschließen, bei welchen eine regelmässige cylindrische Form nicht vorausgesetzt werden durfte.

Dieses war bei den engen Röhren aus Eisenblech der Fall, wo die Schweifs-Naht im Innern nicht beseitigt werden kann. Ich verwarf daher die Beobachtungsreihen I und II. Bei No. III schien dieses wegen der größeren Weite nicht nothwendig, insofern diese Unregelmässigkeiten sich auf enge Grenzen beschränken. Die Bleiröhren No. IV, V und VI müssen als die regelmässigesten unter allen angesehen werden, wogegen die Asphaltröhren nach der Beschreibung, die Darcy bei Gelegenheit der Leitungen in Dijon von der Fabri-

kation derselben giebt, keineswegs regelmässig geformt sein können. Sie bestehn aus zusammengenütheten Blechröhren, die von aussen, wie von innen mit Asphalt überzogen sind. Da nicht abzusehn, wie der innere Ueberzug gleichmässig aufgetragen werden kann, so sind die betreffenden Beobachtungsreihen ausgeschlossen. Mit der Glasröhre, deren verschiedenartige Weite Darcy selbst angiebt, mußte dieses gleichfalls geschehn, und eben so auch mit den gufseisernen Röhren, aus welchen die Niederschläge nicht entfernt waren. Von den 22 Beobachtungsreihen blieben sonach nur 12 übrig.

Doch auch diese durften nicht vollständig benutzt werden. Die bisherigen Rechnungen zeigten nämlich schon, dafs vielfach sehr starke Abweichungen in denjenigen Beobachtungen vorkommen, worin die Gefälle sehr klein sind. Darcy giebt dieselben, also die Werthe von P , in fünf Decimalstellen an, woher die geringsten Gefälle darin nur durch zwei Ziffern ausgedrückt werden. Wenn die letzte derselben sich um einige Einheiten ändert, was bei der Unsicherheit dieser Messungen doch leicht möglich ist, so nehmen die gesuchten Constanten schon wesentlich andre Werthe an. Ich habe daher alle Beobachtungen ausgeschlossen, in welchen P kleiner, als 0,001 ist.

Nachdem diese Sonderung vorgenommen war, berechnete ich wieder aus allen übrigen Beobachtungen für den Ausdruck

$$\frac{P}{c} = r + sc$$

die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten r und s . In nachstehender Tabelle sind dieselben unter Beifügung der Röhrenweiten D in metrischem Maafse zusammengestellt.

	D Meter.	r	s
IV	0,014	0,01279	0,0898
V	0,027	0,00713	0,0470
XIII	0,0364	0,00304	0,0343
III	0,0395	0,00422	0,0316
VI	0,041	0,00447	0,0281
XV	0,0801	0,000544	0,0188
XVI	0,0819	0,000923	0,0157
XVII	0,137	0,000500	0,00740
XVIII	0,188	0,000364	0,00588
XX	0,2447	0,000136	0,00557
XXI	0,297	0,000024	0,00406
XXII	0,5006	0,000005	0,00195

Es ergibt sich hieraus, daß sowohl r , wie auch s bei zunehmender Röhrenweite kleiner werden, man bemerkt aber sogleich, daß die Abnahme beider in ganz verschiedenem Verhältnisse erfolgt. Die s sind der Röhrenweite D umgekehrt proportional, die r dagegen dem Quadrate der letzteren. So bestätigen also Darcy's Beobachtungen sehr augenfällig dasselbe Gesetz, welches ich aus den Messungen mit sehr engen Röhren früher gefunden hatte, daß nämlich in dem Ausdrucke für das relative Gefälle dasjenige Glied, welches die erste Potenz der Geschwindigkeit zum Factor hat, die zweite Potenz der Röhrenweite im Nenner enthält.

Man hat sonach

$$\frac{P}{c} = \frac{1}{D^2} x + \frac{c}{D} y$$

Wollte man indessen hiernach die beiden Unbekannten x und y berechnen, so würde man die Summen von Gliedern erhalten, die meist durch D^2 , D^3 und D^4 dividirt sind, wobei also die mit den weitem Röhren angestellten Beobachtungen vollständig unbeachtet bleiben, und nur die engsten Röhren die gesuchten Größen bestimmen. Der Ausdruck mußte daher nochmals verändert werden in

$$\frac{PD}{c} = \frac{1}{D} x + cy$$

Indem ich aus den 87 einzelnen Beobachtungen die Werthe von P , D und c einführte, fand ich

$$x = 0,000\ 005\ 336$$

und

$$y = 0,001\ 193$$

Für die Constante x ist der wahrscheinliche Fehler relativ viel größer, als für y . Unter Zugrundelegung des oben mitgetheilten Ausdruckes, der die Abhängigkeit des Factors x von der Temperatur nachweist, würde (mit Rücksicht auf das hier benutzte metrische Maafs) sich ergeben, daß die zum Grunde liegenden Beobachtungen bei $+1$ Grad der Réaumur'schen Scale ausgeführt sind. Darcy hat nur in wenigen Fällen die Temperaturen angegeben, nach den Jahreszeiten zu urtheilen, in welchen die Messungen gemacht wurden, muß man indessen annehmen, daß die Temperatur viel höher war und mindestens 10° R. betrug. Dadurch würde für metrisches Maafs

$$x = 0,000\ 003\ 382$$

sein. Diese Aenderung erscheint bei der Unsicherheit des aus Darcy's Messungen hergeleiteten Werthes dieses Gliedes zulässig, und wenn

man dieses x in alle einzelnen Beobachtungen einführt, so erhält man den wahrscheinlichsten Werth von y

$$y = 0,001\ 202$$

Die vorliegenden Beobachtungen werden sonach am sichersten wiedergegeben durch den Ausdruck

$$P = 0,000\ 003\ 382 \frac{c}{D^2} + 0,001\ 202 \frac{c^2}{D}$$

und wenn man hiernach die Werthe von P für die gemessenen c und D berechnet, so findet man, daß nach diesen 87 Beobachtungen der wahrscheinliche relative Fehler sich auf 0,0971 stellt, oder nahe 10 Procent des Werthes von P beträgt.

Die vorstehend gegebenen Constanten beziehn sich auf metrisches Maafs. Sind D und c in Rheinländischen Fussen ausgedrückt, so ist

$$y = 0,000\ 377$$

Die Constante x ist aber bei diesem Maafse nach dem früher mitgetheilten Ausdrücke

$$x = 0,000\ 0211 - 0,000\ 0048 \sqrt[3]{t}$$

für die jedesmalige Temperatur von t Graden R. zu berechnen.

Bei der Anlage von Wasserleitungen sucht man gewöhnlich den Durchmesser D , während die Wassermenge

$$M = \frac{1}{4} \pi c D^2$$

sowie auch die Länge der Leitung und die Druckhöhe, also das relative Gefälle P gegeben sind. Es kommt also darauf an, aus der Gleichung

$$P = 1,273 \frac{M}{D^4} x + 1,621 \frac{M^2}{D^5} y$$

D zu berechnen. Passende Tabellen würden die Lösung dieser Aufgabe ohne Zweifel erleichtern, doch läßt sich auch ohne solche der richtige Werth von D bald finden, wenn man mit Rücksicht auf die gegebenen M und P willkürlich einige Werthe für D einführt und die Differenzen gegen P berechnet. Aus letztern kann man sogleich erkennen, ob D zu groß oder zu klein angenommen ist, und so wird man sehr schnell den passenden Werth, soweit es erforderlich ist, mit hinreichender Schärfe ermitteln. Wenn es aber darauf ankommt, ein Project zu bearbeiten, das Tausende kostet, so darf man eine Rechnung nicht scheuen, die in einer Stunde gemacht ist.

Hierbei tritt indessen gemeinhin noch eine andre sehr wesentliche Erleichterung ein. Eine große Schärfe der Rechnung ist nämlich nicht erforderlich, da man den Querschnitt der Röhre wegen zufälliger Verengungen, und weiterer Ausdehnung des Bedürfnisses doch jedesmal etwas vergrößert. Außerdem schliessen sich die zum Grunde liegenden Beobachtungen auch keineswegs in aller Schärfe dem gefundenen Ausdrücke an, vielmehr beträgt der wahrscheinliche relative Fehler von P sogar noch 10 Procent. Begnügt man sich daher mit einer solchen Schärfe der Rechnung, wobei der durch diese veranlasste Fehler nur halb so groß ist, als der eben erwähnte wahrscheinliche, so kann man das erste Glied unbeachtet lassen, sobald dieses kleiner, als der zwanzigste Theil von P ist. Dieses geschieht, wenn die Geschwindigkeit größer wird, als

$$\frac{19 \cdot x}{Dy}$$

oder wenn die Wassermenge M größer wird, als

$$\frac{19 \cdot \pi x}{4 \cdot y} D$$

In der folgenden Tabelle sind diese Grenzwerte von c und M für verschiedene Röhrenweiten zusammengestellt.

D	c	M
3 Zoll	2,52 Fufs	0,12 Cb. Fufs
6 -	1,26 -	0,25 -
9 -	0,84 -	0,37 -
12 -	0,63 -	0,49 -
15 -	0,50 -	0,62 -
18 -	0,42 -	0,74 -
21 -	0,35 -	0,86 -
24 -	0,31 -	0,99 -
36 -	0,21 -	1,48 -

Indem diese Grenzen mit den seltensten Ausnahmen bei größeren Leitungen wohl immer überschritten werden, so hindert nichts in solchen Fällen das erste Glied im Ausdrücke für P zu vernachlässigen. Man hat alsdann

$$P = 0,000\ 377 \frac{c^2}{D}$$

oder

$$P = 0,000\ 611 \frac{M^2}{D^5}$$

also

$$D = 0,228 \sqrt[5]{\frac{M^2}{P}}$$

In diesem, für logarithmische Berechnung sehr bequemen Ausdrucke ist sowol der Durchmesser der Röhre (D) wie auch die in 1 Secunde abgeführte Wassermenge (M) in Rheinländischen Fussen gegeben, während P das relative Gefälle der Leitung bezeichnet.

Dieser Ausdruck beruht auf der Voraussetzung, daß die zur Darstellung der Geschwindigkeit erforderliche Druckhöhe, also die sogenannte Geschwindigkeitshöhe, vergleichungsweise zu der hier allein berücksichtigten Widerstandshöhe verschwindend klein ist. Es kommt sonach darauf an, die Grenze zu bezeichnen, von welcher ab man die vorstehende einfache Formel anwenden darf.

Unter Annahme, daß der Contractions-Coefficient für cylindrische Röhren gleich 0,83 sei, ist die Geschwindigkeitshöhe, die von der Länge der Röhre ganz unabhängig ist,

$$= 0,0232 \cdot c^2$$

Die Widerstandshöhe dagegen unter Fortlassung des ersten Gliedes

$$P = 0,000377 \frac{c^2}{D}$$

P ist aber das relative Gefälle, also gleich der Widerstandshöhe, dividirt durch die Länge der Röhre $= L$, folglich die erstere gleich

$$= 0,000377 \frac{L c^2}{D}$$

und daher die ganze Druckhöhe

$$h = \left(0,0232 + 0,000377 \frac{L}{D} \right) c^2$$

$$h = 0,000377 \left(\frac{L}{D} + 61,5 \right) c^2$$

Schon oben wurde ein Fehler von 5 Procent im Werthe von P , also auch von h , für zulässig erachtet, dieser tritt bei Fortlassung des zweiten Gliedes in der Parenthese ein, wenn

$$\frac{L}{D} = 19 \cdot 61,5 = 1168,5$$

Man darf also die Vereinfachung des Ausdruckes ausführen, oder von der Geschwindigkeitshöhe absehn, sobald

$$L = 1168,5 \cdot D$$

oder noch größer ist, also wenn

für $D = 0,25$ Fufs	$L = 292$ Fufs
= 0,50 -	= 584 -
= 0,75 -	= 876 -
= 1,00 -	= 1168 -
= 1,25 -	= 1460 -
= 1,50 -	= 1752 -
= 1,75 -	= 2044 -
= 2,00 -	= 2336 -
= 3,00 -	= 3504 -

Bei Ausführung von Leitungen dürfte diese Grenze wohl jedesmal überschritten werden, woher man die Geschwindigkeitshöhe alsdann nicht in Rechnung zu stellen braucht. Hat das Wasser aber vor dem Eintritt in die Röhre schon eine gewisse Geschwindigkeit c' , so ist die erforderliche Druckhöhe, wodurch die Geschwindigkeit sich von c' in c verwandelt

$$= 0,232 \cdot c^2 - \frac{c'^2}{4g}$$

oder

$$= 0,232 \cdot c^2 - 0,0160 \cdot c'^2$$

wodurch der Werth der Geschwindigkeitshöhe noch geringer wird.

Die vorstehende Untersuchung setzte voraus, daß die Röhre nahe horizontal liegt, also die Widerstände darin durch den Druck überwunden werden, dem das Wasser schon bei seinem Eintritt in die Röhre ausgesetzt ist. Dieses ist zwar bei größern Leitungen der gewöhnliche Fall, doch treten zuweilen auch andere Verhältnisse ein, die bisher ganz unbeachtet geblieben sind. Es mag hier nur von vertikalen cylindrischen Röhren die Rede sein, in welchen das Wasser abwärts fließt.

Das Wasser tritt in solche unter einem Drucke ein, der dem Wasserstande über der Einflußöffnung entspricht, und nur sehr geringe ist, wenn letzterer nur eine unbedeutende Höhe hat. Beim Durchfließen der Röhre erfährt aber die Masse die Beschleunigung durch die Schwere, und die in verschiedenen Höhen befindlichen Theile derselben würden mit zunehmender Geschwindigkeit herabfallen, wenn sie sich von einander trennen könnten. Dieses wird aber durch den Druck der atmosphärischen Luft verhindert, der innerhalb seiner Grenze die Bildung von luftleeren Räumen verhindert. Sollte aber in der Röhre noch Luft vorhanden sein, so würde diese mit dem Wasser zugleich fortgerissen werden, so daß die ganze

Röhre in Kurzem sich mit Wasser füllte. Die darin befindliche Masse ist also innig verbunden, und da die Querschnitte überall gleich groß sind, so müssen sich auch überall gleiche Geschwindigkeiten darstellen. Das neu hinzutretende Wassertheilchen, wenn es auch von oben her nur einen geringen Druck erfährt, muß demnach in Folge der daran hängenden Wassersäule sogleich eine starke Geschwindigkeit annehmen, und es wird während des Durchganges durch die Röhre nicht sowol gedrückt, als vielmehr gezogen. In horizontalen Leitungen sind die Wände dem Drucke von innen nach außen, in diesen vertikalen dagegen einem solchen von außen nach innen ausgesetzt. In einem hiermit verbundenen Piezometer steigt das Wasser nicht aufwärts, sondern die Luft wird durch die Oeffnung hineingetrieben, und kehrt man die Röhre abwärts, so wird bis zu einer gewissen Höhe sogar Wasser angesogen.

Die Bildung des negativen Druckes in solchem Falle war bereits früher verschiedentlich zur Sprache gebracht, doch war die Frage, welchem Gesetze diese Bewegung folge, bisher nicht beantwortet. Vielleicht erwartete man, daß dieselben Gesetze, wie bei horizontalen Röhren, auch auf vertikale Anwendung fänden.

Dieses ist aber keineswegs der Fall. Einige Versuche, die ich mit engen Röhren von verschiedenen Längen und Weiten anstellte, gaben folgende Resultate. Indem ich mehrere Röhren von gleicher Weite mit einander verband, so ergab sich, daß die Geschwindigkeitshöhe sehr nahe der Geschwindigkeit entsprechend sich darstellte. Der Contractions-Coefficient ergab sich nämlich gleich 0,987 also fast gleich 1. Ferner war der übrigbleibende Theil der Druckhöhe, nämlich die Widerstandshöhe augenfällig der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional, obgleich letztere so groß war, daß in denselben horizontal gelegten Röhren das Glied, welches c^2 enthält, schon überwiegend groß geworden wäre. Auch der austretende Strahl zeigte keine Schwankung noch Bewegung in der Oberfläche. Hieraus würde folgen, daß in diesem Falle keine innern Bewegungen eintreten.

Ueberraschend war die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Weite der Röhre. Oben ergab sich aus sehr verschiedenen Beobachtungen, daß dasjenige Glied, welches im Ausdrucke für die Widerstandshöhe die erste Potenz der Geschwindigkeit zum Factor

hat, im Nenner die zweite Potenz des Röhrendurchmessers enthält. Hier dagegen verwandelt sich D^2 in \sqrt{D} . Aus den Beobachtungen ergab sich der wahrscheinlichste Werth des Exponenten von D gleich $-\frac{1}{2}$. Indem ich aber der größeren Sicherheit wegen schliesslich noch versuchte, die Exponenten -2 , -1 und $-\frac{1}{2}$ einzuführen und darnach die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten berechnete, fand ich die Summen der übrigbleibenden Fehlerquadrate beziehungsweise gleich 3787, 302 und 56,8. Nur im letzten Falle zeigten sich die Fehler als zufällige, während sie in beiden ersten regelmässig zu- oder abnahmen.

Indem Rheinländisches Zollmaafs zum Grunde gelegt wird, war die Widerstandshöhe

$$H = 151 \frac{cL}{\sqrt{D}}$$

Ausgedehntere Beobachtungen werden vielleicht zur Erklärung dieser eigenthümlichen Verhältnisse führen.

Bisher war nur von geraden cylindrischen Röhren die Rede, es läßt sich aber bei größeren Leitungen nicht vermeiden, daß zuweilen die Richtungen derselben geändert, also Krümmungen darin angebracht werden müssen. Welchen Einfluß diese auf die Bewegung des Wassers ausüben, ist vielfach untersucht worden. Dubuat stellte darüber verschiedene Beobachtungen an, und leitete daraus ein Gesetz ab, das auch Eytelwein und d'Aubuisson mit einigen Aenderungen gelten ließen. Dasselbe beruht auf der Voraussetzung, daß gewisse Bricolirungen gegen die Röhrenwand eintreten, zu deren Darstellung ein namhafter Theil des Wasserdruckes verwandt wird. Um diesen zu finden wird vorausgesetzt, daß der mittlere Faden im anschließenden geraden Schenkel der Röhre sich wie ein Lichtstrahl vor einer spiegelnden Fläche bewegt, und demnach beim Begegnen der Röhrenwand unter demselben Winkel, mit dem er aufstößt, auch wieder reflectirt wird. Trifft er aber bei stärkerer Krümmung zum zweiten Male die Wand, so wiederholt sich dieselbe Brechung, bis die Linie endlich ungefähr mit der Achse des folgenden geraden Stranges zusammenfällt. Die Widerstandshöhe, welche durch diese Brechungen bedingt wird, soll bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit proportional sein der Summe der Quadrate von dem Cosinus derselben Anprallungs- oder Polygonal-Winkel. Diese Winkel werden aber augenscheinlich um so

größer, je näher die Mittellinie an der Wand liegt, oder je enger die Röhre ist. Bei sehr engen Röhren ist der Polygonal-Winkel nahe zwei Rechten gleich, also der Cosinus des halben Winkels verschwindend klein, bei weiteren Röhren wächst seine Größe, und wenn er sich hier auch nicht so oft wiederholt, so ist jene Summe doch im ersten Falle meist beträchtlich kleiner, als im zweiten. Es sollen also bei gleichen Krümmungen die betreffenden Widerstände in der weiten Röhre größer sein, als in der engen, was an sich höchst unwahrscheinlich ist. Die ganze Vorstellung, daß der mittlere Faden die übrigen kreuzt und gegen die Röhrenwand stößt, ist aber durchaus unzulässig und wird durch die unregelmäßigen innern Bewegungen augenscheinlich widerlegt. Letztere lassen sogar vermuthen, daß sanfte Krümmungen gar keinen vermehrten Widerstand verursachen. Ein Versuch bestätigte dieses. Eine Bleiröhre von 4 Linien Durchmesser und 8 Fufs Länge führte unter verschiedenen Druckhöhen genau dieselben Wassermengen ab, während sie gerade war, und nachdem ich sie vorsichtig so gebogen hatte, daß sie einen vollen Kreis bildete. Bei schärferer Biegung änderte sich freilich die Erscheinung, und die Wassermengen wurden etwas geringer, aber es waren dabei auch die Querschnitte verändert und hatten elliptische Formen angenommen und sich dabei verkleinert. Hiernach darf man wohl voraussetzen, daß mäfsige Krümmungen in einer Leitung ohne Einfluß sind, besonders wenn die Röhre weit ist, und die innern Bewegungen sich darin stark ausgebildet haben.

Aehnlich verhält es sich auch mit Verengungen, die stellenweise in einer Leitung vorkommen. Wo sich solche befinden, muß das Wasser augenscheinlich eine stärkere Geschwindigkeit in der Richtung der Röhre annehmen, aber eben diese stärkere Geschwindigkeit wird weiter abwärts wieder zur Ueberwindung der Widerstände in der Röhre verwandt. Ich brachte in der Mitte einer cylindrischen Röhre eine starke Verengung an. Dieselbe hatte auf die bei gewissem Drucke hindurchfließende Wassermenge nur einen sehr geringen und kaum merkbaren Einfluß. Als ich jedoch dieselbe Sperrung an das Ende der Röhre verschob, verminderte sich die hindurchfließende Wassermenge sogleich sehr bedeutend, weil die große Geschwindigkeit, die sich daselbst bildete, nunmehr die Bewegung des Wassers in der Röhre nicht mehr befördern konnte, also die darauf verwendete lebendige Kraft vollständig verloren war.

Die Ansicht, daß jede Verengung der Röhre einen Verlust an Druckhöhe bedingt, welcher der Vergrößerung der Geschwindigkeit entspricht, ist daher nicht als richtig anzusehn, doch fehlt es in dieser Beziehung so sehr an entscheidenden Erfahrungen, daß sich zur Zeit auch keine andere Auffassung der Erscheinung begründen läßt.

Bei Erwähnung der wichtigeren Gesetze über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen darf die Verschiedenheit des Druckes auf die Wände der Röhren bei wechselnder Geschwindigkeit des Wassers, nicht mit Stillschweigen übergangen werden, indem man hierin nicht nur ein Mittel gefunden hat, den Betrieb der Röhrenleitungen zu controlliren, sondern man dadurch auch den Einfluß der verschiedenen Unregelmäßigkeiten in den Röhren ermitteln kann. Endlich aber bestimmt dieser Druck auch die Höhe des Strahles, wenn man einen Springbrunnen durch eine Röhrenleitung speisen will. Daniel Bernoulli stellte zuerst den Grundsatz auf*), daß der gegen die Röhrenwand ausgeübte Druck gleich sei der Differenz zwischen der ganzen Druckhöhe und derjenigen Höhe, welche der Geschwindigkeit des Wassers an der fraglichen Stelle der Röhrenleitung entspricht. Indem nämlich nur die Geschwindigkeit parallel mit der Achse der Röhre berücksichtigt wird, so trifft das bewegte Wasser nicht die Röhrenwand, und folglich verschwindet der Druck derjenigen Wasserhöhe, welche die Geschwindigkeit erzeugt. Die Erfahrung bestätigt dieses hydraulico-statische Princip, wie Bernoulli es nennt, vollständig, wenn man eine nothwendige Aenderung in dem Werthe der ganzen Druckhöhe anbringt, die Bernoulli auch selbst angiebt. Wenn nämlich eine Stelle der Röhrenwand untersucht wird, deren Abstand vom Speisebassin gleich a ist, so kann auf selbige nicht mehr die ganze Druckhöhe wirken, sondern ein Theil der letztern ist bereits consumirt durch die Widerstände, welche bei der stattfindenden Geschwindigkeit auf dem Wege von der Länge a zu überwinden waren. Für den folgenden Theil der Röhrenleitung sind die Verhältnisse ganz dieselben, als wenn die Röhre bei dem zu untersuchenden Punkte ihren Anfang nähme und die Druckhöhe um diejenige Quantität vermindert wäre, welche der Widerstandshöhe für die Länge a gleichkommt.

Wenn man auf eine cylindrische Leitung eine Reihe von ver-

*) *Hydrodynamica, Strasburg 1738. Sect. XII §. 3.*

ticalen und oben offenen Glasröhren kittet, die mit ihr in Verbindung stehn, ohne ihren Querschnitt zu beschränken, so zeigen sie durch die Höhe des Wasserstandes den Druck an, den die Wand an jeder Stelle erfährt. Der Wasserstand in derjenigen Glasröhre, welche zunächst dem Speisebassin sich befindet, stimmt nicht mit dem Niveau des letzteren überein, sondern stellt sich etwas tiefer, und zwar ist die Differenz derjenigen Druckhöhe gleich, die dem Wasser beim Eintritt in die Leitung die Geschwindigkeit mittheilt. In allen folgenden Glasröhren bemerkt man, daß nach Maafsgabe der überwundenen Widerstände, also der Länge der dazwischen liegenden Leitung, die Höhe des Wasserstandes abnimmt, bis endlich in diejenige Glasröhre, welche dicht vor die Ausflusmündung der Leitung (insofern der Ausfluß nicht unter Wasser geschieht) gekittet ist, das Wasser gar nicht hineintritt, oder hier der Druck ganz aufhört. Tritt dagegen der Strahl unter Wasser aus, so trifft die gerade Linie, welche die Wasserstände in den Glasröhren verbindet, am Ende der Röhrenleitung das Niveau des Unterwassers. Wäre indessen irgend wo in der Röhrenleitung eine Verengung oder ein Hahn befindlich, der den Querschnitt um eine gewisse Quantität beschränkte, so würde dadurch die Ergiebigkeit etwas ermäßigt werden und in gleichem Verhältnisse auch die Geschwindigkeit in der Leitung abnehmen. Mit der Geschwindigkeit würde auch die Geschwindigkeitshöhe und ebenso die Widerstandshöhe sich vermindern, und folglich die Wasserstände in allen Glasröhren oberhalb jenes Hahnes steigen, während sie unter sich wieder in einer geraden Linie liegen, bis sie an derjenigen Stelle, wo die Verengung sich befindet, eine auffallende Stufe bilden. Wenn endlich die Röhrenleitung ganz gesperrt wird, so hört die Geschwindigkeit mit allen Widerständen auf und alle Glasröhren oberhalb der abgesperrten Stelle zeigen den Wasserstand des Oberwassers, sowie die unterhalb derselben befindlichen entweder ganz leer werden, oder den Stand des Unterwassers annehmen. Dabei ist freilich die Wirkung der Capillar-Attraction von Einfluß, doch mäfsigt sich diese sehr, wenn man weitere Glasröhren benutzt.

Auf solche Art geben diese Glasröhren sehr deutlich die Widerstände zu erkennen, welche in der Röhrenleitung vorkommen, und gestatten zugleich durch genaue Messung die Größe des Widerstandes zu ermitteln, welchen Krümmungen, absichtliche oder zufällige Sperrungen

und andere Hindernisse in der Röhrenleitung veranlassen. Belanger *) machte zuerst auf diese wichtige Anwendung des Bernoulli'schen Principis aufmerksam, und gemeinschaftlich mit Génieys und Mallet stellte er einige Beobachtungen dieser Art an den Wasserleitungen zu Paris an. Dieselben waren aber so wenig umfassend, daß sie von keiner Bedeutung sind. Dabei wurde jedoch dem Piezometer solche Einrichtung gegeben, daß man die Glasröhren nicht bis zur vollen Druckhöhe verlängern durfte. Indem es nämlich nur darauf ankam, den Verlust an Druckhöhe an einer bestimmten Stelle der Leitung kennen zu lernen, so wurden oberhalb und unterhalb derselben Bleiröhren eingesetzt, die man an dieselbe Scale führte und mit vertikal gerichteten Glasröhren versah. Diese waren aber oben nicht offen, vielmehr durch eine gekrümmte Messingröhre luftdicht mit einander verbunden. Die in der letzteren befindliche Luft übte alsdann auf die Wassersäulen in beiden Glasröhren einen gleichen Druck aus, woher die Niveau-Differenz wieder den gesuchten Unterschied des Druckes an beiden Stellen angab. Durch einen angebrachten Hahn konnte man aber soviel Luft ab- und zulassen, daß die Wasserstände an dem gemeinschaftlichen Maafse sich bequem ablesen ließen. Fig. 41 auf Taf. III zeigt die Zusammenstellung dieses Apparates.

Eine andere Anwendung von diesem Instrumente machte d'Aubuisson bei der Wasserleitung zu Toulouse, indem er von den Haupt- röhren der Leitung dünne Röhren nach dem Geschäftszimmer führte, wo man den Druck beobachten konnte. Je kräftiger die Leitung wirkte, oder je größer die Wassermenge war, die sie förderte, um so größer mußte die Geschwindigkeit sein, und folglich stellte sich um so niedriger der Wasserstand in der nahe am Anfange der Röhrenleitung aufgestellten Glasröhre. Sobald der Wasserstand aber stieg, so zeigte dieses an, daß mehrere Hähne geschlossen, oder daß zufällige Hindernisse eingetreten waren. Dadurch wurden die Beamten in den Stand gesetzt, durch einen Blick auf die Glasröhren die Wirksamkeit der ganzen weit ausgedehnten Röhrenleitung zu kontrolliren.

Endlich bestimmt sich, wie bereits erwähnt worden, auch die

*) *Essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux par M. Génieys. Paris 1829.*

Höhe eines springenden Strahles oder die Geschwindigkeit desselben aus dem Drucke, den das bewegte Wasser gegen die Röhrenwand ausübt. Man muß, um beide zu ermitteln, wieder die ganze Druckhöhe um diejenige Höhe vermindern, welche für die jedesmalige Geschwindigkeit zur Ueberwindung der Widerstände in der vorhergehenden Röhrenleitung consumirt wird. Es ergibt sich hieraus, weshalb beim ersten Oeffnen des Hahns der Strahl unter der vollen Druckhöhe, also viel höher steigen kann, als später, wenn das Wasser in der Röhre in Bewegung kommt und dadurch die Widerstände sich bilden, welche die Druckhöhe vermindern. Von der Verminderung der Höhe um den Theil, der zur Erzeugung der Geschwindigkeit in der Leitungsröhre erforderlich ist, kann um so mehr abstrahirt werden, als das Wasser nicht an der Sprungöffnung vorbeifließt, sondern in diese hineintritt, also die bereits erlangte Geschwindigkeit sich dem Strahle wieder mittheilt. Die Höhe, zu welcher der Strahl steigt, ist, wie schon früher erwähnt worden, immer etwas geringer als die Druckhöhe. Genau läßt sich nach den wenigen hierüber angestellten Beobachtungen das Gesetz nicht angeben, doch scheint die Differenz beider Höhen proportional zu sein dem Quadrate der Druckhöhe. In dieser Weise bestimmte schon Mariotte *) nach seinen Beobachtungen die Sprunghöhe H in Pariser Fussen ausgedrückt durch die Formel

$$h = H + \frac{1}{300} \cdot H^2$$

wobei indessen h nicht die volle Druckhöhe, sondern nur diejenige bezeichnet, welche das Piezometer dicht vor dem Strahle anzeigt. Durch Reduction auf Rheinlandisches Fufs-Maafs verwandelt sich der Ausdruck in

$$h = H + \frac{1}{290} \cdot H^2$$

Wenn der Strahl nicht durch Oeffnungen in dünner Wand, sondern durch Ansatzröhren austritt, so muß die dabei stattfindende Verminderung der Geschwindigkeit noch besonders berücksichtigt werden.

*) *Oeuvres de Mariotte*. Leide 1717. Tome II. S. 489.

§. 17.

Speisung der Leitungen.

Unter den verschiedenen Wasserleitungen sind besonders diejenigen wichtig, deren Zweck es ist, gröfsere Orte mit reinem Wasser zu versorgen. Von diesen soll hier allein die Rede sein.

In Gebirgsstädten pflegt die Zuführung des Wassers keine Schwierigkeiten zu bieten. Die Quellen und Bäche enthalten schon reines Wasser, man braucht dieses nur in einiger Höhe über der Sohle abzufangen, um das Eintreiben von Sand und Erde zu verhindern. Das Gefälle ist auch gemeinhin so grofs, dafs der Röhrenstrang in ununterbrochener Neigung den höchsten Punkt der Stadt erreicht, und hier einen fliefsenden Brunnen, auch wohl einen Springbrunnen speist, der ein Bassin füllt, welches sich meist wieder in andere Bassins, an tieferen Punkten ergiefst. Auf diese Art läfst der Quell sich so vertheilen, dafs überall das Bedürfnifs leicht befriedigt werden kann.

Bedeutender werden die Schwierigkeiten, wenn man in weiter Entfernung die Quellen suchen mufs, und wenn diejenigen, die sich nach ihrer Reichhaltigkeit und nach der Beschaffenheit des Wassers zur Speisung der Brunnen am meisten eignen, nur wenig höher als das Niveau der Stadt liegen, oder wohl gar durch tiefe Terraineinschnitte davon getrennt sind. Auch kann es geschehn, dafs alle Quellen und Bäche umher die ganze Wassermenge, die man braucht, nicht liefern. Alsdann bleibt nur übrig, das Wasser aus dem tiefer liegenden Strome künstlich zu heben, und wenn dasselbe, wie gewöhnlich, nicht den nöthigen Grad von Reinheit besitzt, es noch zu klären und zu filtriren, bevor man es durch die Leitungen in der Stadt verbreitet. Das letzte Verfahren, welches schon lange bekannt und zur Speisung einzelner Leitungen benutzt war, hat man in neuerer Zeit auch zur Versorgung ganzer Städte gewählt, und es scheint, dafs dasselbe bei Anwendung der vollkommeneren Maschinen, wie man sie heutiges Tages darstellen kann, die nöthige Wassermenge nicht nur sicher liefert, sondern unter gewöhnlichen Verhältnissen auch minder kostbar ist, als wenn man Bäche und Quellen aus weiter Entfernung herbeiführt.

In früheren Jahrhunderten konnte diese Methode wegen der

mangelhaften Einrichtung und geringen Haltbarkeit der Maschinen keinen Eingang finden, dagegen wurden schon zur Zeit der römischen Republik und noch mehr unter den Kaisern, künstliche Leitungen von Bächen dargestellt, die noch heute an Grofsartigkeit unübertroffen sind. Etwa dreihundert Jahre vor Christi Geburt legte Appius Claudius die erste Wasserleitung an, und als Nerva seine Regierung antrat, wurden, wie Frontinus angiebt, durch neun Leitungen schon über 27 Millionen Cubikfufs Wasser täglich nach Rom geführt, die in 1300 fliefsenden Brunnen ausströmten. Die Anzahl der Leitungen vermehrte sich auch ferner, da namentlich die Einrichtung neuer Bäder das Bedürfnis immer mehr steigerte. So mögen später bis 50 *) Millionen Cubikfufs nach Rom geführt worden sein, was bei der Anzahl der Einwohner, von etwa einer Million, eine so reichliche Versorgung ist, wie in neuerer Zeit nirgend vorkommt. Von diesen Anlagen sind einige in Wirksamkeit erhalten worden, und Prony schätzte das Wasserquantum, welches die drei Leitungen Aqua Felice, Juliana und Paulina gegenwärtig noch täglich nach Rom führen, auf mehr als 5 Millionen Cubikfufs.

Diese sämtlichen Anlagen führten das Wasser nicht in Röhren herbei, sondern in Canälen, die also ein stätiges Gefälle in der Richtung der Strömung erhalten mußten. Ihre Ausdehnung beträgt häufig mehrere Meilen, und die Anlage gewann besonders in dem Falle an Wichtigkeit und gab zur Darstellung grofser Mauermassen und oft zu einer kühnen und reichen Architectur Veranlassung, wenn tiefe Thäler zu überschreiten wären. Man führte alsdann Bogenstellungen quer durch das Thal, die oft mehrfach übereinander standen, und auf diesen liefs man den Canal mit geringem und gleichmäfsigem Gefälle fliefsen. Es sind dieses die Bauwerke, denen man den Namen der Aquäducte beilegt. Die Gesamtlänge der Leitungen bei Rom maafs 55,5 deutsche Meilen, davon waren 48,5 Meilen unterirdisch, 0,5 Meilen lagen wenig über dem Boden und 6,5 Meilen ruhten beim Uebergange über Thäler auf Bogenstellungen.

Dafs man durch Benutzung von Röhren diese Unterbaue hätte entbehren können, leidet keinen Zweifel, denn der starke Druck, der durch die Senkung der Röhrenleitung bis zur Sohle des Thales

*) Sehr eingehend behandelt Rozat de Mandres die Römischen Wasserleitungen. *Annales des ponts et chaussées*. 1858. II. *Sémeestre*.

entsteht, treibt das Wasser in dem zweiten Schenkel der Röhre beinahe bis zu derselben Höhe wieder herauf. Man hat dieses Princip in neuerer Zeit verschiedentlich angewendet, z. B. bei der Soolenleitung zwischen Berchtesgaden und Illsang, wo die Röhre an einer Stelle etwa 200 Fufs sich senkt. Einrichtungen dieser Art sind jedoch, wenn gusseiserne Röhren nicht benutzt werden, sehr kostbar und unsicher. Da solche im Alterthume nicht bekannt waren, so darf man sich nicht wundern, wenn zur Erreichung desselben Zweckes ein anderes Mittel gewählt wurde. Dazu kommt wahrscheinlich noch, dafs man bei den Wasserleitungen, die ihrer Natur nach grosentheils sehr unscheinbar sind, und sich oft ganz dem Auge entziehen, einige Werke absichtlich anbrachte, welche die Gröfsartigkeit des Unternehmens zeigten.

Der Eifer für Einrichtung von Wasserleitungen beschränkte sich indessen keineswegs auf Rom, vielmehr finden sich fast in allen Ländern, die der römischen Herrschaft unterworfen waren, Ruinen von solchen Werken vor. In Constantinopel existiren mehrere Wasserleitungen, von denen einige ohne Zweifel aus jener Periode herrühren. Auf Mytilene, Salamis, sowie in Kleinasien bei Antiochia sind Reste von alten Wasserleitungen vorhanden, letztere bestehn in einem Aquäducte von 200 Fufs Höhe. Ferner sieht man solche bei Neapel und Pästum, wie auch zu Castellana. Letzterer zeichnet sich durch seine Gröfse aus, indem die Gesammthöhe des Baues in beiden Bogenstellungen bis 190 Fufs beträgt. Bei Lyon, Metz, Nismes und bei Arcueil in der Nähe von Paris befinden sich alte Wasserleitungen, auch kommen sie in Spanien, namentlich bei Sevilla und Segovia vor, und besonders wichtig ist die bei Lissabon, die sich mehr als 200 Fufs hoch über die Thalsohle erhebt, sie wurde zwar im vorigen Jahrhunderte erneut, soll aber von Trajan herrühren.

Aehnliche Anlagen wurden auch später und selbst bis gegen die neueste Zeit ausgeführt. Theodorich erbaute um's Jahr 740 den Aquäduct bei Spoleto, der an Höhe und Kühnheit alle älteren übertraf. 10 Spitzbogen von 68 Fufs Spannung bilden den Unterbau und darüber trägt eine Reihe von 30 kleinern Bogen den Canal, der 410 Fufs über dem Wasserspiegel des Moragia liegt. Besonders in Frankreich entstanden in den letzten Jahrhunderten noch eine Anzahl solcher Bauwerke, z. B. 1558 der bei Arles über den Crau. 1624 wurde neben den Ruinen des alten Aquäducts bei Arcueil ohn-

fern Paris unter Maria von Medicis ein neuer gebaut. Im 17. Jahrhunderte erbaute man neben Versailles die Aquäducte von Marly und Buc, und es wurde der colossale Aquäduct Maintenon begonnen, der 132 Ruthen lang und 240 Fufs hoch werden sollte, doch gab man bald wegen der enormen Kosten diesen Bau auf. Nur wenige Bogen der untern Theile sind ausgeführt, während drei derselben übereinander stehn sollten. Endlich mufs noch der Aquäduct bei Montpellier erwähnt werden, den Pitot ausführte.

Ueber Wasserleitungen dieser Art ist in hydrotechnischer Beziehung wenig zu bemerken. Als Beispiel einer solchen Anlage mag eine kurze Beschreibung der Leitung von Arcueil folgen, die noch heute zur Versorgung eines Theiles von Paris mit Wasser dient. Durch grabenförmige Einschnitte, die an den Bergseiten mit trocknen Mauern eingefasst und oben mit Steinplatten überdeckt sind, wird in den Ländereien der Gemeinden Rungis, Paret und Coutin, etwa drei Lieues südlich von Paris, das Wasser gesammelt und von hier in einer überwölbten Leitung von 3625 Ruthen Länge nach dem Reservoir an der Porte St. Jaques zu Paris geführt. Dieser Canal hat überall ein gleichmäßiges Gefälle, nämlich 1 : 2400. Er verlässt oft sehr merklich die gerade Richtung, um diejenige Terrainhöhe zu verfolgen, wo er mit den geringsten Kosten und mit der grössten Sicherheit angelegt werden konnte. Er liegt beinahe auf seiner ganzen Länge so tief, dass die Felder darüber bebaut werden, und in gewissen Abständen sind runde massive Thürmchen aufgeführt, welche den Zugang gestatten und den Luftwechsel befördern. Der wichtigste Punkt der Leitung ist der Uebergang über den Bièvre-Bach in der Nähe des Schlosses Arcueil. Der neue Aquäduct daselbst schneidet das Thal rechtwinklig, und zwar an einer besonders schmalen Stelle. Er ist 1240 Fufs lang, in der Mitte 74 Fufs hoch und unten 12 Fufs breit, doch treten die Strebepfeiler zu beiden Seiten noch um einige Fufs weiter vor. Die Anzahl der Bogenöffnungen beträgt 10, davon ist eine aber nur halb so breit als die übrigen. Der Canal über dem Aquäducte ist $1\frac{1}{2}$ Fufs breit und 1 Fufs tief, ein 2 Fufs breites Banket liegt an der südwestlichen Seite, und die Höhe des Gewölbes erlaubt es, dass man bequem darin gehn und die von Zeit zu Zeit erforderlichen Reparaturen und Reinigungen vornehmen kann. In den unterirdischen Strecken, die wahrscheinlich älter sind, verändert sich einigermassen das Profil.

Statt des einen Bankets sind deren zwei angebracht, jedes von 18 Zoll Breite, auch die Höhe der Gallerie vermindert sich, jedoch beträgt sie immer noch 5 bis 6 Fufs und nur unter einigen Strafsen war man gezwungen, sie noch mehr zu beschränken. Das Gewölbe und die freistehenden Seitenmauern sind aus Hausteinen, die überschütteten Mauern aus Bruchsteinen aufgeführt, und der Canal hat am Boden und an den Seitenwänden einen etwa $\frac{1}{2}$ Zoll starken Ueberzug von hydraulischem Mörtel erhalten. Die Quantität des zugeführten Wassers bestimmte Girard durchschnittlich auf 50 Wasserschalen, oder 1 Cubikfufs in 3 Secunden.

Sehr wichtig ist die um das Jahr 1847 begonnene Ausführung der Leitung, welche sowol die Stadt Marseille, als deren Umgebung mit Wasser versieht. Ursprünglich beabsichtigte man mit derselben nur die Cultivirung des kahlen Kalkbodens zu befördern, doch entschlofs man sich noch vor dem Beginne der Arbeiten, auch die Brunnen in der Stadt und neben dem Hafen dadurch mit reinem Wasser zu speisen. Der sogenannte Canal von Marseille, der diese Leitung bildet, tritt neben dem Städtchen Pertuis aus der Durance aus, von der er das Wasser entnimmt, und zwar in einer Höhe von 596 Fufs über dem Meeresspiegel. Indem er, soviel wie möglich, die Abhänge verfolgt, hat er bis zum Reservoir in Marseille die Länge von 12,9 deutschen Meilen erhalten. Das Gefälle ist aber in der Art vertheilt und ihm sind solche Profile gegeben, dafs er 450 Cubikfufs in der Secunde abführen kann. Dieses Quantum wird ihm zur Zeit aber noch nicht zugewiesen, indem durch 200 Cubikfufs schon das Bedürfnifs befriedigt wird.

An vielen Stellen ist der Canal unterirdisch geführt, wogegen er vielfach sich auch bedeutend über den Boden erhebt. Letzteres geschieht vorzugsweise in dem grofsartigen Aquäduct von Roquefavour ohnfern der Eisenbahn-Station Rognac, von welcher aus man ihn auch deutlich sehn kann. Er besteht aus drei Bogenstellungen, von denen jede der beiden untern 108, die obere aber 40 Fufs hoch ist. Die ganze Höhe über der Thalsohle misst 258 Fufs und die Gesamtlänge 1428 Fufs. Der Bau ist aus Quadersteinen ausgeführt, die Rinne, in welcher das Wasser geleitet wird, ist dagegen mit hart gebrannten in Cement versetzten Ziegeln verkleidet. Sie bildet im Profil einen Halbkreis von 4 Fufs Radius.

Dem Vernehmen nach hat man sich zur Ausführung dieses sehr

kostbaren Baues entschlossen, und die viel wohlfeilere Leitung des Wassers in Röhren durch das Thal nicht gewählt, weil man besorgte, daß der sehr starke Kalkgehalt eine baldige Sperrung der Röhren veranlassen würde. Nichts desto weniger scheint es, daß man die Grofsartigkeit der ganzen Anlage auch durch ein imponantes Bauwerk bezeichnen wollte.

In einiger Entfernung von Marseille spaltet sich die Leitung, drei Viertheile der Wassermenge werden in besondern Canälen zum Zwecke von Culturen abgeführt, während nur ein Viertel nach Marseille fließt. Hier tritt das noch ungereinigte Wasser in der Höhe von 234 Fufs über dem Spiegel des Meeres in ein großes Bassin, das am Fusse einer natürlichen Anhöhe neben dem botanischen Garten angelegt ist. Aus demselben wird dasjenige Wasser abgeleitet, das zur Spülung und Reinigung der Strafsen dient, ausserdem fliefsen bedeutende Massen an dem Abhange des Felsens und der angeschütteten Erde herab, und geben hier zur Cultur von Sumpfpflanzen sehr günstige Gelegenheit. Das zur Versorgung der Häuser bestimmte Wasser wird aber daselbst filtrirt, indem es in das darunter befindliche Filtrir-Bassin tritt. Beide Bassins sind nicht nur überwölbt, sondern auch hoch mit Erde überschüttet, um das darin befindliche Wasser gegen starke Erwärmung zu schützen.

In den Leitungen, welche Constantinopel mit Wasser versorgen, hat man schon in früherer Zeit Röhren angewendet, die oft einem starken Drucke ausgesetzt sind. Auf eigenthümliche Weise wird hier aber die Leitung abwechselnd immer unterbrochen und das Wasser mit der Luft in Berührung gebracht. Um dabei nicht den Vortheil der Druckhöhe zu verlieren, so war es nöthig, diese offenen Bassins in angemessener Höhe anzulegen. Auf solche Art sind beim Durchgange durch Thäler und bei sonstigen Vertiefungen in Abständen von etwa 600 Fufs isolirte Pfeiler errichtet, an welchen das Wasser von der einen Seite in Bleiröhren aufsteigt und sich in die Bassins auf dem Scheitel der Pfeiler ergießt. Auf der andern Seite fällt es wieder in Bleiröhren nach der Röhrenleitung in der Thalsole zurück, die aus gebranntem Thon besteht. Durch die Pfeiler, die *Suterrazzi* heissen, beabsichtigte man wahrscheinlich, das Auffinden schadhafter Stellen zu erleichtern, theils aber vertreten sie auch die Stelle von Luftspunden oder Luftröhren, die freilich nach dem, was im Folgenden darüber gesagt werden soll,

sich auf andere Art einfacher einrichten lassen. Auf höherem Terrain fließt das Wasser nicht in Röhren, sondern in offenen Leitungen.

Weit unscheinbarer als die erwähnten Einrichtungen sind die Leitungen, welche manche Städte in der Provinz Preußen mit Wasser versorgen. Man pflegt dieselben sämmtlich Copernicus zuzuschreiben. Bei Frauenburg, wo Copernicus Domherr war, ist das Flüschen Baude etwa drei Viertel Meilen oberhalb seiner Mündung in das Frische Haff abgefangen und in einem Canäle längs dem flachen Abhange des Thalrandes nach der Stadt geleitet worden. Hier durchfließt es die Hauptstrasse des Städtchens und treibt unter dem Hügel, worauf der Dom steht, eine Mahlmühle. Daneben befand sich in früherer Zeit noch ein Pumpwerk, das einen Theil des klaren Wassers auf den Domhof hob. Der massive Thurm, der die Wasserkunst einst enthielt, steht noch, doch ist die Maschine bei einem Brande zerstört und seitdem nicht wieder hergestellt. Auf ähnliche Art wird die Stadt Danzig mit trinkbarem Wasser aus der Radaune versehen.

Besonders wichtig ist die weit ausgedehnte Leitung, welche Königsberg mit Wasser versorgt. Zwei Canäle, der Landgraben und der Wirrgraben genannt, führen das Wasser, das sich nordwestlich von Königsberg auf einem Flächenraume von etwa zwei Meilen sammelt, in ein weites Bassin am nördlichen Rande der Stadt. Dieser künstliche See, der Oberteich genannt, hat eine Ausdehnung von etwa 300 Morgen, und ist durch Schließung eines Thales entstanden, doch erhebt sich das Wehr oder der Damm, der das Wasser aufstaut, nicht nur bis zur Höhe der natürlichen Thalufer, sondern sogar über dieselben, und seine Seitenflügel erstrecken sich aufwärts, um einen Stau bis über die Terrainhöhe zu gewinnen. So geschieht es, daß der Wasserspiegel des Sees höher liegt, als jeder Theil von Königsberg. Er befindet sich 70 Fufs über dem mittleren Stande des Pregels, und der Schlofsteich, der innerhalb der Stadt einen zweiten künstlichen See in demselben Thale bildet und sich bis an den Fufs des ersten Dammes erstreckt, liegt 36 Fufs unter dem Oberteiche. Zwei Reihen von Mühlen, eine große Menge von Brunnen, die zum Theil fließende Brunnen sind, und mehrere Springbrunnen werden durch diese Wasserleitung gespeist. Der letzte Theil der Anlage zeigt indessen nicht Bemerkenswerthes, wohl aber ist dieses

der Fall mit den beiden oben erwähnten Speisegräben und namentlich mit dem Landgraben. Dieser leitet drei gröfsere Bäche, die auf der Wasserscheide zwischen der Ostsee und dem Haffe oder dem Pregel entspringen, nach dem Oberteiche, und indem er sich am südlichen Abhange der Anhöhe hinzieht, mußte er nach der Aufnahme des ersten Baches noch die Thäler der beiden folgenden überschreiten. Es trat also hier dieselbe Schwierigkeit ein, deren bereits Erwähnung geschehn ist, und die Art, wie sie hier überwunden wurde, ist von den bezeichneten Methoden wesentlich verschieden. Die Thäler sind nämlich dicht unterhalb des Landgrabens durch Dämme geschlossen, so dafs der Bach, der sie bildet, sich davor soweit aufstaut oder zu großen Teichen ausdehnt, bis er hoch genug angeschwollen ist, um in der Fortsetzung des Landgrabens nach Königsberg zu fliefsen. Die Teiche sind niemals Mühlenteiche, wohl aber treiben die Bäche weiter oberhalb oder unterhalb verschiedene Mühlen, und in den erwähnten Dämmen befinden sich Freiarchen, um bei starken Anschwellungen ein Ueberströmen und sonach ein Durchbrechen der Dämme zu verhindern. Diese Methode gewährt den Vortheil, dafs nicht nur die Ausführung der kostbaren Aquäducte entbehrlich wird, sondern auch die Wassermengen von allen Bächen der Leitung zugeführt werden, welche diese durchschneidet. Dabei werden freilich sehr bedeutende Flächen Landes der Cultur entzogen und man würde deshalb heut zu Tage bei einer ähnlichen Anlage von diesem Mittel keinen Gebrauch machen dürfen. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs der Graben mit sorgfältiger Beachtung der Terrainhöhe gezogen und auf der südlichen Seite mit einer niedrigen Verwallung eingefafst ist. Seine mittlere Breite beträgt etwa 18 Fufs und seine Tiefe 2 Fufs, die Geschwindigkeit der Strömung fand ich einst 9 Zoll in der Secunde.

Als London nach und nach an Ausdehnung gewann, und wegen der engeren Bebauung des alten Theiles der Stadt die Brunnen ihre frühere Ergiebigkeit verloren, auch die kleineren Pumpwerke, die namentlich an der alten Londonbrücke existirten, sich als unzulänglich erwiesen, trat 1606 und 1607 eine Actiengesellschaft zusammen, um die Flüfschen Chadwell und Amwell in Herfordshire nach London zu leiten und deren Wasser daselbst zu vertheilen. Das Vertrauen zu Unternehmungen dieser Art war indessen damals noch so geringe, dafs nur das Anerbieten eines gewissen Hugh Myd-

delton, die ganze Anlage auf eigne Gefahr und Kosten auszuführen, den Beginn der Arbeiten veranlaßte. Die Kosten stellten sich aber viel höher, als man erwartet hatte, und als die Mittel erschöpft waren, auch die Communal-Behörden jeden Beitrag verweigerten, bewilligte Jacob I. die nöthigen Summen. Am 29. September 1613 füllten sich zur allgemeinen Verwunderung und Freude der Einwohner die Reservoirs in New-River-Head im Kirchspiel Clerkenwill. Jetzt erst, nachdem der Erfolg gesichert war, trat die Gesellschaft zusammen und im Jahre 1619 wurde sie gesetzlich bestätigt. Die aufgefundenen Quellen sind in gerader Linie 20 engl. Meilen von London entfernt, die Länge des Canals beträgt aber $38\frac{1}{4}$ engl. oder $8\frac{1}{4}$ deutsche Meilen, indem die Unebenheit des Terrains vielfache Krümmungen nothwendig machte. Die Breite des Canals ist durchschnittlich 18 Fufs und die Tiefe sollte 5 Fufs messen. Das Gefälle beträgt 3 Zoll auf die engl. Meile oder 1 : 21120. Unter den ausgeführten Werken befanden sich auch mehrere Brückencanäle, die aber, da sie nur aus Holz erbaut und durch eine Ausfütterung mit Bleiplatten gedichtet waren, bald schadhafte wurden, und die man nach und nach durch massive Durchlässe ersetzte. Die erwähnten beiden Flüßchen genügten indessen bald nicht mehr für die immer gröfsere Ausdehnung der Leitungen in London, und da der Leaflufs unmittelbar neben dem Canale oder dem New-River ausströmte, so wurde auch dieser zur Speisung des letzteren benutzt und grofse Wassermengen aus demselben der Wasserleitung zugeführt. Dieses Verfahren hatte man mehrere Jahre hindurch schon angewendet, als die Lea-Schiffahrtsgesellschaft darüber Klage erhob. Nach langen Debatten wurde endlich ums Jahr 1738 die Berechtigung zur Entnehmung gewisser Wassermassen aus dem Lea durch einen Beschluß des Parlaments festgestellt.

Um das Wasser in dem New-River rein zu erhalten, hatte die Gesellschaft schon lange durch eine Bill die Bestimmung ausgewirkt, dafs niemand Steine, Erde, Schmutz, todte Thiere oder thierische Stoffe, noch sonst irgend welche nachtheilige Körper hineinwerfen, ferner dafs niemand Wolle, Hanf, Flachs oder irgend welche ungesunde oder unreine Stoffe darin waschen, und endlich, dafs niemand die Anlage beschädigen oder ohne besondere Erlaubnifs daraus Wasser entnehmen sollte. Einen sehr grofsen Uebelstand verursachte der Reiz, in dem klaren und frischen Wasser des New-River zu

baden. Um dieses abzustellen, erbot sich die Gesellschaft, zu Freibädern das Wasser unentgeltlich zu liefern, falls die Stadt London die Kosten für die Einrichtung derselben übernähme. Der Vorschlag fand indessen nicht Eingang und sonach dauert der Mißbrauch noch fort. Die Gesellschaft läßt freilich durch ihr Aufsichtspersonal das Baden möglichst verhindern, wenn aber jemand dabei betroffen wird, so kann er nicht bestraft werden, weil der einzige Rechtstitel, der eine Klage begründen würde, der Einbruch in fremdes Eigenthum wäre, und da hierauf Deportation steht, so wird durch Billigkeitsrücksichten jede weitere Verfolgung abgeschnitten. Auf jede vier Meilen Länge des Canals ist ein Aufseher angestellt, der namentlich darauf achten muß, daß die benannten Bestimmungen in Bezug auf die Reinhaltung des Wassers nicht übertreten werden. Das Unkraut wird regelmäsig geschnitten, und um alle schwimmenden Körper aufzufangen, sind stellenweise Drahtnetze durchgezogen, die aber jedesmal in einer Erweiterung des Bettes liegen, damit hier die Geschwindigkeit sich mäsigt und sonach die Körper um so sicherer aufgefangen werden. An diesen Stellen schlägt sich auch vorzugsweise der im Wasser schwebende Schlamm nieder, woher hier vierteljährlich eine Reinigung vorgenommen wird.

Es bleibt noch übrig, von denjenigen Wasserleitungen zu sprechen, welche nicht durch hochgelegene Quellen oder Bäche, sondern mittelst Pumpwerken aus Strömen gespeist werden. Anlagen dieser Art sind am wenigsten von den Localverhältnissen abhängig, sie lassen sich überall ausführen, und gestatten auch jede beliebige Ausdehnung, indem die Wassermenge, die mau braucht, jedesmal disponibel ist, und es nur darauf ankommt, die Schöpfmaschinen darnach einzurichten. Die Kostbarkeit der Maschinen, sowol in der ersten Anlage, als der Unterhaltung, setzt indessen dieser Methode oft Hindernisse entgegen, während man vielfach nach den chemischen Untersuchungen des Wassers großer Ströme darin Bestandtheile findet, welche der Gesundheit nachtheilig sein könnten. Obwohl Bedenken dieser Art sich dadurch widerlegen, daß dasselbe Wasser, und zwar nicht filtrirt, Jahrhunderte hindurch zur Zubereitung von Speisen ohne wahrnehmbaren Nachtheil benutzt ist, so ist man doch in neuerer Zeit in dieser Beziehung hin und wieder besonders vorsichtig geworden, indem man vermuthet, daß selbst sehr

geringe schädliche Beimengungen die Verbreitung der Cholera befördern könnten.

Zuweilen besorgt man auch, dafs an den Wasserhebungs-Maschinen leicht Beschädigungen vorkommen, und die Wasserleitung unterbrechen möchten. Gewifs ist bei schlechten Maschinen diese Besorgniß sehr begründet, und hat man daher in früherer Zeit auch oft Bedenken getragen, hiervon Anwendung zu machen. Die grofse Vollkommenheit, die man gegenwärtig den Maschinen geben kann, vermindert indessen so sehr die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Stockung, dafs man dieselbe und vielleicht noch eine gröfsere Sicherheit erreicht, als wenn das Wasser sich mit seinem natürlichen Gefälle bewegt.

Schon im Jahre 1724 wurden die Chelsea Water-Works unterhalb London eingerichtet, die durch Dampfmaschinen gespeist werden. Die meisten übrigen Leitungen entstanden erst in diesem Jahrhunderte. Hierher gehören die West-Middlesex Water-Works, die bei Hammersmith das Wasser aus der Themse schöpfen. Die Grand Junction-Company mußte sich wegen der Unbrauchbarkeit des Wassers des Brent und Colne-Flusses, die den Grand Junction-Canal speisen, gleichfalls entschließen, aus der Themse und zwar in der Nähe von Chelsea zu schöpfen. Die Southwark Water-Works heben innerhalb der Stadt das Wasser aus der Themse, ebenso die Lambeth Water-Works und South London Water-Works. Nur die unter dem Namen des New-River bekannte Leitung, von der bereits die Rede war, führt noch Quellwasser nach London und zwar zum Theil mit Benutzung des natürlichen Gefalles. Nichts desto weniger mußten auch hier noch mehrere Dampfmaschinen eingerichtet werden, um theils die höheren Theile der Stadt vorsorgen zu können, theils aber auch um grofse Hülf-Bassins zu füllen, so oft der New-River bei anhaltendem Froste seine Zuflüsse verliert, oder eine Sperrung und Trockenlegung desselben wegen vorzunehmender Reparaturen oder Reinigungen nothwendig wird.

Auch in Frankreich werden die Wasserleitungen häufig durch Pumpwerke aus Flüssen gespeist. Zunächst muß hier die berühmte Maschine bei Marly erwähnt werden, die an Steighöhe alle übrigen übertrifft, wenn man nicht etwa die Soolenleitung bei Berchtesgaden damit in Parallele stellen will. Vierzehn Wasserräder hoben in früherer Zeit in drei Absätzen das Wasser auf die Wasser-

leitung bei Marly. Jedes Rad trieb zunächst die Sauge- und Druckpumpen, die das Wasser in das 100 Toisen entfernte Reservoir auf 150 Fufs hoben, sodann das Gestänge, welches hier die zweite Druckpumpe bewegte, die das zweite Reservoir füllte. Dieses lag 224 Toisen davon entfernt und 175 Fufs höher, und endlich die Fortsetzung des Gestänges, das eine dritte Pumpe trieb. Diese hob das Wasser um 177 Fufs nach dem 290 Toisen entfernten Aquäducte. Die ganze Länge der Steigröhren betrug demnach 3813 rheinl. Fufs und das Wasser wurde 520 rheinl. Fufs gehoben. Die Maschine wurde 1682 in Thätigkeit gesetzt, die vielfachen Reparaturen, die daran vorkamen, waren indessen Veranlassung, dafs man bei der zunehmenden Vervollkommnung des Maschinenbaues auch vielfache Aenderungen und Vereinfachungen einführte. 1823 waren fünf Wasserräder gänzlich beseitigt, und von den übrigbleibenden neun, die zwar sauber ausgeführt, jedoch nur sehr unvollkommen angeordnet waren, befanden sich nur zwei in regelmäfsigem Betriebe. Die hölzernen Röhren waren damals durch eiserne ersetzt worden und die Gestänge und Pumpen auf dem Ufer existirten nicht mehr. Die Pumpen hoben mit einem Male das Wasser auf die ganze Höhe von 520 Fufs, und so aufmerksam ich auch die Röhrenleitung am Fusse des Ufers untersuchte, konnte ich doch keine Stelle entdecken, wo das Wasser durchschwitzte. Man baute damals das Gebäude für eine Dampfmaschine, welche die Wasserräder ersetzen sollte.

In Paris selbst existirten schon seit langer Zeit einige Pumpwerke, welche durch die Seine getrieben wurden und das Wasser der Seine in die nächste Umgebung leiteten. Hieher gehört das Werk auf Pont Neuf, gewöhnlich nach einer Sculptur am fließenden Brunnen die Samaritanerin genannt, und ebenso ein anderes Werk auf Pont Notre Dame. Beide beschreibt Bélidor. Späterhin sind manche andere Anlagen hinzugekommen, die zum Theil mit keinen ausgedehnten Leitungen in Verbindung stehn, und von denen das gehobene Wasser, nachdem es gereinigt ist, gesammelt und verkauft wird. Besonders wichtig sind die Dampfmaschinen Chaillot und Gros-Caillou, welche am rechten und linken Seineufer kurz vor deren Austritt aus Paris das Wasser schöpfen und grofse Theile der Stadt damit versorgen. Die erste hebt das Wasser 118 Fufs hoch in die ausgedehnten Reservoirs auf der Anhöhe hinter den Elyseischen Feldern. Die Maschine Gros-Caillou am linken Seineufer ist

viel unbedeutender, und giefst das gehobene Wasser in ein kleines Bassin aus, welches etwa 100 Fufs über dem Spiegel der Seine in einem Thurme auf dem Maschinengebäude selbst angebracht ist. Der grösste Theil von Paris wird durch den Ourcq-Canal gespeist, der zugleich Schiffahrts-Canal ist, bei seiner ersten Eröffnung aber in der einen Beziehung, wie in der andern, so viele Mängel zeigte, dafs er im Laufe der Zeit wesentlich verändert werden mußte.

Wichtig ist die in den Jahren 1822 bis 1828 unter d'Aubuisson's Mitwirkung ausgeführte Wasserleitung in Toulouse, deren nähere Beschreibung daher nachstehend mitgetheilt wird *). Veranlassung zu derselben gab das Vermächtnifs eines Einwohners der Stadt, wodurch die Kosten jedoch nur zum kleinsten Theile gedeckt wurden, während die Commune dieselben grosentheils übernahm.

Zunächst war zu entscheiden, ob man das Wasser aus der Garonne neben der Stadt durch Pumpwerke heben, oder es vielleicht von oberhalb durch künstliche Canäle mit Benutzung des natürlichen Gefälles herbeiführen sollte, wobei auch auf andere Quellen Rücksicht genommen werden konnte. Die meisten Stimmen des Stadtrathes waren für das letzte Project und zwar aus dem Grunde, weil man meinte, dafs die Maschinen häufig ihren Dienst versagen würden, d'Aubuisson wufste indessen durch Aufführung von Beispielen an andern Maschinen diese Zweifel zu beseitigen und man entschied sich für das Pumpwerk, doch wurde bestimmt, dafs deren zwei und zwar unabhängig von einander eingerichtet werden sollten, damit bei zufälligen Beschädigungen doch immer eins im Gange erhalten werden könnte. Was die Wahl der Betriebskraft betrifft, so entschied man sich mit gutem Grunde für die Wasserkraft, da diese hier vorhanden war und sogar zwei Stauwerke neben der Stadt hinter einander existirten, die man benutzen konnte, während die Kosten für die Beschaffung der Feuerung bei einer Dampfmaschine sehr ansehnlich gewesen wären. Endlich wurde noch die Quantität des zu hebenden Wassers ermittelt und diese auf 200 Wasserzoll, d. h. auf 124000 rheinl. Cubikfufs in 24 Stunden festgestellt. Diese Wassermasse mußte 20 Meter oder $63\frac{3}{4}$ Fufs gehoben werden, um alle Theile der Stadt versehn zu können.

*) *Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse. Annales des ponts et chaussées.* 1838. II.

Nachdem die Hauptbedingungen festgestellt waren, wurde der Weg der Concurrrenz eröffnet und dem Verfasser desjenigen Projects, welches gewählt werden würde, die Ausführung der Arbeit und eine Vergütung von 5 Procent der wirklichen Anlagekosten zugesichert. Es gingen mehrere Projecte ein, doch nur eines darunter zeichnete sich durch sorgfältige Bearbeitung und eine sehr zweckmäßige und dem neueren Zustande des Maschinenbaues entsprechende Anordnung der ganzen Anlage aus. Es war von dem in Toulouse wohnenden Maschinenbauer Abadie aufgestellt. Für dieses entschied sich die Commune.

Von den beiden Stauanlagen, die neben der Stadt vorhanden waren, wählte man zum Betriebe des Werkes die untere und zwar theils wegen der größeren Festigkeit des daselbst liegenden Wehrs, und theils wegen der größeren Räumlichkeit, wozu noch kam, daß man hier dem Angriffe des Stromes nicht ausgesetzt war. Diese Vortheile waren überwiegend gegen die, welche das obere Wehr geboten hätte, letztere bestanden aber in der bedeutend größeren Nähe am Haupttheile und zugleich dem höchsten Theile der Stadt und in der Gewinnung des oberen Staues für die Steighöhe. Die Maschine wurde dicht oberhalb der steinernen Brücke und zwar an das linke Ufer der Garonne gestellt, während Toulouse größtentheils am rechten Ufer liegt. Das Wasser zum Betriebe der Maschinen wird durch einen überwölbten Canal von $7\frac{1}{2}$ Fufs Breite, $5\frac{1}{2}$ Fufs Höhe und 11 Ruthen Länge zugeführt, und fließt durch einen andern Canal, der im Ganzen 297 Ruthen lang ist, nach der Rhone zurück. Der nächste Theil desselben von 200 Ruthen Länge verfolgt die Strafsen der Vorstadt St. Cyprien, und mußte daher überwölbt werden. Seine Breite beträgt hier $6\frac{1}{2}$ Fufs und seine Höhe $5\frac{1}{2}$ Fufs. Diese Anlage war sehr schwierig, insofern die Sohle oft mehr als 30 Fufs unter das Strafsenpflaster traf. Der folgende Theil des Canals von 97 Ruthen Länge, der in freiem Felde befindlich ist, konnte als offener Graben dargestellt werden. Das ganze Gefälle zwischen der obern und untern Mündung des Canals beträgt zur Zeit des niedrigen Sommerwasserstandes 17 Fufs 5 Zoll, wovon auf das nutzbare Gefälle 9 Fufs 3 Zoll treffen, während der Rest theils zur Räusche dient, theils aber auch bei passendem Wasserstande eine Säge-Mühle treibt.

Die Pumpen heben das Wasser nicht unmittelbar aus der Ga-

ronne, vielmehr aus Canälen neben derselben. Beim Eintritt in die letzteren ist es bereits filtrirt, woher es sogleich in die Leitungen vertheilt werden kann. Ueber die hier eingerichteten natürlichen Filter wird im Folgenden ausführlich die Rede sein.

Die Anordnung der Räder, Pumpen und Steigröhren ergibt sich aus den Figuren 71, *a*, *b*, *c* und *d* auf Taf. V., welche die Seitenansicht, den Durchschnitt und zwei Grundrisse der Anlage darstellen. Das Gebäude besteht aus einem runden Thurme, den unten eine überwölbte Gallerie umgiebt. In letzterer liegen die beiden Wasserräder mit ihren Gerinnen, ferner die Bassins, die acht Pumpen mit ihren Balanciers und überhaupt die ganze Maschinerie. Der Thurm enthält dagegen die Steigeröhren und Abfallröhren, sowie in seinem obern Theile das kreisförmige Bassin, zu dem das Wasser gehoben wird und den Apparat zum Messen des Wassers. Bei *A* (Fig. 71, *c*) tritt das Betriebswasser in die erwähnte Gallerie hinein, zwei Canäle, die rechts und links abgehen, führen es nach den Kropfgerinnen der beiden Räder und ein dritter schmalerer Canal durchschneidet diametral das ganze Gebäude. Letzterer dient dazu, der unterhalb belegenen Sägemühle den nöthigen Wasserzufluß zu sichern, falls wegen Reparaturen, oder aus andern Gründen nur eine der beiden Wasserhebungsmaschinen benutzt wird, und sonach das eine Gerinne geschlossen bleibt. Dicht unterhalb des Gebäudes bei *B* vereinigen sich wieder die drei Gerinne und bilden gemeinschaftlich den überwölbten Untercanal. Das gereinigte Wasser, welches durch die Pumpen gehoben werden soll, tritt bei *C* in das Gebäude und fließt in einem gemauerten Canale unter den drei Canälen, die hier noch Oberwasser enthalten, bis gegen die äußere Umfassungsmauer bei *D*. Es fällt durch Verbindungsrohren in vier Bassins *E*. Letztere stehn durch andere Röhren wieder mit den Untercanälen in Verbindung und man kann durch acht Ventile jedes einzelne derselben beliebig mit dem filtrirten Wasser füllen, oder trocken legen. In jedem der beiden Gerinne hängt ein Wasserrad von $18\frac{1}{2}$ Fufs Höhe und 4 Fufs Breite. Diese Räder bestehn mit Ausnahme der Schaufeln aus Gußeisen und sind Kropfräder, jedoch nach Art der Strauberräder so gebaut, daß die Schaufeln auf der Stirn der beiden Kränze stehn, wodurch der Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Gerinne verringert wird. Die gußeiserne Welle jedes Rades ist an jedem Ende mit einer Scheibe und Krummzapfen versehen und diese treiben

mittelst der Lenkstangen die Balanciers. Letztere sind 9 Fufs lang und tragen an jedem Ende Kreisbogen, worauf die Ketten liegen, welche die Pumpenstangen heben. Auf solche Art treibt jede Maschine vier Pumpen. Sie sind Druckpumpen, doch haben sie nicht gewöhnliche Kolben, die in ausgebohrten Stiefeln sich bewegen, sondern sogenannte Plungerkolben aus hohlen bronzenen Cylindern von $10\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser. Die Hubhöhe beträgt etwa 2 Fufs. Die Art, wie diese Kolben gehoben werden, erlaubt es nicht, sie durch die Maschine selbst herabzustofsen, zu diesem Zwecke mußten sie vielmehr besonders beschwert werden. Dieser Umstand war in dem Gutachten der obersten Baubehörde gerügt worden, und allerdings muß die große Vermehrung der todten Last unpassend erscheinen, welche das Wasser in die Steigröhren drücken soll, doch behielt man die Einrichtung bei, um das Parallelogramm oder eine andere künstliche Vorrichtung zur senkrechten Führung der Pumpenstange zu entbehren. Die beiden an jedem Balancier befindlichen Pumpen, die sonach abwechselnd spielen, drücken das Wasser in eine gemeinschaftliche Steigeröhre *F*, und je zwei derselben, die von demselben Wasserrade gespeist werden, verbinden sich im Thurme zu den Röhren *G* (Fig. 71, *b*). Die letzteren gießen ihren Inhalt in ein sichelförmiges Bassin *H* (Fig. 71, *b* und *d*), von diesem fließt es nach der in Frankreich üblichen Methode durch größere Oeffnungen in die zweiten ebenso gestalteten Bassins *I* und aus diesen in das ringförmige Bassin *K*. Beim letzten Durchflusse durch die Wand zwischen *I* und *K* passiert es die kreisförmigen Oeffnungen, welche die Anzahl der Wasserzolle bestimmen, und wenn man in der Mitte des innern ringförmigen Bassins steht, kann man die Wirksamkeit jeder einzelnen Maschine mit einem Blicke beurtheilen. Das letzterwähnte Bassin steht mit den drei Abfallröhren *L* in Verbindung, von denen zwei über die Brücke nach dem Haupttheile der Stadt gehn und die dritte die Vorstadt St. Cyprien am linken Ufer der Garonne versorgt.

Indem das Wasser aus den Bassins *E* unmittelbar in die Pumpen fließt, so konnte man die Windkessel entbehren, die sonst bei Druckpumpen von großer Steighöhe und überhaupt bei langen Röhrenleitungen wesentlich sind und den sanften Gang der Maschine bedingen.

Die Gesamtkosten der Anlage betragen

1) für Zu- und Ableitung des Betriebswassers	170000	Francs
2) für das Maschinengebäude	92000	-
3) für die Maschinen	106000	-
	Summa	368000 Francs

Nach der Mittheilung, die d'Aubuisson im Jahre 1837 über diese Leitung machte, waren bis dahin gar keine namhaften Reparaturen oder Aenderungen nöthig geworden, nur das ursprünglich eingerichtete natürliche Filter lieferte nicht den nöthigen Bedarf, es mußte daher bald weiter ausgedehnt werden, was später auch wiederholentlich noch geschehn ist.

§. 18.

Messung des Wassers.

Wenn man Wasserleitungen durch Quellen speisen will, so entsteht zunächst die Frage, ob diese dem Bedarf entsprechen. Die Ergiebigkeit einer Quelle oder eines Baches läßt sich annähernd (§. 6) aus der Ausdehnung und Beschaffenheit des Terrains beurtheilen, welches die Zuflüsse liefert. Man darf zwar nicht hoffen, auf diese Art eine große Genauigkeit zu erreichen, aber nichts desto weniger sichert eine solche Betrachtung doch vor groben Täuschungen, zu denen eine einmalige directe Messung leicht führen kann. Am sichersten ist es, in verschiedenen Jahreszeiten die Messung der Wassermenge zu wiederholen. Dieses Verfahren ist aber mühsam und häufig unausführbar, man muß sich daher gemeinlich mit einer annähernden Schätzung begnügen. Vorzugsweise kommt es darauf an, die Ergiebigkeit der Quellen zur Zeit der trockenen Witterung und selbst der größten Dürre zu kennen, weilalsdann die gewöhnlichen Brunnen ganz oder theilweise versiegen, also die Wasserleitung am wenigsten entbehrt werden kann. Man darf sich daher nicht zu einer Anlage entschließen, die nur durchschnittlich das erforderliche Quantum liefert, vielmehr ist eine solche als ganz verfehlt zu betrachten, wenn sie nicht bei anhaltender Dürre noch dem Bedürfnisse entspricht.

Die Messung der Wassermenge geschieht gewöhnlich, indem man an einer ziemlich regelmässigen Stelle des Baches das Quer-

profil und die mittlere Geschwindigkeit bestimmt. Es ist dieselbe Methode, die auch bei Flüssen und Strömen angewendet wird, ihre specielle Beschreibung wird daher im zweiten Theile einen passenderen Platz finden. Es tritt indessen bei der Untersuchung von Bächen und Quellen der Uebelstand ein, daß die geringe Wassertiefe häufig die Geschwindigkeits-Messungen nicht genau genug anstellen läßt, und überdies zeigen sich hier auch gemeinhin grofse Abweichungen zwischen den Geschwindigkeiten an verschiedenen Stellen desselben Profiles. Hiernach ist die Bestimmung geringer Wassermengen aus ihrer mittleren Geschwindigkeit keineswegs sicher, und es sind dafür andere Methoden zu wählen, von denen hier die Rede sein soll. Die Ergiebigkeit einzelner Quellen und kleinerer Bäche, besonders wenn sie starke Gefälle haben, läßt sich bequem und sicher dadurch bestimmen, daß man sie in Gefäfsen von bekanntem Inhalte auffängt und die Zeit beobachtet, in der diese sich füllen. Um jedoch zu sichern Resultaten zu gelangen, muß man zwei Umstände dabei nicht außer Acht lassen, nämlich

- 1) muß die Messung während eines constanten und gleichmäfsigen Abflusses erfolgen, damit die aufgefangene Wassermenge wirklich diejenige ist, die der Bach in derselben Zeit regelmäfsig abführt. Man darf also nicht etwa den Bach durchdämmen, und sobald er eine gewisse Höhe des Dammes oder eine darin angebrachte Ausflußöffnung erreicht hat, die überströmende Wassermenge messen. Man muß vielmehr, wenn dergleichen Anlagen gemacht sind, die Messung nicht früher beginnen, als bis der Beharrungsstand eingetreten ist, d. h. bis der Wasserspiegel oberhalb der Stauvorrichtung sich nicht mehr ändert.
- 2) Darf man den künstlichen Stau, der zu diesem Zwecke erzeugt wird, nicht zu hoch treiben, denn in diesem Falle dringt ein Theil des Wassers in den Boden, auch wohl durch diesen in das Unterwasser, woher das beobachtete Resultat zu klein ist.

Am vortheilhaftesten ist es, zur Messung eine Stelle zu wählen, wo die Ufer geschlossen sind und das Gefälle recht stark ist. Hier fängt man den Quell in einer Rinne auf, und gräbt neben derselben das wasserdichte Gefäfs in das Bette ein. Sobald die Strömung in der Rinne zum Beharrungsstande gekommen ist, oder das Oberwasser weder steigt noch fällt, so öffnet man eine Klappe am Boden oder zur Seite der Rinne und läßt ihren ganzen Inhalt nach dem Gefäfse

strömen, während man nach einer Secundenuhr die Zeit der Füllung beobachtet.

Prony führte eine sinnreiche Abänderung dieser Methode ein *), die auch bei andern Beobachtungen benutzt werden kann, und deren ich mich bei manchen hydraulischen Untersuchungen mit Vortheil bedient habe. Ich will sie hier in ihrer Anwendung auf den vorliegenden Fall beschreiben. Man bringt im Bette des Baches einen hölzernen Kasten, oder eine Arche an, die in den verschiedenen Höhen einen gleichen horizontalen Querschnitt haben muß, den ich Q nenne. In diesen Kasten fließt das Wasser durch eine Oeffnung A ein und durch eine zweite Oeffnung B auf der entgegengesetzten Seite oder am Boden ab. Es ist vortheilhaft, die erste recht groß, und die zweite dagegen nur klein anzunehmen. Die Oeffnung A kann durch ein leicht bewegliches Schütz geschlossen werden. Dieses Schütz wird zunächst geöffnet und sonach fließt der ganze Bach durch den Kasten hindurch. Es bildet sich ein Stau bei A und ein zweiter bei B , der letzte wird bei der angegebenen Größe der Oeffnungen bedeutender sein, als der erste. Wenn die Strömung den Beharrungsstand erreicht hat, was man an einem im Kasten aufgestellten Pegel beobachten kann, so schließt man nach einer Secundenuhr das Schütz in der Oeffnung A . Der Kasten erhält alsdann keinen Zufluß mehr, während der Abfluß im nächsten Momente noch der vollen Wassermenge des Baches entspricht, aber nach Maafgabe der eintretenden Senkung des Wassers sich nach und nach vermindert. Man beobachtet die Senkungen, die in gewissen Zeiten eintreten. Bezeichnet man die Senkungen mit z und die Zeiten mit t , so kann man als erste Näherung annehmen

$$z = a \cdot t + b \cdot t^2$$

wo a und b gewisse Constanten sind, die Zeit t aber von dem Augenblicke des Schließens der Oeffnung A gerechnet wird, und z von der früheren constanten Wasserhöhe abwärts zählt. Hat man nun gefunden, daß nach den Zeiten t' und t'' die Senkungen z' und z'' betragen, so kann man durch Einführung dieser Werthe die Constanten a und b berechnen. Man findet aus diesen

$$z = \frac{t}{t'' - t'} \left(\frac{t'' - t}{t'} z' - \frac{t' - t}{t''} z'' \right)$$

*) *Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes par de Prony.* Paris 1802.

und hieraus
$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{t'' - t'} \left(\frac{t'' - 2t}{t'} z' - \frac{t' - 2t}{t''} z'' \right)$$

Dieser Ausdruck bezeichnet die Geschwindigkeit, womit der Wasserspiegel im Kasten sich zur Zeit t senkt, und es kommt darauf an, diese Geschwindigkeit zur Zeit $t = 0$, oder für denjenigen Moment zu kennen, wo das Schütz geschlossen wurde. Für dieses t ist

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{t'' - t'} \left(\frac{t'' z'}{t'} - \frac{t' z''}{t''} \right)$$

Die Geschwindigkeit, womit der Wasserspiegel sich senkt, steht aber in einem bestimmten Verhältnisse zur ausströmenden Wassermenge,

die letztere ist
$$= Q \cdot \frac{dz}{dt}$$

und da zur Zeit des Schlusses der obern Oeffnung noch die ganze Wassermenge ausströmte, so ist diese oder

$$M = \frac{t'' t' z' - t' t z''}{t' t'' (t'' - t')} Q$$

Auf solche Art ergeben zwei Messungen der Senkung des Wassers durch eine leichte Rechnung die Wassermenge des Baches, die Beobachtung wird aber besonders bequem, wenn man gleiche Senkungen wählt, oder $z'' = 2z'$ setzt, weil man alsdann die betreffenden Maasse vorher bestimmen und die Pegel darnach einstellen kann.

Um zu einem hinreichend sichern Resultat zu gelangen, müssen die Senkungen, oder die jedesmaligen Höhen des Wasserstandes sehr scharf beobachtet werden. Dieses geschieht am passendsten durch eine abwärts gekehrte Spitze, die am Nonius des Pegels angebracht ist. Ob dieselbe noch eintaucht oder über dem Wasser schwebt, läßt sich auf der spiegelnden Oberfläche sehr deutlich wahrnehmen. Man stellt sie, während der constante Durchfluß stattfindet, möglichst scharf ein, und liest das Maass ab. Alsdann senkt man sie um eine gewisse Anzahl von Zollen, und später wieder eben so tief, und beobachtet beide male die Zeit, in welcher die Spitze sich von der Oberfläche löst.

Bei diesen Messungen, sowie auch bei Bestimmung der Wassermenge größerer Ströme, legt man eine gewisse Zeiteinheit zum Grunde, gewöhnlich eine Secunde, und ermittelt das Quantum, welches während derselben abgeführt wird. Diese Bezeichnungsart erfordert also zwei Angaben, nämlich die der Zeit und des cubischen Inhalts. Bei gleichmäfsiger Strömung, von der hier nur die Rede

ist, ist indessen die Zeit ein ganz fremdes Element, welches man entbehren könnte, wenn man die Ergiebigkeit mit einem passenderen Maafse, als durch den cubischen Inhalt gemessen hätte. Zu einem solchen, oder zur Einheit dieses Maafses, eignet sich vorzugsweise ein Wasserstrahl von bestimmter Stärke. Diese Messungsart ist bei uns gegenwärtig nicht mehr üblich, doch war sie es früher. In Italien und Frankreich wird sie aber auch noch angewendet. Die Einheit heifst Wasserzoll, und sie ist ein Strahl, der durch eine kreisrunde Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser in einer dünnen und senkrechten Wand unter dem möglichst kleinsten Drucke abfließt, d. h. die Druckhöhe ist so weit ermäßigt, dafs nur eben der obere Rand der Oeffnung noch vom Strahle berührt wird. Das Maafs ist daher genau bestimmt und seine Anwendung bietet auch grofse Bequemlichkeit, der einzige Vorwurf, den man ihr machen kann, besteht darin, dafs sie nur ganze Zahlen angiebt. Der Fehler, den man aus diesem Grunde begeht, ist im Maximum gleich $\frac{1}{2}$, und wird um so unbedeutender, je gröfser die Wassermenge ist. Schon bei fünf Zollen beträgt er nur den zehnten Theil des Ganzen. Diese Genauigkeit ist aber in vielen Fällen genügend, wenigstens kann die gewöhnliche Methode, wonach das Querprofil und die mittlere Geschwindigkeit gemessen wird, bei kleinen Zuflüssen nicht leicht eine höhere und kaum diese Sicherheit geben.

Der Apparat, womit man diese Messung ausführt, ist Fig. 72 *a* im Profile und *b* in der Ansicht von vorn dargestellt. Die Speiseröhre *A*, deren Ergiebigkeit man messen will, mündet über einem Kasten *B*, und aus diesem fließt das Wasser durch mehrere Oeffnungen *C*, die am untern Theile der Zwischenwand angebracht sind, in den Kasten *D*. Letzterer ist nur deshalb vom ersten getrennt, damit die starke Bewegung sich nicht bis an die Kreisöffnungen fortsetze. Zu demselben Zwecke ist der Kasten *D* auch noch durch Zwischenwände getheilt. In der Wand, welche die Kasten *D* und *F* von einander trennt, befinden sich die kreisförmigen Oeffnungen von 1 Zoll Durchmesser, welche zur Messung dienen. Das hier durchfließende Wasser sammelt sich in einem dritten Kasten *F*, von wo es weiter geleitet wird. Hauptbedingung ist, dafs die aus den Oeffnungen tretenden Strahlen sämmtlich gleich stark sind, woher die Oeffnungen gleich grofs, und einem gleichen Wasserdrucke ausgesetzt sein müssen. Aus dem letzten Grunde löthet man die Messing- oder

Kupferbleche, worin in gerader Linie und etwa in 3 Zoll Abstand von Mitte zu Mitte die Oeffnungen eingeschnitten sind, mit großer Sorgfalt auf, so daß die Mittelpunkte aller Oeffnungen gleich hoch liegen, außerdem ist aber auch dafür zu sorgen, daß in den Kasten *B* und *D* sich kein starkes Gefälle bilde, welches den Wasserstand vor den Oeffnungen neben der Speiseröhre merklich höher stellen würde, als vor den entfernteren. Dieses wird erreicht, indem man beiden Kasten ein großes Profil giebt, da aber gewöhnlich der Raum sehr beschränkt und sonach eine große Breite nicht zulässig ist, so bleibt nur die Darstellung einer großen Tiefe möglich. Die Messung geschieht in folgender Art. Die sämtlichen Zollöffnungen *E*, *E* sind mit gewöhnlichen Korken geschlossen, und sobald die Röhre *A* zu wirken anfängt und der Kasten *D* bis zur Höhe der Oeffnungen gefüllt ist, nimmt der Aufseher einen Kork nach dem andern heraus und zwar so lange, bis die durchfließenden Strahlen sich von den obern Rändern der Oeffnungen trennen. Man kann dieses mit der größten Deutlichkeit bemerken. Gesetzt, daß durch fünf Oeffnungen *E*, *E* noch volle Strahlen durchfließen, daß aber, sobald die Oeffnung *E'*, die in der Figur geschlossen dargestellt ist, zu fließen anfängt, die Strahlen sich von den obern Rändern der Oeffnungen trennen, so zeigt dieses, daß die Wassermenge 5 Zoll oder darüber, aber noch nicht 6 Zoll beträgt. Durch diese Oeffnungen fließt das Wasser dauernd ab, und der Aufseher kann zu jeder Zeit sich überzeugen, ob die Wassermenge sich nicht vermindert hat, er kann aber auch leicht wahrnehmen, ob sie sich vermehrt, wenn er von Zeit zu Zeit versucht, noch eine der bisher geschlossenen Oeffnungen frei zu machen. Dieser Meßapparat gewährt sonach den großen Vortheil, daß er eine überaus leichte und bequeme Controlle über die Ergiebigkeit der Wasserleitung dauernd zuläßt.

Wenn das zufließende Wasser nicht eine einzige, sondern mehrere Röhrenleitungen speisen soll, und es nöthig ist, das ganze Quantum unter diese entweder gleichmäÙig, oder nach einem bestimmten Verhältnisse zu vertheilen, oder aber wenn einige derselben ein gewisses Quantum unter allen Umständen erhalten müssen, so läßt sich dieses, wie Fig. 73 *a* im Grundrisse und *b* im Profile zeigt, leicht bewirken, sobald eine zweite Reihe von Zollöffnungen dargestellt wird. Die Steigeröhren *A* gießen das Wasser in möglichst gleichen Abständen in den gemeinschaftlichen Kasten *B* aus, von wo es in

den Behälter *D* tritt. Die Oeffnungen in der Wand des letztern führen es nach *F*, und bei diesem Uebergange geschieht, wie erwähnt, die Messung. Jede Mündung *G* einer zu speisenden Röhrenleitung ist aber wieder in einem besondern Kasten *H* angebracht, dem das Wasser durch eine neue Reihe von Oeffnungen zugeführt wird. Durch Schliessen oder Oeffnen der letzteren kann der Aufseher jeder Leitung ihr Quantum zuweisen.

Die Figuren zeigen die ganze Anordnung der Bassins, wie sie in Frankreich üblich und sehr bequem ist. In dem Thurme auf dem Gebäude der Wasserhebungsmaschine liegen zunächst an der Mauer ganz frei und zugänglich die verschiedenen Steigeröhren. Sie gießen sämmtlich ihren Inhalt in den äußern Kasten, der gemeinhin ohne Zwischenwand entweder an allen vier Wänden des Zimmers, oder doch wenigstens an drei derselben sich hinzieht, indem an der vierten die Treppe liegt. Vor diesem Kasten *A* befinden sich die andern *B*, *C* und *D*, und der Aufseher kann leicht sowol die Controlle, als auch die vorgeschriebene Vertheilung des Wassers ausüben. In der Figur ist noch ein blecherner Cylinder über der Mündung der Röhrenleitung *G* dargestellt, der ringsum mit feinen Oeffnungen versehen ist, um die gröberen Stoffe, die das Wasser vielleicht mit sich führt, vom Eintritt in die Leitung abzuhalten. Gewöhnlich befindet sich in der Achse desselben noch ein Kegelventil, womit die Mündung der Leitung verschlossen werden kann. Endlich sind die sämmtlichen Kasten auf einem starken hölzernen Gestelle in solcher Höhe angebracht, daß der Aufseher möglichst bequem alle Oeffnungen im Auge behalten und erreichen kann. Die äußern Wände der Reservoirs, die dem vollen Seitendrucke ausgesetzt sind, bestehen aus Holz, das Ganze ist aber mit Bleiplatten verkleidet und Bleiplatten bilden die innern Wände mit Ausnahme der Theile, worin die zölligen Oeffnungen eingeschnitten sind. Dieses sind gewöhnlich Kupferplatten. Durch die beschriebene Anordnung wird ein Theil der gewonnenen Höhe allerdings verloren, der Verlust beträgt aber nicht leicht mehr als 1 Fufs und ist daher unbedeutend in Vergleich zu den dadurch erreichten Vortheilen.

Diese Methode läßt sich auch zur Messung der Ergiebigkeit eines Baches anwenden, wenn man denselben durch ein eingegrabenes Brett sperrt, worin die Metallplatte mit den zölligen Oeffnungen eingesetzt ist. Dieses Verfahren empfiehlt sich bei kleinen Wasser-

mengen ganz besonders, insofern der hierzu erforderliche Stau sich auf 2 bis 3 Zoll beschränkt.

Endlich wäre noch die Gröfse des Wasserzolles anzugeben, oder zu bestimmen, wie viel Wasser die zöllige Oeffnung unter den angeführten Umständen in einer gewissen Zeit liefert. Die Lösung dieser Aufgabe bietet in sofern einige Schwierigkeit, als es unbestimmt ist, wie stark das Wasser sich vor der Oeffnung senkt, damit der gesenkte Wasserspiegel so eben den obern Rand der Oeffnung berührt. Man nimmt in Frankreich gewöhnlich an, dafs diese Senkung oder die Druckhöhe über dem obern Rande 1 Pariser Linie beträgt, wenn der Durchmesser der Oeffnung 1 Pariser Zoll ist. Die Druckhöhe über dem Mittelpunkte der Oeffnung wäre also 7 Pariser Linien. Der Contractions-Coefficient, der für solche kleine Druckhöhen gilt, beträgt etwa 0,65. Hiernach kann man die Berechnung anstellen, und sie macht sich am einfachsten, wenn man die unendlich schmalen horizontalen Sectionen der Oeffnung, welche derselben Druckhöhe ausgesetzt sind, durch den Centriwinkel ausdrückt, dessen einer Schenkel vertical aufwärts und dessen anderer nach dem Seitenrande der Schicht gezogen ist. Man erhält alsdann die Wassermenge oder

$$M = \frac{1}{2} c \pi \cdot D^2 \sqrt{gh} \left(1 - \frac{1}{1 \frac{1}{2} 5} \cdot \frac{D^2}{h^2} - \frac{1}{3 \frac{1}{2} 7 7} \cdot \frac{D^4}{h^4} \cdot \dots \right)$$

wo D den Durchmesser der Oeffnung, h die Druckhöhe über dem Mittelpunkte und c den Contractions-Coefficient bedeutet. Hiernach hat man die Wassermenge berechnet, und damit ungefähr übereinstimmend nimmt man in Frankreich allgemein an, dafs ein Wasserzoll in Pariser Maafs in der Minute 15 Pinten oder in 24 Stunden 19,1953 Cubikmeter liefert, d. i. 620,9 Cubikfufs Rheinl. Prony hat vorgeschlagen, die Oeffnung so zu vergrößern, dafs sie in 24 Stunden 20 Cubikmeter giebt, und diesem abgeänderten Wasserzolle gab er die Benennung „*double module d'eau*.“ Bei der Wasserleitung in Toulouse hat man diese Aenderung eingeführt, doch scheint sie sonst keinen Beifall gefunden zu haben.

Wenn die Oeffnung einen Rheinländischen Zoll im Durchmesser hält, so giebt sie unter derselben kleinsten Druckhöhe in der Secunde 0,00602 und in 24 Stunden 520 Rheinländische Cubikfufs.

§. 19.

Ansammlung des Wassers.

Wenn man einen Bach oder Fluß zur Speisung einer Wasserleitung benutzen will, so muß das Wasser an einer Stelle geschöpft werden, wo es möglichst rein ist. Unmittelbar in der Oberfläche oder am Boden darf es aber nicht entnommen werden, weil dort alle schwimmenden Körper in die Leitung treten, oder die davor angebrachten Gitter und Drahtnetze bald sperren würden, am Boden enthält es dagegen meist erdige Theile und geht sogar oft in dünnflüssigen Schlamm über. Man entnimmt daher das Wasser an solchen Stellen, wo es besonders tief ist, und vermeidet die Nähe der Ufer, weil daselbst eine Verunreinigung durch Staub, Blätter u. dergl., auch durch Thiere am meisten zu besorgen ist. Sodann ist eine besonders starke Strömung an der Stelle, wo die Ableitung geschieht, auch nicht vortheilhaft, weil im schnell bewegten Wasser oft feine Sandkörnchen schweben, die sich bei einiger Ruhe niederschlagen. Wenn man einen Damm oder ein Wehr quer durch das Bette führt, so vermeidet man auf die einfachste Weise die erwähnten Nachtheile. Das Wasser staut sich davor an und man gewinnt den nöthigen Wasserstand, um in gehöriger Entfernung von dem Grunde schöpfen zu können. Außerdem wird die Strömung wegen des vergrößerten Profils gemäfsigt und das Wasser ist daher reiner. Endlich tritt hierbei zuweilen auch noch der günstige Umstand ein, daß die Druckhöhe sich etwas vermehrt und dadurch die ganze Leitung an Wirksamkeit gewinnen kann. In dieser Beziehung darf man sich jedoch nicht zu viel versprechen, noch auch einen zu großen Stau bilden, denn die Wassermasse des Quells folgt dem Bette nur, wenn die Widerstände in demselben viel geringer sind, als in den Adern, die sich im Boden und namentlich zwischen den Kies- oder Sandkörnchen befinden. Sperrt man aber das Bette und staut man das Wasser an, so treten sogleich die Nebenwege in Wirksamkeit, und die Leitungsröhre empfängt um so weniger Wasser, je höher man dasselbe anspannt. Dieses Gesetz gilt auch noch, wiewohl aus einem andern Grunde, bei größeren Bächen und selbst bei Flüssen. Staut man dieselben nämlich hoch auf, so wird der Erdboden rings umher stärker befeuchtet, wie früher, die Verdunstung entzieht also ein

größeres Wasserquantum und eine Menge Quellen zeigt sich oft nicht nur am Fusse des Dammes, sondern auch neben demselben und an den Ufern, indem das Wasser wegen des stärkeren Druckes durch den Boden hindurchgetrieben wird und nutzlos verloren geht. Durch eine sorgfältige Dammschüttung und Dichtung derselben läßt sich freilich dieser Uebelstand zuweilen umgehn, doch ist dieses nicht immer möglich.

Mit Rücksicht auf die abzuleitende Wassermenge und die Wichtigkeit der ganzen Anlage werden verschiedenartige Vorrichtungen zum Schöpfen des Wassers gewählt. Eine der einfachsten zeigt Fig. 74 *a* im Längendurchschnitt und *b* in der Ansicht von oben. Die hölzerne Grundrinne *K* liegt in dem Erddamme, der den Stau bewirkt. Sie muß sorgfältig mit einem Lehmschlage umgeben sein, damit das Wasser nicht zwischen ihr und der Erde einen Abfluß findet. An dem vordern Ende, womit sie in den Weiher, oder in das Speisebassin hineinreicht, ist sie mit einem hölzernen Pflock geschlossen, bei vorkommenden Reinigungen wird letzterer herausgeschlagen. Nicht weit davon steht der Rinnstock *L*, auch wohl der Mönch genannt, der sie mit zwei Backen von beiden Seiten umfaßt, und um die Verbindung um so sicherer zu machen, wird die Rinne einige Zoll tief eingeschlitzt, wie in Fig. 74 *b* durch die punktirten Linien angedeutet ist. Der Rinnstock ist auf der dem Quell zugekehrten Seite offen, und wird durch eingesetzte Brettstückchen, die durch das Wasser angedrückt werden, geschlossen. Je mehr derselben eingestellt werden, um so höher spannt man das Wasser, und man kann so nach die Druckhöhe nach Maafgabe der Reichhaltigkeit des Quells etwas vergrößern. Der Zufluß geschieht hier immer in der Oberfläche, woher ein Gitter in dem Rinnstocke angebracht sein muß, um das Eintreiben von Laub und andern schwimmenden Körpern zu verhindern. Endlich muß für die gehörige Dichtung des ganzen Apparats gesorgt werden, indem man in die Fugen zwischen und neben den Brettstücken Moos oder Werg von aufsen eintreibt.

Wenn ein Quell, wie gewöhnlich geschieht, am Fusse einer Anhöhe vortritt, so bietet sich die Gelegenheit, ihn so abzufangen, daß er gar nicht mit der Luft in Berührung kommt, also dem Einflusse der äußern Temperatur ganz entzogen wird. Auch für die Reinheit des Wassers ist diese unterirdische Verbindung mit der Röhrenleitung von wesentlichem Nutzen, weil Pflanzen, wie Thiere, in weit

größerer Menge sich einfinden, sobald der Quell zu Tage tritt, und alsdann auch Staub hineingeweht, oder erdige Theilchen durch Seitenzuflüsse zugeführt werden. Eine Anlage dieser Art nennt man eine Brunnenstube. Fig. 32 auf Taf. III zeigt eine solche, *a* und *b* in zwei senkrechten und *c* in horizontalem Durchschnitte.

Dieselbe ist rings umher, und so auch oben und unten mit Mauerwerk umschlossen. Die Quellen treten zwar gewöhnlich aus rein ausgewaschenen Sand- oder Kies-Schichten hervor, indem durch die dauernde Durchströmung alle Thon- und sonstigen Erdtheilchen daraus fortgespült sind, da jedoch der Sand durch das aufquellende Wasser in Bewegung gesetzt wird, so könnte er auch leicht in die Leitung getrieben werden. Aus diesem Grunde ist die Ueberdeckung der Sohle mit einem dicht schließenden umgekehrten Gewölbe erforderlich. Dieses sowol, wie auch die Seitenmauern ruhen auf einem durchgehenden Fundamente, welches gemeinhin aus Bruchsteinen in Cementmörtel ausgeführt ist. Indem durch die Umfassungsmauern, sowol an beiden Seiten, wie auch rückwärts die im Boden liegenden Wasseradern in das innere Bassin treten sollen, so sind die Mauern etwa bis zu der Höhe des gewöhnlichen Wasserstandes in der Brunnenstube trocken, oder mit offenen Fugen ausgeführt, und auswärts noch mit Steinschüttungen umgeben, damit der Zutritt erdiger Theilchen um so vollständiger verhindert wird. Auf der Thal-seite darf dagegen das Wasser nicht durchdringen. Die hier befindliche Mauer, sowie auch die Flügelmauern werden daher aus Bruchsteinen in Cementmörtel ausgeführt und stehn gleichfalls auf dem waserdichten Fundamente auf. Die obern Theile der Umfassungsmauern, wie auch das Gewölbe, welches die Decke der Brunnenstube bildet, sind wieder in Mörtel gemauert, auch von innen geputzt. Letzteres geschieht zur Sicherung gegen das von oben eindringende Wasser, woher sie auch mit einer fest angestampften Schicht zähen Thones überdeckt sind. Ueber dieser befindet sich die Erdschüttung, welche die ganze Anlage gegen Frost und Hitze schützt.

Die Gröfse der Brunnenstube ist von der anzusammelnden Wassermenge abhängig. Der vordere Theil derselben, zu welchem eine niedrige Eingangsthüre führt, pflegt etwas höher, als der hintere gehalten zu werden, damit die Vorrichtung zum Oeffnen und Schließen der Röhrenleitung sich bequemer benutzen läßt. Zu diesem Zwecke ist in der Höhe der Thürschwelle eine schmale Brücke angebracht,

durch welche die Schraube hindurchgreift, welche die Klappe vor der Röhren-Mündung hebt und senkt. Diese Vorrichtung ist Fig. 32*d* noch in größerem Maafsstabe dargestellt.

Die Röhre schöpft das Wasser etwas über dem Boden der Brunnenstube, der zu diesem Zwecke hier noch gesenkt ist, und tritt alsdann unter der Erdanschüttung aus, so dafs sie nirgend offen liegt. An passender Stelle ist sie jedoch mit einer Abflusrröhre versehen, durch welche bei vorkommenden Reinigungen und Reparaturen die Brunnenstube ganz entleert werden kann.

Nahe unter der erwähnten Brücke befindet sich eine zweite stets offene Röhre, die zur Ableitung des Wassers dient, falls der Quell zeitweise so viel zuführen sollte, dafs die Brunnenstube ganz gefüllt und dadurch die Decke derselben bedroht würde. Sobald diese Röhre in Wirksamkeit tritt, führt sie das Wasser in eine gepflasterte Rinne auf der Anschüttung, welche den Zugang zur Thüre der Brunnenstube bildet.

Anlagen dieser Art kommen vielfach vor, die hier beschriebene ist in der Nähe von Saarbrücken ausgeführt.

Wird das Wasser aus einem Strome oder aus einem See geschöpft, so ist die Speiseröhre auch zugleich Saugeröhre der Wasserhebungs-Maschine. Eine künstliche Aufstauung kommt, wenigstens in schiffbaren Gewässern in diesem Falle nicht vor, doch mufs hinreichende Tiefe vorhanden sein, damit die Mündung selbst beim niedrigsten Wasserstande noch unter diesem bleibt, ohne den Grund zu berühren. Vielfach leitet man in solchem Falle die gusseiserne Röhre über das Ufer und das flache Wasser bis zur genügenden Tiefe auf einer Rüstung und zwar in solcher Höhe, dafs sie beim gewöhnlichen Wasserstande über denselben hinaustritt. Die Mündung ist aber abwärts gekehrt und reicht bis unter das kleinste Wasser herab. In solcher Art wurde unter andern die Wasserleitung Gros-Caillou in Paris aus der Seine gespeist. Hierbei tritt indessen der Uebelstand ein, dafs die Röhre manchen Beschädigungen, namentlich bei Eisgang und zur Zeit des hohen Wassers durch darüber treibende Gegenstände und selbst durch Schiffe ausgesetzt ist. Aus diesem Grunde wählt man häufig eine andre Einrichtung, wonach die Röhre unter die Sohle des Flußbettes versenkt wird und an ihrem Ende in einem starken massiven Bau sich lothrecht erhebt. Letzteren hat man wegen der wirbelnden Bewegung, die

er im Strome erzeugt, Delphin genannt. Fig. 75 auf Taf. V zeigt einen solchen. Die Mündung der Speiseröhre liegt etwa 9 Zoll unter dem kleinsten Wasser, die Röhre selbst senkt sich aber mit schwachem Gefälle vom Delphin ab bis zum Brunnen, aus welchem die Maschine das Wasser schöpft, und treibt sonach den etwa eintretenden Sand bis zu diesem, ohne daß sie dadurch gesperrt werden kann. Bei dieser Anordnung liegt die Röhre so tief, daß sie vor Beschädigungen gesichert ist, und wenn man ihre Mündung schließt, so kann sie im Innern trocken gelegt werden. Die aufwärts gerichtete Mündung muß aber vor möglichen Beschädigungen gesichert werden, und dieses geschieht durch das massive Gebäude, welches sie umgiebt. Dasselbe ist mit einer Reihe fensterähnlicher Oeffnungen versehen, die von außen mit starken Gittern und von innen mit feinen Drahtnetzen geschlossen sind. Durch selbige erfolgt der Zufluß des Wassers. Bei Hochwasser wird das ganze Gebäude überströmt, bei niedrigem Wasser kann man aber heranfahren und auch hineingehen, um die Gitter und Netze zu reinigen. Im Schiffahrts-Interesse ist es nothwendig, die Stelle, wo der Delphin sich befindet, deutlich zu bezeichnen, damit nicht etwa bei hohem Wasserstande Schiffe darauf stoßen. Mehrere Anlagen dieser Art befinden sich in der Themse bei London.

Zuweilen wird der Bach, durch den man die Wasserleitung speisen will, theilweise schon zu andern Zwecken, wie etwa zum Betriebe von Mühlen benutzt, und wenn es alsdann nicht gelingt diese anzukaufen, so bleibt nur übrig, der Leitung nur diejenige Wassermenge zuzuweisen, deren die ältere Anlage nicht bedurfte. Es muß also eine bestimmte Vertheilung eintreten, die oft wieder durch die verschiedenen Witterungsverhältnisse bedingt wird. Gewöhnlich wird zu diesem Zwecke der Zufluß nach der Röhrenleitung durch Schütze oder Ventile, oder auf andre Art von dem dazu angestellten Aufseher regulirt. Diese Anordnung macht indessen die genaue Wahrnehmung des einen und des andern Interesses nur von der Aufmerksamkeit des Wärters abhängig. Man hat sich daher vielfach bemüht, die Bewegung jener Schütze und Klappen durch die veränderte Strömung oder die Veränderung des Wasserspiegels in dem Gerinne oder Bache zu bewirken, um nicht nur den Aufseher zu entbehren, sondern auch um jede eintretende günstige Veränderung in dem Zuflusse, wenn sie auch nur von kurzer Dauer

sein sollte, zu benutzen und jeder Versäumnifs im Ziehn der Schütze vorzubeugen. Bei uns kommen dergleichen Anlagen nicht vor, und man hat im Allgemeinen zu denselben auch wenig Vertrauen, indem man meint, dafs die Maschinerie bald in Unordnung kommen müsse. Man darf indessen nicht vergessen, dafs der Grund des Misßglückens eines Versuches nicht immer in der Unbrauchbarkeit der Erfindung liegt, vielmehr häufig in der unpassenden Anordnung und schlechten Ausführung zu suchen ist.

In England sind Anlagen dieser Art mehrfach zur Ausführung gekommen. Hierher gehören schon die schwimmenden Heber, die bei allen Wasserständen des Baches immer eine gleiche Quantität Wasser abführen. Man richtet sie so ein, dafs der Bach einen Brunnen speist, und in diesem schwimmt eine Kugel, die den über den Rand des Brunnens herüberreichenden Heber trägt und sonach dessen Stellung nach Maafsgabe der Hebung oder Senkung des Wasserspiegels verändert. Damit der Heber indessen immer senkrecht gerichtet bleibt und nach einer bestimmten Seite ausgießt, so hängt er an zwei Ketten, die über Räder führen, und letztere sind durch Gegengewichte so abgeglichen, dafs die gröfsere oder mindere Länge der herabhängenden Ketten ihren Einfluß verliert. *)

In großer Ausdehnung ist diese Selbstregulirung der Zu- und Abflüsse bei der Wasserleitung in Ausführung gebracht, welche Greenock (etwa 1 Meile unterhalb Glasgow an der Clyde) mit Wasser versorgt. Ich will die wichtigsten der daselbst getroffenen Anordnungen nach der Beschreibung von Mallet **) mittheilen und bemerke zuvor, dafs man den Shaw-Fluß oberhalb Greenock in einem großen Bassin von 470 Magdeburger Morgen Grundfläche und mehr als 500 Fufs hoch über dem Niveau der Clyde auffing und außerdem mehrere andere Bassins anlegte, die jedoch nur geringere Ausdehnung haben. Man sammelt hier alles Wasser, was man irgend gewinnen kann, und läßt den bereits bestehenden Mühlen nur soviel, als sie bisher zu ihrem Betriebe benutzten. Der Ueberschuß bei nassem Wetter fließt sonach in das Bassin, und dasselbe geschieht mit der ganzen Wassermenge, wenn sie bei trockner Witterung für

*) Verhandlungen des Gewerbevereins. Zehnter Jahrgang. Berlin 1831. S. 309.

**) *Annales des ponts et chaussées*. 1831. I. S. 152.

die Mühle ungenügend war. Aus diesem Bassin werden zwei Reihen von Mühlen getrieben, von denen die eine 26 und die andere 18 überschlächtige Räder enthält. Endlich dient das Wasser noch zur Versorgung von Greenock und der daselbst anliegenden Schiffe.

Die hier angebrachten Selbstregulirungen der Zu- und Abflüsse beruhen auf verschiedenen Anordnungen, die sich aus den folgenden Beispielen ergeben, die auf Taf. VI dargestellt sind. Fig. 76 zeigt die Vorrichtung, um einen Mühlgraben aus dem Sammelbassin zu speisen, der jederzeit Zufluß erhalten muß, sobald die Mühle in Gang gesetzt wird. *A* ist das Niveau im Bassin, *B* dasselbe im Mühlgraben. Beide sind mit einander durch einen überwölbten Canal verbunden, an dessen oberer Mündung sich ein Schütz befindet, welches durch einen Hebel *DE* gestellt wird. Dieser Hebel erhält seine Bewegung durch einen Schwimmer *FG* im Mühlgraben. Sobald die Mühle in Gang gesetzt wird, senkt sich davor der Wasserspiegel und mit demselben der erwähnte Schwimmer, der folglich das Schütz *C* hebt und dadurch den Zufluß aus dem Sammelbassin eröffnet. Dieser Zustand dauert so lange, bis die Mühle in Ruhe gesetzt wird. Geschieht dieses, so hebt sich der Schwimmer mit dem Wasser vor der Mühle, und sperrt den weitem Zufluß ab. Der Schwimmer *FG* ist 19 Fufs lang und breit und 7 Zoll stark. Der Hebel *DE* mißt im kürzern Arme (auf der Seite des Schwimmers) 9 Fufs und im längern 18 Fufs. Das Schütz *C* ist $3\frac{1}{4}$ Fufs lang und $1\frac{1}{4}$ Fufs hoch. Es trifft sich indessen zuweilen, daß das Oberwasser der Mühle auch durch fremdes von den Seiten zuströmendes Wasser stark gehoben wird, und der Hebel, der nach der beschriebenen Einrichtung sich nur so lange heben kann, bis das Schütz ganz geschlossen ist, würde alsdann durch den Schwimmer einem solchen Drucke ausgesetzt werden, daß die Zugstange des Schützes verbogen werden könnte. Um dieses zu verhindern, ist die Achse des Schwimmers nicht unmittelbar am Hebel befestigt, sondern an einem zweiten Hebel, der durch ein Gewicht *H* in einer bestimmten Stellung gegen den ersten erhalten wird. Sobald der erwähnte Fall eintritt, so hebt sich der zweite Hebel mit dem angehängten Gewichte, so daß der Schwimmer noch ansehnlich höher steigen kann. Diese Vorrichtung fand Mallet seit 13 Jahren im Gange.

Fig. 77 zeigt eine andere zu demselben Zwecke dienende Anordnung, die vor der ersten den Vorzug hat, daß sie noch ange-

wendet werden kann, wenn die Niveaudifferenz zwischen dem Bassin *A* und dem Mühlgraben *B* sehr bedeutend auch das Stauwehr so breit ist, daß jener Hebel nicht mehr bequem herüberreichen würde. Aus dem Speisebassin leitet eine enge Röhre *CD*, die fortwährend geöffnet bleibt, einen feinen Wasserstrahl nach dem Gefäße *E* und dieses entleert sich durch die Röhre bei *F* in den Mühlgraben. Hier befindet sich der kleine Schwimmer *G*, der ein Ventil trägt, womit er die untere Mündung der benannten Röhre von unten verschließt, sobald er bis zu einer gewissen Höhe steigt. Der Erfolg ist sonach der, daß bei einem niedrigen Wasserstande im Mühlgraben der Cylinder *E* leer ist, und bei höherem sich füllt. Die Ausflusmündung aus dem Bassin nach dem Mühlgraben wird durch eine Klappe *I* geschlossen, welche sich um eine horizontale Achse dreht und so eingerichtet ist, daß sie durch den Druck des im Bassin *A* befindlichen Wassers, wie hoch dieses auch steigen mag, nicht geöffnet wird, ihre Bewegung vielmehr nur durch das Anzieln der Kette *K* erfolgen kann. Diese Kette führt über eine Scheibe und trägt ein Gewicht *H*, das im Cylinder *E* hängt. Letzteres übt den Zug auf die Klappe aus, wenn es frei herabhängt, wenn also der Cylinder *E* nicht gefüllt ist, oder wenn das Wasser im Mühlgraben niedrig steht. Dieses geschieht, wenn die Mühle im Gange ist. Sobald sie angehalten wird, füllt sich der Cylinder *E*, das Gewicht *H*, welches ein angemessenes Volum haben muß, schwimmt auf, wodurch die Kette *K* schlaff wird und der Wasserdruck schließt die Klappe.

Der in Fig. 78 dargestellte Apparat hat denselben Zweck, wie die vorhergehenden, unterscheidet sich aber dadurch, daß die Achse des Schwimmers zwei Ventile trägt. Mallet meint, daß diese Vorrichtung sich zur Darstellung eines constanten Niveaus bei hydraulischen Versuchen besonders eignet. Auch hier bezeichnet *A* den Wasserspiegel im Speisebassin und *B* denselben im Canale, worin man das constante Niveau erhalten will. Wie die Figur zeigt, wird der Regulirungs-Apparat durch einen fremden Quell in Thätigkeit gesetzt, doch könnte man dazu auch eine Ableitung aus dem Bassin benutzen. Die Verbindung zwischen dem Speisebassin und dem Mühlgraben wird durch eine Klappe *C* geschlossen, welche durch den Wasserdruck immer geöffnet bleiben würde, wenn nicht das Gewicht *H* mittelst der Kette *K* sie zudrückte. Dieses Gewicht *H* schwebt wieder in einem Cylinder *E*, der mit Wasser gefüllt oder

leer ist, jenachdem der Wasserstand im Mühlgraben niedrig oder hoch ist. An der Achse des Schwimmers *G* befinden sich zwei Kegelventile, wodurch zwei Oeffnungen verschlossen werden können, von denen die eine die Verbindung zwischen dem Reservoir *D* und dem Cylinder *E* darstellt und die andere das Wasser aus dem Cylinder *E* entweichen läßt. Ist jene geschlossen und diese geöffnet, was bei hohem Wasserstande im Canale *B* der Fall ist, so bleibt der Cylinder *E* leer und folglich drückt das Gewicht *H* die Klappe *C* fest an. Senkt sich dagegen der Wasserspiegel *B* und mit demselben der Schwimmer *G*, so öffnet sich das obere Ventil, das Wasser tritt also aus dem Bassin *D* aus, doch ist nunmehr die darunter befindliche Ausflußöffnung durch das andere Ventil geschlossen, das Wasser füllt daher den Cylinder *E*, hebt das Gewicht *H* und die Klappe *C* wird durch den Wasserdruck geöffnet. Das Niveau *B* kann also bei dieser Anordnung sich nur soweit verändern, als die beiden mit einander verbundenen Ventile sich heben und senken können. Bei sorgfältiger Ausführung läßt sich dieser Spielraum leicht auf eine Linie oder noch weniger beschränken. Ein Apparat dieser Art war seit 1819 im Gange. Der Cylinder *E* ist 4 Fuß 1 Zoll weit und 5 Fuß hoch, wogegen das Gewicht *H*, welches gleichfalls cylindrisch ist, 4 Fuß im Durchmesser hält und 4 Fuß hoch ist. Der Schwimmer *G* ist 2 Fuß breit, ebenso lang und 6 Zoll hoch. Die beiden Ventile bei *F* haben 2 Zoll im Durchmesser, endlich die Klappe *C* ist 4 Fuß lang und 6 Zoll hoch, doch ist der Apparat so kräftig, daß die Klappe ohne Nachtheil auch größer sein könnte.

Für den Fall, daß aus einem Mühlgraben, sobald derselbe mehr Wasser führt, als zum Betriebe der Mühlen erforderlich ist, der Ueberschuß nach dem Speisebassin geleitet werden soll, dient die Vorrichtung Fig. 79. *A* ist der Mühlgraben. Die Klappe *BD*, die um die horizontale Achse bei *B* sich dreht, schließt den Abfluß nach dem Speisebassin. Ein gußeiserner Hebel ist an der Klappe befestigt und vermöge des Gegengewichts *E* hält er sie gegen den Wasserdruck geschlossen. Steigt das Wasser im Mühlgraben, so fließt es durch die Rinne *BC* nach dem Eimer *F*, und wie derselbe sich mit Wasser füllt, so wirkt er dem Gewichte *E* entgegen und hebt letzteres zugleich mit der Klappe auf, so daß der Ausfluß erfolgt. Sobald aber der Wasserstand bei *A* sich senkt, so daß der

Zuflufs in den Eimer *F* aufhört, so entleert sich dieser durch eine feine Oeffnung im Boden und das Gewicht *E* schließt wieder die Klappe.

Man möchte vielleicht glauben, daß die ganze Wassermenge, die man bei höheren Anschwellungen ableiten will, in derselben Art über ein Ueberfallwehr von einer gewissen Höhe gestürzt werden könnte, wie das kleine Gerinne *BC* wirkt. So lange jedoch ein Wehr überfluthet wird, senkt sich der Wasserspiegel davor niemals bis zur Höhe seines Rückens, sondern das Wasser steht immer um so höher, je stärker der Zuflufs ist. Will man also einen constanten Wasserspiegel darstellen und große Wassermengen abführen, so muß man Oeffnungen bilden, die einem höheren Wasserdrucke ausgesetzt sind, und dieses ist hier geschehn. Einen Apparat von dieser Art hatte man seit 1821 eingerichtet. Die Klappe *BD* ist 4 Fufs lang und $2\frac{1}{3}$ Fufs hoch, der Hebel hat eine Länge von 5 Fufs. Das Gewicht *E* besteht aus einem eisernen, mit Steinen angefüllten Cylinder von 6 Zoll Durchmesser und 18 Zoll Höhe, und wiegt mit der Füllung 260 Pfund. Der kupferne Eimer *F* dagegen ist 18 Zoll hoch und ebenso weit.

Zu gleichem Zwecke dient auch der Apparat, den Fig. 80 darstellt. Der Abflufs aus dem Mühlgraben *A* ist durch die Klappe *BC* geschlossen, die sich um die horizontale Achse *B* dreht. Der Wasserdruck allein würde diese Klappe sogleich öffnen, wenn nicht das Gewicht *D* sie mittelst einer Kette zurückhielte. Letzteres hängt jedoch in einem gußeisernen Cylinder, der im Mühlgraben steht und in der Höhe desjenigen Wasserstandes, wobei der Abflufs eröffnet werden soll, ringsum mit kleinen Löchern versehen ist. Steigt das Wasser bis hierher, so füllt es den Cylinder, und das Gewicht *D* ist nicht mehr im Stande, die Klappe geschlossen zu erhalten, woher der Abflufs beginnt. Senkt sich dagegen der Wasserspiegel im Mühlgraben, so daß die Löcher kein Wasser dem Cylinder zuführen, so entleert sich der letztere durch die feine Röhre *EF* und das Gewicht *D* zieht wieder die Klappe an. Die Röhre *EF* muß einen so geringen Querschnitt haben, daß sie bei eintretender Wirksamkeit der Oeffnungen im Cylinder nicht den ganzen Zuflufs abführen kann, sie wird aber nicht geschlossen und sonach bildet sich für jeden constanten Zuflufs durch die Oeffnungen auch ein constanter Wasserstand im Cylinder, und zwar wird derselbe um so höher sein, je

größer jener Zuflufs ist. Auf solche Art erreicht man noch den Vortheil, dafs bei höheren Wasserständen im Mühlgraben auch die Klappe um so weiter geöffnet wird. Ein Apparat dieser Art war seit 1817 im Gange, bei demselben ist der gufseiserne Cylinder 5 Fufs 10 Zoll tief und 2 Fufs 1 Zoll weit, das Gewicht *D* ist gleichfalls cylindrisch, sein Durchmesser misst 2 Fufs und seine Höhe beträgt eben so viel, es wiegt 500 Pfund. Die Klappe, die jedoch eine etwas andere Einrichtung hatte, war 4 Fufs hoch und 4 Fufs breit.

Endlich ist noch eine gleichfalls bei Greenock zur Ausführung gebrachte Einrichtung zu erwähnen, die vom Mühlgraben das überflüssige Wasser dem Speisebassin zuweist, und zwar nicht nur zur Zeit des Hochwassers, wo der Graben zu viel Wasser führt, sondern auch zur Zeit der Dürre, wo er so wenig Zuflufs hat, dafs die Mühle doch nicht in Betrieb gesetzt werden kann. Die Regulirung geschieht hier durch einen kleinen Seitenzuflufs, von dessen Reichhaltigkeit es abhängt, ob das Wasser in das Bassin geleitet wird, oder nicht. Diese Anordnung ist insofern angemessen, als man voraussetzen darf, dafs alle benachbarten Quellen nach Maafsgabe der Witterungsverhältnisse gleichzeitig reichhaltiger fliefsen, oder weniger Wasser abführen. Der Mühlgraben nimmt in diesem Falle zwischen dem Speisegraben und der Mühle noch mehrere Quellen und Bäche auf, die zur Zeit eines anhaltenden Regens schon allein das erforderliche Betriebswasser liefern. Bei etwas geringerem Zuflusse darf für die Leitung nur ein Theil des Wassers entnommen werden, und bei noch geringerem gar nichts. Versiegen die Zuflüsse aber immer mehr, so dafs eine gewisse Grenze der Dürre erreicht wird, so darf wieder alles Wasser in das Speisebassin geleitet werden, weil alsdann die Mühle wegen Wassermangel doch ausser Betrieb gesetzt werden mufs. Fig. 81 stellt die Einrichtung dar, welche diese verschiedenen Modificationen des Zuflusses bewirkt. Mallet sagt, dafs sechs solcher Apparate eingerichtet wurden, und Robert Thom, von dem alle diese sinnreichen Erfindungen ausgegangen waren, auch hiervon einen günstigen Erfolg sich versprach. *A* ist der Mühlgraben und *B* die Klappe, die seinen Abflufs nach der Mühle sperrt, sie wird aber nicht nur durch den Wasserdruck geschlossen erhalten, sondern ausserdem noch durch ein kugelförmiges Gewicht, das besonders dazu dient, sie wieder zu schliessen, sobald sie geöffnet war. An

der Klappe befindet sich noch ein zweiter Arm, woran eine Kette befestigt ist, und diese wird angezogen, sobald der Eimer *D* sich füllt. Am Boden des letzteren befindet sich eine Oeffnung, durch welche das hineingeführte Wasser wieder abfließt, und so verschwindet bei einem geringen, oder noch mehr bei gar keinem Zuflusse sehr bald das Uebergewicht des Eimers *D*, und die Klappe *B* wird alsdann geschlossen. Es kommt darauf an, das Wasser aus dem Seitenzuflusse, der im Bassin *E* gesammelt wird, bei einer gewissen mittleren Ergiebigkeit in den Eimer zu führen und bei größerer und geringerer Reichhaltigkeit davon abzuhalten. Dieses geschieht folgendermaassen. Der Seitenzufluss tritt durch die Röhrenleitung und durch den Ausgufs bei *F* in den Eimer. Ist er sehr schwach, so kann der Eimer nicht das Uebergewicht bekommen, indem das Wasser sich nicht darin sammelt, sondern schon mit geringer Druckhöhe durch die Bodenöffnung abgeführt wird. Wird dagegen die im Bassin *E* aufgefangene Wassermenge größer, so genügt die Bodenöffnung im Eimer nicht mehr, die Ansammlung zu verhindern, und derselbe wird so schwer, dafs er die Klappe *B* öffnet. Wird der Zuflufs noch größer, so ist auch die Ausmündung der Leitung *F* nicht mehr genügend, um das Wasser sogleich abzuführen, es steigt alsdann in die cylindrische Erweiterung bei *G*, und hebt den in derselben liegenden Schwimmer, der ein Kegelventil trägt. Sobald dieses gehoben wird, so schließt es die darüber befindliche Oeffnung und sperrt wieder den Zuflufs zum Eimer. Letzterer entleert sich durch die Bodenöffnung so weit, dafs die Klappe *B* sich schließt, und so nach hört auch in diesem Falle die Zuführung des Wassers nach der Mühle auf und dasselbe gelangt zum Speisebassin.

Auch in andern Fällen, als gerade bei solchen Wasserleitungen, wovon hier die Rede ist, hat man Vorkehrungen getroffen, wodurch die Erhebung des Wasserstandes über eine gewisse Höhe verhindert wird. Hierher gehören die heberförmigen Ablässe, welche Garipuy am Canal du Midi anlegte. Fig. 82 *a* und *b* zeigen einen solchen im Querschnitte und im horizontalen Durchschnitte, letzteren nach der Linie *AB* des Querschnittes. Hätte man hier nur ein Ueberfallwehr angebracht, so würde, wie bereits erwähnt, eine starke Erhebung des Wasserspiegels im Canale möglich geblieben sein, und die Gefahr vor einem Durchbruche der Canaldämme an der Thalseite wäre nicht beseitigt. Sobald dagegen diese Heber in Wirk-

samkeit treten, so ist die Geschwindigkeit von der Niveaudifferenz des Ober- und Unterwassers abhängig, und die Wirkung wird eben so kräftig, wie bei Grundablässen. Es sind immer je drei solcher heberförmigen Oeffnungen in einer gemeinschaftlichen Mauer angebracht. Sie haben einen oblongen Querschnitt und sind etwa $2\frac{1}{2}$ Fufs breit und $1\frac{1}{4}$ Fufs hoch, ihre obere Mündung liegt zwei Fufs über der Canalsole, wodurch das Eintreiben schwimmender Körper verhindert wird. Die Bodenfläche der Heber erhebt sich in dem höchsten Punkte bis zur Höhe desjenigen Wasserstandes, den man im Canale zu halten pflegt, und in dieser Höhe liegt auch das enge Luftrohr *CD*. Die Wirksamkeit der Heber ist folgende: bis zu dem erwähnten Wasserstande ist jedes Ueberlaufen verhindert, sobald aber der Canal noch mehr wächst, so fließt durch die Oeffnungen, wie über ein Wehr, etwas Wasser über, doch ist die Menge desselben nicht bedeutend, so lange nicht die Decke des Hebers an der höchsten Stelle erreicht wird. Geschieht dieses, so beginnt die eigentliche Wirkung, da nunmehr die ganze Niveaudifferenz zur Druckhöhe wird. Der Abflufs würde aber ohne das erwähnte Luftrohr nicht früher aufhören, als bis der Canal sich fast ganz entleert hätte. Dieses Rohr unterbricht jedoch die Wirksamkeit des Hebers, sobald der gewöhnliche Wasserstand wieder erreicht ist. Man hat diese Einrichtung, soviel bekannt, bei andern Canälen nie nachgeahmt, sie soll auch insofern nicht empfehlenswerth sein, als sie häufig in Unordnung kommt und schwierige Reparaturen sich dabei oft wiederholen. *)

§. 20.

Filtriren des Wassers.

Die Quellen, so wie auch die Bäche und Flüsse enthalten selten ganz reines Wasser. Die fremden Bestandtheile darin sind zuweilen verschiedene Erdarten, die fein zertheilt im Wasser schweben,

*) *Programme ou Résumé des Leçons d'un cours de construction, ouvrage de feu Mr. Sganzin, quatrième édition par Reibell. Paris 1839. Tom. II. p. 136.*

ohne mit demselben in chemische Verbindung getreten zu sein, häufig findet Letzteres auch in so geringem Maasse statt, daß diese Verunreinigung unbeachtet bleiben darf. Außerdem rührt die Verunreinigung des Wassers in manchen Fällen auch von Stoffen her, die in größerer Menge darin aufgelöst sind, und weder durch Trübung, noch auch durch Färbung sich zu erkennen geben. Manche Gebirgsarten sind im reinen Wasser löslich, wie Gyps, Steinsalz u. a. Viel häufiger ist aber Kohlensäure, und zuweilen sogar in sehr großer Menge im Quellwasser enthalten. Auch andres Wasser, das lange mit der Luft in Berührung bleibt, zieht aus der Atmosphäre die Kohlensäure an. Besonders nachtheilig ist aber die Verunreinigung, wenn das Wasser organische Stoffe enthält, die bereits in Fäulniß übergegangen sind. Es nimmt alsdann einen faulen, widerlichen Geschmack an, und es erzeugen sich darin Pflanzen und Thiere, woher man vor solchem Wasser die Leitungen besonders bewahren muß. Sobald aber eine größere Menge Kohlensäure im Wasser enthalten ist, so wird dessen auflösende Kraft verstärkt, und namentlich verbindet es sich alsdann leicht mit kohlensaurem Kalk, und nimmt große Massen desselben auf. Dasselbe geschieht mit dem weit verbreiteten kohlensauren Eisenoxydul, welches dem Wasser oft eine braune Farbe giebt.

Dieses sind die gewöhnlichsten chemischen Verbindungen, die sich im Quell- und Flußwasser vorfinden. Wie man dieselben erkennt, gehört nicht hierher, und ebensowenig die Auseinandersetzung der Methode, wodurch einer oder der andere fremde Bestandtheil daraus geschieden werden kann. Letzteres geschieht auch niemals bei größeren Wasserleitungen, man beschränkt sich vielmehr nur darauf, die im Wasser schwebenden Theilchen, die also nicht chemisch damit verbunden sind, zu entfernen. Nur in kleineren Filtrir-Apparaten wird die Kohle, und zwar vorzugsweise die Knochenkohle, benutzt, um dem Wasser den faulen Geschmack zu nehmen, oder es werden auch chemische Mittel angewendet, um die Reinigung eines unbrauchbaren und selbst eines trüben Wassers entweder eintreten zu lassen, oder doch zu befördern. So wird zu diesem Zwecke in Paris der Alaun benutzt, in Egypten reibt man dagegen eine Art Brod, das aus Mandeln gebacken ist, an die Wände eines thönernen Gefäßes, und indem man darin das Wasser stark

umrührt, so klärt es sich in wenig Stunden auf, und nimmt einen reinen Geschmack an. *) Aehnliche Vorrichtungen kommen bei gröfseren Anstalten, von denen hier nur die Rede sein kann, nicht vor, diese beziehen sich vielmehr allein darauf, durch längere Ruhe die im Wasser schwebenden Erdtheilchen niederzuschlagen, oder sie durch Filtriren zu entfernen. Es handelt sich hier also immer nur um die Lösung der mechanischen, aber nicht der chemischen Verbindungen.

Das erste Mittel, nämlich das Niederschlagen durch blofse Ruhe, hat bei der Anwendung im Grofsen manche Schwierigkeiten. Das aus einem schnell fließenden Strome geschöpfte Wasser ist gewöhnlich sehr trübe, und pflegt in den ersten 24 Stunden noch nicht den nöthigen Grad von Klarheit und Reinheit zu gewinnen, so dafs es längere Zeit hindurch stehn muß. Dieser Umstand bedingt die Anlage von mehreren, nämlich wenigstens drei Bassins, deren jedes den ganzen Bedarf für einen vollen Tag fafst. Wenn man aber die häufigen Reinigungen und Reparaturen berücksichtigt, so sind sogar vier solcher Bassins erforderlich. Die Beschaffung des dazu nöthigen Raumes ist in der Nähe grofser Städte, und besonders da eine bestimmte Localität Hauptbedingung bleibt, und man eine willkührliche Verlegung nicht vornehmen darf, sehr schwierig und kostbar. Ebenso veranlafst ihre Einrichtung und Unterhaltung auch grofse Kosten. Besonders nachtheilig ist es aber, dafs solche Bassins, wenn sie die nöthige Ausdehnung haben, nicht leicht den Sonnenstrahlen und dem Staube durch eine Verdachung entzogen werden können. Im Winter tritt ein anderer Uebelstand ein, der eben so nachtheilig ist, indem das Wasser bis zum Gefrieren erkaltet. Aus diesen Gründen muß man von der Klärung des Wassers durch blofse Ruhe meist absehn, wenigstens in dem Falle, wenn die beabsichtigte Reichhaltigkeit der zu speisenden Wasserleitung die Anlage ausgedehnter Bassins erfordert. Handelt es sich dagegen nur um kleinere Reservoirs, die mit einem Gewölbe überspannt werden können, so verschwinden die erwähnten Nachtheile beinahe ganz.

Man kann einem Bassin, in welchem das Wasser geklärt werden soll, gewöhnlich keine bedeutende Tiefe geben, weil die Höhe, zu der das Wasser gehoben wird, in gleichem Maafse vergrößert

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1836. I. p. 102.

werden müßte. Die Maschine muß nämlich so kräftig wirken, daß sie das Bassin bis zum Rande füllen kann, während die Röhre, welche das reine Wasser abführt, nur in der Nähe des Bodens liegen darf, weil sonst von dem Inhalte des Bassins jedesmal ein großer Theil unbenutzt zurückbliebe. Wenn es demnach darauf ankommt, eine große Wassermasse im Bassin zu fassen, so muß dieses eine bedeutende Länge und Breite erhalten. Es giebt deren viele, die über hundert Fuß breit und mehrere hundert Fuß lang sind, woher eine Ueberdachung und vollends eine Sicherstellung gegen Erwärmung und Frost nicht ohne sehr große Kosten möglich ist. Man pflegt daher bei ihrer Anlage vorzugsweise nur die möglichste Wasserdichtigkeit zu berücksichtigen. Zu diesem Zwecke besteht der Boden meist aus einem sorgfältig ausgeführten und mehrere Fuß mächtigen Thonschlage, und die Seiteneinfassungen werden durch starke Mauern gebildet, an welche gemeinhin auf der äußern Seite sich noch Erdböschungen anlehnen. Außerdem muß man die ganze Anlage so einrichten, daß sie vor heftigen Winden geschützt ist.

Endlich muß man auch die häufig vorkommenden Reinigungen berücksichtigen, denn das Bassin würde sonst nicht nur durch die Niederschläge sich immer mehr verflachen, sondern sich auch als ganz unwirksam erweisen, wenn hohe Schlammschichten darin lägen. Zu diesem Zwecke pflegt man die Sohle nicht nur zu befestigen, so daß sie ohne beschädigt zu werden, gespült und gefegt werden kann, sondern man giebt ihr auch regelmäßige Gefälle und versieht sie mit Rinnen, die zu besondern Ausflußöffnungen führen, um alles Wasser und allen flüssigen Schlamm daraus leicht entfernen zu können. Gemeinhin fällt die Sohle des Bassins von beiden Seiten nach der Mittellinie sanft ab, und hier befindet sich eine flache, ausgemauerte Rinne, die etwa 4 Fuß weit ist, und mit geringem Gefälle nach derjenigen Ausflußmündung führt, die nur bei vorkommenden Reinigungen benutzt wird. Um aber die Schlammablagerungen durch Fegen alsdann sicher beseitigen zu können, ohne die Sohle anzugreifen, so wird diese mit einem gut schließenden und fest eingerammten Steinpflaster versehen. In solcher Art pflegt man diese Bassins in England zu behandeln, und ihre Reinigung erfolgt besonders leicht und vollständig, wenn sie in kurzen Zwischenzeiten vorgenommen wird.

Beim Filtriren des Wassers werden die darin schwebenden

Erdtheilchen nicht nur vollständiger, sondern, wenn das Filtrum die gehörige Ausdehnung hat, auch schneller ausgeschieden. Es tritt dabei gar keine Unterbrechung der Bewegung ein. Während die Pumpe das Wasser unaufhörlich zuführt, reinigt sich das Wasser, und tritt sogleich in die Leitung. Hierdurch werden die oben erwähnten Uebelstände umgangen, und man hält allgemein, wenigstens bei großen Wasserleitungen, das Filtriren für viel zweckmäßiger, als das Klären durch Ruhe.

Kleine Filtrirapparate werden nicht nur mit Sand und Kies, sondern auch mit Schwämmen, porösen Steinen, Kohlen und andern Stoffen gefüllt, und sind häufig ziemlich künstlich eingerichtet. Im Großen, und wenn sie zur Speisung ausgedehnter Wasserleitungen dienen, werden sie dagegen jedesmal sehr einfach angeordnet. Auf dem Boden des wasserdichten Bassins werden Canäle dargestellt, in welchen das filtrirte Wasser sich sammelt, darüber befinden sich Schüttungen von groben, von kleineren Steinen, von Kies und von Sand, so daß der feinste Sand, in welchem die Filtration erfolgt, die obere Lage bildet. Das trübe Wasser überdeckt den Sand noch mehrere Fuß hoch. Indem es ihn durchdringt, klärt es sich, und dringt bis zu den Canälen herab, die es sogleich der Leitung zuführen.

Der größte Uebelstand beim Gebrauche dieser Filtrirvorrichtungen besteht darin, daß die erdigen Stoffe, die sich aus dem Wasser ausscheiden, die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern verstopfen, und dadurch nicht nur die Wirksamkeit der Anlage, oder die Ergiebigkeit des Filters in kurzer Zeit schwächen, sondern bald sogar ganz unterbrechen. Um dieses zu verhindern, muß man von Zeit zu Zeit die obere Lage der Sandschüttung entfernen, und durch eine reine ersetzen. Dieses ist aber bei großen Apparaten mit bedeutenden Kosten verbunden, und man hat daher versucht, Vorrichtungen zum Selbstreinigen des Filters anzubringen, oder abwechselnd Strömungen in entgegengesetzten Richtungen darzustellen. Die Erdtheilchen, welche im Wasser schwebten und von demselben in die Zwischenräume des Sandes hineingezogen wurden, bis sie irgendwo nicht weiter dringen konnten und stecken blieben, verhindern nämlich die Bewegung des Wasser nur in dessen bisheriger Richtung, sobald aber eine Strömung von unten nach oben eintritt,

so werden sie auf demselben Wege entfernt, auf dem sie eingedrungen waren.

Diese Einrichtung hat unter Andern der Ingenieur Thom zu Greenock in Ausführung gebracht. *) Er erbaute drei Filtrir-Bassins, jedes 50 Fufs lang, 12 Fufs breit und 8 Fufs hoch, die so eingerichtet waren, dafs das zu filtrirende Wasser beliebig von oben oder von unten eingeleitet werden konnte. Das Sandbette, bestehend aus feinem, gehörig ausgewaschenem Kiessande, hatte eine Höhe von 5 Fufs, darin befand sich auch Knochenkohle, um dem Wasser die geringe Färbung und den unangenehmen Beigeschmack, der von seiner Ansammlung in Moorgegenden herrührte, zu benehmen. Das so gewonnene Wasser war vollkommen klar, farblos und von reinem Geschmacke. Mit der Zeit wurde indessen die Wirksamkeit des Filters geschwächt. Alsdann verschlofs man die Ableitungsröhre am Boden des Bassins, und liefs das Wasser nicht mehr von oben, sondern von unten eintreten, und zwar unter einem etwas verstärkten Drucke. Es quoll alsdann sehr trübe an der Oberfläche des Filters hervor. Man leitete dieses durch eine besondere Oeffnung ab, und die Reinigung ging so schnell von statten, dafs schon nach wenig Minuten wieder klares Wasser folgte, worauf die Richtung des Stromes aufs Neue verändert wurde, und das Filter in gewöhnlicher Art wirkte. Dasselbe zeigte sich anfangs auch recht kräftig, doch sagt Thom selbst, dafs man hierdurch die Wirksamkeit keineswegs für beständig sichern könne, vielmehr müsse das Sandbette von Zeit zu Zeit erneut werden. Nichts desto weniger meint er, dafs dennoch die Unterhaltung wohlfeiler, als bei der gewöhnlichen Einrichtung sei.

Diese Erwartung ist wohl nicht in Erfüllung gegangen. Schon früher untersuchte eine Commission, deren Mitglied Telford war, einige Filtrir-Apparate ähnlicher Art, und berichtete darüber nicht vorthellhaft. Namentlich hatte sie gefunden, dafs die aufwärts gerichtete Strömung das ganze Sandbette in Bewegung setzt, und es so in Unordnung bringt, dafs später der Sand in die Unterlage dringt. Die Commission spricht die Ansicht aus, dafs alle Versuche zur Darstellung entgegengesetzter Strömungen in den Filtrir-Apparaten theils unwirksam und theils mit andern Nachtheilen verbunden, aber jedenfalls sehr kostbar sind. **)

*) *Annales des ponts et chaussées*, 1831. I. p. 222.

**) *Life of Telford*. London 1838. p. 645.

Um an einem Beispiele die erwähnte Einrichtung näher zu beschreiben, wähle ich die Filtriranstalt, die man bei Couchin ohnfern Cherbourg erbaut hat, um das Wasser der Divette, bevor es nach dem Arsenele und der Stadt Cherbourg geleitet wird, zu reinigen. Fig. 83*a* Taf. VI zeigt den Durchschnitt durch die Mitte des Gebäudes und Fig. 83*b* den Grundriß in der Höhe der Sohle des Zuleitungscanals. Dieser Zuleitungscanal *AB* führt das zu reinigende Wasser nach dem Filter *C*, worauf es in die beiden Bassins *D* und *E* tritt. Letztere stehn durch die überwölbte Oeffnung *F* unter dem erwähnten Canale mit einander in Verbindung und speisen die Röhrenleitung *G*. Das Filter befindet sich in einem gemauerten Bassin. Auf sieben Unterlagen, die der Länge nach durchreichen, liegen die Roststäbe, welche den groben Kies tragen, auf letzteren ist feinerer Kies und darüber Sand geschüttet. Mit dem Raume unter dem Filter steht eine gußeiserne Röhre *I* in Verbindung, die am Boden des Zuleitungscanals dicht vor dessen Ausmündung abgeht, demnächst aber auch zwei kurze Röhren *H*, die zu den Bassins *D* und *E* führen. In den obern Theil des Filters, oder über dem Sandbette mündet der Zuleitungscanal, ferner die beiden kurzen Röhren *K*, welche die Verbindung mit den Bassins *D* und *E* darstellen und endlich die Röhre *L*, welche den Anfang der Röhrenleitung *G* bildet. Wenn das Filter von unten gespeist wird, so ist das Schütz *B* an der Ausmündung des Zuleitungscanals geschlossen und die Röhre *I* geöffnet, wodurch das trübe Wasser unter den Rost tritt. Indem zugleich die beiden Röhren *H* geschlossen sind, so muß das Wasser von unten nach oben das Filter durchdringen, und fließt durch die Röhren *K* nach den beiden Reservoirs *D* und *E*, oder unmittelbar durch die Röhre *L* nach der Leitung ab. Im entgegengesetzten Falle, wenn der Wasserstand im Zuleitungscanale niedriger wird, so muß das Filter von oben gespeist werden, weil man sonst nicht den nöthigen Druck darstellen könnte, um das Wasser hindurchzutreiben. Die Röhre *I* wird alsdann geschlossen und dagegen das Schütz *B* geöffnet. Ferner schließt man die Oeffnungen *K* und die Röhre *L*. Sobald das Wasser unter dem Roste anlangt, fließt es durch die Oeffnungen *H* in die Reservoirs *D* und *E* und aus diesen durch die beiden Mündungen *M* in die Röhrenleitung *G*. Durch die beiden Röhren *M* kann man auch die Reservoirs entleeren, falls sie bei der Umkehrung der Strömung mit trübem Wasser ge-

füllt sind, oder falls das Filter wegen Reparaturen außer Thätigkeit gesetzt wird.

In den von Fonvielle angegebenen Filtern, die mehrfach in Frankreich angewendet sind, findet gleichfalls die Reinigung durch aufwärts gerichtete Strömung statt. Dieselben unterscheiden sich vorzugsweise von den sonst üblichen durch den übermäßigen Druck, unter dem sie wirken und der nach einzelnen Versuchen bis 200 Fufs und darüber gesteigert ist, wodurch die Ergiebigkeit von 1500 Cubikfufs für den Quadratfufs in 24 Stunden erreicht sein soll. Augenscheinlich läfst sich dieser Druck, der wahrscheinlich durch Compression der Luft erzeugt wird, nicht bei grofsen Bassins darstellen, vielmehr nur in eisernen Gefäfsen, die nur 6 bis 8 Quadratfufs Oberfläche hatten. — Dabei mag sogleich bemerkt werden, dafs man in neuerer Zeit auch vorgeschlagen hat, die Wirksamkeit der Filter dadurch zu verstärken, dafs man unter der Schüttung die Luft verdünnt.

Wenn man eine Wasserleitung mit Flußwasser speist und dieses reinigen will, so kann man die Sandablagerungen, welche gemeinhin neben dem Flußbette liegen, als natürliche Filter benutzen, und es genügt schon, eine Vertiefung darin zu bilden und selbige auszupumpen, weil das zudringende Wasser beim Durchgange durch den Sand filtrirt wird. Diese Reinigung, welche eigentlich bei allen Brunnen stattfindet, die in sandigem Boden das Grundwasser sammeln, hat man mehrfach auch zum Filtriren gröfserer Wassermengen benutzt, und namentlich ist dieses bei Glasgow geschehn. Am Ufer des Clyde, und zwar in einer vortretenden Sandbank, wurden, wie Matthews angiebt, etwa 30 Stück cylindrische horizontale Röhren von 2 Fufs lichtigem Durchmesser und in 33 Fufs Abstand von einander in Ziegeln, jedoch ohne Mörtel ausgeführt und mit Kies und reinem Sande beschüttet. Diese Röhren oder Gewölbe standen sämtlich mit einer querlaufenden Gallerie in Verbindung, welche die gußeiserne Saugeröhre der Dampfmaschine speiste. Der Erfolg entsprach freilich Anfangs nicht den Erwartungen, und zwar trat der Uebelstand ein, dafs eine Menge Sand in die Pumpen kam. Nichts desto weniger ist dieses Verfahren doch beibehalten worden und der erwähnte Uebelstand scheint auch beseitigt zu sein. Dagegen bemerkte man bald, dafs das Wasser, obwohl es Anfangs in hinreichender Menge eingedrungen war, abnahm, indem dieses natür-

liche Filter sich ebenso wie die künstlichen verstopfte. Man mußte daher eine weitere Ausdehnung der Leitungen vornehmen, um den Bedarf an andern Stellen zu sammeln. Dieser Umstand war vorzugsweise Veranlassung, daß man bei Greenock die abwechselnde Strömung in dem Filtrirapparate einrichtete.

Wenn man die Sandschellen neben dem Flußbette zum Filtriren des Wassers benutzt, so kann man kaum erwarten, daß nicht auch hier die Oberfläche, durch welche das Wasser in den Sand eintritt, sich nach und nach mit Schlamm versetzt und dadurch die Wirksamkeit schließlicly aufhört. Nichts desto weniger ist in diesem Falle die Ausdehnung der Sandmasse, und namentlich der vom Flusse berührten Oberfläche, viel größer, als bei allen künstlichen Filtern, und es ist daher im Allgemeinen wohl anzunehmen, daß die Sperrung der Zwischenräume hier viel langsamer vor sich geht. Von großer Wichtigkeit sind dabei aber die im Flußbette eintretenden Veränderungen, und am vortheilhaftesten ist es gewiß, wenn die Sandschelle zu Zeiten abbricht, zu Zeiten aber wieder anwächst, weil in diesem Falle der Strom selbst die Beseitigung der verunreinigten Schichten und deren Ersetzung durch andre veranlaßt. Andererseits wird aber das Filter ganz unbrauchbar, wenn Thonschichten auf und neben dem Sandfelde sich ablagern sollten. Endlich kommt die Entfernung des Sammelbassins oder des künstlichen Quells vom Flusse in Betracht, und ebenso die Höhenlage des Wasserspiegels in demselben. Je tiefer man diesen durch die Pumpen senkt und je näher das Bassin am Flusse liegt, um so kräftiger dringt das Wasser hinzu, oder um so schneller filtrirt dasselbe. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich auch, den Bassins eine große Ausdehnung in der Richtung des Flusses zu geben, wenn man bedeutende Wassermassen gewinnen will. Nur die äußere Oberfläche der dazwischen befindlichen Sandablagerung bewirkt die Filtration, dieselbe muß also möglichst vergrößert werden, und die Ergiebigkeit wird daher nicht vermehrt, wenn man das Bassin landwärts, also normal gegen die Richtung des Flusses verlängert.

Bei diesen natürlichen Filtern rühmt man noch, daß das Wasser unabhängig von der Temperatur des Flußwassers, die Wärme des Erdbodens annimmt, also im Sommer sich abkühlt und im Winter sich erwärmt. Es ist jedoch kaum zu erwarten, daß bei kräftiger Filtration diese Ausgleichung dauernd erfolgen möchte, vielmehr

dürfte die Sandmasse nach und nach die Temperatur des hindurchfließenden Wassers annehmen.

Die wenigen Erfahrungen über Filter dieser Art, die zum Theil auch den Erwartungen nicht entsprachen, haben bisher noch nicht unbedingtes Vertrauen dafür erweckt, noch auch zu allgemein gültigen sichern Schlusfolgen berechtigt. D'Aubuisson hat in dem oben angeführten Aufsätze *) über die Wasserleitung zu Toulouse das Terrain, worauf die Filter eingerichtet wurden, und die dabei gemachten Erfahrungen sehr sorgfältig und vollständig beschrieben.

Dicht oberhalb des Maschinengebäudes befindet sich am linken Ufer der Garonne neben der Strafe Dillon eine ausgedehnte Kiesbank, welche zur Darstellung der Filter benutzt ist. Fig. 84 zeigt dieselbe. Sie besteht größtentheils aus Kies und Sand, doch finden sich darin auch gröfsere Geschiebe und hin und wieder thonige Niederschläge. An der Stelle, wo das Filter I angelegt wurde, hatte man versuchsweise eine Grube ausgehoben und die Wassermenge gemessen, die hineindrang. Man erwartete hiernach, dafs ein Filter von 105 Fufs Länge und 73 Fufs Breite, das bis $3\frac{1}{2}$ Fufs unter den niedrigsten Wasserstand der Garonne herabreicht, die verlangten 200 Wasserzoll geben würde. Obgleich die Schlusfolge nicht ganz sicher war, auch sogleich in Zweifel gestellt wurde, so kam der Vorschlag dennoch zur Ausführung, und mit der Darstellung des Filter I wurde der Anfang gemacht. Eine gufseiserne Röhrenleitung führte das angesammelte Wasser vom Punkte *A* über *B* und *D* nach dem Maschinengebäude *C*. Als man zu pumpen anfang, zeigte es sich, dafs das Resultat bedeutend unter dem erwarteten blieb, man hatte durchschnittlich kaum 60 Wasserzoll, aber das Wasser war rein, und blieb auch klar, wenn die Garonne sich stark trübte. Um die Zuflüsse zu vermehren, gab man darauf dem Filter eine Ausdehnung von 344 Fufs und schlofs es zugleich mit Deichen ein, um das höchste Wasser davon abzuhalten. Die Zunahme der Wassermenge entsprach jedoch keineswegs dieser Verlängerung und betrug kaum 30 Zoll, so dafs man immer noch nicht die Hälfte von dem hatte, was man brauchte. Der Grund von der geringen Ergiebigkeit der Verlängerung des Filters lag augenscheinlich darin, dafs die zuerst eröffnete Strecke schon ringsum das Wasser angesogen hatte und

*) *Annales des ponts et chaussées*, 1838. S. 273 ff.

man also bei der weiteren Fortsetzung nicht mehr den stark durchnässten Boden, wie das erste Mal, antraf.

Bald zeigte sich ein zweiter Uebelstand. Das filtrirte Wasser war Anfangs rein und klar, im zweiten Jahre bildete sich ein starker Pflanzenwuchs in dem offenen Bassin und das Wasser nahm schon einigen Beigeschmack an. Im dritten Jahre vergrößerte sich das Uebel auf eine sehr unangenehme Art, woran namentlich die große Hitze Schuld war. Die Pflanzen vegetirten aufs üppigste in dem Bassin, und ihre Beseitigung war unmöglich. Frösche und andere Thiere fanden sich in großer Anzahl ein, und indem sie hier starben und faulten, wurde das Wasser in dem folgenden Jahre ganz unbrauchbar. Eine Aenderung der ganzen Einrichtung war daher dringend nöthig, das Filter mußte überdeckt werden. Auf d'Aubuisson's Rath wurde dasselbe so gut wie möglich gereinigt und am Boden ein überwölbter Gang in gebrannten Steinen, jedoch mit offenen Fugen, ausgeführt, worin das Wasser sich ansammeln sollte. Zur Seite desselben und darüber brachte man eine Schüttung von großen Steinen an, die beinahe die ganze Höhe der Ausgrabung füllte. Ueber diese schüttete man kleinere Steine, dann Kies und endlich trug man die Deiche wieder ab und füllte mit dem Sande, woraus sie bestanden, die Vertiefung vollends aus. So war die ursprüngliche Oberfläche wieder hergestellt und konnte in ihrer ganzen Ausdehnung als Viehweide benutzt werden. Eine Beaufsichtigung des Filters, die früher nothwendig gewesen war, wurde dadurch entbehrlich, doch führte bei A eine Treppe herab und von hier aus konnte man den Zustand und die Wirksamkeit der Anlage jederzeit beobachten. Die Resultate dieser Aenderung waren höchst befriedigend. Das Wasser nahm seine frühere Klarheit und Frische wieder an und hat dieselbe seitdem behalten. Selbst während der heißesten Zeit erreicht es keine höhere Temperatur als etwa 13 Grad Réaumur, und im Winter 1830, nachdem es 25 Tage hindurch stark gefroren hatte, zeigte es noch 6 Grade über dem Gefrierpunkte. Die gesammten Kosten für die Anlage und die Abänderungen dieses Filters beliefen sich auf 44700 Francs, doch meint d'Aubuisson, daß es für die halbe Summe sogleich in seiner letzten Gestalt hätte eingerichtet werden können.

So günstig das erreichte Resultat in gewisser Beziehung war, so genügte es doch nicht, denn man brauchte 200 Wasserzolle und

hatte deren noch nicht 100. Statt auf dem bereits mit Glück verfolgten Wege weiter fortzufahren, schenkte die städtische Behörde einem Brunnenmacher ihr Vertrauen, der die Ausführung einer Reihe Brunnen vorschlug, die mit einander in Verbindung gesetzt werden sollten. Ob man solche Brunnen, oder eine zusammenhängende Gallerie baute, konnte im Wesentlichen keinen Einfluß haben, nur die Kosten vermehrten sich durch diese Aenderung. Das erste Filter war durchschnittlich 15 Ruthen vom Strome entfernt, und die Erfahrung hatte gezeigt, daß dieses genügte. Es blieb ungewiß, ob eine Aenderung in dieser Beziehung vortheilhaft sein würde, und da man dieses voraussetzte, so verlegte man das neue Filter, wie die Figur zeigt, zwischen *D* und *E* in einen Abstand von etwa 3 Ruthen vom Flusse. Im Anfange des Jahres 1827 wurde dieses Project genehmigt. Auf eine Länge von 24 Ruthen wurden, nachdem ein Graben hier eröffnet war, 11 Brunnen versenkt, deren oberer Rand etwa 4 Fufs unter dem Boden lag. Man verband sie unter einander durch gußeiserne Röhren, bedeckte sie mit gußeisernen Platten und überschüttete Alles mit Kies. Das Wasser dieses zweiten Filters vereinigte sich bei *D* mit dem des ersten und beide wurden zusammen nach den Pumpen geführt. Die Kosten dieser neuen Einrichtung beliefen sich auf etwa 27000 Francs, die Resultate waren aber in keiner Beziehung befriedigend. Man gewann nicht mehr als 60 und höchstens 80 Wasserzoll, und das Wasser hatte einen modrigen Geschmack, weil die Brunnen zum Theil in schlammigem Boden versenkt waren. Das Uebelste war aber, daß das Wasser immer beinahe die Temperatur des Flusses annahm und zwischen 17 und 2 Graden Réaumur wechselte. Die große Wärme verursachte wieder, obgleich der Zutritt der Luft und des Lichtes abgeschlossen war, einen starken Pflanzenwuchs und zwar von feinen Wasserpflanzen, die man durch dichte Drahtgewebe von den Leitungsröhren abzuhalten suchte, die aber wegen ihrer Feinheit dennoch das Wasser mit kaum sichtbaren Fäden verunreinigten. Ein anderer Uebelstand war, daß die Röhren bei der geringen Strömung, die in ihnen stattfand, und bei der höheren Temperatur stark rosteten. Der Eisengehalt des Wassers färbte auch den Marmor in den Bassins der Springbrunnen und fließenden Brunnen. So hatte dieses zweite Filter in keiner Beziehung den Erwartungen entsprochen, man wollte es auch eingehn lassen, doch waren einige Stimmen dafür, es

noch beizubehalten und nur die eisernen Röhren durch steinerne zu ersetzen.

Die Anlage eines dritten Filters war nicht zu umgehn. Im Anfange des Jahres 1829 legte man dasselbe an, und gab ihm nicht nur die nöthige Ausdehnung, um den noch fehlenden Bedarf von 40 bis 50 Wasserzoll zu decken, sondern richtete es so ein, daß es 160 Zoll lieferte, und man also für den gewöhnlichen Gebrauch das zweite Filter entbehren konnte. Man berücksichtigte bei seiner Darstellung nur die Erfahrungen, die man beim ersten Filter gemacht hatte. Es ist von *F* bis *G* 66 Ruthen lang, 8 bis 13 Ruthen vom Strome entfernt, und seine Sohle liegt 3 Fufs 8 Zoll unter dem niedrigsten Wasserstande. Fig. 85 zeigt das Profil dieses Filters. Der Canal, worin sich das Wasser ansammelt, ist 4 Fufs 9 Zoll hoch und 1 Fufs 11 Zoll weit, man kann also noch hineingehn und die nöthigen Reinigungen vornehmen. Die Seitenmauern bestehn aus Ziegeln, die ohne Mörtel nur im Verbande übereinander gelegt sind, und Steinplatten überdecken die Oeffnung. Der Raum zur Seite ist mit Steinen ausgefüllt. Darüber ist 2 Fufs hoch grober Kies geschüttet und das Ganze bis zur ursprünglichen Höhe mit Sand bedeckt. Um einen festen Rasen darüber zu bilden, wurde sogleich Gras-Samen ausgestreut.

Das Wasser dieses dritten Filters kann bei *B* mit dem des ersten vereinigt werden, es kann aber auch über den Punkt *K* besonders zum Maschinengebäude gelangen. Castel machte später noch die sehr vortheilhafte Abänderung, daß er unter der letzten Zuleitung in einem überwölbten Canale das Wasser des zweiten Filters von *D* nach *L* in das Unterwasser des Betriebsgrabens führte. Hierdurch wird es möglich, ohne daß man eine künstliche Ausschöpfung vornehmen darf, die beiden Filter I und II trocken zu legen. Man kann aber auch das Wasser des Filters III nach dem Unterwasser leiten, und sonach entweder alle drei Filter oder jedes einzelne derselben beliebig reinigen, während die andern die Pumpen speisen. Das Wasser dieses dritten Filters ist, so lange die Garonne in ihrem Bette bleibt, vollkommen rein und klar, nur wenn sie die Sandbank überströmt und dabei sehr trübe ist, so wird das hier filtrirte Wasser auch etwas getrübt. In dieser Zeit ist aber das erste Filter sehr ergiebig, auf welches der hohe Wasserstand nur wenig Einfluss hat. Man läßt alsdann das Wasser des dritten Filters gar nicht zur Ma-

schine gelangen, sondern leitet es in das Unterwasser. Ein anderer Uebelstand ist der, daß sich auch hier zum Theil jene feinen Pflänzchen bilden, von denen beim Filter II die Rede war. Das dritte Filter nebst der Leitung nach dem Unterwasser kostete 68000 Francs.

Im Ganzen kann man die Anlage dieser Filter als gelungen ansehen. Der Bedarf war überreichlich gesichert, und man kann ohne Unterbrechung des Dienstes die von Zeit zu Zeit nöthig werdenden Reinigungen vornehmen. Das Wasser ist auch vollkommen klar, und selbst, wenn die Garonne in eine Schlammmasse verwandelt zu sein scheint, behält es seine volle Reinheit. Besonders wichtig ist eine Bemerkung von d'Aubuisson, die in wörtlicher Uebersetzung lautet: „Ich füge hinzu, daß man seit der Benutzung unserer Filter, und dieses ist für das erste seit 14, für das zweite seit 12 und für das dritte seit 9 Jahren, keine Abnahme in der Güte und Menge des Wassers bemerkt hat. Die Beschaffenheit desselben hat sich sogar verbessert, und was die Quantität betrifft, so wiederhole ich, daß man kein Zeichen einer Abnahme wahrgenommen hat, der Dienst geschieht heute noch ebenso wie im Anfange.“

Schließlich ist aber noch zu erwähnen, daß man für den möglichen Fall eines Abbruches der Sandbank, worauf die Filter liegen, schon zum Voraus die Projecte zu künstlichen Filtern entworfen hat.

Es bleibt noch übrig, von der Einrichtung der gewöhnlichen Filtrirbassins zu sprechen, wobei das zu reinigende Wasser das künstliche Filter beständig in der Richtung von oben nach unten durchströmt. Diese Anordnung, welche in gewisser Beziehung die einfachste ist, wird am häufigsten angewendet, und die großen Vortheile, die sie gewährt, bestehn darin, daß die verschiedenen Schichten des Filters am wenigsten vom Wasser in Unordnung gebracht werden, und man überdies Gelegenheit hat, die Niederschläge, die das Wasser im feinen Sande absetzt, sobald es nöthig ist, zu entfernen und dadurch die dauernde Wirksamkeit des Filters zu sichern. In früherer Zeit, wo man von dem Grundsatz ausging, daß das Wasser zuerst durch groben, alsdann durch feinen Kies und zuletzt durch Sand geführt werden müsse, um sich zuerst der gröberen und dann der feineren Stoffe zu entledigen, konnte der letzte Vortheil nicht erreicht werden, weil die Sandschicht, die sich

immer zuerst versetzt und alsdann die Durchströmung hindert, so versteckt liegt, daß bei einer vorzunehmenden Reinigung das ganze Bette ausgehoben werden muß. Durch einige Ruhe, die man dem Wasser vor seinem Eintritt in das Filter giebt, kann man indessen die größten Stoffe schon entfernen, und jedenfalls ist der feine Sand allein genügend, um die Filtrirung zu bewirken. Es kommt nur darauf an, ihn so sicher zu lagern, daß er weder durch die unmittelbar darauf gerichtete Strömung aufgespühlt, noch auch in die Ableitungsröhren geführt wird. Um die erste Bedingung zu erfüllen, bemüht man sich, die Strömung möglichst zu mäfsigen. Man läßt das Wasser durch mehrere Oeffnungen und mit sehr geringem Gefälle in flache Rinnen über die Sandschüttung treten, wodurch starke Vertiefungen vermieden werden. Die andere Bedingung glaubt man aber dadurch zu erfüllen, daß der feine Sand auf gröberem, und dieser auf Kies und Steinen liegt, so daß die nach und nach zunehmende Erweiterung der Zwischenräume eine Vermischung der Schichten und ein tiefes Eindringen des Sandes verhindert. Der letzte Zweck wird hierdurch aber nicht vollständig erreicht, dagegen gelingt es, durch eine schwache Lage flacher und dünner Körper, den Sand sicherer zurückzuhalten, ohne daß dem Wasser der Durchgang gesperrt wird.

Es ist bereits oben (§. 7) erwähnt worden, daß der trockne Sand und ebenso auch der Sand, der in Wasser geschüttet wird, eine bestimmte Neigung in den Seitenflächen annimmt. Dieses geschieht auch noch, wenn er nicht vom Wasser bedeckt ist, sondern dasselbe ihn vielmehr von oben nach unten oder seitwärts durchdringt. Man nehme eine Röhre, etwa den Glas-Cylinder einer Lampe, und befestige dieselbe so, daß ihr unteres Ende ungefähr einen halben Zoll über einer horizontalen Glastafel schwebt. Schüttet man alsdann sehr vorsichtig Sand hinein, so wird derselbe nicht nur die Röhre füllen, sondern, wenn er ganz trocken ist, auch einen abgestumpften Kegel darunter bilden. Die obere Grundfläche desselben ist die untere Oeffnung der Röhre und seine untere Grundfläche stellt sich als Kreis auf der Glasscheibe dar, und zwar bestimmt sich ihre Größe dadurch, daß die Seiten des Kegels 30 bis 36 Grade gegen den Horizont geneigt sind. Nunmehr tröpfele oder giefse man Wasser in den Cylinder, jedoch so langsam, daß nicht ein heftiger Stofs gegen den Sand ausgeübt, noch auch eine zu starke Strömung ge-

bildet wird. Das Wasser durchzieht alsdann den Sand, und sobald es den untern Kegel erreicht hat, so verwandelt dieser sich in Trieb- sand und breitet sich zu einem viel flacheren Kegel aus. Nichts desto weniger gestaltet er sich wieder regelmässig, und das ferner durchdringende Wasser bringt in ihm keine weitere Veränderung hervor. Selbst auf der glatten Glastafel wird ausser dem Sande, der wegen der unvollständigen Benetzung auf dem Wasser schwimmt, und der gleich Anfangs abgospült wird, kein Sandkörnchen weiter bewegt. Die untere Grundfläche ist ringsumher scharf begrenzt, wenn sie sich auch stellenweise von der Kreisform bedeutend entfernt, indem die Dossirungen zufällig bald steiler und bald flacher werden. Dieselben sind nunmehr durchschnittlich 18 Grade gegen den Horizont geneigt, doch beträgt ihre Neigung in einzelnen Fällen auch nur 12 Grade, woher man annehmen darf, dass eine flachere Neigung, als von 5facher Anlage sich niemals bildet. Sobald der Kegel beim ersten Durchfliessen des Wassers solche Gestalt angenommen hat, so tritt später keine Veränderung darin ein, wie lange auch die Durchströmung fortgesetzt wird. Kein einziges Sandkörnchen wird ferner in Bewegung gesetzt.

Die Erscheinung ändert sich freilich, wenn der Abstand des Cylinders von der Scheibe sehr groß ist, weil alsdann der Sand durch den untern Rand des Cylinders nicht hinreichend gestützt wird. Als ich letzteren 8 Linien über der Scheibe schweben liess, war Anfangs der Erfolg noch derselbe, wie früher, und die Durchströmung geschah, ohne dass der Sand sich bewegte. Sobald aber die Druckhöhe des Wassers im Cylinder bis auf 6 Zoll zunahm, kam plötzlich die ganze Masse in Bewegung und aller Sand wurde fortgospült.

Der erwähnte Versuch berechtigt zu der Annahme, dass man das Durchfallen des feinen Sandes sehr sicher verhindern kann, wenn die Unterlage desselben Gelegenheit bietet, dass unter allen Fugen die fünffache Anlage oder die fünffüßige Böschung sich bilden kann. Mittelst drei Lagen hart gebrannter flacher Steine oder Fliesen ist dieses sehr leicht zu erreichen, indem die Stofsfugen der obern Lage durch die Steine der zweiten gedeckt, und an den Punkten, wo beide zusammentreffen, jedesmal die Mitte eines Steines der untern Lage sich befindet. Es dürfte vortheilhaft sein, die Steine nicht mit ebenen Oberflächen zu formen, diese vielmehr oben oder

unten mit flachen Rinnen von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Linien Tiefe zu versehen, damit das filtrirte Wasser zwischen zwei Lagen frei abfließen kann. Sollte zufällig neben der obern Stoffsuge an einer Stelle der Abstand beider Schichten 2 Linien betragen, so würde der darunter befindliche Stein schon hinreichende Gröfse haben, wenn er auch nur 2 Zoll breit wäre. Hiernach haben jedenfalls Fliesen von 4 oder 6 Zoll im Quadrat schon genügende Ausdehnung, um das Hindurchtreiben des Sandes sicher zu verhindern.

Versuche dieser Art sind im Grofsen noch nie gemacht worden, wiewohl der Vorschlag von Telford, eine dünne Lage flacher Muschelschalen unter die Sandschüttung zu legen, augenscheinlich hiermit in naher Beziehung steht. Telford erklärt diese Vorsicht sogar für geboten, wenn man das Fortführen des Sandes sicher verhindern will *). Der Unterschied zwischen diesem Vorschlage und dem vorstehenden besteht nur darin, dafs nach Ersterem die erforderliche Ueberdeckung der Stoffsugen dem Zufalle überlassen, nach jenem aber sehr sicher künstlich dargestellt wird.

Das übliche Verfahren, wonach man aus verschiedenartigem Material eine Anzahl von Schichten bildet, die sich 8 bis 10 Fufs über die Canäle erheben, durch welche das filtrirte Wasser abfließt, ist dagegen mit den wesentlichsten Nachtheilen verbunden. Das Durchfallen des feinen Sandes, der die obere Lage bildet, und allein die Filtration bewirkt, wird nur dadurch etwas erschwert, dafs man ihn auf gröberem Sande, diesen auf feinem Kiese und so fort ruhen läfst, so dafs das Material nach unten immer gröber wird. Hierdurch läfst sich aber nicht verhindern, dafs die Strömung einzelne Körnchen fafst und weiter herab führt. Einen augenscheinlichen Beweis dafür, dafs dieses wirklich und zwar nicht nur beim ersten Anfüllen des Filters, sondern auch später geschieht, dürften wohl die Luft-Blasen liefern, die man vielfach aufsteigen sieht, und die zuweilen sogar die Schüttung aufbrechen sollen, zu deren Ableitung man in England auch hölzerne Röhren benutzt, die bis über den Wasserspiegel hinaufreichen, und bis zu den groben Steinen herabgehn. Diese Luftentwickelung erklärt man gemeinhin durch eine Gasbildung, welche durch die chemische Einwirkung der im Wasser schwebenden fremden Substanzen auf den Sand und

*) *Life of Telford*, pag. 645.

die Steine veranlaßt werden soll. Die Ursache ist aber wohl viel einfacher und naturgemäßer darin zu suchen, daß der Sand durch die Strömung herabgeführt wird und die dadurch entstehenden leeren Räume sich mit der Luft anfüllen, welche von unten her zwischen den Steinen und dem Kiese frei aufsteigen kann. Indem aber die Kiesschüttung und selbst die Steinschüttung nach und nach durch den herabfallenden Sand immer mehr angefüllt wird, so gewinnt dadurch die Sandschüttung an Mächtigkeit und im umgekehrten Verhältnisse vermindert sich die Ergiebigkeit des Filters. Man muß also, um das erforderliche Wasserquantum zu gewinnen, den Filtrirbassins größere Ausdehnung geben, als wenn man durch passende Anordnung das Hindurchtreiben des Sandes verhindert hätte. Endlich wird durch die übliche hohe Sand- und Steinschüttung auch ein bedeutender Theil der Steighöhe des Wassers verloren, und die Pumpen müssen um so kräftiger sein.

Nachdem vorstehend die Einrichtung großer Filtrir-Anstalten im Allgemeinen angedeutet ist, mag hier die Beschreibung einer solchen, und zwar der neben den Wasserwerken von Chelsea bei London befindlichen mitgetheilt werden. Es ist dieses eine der wenigen, worin man das Durchfallen des Sandes dadurch zu verhindern gesucht hat, daß unter demselben eine Schicht Muschelschalen ausgebreitet ist, woher die darunter befindlichen Kies- und Steinlagen etwas schwächer als gewöhnlich werden durften.

Eine Dampfmaschine hebt das Themsewasser in zwei gemauerte Bassins, jedes von zwei Morgen Flächeninhalt. Indem das Wasser hier in Ruhe kommt, läßt es die größten Unreinigkeiten zu Boden fallen, und fließt in der Nähe der Oberfläche durch kurze Canäle nach den Filtern. Zufluß und Abfluß werden dauernd unterhalten, so daß ein vollständiger Stillstand des Wassers nicht eintritt. Die Niederschläge füllen indessen die Bassins mit der Zeit stark an, woher endlich eine Reinigung nöthig wird. In diesem Fall wird das eine Bassin außer Thätigkeit gesetzt.

Zum Filtriren sind gleichfalls zwei Bassins eingerichtet, von denen das größere 348 und das kleinere 237 Fufs lang ist, beide sind 178 Fufs breit. Ihr Boden besteht 18 Zoll hoch aus einem festen Lehmschlage, die Seitenmauern sind 12 Fufs hoch, durch Strebepfeiler gestützt, und lehnen sich an Umwallungen, die mit Rasen bedeckt sind. In beiden Filtrirbassins befinden sich parallel

zu den Längen-Achsen derselben gemauerte cylindrische Canäle, nämlich im längeren liegen 9 und im kürzeren 11 solche neben einander, wie Fig. 86, Taf. VII zeigt. Sie sind ungefähr 2 Fufs weit, aus doppelten Lagen von besonders geformten Steinen mit weiten Fugen ausgeführt, so dafs das Wasser ringsum frei eintreten kann. Eine Lage von kleinen Steinen und grobem Kiese umgiebt sie, und überdeckt sie noch einige Zoll hoch. Hierauf ruht die 6 Zoll hohe Lage Muschelschalen. Alsdann folgt gröberer und zuletzt sehr feiner Sand. Die ganze Stärke der Sandschicht beträgt 5 Fufs. Alle diese Schichten sind, aufer einer geringen Neigung nach der Länge, auch nach der Breite der Filter nicht horizontal, sondern wellenförmig abgeglichen, so dafs sich zwischen den Canälen vertiefte Furchen bilden. Der Zweck hiervon ist, das Wasser gleichmäfsig zu verbreiten und zu verhindern, dafs es nicht etwa in einem einzigen Strome über das Filter fließt, wobei es die Oberfläche angreifen würde. In eine jede der so gebildeten Rinnen wird das Wasser aus dem Zuleitungscanale von den Klärungsbassins durch ein besonderes Ausgufsrohr hineingeleitet, und damit es den Sand der obern Schicht nicht fortspült, so tritt es jedesmal zunächst in eine hölzerne Rinne von 3 Fufs Länge, 6 Zoll Breite und 3 Zoll Tiefe. Aus diesen fließt es mit wenig Gefälle in die Sandrinnen. Das Material zu allen Schichten mufs vor dem Gebrauche sorgfältig gewaschen und gereinigt werden.

Indem das Wasser das Filter bedeckt, zieht es sich nicht unbemerkt in den Sand ein, sondern es erfolgt ein Aufwallen, wovon bereits die Rede war. Zum Theil rührt dieses wahrscheinlich davon her, dafs vor dem Eintreten des Wassers der Sand bis zu einer gewissen Tiefe trocknete und seine Zwischenräume sich mit Luft anfüllten. Letztere hatte bei der Ueberdeckung mit Wasser nicht Gelegenheit vollständig zu entweichen, sie blieb also im Sande, und indem sie durch die von unten beim Herabfallen des Sandes noch hinzutretende Luft sich zu gröfseren Massen ansammelt, so verstärkt ihr aufwärts gerichteter Druck sich so sehr, dafs sie endlich bald hier, bald dort die obere Sandschicht durchbricht.

Die Filtration erfolgt allein in dem feinen Sande, der die obere Schicht bildet, doch auch keineswegs in der ganzen Stärke derselben, sondern nur bis zur Tiefe von einigen Zollen und vorzugsweise in der

Oberfläche selbst. Auf letzterer lagert sich der Schlamm ab, von dem grofse Massen bis etwa einen halben Zoll tief eindringen, weiter abwärts wird der Sand nur noch wenig verunreinigt. Wenn man zuweilen in noch gröfserer Tiefe, nämlich 6 und sogar bis 9 Zoll noch fremdartige Ablagerungen vorgefunden hat, so dürften diese wohl nicht durch den darüber liegenden Sand hindurchgedrungen, vielmehr beim Brechen der obern Schichten herabgefallen sein.

Indem die Ueberdeckung der Oberfläche und die in die obere Sandschicht eingedrungene Masse die Wirksamkeit des Filters wesentlich schwächt und dieselbe schliesslich vollständig aufhebt, so mufs man von Zeit zu Zeit Reinigungen vornehmen. Bei den Wasserwerken von Chelsea geschieht dieses durchschnittlich alle 14 Tage. Man hebt alsdann in der ganzen Ausdehnung des Filtrir-Bassins eine 1 Zoll hohe Sandschicht ab und ersetzt diese sogleich durch eine neue Lage reinen Sandes von gleicher Stärke. Der abgehobene Sand wird alsdann in kleinen Quantitäten in einer hölzernen Rinne gewaschen, indem man unter kräftigem Umrühren Wasser darüber fliefsen läfst. Wird letzteres nicht mehr getrübt, so ist der Sand gehörig gereinigt und kann demnächst wieder zur Ueberdeckung der Filter benutzt werden.

In den erwähnten Wasserwerken erfolgt die Versetzung der Filter am schnellsten, wenn die Themse bei schmelzendem Schnee oder starkem Regen anschwillt, während hohe Fluthen keinen merklichen Einflufs darauf haben.

Von Bedeutung ist noch die Frage, welche Wassermenge in einem Bassin von gegebener Gröfse täglich filtrirt werden kann. Die Angaben hierüber weichen übermäfsig von einander ab. Der Quadratfufs liefert nach manchen Erfahrungen nur 9, nach andern dagegen 40 und sogar noch mehr Cubikfufs. Jedenfalls hängt die Ergiebigkeit von verschiedenen Umständen wesentlich ab. Zunächst von der Höhe des Wasserstandes über der Sandschüttung, sodann von der Mächtigkeit der letzteren. Diese setzt sich aber noch in die Kies- und Steinschüttung fort, wenn die Zwischenräume in diesen mit dem durchgefallenen Sande sich gefüllt haben. Endlich ist auch zu vermuthen, dafs die Temperatur einen wesentlichen Einflufs auf die Filtration ausübt.

Indem der Einflufs dieser verschiedenen Umstände noch nicht

sicher festgestellt war *), so stellte ich einige Beobachtungen an, die wenn sie sich auch nur auf sehr kleine Dimensionen beschränkten, doch zu Resultaten führten, denen man wegen ihrer Uebereinstimmung mit andern Erfahrungen eine allgemeinere Gültigkeit beimessen darf. Man geht gewöhnlich von der gewifs passenden Voraussetzung aus, daß das Wasser, indem es zwischen den einzelnen Sandkörnchen hindurchfließt, sich in ähnlicher Weise, wie in engen Röhren bewegt, doch darf man dabei nicht auf horizontale Röhrenleitungen zurückgehn, vielmehr die verticalen berücksichtigen, von denen oben (§. 16) die Rede war. Darcy bemerkte schon, daß die durch ein Filter hindurchdringende Wassermenge nicht der Quadratwurzel der Druckhöhe, wie man bisher angenommen hatte, sondern der Druckhöhe selbst proportional sei, daß man daher durch Vergrößerung der letzteren die Ergiebigkeit in höherem Grade vermehren könne, als man gewöhnlich glaubt. Eine wichtige Frage ist es aber, was man bei einem Filter unter Druckhöhe versteht. Der obere Endpunkt dieser Linie ist zwar durch das Niveau des über dem Sande stehenden Wassers augenfällig gegeben, aber das untere Ende derselben liegt nicht in der Oberfläche der Sandschüttung, sondern soweit unter derselben, als das zwischen den einzelnen Sandkörnchen befindliche Wasser eine zusammenhängende Masse bildet, von der einzelne Theile sich nicht lösen und unabhängig von den obern herabfließen können. Diese Wassermasse zieht also, wie in der senkrechten Röhre, das in das Filter tretende Wasser herab, und ist daher bei der Bestimmung der Druckhöhe mit zu berücksichtigen. Die untere Grenze der letzteren liegt also jedenfalls nicht höher, als in der Sohle der Schüttung des feinen Sandes. Ob die Zwischenräume des darunter befindlichen groben Sandes auch ausschließlichs mit Wasser gefüllt sind, ist zweifelhaft, da kaum anzunehmen, daß die ursprünglich darin enthaltene Luft bei eintretender Durchströmung vollständig daraus entfernt und zugleich mit dem Wasser fortgetrieben sein sollte. In der Kiesschicht, und noch mehr in der Steinschicht, ist dieses gewifs nicht vorauszusetzen, vielmehr kann durch die weiten Zwischenräume in denselben das Wasser sich in Adern auf-

*) Mehrere sehr wichtige, an verschiedenen großen Filtrir-Bassins ange stellte Messungen theilt Darcy mit in dem Werke „*les fontaines publiques de Dijon*.“

lösen, die unabhängig von einander abfließen. Sobald dieses aber geschieht, so hängt das Wasser nicht mehr an dem darüber schwebenden, und übt darauf keinen Zug aus, woher die Druckhöhe hier ihre Grenze findet.

Demnächst lag die Vermuthung nahe, daß die Capillar-Attraction, deren Wirkung ich schon bei engen cylindrischen Röhren unzweifelhaft wahrgenommen hatte, auf die Bewegung des Wassers in feinem Sande einen viel stärkeren Einfluß ausübt. Hierüber so wie auch über die Zunahme der Ergiebigkeit bei höherer Temperatur lagen noch keine Erfahrungen vor.

Der Sand, den ich bei meinen Beobachtungen benutzte, war sehr feiner und rein ausgewaschener Quarzsand, den die See auf dem westlichen Ufer der Insel Hiddens-Oe ausgeworfen hatte. Derselbe war aber nicht unmittelbar vom Strande, vielmehr von der dahinter belegenen Wiese entnommen. Er war also bei den vorhergegangenen Stürmen etwa 50 Ruthen weit vertrieben, wobei die gröbern Körnchen zurückgeblieben waren und er in den stellenweisen Ablagerungen eine sehr große Gleichmäßigkeit zeigte. Die Länge einer Rheinländischen Linie nahmen jedesmal 7 bis 8 Körnchen ein, also der Durchmesser eines einzelnen maafs etwa 0,13 Linien.

Die Feinheit des Sandes läßt sich vielleicht noch sicherer dadurch bezeichnen, daß man ihn in ganz trockenem Zustande in einen auf einem Teller stehenden Glascylinder schüttet, und in den Teller Wasser gießt. Je feiner der Sand ist, um so höher wird er von dem Wasser benetzt. Im vorliegenden Falle erstreckte sich die Benetzung, die man an der Cylinderwand deutlich wahrnehmen konnte, an einer Stelle bis 20 Linien über das Niveau des äußern Wassers, durchschnittlich aber auf sehr nahe 18 Linien.

Die Filtrirversuche wurden mit dem bereits filtrirten Wasser der Berliner Wasserleitung in einem Messing-Cylinder angestellt, der nahe 3 Zoll Durchmesser hatte. Um dem Sande eine sichere Unterlage zu geben, durch welche er nicht hindurchfallen konnte, wurde von dem oben erwähnten Princip Gebrauch gemacht, wonach zwischen drei Scheiben flache Böschungen sich bildeten, durch welche das Wasser austrat. Diese Blechscheiben hatten in ihrer Verbindung sehr nahe die Höhe von 1 Linie, also jede war 0,2 Linien stark und eben so weit waren auch die beiden Zwischenräume zwischen ihnen, die durch schmale Streifen desselben Bleches gebildet waren.

In den beiden obern Scheiben waren in Abständen von 3,2 Linien je 9 Spalten von 0,3 Linien Weite mit einer Säge eingeschnitten. Diese Scheiben wurden an den 2 Linien breiten Rändern so mit einander verbunden, daß die Spalten sich rechtwinklig kreuzten, also zwischen den beiderseitigen Spalten quadratische Räume entstanden. Die dritte Scheibe war in der Mitte von jedem dieser Quadrate mit einer Oeffnung von 1 Linie Weite versehen. Bis zum Rande dieser Oeffnung konnten also nur Böschungen von 5facher Anlage sich bilden. Um mich zu überzeugen, daß keine namhafte Sandmasse hindurchfiel, versah ich das Gefäß, worin das hindurchdringende Wasser sich zunächst ansammelte, vor der Ausflusmündung mit einer 1 Linie hohen Schwelle, und nachdem ich etwa 5 Stunden hindurch mit dem Apparat experimentirt hatte, waren nur etwa 100 einzelne Körnchen hier aufgefangen.

Es kam noch darauf an, die Sandschüttungen vor Aufwühlungen durch das hineinfließende Wasser zu sichern. Zu diesem Zwecke verband ich noch zwei andre durchlochte Scheiben mit einander, von denen jede die in der andern befindlichen Löcher überdeckte. Diese wurden auf die Schüttung gelegt. Um aber die feinen Zwischenräume der Schüttung mit Wasser vollständig zu füllen und das Zurückbleiben der Luft zu verhindern, wodurch unfehlbar das Filtrum stellenweise seine Wirksamkeit verloren hätte, so stellte ich jedesmal den mit trockenem Sande gefüllten Cylinder in ein Gefäß mit Wasser, so daß letzteres von unten nach oben in die Schüttung eindringen und vor sich die Luft vollständig heraustreiben konnte.

Zunächst wurde ein halbes Pfund trockener Sand eingeschüttet und in der beschriebenen Art überdeckt und benetzt. Alsdann leitete ich mittelst eines Hebers, dessen Ausflusmündung leicht beliebig gehoben und gesenkt werden konnte, das Wasser darüber. Der aufsteigende Schenkel dieses Hebers war in nahe horizontaler Richtung weit ausgezogen, so daß sein Ende, dieser Aenderung unerachtet, stets unter Wasser blieb. Er schöpfte aber aus einem ausgedehnten Becken, daß über 6 Quadratfuß Grundfläche hatte, woher der Wasserstand etwa eine Viertel Stunde hindurch sich nicht wesentlich veränderte und daher auch der Zufluß in den Filtrir-Apparat nicht merklich geringer wurde. Sobald die Zuleitung des Wassers begann, nahm der Wasserstand im Cylinder anfangs zu, sobald er aber ungefähr die passende Höhe erreicht hatte, so wurde der Heber so

weit gehoben oder gesenkt, bis das beabsichtigte Niveau sich darstellte, auch sich nicht mehr merklich veränderte. Alsdann wurde der Wasserstand sorgfältig gemessen, und das während einer oder zwei Minuten nach dem Schlage einer Secundenuhr abfließende Wasser in einem leichten Blechgefäße aufgefangen, worauf ich sogleich wieder den Wasserstand maafs. Unmittelbar darnach, also sehr nahe unter denselben Umständen erfolgte eine zweite gleiche Messung. Die beiden Blechgefäße wurden aber mit ihrem Inhalt gewogen, und daraus die in einer Minute abgeflossene Wassermenge gefunden. Diese beide Messungen stimmten jedesmal sehr gut, und zwar bis etwa auf 1 Procent mit einander überein, doch war die Genauigkeit der ganzen Messung keineswegs so groß, vielmehr zeigten die Beobachtungen bei verschiedenen Wasserständen in ihrer Vergleichung unter einander weit größere Abweichungen.

Nachdem mehrere Messungen dieser Art an der ersten Schüttung gemacht waren, wurde dieselbe entfernt, und dafür 1 Pfund trocknen Sandes eingeschüttet, später aber $1\frac{1}{2}$ Pfund.

Die nachstehende Zusammenstellung enthält die Resultate der einzelnen Beobachtungen. h ist die Höhe der Sandschüttung, H die Höhe des Wasserspiegels über der obern Fläche der Schüttung, beides in Rheinländischen Zollen, und M die während einer Minute hindurchfließende Wassermenge und zwar in alten Preussischen Lothen ausgedrückt. In diesen sämtlichen Messungen war die Temperatur des Wassers nahe constant und schwankte nur zwischen 9,5 und 10,5 Graden Réaumur, sie konnte also gleich 10 Graden angenommen werden. Es wäre noch zu bemerken, daß der Querschnitt des Filtrir-Cylinders in einer möglichst scharfen Messung gleich 6,88 Quadrat Zoll gefunden wurde.

	h	H	M
1)	1,15	2,12	5,95
2)	1,15	4,05	11,88
3)	1,15	4,63	12,10
4)	2,30	2,89	3,93
5)	2,30	3,96	6,16
6)	2,30	5,12	7,80
7)	3,46	4,12	3,93
8)	3,46	15,33	22,36

Aus der Vergleichung dieser Resultate mit einander ergibt sich,

dafs die Wassermenge unter übrigens gleichen Umständen umgekehrt der Höhe der Sandschüttung oder h proportional ist, dafs sie aber bei gleichem h nicht mit der Druckhöhe $h + H$ in constantem Verhältnifs steht, von letzterer vielmehr eine gewisse Quantität abgezogen werden mufs. Die Beobachtungen schliessen sich also an einen Ausdruck an von der Form

$$h + H = x + Mh . z.$$

Nach der Methode der kleinsten Quadrate ergab sich

$$x = 1,53.$$

Die Capillar-Attraction hebt also sehr genau denselben Theil der ganzen Druckhöhe auf, welcher nach der directen Messung die Höhe bezeichnet, zu der das Wasser in der Sandschüttung ansteigt. Der wahrscheinlichste Werth der durch jeden Quadratzoll der Oberfläche des Filters in 1 Minute hindurchfliessenden Wassermenge, und zwar in Cubikzollen ausgedrückt, ist

$$M = 0,66 \frac{h + H - 1,5}{h}$$

Vergleicht man dieses aus den vorstehend beschriebenen Beobachtungen hergeleitete Resultat unter Einführung der üblichen Höhe der Sandschüttung und des Wasserstandes darüber mit den Wassermengen, welche grosse Filtrir-Bassins liefern, wie Darcy diese zusammengestellt hat, so bemerkt man einen sehr grossen Unterschied, und zwar stellt sich nach den letzteren die Ergiebigkeit ohne Vergleich viel geringer heraus. Zum Theil erklärt sich dieses dadurch, dafs ich nur filtrirtes Wasser durch den Sand fliefsen liess, also gar keine Versetzung der Zwischenräume stattfand. Ohne Zweifel haben darauf aber noch zwei andre Umstände wesentlichen Einflufs, nämlich zunächst die sichere Bettung des Sandes und sodann auch seine vollständige Tränkung mit Wasser, also die Beseitigung der, vor dem Eintritt der Strömung, in den Zwischenräumen befindlichen Luft, welche stellenweise die Wirksamkeit des Filters vollständig verhindert, bis sie gewaltsam die darüber befindliche Sandlage durchbricht.

Aufserdem stellte ich einige Beobachtungen mit wärmerem Wasser an, dessen Temperatur 23,5 Grade R. betrug. Hierbei wurde die Ergiebigkeit viel gröfser, nämlich nahe im Verhältnisse von 3:2, woher also, wenn man von obigem Ausdrücke ausgeht,

die Erwärmung des Wassers um einen Grad eine Steigerung der Ergiebigkeit um nahe 4 Procent veranlaßt.

§. 21.

Leitungsröhren von Holz, Stein, Blei und Asphalt.

Nachdem das Wasser angesammelt und nöthigen Falls auch gereinigt ist, so läßt man es in die Leitungsröhren treten, die es nach seinem Bestimmungsorte führen. Diese Röhren bestehen, wenn die Anlage weder eine große Ausdehnung, noch sonstige Wichtigkeit hat, aus Holz, mitunter aus Stein und zuweilen auch aus Blei. Sie sind jedoch im letzten Falle so kostbar, daß man heut zu Tage nicht leicht einen langen Röhrenstrang daraus darstellt, doch wird zu kurzen Verbindungsröhren und schwachen Abzweigungsröhren das Blei noch vielfach benutzt, da seine Biegsamkeit eine große Bequemlichkeit bietet. Soll dagegen die Leitung einen größeren Ort mit Wasser versehen, und ist sie für alle Verhältnisse so wichtig geworden, daß eine Unterbrechung nicht eintreten darf, so muß ein Material gewählt werden, welches theils an sich dauerhafter ist, theils aber auch gestattet, alle Nebentheile der Leitung, wie Hähne, Ventile, Luftspunde und dergleichen mit genauem und sicherem Schlusse anzubringen. Dieses ist nach den bisherigen Erfahrungen allein beim Gufseisen der Fall, und da dasselbe bei der Vervollkommnung des Gusses auch in sehr geringer Wandstärke und sonach für mäßige Preise dargestellt werden kann, so wird es gegenwärtig bei wichtigeren Anlagen dieser Art beinahe ausschließlich benutzt. In neuester Zeit sind jedoch mehrfache Versuche gemacht worden, dafür Asphalt-Röhren einzuführen, die in Betreff der geringeren Kosten häufig empfohlen werden.

Bei sämtlichen Röhrenleitungen kommt es nicht nur darauf an, daß die einzelnen Stücke hinreichend fest sind, um dem stärksten Wasserdrucke, dem sie ausgesetzt sein können, zu widerstehen, und daß sie gehörig schließend mit einander verbunden werden, sondern man muß außerdem auch dafür sorgen, daß der Querschnitt an keiner Stelle weder durch eine Absetzung von Sand und

andern Stoffen, noch auch durch Luft ganz gesperrt oder stark verengt werde. Eine Leitung, welche abwechselnd steigt und fällt, wie Fig. 87 zeigt, ist beiden Uebelständen ausgesetzt. Wenn das Wasser in der mit dem Pfeile angedeuteten Richtung in die noch leere Leitung tritt, so wird es die Luft vor sich herschieben und dieselbe aus dem ansteigenden Theile entfernen. In dem Scheitelpunkte *A* wird es aber anfangs nur über den Boden fließen und sich weiter verbreiten und sogar an der tiefsten Stelle bei *B* den ganzen Querschnitt der Röhre füllen, ohne daß die an der höchsten Stelle befindliche Luft in dem folgenden Theile der Leitung abwärts bis *B* geführt werden kann. Bei eintretender Hitze dehnt sich die eingeschlossene Luft stark aus, und hierdurch erklärt sich die Erscheinung, daß manche Röhrenleitungen unerachtet einer gleichen Höhe im Speisebassin bei kalter Witterung mehr Wasser geben, als bei warmer. Es erfolgt indessen eine ähnliche und eben so nachtheilige Ansammlung der Luft, wenn die Röhre auch weniger geneigt ist, als nach dem gezeichneten Profile, und selbst in nahe horizontalen Strecken haften oft die Luftbläschen mit großer Zähigkeit an der obern Wand der Röhre und verursachen ähnliche Verengungen. Diese Luft ist keineswegs allein diejenige, welche ursprünglich die Röhre füllte, sondern aus dem Wasser scheiden sich häufig Gase ab, zuweilen schöpft aber die Mündung der Röhrenleitung mit dem Wasser auch Luft. Man muß dafür sorgen, daß nicht nur beim ersten Eintreten des Wassers, sondern auch später die Luft an einzelnen Stellen entweichen kann. Am einfachsten wird dieses dadurch erreicht, daß man auf die Scheitelpunkte senkrechte Röhren, sogenannte Luftröhren oder Luftspunde aufstellt, die immer offen bleiben. Damit sie aber kein Wasser ausgießen, so müssen sie bis über das Niveau des Speisebassins reichen. Dieses ist oft nicht leicht, und noch häufiger verbietet eine solche Einrichtung sich dadurch, daß man sie an der Stelle, wo sie angebracht werden sollte, vor zufälligen und muthwilligen Beschädigungen nicht gehörig sichern kann. Von andern Vorkehrungen zu demselben Zwecke wird später die Rede sein.

Wenn erdige Theilchen im Wasser enthalten sind, so schlagen dieselben vorzugsweise an den tiefsten Stellen wie bei *B* nieder. Obwohl ein solcher Niederschlag auch nur langsam erfolgt, so kann er mit der Zeit doch nachtheilig werden, und man muß daher für

Mittel sorgen, um einer zu großen Ausdehnung desselben vorzubeugen. Dieses geschieht entweder durch die Anbringung sogenannter Wechselhäuschen oder Schlammkasten, oder durch Ausgufsröhren. Jene sind kastenförmige Erweiterungen der Röhrenleitung, die an den Seiten und am Boden wasserdicht und mit den ein- und ausmündenden Röhren fest verbunden sind. Indem das Wasser in sie hineintritt, so durchströmt es sie mit geringerer Geschwindigkeit, und läßt daher die erdigen Theilchen fallen. Auf solche Art sammelt sich der Niederschlag, der sonst die Röhre zum Theil sperren würde, in den Kasten an, dieselben reichen aber so tief unter die Röhren herab, daß der darin abgelagerte Schlamm nicht sobald die Wirksamkeit der Leitung beeinträchtigt. Die Reinigung des Kastens erfolgt, wenn die Leitung außer Thätigkeit gesetzt und entleert ist durch Ausgraben, wobei der wasserdicht schließende Deckel entfernt werden muß. Die ungesunde Luft, die sich aus dem Schlamme entwickelt, setzt zuweilen dieser Reinigung große Hindernisse entgegen. Ein Haupterforderniß ist es, daß solche Anlagen nur da vorkommen, wo sie keinem starken Wasserdrucke ausgesetzt sind, weil sie sonst nicht leicht wasserdicht geschlossen werden können. Sie finden daher meist ihre Stelle an den höchsten Theilen der Leitung, und keineswegs an den niedrigsten, wo die Absetzung von Schlamm am meisten zu besorgen ist. Hierdurch beschränkt sich in hohem Grade ihre Anwendbarkeit, und sie gewähren nur da Vortheil, wo die Röhrenleitung horizontal oder sanft abfallend geführt ist. Bei neuern Wasserleitungen fehlen sie gewöhnlich ganz und statt ihrer sind Ausgufsröhren angebracht. Indem man nämlich den Röhrenstrang möglichst horizontal zu legen sucht, so wird bei undulirendem Terrain, wie dieses gewöhnlich vorkommt, auf der Höhe die Röhre versenkt, im Thale dagegen gehoben. Nichts desto weniger bildet sich dort ein höchster und hier ein tiefster Punkt, letzterer liegt aber über der Thalsohle, und von diesem Umstande hat man den Vortheil gezogen, hier einen Ausguf anzubringen, der ohne Schwierigkeit das Röhrenwasser abführt. Sobald der Hahn geöffnet wird, bildet sich sogleich in den nächsten Theilen der Röhre eine starke Strömung, wodurch der Niederschlag, der gerade hier sich vorzugsweise absetzte, in Bewegung gebracht und fortgespült wird. Diese Ausgüsse und ebenso die Schlammkasten haben noch den Nutzen, daß man bei vorkommenden Ver-

stopfungen durch sie leicht entdecken kann, in welchem Theile der Leitung die Sperrung zu suchen ist.

Endlich muß bei Gelegenheit des Längenprofils noch bemerkt werden, daß die Leitung in ihrer ganzen Ausdehnung die Höhe des Wasserspiegels im Speisebassin nicht wieder erreichen darf, vielmehr bei zunehmender Entfernung um so tiefer darunter bleiben muß. Man kann zwar, indem man die Röhre in einen Heber verwandelt, selbst über grössere Höhen fortgehn, indessen darf an solcher Stelle kein Ausfluß angebracht werden, auch tritt dabei der Uebelstand ein, daß dieser Theil der Röhre sich nicht mehr von selbst füllt, vielmehr beim jedesmaligen Anlassen durch eine besondere Pumpe vollgegossen werden muß. Es giebt nur wenige Beispiele dafür, daß man dessen ohnerachtet den Heber in Anwendung gebracht hat, und zwar ist es alsdann gewöhnlich nur geschehn, um über den Erddamm oder die Mauer, welche unmittelbar das Speisebassin einschließt, das Wasser zu leiten, ohne dieselbe durch eine Oeffnung zu schwächen. In grösseren Röhrenleitungen kommt aber selbst dieses nicht vor.

Der Horizont des Wasserspiegels im Speisebassin bezeichnet keineswegs die Grenze der Höhe, die man beliebig mit der Röhre erreichen darf. Die Ausflusmündung muß jedenfalls niedriger liegen, denn sonst würde alles Gefälle fehlen und keine Bewegung eintreten, aber auch in der Mitte der Leitung darf kein Punkt jeper Höhe sich nähern, weil sonst die Röhre sich gar nicht, oder doch nur überaus langsam füllen könnte. Hierher gehören die Fälle, in welchen mehrere Tage und selbst Wochen vergehn, bevor die volle Wirksamkeit eintritt, wie dieses Bossut von einer Leitung bei Versailles anführt. Sonach müssen bei längeren Röhrenleitungen, die abwechselnd steigen und fallen, die aufeinander folgenden Scheitelpunkte unter derjenigen geneigten Linie bleiben, welche das nöthige Gefälle bezeichnet. Andererseits können dagegen die tiefsten Punkte der Röhre sich zwar von dieser Grenze entfernen, man muß indessen nicht außer Acht lassen, daß der Wasserdruck, der sich hier bildet, auch ein starkes Durchsickern der Fugen und bei hölzernen und steinernen Röhren auch eine schnelle Zerstörung derselben zur Folge zu haben pflegt. Sonach muß man bei schwachen Röhren starke Senkungen vermeiden. Man verlegt die Röhren am vortheilhaftesten mit möglichst gleichmäßigem Gefälle.

Zu hölzernen Leitungsröhren kann man fast jede Holzart benutzen, man wählt daher diejenige, die am wohlfeilsten zu beschaffen ist. Bedingung ist dabei vorzugsweise, daß die einzelnen Röhrenstücke nicht gar zu kurz ausfallen, indem jede Zusammensetzung nicht nur Kosten verursacht, sondern auch eine schwache und undichte Stelle in der Leitung bildet. Aus diesem Grunde eignet sich vorzugsweise hierzu dasjenige Holz, welches recht gerade Stämme hat, also Kiefern und Lerchen. Sodann muß die Röhre auch dauerhaft sein und Festigkeit genug besitzen, um dem Wasserdrucke zu widerstehen, und man giebt deshalb dem festen Holze und demjenigen, welches viele harzige Theile enthält, den Vorzug. Weiden- und Pappelholz wird wohl nie angewendet. Endlich darf die Röhre dem Wasser keinen Beigeschmack geben, und aus diesem Grunde vermeidet man gern die Benutzung von Eichenholz, doch giebt es davon viele Ausnahmen und in Frankreich scheint dasselbe sogar vorzugsweise gewählt zu werden. Im Allgemeinen möchte sonach außer dem Kiefern- und Lerchen- noch das Ellernholz sich besonders empfehlen.

Die Länge der einzelnen Röhrenstücke beträgt gewöhnlich zwischen 12 und 18 Fufs. Ueber 20 Fufs darf sie nicht sein, weil alsdann das Bohren zu schwierig wird. Die Wandstärke hängt außer der Festigkeit des Holzes auch von der lichten Weite des Bohrloches und von dem Wasserdrucke ab, wie dieses bei Gelegenheit der gusseisernen Röhren näher entwickelt werden wird. Man darf indessen die Wände einer hölzernen Röhre nicht auf die möglichst kleinsten Dimensionen beschränken, weil die Röhre vom durchfließenden Wasser angegriffen wird und ihre Wandstärke sich nach und nach verringert. Gewöhnlich macht man die Wand dem Durchmesser des Bohrloches gleich, und da letzterer von der Wassermenge und dem Gefälle abhängt, so ergibt sich leicht die nöthige Stärke der zu den Röhren zu benutzenden Stämme. Trifft es sich aber, daß die Röhre sehr tief unter das Speisebassin verlegt wird und daher einem großen Wasserdrucke ausgesetzt ist, so genügt die eben gegebene Regel nicht mehr, und man muß der Wand in diesem Falle eine gröfsere Stärke lassen. Dabei kommt es aber nicht allein auf den Wasserdruck an, den das Piezometer, während die Leitung in voller Thätigkeit ist, anzeigen würde, sondern man muß auch den Fall berücksichtigen, daß unterhalb dieser Stelle eine absichtliche

oder zufällige Sperrung eintreten kann, und dafs alsdann der volle Wasserdruck des Speisebassins wirksam wird. Wenn aber die Sperrung plötzlich erfolgt, so vermehrt der Stofs der bewegten Wassersäule noch sehr beträchtlich diesen Druck. Man pflegt hiernach die stärksten Röhren an die tiefsten Stellen zu verlegen, während man die schwächeren in den höheren Theilen der Leitung benutzen darf.

Indem die hölzernen Röhren nie trocken werden, so sollte man eine sehr lange Dauer voraussetzen, es treten indessen manche andere Ursachen ihrer Zerstörung ein und namentlich leiden sie häufig durch den Schwamm, doch kann man der Entstehung und starken Verbreitung desselben durch sorgfältige Vermeidung jeder Berührung mit Humus und andern Erdarten vorbeugen, welche die Fäulniß befördern. Ausserdem ist, wie bereits angedeutet worden, die Wirkung des fließenden Wassers auf das Holz zu berücksichtigen. Es ist eine bekannte Erfahrung, dafs im Boden eines Wehrs, oder einer Freiarche, wenn derselbe auch fortwährend naß geblieben ist, nach einer Reihe von Jahren die Zapfen nicht mehr die Zapfenlöcher füllen und alle Verbandstücke, soweit sie nicht ganz mit Erde umgeben waren, den genauen Schluß verloren haben. Ebenso bemerkt man auch, wenn ein Pfahl ausgezogen wird, der etwa ein halbes Jahrhundert in einem Flusse steckte, dafs der Theil, der über das Bette vorragt, viel schwächer ist als der, welcher mit dem fließenden Wasser nicht in Berührung gekommen ist. Auf ähnliche Weise wird auch das Holz in den Röhren angegriffen und verzehrt. Bei den Wasserleitungen in Prag vergrößert sich die Weite der Röhren in 6 Jahren um 3 bis 4 Zoll, und die Wandstärke vermindert sich dadurch so sehr, dafs die Röhren in diesen kurzen Zwischenzeiten schon erneut werden müssen. *) Namentlich zeigt sich diese Erscheinung am auffallendsten an solchen Stellen, wo die Röhren dem starken Drucke von 80 Fufs ausgesetzt sind, und wo wahrscheinlich auch das Durchdringen durch die Röhrenwand ihre Zerstörung noch befördert. Um diesem letzten Einflusse zu begegnen, verlegt man hölzerne Röhren gewöhnlich in ein Thonbette, wodurch zwar das erste Durchdringen der Wasser-Ader nicht verhindert werden, wohl aber das hindurchgedrungene Wasser nicht weiter fließen

*) v. Gerstner, Handbuch der Mechanik. Prag 1832. Bd. II. S. 232.

kann und sonach sich auferhalb der Röhre bald ein Gegendruck bildet. Die hölzernen Röhren, welche früher das Wasser des New-River in London vertheilten, dauerten durchschnittlich 20 Jahre. Sie bestanden aus Ulmenholz, waren aber so häufig schadhaf, dafs man den Wasserverlust, den sie verursachten, im Durchschnitt auf 25 Procent schätzte. Dieses rührte zum Theil davon her, dafs man die undichten Stellen, die sich in der verminderten Ergiebigkeit zu erkennen gaben, nicht sogleich auffinden konnte und oft Wochen lang darnach suchen mußte.

Zur Verbindung hölzerner Röhren wählt man am häufigsten den Fig. 88 *a* in der Seitenansicht und *b* im Durchschnitte dargestellten Zapfen. Die Röhre wird conisch zugeschärft und zwar so, dafs, wenn der Kegel ergänzt würde, seine Höhe mindestens zweimal so groß, als der Durchmesser seiner Basis wäre. Einen festen Schluß erhält man aber, wenn man das Verhältniß beider Größen, wie $2\frac{1}{2}$ zu 1 annimmt. Um das Aufspalten der Röhre zu verhindern, welche die conische Vertiefung erhält, wird ein eiserner Ring, der $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll stark sein muß, aufgetrieben, und zur gehörigen Dichtung der Fugen wird entweder Oelkitt auf den conischen Zapfen gestrichen, der jedoch auf dem nassen Holze meist nicht haftet, oder man umwindet diesen Zapfen mit getheerter Leinwand. Dieselbe Verbindung kann man auch, wie Fig. 89 zeigt, zu Abzweigungen benutzen, und zwar eben sowol, wenn dieselben unter einem rechten, als wenn sie unter einem spitzen Winkel abgehn.

Die conische Gestalt der Zapfen giebt häufig Veranlassung, dafs die Röhren, sobald sie quellen, sich auseinanderschieben, und zwar erfolgt dieses um so leichter, je stumpfer der Kegel ist. Man begegnet diesem Uebelstande zuweilen dadurch, dafs man durch cylindrische Zapfen die Röhren in einander greifen läßt, wie Fig. 90 im Durchschnitte zeigt. Die Stärke des Zapfens ist in diesem Falle gewöhnlich das arithmetische Mittel zwischen der Stärke und der lichten Weite der Röhre. Man schneidet den Zapfen so zu, dafs er willig in das Zapfenloch hineingeht, alsdann umwindet man ihn mit getheerter Leinwand und treibt ihn ein, sobald die Röhre später mit Wasser gefüllt wird, quillt das Holz, und der Schluß wird dicht. Der Zapfen ist meist 3 bis 4 Zoll lang, und die Röhre, worin das Zapfenloch sich befindet, wird wieder durch einen eisernen Ring gegen das Aufspalten gesichert.

Die beste Art der Zusammensetzung hölzerner Röhren ist in Fig. 91 dargestellt. Man schneidet die Röhren an beiden Enden stumpf ab und verbindet je zwei derselben durch eine eiserne, auf beiden Enden zugeschärfte Büchse A. Damit diese indessen nicht etwa nur in eine Röhre eindringt, so ist sie in der Mitte mit einem vorstehenden Rande versehen. Man macht die Büchse häufig nur 3 Zoll lang, so daß sie in jede Röhre nur etwas über einen Zoll eingreift, und giebt ihr auch wohl einen so kleinen Durchmesser, daß sie nur wenige Zoll vom Umfange des Bohrloches absteht. Beides ist zur Darstellung einer sichern Verbindung nicht genügend, und wenn man einige Mehrkosten nicht scheuen darf, so läßt man die Büchse in jedes Röhrenstück 3, auch wohl 4 Zoll tief eingreifen, und giebt ihr einen solchen Durchmesser, daß sie in die Mitte der Röhrenwand trifft. Ihre Stärke beträgt alsdann neben dem vorstehenden Rande ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll. Die Kosten für die Anschaffung solcher Büchsen sind freilich bedeutend, aber sie sind bei wiederholter Auswechslung der Röhren aufs Neue zu benutzen. Es ist vortheilhaft, die Büchse eben sowol im Innern, wie im Außern, etwas conisch abzuschrägen, wie dieses Fig. 92 zeigt. Um die Büchse einzusetzen, stellt man sie concentrisch mit dem Bohrloche auf die Stirnfläche der einen Röhre und treibt sie mit einem Hammer bis nahe an den vorstehenden Rand ein, so daß derselbe etwa noch einen halben Zoll vom Holze entfernt bleibt. Hierauf wird die Büchse herausgezogen, was mittelst einer Brechstange, die unter die Rippe faßt, nicht schwer ist, und man treibt sie in gleicher Weise mit ihrer andern Seite in das folgende Röhrenstück eben so weit ein. Endlich wird die erste Seite wieder in den bereits gebildeten Spalt eingestellt und mittelst starker Schläge, die man auf das Ende der zweiten Röhre führt, dringt die Büchse auf beiden Seiten bis zur Rippe ein. Es darf kaum erwähnt werden, daß man sich hüten muß, die Schneiden durch das Aufschlagen zu beschädigen, man benutzt daher hierbei einen eisernen Aufsetzer, der auf die Rippe paßt und die Schneide überdeckt. Bei dieser Methode ist eine Dichtung mit Hanf oder Leinwand entbehrlich, ebenso fehlen auch die eisernen Ringe, die sonst das Aufspalten der Röhren verhindern. Die Länge der ausgebohrten Röhren wird aber in diesem Falle vollständig benutzt, indem keine Zapfen angeschnitten werden.

Wenn diese Büchsen an einer Seite verlängert werden, so die-

nen sie auch zur Darstellung von Abzweigungen, die unter einem rechten Winkel seitwärts austreten. Zu diesem Zwecke muß die Seitenöffnung in der Röhre hinreichend erweitert werden, so daß man die Büchse eintreiben und mit Holzkeilen dichten kann, während sie auf der andern Seite in der beschriebenen Art in das Hirnholz der Zweigröhre eingreift. Am sichersten werden die Biegungen und Abzweigungen in hölzernen Röhrenleitungen dargestellt, wenn man gußeiserne Verbindungsstücke benutzt. Dieselben werden in die hölzernen Röhren eingeschoben und durch Holzkeile, die in Theer getränkt sind, gedichtet. Damit hierbei aber nicht vielleicht die Röhre spaltet, muß sie eben so, als wenn eine hölzerne Röhre hineingeschoben würde, mit einem eisernen Ringe umgeben sein.

Zuweilen setzt man hölzerne Röhren aus einzelnen Stücken zusammen, um ihnen eine größere Weite zu geben. So ist schon oben bei Gelegenheit der Artesischen Brunnen von der Zusammensetzung aus zwei Hälften die Rede gewesen, und wenn die Anzahl der Segmente noch größer wird, so ist ihre Construction übereinstimmend mit der eines Fasses, wobei die eisernen Zugbänder den Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilen darstellen. Obwohl man dergleichen Röhren bei Wasserleitungen nicht anwendet, so muß doch erwähnt werden, daß früher auf diese Art die gußeisernen Röhren, welche das von der Maschine Chaillot in Paris gehobene Wasser unter sehr starkem Drucke nach den Reservoirs leiteten, mit Holz verkleidet waren, um das Durchsickern zu verhindern. Der hölzerne Mantel bestand aus $1\frac{1}{2}$ zölligen eichenen Stäben und starke Zugbänder verbanden diese.

Beim Verlegen der Röhren muß man bis zu derjenigen Tiefe herabgehn, in der das Wasser vor dem Gefrieren und starker Erwärmung gesichert ist. Der Frost ist besonders nachtheilig, weil dadurch nicht nur die Leitung ganz unterbrochen, sondern auch die Röhren zersprengt werden. Wiewohl die Boden-Temperatur selbst in großer Tiefe im Sommer nicht dieselbe, wie im Winter ist, so dringt in unserm Klima der Frost doch nur selten über 3 Fuß in den Boden ein. In Städten werden die Röhrenstränge häufig noch aus einem andern Grunde sehr tief verlegt, man muß sie nämlich vor den Erschütterungen des Fuhrwerks sichern, wodurch ihre Verbindungen sich lösen und undicht werden, sie selbst aber auch

brechen könnten. Diese Vorsicht ist indessen bei hölzernen Röhrenleitungen weniger nöthig, als bei eisernen und steinernen.

Bei verschiedenen Wasserleitungen ist die Tiefe sehr verschieden gewählt. Die hölzernen Röhren, welche die Soole von dem Scheitel des Soldenköpfel bei Berchtesgaden nach Reichenhall führen, liegen des kalten Klimas unerachtet meist ganz unbedeckt zur Seite der Chaussee, hier verhindert indessen der starke Salzgehalt des Wassers das Einfrieren. Leitungen, welche Quellwasser aus dem Erdboden aufnehmen, braucht man wegen des Frostes nicht tief zu versenken, weil die Abkühlung nicht so schnell erfolgt. Wo aber das Wasser aus dem Speisebassin schon abgekühlt und vielleicht unter einer Eisedecke abfließt, da muß man jede fernere Erniedrigung der Temperatur verhindern, und deshalb einige Fufs tief unter die Oberfläche des Bodens herabgehn. In Paris legt man alle Röhren mindestens 1 Meter oder 3 Fufs 2 Zoll tief, in England wählt man ungefähr dieselbe Tiefe, doch geht man in Deutschland bei der Anlage größerer Leitungen gemeinhin noch vorsichtiger zu Werke, und versenkt die Röhren bis 5 Fufs tief.

Eine zweite Rücksicht, die man beim Verlegen der Röhren zu nehmen hat bezieht sich auf die Festigkeit des Bodens. Im Allgemeinen darf man diese immer voraussetzen, insofern keine neue Aufschüttung gemacht, sondern der Graben, worin die Röhre liegt, mit derselben Erde angefüllt wird, die schon früher hier lag und drückte. Das Gewicht der Röhre ist an sich unbedeutend und meist noch geringer, als das der Erde, deren Stelle sie einnimmt. Man hat also nur darauf zu achten, daß bei einem nachgiebigen Boden nicht andere Aufträge oder sonstige starke Belastungen hinzukommen, durch welche der Röhrenstrang, wenn er darunter liegt, theilweise herabgedrückt und dadurch in seiner Verbindung gelöst werden könnte. Endlich muß man jede Berührung der hölzernen Röhre mit animalischen oder vegetabilischen Stoffen sorgfältig vermeiden, weil solche vorzugsweise die Bildung des Schwammes befördern. Aus diesem Grunde darf auch keine fette Gartenerde zur Bedeckung genommen werden, sondern am besten eignet sich dazu Sand oder Thon, sowie auch die Verbindung beider, oder Lehm. Eine Ausnahme hiervon rechtfertigt sich nur, wenn der Röhrenstrang, wie dieses in moorigem Boden zuweilen geschieht, unter dem Grundwasser liegt. Der Thon hat übrigens vor dem Sande den Vorzug,

dafs er das Durchsickern des Wassers verhindert, woher er auch vorzugsweise benutzt wird. Zuweilen werden die Röhren vor dem Verlegen in der äufseren Oberfläche getheert, was jedoch wenig Nutzen hat, da man das Holz vorher nicht so stark austrocknen läfst, dafs der Theer eine feste Verbindung damit eingehn könnte. Andererseits geschieht es auch, dafs man die Röhren von aufsen schwach bebrennt, wodurch zwar der Fäulniß sehr kräftig entgegengewirkt, aber leicht der grofse Uebelstand herbeigeführt wird, dafs die Röhren stellenweise geschwächt werden.

Die hölzernen Röhren werden gewöhnlich ohne Untermauerung verlegt. Man hebt einen Graben in der Richtung aus, wo der Röhrenstrang liegen soll, und zwar in solcher Tiefe, dafs seine Sohle zugleich das Bette für den letztern bildet. Unter Umständen kann die Anbringung eines Thonschlages auf der Sohle nöthig werden, jedenfalls wird man den Graben nur so breit machen, dafs die Röhre darin Platz findet. Von grofser Wichtigkeit ist es, jede einzelne Röhrenstrecke, bevor sie wieder mit Erde verschüttet wird, in Hinsicht ihrer Wasserdichtigkeit zu prüfen. Zu diesem Zwecke wird in die äufsere Oeffnung der zuletzt verlegten Röhre ein hölzerner Pflock eingetrieben und der Zuflufs des Quells nach der Leitung geöffnet. Es bildet sich alsdann in der ganzen Leitung der volle Druck, welcher der Niveaudifferenz gegen das Speisebassin entspricht, und wenn dieser kein Ausspritzen oder Hervorquellen des Wassers aus den Fugen zwischen den Röhren oder durch die Röhrenwände selbst zur Folge hat, so kann man diesen Theil als gehörig wasserdicht ansehen und ihn verschütten.

Die willkürliche Zulassung und Absperrung des Wassers aus dem Sammelbassin nach der Röhrenleitung erfolgt gemeinhin durch die in Fig. 74 auf Taf. V dargestellte Vorrichtung. Man bringt dafür aber häufig eine Art von Kegelventil an, welches an einem Stiele herausgehoben und eingesetzt wird, um die Oeffnung in der Grundrinne oder im daraufgestellten Rinnstocke zu schliessen.

Luftspunde dürfen in hölzernen Leitungen nicht fehlen. Da letztere viel roher zusammengesetzt sind als eiserne, so tritt für die Luftspunde noch der sehr wichtige Zweck ein, durch sie bei eintretenden Verstopfungen oder Lecken die schadhafte Stellen aufzufinden. Wo es geschehn kann, bringt man verticale Luftröhren in der Fig. 89 gezeichneten Verbindungsart an, und führt sie bis über

das Niveau des Speisebassins herauf. Hierzu findet sich indessen nicht leicht die Gelegenheit, man muß also bei jedem Gebrauche des Luftspundes die darüber geschüttete Erde aufgraben. Man pflegt in diesem Falle gewöhnlich die Röhre von oben anzubohren, und das Bohrloch mit einem hölzernen Pflock zu schließsen. Dieses geschieht etwa alle 10 Ruthen. Man bezeichnet diese Stellen, und wählt sie an Orten, wo die Röhre nicht tief liegt und wo man leicht hinzukommen kann. Soll die Röhrenleitung angelassen werden, so sind alle diese Oeffnungen frei, sobald aber das Wasser durch das Bohrloch ausfließt, so wird der Pflock eingetrieben und der Graben an dieser Stelle mit Erde angefüllt.

Zeigt sich später eine merkliche Abnahme der zugeführten Wassermenge, während das Speisebassin gehörig gefüllt ist, so gräbt man die Stellen auf, wo die Spunde befindlich sind, und schlägt letztere nach und nach heraus. Aus der Stärke der austretenden Strahlen erkennt man schon, in welcher Strecke der Schaden zu suchen ist, und dieser Theil der Leitung muß gewöhnlich ganz aufgegraben werden. Entdeckt man einen Leck, so läßt sich durch Eintreiben von Hanf oder Werg derselbe gemeinlich leicht schließsen. Anders ist es aber, wenn eine Verstopfung in der Röhre vorgekommen ist, die sich oft aus Wurzelfasern bildet. In diesem Falle ist es besonders nützlich, wenn man recht viele Wechselhäuschen angebracht hat, durch welche man flexible Stangen einstofsen kann. Auch die Luftspunde lassen sich so einrichten, daß sie zu diesem Zwecke brauchbar sind. Dieses geschieht, indem sie nicht in einem bloßen Bohrloche, sondern vielmehr in einer etwa 3 Fufs langen Oeffnung bestehn. Fig. 93 *a* zeigt eine solche von oben und Fig. 93 *b* im Querschnitt. Sie wird mit einem pyramidalisch zugeschnittenen Klotze geschlossen, der Fig. 93 *c* perspectivisch dargestellt ist. Letzter darf natürlich nicht das Bohrloch der Röhre verengen, und muß einige Zolle vor die äußere Wand der Röhre vortreten, damit man ihn, so oft es nöthig ist, herausschlagen kann. Um ihn gehörig schließend zu machen, ist er von allen vier Seiten pyramidalisch geformt, und wird, bevor man ihn einsetzt, noch mit getheerter Leinwand umwunden.

Durch solche lange Oeffnungen läßt sich die Stange sowol nach der einen, wie nach der andern Seite einschieben. Sie besteht aus zähen Ruthen von Haselnufs, Esche und andern Holzarten, die lange

und gerade Triebe haben und dabei nicht spröde sind. Man bindet diese recht fest aneinander und stellt dadurch solche Längen dar, daß man von einem Spunde bis zu dem nächsten reichen kann. Am Ende werden sie auch wohl mit einem Besen oder mit einer eigenthümlichen Vorrichtung, der sogenannten Röhrbirne, versehen. Dieses ist ein Stück Eisen, welches einer kreuzweise aufgespaltenen Birne gleicht. Die einzelnen Viertel hängen an der Stelle, wo bei der Birne der Stiel ist, durch Federn zusammen, und werden durch letztere auseinander gedrängt, während sie bei vorkommenden Unebenheiten sich zusammenlegen und durch engere Profile treiben lassen. Greift man hiermit das in der Röhre steckende Geflecht von Wurzeln an, so pflügt sich solches leicht von der Wand zu trennen, und man kann es bis zum nächsten Spunde schieben, durch welchen es herausgezogen wird. Wenn eine Anhäufung von Schlamm die Ursache der Verstopfung war, so sind aber besonders die bereits erwähnten Ausgüsse an den niedrigsten Stellen sehr wirksam, während die Schlammkasten schon die Versetzung der Röhre verhindern.

Die steinernen Röhren sind sehr verschieden. Sie werden entweder durch Ausbohrung eines natürlichen Steins, und zwar vorzugsweise des Sandsteins dargestellt, oder sie sind wie gewöhnliches Töpfergeschirr geformt und gebrannt und in diesem Falle gemeinlich von innen glasirt. Man bildet sie ferner aus einer porcellanartigen Masse, die beim Brennen zusammensintert, und daher keiner besonderen Glasur bedarf, und endlich werden sie zuweilen auch aus Mauerwerk oder auf andere Art unmittelbar da, wo sie liegen sollen, ausgeführt. Diese Röhren sind zum Theil sehr wohlfeil, auch dauerhaft, wenn sie vor äußern Beschädigungen gesichert werden. Sie geben dem Wasser am wenigsten einen fremdartigen Beigeschmack, lassen wegen der rauhen und festen Oberfläche die verschiedenen Kitle gut haften und sind daher bei sorgfältiger Verlegung auch in den Stößen gehörig dicht. Gekrümmte Röhrenstücke und Abzweigungen sind leicht darzustellen, und endlich gewähren sie den Vortheil, daß ihre Durchführung durch Mauern wegen der Uebereinstimmung des Materials wenig Schwierigkeiten macht.

Diese Gründe werden häufig hervorgehoben, um den steinernen Röhren allgemeineren Eingang zu verschaffen, als sie bisher gefunden haben, es fehlt auch keineswegs an Beispielen, welche zeigen, daß sie lange Zeit hindurch benutzt werden können, aber dagegen

sind auch viele Fälle bekannt geworden, in denen sie so wenig haltbar waren, daß man sie bald verwerfen mußte, und besonders sind in dieser Beziehung die Erfahrungen wichtig, die man in England gemacht hat. Ihre große Zerbrechlichkeit gereicht ihnen ohne Zweifel sehr zum Vorwurf. Keine andere Art von Röhrenleitung verlangt eine solche Vorsicht in der Verlegung, damit kein Theil hohl liegt oder durch Erschütterungen berührt wird. Die Steifigkeit, welche sie durch die festen Kitten in den Stößen erhalten, ist eine neue Veranlassung ihres häufigen Brechens. In dieser Beziehung wirkt schon die Temperaturveränderung sehr nachtheilig auf sie ein, während es unmöglich ist, ihnen die genaue Form zu geben, welche sie haben müßten, wenn man eine künstliche Compensation, wie bei eisernen Röhren, anbringen wollte. Ferner ist ihre Festigkeit nur sehr geringe und noch dazu sehr ungleichmäßig, so daß man sie einem größern Wasserdrucke nie aussetzen darf, wenn sie nicht einen sehr kleinen Durchmesser haben. Auch ist ihre Wasserdichtigkeit nicht immer so vollständig, als man vermuthet. Endlich beeinträchtigt der Pflanzenwuchs die Wirksamkeit der steinernen Röhren weit mehr, als andre. Manche Bäume sind so begierig, ihre Wurzeln in diese Röhren zu senden, daß man bemerkt hat, wie dieselben sich bis auf 30 Fuß in horizontaler Entfernung und bis 12 Fuß in der Tiefe direct nach der Leitung hinzogen, und sobald sie diese erreicht hatten, durchdrangen die feinen Fasern den Mörtel oder den Stein, und machten dabei die Röhren undicht, und verstopften sie. *) Auch die Vegetation im Innern ist bei keiner andern Leitung so reichlich und so störend, wie gerade bei den steinernen.

Hiernach scheint es, daß die Vorzüge vollständig durch die Nachtheile aufgewogen werden, und wenn gleich unter manchen localen Verhältnissen die erstern überwiegen mögen, so ist doch zu bezweifeln, daß diese Röhren eine allgemeine Verbreitung finden können.

In England hat man mittelst besonderer Maschinen mehrere Röhren von verschiedener Weite aus denselben Sandstein-Blöcken dargestellt, indem etwa 6 concentrische kreisförmige Schnitte gleichzeitig in jeden Block eingeschliffen wurden. Die Zusammensetzung solcher Röhren erfolgte in gleicher Weise, wie zuweilen bei eisernen

*) *Sganzin Resumé*, 4. Auflage. S. 161.

Röhren geschieht durch darüber geschobene breite eiserne Ringe, welche die Stöße überdecken. Der Zwischenraum zwischen denselben und dem Ringe wird mit hydraulischem Mörtel oder einem andern Kite ausgestrichen, oder behufs eines recht dichten Schlusses noch mit schmalen Holzkeilen gefüllt. Dafs man bei der Verlegung dieser Röhren, und noch mehr bei ihrer Beschüttung sehr vorsichtig zu Werke gehn mufs, ist bereits erwähnt worden. Gewöhnlich legt man sie durchweg auf ausgemauerte Fundamente, und zwar wird das Mauerwerk oben nach der Form der Röhre abgeglichen, damit der Druck sich auf eine grofse tragende Fläche vertheilt.

Dergleichen Röhren aus Sandstein und zum Theil auch aus andern Steinen, wie aus Marmor, hat man schon zur Zeit der ersten römischen Kaiser benutzt. Sie sind auch später mehrfach versucht worden, wenn gleich die grofsen Kosten ihrer Darstellung die Benutzung zu ausgedehnten Leitungen zu verhindern scheinen. Doch ist dieses in England geschehn. Im Anfange dieses Jahrhunderts bildete sich nämlich in Manchester eine Actiengesellschaft zur Versorgung der Stadt mit Wasser. Sie legte zuerst hölzerne Röhren, da diese jedoch viele Reparaturen erforderten, so mufsten sie durch andere ersetzt werden. Der Eigenthümer eines Steinbruches in der Nähe erbot sich zur Lieferung von Sandsteinröhren, von denen einige Proben günstig ausfielen. Die Gesellschaft entschlofs sich daher auf den Rath Rennie's, diese Röhren zu wählen. Beim Verlegen wurde jede mögliche Vorsicht beobachtet, als aber das Wasser hineingelassen war, so zeigte sich die Unangemessenheit der Wahl des Materials auf die augenscheinlichste Art. Grofse Theile der Stadt wurden sogleich inundirt, indem eine Menge Röhren unter dem Wasserdrucke zersprangen und aus den andern, die ganz geblieben waren, überall das Wasser durch die Röhrenwand durchquoll. Indem nun die Fonds der Gesellschaft vollständig erschöpft und alles Zutrauen zu ihr beim Publikum verschwunden war, so löste sie sich auf, und die neue Gesellschaft, die 1817 zusammentrat, legte gufseiserne Röhren, die noch in Wirksamkeit sind. *) In derselben Zeit, als in Manchester die steinernen Röhren gelegt wurden, sollte die Grand Junction-Canal-Wasserleitung in London ausgedehnt werden, und Rennie, der auch hier der Ingenieur der Gesellschaft war, veran-

*) *Matthews hydraulia.* p. 138 ff.

lafste letztere sogar, die gußeisernen Röhren, die nach seiner Meinung das Wasser verunreinigten, zu entfernen und dafür steinerne anzuwenden. Man folgte seinem Rathe und der Erfolg war derselbe, wie in Manchester, so daß man sich beeilen mußte, wieder die gußeisernen Röhren zu benutzen. Die Kosten dieses Versuchs betragen 11000 Pfund.

Die thönernen, inwendig glasierten Röhren würden sich vorzugsweise durch ihre Wohlfeilheit empfehlen, wenn ihre geringe Dauer nicht ihre Anwendbarkeit wesentlich beschränkte. Da ihnen die nöthige Festigkeit abgeht, um auch nur einem geringen Wasserdrucke zu widerstehn, so vermauert man sie gewöhnlich in der Art, daß sie wirklich nur die innere Wand der Röhrenleitung bilden. Hierzu ist eine sichere Fundirung erforderlich, damit nirgend ein Setzen sich zeigt, die Kosten werden dadurch aber so bedeutend, daß der Vorzug der Wohlfeilheit im Vergleiche zu den hölzernen und oft selbst zu den eisernen Röhren verschwindet. Die Verbindung ist in der Regel diese, daß jede Röhre in das erweiterte Ende der nächsten eingreift und die Fuge mit Kitt gedichtet wird. Vor dem Trocknen lassen die Röhren sich biegen, man kann daher Krümmungen, sowie in besonderen Formen auch Stücke mit Abzweigungen darstellen. Es ist aber nicht ungewöhnlich, daß man Luftspunde und Abzweigungen nicht in den thönernen Röhren, sondern in zwischengelegten hölzernen Röhren anbringt, in welche jene eingreifen.

Indem nach dieser Darstellung die gemauerte Umschließung der Röhre den Haupttheil bildet, so kann man die gebrannte Röhre selbst auch ganz fortlassen. Auf diese Art stellt man zuweilen nur kleine Canäle dar, die überwölbt, oder mit Deckplatten geschlossen sind, die aber immer durch das Wasser vollständig gefüllt werden und aus diesem Grunde als Röhren anzusehn sind. Fleuret hat sie auch ohne Anwendung von Mauersteinen allein aus einem schnell erhärtenden Mörtel gebildet. Er bediente sich dabei eines hölzernen Cylinders, dessen Durchmesser der beabsichtigten Röhrenweite entsprach; derselbe wurde mit Mörtel umgeben und später etwas herausgezogen, jedoch so, daß er noch zum Theil in der bereits fertigen Röhre stecken blieb, woher die Fortsetzung sich immer genau anschloß. Fig. 94 zeigt den Querschnitt einer solchen Röhre.

Die aus einer porcellanähnlichen Masse oder aus Steingut gebildeten Röhren sind unter den verschiedenen steinernen Röhren gewiß die vorzüglichsten, insofern sie am festesten und für das Wasser am wenigsten durchdringlich sind. Bei einem Durchmesser von wenigen Zollen halten sie auch einen Wasserdruck bis 80 Fufs aus, doch müssen sie aus einer möglichst gleichartigen Masse bestehen und so fest gebrannt sein, daß sie am Stahle Funken geben. Ihre Wandstärke ist natürlich dem Drucke angemessen zu wählen, gemeinhin genügt es aber, derselben den vierten Theil der lichten Weite zu geben. Solche Röhren sind in Augsburg schon seit langer Zeit zu den Wasserleitungen benutzt, und ähnliche Beispiele kommen auch an andern Orten vor. Beim Verlegen dieser Röhren muß man indessen sehr vorsichtig sein. Eine ununterbrochene Fundirung, auf der sie in einer Rinne liegen, ist meist nothwendig, außerdem aber müssen sie auch vor Erschütterungen von dem darübergehenden Fuhrwerke gesichert und daher gehörig tief verlegt werden. Zu ihrer Zusammensetzung dient entweder ein mörtelähnlicher Cement, oder auch ein Kitt, der heiß aufgebracht wird und beim Erkalten erhärtet, wie z. B. Schwefel, der hierbei vorzugsweise benutzt wird.

Die bleiernen Röhren waren vor einigen Jahrzehnden noch vielfach im Gebrauch. Sie empfehlen sich mit Recht durch manche schätzbare Eigenschaften: sie können einen starken Wasserdruck aushalten, ohne zu springen, sie sind sowol an sich sehr wasserdicht, als auch in den Stößen, wo sie zusammengelöthet werden. Man kann sie biegen und dadurch jede beliebige Krümmung darstellen, und endlich kommt es bei ihnen am wenigsten auf eine gesicherte Lage an, denn Stöße und Erschütterungen schaden ihnen nichts, und eben so wenig leiden sie, wenn sie theilweise auf einem nachgebenden Boden liegen, wo sie tiefer als an andern Stellen einsinken. Nachtheilig ist zwar ihre starke Ausdehnung in der Wärme, die $2\frac{1}{2}$ Mal größer, als bei Gufseisen ist. Da sie indessen nicht leicht in ganz geraden Strängen liegen, so haben sie meist Gelegenheit, sich ohne Nachtheil zu verlängern oder zu verkürzen. In der neusten Zeit sind sie indessen durch die gegossenen eisernen Röhren verdrängt, die bei der vollkommneren Methode des Giessens viel billiger sind, und endlich hat man ihnen den Vorwurf gemacht, daß sie das Wasser mit Bleikalk versetzen und es dadurch förmlich

vergiften. Sie werden heutiges Tages nur noch als kleinere Zweigröhren benutzt.

Die ältere Methode ihrer Darstellung war die, daß man Bleiplatten zu cylindrischen Flächen scharf zusammenbog und die Ränder, ohne daß sie sich überdeckten, zusammenlöthete. Man hat auch versucht, die Ränder durch bloßes Falzen und ohne Löthung mit einander zu verbinden. Hauptsächlich werden die Bleiröhren aber gegossen und später ist das Zieh'n der gegossenen Röhren über einen Dorn und durch stählerne Löcher von abnehmender Weite üblich geworden. Die gegossenen Röhren sind gewöhnlich 12 Fuß lang und haben eine Weite von 1 bis 6 Zoll. Ihre Wandstärke beträgt nach Génieys bei einer lichten Weite

von 1 Zoll . . .	$2\frac{1}{2}$ Linien
- 2 Zoll . . .	$3\frac{1}{4}$ Linien
- 3 Zoll . . .	4 Linien
- 4 Zoll . . .	$4\frac{1}{2}$ Linien
- 6 Zoll . . .	$5\frac{2}{3}$ Linien

Bei größeren Weiten werden sie auch gegenwärtig nicht mehr gegossen, sondern aus Platten geformt und gelöthet. Man löthet auch ebene Ränder, also Flanschen daran mittelst deren sie, wie bei eisernen Röhren geschieht, durch Schraubenbolzen verbunden werden. Dabei ist es aber nöthig, eiserne Ringe, welche die Bolzenlöcher enthalten, zuvor auf die Röhren aufzuzieh'n, da ohne dieselben der nöthige Druck nicht auf den ganzen Umfang gleichmäfsig vertheilt werden kann. Engere Röhren löthet man dagegen zusammen, indem die Ränder stumpf gegeneinander gebracht, aber nicht ineinander geschoben werden. Indem man bei den Bleiröhren überall Oeffnungen einschneiden und andere Röhren dieser Art wieder anlöthen kann, so sind Abzweigungen hier besonders leicht anzubringen. Wie man sie mit gusseisernen Röhren verbindet, soll bei Gelegenheit der Beschreibung der letzteren mitgetheilt werden, dieses ist aber dieselbe Art, wie sie auch mit hölzernen Röhren verbunden werden.

Seit dem Jahre 1840 werden Bleiröhren noch in andrer Weise und zwar in der höchsten Regelmäfsigkeit und in beliebigen Längen fabricirt, indem man das geschmolzene Blei durch eine eiserne cylindrische Röhre abfliefsen läßt, in der sich ein massiver cylindrischer Dorn befindet. Das Blei tritt also schon als Röhre von bestimmter Weite und Wandstärke aus, und es ist nur dafür zu sorgen,

dafs es zwischen der eisernen Röhre und dem Dorne schon erstarrt, um später die Form nicht zu verändern. Man kann in dieser Weise Röhren bis von nahe 4 Zoll Weite darstellen.

Um eine Bleiröhre zu prüfen, ob sie beim Gusse oder beim Ziehn oder Walzen überall die nöthige Wandstärke erhalten hat und ob die Fugen wasserdicht sind, schliesst man sie an einem Ende mit einem hölzernen Pfropfen, giefst sodann Wasser hinein und steckt in das offene Ende einen starken Stock, der unten mit einer Art Kolben versehen ist. Kann man auf letztern mit einem Hammer aufschlagen, ohne dafs Wassertropfen aus der Röhre ausspritzen, oder dieselbe irgendwo Veränderungen zeigt, so hat sie die erforderliche Stärke und Wasserdichtigkeit.

Jardine in Edinburg beobachtete, dafs eine Bleiröhre von $1\frac{1}{2}$ Zoll Weite und $\frac{1}{5}$ Zoll Wandstärke noch einem Wasserdrucke von 1000 Fufs widerstand, dafs sie aber aufrifs, sobald der Druck auf 1200 Fufs sich vermehrte. Eine andere Röhre von derselben Wandstärke, die 2 Zoll weit war, hielt nur den Druck von 860 Fufs mit Sicherheit aus und brach bei 1000 Fufs. *) Indem die absolute Festigkeit des Bleies nur etwa dem neunten Theile der des Gufseisens gleich ist, der Preis dafür vergleichungsweise zum letzteren sich aber nahe auf das Dreifache stellt, so rechtfertigt es sich gewifs, dafs man schon der Kosten wegen allgemein das Gufseisen vorzieht und das Blei nur anwendet, wenn die Röhre nicht sicher verlegt werden kann und ein späteres Biegen derselben in Aussicht genommen werden mufs. Tritt dieses ein, so verhindert die Zähigkeit des Bleies den Bruch, und selbst unter sehr starkem Wasserdruck zerspringt sie nicht, wie etwa das gewalzte Eisen, vielmehr schwillt sie zunächst an der schwächsten Stelle auf. Es bildet sich hier eine förmliche Blase, und nur wenn die Wand derselben sich soweit verdünnt hat, dafs eine weitere Ausdehnung nicht mehr erfolgen kann, bricht sie auf, wobei die Ränder zurückgebogen werden, und der ganze Inhalt der Röhre schnell entweicht. So sah ich 1822 eine schadhafte Röhre in einer Strafsse in Paris aufnehmen, worin auf etwa 6 Zoll Länge eine 2 Zoll weite Spalte sich gebildet hatte.

In neuerer Zeit sind auch Asphaltröhren vielfach versucht und angewendet worden. Dieselben werden gewöhnlich aus Papier

*) Navier, *résumé des leçons*. Vol. I.

gefertigt, welches durch geschmolzenen Asphalt gezogen ist. Dieses Papier bereitet man aus altem Tauwerk der Marine, und zwar wird es nicht geschöpft, sondern ohne Ende dargestellt. Nachdem es durch den Asphalt-Behälter gegangen, windet man es um einen Cylinder, dessen Durchmesser mit der beabsichtigten lichten Weite der Röhre übereinstimmt. Dieser Cylinder wird von der Maschine gedreht und auf ihm ruht ein zweiter Cylinder, der das Papier gleichmäßig andrückt. Hat man durch mehrfache Umdrehungen die beabsichtigte Wandstärke erreicht, so schneidet man das Papier ab, und zieht den Cylinder, der als Kern diente, aus der so geformten Röhre. Letztere wird noch im Innern mit einem wasserdichten Firnis, im Außern dagegen mit einem, mit Kies vermischten Asphalt-Lack überzogen und ist alsdann zum Gebrauche fertig.

Die Asphaltröhren-Fabrik in Hamburg liefert Röhren von 7 Fuß Länge und 2 bis 24 Zoll lichter Weite für Preise, die nur die Hälfte der gußeisernen Röhren betragen sollen.

Was die Verbindung dieser Röhren unter sich oder mit gußeisernen Röhren betrifft, so wird besonders der Patent-Verschluss als vollkommen dicht und zugleich als etwas flexibel gerühmt. Derselbe besteht im Wesentlichen aus einer gußeisernen oder auch aus einer Asphaltröhren-Muffe, die über den Stofs gezogen wird, sowie aus zwei mit Flanchen versehenen gußeisernen Ringen, die an beiden Enden der ersten liegen, jedoch an den gegenüberstehenden Seiten hohle Kegelflächen bilden. Diese Kegelflächen lehnen sich nicht unmittelbar an die Muffe, sondern es befindet sich davor auf jeder Seite noch ein Kautschuck-Ring, dessen Querschnitt ein abgestumpftes gleichschenkliches Dreieck bildet, und der mit seiner Basis auf der Röhre ruht. Sobald die eisernen Ringe durch Schraubenbolzen zusammengepreßt werden, so drücken sie die Kautschuckringe sehr fest gegen die Röhre und stellen dadurch den wasserdichten Verschluss dar.

Wenn diese Röhren aber keinem, oder nur einem geringen Drucke ausgesetzt sind, so genügt es, die beiden Enden zu erhitzen und auf einander zu drücken, während darüber ein Leinenband, das wieder in Asphalt getaucht war, um den Stofs gewunden wird.

Die mit diesen Röhren angestellten Versuche haben in der That sehr günstige Resultate ergeben. So fanden Karmarsch und Rühlmann, daß eine aus mehreren Stücken zusammengesetzte Röhre von

4 Zoll lichter Weite und $\frac{1}{2}$ Zoll Wandstärke einem Druck von vier und zwanzig Atmosphären widerstand ohne undicht zu werden, noch sonst irgend eine Beschädigung zu zeigen. Auch unter hohen Erdschüttungen sollen die Röhren nicht leiden, noch auch zusammengedrückt werden. Mehrfach sind sie bereits angewendet worden, und nach den frühesten Versuchen haben sie sich bereits seit zehn Jahren gut gehalten. Besonders rühmt man, daß sie beim Gefrieren des Wassers nicht springen, und daß sie demselben, auch wenn es lange darin gestanden hat, keinen Beigeschmack geben, noch auch es sonst in irgend einer Weise verunreinigen. Jedenfalls sind sie der Beachtung werth, obwohl vielfach bezweifelt wird, ob sie den seit Jahrhunderten bewährten gufseisernen Röhren gleichgestellt werden dürfen.

Wesentlich verschieden sind die Asphaltröhren, die in neuerer Zeit vielfach in Frankreich benutzt werden, und die aus Eisenblechen bestehn und von innen, wie von außen mit Asphalt überzogen werden. Darcy *) theilt verschiedene Notizen über ihre Fabrication, so wie über ihre Verwendung und die dabei gemachten Erfahrungen mit. Letztere sind sehr befriedigend. Hier wäre nur zu bemerken, daß das Eisenblech, welches vorher verzinkt, oder vielmehr durch Eintauchen in eine Metallmischung von Blei und etwas Zinn mit einer dünnen Schicht derselben überzogen war, gebogen und durch Verniethung der Fuge zur Röhre verbunden wird. Die Wasserdichtigkeit wird durch den Asphaltüberzug dargestellt, der sowol von außen, wie von innen aufgebracht wird. Letzterer gewährt aber noch den Vortheil, daß er das Metall vollständig überdeckt und sonach seine Oxydation verhindert. Darcy bemerkt, daß diese Röhren bedeutend wohlfeiler, als gufseiserne sind, daß aber der Unterschied der Kosten bei größeren Weiten nur geringe ist.

§. 22.

Gufseiserne Leitungsröhren.

Bei gufseisernen Röhren lassen sich alle diejenigen Vorkehrungen in Anwendung bringen, welche eine zweckmäßige Vertheilung des

*) *Les fontaines publiques de Dijon. pag. 632.*

Wassers und eine ununterbrochene Wirksamkeit der Leitung bezwecken. Ein großer Vorzug dieser Röhren liegt aber noch in ihrer Dauer. In England giebt es Röhren, die 100 Jahre hindurch das Wasser geleitet haben, ohne daß eine Abnutzung daran bemerkt wäre. Ferner ist ihre Stärke und Wasserdichtigkeit so groß, daß man ihnen selbst bei einem Wasserdrucke von 100 Fufs nur diejenige Wandstärke geben darf, die schon wegen des gleichmäßigen Gusses erforderlich ist. Mittelst der hydraulischen Presse können sie leicht und sicher geprüft werden. Die einzelnen Röhrenstücke lassen sich dauerhaft und wasserdicht verbinden, und man hat dabei noch die Wahl, entweder eine ganz steife Verbindungsart zu benutzen, oder in den Stößen, unbeschadet der Wasserdichtigkeit, eine gewisse Biegsamkeit und Dehnbarkeit darzustellen, so daß der ganze Strang bei Temperatur-Veränderungen sich verlängern und verkürzen, und bei zufälligem Setzen des Untergrundes an einzelnen Stellen sich auch biegen kann, ohne die Wirksamkeit der Leitung zu beeinträchtigen. Andererseits kann man dabei aber auch die Vorrichtung treffen, daß eine Röhre mittelst einer Stopfbüchse sich in eine andre schiebt, oder durch ein Gelenk mit derselben verbunden ist, so daß Verkürzungen und Biegungen in ausgedehntem Maasse möglich sind.

Die gußeisernen Röhren sind bei der geringen Wandstärke, die man ihnen heutiges Tages giebt, so wenig kostbar, daß sie mit Rücksicht auf die Unterhaltung in den meisten Fällen andern Leitungen vorzuziehen sind, soweit letztere schon durch längere Erfahrungen versucht wurden. Das Wasser, welches sie leiten, wird auch nicht verdorben, und am wenigsten in der Art, daß es der Gesundheit nachtheilig würde. Der größte Uebelstand ist, daß das Gußeisen oxydirt, und in manchen Fällen dieses Oxyd sich in großen Massen absetzt. Man hat indessen diesen Fall nur selten, und wie es scheint, nur einmal bemerkt, auch ist die ganze Wahrnehmung sehr zweifelhaft, woher die Besorgniß, daß bei einer neuen Anlage derselbe Uebelstand sich wiederholen möchte, nicht gerechtfertigt ist.

Um die nöthige Wandstärke der gußeisernen Röhren zu bestimmen, muß man aufer der absoluten Festigkeit des Gußeisens auch den innern Durchmesser der Röhre und die Druckhöhe des Wassers kennen. Es sei f die absolute Festigkeit, oder diejenige Anzahl von Pfunden, welche ein gußeiserner Stab von 1 Quadrat-zoll Querschnitt mit Sicherheit tragen kann, ohne zu zerreißen, d

der Durchmesser oder die lichte Weite der Röhre, e ihre Wandstärke, Beides in Zollen ausgedrückt, und h bezeichne die Druckhöhe des Wassers über der Achse der Röhre und zwar in Fufs. Die Röhre kann brechen, indem der Druck in jedem einzelnen ringförmigen Theile derselben gegen die betreffende Wand gröfser wird, als die Festigkeit der letzteren. Es ist aber auch denkbar, dafs die Wand nicht parallel, sondern normal gegen die Röhren-Achse zerrissen wird, also ein Theil der Röhre sich von dem vorhergehenden löst. Der letzte Fall ist weniger wahrscheinlich, als der erste, weil die Befestigungsart der Röhren ihn gemeinhin schon verhindert, da er aber doch zuweilen eintreten kann, so ist es nöthig, ihn auch in Betrachtung zu ziehn. Ich mache mit ihm den Anfang und untersuche also zunächst, wie grofs e sein mufs, damit die Röhre nicht transversal bricht. Indem 1 Cubikfufs Wasser 61,736 Pfund wiegt, so ist der Druck auf jeden Quadratzoll Oberfläche der Röhrenwand gleich $0,4287 \cdot h$ also auf den ganzen Querschnitt der Röhren-Oeffnung

$$= 0,1072 \cdot h d^2 \pi$$

Der Querschnitt der Röhrenwand ist aber

$$= (e^2 + ed) \pi$$

und der Druck, dem derselbe mit Sicherheit widerstehn kann

$$= (e^2 + ed) \pi f$$

Man hat also

$$0,1072 \cdot h d^2 = (e^2 + ed) f$$

woraus sich ergibt

$$e = -\frac{1}{2} d + \frac{1}{2} d \sqrt{\left(1 + 0,4287 \frac{h}{f}\right)}$$

oder mit Vernachlässigung der höheren Potenzen des sehr kleinen

Buches $\frac{h}{f}$

$$e = 0,1072 \frac{h}{f} d - 0,0115 \frac{h^2}{f^2} d.$$

Damit die Röhre nicht der Länge nach brechen kann, darf in jedem ringförmigen Theile, dessen Breite 1 Zoll sei, der Druck auf ein einzelnes Stück desselben nicht gröfser werden, als die Cohäsion der Wand, und da hier an ein Umbiegen, oder an den Bruch in einer einzelnen Stelle nicht gedacht werden kann, da das Gufseisen nicht biegsam ist, und überdies ein gleichmäfsiger Gufs vorausgesetzt

wird, so muß der Ring auf zwei Stellen brechen. Der Wasserdruck, der dieses bewirkt, ist proportional der Sehne des abgebrochenen Stückes vom Ringe, er wird also ein Maximum, sobald der Ring diametral zerbricht, auch möchte das Herausdrücken eines andern Segmentes außerdem noch eine neue Kraft erfordern. Sonach muß e so groß sein, daß es in jedem einzelnen Ringe den diametralen Bruch verhindert. Die Cohäsion in beiden Bruchstellen beträgt

$$= 2ef$$

und der Wasserdruck, dem sie widerstehn soll, ist gleich

$$0,4287 \cdot hd$$

daher muß

$$e = 0,2144 \frac{h}{f} d$$

oder mehr als doppelt so groß sein, wie im ersten Falle. Wenn sonach die Röhre so stark ist, daß der Longitudinalbruch nicht erfolgen kann, so ist dadurch auch Sicherheit gegen den Transversalbruch erreicht.

In Bezug auf den Longitudinalbruch ist noch zu bemerken, daß man hierbei zuweilen auch die Elasticität in Betracht gezogen, und über die dadurch herbeigeführten Aenderungen der Röhre gewisse Voraussetzungen gemacht hat, welche eine geringe Modification des Resultates veranlassen. Man bedarf dieser Voraussetzungen und Modificationen aber nicht, wenn man für f denjenigen Werth wählt, der noch keine merkliche Ausdehnung des Materials hervorbringt, und überdies ist eine große Schärfe der Rechnung auch zwecklos, da die Constante f wegen der Verschiedenartigkeit des Materials doch niemals genau bekannt ist.

Die geringste Wandstärke, die man im Gusse darstellen kann, ist etwa ein Viertel Zoll, und mit dieser würde eine Röhre von 6 Zoll Weite einem Wasserdrucke von 2900 Fufs, von 12 Zoll Weite aber noch einem Drucke von 1450 Fufs Widerstand leisten, wenn f zu 16000 angenommen wird. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß die Röhren diese Festigkeit wirklich nicht besitzen, weil der Guß nicht überall rein, noch auch gleichmäßig genug ausfällt. Dazu kommt noch, daß eine zufällige Schwächung durch Rost oder in andrer Art leicht erfolgen kann, und daß nicht der todtte Druck des Wassers allein die Ursache des Bruches der Röhren ist, sondern in viel höherem Grade der Stofs der bewegten Wassersäule beim Schließen

eines Ventiles, wodurch ein Effect ähnlich dem des Stofshebers hervorgebracht wird. Bei der mehrfach erwähnten Anlage zu Toulouse nahm d'Aubuisson die geringste Wandstärke zu 10 Millimeter oder 4,6 Linien Rheinländisch an, und dieselbe behielt er bis zur Röhrenweite von 4,5 Zoll bei. Betrug die lichte Weite indessen mehr, so setzte er die Wandstärke gleich drei Hunderttheilen der lichten Weite + 7 Millimeter ($3\frac{1}{4}$ Linien). Er erwähnt dabei, dafs er im Allgemeinen der Regel gefolgt sei, die Wandstärke im metrischen Maafse so anzunehmen, dafs

$$e = 0,01 + 0,015 \cdot d$$

also im Rheinländischen Zollmaafse

$$e = 0,38 + 0,015 \cdot d$$

Dagegen giebt Th. Wicksteed *) an, dafs die Röhren, die er in London verlegen liefs

bei 18 Zoll Weite $\frac{3}{4}$ Zoll stark

- 5 - - $\frac{1}{2}$ - -

- 3 - - $\frac{3}{8}$ - -

gewesen wären. Leitet man hieraus eine ähnliche Formel ab, indem man die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten aufsucht, so findet man nach der Reduction auf Rheinl. Zollmaafs

$$e = 0,41 + 0,013 \cdot d$$

Bei Röhren von mäfsiger Weite pflegt man indessen noch schwächere Wandstärken zu wählen, was auch zulässig ist, sobald man erwarten kann, dafs der Gufs mit Sorgfalt und mit Verwendung von gutem Material ausgeführt ist.

Darcy berücksichtigt den auffallenden Unterschied der Festigkeit zwischen den horizontal und vertikal gegossenen Röhren, und entscheidet sich unter Zugrundelegung eines Druckes von 10 Atmosphären, für die durch nachstehende Ausdrücke bezeichneten Wandstärken, die ebenso, wie die Weiten der Röhren auf Rheinländisches Zollmaafs übertragen sind. Für horizontal gegossene Röhren

$$e = 0,38 + 0,020 \cdot d$$

und für vertikal gegossene

$$e = 0,31 + 0,016 \cdot d.$$

In früherer Zeit war man nicht im Stande schwächere Wandstärken, als von 1 Zoll, darzustellen, auch glaubte man die Länge jeder

*) *Civil Engineer and Architects Journal* 1838. p. 242.

einzelnen Röhre auf 3 Fufs beschränken zu müssen. Als man jedoch anfang, die Röhren ohne Rücksicht auf die übermäßige Wandstärke nur nach den Längen zu verdingen, und allein die Innehaltung der bestimmten Weite, sowie die Widerstandsfähigkeit gegen einen gewissen Druck forderte, so wurden die Hüttenbesitzer in ihrem eigenen Interesse dahin geführt, einen feinen und dabei fehlerfreien Gufs darzustellen. Indem aber die Concurrenz bald den Preis in demselben Maafse herabdrückte, wie das Gewicht der Röhren vermindert war, so hatten die Anlagekosten für gufseiserne Röhrenleitungen sich bald auf die Hälfte und den dritten Theil des früheren Betrages vermindert, wozu noch kam, daß die Hüttenbesitzer sich auch bemühen mußten, die einzelnen Röhrenstücke recht lang zu machen, denn die Ränder und sonstigen Vorrichtungen zur Verbindung wurden nicht besonders bezahlt. Die Röhren hatten hierdurch aber keineswegs an Güte verloren, vielmehr durch die Einführung des Verfahrens, daß jedes einzelne Stück mit der hydraulischen Presse geprüft wurde, wesentlich gewonnen.

Wenn die Röhren nach der früheren Art horizontal oder liegend gegossen werden, so muß das glühende Eisen in der schmalen Spalte, welche der Stärke der Röhrenwand entspricht, sich weit seitwärts verbreiten, wobei es sich leicht abkühlt, und dadurch verhindert wird, eine gleichmäßige und dichte Masse zu bilden. Dazu kommt noch, daß es in diesem Falle, wenn es auch dünnflüssig eingedrungen ist, keinem starken Drucke ausgesetzt werden kann. Außerdem geschieht es nicht selten, daß bei größeren Längen auch der Kern durchbiegt, den man, um dieses zu vermeiden, durch Bolzen stützt. Dieselben verbinden sich zwar sehr fest mit dem Gufseisen, doch bilden sich daneben auch leicht undichte Stellen: Ihre vortretenden Enden werden später sowol auf der innern, wie der äußern Seite der Wand abgeschnitten.

Beim vertikalen Gufse verschwinden die erwähnten Uebelstände. Mit demselben Krahn werden centrisc übereinander die drei Formkasten und darauf in diese der Kern versenkt, der im Boden des untern Formkastens schon sein richtiges Lager findet und oben genau eingerichtet werden kann. Das Eisen fließt hier senkrecht herab und zwar für den untern Theil unter starkem Drucke. Augenscheinlich werden hierdurch viele Fehlerquellen umgangen, und man darf bei diesen Fabrikaten eine größere Vollkommenheit voraussetzen,

als bei den nach der ersten Art dargestellten. Es wäre nur noch zu bemerken, daß die Röhren gewöhnlich 9 Fufs lang sind, und daß die flachen Verstärkungen, die sie gemeinhin in Abständen von 3 Fufs haben, nur die unvermeidlichen Unregelmäßigkeiten an den Stellen verdecken sollen, wo zwei Formkasten sich berühren.

Nachdem die Röhren aus den Formen genommen und gereinigt sind, pflegt man die untern Enden noch mit dem Hartmeißel zu ebnen, damit hier nicht etwa Unebenheiten bleiben, die bei der Zusammensetzung große Oeffnungen bilden, durch welche das Tauwerk, das zum Dichten gebraucht wird, in die Röhre dringen könnte.

Bei Abnahme der Röhren verwirft man

- 1) alle, welche Risse, Blasen und überhaupt einen unreinen Gufs zeigen,
- 2) die an dem einen oder dem andern Ende eine sehr ungleiche Wandstärke zu erkennen geben. Nach Génieys darf man nur einen Spielraum von etwa 1 Linie gestatten.
- 3) diejenigen, an welchen man nicht einen kreisförmigen, sondern einen elliptischen Querschnitt, entweder in der innern oder der äußern Oberfläche bemerkt, und endlich
- 4) alle Röhrenstücke, welche bei der Probe mit der hydraulischen Presse entweder springen, oder das Wasser in feinen Strahlen oder auch nur durch merkliches Ausschwitzen entweichen lassen.

Wenn gutes Eisen angewendet und der Gufs mit der gehörigen Vorsicht in richtig aufgestellten Formen ausgeführt ist, auch sonst keine Zufälligkeiten dabei eingetreten sind, so ist die Festigkeit der Röhre bei der angegebenen Wandstärke so groß, daß der Druck einer Wassersäule von mehreren hundert Fufs Höhe keinen Bruch herbeiführen kann. Der Zweck der Probe ist daher nur die Ermittlung der zufällig dabei vorgekommenen größeren Unregelmäßigkeiten und der besonders schwachen Stellen. D'Aubuisson, der bei der Wasserleitung zu Toulouse nur eine Druckprobe von 30 Meter anwendete, giebt den Rath, denselben auf 100 Meter oder 10 Atmosphären zu verstärken. Dasselbe empfiehlt Génieys. Die Röhren der New-River Wasserleitung wurden wirklich auf 300 Fufs geprüft und diejenigen, welche Jardine in Edinburg verlegen liefs, die einen Druck von mehr als 300 Fufs auszuhalten haben, sogar auf 800 Fufs. Die Probe läßt sich am bequemsten auf der Hütte selbst anstellen

und dieses wird von den Lieferanten auch immer gewünscht, dabei wird aber von allen Beschädigungen abgesehen, die beim Transport und namentlich beim Auf- und Abladen vorkommen.

Die Prüfung erfolgt mittelst der hydraulischen Presse. Dieselbe bedarf hier keiner Beschreibung, wohl aber ist der Apparat, worin die Röhren eingespannt werden, näher zu bezeichnen. Fig. 95 *a* zeigt ihn in der Ansicht von der Seite und Fig. 95 *b* von oben. Auf einem hölzernen Rahmen, der zugleich die hydraulische Presse trägt, ist eine starke gusseiserne Platte *A* senkrecht aufgestellt und mit Schraubenbolzen befestigt, durch sie tritt das Druckrohr *D* der hydraulischen Presse hindurch. Zwei eiserne Zugstangen *BC* greifen gleichfalls durch diese Platte und werden durch Vorsteckbolzen daran gehalten. Eine zweite ebenso hohe gusseiserne Platte *E* steht ohne weitere Befestigung lose auf dem Rahmen und läßt sich hin- und herschieben, indem sie nur durch die beiden Zugstangen *BC* gehalten wird. Hinter der letzten Platte befindet sich ein gusseiserner Riegel *F*, durch welchen die beiden Zugstangen gleichfalls hindurchgreifen und den sie mittelst Schraubenmuttern halten. In der Mitte dieses Riegels bewegt sich die starke Schraube *G*, welche die zweite Platte *E* gegen die erste *A* preßt. Man legt die zu prüfende Röhre auf passende Unterlager *H*, so daß die Achse der Röhre parallel mit den beiden Zugstangen und zwar in deren Mitte trifft, auch muß sie weder höher noch tiefer als diese liegen. In diesem Falle trifft die Schraube *G* und das Druckrohr *D* gleichfalls in die Achse der Röhre. Alsdann dreht man die Schraubenmuttern am Ende der Zugstangen so weit, daß der Riegel *F* nicht weit von dem Ende der Röhre entfernt ist, legt starke Lederringe oder geflochtene Kränze aus Hanf an beide Enden der Röhren und schiebt die Platten *A* und *E* dagegen. Indem man zuletzt noch die Schraube *G* fest anzieht, so ist die Röhre sicher geschlossen, und wenn sie auch an beiden Enden nicht ganz parallel abgeschnitten sein sollte, so lassen die beiden Platten sich doch weit genug neigen, um einen genauen Schluß hervorzubringen. Nunmehr kommt es darauf an, die Röhre mit Wasser anzufüllen. In der Platte *E* befinden sich zu diesem Zwecke verschiedene Paare von Oeffnungen, die mit Schrauben und vorgelegten Lederringen fest geschlossen werden können. Man öffnet zwei derselben, die noch in die Röhre, jedoch möglichst nahe an ihren obern Rand treffen. In die eine stellt man den gekrümmten

Ausguß eines Trichters, durch welchen man Wasser eingießt, und die andere dient zum Entweichen der Luft. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß die Füllung vollständiger geschieht, und weniger Luft in der Röhre zurückbleibt, wenn der Rahmen nicht ganz horizontal, sondern etwas geneigt verlegt wird. Kann man kein Wasser mehr hineintreiben, so schließt man beide Oeffnungen und setzt die hydraulische Presse in Bewegung. Das Sicherheitsventil ist auf den Druck von 10 Atmosphären beschwert, und man pumpt so lange, bis dieses wiederholtlich aufspringt. Wenn die Röhre durch diesen Druck nicht beschädigt wird, noch auch Wasser durchläßt, so ist sie in dieser Beziehung tadelfrei. Am häufigsten pflegen undichte Stellen sich da zu zeigen, wo man den Kern mit dem Formkasten durch eiserne Bolzen verbunden hatte.

Zur Zusammensetzung der gußeisernen Röhren versah man sonst, wie auch jetzt noch zuweilen geschieht, jedes einzelne Stück an jedem Ende mit einem vorstehenden Rande oder Flansch, worin sich nach Maafgabe der Weite der Röhre 4 bis 8, auch wohl noch mehr Löcher befanden, durch die man eben so viele Schraubenbolzen einzog, Fig. 96 zeigt diese Verbindung. Um aber einen gehörig wasserdichten Schluß zu bewirken, ist dieser Rand nicht durch eine Ebene, sondern durch eine flach conische Fläche begrenzt. Eine ringförmige Bleiplatte, an welche sich auf jeder Seite eine getheerte Tuch- oder Lederscheibe anschließt, legt man auf den Stofs zweier Röhren und zwar innerhalb der Schraubenbolzen, wodurch beim Anziehn der Muttern ein sehr dichter Schluß neben der innern Röhrenwand erfolgt, ohne daß die äußern Ränder mit einander in Berührung kommen. So fest die auf solche Art dargestellte Verbindung auch ist, und wie sehr sie sich auch zur Zusammensetzung von Maschinentheilen eignet, so ist sie für einen längeren Röhrenstrang, dem man gern einige Biegsamkeit giebt, nicht passend. Außerdem kann man hierbei die Wandstärke nicht in der Art vermindern, wie dieses oben angegeben ist, weil sonst zwischen ihr und dem Rande (der eine größere Stärke erhalten muß) wegen der ungleichförmigen Erkaltung leicht ein Bruch erfolgt. Endlich ist die Verbindung wegen der vielen Schraubenbolzen auch kostbar, und dieses um so mehr, als die einzelnen Röhrenstücke, wenn sie in dieser Art und in der größeren Wandstärke gegossen werden, gemeinlich nur 3 Fuß lang sind.

In neuerer Zeit ist man von dieser Verbindungsart abgegangen und giebt dafür jeder Röhre an einer Seite einen erweiterten Hals, in welchen das Ende der folgenden Röhre eingreift, wie Fig. 97 zeigt. Auf solche Art fassen die Röhren 4 bis 6 Zoll übereinander, und der freie Zwischenraum, dessen Weite etwa der Wandstärke der Röhre gleichkommt, wird zur halben Länge mit aufgelockertem Tauwerk angefüllt und ausgestampft. Nachdem dieses geschehn, wird die Mündung der Fuge mit Lehm geschlossen und der übrige Raum mit Blei ausgegossen. Endlich schlägt man mit einem passenden Eisen in den Bleiring eine Furche um den letzteren sowol an die innere, als an die äussere Röhrenwand anzutreiben und ihm dadurch die nöthige Wasserdichtigkeit zu geben. Dieser Schluß gewährt den Vortheil, daß der Röhrenstrang etwas Biegsamkeit behält und sich bei Temperaturveränderungen auch etwas ausziehen kann.

Diese Art der Zusammensetzung vergrößert in zweifacher Beziehung die Kosten für die Anlage einer Röhrenleitung, nämlich zunächst verlängert sich jeder Theil derselben um den erweiterten Hals, dessen Länge bei weiteren Röhren 6 Zoll mißt, und sich nicht füglich vermindern läßt. Wollte man letzteren auf 2 oder 3 Zoll reduciren und den Zwischenraum unmittelbar vergießen, so würde das Blei zwischen den unebenen Gufsflächen hindurch in die Röhre treten. Um dieses zu verhindern ist der Schluß mit Werg nicht zu umgehn. Sodann ist aber auch die große Quantität Blei, die man darüber bringen muß, nicht ohne Einfluß auf die Kosten. Es sind deshalb in neuerer Zeit verschiedene Versuche mit andern Verbindungs-Arten gemacht worden, die nach den darüber veröffentlichten Mittheilungen zu günstigen Resultaten geführt haben.

Die Unebenheiten der Gufsflächen sind durch Abdrehn der beiden Röhren-Enden leicht zu beseitigen, und indem dieses an allen einzelnen Stücken einer Leitung sich wiederholt, so sind die Kosten dafür nicht bedeutend. Dadurch wird aber ein so dichter Schluß dargestellt, daß ein Hindurchfließen des Bleies verhindert wird, und sonach die Dichtung mit Werg entbehrt und in entsprechendem Maasse auch die Länge des Halses verringert werden kann. Man ist dabei in manchen Englischen Städten aber noch weiter gegangen, indem man selbst das Vergießen mit Blei unterlassen und einfachere Dichtungen angewendet hat. Zu diesem Zwecke war es aber nothwendig, nicht nur scharfe Ränder, sondern Flächen von meßbarer

Breite zur unmittelbaren Berührung zu bringen, und dieses liefs sich leicht erreichen, indem man die Enden der Röhren nach übereinstimmenden concaven und convexen Kegelflächen abdrehte. Wurden dieselben polirt, so stellten sie ohne irgend welche Zwischenlage schon den dichten Schlufs dar. Bei Temperatur-Veränderungen hörte derselbe jedoch auf, auch brachen Stücke von der umschliessenden Röhre aus, sobald irgend eine Senkung eintrat, und selbst das Verlegen der Röhren machte grofse Schwierigkeit, da die Kegelflächen gar keine Abweichung von der durch sie bestimmten Richtung gestatteten. Sobald ein Röhrenstück angesetzt und scharf eingetrieben wurde, so nahm es sowol horizontal, wie vertikal diese Richtung an, und der Strang wurde vollkommen steif.

Bei den in neuerer Zeit in Liverpool verlegten Röhren hat man daher die Breite der Kegelfläche bis auf die Wandstärke der Röhren reducirt, und in dem eingeschobenen Theile sogar in der äufsern Hälfte eine etwas flachere Kegelfläche gewählt, woher die Berührung nur in sehr geringer Breite erfolgt, und dadurch die Möglichkeit geboten ist, die Richtung zu verändern. Der dichte Schlufs wurde durch aufgelockertes Tauwerk dargestellt, das man vorher mit heißem Theer tränkte, und wie beim Abdichten eines Schiffes eintrieb. Diese Verbindungs-Art soll den Erwartungen vollständig entsprochen, und bei Temperatur-Veränderungen, wie auch bei zufälligen Versackungen zu keinen Wasser-Verlusten Veranlassung gegeben haben.

In Frankreich hat eine andre Art der Verbindung, die sich aus Fig. 42 auf Taf. III ergibt, vielen Beifall gefunden. Nach ihrem Erfinder wird sie das System von Doré genannt. Der eingeschobene Theil der Röhre schließt mit einer Kugelfläche, gegen welche der sehr kurze Hals der andern Röhre mit einer scharfen Kante sich lehnt. Indem die Figur alle Theile in dem richtigen Maafse zeigt, so bedarf die ganze Anordnung keiner weitern Beschreibung, und es wäre nur darauf aufmerksam zu machen, dafs der äufserste Theil des Halses auf der innern Seite nicht cylindrisch, sondern etwas conisch ausgedreht ist, und zwar so, dafs sein Durchmesser in der Mündung sich etwas verengt. Dieses geschieht, um dem darin befindlichen Blei mehr Haltung zu geben. Das Blei wird gewöhnlich eingegossen, doch hat man auch versucht, passende Bleiringe einzuschieben und durch stumpfe Meifseln sowol gegen die Kugelfläche,

als gegen den Hals fest anzutreiben. Dieses soll auch in genügender Weise geglückt sein und wesentliche Erleichterung beim Verlegen der Röhren geboten haben.

Es ist nicht zu verkennen, daß Röhrenstränge dieser Art ohne Nachtheil bedeutende Krümmungen beschreiben können und einen hohen Grad von Flexibilität auch später behalten. Ihre Kosten stellen sich wegen der geringeren Länge des Halses wohlfeiler als die der gewöhnlichen Röhren und überdies tritt beim Umlegen und Aufnehmen der Röhren noch der wesentliche Vortheil ein, daß der schmale Bleiring leicht ausgeschmolzen werden kann, und die schwierige Beseitigung des eingetriebenen Tauwerks ganz umgangen wird.

Die landwirthschaftliche Gesellschaft der Sarthe unterzog die in dieser Art verbundenen Röhren verschiedenen Proben. Es wurden Stränge von 280 Fuß Länge dargestellt und an beiden Enden sicher gestützt, damit der starke Druck sie nicht auseinander schieben möchte. War das Blei eingegossen, so blieb der Schluß selbst unter dem Drucke von 10 Atmosphären noch vollkommen dicht. Bei eingeklopften Bleiringen schwitzte dagegen schon unter 6 Atmosphären Druck etwas Wasser aus den Fugen, und wie der Druck sich verstärkte, nahm der Wasserverlust zu. Bei 13 Atmosphären wurde endlich ein Bleiring ganz herausgedrückt.

Eine andre Art der Dichtung der Stöße von gußeisernen Röhren, die man in früherer Zeit vielfach benutzte, besteht in der Anwendung des beim Zusammensetzen von Maschinen gebräuchlichen Eisenkittes, der in den erweiterten Hals gestrichen wird. Derselbe besitzt die Eigenschaft, daß er beim Erhärten sich etwas ausdehnt, indem die blanken Eisenfeilspähne oxydiren. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß dieser Kitt eine absolut steife Verbindung darstellt, und der Strang durch ihn die Flexibilität vollständig verliert.

Endlich kann man solche Röhren, die am Ende ineinander greifen, auch durch hölzerne Keile dichten*), und diese Verbindung gewährt nicht nur den Vorzug einer geringen Flexibilität, sondern sie ist auch mit einer ansehnlichen Kostenersparung verbunden. Die Leitungsröhren zu Norwich waren seit 40 und die zu New Castle upon Tyne seit 50 Jahren auf diese Art zusammengesetzt, als Wicksteed ums Jahr 1830 dasselbe Verfahren auch bei der East-London

*) *The Civil Engineer's and Architect's Journal. Vol. I. p. 242.*

Wasserleitung in Anwendung bringen wollte. Dafs es wohlfeiler war, litt keinen Zweifel und über die Dauer und den dichten Schlufs der Verbindungsart gaben die bereits gemachten Erfahrungen volle Sicherheit. Es blieb nur zweifelhaft, ob bei dem starken Drucke von 100 Fufs oder darüber die Keile herausgetrieben werden möchten, was von Vielen besorgt wurde. Ein deshalb angestellter Versuch, wobei Röhren von 18, 5 und 3 Zoll Weite auf diese Art verbunden wurden, zeigte indessen den Ungrund einer solchen Besorgnifs. Der Druck wurde jedesmal bis 712 Fufs Rheinländisch gesteigert, und kein Keil sprang heraus und überhaupt zeigte sich keine Undichtigkeit. Hierauf genehmigte die Gesellschaft den Vorschlag, und die sämmtlichen Leitungsröhren, die im Ganzen 22 engl. Meilen lang waren, wurden in dieser Art verbunden. Die Verbindung zeigte sich als sehr dauerhaft und die Reparaturen waren geringer, als beim Blei oder beim Eisenkitt. Nach der Vergleichung, die Wicksteed mittheilt, ist das Verhältnifs der Kosten der drei Verbindungsarten, nämlich mit Blei, mit Eisenkitt und mit Holzkeilen durchschnittlich wie 3 zu 2 zu 1. Bei weiten Röhren ist der Vortheil der Holzkeile noch bedeutender, bei engen aber wegen der schwierigeren Arbeit merklich geringer, doch auch bei den 3 Zoll weiten Röhren erspart man gegen Blei noch die Hälfte.

Das Verfahren bei der Anfertigung und Einbringung der Holzkeile ist folgendes: man schneidet Kiefernstämmen (*Danzig fir*) in 9 Zoll lange Klötze und spaltet sie mit der Axt in Stücke von etwa 2 Zoll Breite und $\frac{3}{4}$ Zoll Stärke, sie werden auf der Schneidbank mit einem Schneidmesser, das die Rundung der innern Röhre hat, auf der einen Seite concav cylindrisch geformt, auf der äufseren Seite aber mit einem flacheren Schneidmesser durch kegelförmige Flächen nach beiden Enden zugeschräfft. Fig. 98 Taf. VII stellt diese Doppelkeile in der vordern Ansicht und im Längen- und Querdurchschnitte dar. Als dann sägt man sie in der Mitte auseinander, so dafs jedes Stück zwei Keile giebt. Man stellt sie im Kreise in die zu schließende Fuge, und wenn sie nicht den ganzen Raum füllen, so spaltet man von einem Keile so viel ab, bis er sich an die beiden nächsten anschliesft. Nunmehr hält der Arbeiter ein passendes Holz darüber und schlägt mit dem Hammer immer im Kreise herum, so dafs alle Keile gleichmäfsig eindringen. Ist er nicht im Stande sie ganz hineinzubringen, so wird der noch vorstehende Theil abgeschnitten. Am Schlusse jedes

Tagewerkes füllt man den frischgelegten Theil mit Wasser und setzt ihn demjenigen Wasserdrucke aus, den er später erleiden kann, am bequemsten ist es, wenn man das Ende der letzten Röhre verstopft und das Wasser aus dem Speisebassin hineintreten läßt. Man untersucht dabei sorgfältig jeden Stofs, und wenn einer derselben nicht dicht ist, so werden darin später noch schmale feine Keile eingetrieben, wie Fig. 99 zeigt.

Sind die Röhren in der Art verbunden, daß jede in den erweiterten Hals der nächsten eingreift (Fig. 97), so läßt sich eine einzelne Röhre nicht ausnehmen und durch eine andre ersetzen, man muß vielmehr dieselbe zerschlagen, und die dafür später einzulegende in andrer Art mit der folgenden verbinden. Letzteres geschieht mittelst der übergeschobenen Muffe, die auch vielfach bei neuen Leitungen in Abständen von 100 bis 300 Fufs angebracht wird, um bei vorkommenden Auswechselungen Endpunkte zu gewinnen, von welchen ab der Strang sich in seine einzelne Theile zerlegen läßt. Die Muffe besteht aus einem gusseisernen Ringe von der doppelten Länge des gewöhnlichen Halses, und wird, wie Fig. 100 zeigt, über den Stofs zweier Röhren geschoben und in gleicher Weise abgedichtet, wie sonst in dem erweiterten Halse geschieht, der hier fehlt.

Bei gusseisernen Röhren lassen sich Abzweigungen unter jedem beliebigen Winkel leicht anbringen, indem die passenden Wechselstücke, deren eines Fig. 101 Taf. VIII im Durchschnitte zeigt, besonders gegossen werden. Man pflegt solchen Stücken gewöhnlich keine große Länge zu geben, weil ihr Guß dadurch zu schwierig werden würde. Ebenso werden Röhrenstücke, welche Krümmungen bilden sollen, besonders gegossen, und wenn man diesen eine mäfsige Länge giebt, so kann man durch sie und dazwischen geschobene gerade Stücke jede beliebige Curve darstellen. D'Aubuisson gab ihnen die Länge von 3 Fufs und ihre Krümmung entsprach einem Winkel von 15 Graden, oder ihr Krümmungshalbmesser betrug etwa $11\frac{1}{2}$ Fufs. Der Einfluß dieser Krümmung auf die Bewegung des Wassers war unmerklich.

Von der Verbindung der gusseisernen Röhren mit hölzernen ist schon früher die Rede gewesen. Die Verbindung mit bleiern Röhren stellt Fig. 102 dar. Man erweitert die Bleiröhre an einem Ende, so daß sie einen aufgebogenen Rand erhält und zieht

einen starken Ring aus Schmiedeeisen darüber, der gegen den Rand der gufseisernen Röhre mit Schraubenbolzen befestigt wird. Diese Verbindungsart kommt in Paris häufig vor, indem bei kleineren Leitungen die Krümmungen gewöhnlich durch Bleiröhren gebildet werden. Will man aber schwache Bleiröhren von den gufseisernen abzweigen, so wählt man die Verbindungsart, die Fig. 103 *a* in der Seitenansicht und Fig. 103 *b* im Querschnitte gezeichnet ist. An das Ende der Bleiröhre wird ein breiter Rand, der gleichfalls aus Blei besteht, angelöthet. Diesen biegt man nach der Krümmung der gufseisernen Röhre, an welche er sich anschließen soll, und zwischen beide legt man einen getheerten Lederring. Alsdann wird die Hälfte einer ringförmigen Zwinde aus Schmiedeeisen mit der darin angebrachten Oeffnung auf die Bleiröhre gezogen, ein Lederring dazwischen gelegt, und sobald man die Schrauben, welche sie mit der untern Hälfte verbinden, anzieht, so preßt sich jener Bleirand genau schließend an den äußern Umfang der gufseisernen Röhre.

Unter den Nebentheilen einer eisernen Röhrenleitung müssen zunächst die Hähne erwähnt werden. Fig. 104 *a* und *b* zeigt einen solchen in der Seitenansicht und im Durchschnitte. An die Röhre ist ein Kegel, der sie senkrecht durchschneidet, angegossen, und in diesem befindet sich der gleichfalls kegelförmig gestaltete Hahn. Letzterer besteht gewöhnlich aus Gufseisen, und ist mit einer cylindrischen Oeffnung versehen, die der Weite der Röhre gleichkommt, so daß keine Verengung des Querschnittes erfolgt, sobald der Hahn ganz geöffnet ist. Daß der Hahn und ebenso auch die conische Oeffnung genau abgedreht und abgeschliffen sein müssen, darf kaum erwähnt werden, der mittlere Durchmesser des Hahns muß sich aber zur lichten Weite der Röhre mindestens wie 5:3 verhalten, weil sonst ein sicherer Schluß nicht erfolgen kann. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, daß der Kegel, den der Hahn bildet, nicht zu spitz, auch nicht zu stumpf sein darf, denn im ersten Falle erschwert ein starkes Klemmen die Bewegung, und im letzten ist der Schluß nicht hinreichend dicht. Man wählt gemeinhin eine Kegelform, wobei der Durchmesser der Grundfläche dem siebenten bis fünften Theile der Höhe gleichkommt. Um das Heben des Hahns zu verhindern, ist derselbe unten mit einer Scheibe versehen, die entweder, wie hier gezeichnet, durch einen Keil gehalten wird, oder dieses geschieht mittelst einer oder mehrerer Schrauben. Die

Scheibe darf indessen die untere Fläche des Hahns nicht unmittelbar berühren, damit sie, wenn es nöthig ist, schärfer angezogen werden kann, auch muß sie so befestigt sein, daß sie sich mit dem Hahne zugleich dreht, weil sie sich sonst lösen würde. Der untere Zapfen des Hahns ist daher viereckig. Die Drehung wird dem Hahne auf die einfachste Weise mittelst eines eisernen Hebels ertheilt.

Wie unentbehrlich die Hähne bei Wasserleitungen auch sind, so kann man sie doch nur bei engeren Röhren in Anwendung bringen, weil sie sonst eine zu starke Reibung der Bewegung entgegenseetzen. Schon bei 6 Zoll weiten Röhren kommen sie selten vor und sind alsdann schwer zu bewegen. Bei der Wasserleitung in Toulouse benutzte man sie nur bei Röhren, die weniger als $4\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser hielten. Girard brachte dagegen bei den Leitungen in Paris, die durch den Ourcq-Canal gespeist werden, die Aenderung an, daß er auf den obern Zapfen des Hahns ein gezahntes Rad befestigte, welches durch zwei einander gegenüberstehende Getriebe mittelst Curbeln bewegt wird. Wenn beide Curbeln gleichmäfsig angezogen werden, so verursachen sie keinen vermehrten Druck gegen die Seitenfläche des Hahns und sonach auch nicht die Reibung, welche eine einzelne Curbel veranlassen würde. Außerdem brachte Girard sowol über, als unter dem Hahne und zwar in der Achse desselben noch Schrauben an, mittelst deren der Hahn gehoben oder gesenkt und dadurch so gestellt werden konnte, daß er, ohne zu stark zu klemmen, doch gehörig schloß. Endlich war der Hahn, der aus Glockenmetall bestand, hohl gegossen. Auf diese Art benutzte Girard die Hähne noch bei Röhren, die beinahe 10 Zoll im Durchmesser hielten.

Bei weitem Röhren ist der Hahn nicht mehr zu gebrauchen, und unter den Vorrichtungen, die man alsdann wählt, um den Durchfluß zu sperren, ist besonders das Schiebeventil zu erwähnen, welches Fig. 105 *a*, *b* und *c* in der Seitenansicht und im Längen- und Querdurchschnitte zeigt. Zur Erklärung dieser Figuren darf nur erwähnt werden, daß die Bewegung durch eine Schraube erfolgt, deren Kopf durch eine Stopfbüchse geht, die also neben sich kein Wasser durchfließen läßt. Sie faßt nicht unmittelbar den umgebenen Rand des Schiebers, sondern eine in denselben lose eingesetzte Mutter, wodurch diese etwas Spielraum erhält, und weniger

leicht ein Klemmen eintritt, wenn auch die Stopfbüchse scharf angezogen ist.

Das Schieberventil selbst besteht häufig aus Messing oder Glockenmetall, in neuerer Zeit pflegt man indessen die Anwendung andrer Metalle neben dem Eisen zu vermeiden, weil dadurch die Oxydation befördert wird, und stellt den ganzen Apparat aus Schmiede- und Gufseisen dar, wodurch er zugleich wohlfeiler wird. Noch ist zu bemerken, daß der wasserdichte Schluß sich nur darstellt, wenn der Wasserdruck in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung (Fig. 105*b*) wirkt.

Zuweilen ist es nöthig, auch das Zurückfließen des Wassers zu verhindern, dieses wäre etwa der Fall, wenn man abwechselnd durch dieselbe Maschine zwei Leitungen speist, von denen die eine viel höher liegt, als die andre, und jene daher in diese sich entleeren würde. Man bringt alsdann das Fig. 106*a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Klappenventil an, dessen Einrichtung sich aus der Figur vollständig ergibt.

Eine besondere Erwähnung verdient endlich noch die Art, wie man die Mündung einer Röhrenleitung öffnet oder schließt. Dabei können Kegel- und Klappenventile gebraucht werden, die sich mittelst einer einfachen Vorrichtung von oben aus bewegen lassen. Bei der Speisung der Pariser Wasserleitung aus dem Ourcq-Canal benutzte Girard hierzu kupferne Röhren, die unten das Kegelventil bildeten. Die Figuren 107*a* und *b* zeigen sie im Längendurchschnitte und in der Ansicht von oben. Sieben Stück gekrümmte gufseiserne Röhren von 10 Zoll Durchmesser schöpfen das Wasser in der Tiefe von 5 Fufs unter dem gewöhnlichen Wasserspiegel des Bassins la Villette. Ihre Mündungen sind conisch und zwar nach der Form des contrahirten Strahles ausgeschliffen. Senkrecht über ihnen schweben eben so viele Röhren aus Kupferblech, jede $6\frac{1}{2}$ Fufs lang*), die man durch eiserne Hebel heben und senken kann, damit diese Röhren aber immer in der Achse der Einflusmündung bleiben, so sind die Ketten, an welchen sie hängen, um eiserne Bogen am vordern Ende der Hebel geschlungen. Jede Röhre ist endlich durch drei eiserne Ringe im Innern verstärkt und hat unten einen starken messingenen Ring, der genau an die aufwärts gerichtete Mün-

*) Die Figur ist, um die einzelnen Theile noch deutlich darzustellen, etwas verkürzt.

dung des Schöpfrohres sich anschliesst. Durch diese Vorrichtung erreicht man den wichtigen Vortheil, dafs beim schnellen Schlusse die Wassermenge, die in der Röhre sich bewegt, nicht plötzlich zur Ruhe kommt, wobei die Gefahr eines heftigen Stosses, wie bei einem Stofsheber, eintreten würde. Die messingene Röhre ist nämlich oben offen, und sobald sie den Zutritt des Wassers sperrt, so schöpft sie noch Luft und das Wasser in der Leitung kann in Folge seines Trägheits-Momentes die Bewegung fortsetzen, bis es beim abnehmenden Drucke zur Ruhe kommt oder rückwärts fließt.

Auch in gulseisernen Wasserleitungen dürfen Luftspunde nicht fehlen, bei der gröfsern Vorsicht im Verlegen der Röhren und Auf-fangen des Wassers befinden sie sich hier aber gemeinhin in gröfsern Abständen, als für die hölzernen Röhren angegeben ist. Wo die Localität es erlaubt, kann eine dünne Bleiröhre, die bis über das Niveau des Speisebassins heraufreicht, als Luftrohr dienen. Ein solches bedarf keiner weiteren Beaufsichtigung, doch findet sich zur Anbringung desselben nur selten Gelegenheit. Am häufigsten wird eine kurze, aufwärts gerichtete Zweigröhre von Gufseisen angebracht, deren oberes Ende durch einen Hahn geschlossen ist. Beim An-lassen der Röhren und auch zuweilen während des Betriebes öffnet man diesen Hahn, schliesst ihn aber, sobald Wasser ausströmt. Man kann statt des Hahns auch ein Kegelventil anbringen, das gemeinhin in diesem Falle sich nach unten öffnet und an einem hervorragenden Stiele herabgedrückt wird. Zuweilen verbindet man auch dieses Ventil mit einem Schwimmer, der so eingerichtet ist, dafs er sich nach Bedürfnifs von selbst öffnet und schliesst. Fig. 108 zeigt ein solches Ventil, das in Edinburg ausgeführt ist, und zwar ist *a* die Seitenansicht und *b* der Querschnitt. Das Ventil ist hier geöffnet dargestellt. Sein Stiel wird theils durch die Oeffnung im Boden der messingenen Büchse, worin die Ventilöffnung sich befindet, und theils unter dem Schwimmer durch einen Ring gehalten, welcher durch drei Arme sich mittelst Schrauben so stellen läfst, dafs das Ventil genau die Oeffnung trifft. Wenn die Röhre leer ist, ruht der Schwimmer auf dem erwähnten Ringe und beim Eintreten des Wassers findet die Luft durch die Ventilöffnung einen freien Aus-gang. Sobald aber das Wasser die Leitungsröhre gefüllt hat und in die senkrechte Ansatzröhre steigt, so hebt es den Schwimmer und mit ihm das Ventil. Letzteres wird also von selbst geschlossen,

sobald die Luft entfernt ist. Auch die Luft, welche während des Betriebes der Leitung sich im Cylinder sammelt, giebt Veranlassung, daß der Schwimmer von selbst herabfällt. Alsdann öffnet sich das Ventil so lange, bis das Wasser wieder in die Röhre tritt. Diese letzte Art ihrer Wirksamkeit erfolgt indessen nicht, wenn der Druck so groß ist, daß die Spannung der Luft unter dem Ventile dasselbe trägt. Es kommt auch noch der Uebelstand hinzu, daß solche Ventile sich oft fest ansaugen. Man muß sie daher von Zeit zu Zeit herabstoßen, indem sie aber auf diese Art sich nicht selbst überlassen bleiben dürfen, so wendet man statt ihrer gewöhnlich Hähne an.

In den tiefsten Stellen der Leitungen, oder wo man sonst ein starkes Absetzen von Sand oder Schlamm besorgt, bringt man in den untern Flächen der Leitungsröhren kurze Ausgufsröhren an, die mit Hähnen geschlossen sind. Durch diese werden die Niederschläge sicher und leicht entfernt, man muß jedoch dafür sorgen, daß das herausstürzende Wasser auch freien Abfluß findet.

Um zu verhindern, daß die Röhre beim schnellen Schließen eines Hahns oder einer Klappe nicht einen gar zu heftigen Stoß erleidet, sind Luftventile, die sich von selbst öffnen, von großem Nutzen. Oberhalb der Stelle aber, wo die Sperrung erfolgt, muß ein gehörig beschwertes Sicherheitsventil eingerichtet sein, das nach aufsen aufschlägt. Das sicherste Mittel, um solche Stöße zu vermeiden, ist die Vorsicht, daß man die Hähne oder ähnliche Vorrichtungen nur langsam schließt. Bei den Schiebeventilen (Fig. 105) verhindert schon die Anwendung der Schraube eine zu schnelle Bewegung.

Wenn die gufseisernen Röhren mittelst vorstehender Ränder mit einander verbunden sind (Fig. 96), oder wenn sie in die erweiterten Hälse eingreifen (Fig. 97) und durch Eisenkitt gedichtet werden, so bilden sie einen festen Strang, der eine Verlängerung oder Verkürzung nicht gestattet. Sind die Enden einer solchen Leitung, wie gewöhnlich geschieht, eingemauert, so werden bei einer starken Temperaturveränderung die Röhren in den Befestigungspunkten lose, auch leidet dabei die Mauer und die Röhren werden undicht. Veranlassung hiervon ist die Ausdehnung oder Verkürzung des Röhrenstranges durch Wärme oder Kälte. Nach Tretgold's Beobachtungen dehnt sich das Gufseisen bei der Erwärmung vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte des Wassers um 0,00111 seiner Länge aus, dagegen hat

Girard die Ausdehnung durch Beobachtung der Compensationsstücke in den Wasserleitungen zu Paris um den neunten Theil geringer gefunden. Hiernach würde eine Temperaturerhöhung um 16 Grade Réaumur, die man im Wasser des Ourcq-Canals bei Paris beobachtet hat, den Röhrenstrang beinahe um den sechstausendsten Theil verlängern, oder eine Röhre von einer Viertelmeile Länge würde sich ungefähr um einen Fuß ausdehnen. Um hierzu Gelegenheit zu geben, hat man besondere Compensationsstücke in den Leitungen angebracht, die sich verlängern und verkürzen können. Eine ältere Methode zu ihrer Darstellung bestand darin, daß ein gußeiserner Reif von viel größerm Durchmesser als die Leitungsröhren, zwischen zwei der letzteren concentrisch gestellt und durch zwei dünne kreisförmige Kupferscheiben mit diesen verbunden wurde. Es bildete sich auf solche Art in der Röhrenleitung ein kurzer, aber weiter und hohler Cylinder, dessen beide Grundflächen nicht steif, sondern biegsam waren, und indem an diese die nächsten Röhren befestigt wurden, so bauchten die Grundflächen etwas aus, oder drückten sich ein, ohne daß dadurch ein Bruch oder eine Undichtigkeit entstand. Diese Vorrichtung war indessen wenig solide und konnte auch nur unter sehr mäßigem Drucke benutzt werden, woher nur selten davon Gebrauch gemacht ist. Am häufigsten wendet man die Fig. 109, *a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Compensation an. Es kann nämlich die Röhre *A* sich in die Röhre *B* weiter hinein- oder aus derselben herauschieben, und damit sie in jeder Stellung gehörig geschlossen ist, so bewegt sie sich in einer Stopfbüchse. Sie ist deshalb in der äußern Fläche abgedreht und polirt und wird von einem ringförmigen Polster fest umschlossen, das letzte liegt im Halse der Röhre *B* und lehnt sich gegen den Ring *C*. Sobald das Polster nicht mehr schließt, und das Wasser neben demselben zu entweichen anfängt, so kann man mittelst der sechs oder acht Schraubenbolzen, welche durch den vortretenden Rand der Röhre *B* und den Ring *C* gezogen sind, diese näher zusammenbringen und dadurch das Polster schärfer anpressen. Diese Vorrichtung ist jedoch nur da anwendbar, wo die Röhre zugänglich ist, also wo sie frei in einer Gallerie liegt. Bei den Wasserleitungen in Paris brachte man solche Compensationen alle 100 Meter oder in 318 Fuß Entfernung von einander an, auch in England sind sie vielfach gebraucht, sie sind jedoch entbehrlich, wenn

die Fugen zwischen den einzelnen Röhren mit Blei ausgegossen, oder mit Holzkeilen gedichtet sind.

Was das Verlegen der gufseisernen Röhren betrifft, so treten hier dieselben Rücksichten ein, welche bereits bei Gelegenheit der hölzernen Röhren erwähnt sind. Am vortheilhaftesten ist es, wenn die Stränge in unterirdischen Gallerien liegen, wie dieses bei gröfseren Leitungen oft geschieht. Fig. 110*c* zeigt den Querschnitt der Gallerie, worin in Paris die Leitungsröhren von der Anhöhe am nördlichen Rande der Stadt nach dem tieferen Theile, zunächst der Seine herabsteigen. Die Röhren liegen theils auf hölzernen und theils auf steinernen Unterlagen, die im Mittel 4 Fufs von einander entfernt sind, und man hat sonach Gelegenheit, sie von allen Seiten zu untersuchen, und wo es nöthig ist, die Fugen zu dichten und sonstige Reparaturen vorzunehmen. In andern Fällen werden die Röhren in der Gallerie von gufseisernen Stühlen getragen.

Die Kosten für solche Gallerien sind indessen so bedeutend, dafs man nur selten, und jedesmal nur für die Hauptleitungsröhren, sich zu ihrer Anlage entschliesst. Will man sie vermeiden, so kann man die Röhren entweder unmittelbar in dem Boden, oder noch in andern kleineren bedeckten Gängen verlegen. In Paris hielt man früher das Vorhandensein der vielen überwölbten Abzugsrinnen (*égouts*), die so geräumig sind, dafs ein Mann noch gebückt durchgehn kann, in dieser Beziehung für einen grofsen Gewinn und brachte darin steinerne Consolen an, auf welche man die Wasserröhren legte. Der Erfolg war jedoch keineswegs befriedigend, denn die Untersuchung der Röhren war wegen der ungesunden Luft und des Schmutzes in diesen Abzugsrinnen viel schwieriger, als da, wo die Röhren unmittelbar unter dem Strafsenpflaster lagen, und ausserdem konnte man bei jeder vorzunehmenden Reparatur und beim Gebrauche der Luftspunde und Hähne nicht vorsichtig genug sein, um eine Verunreinigung des Wassers zu verhindern.

Demnächst hat man auch zuweilen die Röhren, um sie vor den Stöfsen des darüber gehenden Fuhrwerks zu sichern, in kleine gemauerte Canäle gelegt, die nur so eben die Röhren umschliessen und mit Steinplatten bedeckt sind. Hierbei zeigt sich indessen die Unbequemlichkeit, dafs man, sobald ein Wasserverlust eintritt, nicht weifs, wo man die schadhafte Stelle suchen soll, indem das ausfliessende Wasser den Canal verfolgt und oft erst in grofser Entfernung von der

zersprungenen Röhre oder der undichten Fuge zum Vorschein kommt. So zeigten sich in einem solchen Falle in der Strafe Bondy in Paris die Quellen in einer Entfernung von fast 300 Fufs von der schadhafte Stelle, und man war daher gezwungen, auf eine große Länge das Pflaster vergeblich aufzureißen und nachzugraben. Anders verhält es sich, wenn die Röhren unmittelbar in den Erdboden verlegt und überschüttet sind. Die schadhafte Stelle giebt sich alsdann sogleich durch das Einsinken des Pflasters zu erkennen, die Gefahr wegen der Erschütterungen verschwindet auch, wenn die Röhren fest unterstützt und solche Verbindungen gewählt sind, wobei der Strang einige Flexibilität behält. Nur an den Stellen, wo besonders große Lasten darüber gefahren, oder darauf geworfen werden, wie etwa vor den Werkstätten der Steinhauer, bemerkt man häufige Beschädigungen. Werden die Röhren frei in den Boden verlegt, so gräbt man denselben bis zur nöthigen Tiefe auf, stampft die Sohle der Grube fest an, beschützt die Röhre mit Erde und stampft auch diese wieder, ehe das Pflaster aufgebracht wird.

Zuweilen ereignet es sich, daß man die Leitungsröhren von dem einen Ufer eines Flusses nach dem andern hinüberführen muß. Bei kleinen und seichten Flußbetten und eben so, wenn massive Brücken vorhanden sind, zeigen sich hierbei keine wesentlichen Schwierigkeiten, aber sehr bedeutend werden diese in andern Fällen. Man hat in England zu diesem Zwecke flexible Röhrenstränge angewendet, die durch Charniere in ihren einzelnen Theilen mit einander verbunden sind, und daher, ohne daß man das Flußbette trocken zu legen braucht, in dasselbe versenkt werden. Der erste Versuch dieser Art wurde bei den Wasserleitungen zu Glasgow gemacht, wo die Speisequellen sich am linken Ufer der Clyde befinden, während der größte Theil der Stadt auf dem rechten Ufer liegt. James Watt legte im Jahre 1810 den biegsamen Röhrenstrang, den Fig. 111 Taf. IX darstellt, quer durch die Clyde. Die Leitung hatte eine Weite von 15 Zoll, die Röhren waren theils auf gewöhnliche Art mit einander verbunden, und wo dieses der Fall war, durch steife hölzerne Rahmen unterstützt, die Biegungen oder Charniere waren dagegen ähnlich der zum Aufstellen der gewöhnlichen Messinstrumente üblichen Nufs, durch Kugelsegmente gebildet, die sich in einander drehn konnten. In der äußern Kugelschale befand sich ein Ring von Werg, der wie bei der Stopfbüchse durch einen Deckel angedrückt werden konnte. Dieser Deckel

setzte aber die äußere Kugelfläche bis über den größten Kreis derselben fort und verhinderte dadurch das Ausschleichen der innern Kugel. Derjenige Durchmesser der Kugel, um welchen die Drehung erfolgt, ist zugleich die Achse des Charniers, das beide zunächst liegenden hölzernen Rahmen mit einander verbindet. Um zufälligen Beschädigungen vorzubeugen, war jedes Gelenk mit wasserdichter Leinwand lose umwunden, und der ganze Strang wurde noch dadurch gesichert, daß man ihn nicht auf das natürliche Flußbette legte, sondern zuvor eine Rinne quer durch den Fluß baggerte, hierin die Leitung versenkte und den Raum darüber mit Kies beschüttete. Die Versenkung geschah, um ein scharfes Biegen zu verhindern, möglichst gleichmäßig von Flößen aus, und man hatte nach Ausweis der Figur darauf Rücksicht genommen, ungefähr einen gleichen Druck im Innern, wie im Flusse darzustellen, wodurch die Veranlassung zu einem starken Durchquellen vermieden wurde. Fig. 112 zeigt diese Construction im Detail, nämlich Fig. 112*a* in der Seitenansicht, *b* im Längendurchschnitte und *c* in der Ansicht von oben. Wegen weiterer Ausdehnung der Wasserleitungen in Glasgow wurde 1828 eine zweite Röhre von 28 Zoll Durchmesser und später noch eine dritte von 36 Zoll versenkt. Auch an andern Orten hat man ähnliche Leitungen angelegt. So ließ die Middlesex-Wasserleitungsgesellschaft oberhalb London eine 3 Fufs weite Röhrenleitung durch die Themse legen. Dieselbe bestand aus 68 einzelnen Röhren von 9 Fufs Länge, die sämtlich durch Kugelflächen mit einander verbunden waren. Es verdient Erwähnung, daß der Ingenieur, nachdem die Leitung gelegt war, hindurchkroch, woraus sich ergab, daß ungeachtet des verschiedenen Wasserdruckes dennoch ein guter Schluß in den Fügen stattfand.

Endlich muß noch der Oxydation der gußeisernen Röhren gedacht werden. Es leidet keinen Zweifel, daß solche fast jedesmal eintritt, selbst wenn man die Röhren vor dem Verlegen mit einem Anstrich im Innern versehen hat. Das Wasser nimmt dabei aber keine der Gesundheit nachtheilige Substanzen auf, auch wird die Röhre dabei nur unmerklich angegriffen, woher auf diesen Umstand in der Regel kein Gewicht gelegt wird. Zuweilen wird indessen darüber geklagt, daß das mit Eisen-Oxyd versetzte Wasser die Wäsche verdirbt und Rostflecke veranlaßt. Dieses geschieht jedoch nur, wenn das Wasser längere Zeit in den Röhren gestanden hat.

Bei Leitungen, die dauernd in Thätigkeit sind, bemerkt man keinen derartigen Uebelstand, wie auch allgemein das Wasser der größern Leitungen zur Wäsche benutzt wird. Wenn aber eine Unterbrechung eingetreten war, so kommt es nur darauf an, jenes verunreinigte Wasser abzulassen, bevor das zur Wäsche zu benutzende aufgefangen wird.

Vor mehreren Jahrzehenden wurde indessen auf eine andere höchst bedenkliche Folge der Oxydation die Aufmerksamkeit der Ingenieure gerichtet. Im Anfange des Jahres 1826 war nämlich in Grenoble eine Wasserleitung angelegt, die Anfangs 46, sieben Jahre darauf aber nur noch 22 Cubikfuß in der Secunde gab, und die Veranlassung zu dieser sehr bedeutenden Verminderung der Ergiebigkeit glaubte man in der stellenweisen Verengung der Röhre durch große Knollen Eisen-Oxyd zu finden. Es trat eine Commission zusammen, um diese bisher noch nie bemerkte Erscheinung näher zu untersuchen. Aus dem unter dem 22. Nov. 1833 von derselben erstatteten Berichte *) ergab sich, daß die Röhren keineswegs durchweg angegriffen waren, sondern es fanden sich nur stellenweise, aber oft in großer Anzahl Stücke Eisenoxyd oder Eisenknollen vor. Sie hatten im Allgemeinen die Gestalt einer halben Birne, deren Spitze nach der Seite gekehrt war, von wo das Wasser herkam. Ihre Höhe betrug oft bis 10 Linien. Sie waren schwarz, nahmen an der Luft eine hellbraune Farbe an, und bestanden aus einer schaligen Masse, die größtentheils leicht zerreiblich war, doch in einzelnen Schichten auch einige Härte zeigte. Die chemische Untersuchung ergab, daß sie in der Hauptmasse aus verschiedenen Oxydationsstufen des Eisens bestanden.

Indem man nach dem Bekanntwerden dieser Erscheinung auch andere gusseiserne Leitungsröhren untersuchte, so fand man sie fast überall vor, aber nirgend in solcher Menge und solcher Größe, wie hier. So fanden sie sich in einer Leitung des Departements Ardèche, auch in Paris sowol in den Leitungen, die vom Ourcq-Canal, als denen, die von der Seine gespeist werden. Sie zeigten sich selbst an Roststäben, besonders aber wo Gusseisen mit Seewasser in Berührung stand. Es war also ihr Vorkommen weder eine Folge der

*) *Annales des ponts et chaussées*, 1834. I. p. 355.

eigenthümlichen Beschaffenheit des Wassers in Grenoble, noch der Zusammensetzungsart der Röhren.

Nach vielfachen Discussionen über die Ursache dieser Erscheinung und über die Mittel, derselben vorzubeugen, fand zuletzt die Ansicht Eingang, daß das Oxygen der im Wasser enthaltenen Luft die Oxydation bewirke, und diese vorzugsweise sich da zeige, wo Stellen von grauem Gufseisen vorhanden sind. Man meinte jedoch, daß auch hier das Zutreten von etwas Alkali oder andern fremden Körpern die nächste Ursache zur Oxydation sei, und sobald diese eingetreten, sie sich mit Leichtigkeit weiter fortsetze. Auffallend war es, daß in den drei folgenden Jahren sich keine weitere Abnahme in der Ergiebigkeit der Röhren zu Grenoble zu erkennen gab, und sonach die Knollen sich weder zu vermehren, noch auch zu wachsen schienen.

Das Mittel, welches man zur Sicherung der Röhren in Vorschlag brachte, besteht in einem Ueberzuge, um das Wasser im Innern der Röhre nicht in unmittelbare Berührung mit dem Eisen treten zu lassen. Vicat wählte dazu hydraulischen Mörtel und Juncker, bei den Leitungsröhren der Maschine zu Huelgoat, eine Mischung von Leinöl und Bleiglätte, welche er vermöge eines sehr starken Druckes in das Gufseisen hineintrieb. *) In den meisten Fällen wird aber, wie auch wohl schon früher geschah, jede Röhre vor dem Gebrauche erwärmt, und von innen und außen mit heißem Theer, meist Steinkohlentheer, überzogen.

Seit dem Jahre 1840 ist von dieser Oxydation der gufeisernen Röhren beinahe gar nicht mehr die Rede gewesen, es scheint daher, daß jene sehr besorglichen Erfahrungen in Grenoble entweder durch locale Verhältnisse herbeigeführt wurden, oder vielleicht auch die starke Abnahme des Wassers von andern Ursachen herrührte, und man dieselbe nur irrthümlich der Verengung der Röhren zugeschrieben hatte.

*) In den *Annales des ponts et chaussées* aus jener Zeit befinden sich mehrere Aufsätze über diesen Gegenstand, besonders wichtig ist der kurze Auszug verschiedener Memoiren von Payen im Jahrgange 1837. II. S. 358.

§. 23.

Versorgung großer Städte mit Wasser.

Bei der Versorgung größerer Städte bezieht sich das nächste Bedürfnis auf diejenige Wassermenge, welche zum Trinken und zur Bereitung der Speisen gebraucht wird. Dieses Wasser muß nicht nur klar, sondern auch rein und wenigstens von schädlichen und solchen Stoffen frei sein, die sich durch unangenehmen Geschmack oder Geruch zu erkennen geben. In geringerem Grade fordert man dasselbe auch von demjenigen Wasser, welches zur Reinigung der Wäsche, der Wohnungen und zu ähnlichen Zwecken benutzt wird. Endlich aber pflegt man bei Anlage von Wasserleitungen auch auf andere Bedürfnisse, wie die Spülung der Straßen, die Speisung von Springbrunnen, Feuerspritzen und dergleichen Rücksicht zu nehmen, wobei die Reinheit des Wassers weniger nöthig ist. Man kann indessen ohne große Vermehrung der Anlage- und Betriebskosten das für diese verschiedenen Zwecke bestimmte Wasser nicht füglich trennen, und sonach pflegt man die Leitungen überhaupt nur mit reinem Wasser zu speisen. In manchen Fällen kommen nur die ersten der benannten Zwecke in Betracht, und namentlich giebt es in England eine große Anzahl von Anlagen dieser Art, welche das Wasser nur in Privathäuser leiten. Hiernach stellt sich der Bedarf einer Stadt, wenn man die Einwohnerzahl als Maassstab wählt, sehr verschieden heraus. Als der Ourcq-Canal angelegt wurde, nahm man an, daß jeder Einwohner von Paris täglich nur 5 Liter oder $\frac{1}{8}$ Cubikfuß gebrauche, man überzeugte sich aber später, daß dieses nicht genüge, und nahm den persönlichen Bedarf auf $\frac{1}{1000}$ Wasserzoll, oder $\frac{2}{3}$ Cubikfuß täglich an. Wenn aber zugleich die öffentlichen Zwecke berücksichtigt werden, so braucht man ein bedeutend größeres Wasserquantum. Ueber die Ergiebigkeit der Wasserleitungen in größeren Städten enthalten die technischen Schriften zwar sehr zahlreiche Mittheilungen, diese weichen indessen so sehr von einander ab, daß es unmöglich ist, allgemein gültige Resultate daraus zu ziehn. Zum Theil rührt dieses davon her, daß nach der ersten Einrichtung das Bedürfnis sich fortwährend steigert und dadurch eine Erweiterung der Anlage nothwendig wird. Außerdem stellt sich das Verhältniß der geho-

benen Wassermenge zur Einwohnerzahl auch ganz anders, je nachdem die Vorstädte und die von minder wohlhabenden Familien bewohnten Stadttheile mit berücksichtigt werden, oder nicht. Endlich ist die Wasserversorgung gewöhnlich ein Aktien-Unternehmen und die Angaben, die beim Besuche der Anstalt mitgetheilt werden, sind häufig mehr als zweifelhaft, sowie man auch aus der augenblicklichen Wirksamkeit der Pumpen nicht auf ihre durchschnittliche Leistung schließen kann.

Die nachstehenden Zahlen, welche das auf jeden Einwohner täglich treffende Wasserquantum bezeichnen, sind aus neuern Publicationen entlehnt und dürften wenigstens zeigen, wie verschiedenartig das Bedürfnis angenommen und befriedigt wird:

Berlin . . .	3,2	Cubikfuß
Hamburg . . .	3,0	-
Brüssel . . .	2,6	-
Paris . . .	2,7	-
Bordeaux . . .	5,6	-
Marseille . . .	6,0	-
Toulouse . . .	2,5	-
Lyon . . .	2,7	-
Dijon . . .	7,7	-
London . . .	4,6	-
Manchester . . .	2,9	-
Liverpool . . .	4,1	-
Glasgow . . .	3,2	-

Es mag gleich bemerkt werden, daß in größeren Städten etwa die Hälfte des ganzen Wasserquantums an Privat-Personen verkauft wird, wovon jedoch nur ein Theil auf die eigentlichen ökonomischen Bedürfnisse trifft, während für Bäder, zum Begießen der Gärten und dergleichen oft die bei Weitem größte Hälfte verwendet wird. Den vierten Theil der ganzen gehobenen Wassermasse nimmt das Sprengen und Spülen der Straßen in Anspruch, und das letzte Viertel vertheilt sich auf größere industrielle Etablissements mit Einschluß der öffentlichen Bäder, auf die Verwendung beim Feuerlöschten und beim Reinigen der öffentlichen Abtritte, auf Springbrunnen u. dgl., während die unterirdischen Abzugscanäle gemeinhin schon durch das Wasser hinreichende Spülung erhalten, also nur ausnahmsweise berücksichtigt werden dürfen.

Bei jedem Projecte zu einer Wasserleitung muß man ein bestimmtes Quantum zum Grunde legen, weil hiervon die Weite der Röhrenleitungen und aller damit in Verbindung stehenden Anlagen abhängt. Dieses Quantum kann aber, wie bereits früher bemerkt ist, entweder durch Abfangung von Quellen mit Benutzung ihrer natürlichen Höhenlage, oder aus tiefer liegenden Strombetten und sonstigen Wasserbecken mittelst Pumpen gewonnen werden, und es ergibt sich schon aus der vorstehenden Mittheilung über die Verwendung des Wassers, daß in der heißen Jahreszeit und namentlich bei anhaltender Dürre der Verbrauch ohne Vergleich viel größer ist, als zu andrer Zeit. Dieser muß aber der Rechnung allein zum Grunde gelegt werden, denn die Anlage ist ganz verfehlt, wenn sie während der Dürre dem Bedürfnis nicht entspricht. Es ist daher sehr bedenklich, eine größere Leitung durch Quellen zu speisen, deren Reichhaltigkeit im umgekehrten Verhältnisse zum Bedürfnisse steht, und wenn bei der ersten Anlage letzteres auch noch zu befriedigen scheint, so darf man doch die Steigerung des Bedürfnisses nicht unbeachtet lassen, und es ist daher im Allgemeinen stets vorzuziehn, das Wasser aus einem größeren Flusse zu entnehmen, dessen Reichthum unter allen Verhältnissen genügt. Es muß hier erwähnt werden, daß man bei den Projecten zur Versorgung von Wien auch Quellen berücksichtigt hat, die in den Schneebergen des Wiener Waldes bei Gloggnitz entspringen, deren Ergiebigkeit also gerade in der größten Hitze sich steigert. *)

Jedenfalls muß das Wasser beim Eintritt in die Leitung sich in solcher Höhe befinden, daß es nach allen Plätzen und Straßen, die man damit versorgen will, fließen kann. Oft ist behufs der Klärung oder der Ansammlung des Wassers die Anlage von großen Reservoirien nothwendig, in andern Fällen fehlt eine solche Veranlassung, und namentlich geschieht dieses, wenn durch Pumpen das Wasser gehoben wird. Es entsteht alsdann die Frage, ob man Reservoirie anlegen muß, oder ob man sie entbehren kann. Beides kommt vor. So sammelt sich in Paris das Wasser, welches die Maschine Chaillot hebt, in großen Bassins auf der ohnfern belegenen Anhöhe, die gegenüberliegende Maschine Gros-Caillou dagegen hat

*) Bericht über die Erhebungen der Wasser-Versorgungs-Commission. Wien 1864.

kein solches Bassin und gießt das gehobene Wasser unmittelbar in die Leitungsröhren. Das letzte geschieht auch bei dem Pumpwerke zu Toulouse, und in England findet man gleichfalls Beispiele von der einen und der andern Anordnung. Es ist nicht zu leugnen, daß große Speisebassins manche wesentliche Vortheile gewähren, sie gestatten, die Maschinen einige Zeit hindurch außer Dienst zu setzen und die nöthigen Reparaturen daran vorzunehmen, ohne daß die Wasserleitung zu wirken aufhört, und man kann auch, wenn das Bedürfnis auf einige Zeit in hohem Grade gesteigert wird, wie etwa bei einem Brande, das Wasserquantum weit über die gewöhnliche Ergiebigkeit der Pumpen vermehren. Dagegen ist die Anlage solcher hochgelegenen Speisebassins häufig überaus schwierig und zuweilen ganz unmöglich, da man sie auf eine natürliche Anhöhe stellen muß. Wenn aber hierzu die Gelegenheit sich auch wirklich bietet, so ist im Innern oder neben großen Städten ein solcher Platz wegen der bereits davon gemachten anderweitigen Benutzung nur für einen unverhältnißmäßig hohen Preis zu erstehn. Demnächst darf das Wasser durch die Schöpfmaschinen auch nicht zu hoch gehoben werden, wodurch ein überflüssiger Kraftaufwand und eine entsprechende Kostenverschwendung veranlaßt würde. Bei verschiedener Höhenlage der einzelnen Theile der Stadt, welche durch dieselbe Maschine gespeist werden sollen, darf man also nicht alles Wasser in hochgelegene Bassins heben, wollte man aber die Bassins in verschiedene Höhen legen, so würde dieses Verfahren wieder zu kostbar ausfallen, auch giebt es wohl kein Beispiel einer solchen Anordnung. In diesem Falle erbaut man daher keine Bassins, vielmehr läßt man die Pumpe das Wasser unmittelbar in die Leitungsröhren treiben und nur diejenige Kraft entwickeln, welche nöthig ist, um eine oder die andere Leitung, oder gleichzeitig mehrere in Thätigkeit zu setzen.

Die öffentlichen Brunnen, die für die sämmtlichen Einwohner eines Ortes besonders wichtig sind, sind gewöhnlich dauernd im Gange, wenn sie aber nur durch einen geringen Zufluß gespeist werden, so pflegt man sie mit Ventilen zu schließen, und sobald jemand sie benutzen will, hebt er diese mittelst der Schwengel, worauf der Ausfluß erfolgt. Der Ausguß der Brunnen befindet sich in der Regel in solcher Höhe über dem Straßenspflaster oder über dem Trottoir, daß man einen Eimer darunter stellen kann. Eine

größere Höhe würde eine unnütze Vergrößerung der Druckhöhe zur Folge haben und die Fußgänger belästigen. Zuweilen verwandelt man diese Brunnen in Springbrunnen, die zur Zierde öffentlicher Plätze dienen. Am großartigsten wird eine solche Anlage, wenn die ganze Wassermenge, welche zur Speisung eines Stadttheiles bestimmt ist, auf einem erhöhten Platze in demselben ausgegossen und mit Ausnahme einiger Strahlen, die dem Publikum sogleich überlassen werden, in einem Bassin gesammelt wird, aus dem sie in einzelnen Röhren nach den verschiedenen Strafsen des Stadttheiles fließt. Girard hat auf solche Art die Fontaine auf dem Boulevard de Bondy gespeist. Es findet sich indessen hierzu nicht leicht Gelegenheit.

Aus den fließenden Brunnen ergießt sich das Wasser in die Rinnen der Strafsen, und wenn es diese auch nicht vollständig reinigt, dieselben vielmehr noch gefegt werden müssen, so verhindert die Strömung doch die Fäulniß und schädliche Ausdünstung des darin abgelagerten Schmutzes.

In Bezug auf die Anordnung der Leitungen ist Folgendes zu erwähnen. Zunächst muß man auf einen Situationsplan von dem ganzen Districte die sämmtlichen zu versorgenden öffentlichen und Privathäuser, die Brunnen und sonstigen Ausflüsse eintragen und nach bewirkter Reduction auf einen gemeinschaftlichen Horizont die Höhe bezeichnen, in welcher jeder Ausfluß erfolgen soll. Wenn eine Tabelle noch die Wassermengen aller Brunnen und Ausflüsse nachweist, so hat man alle Data, um die passenden Gruppierungen zu machen und das Project im Allgemeinen aufzustellen. Besonders wichtig ist dabei eine zweckmäßige Vertheilung der Haupt-Leitungen. Man muß gewisse Vertheilungspunkte aufsuchen, von denen aus man die Umgebungen bequem speisen kann, und diese Punkte müssen entweder von der Hauptleitung oder von den Zweigröhren der ersten Ordnung berührt werden. Die Anordnung wird aber so getroffen, daß alle Leitungen, welche Theilungspunkte speisen, möglichst gerade geführt werden und leicht zugänglich sind, auch soviel es geschehn kann, ein gleichmäßiges Gefälle erhalten. Die einzelnen Theile der Zwischenleitung können zwar innerhalb gewisser Grenzen sich senken oder ansteigen, doch bleiben sie meist unter dem Niveau des nächst vorhergehenden Theilungspunktes. Diese Theilungspunkte selbst müssen, soviel wie möglich, eine ihrer Entfernung ent-

sprechende Abstufung in der Höhe erhalten. Es ist aber weniger vortheilhaft, die Theilung der Wassermenge durch unmittelbare Spaltung des Röhrenstranges zu bewirken, als vielmehr aus offenen Bassins oder Brunnen die Zweigröhren ausgehn zu lassen. Man erreicht hierbei den Vortheil, daß solche Brunnen als Schlammkasten und Luftventile wirken, auch wird der nachtheilige Einfluß der veränderten Richtung durch sie umgangen. Ueberdies geben sie Gelegenheit zu einer genauen Controlle über die Ergiebigkeit aller Hauptleitungen, denn sobald eine derselben sich verstopft hat, oder leck geworden ist, so wird sich dieses an dem Wasserstande der beiden nächsten Brunnen zu erkennen geben. Die Einführung eines sehr ungleichförmigen Gefälles in den einzelnen Theilen der Hauptleitung und der Zweigröhren hat aber den Nachtheil, daß man in derjenigen Strecke, wo die Niveaudifferenz zwischen den nächsten Brunnen im Verhältniß zur Länge der Leitung sehr geringe ist, besonders weite Röhren benutzen muß.

Diese Bassins oder Brunnen in den Vertheilungspunkten sind entweder geräumige Reservoirs, die große Wassermengen fassen, oder gemeinhin nur gusseiserne Cylinder von 2 bis 3 Fufs Durchmesser, aus denen die Zweigröhren abgehen. Beide werden in der Regel über dem Niveau der Strafsen, also in kleinen Gebäuden oder auf Unterbauten angelegt, weil man sonst keine fließenden Brunnen erhalten würde. Von den größeren Reservoirs muß man indessen oft absehn, weil dieselben die dem Drucke entsprechende Höhe nicht erhalten können, die kleineren Cylinder lassen sich dagegen bequem schliessen, wenn sie auch selbst unter dem Niveau der Strafsen liegen, während der Druck so groß ist, daß das Wasser zu den dritten Stockwerken und darüber ansteigt. Kleine Ableitungen kann man, wo es nöthig ist, auch durch die Hauptröhren unmittelbar speisen, um nicht von dem nächsten Vertheilungspunkte aus einen längeren Strang dahin führen zu dürfen, im Allgemeinen ist es aber vortheilhaft, von einem Vertheilungspunkte bis zum nächsten keine Verminderung der Wassermenge eintreten zu lassen, weil nur in diesem Falle die Beibehaltung derselben Röhrenweite sich rechtfertigt. Dabei darf jedoch nicht unbeachtet bleiben, daß die letzten Verzweigungen schon aus andern Gründen eine überflüssige Weite zu erhalten pflegen.

Hat man auf diese Art die Lage der sämtlichen Vertheilungs-

punkte und den Zug derjenigen Röhren bestimmt, wodurch sie gespeist werden, so kann man nach den in §. 16 gegebenen Formeln die nöthigen Weiten der Röhren berechnen. Man kennt nämlich die Länge jeder einzelnen Strecke, das daselbst stattfindende absolute Gefälle und die Wassermenge, man thut aber wohl, wenn man, wie bereits erwähnt, letztere noch etwa um die Hälfte grösser annimmt, als sie wirklich ist, man sichert sich dadurch theils die Möglichkeit, bei steigendem Bedürfnisse, der Leitung eine grössere Ausdehnung zu geben, theils aber werden alsdann auch die zufälligen Verengungen der Röhre nicht so nachtheilig, und jedenfalls kann man durch die Hähne oder Schiebeventile, die jeder Theil der Leitung erhalten muß, das durchfließende Wasserquantum beliebig vermindern, während man kein Mittel besitzt, es zu vergrößern, wenn die Röhren zu enge sind. Die letzten Zweigröhren müssen aber eine solche Weite behalten, daß sie bei einem entstehenden Brande den Wasserbedarf zur Versorgung mehrerer Spritzen mit Sicherheit liefern. Endlich ist noch zu bemerken, daß man in dem ersten Theile der Leitung, durch welchen die ganze Wassermenge geführt wird, doppelte Röhren zu legen pflegt, um bei einer zufälligen Beschädigung nicht die ganze Anlage außer Thätigkeit setzen zu dürfen. Wenn aber besondere Hauptröhren nach den verschiedenen Stadttheilen geführt sind, so pflegt man die einzelnen Systeme unter sich in Verbindung zu setzen, damit wenn eins derselben nicht im Betriebe ist, dennoch eine nothdürftige Versorgung der betreffenden Straßen möglich bleibt.

In der beschriebenen Art ermittelt man die verschiedenen Weiten, welche die Röhren haben müssen, und um die Anzahl der nöthigen Formstücke nicht zu sehr zu vermehren, so beschränkt man die berechneten Halbmesser auf eine gewisse geringe Anzahl. D'Aubuisson benutzte bei der Wasserleitung zu Toulouse nur neun Arten von Röhren, nämlich in den Weiten von 10,3 — 7,3 — 6,1 — 4,6 — 3,8 — 3,4 — 3,0 — 2,7 und 1,9 Zoll.

In eigenthümlicher Weise ist in Paris die Wasserleitung angeordnet, welche durch den Ourcq-Canal gespeist wird. Dieser Canal mündet nämlich in das geräumige Bassin la Villette zwischen den Thoren la Villette und Pantin am nordöstlichen Rande von Paris. Von hier wird das Wasser, wie bereits erwähnt, abgeleitet, doch tritt es bald darauf in einen unterirdischen überwölbten Canal, den

Aqueduc de Ceinture, in welchem es etwa eine halbe Meile weit längs dem nördlichen hohen Ufer des Seine-Thales fließt. Auf solche Art gelangt das Wasser in mannigfaltigen Krümmungen bis nahe an das Thor de Mouceaux. Fig. 110a zeigt das Profil des Aqueduc de Ceinture. Derselbe ist so geräumig, daß man mit einem kleinen Nachen darin fahren kann, und ein Gang an der Seite erlaubt auch, zu Fuß die ganze Gallerie zu begehnen. An vielen Stellen hat man dem Lichte und der Luft freien Zutritt verschafft, und mehrere Treppen führen herab, damit man mit Leichtigkeit zu den einzelnen Stellen gelangen kann. Auffallend ist es, daß man diesem Canale in seiner Sohle gar kein Gefälle gegeben hat. Sieben Röhrenleitungen schöpfen darin das Wasser und führen es in andern Gallerien nach dem tiefer liegenden Theile der Stadt. Die größte unter diesen ist die Galérie Saint Laurent, worin vier Röhrenstränge neben einander liegen. Fig. 110c zeigt ihr Profil und Fig. 110b das Profil des kleinen Gebäudes, worin diese Röhren aus dem Canale treten. *)

Die Reservoirs oder Bassins dienen entweder nur zur Ansammlung des Wassers, oder sie haben noch den Zweck, öffentliche Plätze zu verzieren und sind in diesem Falle häufig mit Springbrunnen verbunden. Vollkommene Wasserdichtigkeit ist bei ihnen jederzeit die Hauptbedingung, und um diese zu erreichen, pflegt man sie in der ganzen vom Wasser benetzten Oberfläche mit Cement zu überziehen. Demnächst giebt man ihrem Boden einige Neigung und an der tiefsten Stelle befindet sich eine Ausflußöffnung, die gewöhnlich durch ein Ventil geschlossen ist. In dieser Art sind die Reservoirs im Green Park zu London, worin das Wasser der Chelsea-Leitung gesammelt wird, nicht nur mit einer ausgemauerten tiefen Rinne versehen, welche sich in der Längsachse des Bassins hinzieht, sondern außerdem fällt der Boden von beiden Seiten aus mit der Neigung von $\frac{1}{6}$ nach dieser Rinne ab. Die Bassins sind 640 Fuß lang, 102 Fuß breit und in der Mitte neben der Rinne 14 Fuß tief. Ihr Boden besteht aus einem festen Lehmschlage, worüber ein Pflaster in hydraulischem Mörtel ausgeführt ist.

Wenn die Reservoirs geringere Dimensionen haben, so bestehn

*) Eine specielle Beschreibung der Wasserleitungen in Paris, die vom Ourcq-Canale gespeist werden, hat Emmery geliefert. *Annales des ponts et chaussées*. 1840. I. p. 145 ff.

sie aus Gußeisen und namentlich ist dieses bei den erwähnten Cylindern in den Vertheilungspunkten der Wasserleitungen der Fall, doch kommen auch gröfsere Bassins aus demselben Material vor. So giebt es z. B. deren zwei in Liverpool, eines 60 Fufs lang, 15 Fufs breit und 10 Fufs tief und eines 33 Fufs lang, 17 Fufs breit und 7 Fufs tief. Die kleineren Reservoirs endlich bestehn häufig aus hölzernen Kasten, die mit Blei gefüttert sind, und besonders benutzt man solche wegen ihres geringen Gewichtes in Gebäuden.

Wenn keine Speisebassins angelegt sind, vielmehr das Wasser aus den Pumpen unmittelbar in die Röhrenleitung tritt, so mufs jedenfalls dafür gesorgt werden, dafs die Stöße der Pumpe sich nicht weit fortsetzen, wodurch theils die Verbindung der Röhren gelöst, theils die Wirksamkeit der Maschine verringert würde, indem jedesmal eine lange Wassersäule von Neuem in Bewegung gesetzt werden müfste. In vielen Fällen, und besonders wenn der Röhrenstrang nicht lang ist, begegnet man diesem Uebelstande durch Windkessel, die bei jedem Stofse der Pumpe einiges Wasser aufnehmen, und bis zum folgenden Stofse durch den Druck der Luft dieses in die Röhre treiben. Sie veranlassen daher eine ununterbrochene, wenn auch nicht ganz gleichmäfsige Bewegung des Wassers in der Röhre, und vermindern in hohem Grade die Erschütterungen. Dabei zeigt sich indessen ein andrer Uebelstand, besonders wenn das Wasser unter starkem Drucke in der Röhre sich bewegt, nämlich die in gleichem Maafse comprimirte Luft dringt durch die Fugen des Windkessels, derselbe füllt sich daher immer mehr mit Wasser an, und seine Wirksamkeit hört bald ganz auf. Will man demnach nicht in kurzen Zwischenzeiten die Leitung unterbrechen, um den Kessel aufs Neue zu füllen, so mufs die Maschine noch eine Luftpumpe treiben, die entweder dauernd, oder so oft es nöthig ist, den Windkessel mit Luft speist.

Bei vielen Wasserleitungen in England hat man die erwähnten nachtheiligen Stöße in andrer Weise vermieden. Es wird nämlich ohnfern der Pumpe auf die Leitungsröhre eine sogenannte Standröhre aufgestellt, die aus starken Eisenbleche zusammengesetzt und etwa 2 Fufs weit ist, sich aber so hoch erhebt, dafs das Wasser darin bis zur vollen Druckhöhe ansteigen kann, also der Verschlufs derselben entbehrlich ist. Ist diese Röhre nur einfach, wie häufig der Fall ist, so unterbricht sie nicht die Hauptleitung. Das Wasser dringt bei jedem Stofse der Pumpe in die letztere, aber ein Theil

der zugeführten Wassermenge steigt auch in die Standröhre, erhöht hier die Druckhöhe, und fließt bis zum folgenden Stofse wieder in die Leitungsröhre ab. Die Wirkung ist daher dieselbe wie die eines Windkessels, doch darf hier für die Füllung mit Luft nicht gesorgt werden. Dabei wird aber noch ein anderer Vortheil erreicht. Aus dem stark geprefsten Wasser entwickelt sich nämlich, besonders in der heißen Jahreszeit eine bedeutende Menge Gas. In den Windkessel kann dieselbe nicht treten, weil derselbe einer festeren Aufstellung bedarf und daher zur Seite der Leitungsröhre stehn muß. Diese Luft entweicht aber sehr sicher in die Standröhre, die sonach auch den Zweck der oben beschriebenen Luftröhren versieht.

Nicht selten ist die Standröhre doppelt, oder besteht aus zwei senkrechten Röhren von den angegebenen Dimensionen, die nahe neben einander stehn, und oben durch eine gekrümmte Röhre verbunden wird. In diesem Falle wird die Wasserleitungsröhre durch sie vollständig unterbrochen, und alles Wasser, welches die Pumpe fördert, fließt durch sie hindurch, steigt also in dem einen Schenkel hinauf, strömt über den Scheitel und fällt im andern Schenkel herab. Eine heberartige Wirkung tritt dabei nicht ein, insofern der höchste Theil der Röhrenwand durchbrochen und mit einer kleinen, stets offenen Ansatzröhre verbunden ist, durch welche die Luft frei ein- und austreten kann. Derjenige Schenkel, in welchem das Wasser herabfließt, ist nichts andres als ein Speisebassin, worin der Wasserstand freilich etwas schwankt, das aber von den Stößen der Pumpe nicht mehr getroffen wird, und worin sich jedesmal diejenige Druckhöhe darstellt, welche nöthig ist, um die ganze zufließende Wassermenge in die Leitung zu treiben. Indem das Wasser mit freier Oberfläche den Scheitel der Standröhre überströmt, so wird die Gelegenheit zum Absetzen der Luft vollständig geboten. Ein Uebelstand besteht nur darin, daß das Wasser immer bis zum Scheitel der Standröhre gehoben werden muß, wenn auch vielleicht zeitweise nur eine geringere Druckhöhe erforderlich sein sollte.

Bei Versorgung von Privatwohnungen mit Wasser geschieht die Zuleitung gemeinhin in bleiernen, oder gezogenen eisernen Röhren, beide und namentlich die ersteren lassen sich leicht biegen und daher bequem nach jedem Punkte hinführen. Ganz frei dürfen sie aber nicht liegen, weil sie alsdann zu sehr der Gefahr einer zufälligen Beschädigung ausgesetzt wären und beim Froste das darin ent-

haltene Wasser gefrieren könnte. Man versenkt sie daher in die Wände und Fußböden, und um sie möglichst dem Froste zu entziehen, werden sie mehr in die innern, als die Umfassungswände verlegt, auch pfllegt man aus demselben Grunde sie mit Moos und andern schlechten Wärmeleitern zu umgeben, wodurch man zugleich das Beschlagen der Röhren vermeidet, das sonst eintritt, sobald das zugeführte Wasser kälter als die Luft der Zimmer ist. Bei diesen innern Röhren ist jeder Leck besonders nachtheilig, weil dadurch die Wände feucht und die Malereien oder Tapeten verdorben werden. In England, wo die Küchen sich gewöhnlich im Souterrain befinden, sind diese Bedingungen leichter zu erfüllen, und die Schwierigkeiten verschwinden zum Theil ganz, insofern das Wasser gar nicht in die Wohnräume geleitet wird. In Frankreich dagegen und namentlich in Paris, wo in jedem Stockwerke eine und mehrere Haushaltungen sind und die Constructionen im Allgemeinen keine besondere Solidität haben, geben die erwähnten Schwierigkeiten sich oft sehr unangenehm zu erkennen.

Von den Reservoirs, worin die Haushaltungen zuweilen das Wasser sammeln, ist nur zu erwähnen, daß man dieselben mit einem Schwimmer zu versehen pfllegt. Sobald dieser bis zu einer gewissen Höhe sich erhebt, schließt er das Ventil der Zuflußröhre und verhindert dadurch das Ueberfließen des Reservoirs. Um aber die Wassermenge zu messen, welche in einem Hause oder in einer Wohnung verbraucht wird, werden häufig verschlossene Apparate angebracht, die durch das zufließende Wasser in Bewegung gesetzt werden und auf einem Zifferblatte die in der Zwischenzeit seit der letzten Einstellung entnommene Masse erkennen lassen. Der Beamte der Gesellschaft, der allein den Schlüssel zum Apparate führt, stellt dadurch von Zeit zu Zeit das consumirte Quantum fest, und hierdurch bestimmt sich der zu zahlende Kaufpreis.

Wesentlich verschieden ist hiervon die von d'Aubuisson bei den Wasserleitungen in Toulouse eingeführte Methode, wonach den Abnehmern das Quantum, welches sie verlangen, in einem ununterbrochenen feinen Strahle zugeführt wird. Das geringste Maafs, welches verabfolgt wird, sind 2 Hektoliter oder $6\frac{1}{2}$ Cubikfuß in 24 Stunden, und d'Aubuisson erwähnt, daß nach den dortigen Erfahrungen solche überaus feine Strahlen ohne Unterbrechung und ohne Aenderung ihrer Stärke drei Monate hindurch flossen. Etwas unsicher scheint

diese Methode indessen zu sein, namentlich da nach derselben Mittheilung das dortige Wasser feine Pflanzenfasern mit sich führt. Außerdem dürfte die starke Berührung, worin das Wasser mit der Luft gebracht wird, auch leicht ihm die Frische nehmen, die man zu vielen häuslichen Zwecken ungern entbehrt.

In Betreff der Versorgung der Häuser mit Wasser muß noch erwähnt werden, daß dieselbe in verschiedener Art erfolgen kann. Es werden nämlich entweder die betreffenden Leitungen ununterbrochen gespeist, so daß man jederzeit Wasser entnehmen kann. Dieses ist der gewöhnliche Fall, doch kommt es in Englischen Städten auch vielfach vor, daß die Leitungen der einzelnen Strafen nur während einer bestimmten Tagesstunde in Thätigkeit gesetzt werden, also alsdann der ganze Bedarf angesammelt werden muß. In solchem Falle bedarf man der größeren Bassins, von denen vorstehend die Rede war. Diese Anordnung empfiehlt sich besonders, wenn die zu versorgenden Stadttheile in sehr verschiedenen Höhen liegen.

Was die öffentlichen Brunnen betrifft, so haben dieselben häufig noch den Zweck, die Strafen und namentlich die Rinnen zu spülen. In Paris läßt man sie in dieser Absicht zweimal des Tages, nämlich um 6 Uhr Morgens und um 12 Uhr Mittags, jedesmal eine Stunde lang fließen, während sie nur auf den Märkten und in denjenigen Hallen, wo Fleisch und ähnliche Artikel feil geboten werden, dauernd in Wirksamkeit bleiben. Sie sind vorzugsweise auf den Scheitelpunkten der Strafen angebracht, daß heißt da, wo die Rinnen nach beiden Seiten abfallen, und in diesem Falle hat der Brunnen entweder zwei Ausgüsse, oder es ist in anderer Weise dafür gesorgt, daß das Wasser sich nach beiden Richtungen ziemlich gleichmäßig vertheilt. Solche fließenden Brunnen erleichtern wesentlich die Reinigung der Strafen, und vermindern den Staub, doch sind sie nur mit Vortheil anzuwenden, wenn das zugeführte Wasser durch unterirdische Abzugsanäle abgeleitet werden kann. Entgegengesetzten Falles können die Rinnen, besonders wenn ihr Gefälle nur mäßig ist, die zugeführten Wassermengen nicht fassen, oder man müßte sie so erweitern und vertiefen, daß sie den Verkehr beeinträchtigen, und selbst gefährlich werden. Jedenfalls darf man den Schmutz der Strafen nicht durch das fließende Wasser beseitigen wollen. Hierzu würde ein sehr starkes Gefälle erforderlich sein, und dennoch der Uebelstand hinzutreten, daß neben ihren Ausmün-

dungen ausgedehnte Ablagerungen in dem Flußbette entstehen, die nicht nur der Schifffahrt hinderlich, sondern auch den Umwohnenden lästig und schädlich wären. Sowol in England, als in Frankreich wird der Kehricht der Strafsen abgefahren, und nur das Wasser fließt in die Canäle. Die Mängel der Strafsenreinigung in Paris, wo fließende Brunnen und Abzugscanäle vorhanden sind, hat Génieys und später Emmercy in einem sehr interessanten Aufsätze über fließende Brunnen und Abzugscanäle entwickelt. *) Eine andere Mittheilung von Mougey über denselben Gegenstand **) zeigt aber unter Angabe wichtiger Thatsachen, daß auch in den englischen und schottischen Städten gleichfalls Vieles noch zu wünschen bleibt. Aus beiden Aufsätzen ist ein großer Theil der folgenden Notizen entnommen.

Die Wassermenge, welche ein fließender Brunnen liefern muß, um die Spülung der Rinne zu bewirken, ist von so vielen Umständen abhängig, daß man ein allgemein gültiges Maas dafür nicht angeben kann. D'Aubuisson hat in Toulouse dasselbe bis auf einen Wasserzoll ($\frac{3}{7}$ Cubikfuß in der Minute) ermäßigt, doch sind diese Brunnen in ununterbrochener Wirksamkeit, und liegen mitunter sehr nahe nebeneinander, so daß sie sich gegenseitig verstärken, und besonders ist dieses in denjenigen Strafsen der Fall, wo der lebhafteste Verkehr stattfindet. Die Wassermenge, welche die Brunnen in Paris geben, scheint viel größer zu sein, was auch nöthig ist, da sie nicht fortwährend fließen, also der Niederschlag, der sich in der Zwischenzeit festgesetzt hat, durch die Strömung wieder gelockert werden muß. Emmercy nimmt die Wassermenge eines fließenden Brunnens in Paris zu 8 Wasserzoll oder $3\frac{1}{2}$ Cubikfuß in der Minute an.

Was die sonstige Einrichtung dieser Brunnen betrifft, so dürfen sie die Strafsen nicht beengen und die Trottoirs weder unter Wasser setzen und im Winter mit Eis bedecken, noch auch dürfen sie so stark spritzen, daß die Fußgänger benetzt werden. Die älteren fließenden Brunnen in Paris sind von den erwähnten Uebelständen keineswegs frei, und es kommt namentlich in der Strafe

*) *Egouts et bornes fontaines par Emmercy. Annales des ponts et chaussées 1834. I. p. 241.*

**) *Notice sur les égouts de Londres, de Liverpool et d'Edinbourg par Mougey. Annales des ponts et chaussées 1838. II. p. 129.*

St. Denis vor, daß man, um die Bildung des Eises auf den Trottoirs zu vermeiden, im Winter während die Brunnen fließen, noch hölzerne Rinnen auslegt, die das Wasser bis zu den gepflasterten Rinnen neben dem Damme führen, wodurch die Benutzung der Trottoirs sehr erschwert wird. Man hat zur Beseitigung dieser großen Unbequemlichkeit den Versuch gemacht, die Brunnen an den äußern Rand der Trottoirs zu stellen, so daß sie das Wasser unmittelbar in die gepflasterten Rinnen gießen, allein in diesem Falle verengen sie wieder den Fahrdamm und werden von den vorüberfahrenden Wagen beschädigt. Génieys schlägt dagegen vor, das Wasser gar nicht über das Niveau des Trottoirs treten zu lassen, sondern es unter den Trottoirplatten, die aus Gußeisen bestehen, in einen überdeckten Canal zu leiten, der am Rande des Fahrdammes ausmündet. Diese Einrichtung beseitigt zwar vollständig die benannten Uebelstände, aber sie vereitelt auch zugleich einen wesentlichen Zweck dieser Brunnen, nämlich das Auffangen des Wassers in Gefäßen. Am zweckmäßigsten erscheint demnach die in Fig. 113 dargestellte Anordnung der Brunnen, die in neuerer Zeit in Paris auch vorzugsweise gewählt wird. Der Brunnen, den *a* in der Ansicht von vorn, *b* im Durchschnitte und *c* im Grundrisse zeigt, besteht in einem gußeisernen Kasten, der möglichst nahe an den Häusern steht, und durch zwei Abweise-Steine von beiden Seiten gegen Beschädigungen geschützt wird. Die Ausgufsrohre, die senkrecht abwärts gerichtet ist, befindet sich etwa 13 Zoll über dem Trottoir und giebt sonach nur eben Gelegenheit, einen Eimer darunter zu stellen. Sobald das Wasser aber nicht aufgefangen wird, so stürzt es durch einen Rost, dessen Stäbe, um das Spritzen zu vermeiden, oben zugeschärft sind, und fließt durch eine gußeiserne Rinne unter dem Trottoir nach dem Fahrdamme. Der Hahn, welcher den Ausfluß schließt, hat die Einrichtung, daß das Wasser in seine Achse hineintritt, wie Fig. 113 *d* und *e* zeigen. Er kann durch eine Oeffnung in dem obern Boden des Brunnenkastens gedreht werden, wenn man aber diesen Boden oder Deckel abhebt und die beiden durch Splinte gehaltenen Klammern herausnimmt, so kann man den abwärts gekehrten Theil des Ausgufsrohres abschrauben und einen Schlauch, der ein passendes Schraubengewinde hat, daran befestigen. Auf solche Art lassen sich durch diese Brunnen auch die Feuerspritzen unmittelbar speisen.

Außer den erwähnten Brunnen haben die Leitungsröhren auch

an den Stellen, wo sie unter dem Strafsenpflaster liegen, noch in gewissen Entfernungen kurze, aufwärts gerichtete und mit Hähnen und Schraubengewinden versehene Ansatzröhren, woran die Schläuche gleichfalls befestigt werden können. Gewöhnlich wird über diesen Hähnen das Strafsenpflaster unterbrochen, indem ein Rahmen von Holz oder Stein darüber liegt und die Oeffnung in demselben mit einer gußeisernen Platte geschlossen ist. Diese Platte ist in der Mitte mit einer kleinen, eigenthümlich geformten Oeffnung für einen Schlüssel versehen, mit dessen Hülfe man sie heben kann. Diese Platten unterbrechen indessen das regelmässige Pflaster und wenn sie lange gelegen haben, so werden ihre Oberflächen sehr glatt, und dadurch für den Verkehr störend, außerdem brechen sie leicht und geben im Winter zu einer starken Abkühlung der Leitung Gelegenheit. Man hat sie daher, mit Rücksicht auf ihren seltenen Gebrauch, häufig ganz entfernt, indem die Röhre auch an der Stelle, wo der Hahn liegt, mit Erde beschüttet und das Pflaster darüber geführt ist. Gewisse Marken an den nächsten Gebäuden weisen aber die Stelle des Hahnes nach, und sobald es bei einem Brande nöthig wird, denselben zu benutzen, so ist in wenigen Minuten das Pflaster aufgebrochen und die darunter liegende Oeffnung aufgedigert.

Häufig ist der Druck in der Leitungsröhre so groß, daß man die Spritzen ganz entbehren und aus dem aufgeschrobenen Schlauche unmittelbar einen Strahl bis über die daneben stehenden Gebäude treiben könnte. Man macht jedoch hiervon fast niemals Gebrauch, weil es bei einem Brande gewöhnlich nicht an der nöthigen Mannschaft fehlt, um die Spritzen in Bewegung zu setzen, und es immer vortheilhaft ist, letztere so zu stellen, daß sie demjenigen Punkte, wohin der Strahl gerichtet ist, möglichst nahe sind.

In England sind die Wasserleitungen jedesmal Privatunternehmungen, öffentliche Brunnen werden durch sie nicht gespeist, so wie überhaupt kein Wasser unentgeltlich verabfolgt wird. Das zur Reinigung der Strafsen erforderliche Wasser wird meist nicht unmittelbar aus den Leitungen entnommen, vielmehr dient hierzu das in den Reservoirien der einzelnen Wohnungen noch vorhandene Wasser, die vor der neuen Füllung sämmtlich entleert werden, und dadurch bedeutende Massen den Strafsenrinnen zuführen.

Will man die Strafsen benetzen, oder besprengen, was in Städten zur Verminderung des Staubes nothwendig ist, so werden

dazu die oben beschriebenen Feuer-Hähne benutzt, die in diesem Falle aber leicht zugänglich sein müssen. Man schraubt auf dieselbe Schläuche auf, und zum Theil genügt schon der Wasserdruck in den Leitungsröhren, um die Sprengung zu bewirken, häufig muß man jedoch zu diesem Zwecke Wasserkarren benutzen, die eine große Anzahl Strahlen dicht über der Straße ausfließen lassen.

Bei Gelegenheit der Wasserleitungen in größeren Städten sind endlich noch die verdeckten Abzugscanäle oder Siele zu erwähnen, welche theils das Regenwasser, theils aber auch das unreine Wasser aus den offenen Rinnen aufnehmen und beides nach dem Flusse führen. Sie verhindern sonach bei heftigem Regen eine starke Ansammlung des Wassers, doch tragen sie gemeinhin auch noch auf andere Art wesentlich zur Reinhaltung der Straßen bei, indem nicht nur unreines Wasser, sondern auch eine Menge Schmutz in sie hineingeleitet wird. Sie gewähren den Einwohnern eine große Bequemlichkeit, namentlich wenn die Kothgruben der Abtritte mit ihnen in Verbindung gesetzt werden dürfen, wie dieses in neuerer Zeit in London der Fall ist und wie größtentheils auch in Paris geschieht. Die daraus hervorgehende Verunreinigung des Flusses ist freilich ein großer Uebelstand, der jedoch in gleichem Maße sich überall zeigt, wo das unmittelbare Einwerfen des Schmutzes in den Fluß gestattet ist.

Solche Abzugscanäle kommen in den meisten größeren Städten in Frankreich und Großbritannien vor, doch wo sie aus älterer Zeit herrühren sind sie gewöhnlich nur nach dem nächsten Bedürfnisse und ohne gehörige Rücksicht auf eine angemessene Vertheilung des Gefälles angelegt, woher sie in vielen Fällen denjenigen Effect nicht zeigen, den sie bei einer passenderen Anordnung haben könnten. In Deutschland sind sie seltener. Dagegen waren sie schon in früherer Zeit bekannt. Die Cloaken in Rom sind wegen ihrer Ausdehnung und großen Dimensionen noch jetzt unübertroffen. Sehr ausführliche Nachrichten über die verdeckten Abzugs-Canäle in einigen Deutschen, sowie in Französischen und namentlich in Englischen Städten wurden gesammelt, als man Berlin in gleicher Weise entwässern wollte. Indem ich auf den betreffenden Bericht verweise *), beschränke ich

*) E. Wiebe, die Reinigung und Entwässerung der Stadt Berlin. Berlin 1861.

nich nachstehend auf eine kurze Andeutung der wesentlichsten Punkte, die bei Anlagen dieser Art zu berücksichtigen sind.

Vorzugsweise ist darauf zu achten, daß die Canäle durch die Stoffe, welche sie abführen, nicht verstopft werden. In dieser Beziehung ist es zunächst nöthig, ihnen ein hinreichendes Gefälle zu geben. So muß in London in dem Districte zunächst Westminster das Gefälle wenigstens $\frac{1}{96}$ betragen, in dem Districte Holborn und Finsbury wenigstens $\frac{1}{44}$, und die Commissarien, welche diese Bauten controlliren, empfehlen besonders das Gefälle von $\frac{1}{8}$. Die ausgedehnten Abzugscanäle in Edinburgh haben zum Theil viel stärkere Gefälle, sogar bis auf $\frac{1}{7}$, und man betrachtet diejenigen als besonders vortheilhaft, die zwischen $\frac{1}{60}$ und $\frac{1}{100}$ messen. Es lassen sich indessen da, wo die Stadt in einem fast horizontalen Flufsthale erbaut ist, diese starken Gefälle nicht darstellen, und man muß alsdann auf andere Art die Reinigung zu bewirken suchen. In London geschieht dieses durch den verschiedenen Wasserstand in der Themse bei Fluth und Ebbe. Man läßt nämlich das Hochwasser in die Abzugscanäle treten und hält dasselbe bis zur niedrigsten Ebbe darin zurück. Werden sie alsdann geöffnet, so stürzt das Wasser mit Heftigkeit heraus und der starke Strom spült den Niederschlag fort. Wenn Fluth und Ebbe nicht in den Fluß treten und derselbe überdies nur wenige Fusse tiefer liegt als die Stadt, während letztere sich bis zu weiter Entfernung von demselben ausdehnt, so ist es nicht nur unmöglich, die vorerwähnten starken Gefälle darzustellen, sondern man kann selbst sehr schwache den Canälen nicht geben, wenn man nicht das Bassin, worin diese ausmünden, bis unter das Niveau des Flusses senkt. Indem nach manchen Erfahrungen selbst sehr schwache Gefälle, wie von 1 zu 2500 schon zur Abführung des Wassers in passend geformten Canälen genügen, so ist für Berlin vorgeschlagen worden, letztere nach einem Bassin zu führen, dessen Inhalt durch eine Dampfmaschine in die Spree gepumpt wird.

Die Abzugscanäle erhalten in England fast immer solche Dimensionen, daß sie bequem begangen werden können. Fig. 114 zeigt zwei Profile derselben, nämlich *a* ist das für den Westminster-District vorgeschriebene Profil, sobald der Canal mehr als eine StraÙe reinigen soll und *b* dasjenige für den District Holborn und Finsbury. In Paris mußte die Reinigung dieser Canäle namentlich in der Nähe der Seine häufig durch Handarbeit vorgenommen werden. Die grös-

seren hatten daselbst das Fig. 115 dargestellte Profil, doch giebt es auch viele kleinere, die nur 1 Meter oder 3 Fuß 2 Zoll hoch sind, deren Reinigung aber theils wegen der geringen Höhe, und theils wegen des Mangels an frischer Luft sehr beschwerlich ist. In neuer Zeit sind die Abzugs-Canäle in Paris wesentlich erweitert, auch ist für ihre Reinhaltung mehr gesorgt worden.

Wichtig ist die Art der Zuleitung des Wassers in diese Canäle, und zwar ebensowol von den Strafsen aus, als aus dem Innern der Häuser. Gewöhnlich ergießen sich die gepflasterten Rinnen durch gusseiserne Roste in sie. Ein solcher Rost, wie er in England üblich ist, ist Fig. 116 *a* in der Ansicht von oben und *b* im Durchschnitte dargestellt. Er bildet oben eine concave Fläche, welche der Sohle der Rinne entspricht, und ruht auf einem Rahmen von Werkstücken. Zuweilen läßt man auch das Wasser nicht unmittelbar in die Abzugsanäle, sondern wie Fig. 117 *a* und *b* im Grundrisse und im Durchschnitte zeigt, in Schlammkasten treten, worin die schweren Stoffe niederschlagen und woraus nur das reinere Wasser abfließt. Diese Anordnung kommt jedoch nicht häufig vor, sie hat auch den Nachtheil, daß die Reinigung der Schlammkasten für die Nachbarschaft höchst unangenehm ist, und gerade denjenigen Uebelstand herbeiführt, den man vorzugsweise vermeiden will. Fig. 118 zeigt die in Paris gewöhnliche Zuleitung des Wassers, wobei gleichfalls der Rost angewendet ist. Derselbe ruht zunächst auf einem hölzernen Rahmen, und dieser liegt auf einem großen quadratisch bearbeiteten Werkstücke, welches mit einer dem Roste entsprechenden Oeffnung versehen ist. Das Strafsenpflaster ist ringsum abgeschlossen, und giebt der Rostplatte die nöthige Haltung. Es eignet sich indessen häufig, daß die Oeffnungen im Roste durch Stroh und andere vom Wasser herbeigeführte Körper verstopft werden. In dieser Beziehung giebt man den breiten Einmündungen unter den Trottoirs den Vorzug, wie eine solche Fig. 119 *a* und *b* in der Ansicht und im Durchschnitte gezeichnet ist. Die im Trottoir liegende gusseiserne Platte ist ganz geschlossen, und das Wasser ergießt sich neben ihr zur Seite der sehr flachen Strafsenrinne in den Canal.

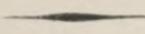
Die Abzugsanäle liegen gemeinhin in der Mitte der Strafsen, doch sind sie zuweilen auch unter den Trottoirplatten angebracht, besonders, wenn sie nicht tief sind. In den englischen Städten kommt

das Letzte nicht leicht vor, denn das Trottoir wird als Theil des Hauses betrachtet, und der Raum darunter ist Keller, der zur Aufbewahrung der Kohlen benutzt wird. Ueberdies liegen die Canäle hier so tief, daß ihre Sohle sich mindestens 4 Fuß unter dem gepflasterten Boden des Souterrains befindet. Man entfernt dadurch jede Gefahr eines Durchsickerns in die Souterrains und braucht keine besondere Vorsicht auf die Wasserdichtigkeit der Canäle zu verwenden.

Wegen der tiefen Lage sind diese Abzugsanäle nicht so leicht zu öffnen, als wenn sie nur durch die Trottoirplatten bedeckt wären, und man muß daher für die nöthige Anzahl von Einsteigeöffnungen sorgen. In London finden sich solche wirklich in Entfernungen von durchschnittlich 15 Ruthen, und sie werden gebildet durch gemauerte Schachte, die an der Seite des Canales herabgeführt und durch Galerien mit ihm verbunden sind. Gufseiserne oder Steinplatten, die meist im Trottoir liegen, verschließen die obern Mündungen dieser Oeffnungen. Wenn die Abzugsanäle sich nicht unter den Straßensinnen hinziehen, so kann man das Wasser auch nicht unmittelbar hineinleiten, bei größerer Breite derselben vermeidet man es auch gern, in den gewölbten Decken Oeffnungen anzubringen. Die gemauerte Abfallröhre wird alsdann schräge herabgeführt und mündet von der Seite und zwar in der Höhe von 1 oder 2 Fuß über der Sohle. In Paris hat man in diesem Falle auch gufseiserne Abfallröhren von 10 Zoll Weite benutzt. Gewöhnlich erreichen die Abfallröhren von beiden Seiten auf dem kürzesten Wege den Canal, doch zuweilen ist dieses wegen besonderer Umstände nicht möglich, und alsdann kann man sie auch in der Art verbinden, wie Fig. 120 zeigt.

Was die Ableitung des Spülichts aus den Gebäuden in die Abzugsanäle betrifft, so findet bei einer tiefen Lage der letztern in dieser Beziehung keine Schwierigkeit statt. Es wird in den englischen Städten nur darauf gehalten, daß diese Seitencanäle auch ein gehöriges Gefälle haben und mindestens $1\frac{1}{2}$ Fuß über der Sohle des Hauptcanals ausmünden. Dadurch wird bei einer etwanigen Ansammlung von Schmutz ein Zurücktreten desselben in die sehr engen und daher schwer zu reinigenden Seitencanäle vermieden. Wenn letztere mit Abtritten in Verbindung stehn, so ist diese Vorsicht noch dringender.

Durch die Seitenkanäle dringt indessen zuweilen von den Hauptkanälen ein starker Geruch in die Häuser und außerdem haben sie den Nachtheil, daß die Ratten, die sich in jenen in großer Anzahl aufhalten, auch in die Häuser kommen. Um beides zu vermeiden, versieht man die kleinen Zuleitungskanäle an ihren untern Mündungen mit gußeisernen Klappen, die am obern Ende um eine horizontale Achse sich drehen. Sie öffnen sich also nur, wenn das vom Hause aus eingegossene Wasser sie aufstößt und schließen sich darauf von selbst. Dieses Mittel ist indessen sehr unsicher und giebt leicht zu einer vollständigen Verstopfung der Zuleitungsröhre Veranlassung. Vortheilhafter ist dagegen die in Fig. 120 dargestellte Anordnung, welche in England häufig vorkommt. Die Zuleitungsröhre *A* geht nämlich nicht ohne Unterbrechung mit gleichem Gefälle fort, sondern ist an einer Stelle gesenkt, worin also das Wasser zurückgehalten wird, und eine Zunge, die aus einer Steinplatte besteht, tritt von der Decke bis unter das Niveau des hier gesammelten Wassers herab. Dadurch wird die Röhre luftdicht geschlossen und auch die Ratten sollen nicht leicht hindurchgehn. Ein Uebelstand hierbei möchte nur der sein, daß diese Vertiefungen wie Schlammkasten wirken, und von Zeit zu Zeit geräumt werden müssen. Zur Erklärung der letzten Figur mag noch bemerkt werden, daß *B* das Trottoir und *C* der darunter befindliche Kohlenkeller ist. *D* ist dagegen ein oben offener Graben, der das Haus von der StraÙe trennt, und Gelegenheit giebt, die Küche *E* und die sonstigen Räume des Souterrains zu erleuchten.



Vierter Abschnitt.

Entwässerungen und Bewässerungen.

§. 24.

Vorarbeiten.

Bei der unregelmäßigen Gestaltung der Erdoberfläche kann es nicht fehlen, daß das Wasser stellenweise mehr oder weniger zurückgehalten wird, indem nicht überall ein freier Abfluß ihm eröffnet ist. Einzelne tiefe Bassins bleiben als Binnen-Seen dauernd gefüllt, und wo dieses auch nicht geschieht, wird häufig der Boden nie so trocken, daß er als Ackerland oder auch nur als Wiese benutzt werden könnte. Die Entwässerungen, von denen hier die Rede ist, beziehn sich zuweilen auf den ersten Fall, oder auf die Ablassung von Seen, vorzugsweise aber auf die Trockenlegung von Sümpfen. Letztere bilden meist ebene, beinahe horizontale Flächen. Oft sind sie aus Seen entstanden, welche durch das Material, das Bäche und Flüsse ihnen zuführten, sich nach und nach angefüllt haben. Indem das Wasser, welches darüber fließt, besonders die vorhandenen Vertiefungen verfolgt, und diesen vorzugsweise neues Material zuführt, so bildet sich von selbst die nahe horizontale Oberfläche aus, die auch bei fernerer Erhöhung sich immer von Neuem wiederherstellt, und eben deshalb einer natürlichen Entwässerung entbehrt. Häufig ist der Untergrund dieser sumpfigen, oder stets mit Wasser bedeckten Ebenen ein an sich fruchtbarer Boden, und alsdann ist der Gewinn bei ihrer Entwässerung oder ihrer Melioration außerordentlich groß. Dabei tritt gemeinhin noch eine andre nicht minder wohlthätige Aenderung der Local-Verhältnisse ein. Nicht nur die versumpften Flächen, sondern auch deren nächste Umgebungen waren bisher unbewohnbar oder doch wegen der Ausdünstungen so ungesund, daß epidemische Krankheiten und namentlich Fieber fast nie in den Familien aufhörten, die sich daselbst niedergelassen hatten. Auch dieses Uebel

verschwindet, sobald das stehende Wasser entfernt und der Boden cultivirt wird. In beiden Beziehungen stehn daher die Meliorationen mit den wichtigsten Interessen der menschlichen Gesellschaft in unmittelbarer Beziehung.

Die Erfolge solcher Anlagen haben vielfach den Erwartungen vollständig entsprochen, wie zahlreiche Beispiele in Deutschland, Frankreich, den Niederlanden und namentlich in Italien zeigen. Nichts desto weniger giebt es wohl kaum irgend welche andre hydrotechnische Ausführungen, die so oft als ganz verfehlt dargestellt werden, wie diese Meliorationen, selbst wenn die günstigsten Veränderungen unverkennbar sind. So war die Fläche von etwa 1 Quadratmeile Inhalt, der Schraden bei Mückenberg ohnfern der Preussisch-Sächsischen Grenze an der Schwarzen Elster stets mit Wasser bedeckt und das schlechte Gras, welches den einzigen Ertrag lieferte, konnte nur unter Wasser gemäht und in kleinen flachen Kähnen abgefahren werden, während keine Niederlassung darauf bestand. Durch die Melioration hat diese Fläche seit einigen Jahrzehenden sich in culturfähiges Land verwandelt, die fruchtbaren Getreidefelder dehnen sich darauf immer weiter aus, und eine Anzahl Höfe sind darauf entstanden, die durch fahrbare Wege unter sich und mit den höhern Umgebungen in Verbindung stehn, aber dennoch wird das Unternehmen vielfach als ganz mißglückt dargestellt und sogar behauptet, daß die dafür verausgabten Kosten durchaus nutzlos verwendet seien. Abgesehen von manchen noch weniger zu billigenden Motiven dürfte das Privat-Interesse vorzugsweise diese eigenthümliche Auffassung veranlassen. Die sehr bedeutenden Kosten solcher Anlagen werden nach Maafgabe des erwarteten Gewinnes auf die betreffenden Grundbesitzer vertheilt, woher der Einzelne sich bemüht, diesen Gewinn als möglichst geringe darzustellen, und alle Unbequemlichkeiten und Ausgaben, welche die Umgestaltung der Verhältnisse verursacht, als unerträglich zu schildern.

Dazu kommt freilich der Uebelstand, daß durch die Melioration, welche auf gemeinschaftliche Kosten ausgeführt wird, die Verbesserung nur eingeleitet werden kann, der einzelne Grundbesitzer aber noch vielfache kleinere Anlagen machen muß, um von dieser den vollen Nutzen zu ziehn. Außerdem erfordert die wesentliche Aenderung der Bewirthschaftung auch eine Menge neuer Anschaffungen und sonstiger Einrichtungen, und wenn hierzu die nöthigen Mittel

fehlen, der bisherige geringe Ertrag aber aufhört und durch nichts ersetzt wird, so tritt der erwartete Vortheil nicht früher ein, als bis ein wohlhabender und intelligenter Oeconom das Grundstück ankauft.

In vielen Fällen ist der Boden von der Art, daß durch die Trockenlegung seine Ertragsfähigkeit nicht vermehrt, vielmehr in Jahren, die durch geringe Niederschläge sich auszeichnen, sogar vermindert wird. Bei Aufstellung des ersten Entwässerungs-Projectes für das Thal der obern Lippe entspann sich ein lebhafter Streit über die Frage, ob die Erträge mehr durch den Ueberfluß, oder durch den Mangel an Wasser beeinträchtigt würden. Vielfach ist es daher nothwendig, zugleich mit der Entwässerung auch für Bewässerung zu sorgen.

Demnächst tritt den Meliorations-Anlagen, besonders wenn sie sich auf größere Flächen beziehen, häufig noch die Besorgniß entgegen, daß die untern Gegenden dabei leiden. So lange nämlich für die Trockenlegung eines Sumpfes nicht gesorgt ist, so ergießt sich der Fluß, wenn er anschwillt, in denselben und da das Wasser sich daselbst weit ausbreitet und keinen leichten Abfluß findet, so meint man gewöhnlich, daß die unterhalb liegenden Flußthäler zwar längere Zeit hindurch, aber doch weniger hoch inundirt werden, als wenn die nöthigen Abzugsgräben eröffnet sind, durch welche ein schneller Abfluß dargestellt wird. Man hört diese Ansicht oft aussprechen, allein es ist keine Erfahrung nachzuweisen, wodurch sie bestätigt würde. Als dem Chiana-Flusse im Anfange dieses Jahrhunderts ein regelmässiger Lauf gegeben und die Entwässerung seines berühmten Thales (wovon später die Rede sein soll) vorgenommen wurde, hegte man in Florenz diese Besorgniß. Es zeigte sich auch wirklich, daß dieses Thal sonst 10 bis 15 Tage lang die höheren Fluthen zurückhielt, während es dieselben später schon in 2 bis 3 Tagen ablaufen ließ, aber nichts desto weniger haben nach Manetti's und Fossombroni's Mittheilungen seit eben dieser Zeit im Arno nie solche hohe Anschwellungen statt gefunden, wie früher. Der Einfluß der Entwässerung ist also in diesem Falle nicht nachtheilig gewesen. Dasselbe hat sich auch in vielen ähnlichen Fällen gezeigt, und die Erscheinung erklärt sich dadurch, daß in den gehörig angeordneten und kräftigen Abzugsgräben die Entwässerung weit früher beginnt, und sonach schon vor dem Eintritt der höchsten Anschwellung große Wassermassen abgeflossen sind.

Der hohe Wasserstand, den man durch die Entwässerung einer Niederung aus derselben entfernen will, kann entweder durch die ursprüngliche Gestaltung der Erdoberfläche veranlaßt sein, wie dieses bei den meisten von der Natur gebildeten Seen der Fall ist, oder er ist eine Folge von künstlichen Anlagen und namentlich von Mühlen, und endlich wird er nicht selten durch die Erhöhung der Fluß- und Bachbetten verursacht. Der letzte Fall verdient eine besondere Erwähnung. Alle Flüsse und Bäche führen nämlich eine Menge Sand und andres Material mit sich, das sie an den Stellen, wo die Strömung mälsig wird, fallen lassen. Dieses geschieht vorzugsweise zur Zeit des Hochwassers, und wenn später das Wasser fällt und die Kraft des Stromes abnimmt, so wird derselbe durch solche Ablagerungen zurückgehalten, und er muß davor aufstauen, bis das Wasser die nöthige Druckhöhe erhält, um entweder darüber fortzufließen, oder sich ein anderes Bette zu bilden. Am stärksten pflegen diese Ablagerungen in den Krümmungen zu sein. Das Hochwasser verläßt hier das eigentliche Bette und folgt in gerader Richtung dem Flußthale, wo es aber eine Vertiefung berührt, da läßt es vorzugsweise die Stoffe fallen, die es mit sich führte. So erhöht sich stellenweise das Bette und zwar besonders zur Seite der stärksten Strömung des Hochwassers. Diese Veränderung der Oberfläche des Flußthales hat wieder Einfluß auf die Strömung. Dieselbe findet bald in einer andern Richtung eine große Tiefe vor, und indem sie dieser folgt, so geht die Erhöhung des Bodens hier wieder ebenso vor sich, wie früher an der ersten Stelle. Auf solche Art wächst ein Theil des Thales nach dem andern empor, und es bildet sich eine überraschende Gleichmälsigkeit in der Ablagerung. Eine dauernde Versumpfung würde demnach in einem Thale, welches hinreichendes Gefälle hat, nicht leicht vorkommen, wenn sie nicht durch künstliche Anlagen herbeigeführt würde. Nur bei einem Boden, der geringen Werth hat, bleibt der Besitzer desselben ein ruhiger Zuschauer der natürlichen Veränderungen des Flußlaufes, sobald aber Ackerbau, oder auch nur eine geregelte Grasnutzung eingeführt ist, so werden die Versandungen sehr nachtheilig. Man verhindert diese, indem man durch Deiche die Aecker und Wiesen abschließt, und sich bemüht, durch Deckung der Ufer den Fluß in seinem Bette zu erhalten. Auf solche Art wird die regelmälsige Umformung des Thales unterbrochen. Die der Ueberfluthung ent-

zogenen Flächen können sich nicht weiter erhöhen, und verlieren ihre natürliche Entwässerung, indem das Flußbette mit den nächsten Umgebungen nach und nach sich erhebt.

Häufig giebt das Zusammentreffen zweier Wasserläufe Veranlassung zur Entstehung der Sumpfe. Wenn ein Bach in einen Fluß mündet und letzterer sein Bette nach und nach erhöht, so schwillt auch der erste in demselben Maasse an, wie der Wasserstand des Flusses am Vereinigungspunkte sich erhebt, und das Thal des Baches verliert die natürliche Entwässerung und verwandelt sich in einen Sumpf, oder einen See. Dasselbe geschieht auch, wenn ein Fluß, der sein Bette stark erhöht, eine natürliche Niederung trifft, die sich nach einer Seite so weit ausdehnt, daß wegen der großen Entfernung von der Hauptrichtung des Flusses die Bildung einer starken Strömung und sonach die natürliche Erhöhung daselbst nicht erfolgen kann.

Endlich werden Versumpfungen auch häufig dadurch erzeugt, daß die Mündungen der Flüsse und Bäche oder der Seen, die sich in das Meer ergießen, nicht offen bleiben. Zwei verschiedene Ursachen bewirken ihre Sperrung. Eines Theils wirft der Wellenschlag bei heftigen Winden große Sandmassen in sie hinein, und wenn sie dadurch zuweilen auch nicht vollständig geschlossen werden, so verlegen sie sich, der Richtung des Windes und des Küstenstromes folgend, seitwärts, so daß der Abfluß des Wassers durch die Verlängerung des Laufes erschwert wird. Findet dagegen kein Küstenstrom statt, und trifft zugleich kein heftiger Wellenschlag die Mündung, so schlägt sich das Material, welches der Fluß mit sich führt, unmittelbar davor nieder. Hieraus bildet sich nach und nach ein Vorland, oder die Ufer dehnen sich seewärts aus und der Fluß wird länger. Indem derselbe aber auch in dieser neu hinzugekommenen Strecke eines gewissen Gefälles bedarf, so erhöht sich sein Wasserspiegel weiter aufwärts, oder die daneben liegenden Ufer verlieren, wenn sie schon niedrig waren, ihre natürliche Entwässerung.

Die an den Mündungen der meisten größeren Ströme befindlichen Niederungen sind wahrscheinlich auf diese Art entstanden. Die Mündung der Rhône verlegt sich von Jahr zu Jahr weiter in das Mittelländische Meer. Nach einer Mittheilung von Prony rückte die Mündung des Po vom 12ten bis zum 17ten Jahrhundert jährlich um $6\frac{1}{2}$ Ruthen vor, seit dem Anfange des 17ten Jahrhunderts ist

das Fortschreiten aber viel stärker geworden und beträgt jährlich sogar $18\frac{1}{2}$ Ruthen. Ebenso zeigt eine Vergleichung der ältern und neuern Charten der Nogat (eines Armes der Weichsel, der ohnfern Elbing in das Frische Haff mündet), daß deren Mündung von 1714 bis 1794 jährlich um $6\frac{2}{3}$ Ruthen, von 1794 bis 1838 aber jährlich um $11\frac{1}{2}$ Ruthen vorrückte.

Der Grund, weshalb in neuerer Zeit die Verlandungen schneller eintreten, und deshalb die Versumpfungen jetzt stärker werden, als früher, ist in der Zerstörung der Waldungen und in der Ausdehnung des Ackerbaues zu suchen. So lange nämlich der Boden seinen natürlichen Schutz im Rasen und Strauche und in den Bäumen fand, die darin wurzelten, so wurde das Wasser, welches bei einem starken Regen darauf niederfiel, nicht nur zurückgehalten, so daß es nur langsam den Betten der Bäche und Ströme zufließt, sondern es berührte auch so wenig den nackten Boden, daß es von diesem die Erde und den Sand nur selten lösen und mit sich führen konnte. Wenn aber die Waldungen verschwunden sind und die Oberfläche in Ackerland verwandelt ist, wobei man immer für einen leichten Abfluß sorgt, so stürzt das Wasser bei starkem Regen sogleich den Bach- und Flußbetten zu und reißt von dem aufgelockerten Boden große Erdmassen mit sich, welche jene Versandung und Verlängerung der Flüsse erzeugen. Die Wiederherstellung des frühern Zustandes ist aber abgesehen von dem langen Zeitraume, den sie jedenfalls in Anspruch nimmt, in vielen Fällen dadurch unmöglich geworden, daß das herabstürzende Wasser die schwache Humus-Decke fortgespült hat und auf dem nackten Felsen keine Cultur gedeiht.

Im Vorstehenden sind die verschiedenen Ursachen der Versumpfung zusammengestellt, doch können die Methoden zur Beseitigung derselben hier nur insofern mitgetheilt werden, als sie in das Gebiet der Hydrotechnik fallen. Wie tief das Wasser gesenkt werden muß, um diese oder jene Cultur, die der Beschaffenheit des Bodens und den sonstigen localen Verhältnissen entspricht, zu ermöglichen, ist eine Frage, die nur der Landwirth beantworten kann. Ueberhaupt ist bei Meliorationen der Wirkungskreis des Wasserbaumeisters von dem des Oeconomen so wenig scharf getrennt, daß dem ersteren nicht leicht die Bearbeitung und Ausführung eines Entwurfes ganz überlassen wird, woher es sich rechtfertigt, daß nachstehend die verschiedenen anzuwendenden Methoden nur in allgemeinen Umriss-

sen mitgetheilt sind. Der eigentliche Deichbau wird aber später behandelt werden.

Soll das Project zur Entwässerung eines Sumpfes oder zur Trockenlegung eines Sees aufgestellt werden, so muß man sich zunächst durch eine genaue Localuntersuchung von der Ursache der Ansammlung des Wassers Rechenschaft geben, damit einer ferneren Einwirkung derselben gehörig vorgebeugt werden kann. Demnächst ist eine genaue Aufnahme des Terrains erforderlich. Dabei tritt die Schwierigkeit ein, daß eine sumpfige Fläche nicht überall zugänglich ist, und da nicht nur die Grenze derselben, sondern auch alle darin belegenen Vertiefungen und Erhebungen auf der Charte zu bezeichnen sind, so muß man eine Methode wählen, wobei man die Meßkette beinahe ganz entbehrt, und durch Winkelmessungen von einzelnen Punkten aus schon in den Stand gesetzt wird, die Lage derselben zu bestimmen.

Hierzu empfiehlt sich zunächst die unter dem Namen der Pothenschen Aufgabe bekannte Methode, mittelst deren man die Lage eines Punktes findet, wenn man von demselben aus die beiden Winkel zwischen drei ihrer Lage nach bekannten andern Punkten gemessen hat. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß man diese Aufgabe sowol durch Rechnung, was unbedingt am sichersten ist*), wie auch mittelst des Meßtisches und am bequemsten mittelst der Boussole lösen kann. Im letzten Falle genügt es sogar schon, nach zwei bekannten Punkten zu visiren, wobei freilich jede Controlle ebenso fortfällt, als wenn man nur zwischen drei Punkten die Winkel gemessen hätte.

Die Detail-Messungen muß man zuweilen mit Instrumenten ausführen, die keiner festen Aufstellung bedürfen, weil der Boden entweder so nachgiebig ist, daß man ein festes Stativ in seiner Lage nicht sicher erhalten kann, oder man wohl gar gezwungen ist, auf Nachen die Tiefen- und zugleich auch die Winkelmessungen vorzunehmen. Man ist alsdann auf den Spiegel-Sextant und ähnliche Reflections-Instrumente beschränkt, während die Schmalkaldische

*) Wie man unter Zugrundelegung einer größern Anzahl von Festpunkten die wahrscheinlichste Lage des gesuchten Punktes findet, habe ich in den Grundzügen der Wahrscheinlichkeits-Rechnung, Berlin 1867, ausführlich entwickelt.

Boussole, mit der aus freier Hand gemessen wird, bei kleineren Entfernungen sehr brauchbar ist.

Die Ermittlung der Höhenlage des Bodens ist am leichtesten, wenn die zu entwässernde Fläche ein See ist, das heisst, wenn sie so hoch mit Wasser bedeckt ist, daß dasselbe eine horizontale Oberfläche annimmt. In diesem Falle verwandelt sich das Nivellement in eine Peilung oder Tiefenmessung. Hierüber wird bei Gelegenheit der hydrometrischen Messungen, die den Strom-Correctionen vorangehen, ausführlich die Rede sein. Ist dagegen der Sumpf ganz oder doch stellenweise stark verwachsen und dadurch der Wasserspiegel vielfach unterbrochen, oder wenn eine merkliche Strömung sich irgendwo darin zu erkennen giebt, so bildet die Wasserfläche nicht mehr eine horizontale Ebene. Man kann alsdann die Ausführung eines Nivellements nicht umgehn, und zwar muß man sich, da hier eine große Genauigkeit nothwendig ist, eines guten Instrumentes mit Fernrohr und Libelle bedienen. Es fehlt aber gemeinlich an der nöthigen Anzahl von Punkten, die fest genug sind, um das Instrument mit Sicherheit darauf stellen zu können, man muß sie daher theilweise durch Rüstungen künstlich bilden, und von diesen aus die Höhenlage des umgebenden Bodens an fest eingestofsenen Visirlatten bestimmen. *) Außerdem kann man auch, wenn scharf markirte Signale, wie etwa Kugeln im Sumpfe aufgestellt sind, die Höhe derselben durch genaue Messung der Vertikalwinkel von dem höhern Ufer aus finden.

Die Resultate des Nivellements stehn mit der angefertigten Charte in genauer Beziehung, und es kommt darauf an, sie auf dieser so anzudeuten, daß man ein deutliches Bild von der ganzen Höhenlage der zu entwässernden Fläche erhält. Durch Anfertigung besonderer Nivellements-Profile erreicht man diesen Zweck nicht. Man gewinnt keine Uebersicht, wenn man die verschiedenen Profile besonders nachschlagen muß, und es gewährt auch wenig Erleichterung, wenn letztere unmittelbar in die Charte eingezeichnet sind, wodurch überdies die Deutlichkeit zu leiden pflegt. Passender ist es, die Höhenlage aller gemessenen Punkte über oder unter dem

*) Die Rücksichten, die zur Erlangung sicherer Resultate bei einem Nivellement zu nehmen sind, habe ich in dem angeführten Werke über Wahrscheinlichkeitsrechnung im 5. Abschnitte gleichfalls behandelt.

angenommenen Normalhorizont in Zahlen einzuschreiben. Ein besonders klares und scharfes Bild von der Gestaltung der Oberfläche erhält man aber, wenn man in die Charte diejenigen Linien einträgt, die den Durchschnitt gewisser horizontalen Ebenen mit der Oberfläche darstellen. Diese Art der Bezeichnung wird heutiges Tages auch auf andern Charten vielfach angewendet.

Dafs unter den Vorarbeiten, welche der Ausführung einer Melioration vorangehn müssen, die Untersuchung der Beschaffenheit des Bodens inbegriffen ist, darf kaum erwähnt werden, indem hiervon hauptsächlich der ganze Bewirthschaftungsplan und der zu erwartende Nutzen des Unternehmens abhängt. Diese Untersuchung hat indessen auch einen andern, mehr hydrotechnischen Zweck, nämlich es fragt sich, ob der Boden bei der erfolgenden Austrocknung sich bedeutend senken wird, wodurch die spätere Entwässerung wieder leidet. Bei Sand- und Kiesgrund hat man dieses wenig zu befürchten, bei einem stark durchweichten Thonboden in höherem Grade, und am meisten, wenn der Boden wie etwa loser Torf aus durchwachsenen Wurzelfasern zusammengesetzt ist und mitunter sogar auf dem Wasser schwimmt. Die zu erwartende Senkung des Bodens ist aber nicht nur von der Beschaffenheit des weichen Obergrundes, sondern auch von der Mächtigkeit desselben abhängig. Man muß also durch Bohrversuche sich hiervon eine nähere Kenntnifs verschaffen und demnächst durch ungefähre Schätzung diejenige Tiefe zu bestimmen suchen, zu der die Oberfläche herabsinken wird.

Ferner sind die Bäche oder Flüsse, welche sich in die Niederung ergiefsen, oder darin geleitet werden können, ein wichtiger Gegenstand, und zwar kommt aufer der Höhe, in der man sie abfangen kann, auch ihre Wassermenge sowol in der trockenen Jahreszeit, als nach heftigen Regengüssen und beim Schmelzen des Schnees in Betracht, und endlich ist in beiden Fällen noch die Beschaffenheit des Wassers zu untersuchen. Ein reines Wasser, oder ein solches, welches klar ist, setzt keinen Niederschlag ab, man kann es daher durch die Entwässerungsgräben abführen, ohne befürchten zu dürfen, dafs dieselben dadurch verschlämmt werden. Dieses Wasser ist indessen für die Cultur weniger nützlich. Wenn dagegen Thon- und Humus-Theilchen im Wasser schweben, so düngen sie den Boden. Endlich führen die Bäche auch Sand, Kies und Geschiebe und zwar

oft in großer Menge mit sich. Alsdann muß man sie von dem unmittelbaren Eintritt in die Entwässerungsgräben abhalten, weil sie dieselben verflachen würden. Dieses Wasser ist aber bei besonders niedrigem Boden von der äußersten Wichtigkeit, indem es zu den sogenannten Colmationen benutzt werden kann, das heißt, man sammelt es in großen Bassins an, worin es zur Ruhe kommt und alle erdigen Stoffe und gröberen Geschiebe fallen läßt. Auf solche Art erhöht man die einzelnen Flächen soweit, daß ihnen die natürliche Entwässerung gegeben werden kann.

Endlich sind die meteorologischen Verhältnisse auch noch in Betracht zu ziehn. Man muß, wenn auch nur annähernd, nicht nur die Menge des jährlichen Niederschlages, sondern auch die größte Regenmenge kennen, die an einem oder an zwei aufeinander folgenden Tagen herabgefallen ist.

Wie diese verschiedenen Untersuchungen zur Entwerfung des Projectes benutzt werden, wird sich aus dem Folgenden ergeben. Die Mittel, die man aber anwenden kann, um die Entwässerung zu bewirken, sind:

- 1) Beförderung der Vorfluth. Dieses geschieht entweder durch Senkung des Wasserspiegels in dem Flusse oder dem See, der die Entwässerungsgräben aufnimmt, oder durch Beseitigung der sonstigen Hindernisse des Abflusses.
- 2) Entfernung des fremden Wassers von der zu entwässernden Gegend, damit die Abzugsgräben keine andere Wassermenge abzuführen haben, als diejenige, welche in dem Sumpfe selbst niederschlägt, oder in Quellen darin hervortritt.
- 3) Anlage der Entwässerungsgräben, deren angemessene Anordnung und Profilirung wesentlich zum Gelingen des Unternehmens beiträgt.
- 4) Erhöhung des zu entwässernden Terrains durch Colmation oder durch den Niederschlag der hineingeleiteten Flüsse und Bäche.
- 5) Sickergräben oder Drains, die jedoch nicht sowol in sumpfigen Niederungen, als in höherem Terrain benutzt werden, um einen undurchlässigen Boden trocken zu legen.

Außerdem kann man noch durch künstliche Entwässerung, das heißt durch Anwendung von Schöpfmaschinen, das Wasser entfernen, doch kommt dieses bei solchen Meliorationen, wovon

hier die Rede ist, nicht leicht vor. Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass man zuweilen durch Anpflanzung solcher Gewächse das Wasser zu entfernen gesucht hat, welche grosse Quantitäten desselben consumiren. Namentlich eignen sich hierzu manche Baumgattungen, die man indessen alsdann nur als Strauch cultivirt, da das Treiben von recht vielen und kräftigen Zweigen hierbei besonders wirksam ist. Eine zehnjährige Weidenwurzel soll in sechs Tagen etwa einen Cubikfuß Wasser aufsaugen. Da man aber gewöhnlich eine andre und vortheilhaftere Benutzungsart des Bodens beabsichtigt, so wird hiervon nicht leicht Gebrauch gemacht, wenn es nicht etwa zugleich darauf ankommt, Faschinenholz für die sonstigen Entwässerungsanlagen zu gewinnen.

§. 25.

Beförderung der Vorfluth.

Wenn die versumpfte Fläche sich neben einem Flusse befindet, der durch Verlandung seines Bettes und seiner nächsten Ufer einen höhern Wasserstand angenommen und dadurch Veranlassung zum Entstehn des Sumpfes gegeben hat, so muss man untersuchen, ob der Wasserstand an der Stelle, wo der Abzugsgraben einmündet, gesenkt werden kann. Die dabei anzuwendenden Mittel werden bei Gelegenheit der Stromcorrectionen ausführlich behandelt werden, hier darf nur insofern davon die Rede sein, als man zuweilen die Länge des Flusses mittelst Durchstechung der gröfseren und schärferen Krümmungen vermindert. Gelingt es, auf diese Art, unterhalb der Einmündung des Abzugsgrabens eine Verkürzung des Stromlaufes hervorzubringen und stellt sich in dem neuen Flussbette beim Sommerwasser kein stärkeres relatives Gefälle dar, als das alte hatte, so gewinnt man dasjenige Gefälle, welches der früheren Mehrlänge des Flusses entspricht. Solche Durchstiche sind aber oft sehr kostbar, und zwar nicht nur in Bezug auf die Ausführung, sondern auch wegen der vielfachen Entschädigungen, die dabei vorzukommen pflegen und wegen der nothwendigen Uferdeckungen, wodurch die Bildung neuer Serpentinien verhindert wird. Man darf von diesem Mittel auch nur Gebrauch machen, wenn man im Stande ist, um eine bedeutende Länge den Flusslauf zu verkürzen.

Als Beispiel von dem günstigen Erfolge solcher Geradleitung des Flusses, in Bezug auf die Senkung des Wasserspiegels, müssen die grosartigen Arbeiten angeführt werden, die vor 50 Jahren am Ober-Rhein zwischen Neuburg bei Karlsruhe und der Mündung des Frankenthaler Canales bei Mannheim, auf der Grenze zwischen Baden und Rheinbayern ausgeführt sind. Die Stromlänge betrug früher $15\frac{2}{3}$ Meilen, und ist durch siebenzehn Durchstiche auf 10 Meilen reducirt, so dafs man $5\frac{2}{3}$ Meilen an Länge gewonnen hat. Diese Durchstiche waren nach 20 Jahren beinahe vollendet, doch hatten sie grosentheils noch nicht den ganzen Strom aufgenommen und zum Theil waren sie noch nicht eröffnet, und dennoch blieb Karlsruhe gegenüber der Wasserstand des Hochwassers schon 5 Fufs und der des Mittelwassers 3 Fufs unter dem früheren.

Wenn der Fluß, in welchen der Abzugsgraben mündet, ein starkes Gefälle hat, so kann man den Wasserspiegel des Grabens auch dadurch senken, dafs man den letzteren neben dem Flusse weiter abwärts leitet, und ihn erst später in diesen ausmünden läfst. Das im Sumpfe gesammelte Wasser ist immer sehr rein und giebt keine Veranlassung zu Versandungen, das dem Graben gegebene tiefe Profil erhält sich daher lange Zeit hindurch und deshalb ist auch kein starkes Gefälle zur Abführung der ganzen Wassermenge nothwendig. Auf solche Art kann leicht ein Abzugsgraben, der 2 bis 3 Fufs tiefer als der Fluß liegt, etwa eine Viertelmeile weiter abwärts schon in denselben geführt werden. Die Elbe und Havel fließen zwischen Genthin und Werben etwa auf acht Meilen Länge parallel neben einander. Am obern Ende dieser Strecke, in der Richtung des alten Plauenschcn Canales liegt der Wasserspiegel der Elbe etwa 15 Fufs über dem der Havel, da jedoch das Gefälle der Elbe 1 : 5000, das der Havel dagegen nur 1 : 16000 beträgt, so kann letztere unterhalb Havelberg sich in die erste ergiefsen, und das weit ausgedehnte tiefe Terrain zwischen Oder und Elbe entwässern.

Legt man in dieser Art einen Abzugsgraben neben den Fluß, so begegnet man leicht Bächen, die sich in den letzteren ergiefsen. Wollte man dieselben in den Graben treten lassen, so würde die gröfsere Wassermenge ein stärkeres Gefälle und sonach eine Erhebung des Wasserspiegels zur Folge haben, ausserdem würde aber auch das Material, welches der Bach, wenigstens zur Zeit seiner Anschwellung, mit sich führt, das Bette des Grabens verflachen und

dadurch aufs Neue die Wirksamkeit der Anlage beeinträchtigen. Man muß also die beiden Wasserläufe von einander trennen und dieses ist nur möglich, wenn man einen über dem andern fortführt. Da der Abzugsgraben beinahe auf seine ganze Länge tiefer, der Bach dagegen höher, als der Fluß liegt, so ist es schon aus diesem Grunde angemessen, den Bach in einem Brückencanale über den Graben zu führen. Es giebt aber noch andere Gründe, die für diese Anordnung sprechen. Insofern nämlich der Graben nur aus einer Ebene das Wasser abführt, die bei heftigem Regen inundirt wird, so hebt sich der Wasserspiegel desselben nie zu einer bedeutenden Höhe, und man darf der Brückenöffnung, durch welche man ihn leitet, keine so große Weite geben, als der Bach erfordern würde, der in höherem Terrain entspringt und oft in kurzer Zeit hoch anschwillt. Sodann aber ist man auch häufig gezwungen, denjenigen Wasserlauf, der bei der Durchkreuzung der untere ist, noch tiefer zu senken, dieses muß sogar immer geschehn, sobald beide Wasserstände nahe in gleicher Höhe liegen. In diesem Falle würde ein Bach, der Sand und Geschiebe führt, die vertiefte Rinne bald sperren und sich alsdann in den darüber befindlichen Graben ergießen, wogegen umgekehrt der letztere, wenn er die vertiefte Rinne durchfließt, dieselbe offen erhält, indem sein Wasser von grobem und schwerem Material frei ist. Dennoch muß man, um ein mögliches Verstopfen zu verhindern und um häufigen Räumungen vorzubeugen, scharfe Ecken vermeiden und in sanften Krümmungen den Graben hindurchführen. Fig. 121 auf Taf. X. zeigt das Profil des gesenkten Abzugsgrabens, welches Guglielmini empfiehlt.

Da jeder Fluß gewissen Anschwellungen unterworfen ist und dieselben in den meisten Fällen so hoch sind, daß sie das geringe Gefälle der Abzugsgräben aufheben, so hört während dieser Zeit die Entwässerung auf, und gemeinhin würde auch das Hochwasser durch Rückstau in die zu entwässernde Gegend treten und selbige inundiren, wenn man es nicht durch besondere Anlagen davon abhielte. Einer Ueberfluthung kann hierdurch gewöhnlich nicht vorgebeugt werden, indem die Anschwellung des Flusses und sonach die Unterbrechung der Abwässerung fast immer so lange anhält, daß das Sammelwasser in der Niederung aus den Gräben tritt und die niedrigsten Umgebungen oder auch wohl das ganze Terrain überschwemmt, dagegen verhindern jene Anlagen das Eintreten des

trüben Flufswassers und sonach die Verschlammung der Gräben. Die Periode der höchsten Anschwellung fällt gemeinhin in eine Jahreszeit, wo der Graswuchs dadurch noch nicht leidet, auch für den Ackerbau der höhere Wasserstand, wenn er nicht zu lange anhält, unschädlich ist.

Die Anlagen, welche das Eintreten des Hochwassers der Flüsse in die Abzugsgräben verhindern, ohne den Ausflufs des Binnenwassers zu hemmen, sobald jenes aufgehört hat, nennt man Siele. Ihre Construction wird beim Deichbau beschrieben werden. Im Allgemeinen wäre hier nur zu bemerken, dafs sie bei schnellen und häufigen Aenderungen des Wasserspiegels sich von selbst schliessen und öffnen, indem sie mit Klappen oder Thüren versehen sind, die nach aufsen aufschlagen. Wenn aber der Graben in einen Flufs mündet, der langsam und selten anschwillt, so gewähren Schütze, die durch angestellte Aufseher gehoben und geschlossen werden, eine gröfsere Sicherheit und gewöhnlich auch einen freieren Abflufs.

Endlich wäre noch zu erwähnen, dafs der Abzugsgraben an eine Stelle das Flufsbette treffen mufs, wo dasselbe nahe am Ufer hinreichend tief, auch vor Ablagerungen von Material geschützt ist. In dieser Beziehung empfehlen sich vorzugsweise Stromkrümmen und zwar die concaven Seiten derselben. Es befindet sich hier gemeinhin die grofse Tiefe unmittelbar neben dem Ufer, und Ablagerungen treten nicht ein, da schon das Ufer im Angriffe liegt, und daher künstlich gedeckt werden mufs.

Es ist bisher nur die Rede davon gewesen, wie man die Vorfluth durch Darstellung einer möglichst tiefen Ausmündung des Abzugsgrabens befördert, es kann aber auch geschehn, dafs in dem Abzugsgraben selbst künstliche oder natürliche Wehre vorhanden sind, welche den schädlichen Aufstau bilden. Dieser Fall ist nicht selten und namentlich sind es häufig Mühlenanlagen, durch welche die Versumpfung veranlafst wurde und durch deren Beseitigung schon das Uebel gehoben werden kann. Zuweilen ist aber die gänzliche Beseitigung der Mühle nicht erforderlich, vielmehr genügt schon ein gehörig weiter und tiefer Grundabflafs, um der Erhöhung des Flufsbettes vorzubeugen.

In Gebirgsgegenden werden häufig Seen dadurch gebildet, dafs einzelne Höhenzüge oder Bergrücken die Thäler durchsetzen und das Wasser vor sich so hoch anspannen, bis es sie übersteigt,

und wie über ein künstliches Wehr abfließt. Die vielen Seen, welche den nördlichen und zum Theil auch den südlichen Abhang der Alpen umgeben, sind auf diese Art entstanden, und man darf wohl annehmen, daß unmittelbar nach der Bildung der jetzigen Erdoberfläche die Anzahl und Ausdehnung solcher Seen noch größer war, weil viele derselben theils durch Anfüllung ihrer Betten und theils durch Vertiefung der Abflüsse verschwunden sind.

Nur in seltenen Fällen hat man eine tiefe Senkung solcher Seen durch Stollen versucht. Beispielsweise ist dieses am Lungern-See im Canton Unterwalden im Anfange dieses Jahrhunderts geschehn, wo nach 40jähriger, oft unterbrochener Arbeit endlich im Anfange des Jahres 1836 in der Tiefe von 120 Fufs unter dem bisherigen Wasserspiegel ein Stollen eröffnet wurde, durch welchen der See bald darauf eben so tief abfloß.

§. 26.

Entfernung des fremden Wassers.

Die sumpfigen Flächen, deren Entwässerung man beabsichtigt, nehmen fast jedesmal die niedrigsten Stellen der Flufsthäler ein, und werden daher nicht nur durch das Wasser des Flusses, sondern auch durch die Bäche gespeist, die seitwärts von dem höheren Ufer herabfließen. Je größer aber die abzuführende Wassermenge ist, um so mehr füllt sich unter übrigens gleichen Umständen der Abzugsgraben an, oder um so weniger senkt er den Wasserstand in der Niederung, die durch ihn trocken gelegt werden soll. Es ist daher nothwendig, den Zuflufs des fremden Wassers möglichst zu beschränken.

Man erreicht hierdurch aber noch andre wichtige Vortheile. Die Bäche und Flüsse, welche ein stärkeres Gefälle haben, führen nämlich, besonders zur Zeit der Anschwellung, eine Menge Erde, Sand und Geschiebe mit sich, die in den Abzugsgräben niederschlagen und häufige Räumungen derselben nothwendig machen. Endlich ist das fremde Wasser auch stärkeren Anschwellungen ausgesetzt, als das Sammelwasser in dem Sumpfe, und man ist sonach bei der Vereinigung beider gezwungen, den Ableitungsgräben größere Profile zu geben, wodurch die Anlage-Kosten für Grabenarbeiten erhöht werden.

Hierdurch begründet sich die Regel, daß man bei jeder vorzunehmenden Entwässerung, soviel es möglich ist, das fremde Wasser von der Niederung abhalten und es in besondern Canälen an derselben vorbeiführen muß. Diese Vorsicht ist im Allgemeinen um so nothwendiger und auch um so leichter zu beobachten, je stärker das Gefälle dieses Wassers in seinem obern Laufe ist. Man giebt ihm ein künstliches, und zwar bei allen Wasserständen vollständig geschlossenes Bette, das entweder am Rande des höheren Ufers, also auf einer Seite bleibt, oder das man durch die Niederung selbst hindurchführt.

Im ersten Falle umgeht man die Theilung der Niederung. Der zweite Fall, wobei nämlich die Niederung in zwei getrennte Theile zerlegt wird, bietet manche Schwierigkeiten, man muß nämlich jeden Theil der Niederung mit einem besondern Entwässerungsgraben versehen, außerdem aber kann man das fremde Wasser nicht auf höherem Terrain herabführen, welches Gelegenheit bietet das erforderliche Gefälle darzustellen, vielmehr muß man die Sohle des Canales sogleich bis zum Niveau der Niederung senken und nur durch hohe Verwallungen zu beiden Seiten läßt sich das Uebertreten des fremden Wassers vermeiden.

Bietet sich dagegen Gelegenheit, den Bach zur Seite der Niederung abzuleiten, so wird das natürliche Bachbette in einer angemessenen Höhe geschlossen, und das neue Bette steigt, indem es am Rande der Anhöhe sich hinzieht, allmähig herab, doch erreicht es die Thalsole erst unterhalb der zu entsumpfenden Gegend. Man braucht dieses neue Bette gewöhnlich nur auf der Thalseite mit Deichen zu umgeben, auf der Bergseite fehlen solche ganz, oder sie sind doch nur stellenweise und in geringerer Höhe erforderlich. Trifft es sich aber, daß man tiefe Seitenthäler überschreiten muß, so ist die größere Tiefe, welche das Bette hier erhält, keineswegs nachtheilig, vielmehr bietet sie eine günstige Gelegenheit zur Ablagerung des Geschiebes. In dieser Beziehung ist auch eine stellenweise große Verbreitung des Bettes nicht ungünstig, denn auch sie wirkt auf die Verminderung der Geschwindigkeit und sonach auf die Reinigung des Wassers hin, und verhindert dadurch das Ablagern von Material in den untern Flußstrecken. Wenn sonach der Boden keinen großen Werth hat, so darf man solche Querthäler nur auf der Thalseite abschließen und sie dadurch zur Zeit der An-

schwellung der Bäche in Seen verwandeln, indem die Bäche, denen man begegnet, zugleich in das neue Bette eintreten. Damit aber diese Canäle ihr Gefälle dauernd erhalten und nicht etwa stellenweise sich so vertiefen, daß in der untern Strecke Mangel an Gefälle entsteht, so ist es von Wichtigkeit, in gewissen Abständen durch Grundwehre oder Schwellen ihre Sohle zu sichern. Dieses sind durchgehende breite Rücken, die aus Steinen möglichst tief und regelmäfsig gepackt und mit grofsen und lagerhaften Felsblöcken abgeplästert werden. Prony räth, sie bei starkem Gefälle in Abständen von höchstens 2000 Meter (etwa $\frac{1}{4}$ Meile) anzulegen. Vor jeder solchen Schwelle wird sich ein Stau bilden, der die Geschwindigkeit des Wassers mäfsigt, man kann daher gerade hier ohne Nachtheil auch schärfere Krümmungen anbringen, wenn der Zug der Anhöhe solche bedingt. Vor den Schwellen wird eine starke Verlandung und Erhöhung des Bettes eintreten, wodurch sich zuletzt ein ziemlich gleichmäfsiges Längen-Profil und zwar für dasjenige Gefälle bildet, welches gleich Anfangs durch die Steinschwellen bezeichnet wurde. In demselben Maafse, wie die tiefen und breiten Stellen im neuen Bette verschwinden, worin sich das Geschiebe absetzt, vermehrt sich hier die Geschwindigkeit, und die fernere Erhöhung des Bettes wird geringer, oder hört ganz auf, wenn endlich alles Material weiter stromabwärts geführt wird.

Es giebt indessen zuweilen Veranlassung, das fremde Wasser in die Niederung hineinzuleiten, und für diesen Fall ist es vortheilhaft, keine feste Coupirung in dem ursprünglichen Flufs- oder Bachbette anzubringen, vielmehr hier ein Stauwerk, also eine Art von Freiarche zu erbauen, die beliebig geöffnet werden kann. Letzteres geschieht theils behufs der Colmationen, theils aber auch, um zur Zeit der Dürre die Gräben der Niederung mit Wasser zu füllen, auch wohl, um in diesen durch stärkere Strömung der Verkrautung zu beugen.

Wird der Flufs oder Bach durch die Niederung hindurchgeführt, so vermindert sich die grofse Tiefe des ursprünglichen Bettes durch die darin angesammelten Niederschläge, und es tritt alsdann die eigenthümliche Erscheinung ein, daß die Sohle bedeutend höher liegt, als die beiderseitigen Wiesen oder Aecker. Bei kleinen Wasserläufen läfst sich in solchem Falle ein Durchbruch der Dämme leicht verhindern. Man sieht daher in Gebirgsgegenden häufig die seit-

wärts herabkommenden Bäche auf 10 bis 20 Fufs hohen Erdrücken über dem Wiesenrunde fliefsen, und dieses Verhältnifs ist oft nicht künstlich dargestellt, sondern es entstand durch die allmälige Ablagerung des Materials. Man bemühte sich nur, durch Erhöhung der Deiche den Bach von den Wiesen abzuhalten, die er sonst mit dem Geschiebe überdecken würde. Die von den Tyroler Alpen herabkommenden Flüsse im nördlichen Italien zeigen ähnliche Erscheinungen. Auch ihre Betten befinden sich 20 Fufs über den umgebenden Feldern und sind von innen mit Mauern eingefafst, welche sich gegen Deiche lehnen. Die Strafsen steigen jedesmal stark an, sobald sie sich einem solchen Flusse nähern, und das grobe Geschiebe, welches das Bette stets anfüllt, das man zum Theil durch Ausfahren zu beseitigen sucht, läfst auf eine noch immer zunehmende Erhöhung schliessen. Auch gröfsere Ströme, wenn sie vor ihrer Mündung weite Niederungen berühren, zeigen, wenn gleich in geringerem Maafse, doch ähnliche Erscheinungen. So erhebt sich der Rhein selbst beim niedrigsten Wasserstande vor Vianen (in der Nähe von Utrecht) bedeutend höher, als das eingedeichte Land liegt, auch der Wasserspiegel der Nogat bleibt vor den Elbinger Triften und an der Mündung des Kraffohl-Canals beständig höher, als das östliche eingedeichte Ufer. Man hat diese unnatürliche Anspannung künstlich herbeigeführt, indem man durch die Bedeichung eine gleichmäfsige Erhöhung der ganzen Niederung unmöglich machte.

Ein interessantes Beispiel der Abhaltung des fremden Wassers von dem Abzugsgraben bietet die Linth. Der Canal, der den Wallenstädter See ableitet, nimmt kein fremdes Wasser auf, sondern dieses wird auf beiden Seiten in besondern Canälen nach dem Züricher See geleitet. Obwohl diese Trennung die Anlage von drei Canälen nöthig machte, so entschlofs man sich dazu, um den Haupt-Canal nicht der Gefahr auszusetzen, durch starke Fluthen, die seitwärts eintreten, in seinen Ufern angegriffen und durch das Material, was sie von den Bergen herabbringen, gesperrt zu werden. Sodann aber führen die Seitencanäle in trockner Jahreszeit auch wenig Wasser ab und sonach senkt sich alsdann in ihnen der Wasserspiegel tief unter den des Hauptcanals, und es wird dadurch möglich, das Thal als Weideland und Wiese zu benutzen. Man hat aber auch dafür gesorgt, dafs die Seitencanäle nicht unmittelbar das Bergwasser aufnehmen, vielmehr wird dieses zunächst durch steinerne Wehre, hier

Wuhre genannt, in den natürlichen Vertiefungen aufgestaut und es läßt dabei alles Geschiebe und feineres Material, das es mit sich führt, fallen. In dieser Weise bewirken die Seitenzuflüsse eine allmähliche Ausgleichung und Erhöhung des Thales, wodurch wieder der Hauptcanal in seinen Ufern gesichert wird. Aber auch die Linth selbst, die als wilder Bergstrom aus dem Canton Glarus herabkommt und das schwerste Geschiebe und dabei sogar Steinblöcke von mehreren Cubikfusen führt, durfte nicht unmittelbar in den Abzugsgraben des Wallenstädter Sees treten. Zur Aufnahme dieses Geschiebes bot indessen der See wegen seiner großen Tiefe eine passende Gelegenheit, doch mußte man, um eine frühere Ablagerung zu vermeiden, das Flußbette mit starkem Gefälle, also hoch über der Thalsohle bis nach dem See führen, und es von Zeit zu Zeit weiter verlängern.

In vielen Fällen ist die Abschließung des fremden Wassers das wirksamste Mittel, welches man zur Entwässerung einer sumpfigen Gegend anwenden kann. So haben die vielfachen Versuche, die man beinahe seit 2000 Jahren zur Cultivirung der Pontinischen Sümpfe zwischen Rom und Neapel gemacht hat, wie Prony meint *), nur deshalb den erwarteten Erfolg nicht gehabt, weil das fremde Wasser gar zu nachtheilig darauf einwirkte. Die Pontinischen Sümpfe erstrecken sich auf $5\frac{1}{2}$ Meilen Länge von Cisterna bis Terracina und zwar ziemlich parallel der Meeresküste. Von letzterer trennt sie eine doppelte Dünenreihe, die sich südöstlich bis zum Vorgebirge Monte Circeo hinzieht. Der Versuch, diese Dünen zu durchstechen, und das in der Niederung angesammelte Wasser auf dem kürzesten Wege, und zwar in einem gehörig weiten und tiefen Canale dem Meere zuzuführen, hatte keinen dauernden Erfolg, woher früher Castelli und später Prony empfahlen, die Bäche und Flüsse, die sich in die Sümpfe ergießen, mit Umgehung der letzteren direct in das Meer zu leiten.

Die Anlagen zur Ableitung des fremden Wassers sind bereits angedeutet, doch bedarf die Feststellung des dabei zu wählenden Profiles noch einer besondern Erwähnung. Dieses läßt sich aus den Gesetzen über die Bewegung des Wassers in Flußbetten berechnen, wenn man das Gefälle und die Wassermenge kennt. Hier-

*) *Description hydrographique et historique des marais Pontins par de Prony.* Paris 1822.

bei kommt es jedoch weniger auf die durchschnittliche Wassermenge des Flusses oder Baches an, als vielmehr auf das Maximum derselben, das bei plötzlichem Schmelzen des Schnees, oder nach besonders heftigem Regen abgeführt wird. Gewiß ist es bei der Seltenheit solcher Witterungsverhältnisse sehr schwierig und beinahe unmöglich, directe Messungen darüber anzustellen, und man muß daher gemeinhin aus der GröÙe des Flußgebietes und aus der Beschaffenheit desselben auf die höchste Reichhaltigkeit der FlüÙe schließen. Dabei ist aber besonders die gröÙte Regenmenge zu berücksichtigen, welche zu Zeiten in einem oder in zwei auf einander folgenden Tagen niederfällt.

Prony fand, daß kleine Wasserläufe, wenn sie in kurzen Zwischenzeiten durch starke Zuflüsse gespeist wurden, schon in der Entfernung von einigen hundert Füssen eine gleichmäßige Strömung zeigten, und er schloß daraus, daß die stärksten momentanen Anschwellungen weiter abwärts verzögert würden, und sonach die Regenmenge nicht so schnell, wie sie niedergefallen ist, sich im Flußbette sammelt und darin weiter strömt. Die Dauer der stärksten Anschwellungen ist gewiß von vielen Zufälligkeiten abhängig. Prony nahm an, daß dieselbe bei den Flüssen, welche in die Pontinischen Sümpfe treten, sich auf 200000 Secunden, oder auf $2\frac{1}{4}$ Tage ausdehnt. Die Höhe des Niederschlages, wodurch eine solche Anschwellung verursacht wird, setzte er aber gleich 6 Centimeter oder $2\frac{1}{4}$ Zoll, auch nahm er an, daß der dritte Theil davon sich in den Boden einzieht, so daß dem Flusse nur 4 Centimeter zufließen. In einzelnen Fällen hat man zwar stärkere Niederschläge beobachtet, allein eines Theils meint Prony, daß man die seltenen Ausnahmen, die vielleicht in hundert Jahren einmal erwartet werden können, nicht zur Norm der Anlage wählen dürfe, und demnächst sei es auch zweifelhaft, ob ein solcher heftiger Regen sich wirklich über das ganze Flußgebiet verbreitet. In Rheinländischem Maafse giebt dieses für jede Quadratmeile Flußgebiet 360 Cubikfuß in der Secunde.

Man darf diese Regel gewiß nicht auf alle Fälle anwenden, denn wesentliche Abweichungen werden bedingt

- 1) durch die Verschiedenheit des Niederschlages, der nach §. 3 von den klimatischen Verhältnissen und der Beschaffenheit des Bodens abhängt,
- 2) durch die Ausdehnung des Flußgebietes. Je gröÙer dasselbe

ist, um so geringer wird die Wassermenge sein, welche die Quadratmeile Bodenfläche zur Zeit der höchsten Anschwellungen liefert, weil nicht leicht ein gröfserer Landstrich in seiner ganzen Ausdehnung von dem heftigen Regen getroffen wird. Endlich verursachen die längeren und kürzeren Wege, die das Wasser durchlaufen muß, bevor es das Flußbette erreicht und in diesen zur Niederung gelangt, auch eine gröfsere Dauer, und sonach eine mindere Höhe der Anschwellung,

- 3) auf flachem und aufgeschwemmtem Boden ist derjenige Theil des Niederschlages, der in die Erde dringt, oder auf Wiesenflächen und anderen Ebenen, die fast horizontal sind, zurückgehalten wird, verhältnißmäfsig gröfser und zugleich bewegt sich das Wasser darüber viel langsamer nach dem Flusse, als in einer Gebirgsgegend. Beide Ursachen vereinigen sich wieder dahin, die gleichzeitig abfließende Wassermenge zu vermindern.

Es ergibt sich hieraus, dafs der Werth der gröfsten Wassermenge eines Flusses von den benannten Localverhältnissen abhängig ist, dabei entsteht aber die Frage, ob jene 360 Cubikfufs für die Quadratmeile Flußgebiet selbst für kleine Gebirgsflüsse das Maximum bezeichnen, oder ob sie den mittleren Werth hoher Anschwellungen ausdrücken. Schon aus den §. 6 gemachten Mittheilungen ergibt sich, dafs die Wassermengen der höchsten Fluthen zuweilen bedeutend gröfser sind und selbst in unsern Gegenden der Niederschlag in $2\frac{1}{2}$ Tagen jene $2\frac{1}{4}$ Zoll zuweilen übersteigt. Ausserdem darf aber nicht angenommen werden, dafs der dritte Theil davon in den Felsboden eindringt, selbst der aufgeschwemmte Boden nimmt kaum soviel auf, wenn er schon vorher sehr nafs war. Endlich ist auch die Voraussetzung, dafs das Wasser $2\frac{1}{2}$ Tage gebraucht, um in dem Strome abzufließen, sehr zweifelhaft, insofern manche Gebirgsflüsse regelmäfsig nur 24 Stunden lang angeschwollen bleiben. Zwei Beispiele werden zeigen, dafs Prony's Annahme in der That zu niedrig ist.

Bei Gelegenheit eines Brückenbaues über die Ruhr bei Mühlheim kam es darauf an, die Wassermenge zu kennen, welche zur Zeit der höchsten Anschwellungen hier durchströmt, und die nähere Untersuchung des in den letzten Decennien beobachteten höchsten Wasserstandes ergab, mit Berücksichtigung der Profilweite und des Ge-

falles, eine Wassermenge von 56000 Cubikfuß in der Secunde, was bei der Ausdehnung des ganzen obern Flußgebietes von 85 Quadratmeilen für eine Quadratmeile 660 Cubikfuß macht.

Im Domlescher Thale im Canton Graubünden, wo der Rhein ringsum von Gletschern gespeist wird, hat man bei Gelegenheit der daselbst ausgeführten Correctionsarbeiten auf eine Wassermenge geschlossen, die bis 1100 Cubikmeter oder 35500 Cubikfuß in der Secunde beträgt. Die Ausdehnung des Flußgebietes mißt aber nur etwa 25 Meilen, daher treffen auf die einzelne Quadratmeile über 1400 Cubikfuß.

Wenn auch der letzte Fall sich auf so eigenthümliche Verhältnisse bezieht, daß er nicht als Norm angenommen werden kann, und der erste es zweifelhaft läßt, ob die Geschwindigkeit wirklich so groß war, als man vorausgesetzt hat, da leicht eine Veranlassung zur theilweisen Hemmung des Abflusses eingetreten sein mochte, so darf man doch nicht annehmen, daß die heftigsten Regengüsse gleichzeitig das Ruhrthal in seiner ganzen Ausdehnung treffen sollten, woher wohl niemals bei Mühlheim verhältnißmäßig eine so große Wassermenge vorbeifließt, wie kleinere Bäche und Flüsse in dortiger Gegend zu Zeiten abführen. Hiernach erscheint es angemessen, Prony's Angabe keineswegs als Maximum der Reichhaltigkeit anzusehn. Hiermit stimmt auch ungefähr die Regel überein, wonach man in manchen Theilen des mittleren Deutschlands die Profile von Brücken und Archen bestimmt, wenn keine andern Umstände darüber nähern Aufschluß geben: man setzt nämlich voraus, daß nach Maafsgabe der besondern localen Verhältnisse jede Quadratmeile Flußgebiet zur Zeit der höchsten Anschwellung 300 bis 600 Cubikfuß in der Secunde giebt.

Sobald man annähernd die größte Wassermenge kennt, so kommt es darauf an, aus derselben das passende Profil zu ermitteln. Wie aber bei allen Flüssen sich zwei verschiedene Profile bilden, nämlich eins für den gewöhnlichen niedrigen Wasserstand oder das eigentliche Flußbette und eins für die hohen Fluthen, welches sich von einem Thalrande oder von einem Deiche bis zum andern erstreckt, so ist es auch angemessen, dem künstlich gebildeten Flusse in gleicher Weise zwei verschiedene Profile zu geben. Man verstärkt dadurch bei kleinem Wasser die Strömung und verhindert Versandungen, und außerdem ist die Sohle des weiten Profiles noch als Wiese oder wenigstens als Weidegrund zu benutzen. Durch eine

weitläufige Rechnung, die jedoch grofsentheils auf sehr willkürlichen Voraussetzungen beruht, findet Prony diejenigen Zahlenverhältnisse des Profiles, welche in Fig. 122 dargestellt sind, nämlich für eine gewisse Maafseinheit

die obere Breite des weiten Profiles . .	45
die untere - - - - -	39
die obere Breite des engen Profiles . .	15
die untere - - - - -	9
die Höhe des weiten, sowie des engen Profiles	2

Die Böschungen sind dabei mit $1\frac{1}{2}$ facher Anlage angenommen, und der Flächeninhalt des weiten Profiles verhält sich zu dem des engen wie $4\frac{1}{2}$ zu 1.

Geht man von der bisher üblichen Formel aus

$$c = x \sqrt{\left(\frac{h}{l} \cdot \frac{q}{p}\right)}$$

wo c die mittlere Geschwindigkeit

h das absolute Gefälle

l die Länge des Canales

x eine gewisse Constante

q den Flächeninhalt und

p den benetzten Umfang des Profiles bedeutet,

und nennt man jene noch zu ermittelnde Einheit x , so findet man

$$q = 108 \cdot x^2$$

$$p = 47,42 \cdot x$$

Die Wassermenge ist aber

$$M = c \cdot q$$

Hieraus ergibt sich

$$x^3 = 0,00003765 \cdot \frac{M^2}{x^2} \cdot \frac{l}{h}$$

Wenn man hier wie gewöhnlich die Constante x gleich 90 setzt, so

folgt
$$x^3 = 0,00000000465 \cdot M^2 \frac{l}{h}$$

Für den Fall, dafs $M = 1000$ Cubikfufs und $\frac{h}{l} = \frac{1}{2000}$ ist, würde

sich ergeben
$$x = 1,56$$

also die obere Breite des weiteren Profiles gleich 70 Fufs, die des engeren $23\frac{1}{2}$ Fufs und die Tiefe jedes Profiles gleich 3 Fufs $1\frac{1}{2}$ Zoll.

Prony's Rechnungen sind nicht so einfach, indem er eine com-

plicirtere Formel über die Bewegung des Wassers in Flußbetten zum Grunde legt. Die Resultate, zu denen er gelangt, sind indessen von den vorstehenden nur wenig verschieden. In dem erwähnten Werke über die Pontinischen Sümpfe wird noch mitgetheilt, daß bei den Entwässerungen in Burgund diese Bestimmung der Wassermengen und Profile zu sehr brauchbaren Resultaten geführt hat, indem bei hohen Anschwellungen die Profile sich füllen, die Deiche aber nicht überströmt werden.

Das vorstehend zum Grunde gelegte Gesetz, wonach die mittlere Geschwindigkeit der Quadratwurzel aus dem relativen Gefälle proportional sein soll, hat sich in neuester Zeit als durchaus unrichtig erwiesen. Die Beobachtungen, welche sowol an großen Strömen, als an kleineren Flüssen, Bächen und Canälen angestellt sind, zeigen jedesmal, daß man eine höhere Wurzel des Gefälles wählen muß. Indem ich die sämmtlichen sehr verschiedenartigen, mir vorliegenden Beobachtungen zusammenstellte, und daraus einen möglichst einfachen Ausdruck suchte, so stellte sich als der wahrscheinlichste heraus

$$c = 4,33 \sqrt{\frac{q}{p}} \sqrt[6]{\frac{h}{l}}$$

wobei alle Größen in Rheinländischen Fußsen ausgedrückt sind. *) Im zweiten Theile dieses Werkes, der von den Strömen handelt, soll die Herleitung dieses Ausdrucks und die Sicherheit desselben näher erörtert werden, ich bemerke aber vorläufig, daß die Quadratwurzel des relativen Gefälles sich nur rechtfertigen würde, wenn letzteres allein auf die Darstellung der mittleren Geschwindigkeit verwandt würde, und sonstige innere Bewegungen nicht vorkämen, die doch niemals fehlen, und die mit zunehmender Geschwindigkeit, also mit wachsendem Gefälle um so größer werden. Die einzelnen zum Grunde gelegten Beobachtungsreihen schliessen sich freilich theils an höhere, theils an niedrigere Wurzeln etwas besser an, die Sicherheit der gefundenen Exponenten war jedoch nicht so groß, um denselben für größere und kleinere Wasserläufe verschiedene Werthe zu geben.

Legt man den vorstehenden Ausdruck zum Grunde, so ergibt sich für dasselbe Zahlenbeispiel

*) Ueber die Bewegung des Wassers in Strömen, aus den Abhandlungen der Academie der Wissenschaften besonders abgedruckt. Berlin 1868.

$$x = 1,91$$

und hiernach wäre die obere Breite des größeren Profiles 86,0 Fufs, die des kleineren 28,6 und die Tiefe beider gleich 3,8 Fufs.

§. 27.

Abzugsgräben.

Gemeinhin sind die absoluten Gefälle der Abzugsgräben, durch welche die Niederungen entwässern, nur sehr geringe, und es kommt daher darauf an, sie so anzuordnen, daß sie dennoch möglichst wirksam sind. Wenn der Ausdruck

$$c = k \sqrt{\frac{q}{p}} \sqrt[6]{\frac{h}{l}}$$

wieder zum Grunde gelegt wird, worin k den constanten Factor bezeichnet, und man die mittlere Geschwindigkeit c , die Wassermenge M und den Inhalt des Profiles q nennt, auch die mittlere Tiefe

$$t = \frac{q}{b}$$

einführt, indem b die Breite des Wasserspiegels bedeutet, wofür man annähernd auch den benetzten Umfang p setzen kann, so erhält man das absolute Gefälle

$$h = \frac{1}{k^6} \cdot \frac{M^6 l}{b^6 t^9}$$

Den Werth dieses Ausdrucks kann man verkleinern,

- 1) indem man M oder die Wassermenge vermindert. Hiervon ist im Vorigen bereits die Rede gewesen,
- 2) indem l oder die Länge des Canales verringert wird. Auch hierüber ist Einiges schon angedeutet worden, und es mag nur noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß nach Ausweis der vorstehenden Formel das absolute Gefälle in demselben Maafse vermindert wird, wie sich die Länge des Canales verkürzt,
- 3) durch Vergrößerung der Breite des Canales und
- 4) durch Vergrößerung der Tiefe desselben.

Die beiden letzten Mittel sind in Bezug ihrer Wirksamkeit auch ihres sonstigen Einflusses einander nicht gleich, denn wenn man die

Breite des Canales verdoppelt, so ist für dieselbe Wassermenge das absolute Gefälle noch achtmal größer, als wenn man die Tiefe verdoppelt hätte. Außerdem wird durch die Vergrößerung der Breite eine entsprechende Fläche Landes der Cultur entzogen, was bei der Vermehrung der mittleren Tiefe nicht geschieht. Durch letztere erreicht man auch noch den Vortheil, daß der Pflanzenwuchs minder stark zu sein pflegt, als in einem flachen Graben. Es läßt sich indessen die mittlere Tiefe des Grabens nicht willkürlich vergrößern, auch darf man die vorstehende Formel nicht mehr anwenden, sobald die Tiefe einen namhaften Theil der Breite ausmacht, also die Breite nicht mehr dem benetzten Umfange gleich gesetzt werden kann. Besonders ist hierbei zu berücksichtigen, daß die Seitenwände des Canales sich nicht steil erheben, vielmehr nach der Beschaffenheit des Bodens mehr oder minder flach abgeböschet werden müssen. Nur in festem Thonboden pflegt die $1\frac{1}{2}$ fache Anlage oder $1\frac{1}{2}$ füßige Böschung zu genügen, während man gewöhnlich die 2 oder 3fache und oft eine noch flachere Anlage wählen muß. Wenn also die Breite der Canal-Sohle auch nur der sechsmaligen größten Tiefe gleich ist, so kann die mittlere Tiefe äußersten Falles nur dem 11ten Theil der Breite des Canales im Wasserspiegel gleich sein. Nimmt man zwischen diesen beiden Größen, oder zwischen t und b ein bestimmtes Verhältniß an, so braucht man nur eine dieser Dimensionen als Unbekannte einzuführen.

Wenn kein fremdes Wasser in den Sumpf tritt, also die abzuführende Wassermenge allein von dem darin niedergefallenen Regen und Schnee herrührt, so läßt sich dieselbe nach den §. 3 gemachten Mittheilungen annähernd berechnen. Bei Anordnung der Abzugsgräben muß man jedoch darauf Rücksicht nehmen, daß die Fläche schon im April vollständig trocken gelegt, und sonach bis zu dieser Zeit die ganze Wassermenge abgeführt sein muß, die hier angesammelt war, und wegen des Frostes oder des höheren Wasserstandes im Flusse während des Winters und des ersten Frühjahrs nicht entfernt werden konnte. Die Gräben erhalten daher wenigstens eine solche Profilweite, daß sie während eines Monats den vierten Theil des jährlichen Niederschlages abzuführen im Stande sind. Beträgt die Höhe des letzteren 24 Zoll, so würden von der Quadratmeile 288 Millionen Cubikfuß in einem Monate, oder in der Secunde 110 Cubikfuß durch den Hauptgraben abfließen müssen.

Von wesentlichem Einflusse ist ferner die Lage des Haupt-Entwässerungsgrabens. Derselbe muß wo möglich ungefähr in der Mitte den Sumpf durchschneiden, damit den Nebencanälen ein hinreichendes relatives Gefälle gegeben werden kann, welches durch Verlängerung derselben sich vermindern würde. Aus dem gleichen Grunde darf auch der Hauptcanal keine überflüssige Länge haben, und muß also möglichst gerade gezogen werden. Von besonderem Einflusse ist hierbei aber die Höhenlage des Terrains. Insofern nämlich der Graben die ganze versumpfte Gegend entwässern soll, so muß er niedriger liegen, als jeder Theil derselben, daher ergibt sich seine Richtung, wenn man die größte Vertiefung nach der Länge des Sumpfes verfolgt, oder wenn man die tiefsten Punkte der Querprofile mit einander verbindet. Nach der ersten Bedingung darf man nicht alle scharfen Krümmungen verfolgen, die den Canal leicht auf eine nachtheilige Art verlängern könnten, wogegen die Einführung sanfter Biegungen nicht nachtheilig ist und für die Erdarbeiten oft eine große Erleichterung gewährt. Prony führt bei der Bestimmung dieser Linie eine andere Betrachtung ein, die zu demselben Resultate führt. Er sagt nämlich, man solle diejenige Richtung wählen, in der die stärkste Strömung sich bildet, wenn das Terrain mit Wasser bedeckt ist und die Auswässerung eintritt.

Die vorstehende Regel findet indessen keine Anwendung, wenn man einzelne besonders tief liegende Flächen trocken legen will. Diese würden vom Hauptgraben getroffen werden, und sonach alles Wasser der Niederung aufnehmen. Für sie ist aber der Zufluß aus den höheren Theilen der Niederung schon als fremdes Wasser anzusehn, und der Zutritt desselben erschwert ihre Entwässerung. Man muß sie also durch Deiche umschließen und ihnen besondere Abzugsgräben geben, gewöhnlich fehlt es aber an dem nöthigen Gefälle, um sie trocken zu legen, und es bleibt alsdann nur übrig, Schöpfmaschinen zu diesem Zwecke anzuwenden. In der Provinz Holland ist dieses wiederholentlich geschehn.

Die Seitengräben, oder die Canäle zweiter Ordnung folgen dem natürlichen Abhange, den die Niederung von dem Rande aus nach der tiefsten Einsenkung hat, woselbst der Hauptentwässerungsgraben angelegt ist. Gemeinhin erlaubt die Beschaffenheit des Terrains, ihnen ein stärkeres Gefälle zu geben, als der letztere erhalten darf. Man legt sie aber nicht in diejenige Richtung, in welcher die

Wiesenfläche geneigt ist, und dieses theils deshalb, weil sie alsdann weniger Wasser aufnehmen würden, insofern sie den natürlichen Lauf desselben nicht kreuzen, theils aber auch, weil sie durch eine mehr schräge Richtung die Länge des Weges, den das Wasser verfolgen muß, etwas verkürzen und dadurch ein stärkeres relatives Gefälle erhalten. Für den Fall, daß die Wiesenfläche normal gegen den Hauptcanal geneigt ist, kann man leicht diejenige Richtung des Seitencanals finden, die dem stärksten Gefälle entspricht. Die Neigung der Thalfläche gegen den Hauptcanal sei $1:n$ und das Gefälle des letzteren $1:m$. Alsdann ist das relative Gefälle des Seitencanals, der in der Horizontal-Projection unter dem Winkel α in den Hauptcanal tritt

$$= \frac{1}{n} \sin \alpha + \frac{1}{m} \cos \alpha$$

Dieser Ausdruck wird ein Maximum, wenn

$$\tan \alpha = \frac{m}{n}$$

Die Entfernung dieser Seitengräben von einander richtet sich nach dem Nutzen, den das ganze Unternehmen verspricht, und sonach nach den Kosten, die man darauf verwenden kann. Im Allgemeinen legt man die Gräben um so weiter auseinander, je länger sie sind und je größer ihr Profil ist. In den Niederungen an der Rhone sind sie 150 bis 300 Ruthen entfernt, in den Maremmen bei Castiglione in Toscana, sowie auch in den Pontinischen Sümpfen, mißt ihr Abstand ungefähr 400 Ruthen, und wo sie in den eingedeichten Marschen des nördlichen Deutschlands und in Holland einigermassen regelmäsig vorkommen, liegen sie durchschnittlich in Entfernungen von etwa 300 Ruthen.

Bei größeren Entsumpfungen genügen die Entwässerungscanäle der ersten und zweiten Ordnung noch nicht, und man muß deren noch andere ausführen, welche in die Seitencanäle münden, also mit den Hauptcanälen parallel laufen. Ueber diese ist hier nichts zu bemerken, da sie lediglich nach ökonomischen Rücksichten angeordnet werden und ihre Ausführung in der Regel auch nicht in den Hauptplan aufgenommen wird, sondern dem Besitzer jedes Grundstückes überlassen bleibt.

Es ist noch zu erwähnen, daß der Wasserspiegel in den Gräben 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs unter dem Terrain gehalten werden muß, wenn

eine geregelte Grasnutzung stattfinden soll, $2\frac{1}{2}$ Fufs, wenn man Feldfrüchte bauen will, während die Cultur von Obstbäumen eine Senkung des Wasserspiegels von wenigstens 4 Fufs erfordert.

Die Ausführung der Entwässerungsgräben ist wegen der sumptigen Beschaffenheit des Bodens gemeinhin sehr schwierig, und nicht leicht kann man sie in ihrer vollen Tiefe gleich Anfangs darstellen, wie bei Schiffahrtscanälen geschieht. Man beginnt die Arbeit, indem man in der Richtung des Hauptcanales und zwar der Richtung des Stromes entgegen diejenigen Erhebungen des Terrains durchsticht, welche vorzugsweise den Abflufs des Wassers hemmen, man bewirkt dadurch sogleich einige Senkung des Wasserspiegels und kann alsdann die Gräben leichter vertiefen, doch vergehn oft Jahre, bevor man das Wasser soweit gesenkt hat, dafs die volle Tiefe den Gräben gegeben werden kann. Zuweilen befördert auch die Strömung, die sich in dem Hauptcanale darstellt, dessen Verbreitung und Vertiefung. So ist der Canal zwischen dem Wallenstädter und Züricher See nur in einzelnen kurzen Strecken ausgegraben worden, weil der Wasserzudrang so stark war, dafs man die Hoffnung aufgeben mußte, eine längere Zeit hindurch eine Baugrube wasserfrei zu halten. Man bemühte sich nur, durch Anstellung so vieler Arbeiter, wie darin irgend Platz fanden möglichst schnell die Tiefe darzustellen. So bildeten sich einzelne Gruben, die nicht nur durch Erddämme, sondern oft auch durch versunkene Baumstämme und Steine von einander getrennt waren. Die Strömung war indessen stark genug, um solche Gegenstände zu beseitigen. Zu diesem Zwecke wendete man hier auch das Bohrruder an, welches Fig. 123 zeigt. Es ist unten mit Eisen beschlagen und mit einem stählernen Dorn versehen. Indem man es um den letzteren dreht, so dringt es tief in den Boden ein und lockert denselben so sehr, dafs er um so leichter vom Strome fortgeführt wird, und dadurch Baumstämme und Steine freigelegt werden.

In andern Niederungen, wo der Boden weicher ist, ist es nicht sowohl der starke Wasserzudrang, welcher die Arbeit erschwert, als vielmehr die geringe Consistenz der Oberfläche. In England stellt man die Arbeiter aus diesem Grunde auf einen aus Brettern gebildeten Rahmen und giebt ihnen lange Spaten, damit sie von diesem Standpunkte aus recht tief graben können. Hierbei ereignet es sich häufig noch, dafs der stark durchnässte Boden selbst in flachen Dossirungen nicht steht

und sonach die Wände des Canales einstürzen. Es bleibt alsdann nichts übrig, als entweder den Zeitpunkt abzuwarten, bis nach und nach durch die Senkung des Wasserpiegels das Erdreich so weit ausgetrocknet ist, daß man regelmässige und tiefe Gräben darstellen kann, oder man läßt die Baustellen voll Wasser laufen und bewirkt ihre Vertiefung nicht mehr durch Grabenarbeit, sondern durch Baggerung. Wählt man das letzte Mittel, so bleiben die Dossirungen dem Gegendrucke des Wassers ausgesetzt und leiden weniger.

Die ausgegrabene oder ausgebaggerte Erde wirft man gewöhnlich unmittelbar zur Seite des Grabens aus, und da es wichtig ist, feste Ufer zu schaffen, damit man den Graben mit Leichtigkeit untersuchen und die etwa nöthigen Aufräumungen darin vornehmen kann, so rechtfertigt sich auch in dieser Beziehung eine solche Anordnung. Andererseits aber wird durch die Beschwerung des äußern Uferlandes die Dossirung um so leichter herausgedrängt, und der Einsturz der Erde veranlaßt. Man muß in solchem Falle die ausgebrachte Erde gleichmäÙig weit verbreiten, damit sie an keiner Stelle einen starken Druck verursacht. Doch auch in andern Fällen muß man sich hüten, förmliche Deiche darzustellen, wodurch ein Abfließen des Wassers aus dem Sumpfe nach dem Graben verhindert würde, oder wenn sich dieses wegen der nöthigen Höhenlage der Wege nicht vermeiden läßt, so muß man Durchlässe anbringen. Die letzte Regel findet nur so lange Anwendung, als der Graben noch innerhalb des zu entwässernden Terrains sich befindet, sobald er dieses verlassen hat, müssen alle Seitenzuflüsse gesperrt werden.

Bei Ausführung der Abzugsgräben werden die Arbeiter wegen des dauernden Aufenthalts auf dem nassen Boden und wegen des Einathmens der Sumpfluft häufig von Krankheiten und namentlich von Fiebern befallen. Durch gehörige Einleitung der Arbeit und Sorge für die Mannschaft läßt sich indessen dieses grosentheils vermeiden. Die Vorsichtsmaafsregeln, die Sommariva bei Trockenlegung des Sumpfes von Coquenard anwendete und die er für ähnliche Fälle empfiehlt, sind folgende: 1) man soll die Arbeit in trockner Jahreszeit unternehmen, 2) in das stehende Wasser sobald wie möglich einige Bewegung bringen, 3) dieselben Arbeiter nicht mehrere Tage hindurch graben, was immer das gefährlichste ist, sondern sie abwechselnd auch karren lassen, und 4) dafür sorgen, daß sie auf sumpfigen Stellen nie ausruhen, sondern während der Ruhezeit im-

mer auf höhere Punkte gehn, auch dort ihre Mahlzeiten einnehmen, daß sie aber während der Nacht sich ganz aus dem Bereiche des Sumpfes entfernen müssen. Wenn hierdurch auch die eigentliche Arbeitszeit um einige Stunden gekürzt wird, so ist diese Vorsicht nicht nur durch die Humanität geboten, sondern auch in ökonomischer Beziehung gerechtfertigt, da eines Theils die Leistungen von kranken Arbeitern sehr geringe ausfallen und man andern Theils die Leute, wenn sie sich durch die angewiesenen Verrichtungen Krankheiten zugezogen haben, nicht ohne Unterstützung fortschicken kann. Es ist aber nothwendig, daß diese Sorge von dem aufsichtsführenden Baumeister ausgeht, da die Arbeiter selbst entweder aus Unkenntniß der Gefahr, oder aus Ueberschätzung ihrer Kräfte durch bloße Warnungen nicht vermocht werden, eine Vorsichtsmaafsregel anzuwenden, die mit einer Schmälerung ihres Verdienstes oder mit weiten Gängen oder andern Unbequemlichkeiten verbunden ist.

§. 28.

Colmationen.

Zuweilen liegt der Sumpf, der entwässert werden soll, so niedrig, daß die Senkung des Wasserspiegels bis unter seine Oberfläche nicht möglich ist. In diesem Falle finden Colmationen oder künstliche Erhöhungen des Bodens Anwendung.

Die einfachste, doch zugleich auch die kostbarste Art der Colmation besteht darin, daß man den Sand oder die sonstige Bodenart, die man zur Erhöhung des Sumpfes benutzen will, unmittelbar auf denselben aufkarrt. An der untern Lippe sind viele niedrige Wiesen hierdurch erhöht worden, und die Arbeit erleichterte sich daselbst einigermaassen dadurch, daß unmittelbar daneben die höheren sandigen Ufer liegen. Gewöhnlich wird aber das Wasser zur Herbeiführung des Sandes und des sonstigen Materials benutzt, und zwar entweder, indem man die Bäche gegen hohe Ufer führt, um dieselben anzugreifen und den Sand mit sich zu reißen, oder man überläßt den Bächen und Flüssen die Zuführung des Materials und bemüht sich nur, dieses möglichst vollständig an denjenigen Stellen abzulagern, die man erhöhen will. Der erste Fall tritt bei der Darstellung der soge-

nannten Schwemmwiesen oder beim Wiesenflößen ein, und hiervon wird passender bei Gelegenheit der Wiesenwässerungen die Rede sein, der letzte Fall ist aber der wichtigste und derselbe wird vorzugsweise unter der Benennung Colmation verstanden.

Die Quantität der erdigen Stoffe, welche ein Fluß mit sich führt, hängt theils von der Beschaffenheit des Terrains und theils von der Strömung ab. Es sind sonach nicht alle Flüsse zur Colmation gleich brauchbar. Vorzüglich sind Gebirgsflüsse, die nicht auf nackten Felsen ihre Quellen sammeln, hierzu geeignet, jedoch auch diese nicht dauernd, sondern nur während der Zeit der stärksten Anschwellungen, denn bei trockner Witterung pflegen sie zu versiegen oder stellenweise so schwach zu fließen, daß sie schon in ihren Betten alles Material fallen lassen.

Hiernach beschränkt sich die Zeit der Colmationen immer nur auf wenige Tage. Die Anlagen, die hierbei in Anwendung kommen, beziehn sich zunächst darauf, daß man den Fluß an diejenige Stelle leitet, wo die Aufhöhung eintreten soll. Zu diesem Zwecke müssen regelmäßige Betten mit möglichst gleichmäßigem und nicht zu geringem Gefälle eingerichtet werden, damit der Fluß darin eine starke Geschwindigkeit behält. Es darf aber das Flußwasser, welches zur Colmation benutzt wird, nicht über ein Wehr oder auch nur über eine erhöhte Schwelle fließen, weil die gröbern Stoffe davor liegen bleiben würden, vielmehr muß die geneigte Sohle sich ohne Unterbrechung bis in die zu erhöhende Fläche fortsetzen.

Sodann muß das trübe Wasser, wenn es diese Stelle erreicht hat, möglichst in Ruhe kommen. Zuweilen werden zu diesem Zwecke nur einzelne Hindernisse der Bewegung entgegengestellt, wie Strauchzäune u. dergl., wodurch die Geschwindigkeit nicht ganz zerstört, sondern nur vermindert wird. Der Erfolg beschränkt sich alsdann aber nur darauf, daß man das gröbere unfruchtbare Geschiebe auffängt, während die feinen im Wasser schwebenden Theilchen, welche in der Regel der Vegetation besonders förderlich sind, fortgeführt werden. Doch auch in quantitativer Beziehung ist dieser Verlust keineswegs unbedeutend, und sonach ist die andre Methode, wobei das Wasser große mit Deichen umgebene Bassins füllt und vollständig geklärt daraus wieder abfließt, viel wirksamer und zugleich in den spätern Erfolgen viel günstiger. Wird aus diesen Bassins nach einiger Zeit das Wasser abgelassen, oder fließt es schon wäh-

rend des Zuflusses aus, so muß dieses immer auf eine Art geschehn, die derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche es aus dem Flußbette hineingeleitet wurde. Beim Austritt aus der Colmation muß nämlich der Abfluß möglichst nahe an dem Wasserspiegel erfolgen, um die Stoffe, die sich bereits zu Boden gesetzt haben, nicht wieder in Bewegung zu bringen. Man läßt also das Wasser über Wehre abfließen, und selbst wenn Grundablässe angebracht werden, die man zur vollständigen Trockenlegung nicht entbehren kann, so dürfen diese nicht durch Schütze geschlossen sein, welche beim Oeffnen eine starke Strömung unmittelbar über den Boden veranlassen würden, sondern man bedient sich der Versatzbohlen, von denen man nach Maafgabe der Senkung des Wasserspiegels eine nach der andern und zwar jedesmal die oberste abhebt, bis endlich das klare Wasser von der ganzen Fläche abgeflossen ist.

Auf solche Art werden einzelne Theile der Niederung erhöht, man geht aber mit diesen Anlagen von oben nach unten oder stromabwärts fort, und wo die Erhöhung bereits erfolgt ist, giebt man dem Flusse, der hier in höhere Ufer eingeschlossen werden kann, einen solchen Lauf, daß er alles Geschiebe wieder den weiter abwärts belegenen Flächen zuführt. Ist endlich die ganze Niederung zur beabsichtigten Höhe angewachsen und sind keine Vertiefungen darin zurückgeblieben, so darf das Material, welches der Fluß auch ferner mit sich führt, nicht zur Verwilderung seines Bettes in der nächsten Strecke Veranlassung geben, weil sonst der Wasserspiegel in der bereits gewonnenen Fläche sich wieder heben würde.

Colmationen sind bisher vorzugsweise in Italien zur Ausführung gekommen, beispielsweise in dem Chiana-Thale, dasselbe erstreckt sich zwischen den Städten Arezzo und Orvieto beinahe in der Richtung von Norden nach Süden, und bildet eine natürliche Verbindung der Flußgebiete des Arno und der Tiber. Die größte Höhe erreicht dieses Thal gegenwärtig auf der Südseite des Sees von Chiusi, es ist indessen dieser Scheitelpunkt künstlich dargestellt und dieses zeigt nicht nur das Längenprofil Fig. 125, sondern der Name des nahe gelegenen Städtchens Chiusi deutet auch darauf hin und verschiedene historische Ueberlieferungen stellen die Thatsache außer Zweifel. Die Wasserscheide zwischen dem Arno und der Tiber lag in früherer Zeit mehr nordwärts. Die italienischen Schriftsteller versetzen dieselbe in die Nähe von Fojano und sogar bis Porto di

Pilli bei Arezzo. Der Beweis dafür wird aus einer alten Charte entnommen die Julius von Medici (später Clemens VII.) im Jahre 1551 aufnehmen liefs und worin mitten durch den See von Monte-Pulciano ein Weg angedeutet ist, der nach der beigeschriebenen Bemerkung früher von Arezzo nach Chiusi führte. *) Nach einzelnen Andeutungen älterer Schriftsteller hat man sogar der Ansicht Raum gegeben, dafs der Arno sich in früherer Zeit bei Arezzo in zwei Arme theilte, von denen der eine bei Florenz vorbei seinen jetzigen Weg verfolgte, während der andere durch das Chiana-Thal von Norden nach Süden der Tiber zuströmte und auf solche Art eine schiffbare Verbindung zwischen Florenz und Rom bildete. **) Man mufs billig Anstand nehmen, diese Vermuthung als Thatsache gelten zu lassen, auch Prony erklärt sich dagegen, doch ist von einem Eingriffe in den natürlichen Lauf des Flusses schon sehr frühe die Rede gewesen. Tacitus ***) erzählt, dafs man im Senate den Antrag machte, den Clanis (Chiana) von der Tiber abzuschliessen und dem Arno zuzuweisen, um die Anschwellungen der Tiber zu mäfsigen, dafs aber den Bitten der Florentiner Gehör gegeben wurde und damals Alles beim Alten blieb. Nichts desto weniger ist dieser Abschluß in späterer Zeit wirklich zur Ausführung gekommen, wiewohl es unbekannt ist, wann dieses geschah, und so bildete sich bei Chiusi der Scheitelpunkt, von wo ab die Chiana nunmehr auf 6 Meilen Länge nordwärts ihrem natürlichen Gefälle entgegenfließt. Wie man sich indessen auf der Südseite gegen das Wasser zu schützen suchte, so geschah dieses auch auf der Nordseite. Neben dem Mönchskloster am Ausgange des Chiana-Thales bei Arezzo erbaute man nämlich ein 38 Fufs hohes Wehr, wodurch das Thal in solchen Zustand versetzt wurde, dafs Dante und Boccac es erwähnen, wenn sie eine ungesunde und verpestete Gegend bezeichnen wollen. Unter der Regierung der Medici wurde die Aufmerksamkeit auf diesen unglücklichen Landstrich ernstlich gerichtet. Die bereits erwähnte Charte, worin auch die Höhenlage

*) *Charte idrauliche dello stato antico e moderno della valle di Chiana, di Manetti. Firenze 1823.* Die kurze Beschreibung, die den schönen Charten beigefügt ist, ist überaus lehrreich und in technischer Beziehung sehr interessant. Fig. 124 ist eine Copie dieser Charte in kleinerem Maafsstabe.

**) *Extrait des recherches sur le système hydraulique de l'Italie par de Prony. Annales des ponts et chaussées 1834. II. p. 384.*

***) *Annalium liber I.*

mancher Punkte angegeben ist, sollte zur Entwerfung des Meliorationsplanes dienen. Nach dieser Charte fand sich zwischen Fojano bis gegen das Mönchskloster, Arezzo gegenüber, die Scheitelstrecke und hier war stehendes Wasser, so daß man kaum eine Bewegung nach der einen oder der andern Seite wahrnehmen konnte. Torricelli bezeichnete schon die Colmationen als das einzige Auskunfts-mittel, das hier zu wählen sei. Er meinte, der Boden läge in der weiten Ausdehnung gar zu horizontal, als daß man durch Abzugsgräben allein ihn trocken legen könnte, doch setzte er hinzu, daß „die Nebenflüsse Goldsand dem Thale zuführen,“ wodurch er den Segen andeuten wollte, den die gehörige Auffangung und Ablagerung desselben in der versumpften Gegend verbreiten würde. Das Unternehmen wurde indessen damals bald aufgegeben und erst gegen das Ende des vergangenen Jahrhunderts entwarf Fossombroni den Plan zur Melioration *). Die frühern Verhältnisse hatten sich indessen wesentlich geändert. Die Thalsole war seit 1551 stellenweise um 37 Fufs erhöht. Die Bedingung, die Fossombroni sich stellte, war, einen regelmässigen Abfluß in nördlicher Richtung zu bilden und durch Colmationen den Boden so weit zu erhöhen, daß die Chiana oder vielmehr der neue Canal das ganze Thal entwässern könnte. Dieser Canal sollte aber hinreichendes Gefälle erhalten, um in späterer Zeit, wenn das Material zu solchem Zwecke nicht mehr gebraucht würde, dasselbe weiter stromabwärts bis unter das Wehr am Mönchskloster zu führen, und dadurch dem Entstehn neuer Versumpfungen im Thale vorzubeugen. Unter diesem Gesichtspunkte wurde die Arbeit auf Kosten der Regierung begonnen. Die Situations-Charte Fig. 124 und das Profil Fig. 125 auf Taf. X. zeigen den Zustand im Jahre 1823, wo zwar noch eine Menge Colmationen im Betriebe, aber doch schon die meisten Flächen cultivirt und bebaut waren. Der Grund und Boden, der, wie es scheint, gar keinen Besitzer hatte, wurde Domaine, und eine Menge Ansiedlungen erfolgte in diesen Gegenden, die früher unbewohnbar gewesen waren. Die Versumpfungen erstrecken sich indessen noch weiter südwärts, als die Charte angiebt, und so waren mit Einschlufs desjenigen Thei-

*) *Memorie idraulico storiche sopra la Val di Chiana*, in der *Raccolta* 1789 mitgetheilt und 1823 zu Bologna besonders gedruckt.

les, der zum Kirchenstaate gehört, etwa 8 Quadratmeilen culturfähiger Boden zu gewinnen.

Die Colmationen, deren passendste Einrichtung sich erst durch die Erfahrungen herausstellte, die man hier machte, wurden folgendermaassen angeordnet. Man umschloß die zu erhöhenden Flächen einzeln mit Erddeichen, und zwar gab man den letzteren wo möglich sogleich die ganze Höhe, die sie zur beabsichtigten Erhebung des Terrains brauchten, das heisst, man machte sie etwa $2\frac{1}{2}$ Fufs höher als der Boden werden sollte. In den Fällen aber, wo der Boden noch sehr niedrig war, gab man ihnen eine geringere Höhe und erhöhte sie später. Sie erhielten eine Kronenbreite von $4\frac{3}{4}$ Fufs und auf jeder Seite Dossirungen, die unter 45 Graden geneigt waren. Die Gröfse der Bassins bestimmte man nach der Breite der Flüsse, welche sie füllen sollten. Wenn diese Breite und zwar zur Zeit der Anschwellung die Einheit ist, so halten die Bassins 100 bis 300 Mal das Quadrat dieses Maafses, nämlich für

den Esse, dessen Breite $25\frac{1}{2}$ Ruthen mißt, das 150fache

- Foenna -	- 31 -	- - -	- 300 -
- Salarco -	- $18\frac{1}{2}$ -	- - -	- 200 -
- Salcheto -	- 15 -	- - -	- 80 -
- Parce -	- 18 -	- - -	- 100 -

Häufig legt man mehrere dieser Bassins hinter einander, und läßt bei starkem Zuflusse das Wasser aus dem einen in das andere Bassin treten, um die feineren Stoffe, die es in jenem noch nicht abgesetzt hatte, in diesem vollends niederzuschlagen. Wenn die Bassins aber dem herrschenden Winde sehr ausgesetzt sind, so muß man sie schon durch ähnliche Erddeiche in mehrere kleinere zertheilen, damit nicht etwa der Wellenschlag eine zu starke Bewegung hervorbringt.

Der Fluß wird in einem eingedeichten Canale, der beim Kreuzen von Abzugsgräben immer über den letztern bleibt, in das Bassin geleitet. Er füllt dieses zur Zeit der Anschwellung bald an, und das Wasser würde über die Deiche strömen und dieselben zerstören, wenn man nicht für einen bestimmten Abfluß gesorgt hätte. Ein solcher heisst Regulator und wird durch eine Vertiefung im Deiche dargestellt. Damit indessen das überstürzende Wasser den Deich nicht angreift, so erhält derselbe dreifache Anlage und man deckt diese mit Faschinen aus, welche durch niedrige Flechtzäune

darüber befestigt werden. Fig. 126 *a* und *b* zeigt diese Anordnung im Grundrisse und im Querschnitte. Die Krone des Regulators liegt etwa 2 Fufs unter der des Deiches, und wenn der Deich bereits die volle Höhe hat, 6 Zoll über derjenigen Höhe, die das Terrain erhalten soll. Die Länge des Regulators ist im Allgemeinen etwas geringer als die Breite des Flusses, nämlich

für den Esse . . .	18½	Ruthen
- - Foenna . . .	31	-
- - Salarco . . .	18½	-
- - Salcheto . . .	12½	-
- - Parce . . .	15½	-

Liegen mehrere Bassins hinter einander, so führt der Regulator das Wasser aus dem ersten in das zweite, und in diesem Falle pflegt man ihn auch wohl zu theilen, damit eine leichtere und gleichmäfsigere Füllung erfolgt, wenn er aber den Ausflufs aus dem letzten Bassin bildet, so kann man eine solche Theilung nicht vornehmen, ohne zwei verschiedene Abzugsgräben darzustellen und zu unterhalten, was die Kosten zu sehr vermehren würde.

Sobald das Hochwasser vorüber ist und das eingeschlossene Wasser während der nächsten 48 Stunden alle Stoffe, die es enthielt, vollständig fallen gelassen hat, so mufs dasselbe wieder entfernt werden. Zu diesem Zwecke dienen kleine Archen von 2 Fufs Weite, welche durch Versatzbohlen geschlossen sind, die man eine nach der andern mittelst Winden aushebt. An jedem einzelnen Bassin befindet sich an einer passenden Stelle diese Vorrichtung und zwar mündet eine solche immer seitwärts und nie in ein folgendes Bassin. Sie werden aber nur leicht aus Holz erbaut, und sobald die Colmation an einer Stelle beendigt ist, an andern Bassins benutzt.

Manetti theilt das Gefälle, die Dauer der Anschwellungen und den Gehalt an erdigen Stoffen für die erwähnten fünf Flüsse mit. Der Gehalt an Erde ist dabei in Procenten ausgedrückt. Ueber die Wassermenge und die Anzahl der jährlichen Anschwellungen fehlen die Angaben.

	Gefälle	Dauer der Anschwellung	Gehalt an Erde
Esse	1:2010	3 Tage	3 Procent
Foenna	1:1707	3 "	5 "
Salarco	1: 596	1 "	9 "
Salcheto	1: 604	1 "	5 "
Parce	1: 494	2 "	3 "

§. 29.

Sickergräben.

Bei thonigem Boden bietet die Beseitigung des Wassers häufig insofern Schwierigkeiten, als dasselbe, wenn es eingedrungen ist, nur langsam sich ausscheidet. Offene Abzugsgräben sind dabei von wenig Nutzen (§. 7), weil ihre Wirksamkeit sich allein auf die nächsten Umgebungen beschränkt. Sie müßten, wenn sie von Erfolg sein sollten, sehr nahe liegen, wodurch ein großer Theil der zu entwässernden Fläche der Cultur entzogen würde. Das Mittel, welches man unter diesen Umständen wählt, ist die Anlage von Sickergräben (*Drains*), d. h. man bildet in solcher Tiefe, daß die Benutzung der Fläche dadurch nicht gestört wird, ein Netz von kleinen Canälen, welche die feinen Wasseradern aufnehmen und abführen. In England sind Drainirungen schon seit Jahrhunderten vielfach ausgeführt, in neuerer Zeit haben sie auch bei uns allgemeinen Eingang gefunden.

Die vortheilhafte Wirkung der *Drains* beschränkt sich aber keineswegs darauf, daß sie aus einem erweichten strengen Thonboden das Wasser abziehen, ihr wesentlicher Nutzen besteht vielmehr in der regelmäßigen Durchführung des Wassers von der Oberfläche nach der Tiefe. Wie in einem Blumentopfe, der am Boden mit keiner Oeffnung versehen ist und durch den das Wasser auch nicht durchschwitzen kann, die Pflanzen nicht gedeihen, so ist derselbe Mangel auch bei Aeckern oft höchst nachtheilig. Diesem wird aber durch die Drainirung abgeholfen. Ohne sie verwandelt sich die Oberfläche leicht in eine für das Wasser undurchdringliche Schicht, der Regen

bleibt also darauf stehn, bis er seitwärts abfließt oder verdunstet, und er dringt sonach nicht bis zu den Wurzeln des Getreides herab. In diesem Falle beseitigen die Sickergräben keineswegs die Feuchtigkeit, sondern sie führen sie den Pflanzen zu, und dabei tritt noch der günstige Umstand ein, daß im Frühjahr der Regen auch den Boden in einiger Tiefe erwärmt und dadurch den Wachsthum wesentlich befördert.

Diese großen Vortheile wurden nach vielfachen ältern Erfahrungen zuerst in England anerkannt. Im Jahre 1847 bewilligte das Parlament über 50 Millionen Thaler an Grundbesitzer, welche zur Anlage von Drainirungen sich entschlossen. In dieser Zeit wurde die Art der Ausführung auch wesentlich verbessert.

Als man die Sickergräben noch sehr unvollkommen darstellte, versagten sie leicht ihren Dienst, und man mußte daher häufige Reparaturen in Aussicht nehmen. Aus diesem Grunde vermied man es, sie in große Tiefe zu legen. Eine Folge hiervon war, daß ihre Wirkung sich auf die nächsten Umgebungen beschränkte, und man war daher gezwungen, ihre gegenseitige Entfernung auf 2 bis 3 Ruthen, zuweilen sogar nur von 18 Fufs zu beschränken. Außerdem durfte man ihnen auch kein starkes Gefälle geben, weil eine heftige Strömung sie leicht zerstört haben würde. Wenn daher der Boden eine merkliche Neigung hatte, so zog man sie nicht in der Richtung, in welcher derselbe abfiel, sondern schräge dagegen, wobei man noch den Vortheil zu erreichen glaubte, daß sie um so sicherer alle Wasseradern treffen und aufnehmen würden. Endlich bot auch die Sicherung ihrer Mündungen manche Schwierigkeiten, indem sie einzeln im niedrigeren Wiesengrunde am Fusse des Ackers austraten. Der besonders üppige Graswuchs, den sie hier veranlaßten, war Ursache, daß das Vieh sich vorzugsweise daselbst aufhielt und die Gräben zerstörte, auch trieben die Sträucher und Bäume in der Nähe ihre Wurzeln hinein und verstopften sie. Man sah sich daher meist gezwungen, sie unter hohen Steinschüttungen austreten zu lassen.

Um einer stellenweisen Sperrung der Sickergräben zu begegnen, die bei der geringen Stärke der Erddecke darüber (die meist nur $2\frac{1}{2}$ Fufs maafs) leicht möglich war, stellte man sie nicht sowol als freie Canäle dar, sondern bildete aus Steinen, Strauch und selbst aus Stroh poröse Stränge, durch welche das Wasser sich hindurchziehen mußte.

Gegenwärtig ist man hiervon zurückgekommen, und zieht allgemein die freien Canäle und zwar in größerer Tiefe vor, wo sie vor Beschädigungen gesichert sind. Die Art ihrer Darstellung ist sehr verschieden. Zuweilen wird dabei gar kein fremdes Material benutzt. Ein Stück Holz von 10 bis 12 Fuß Länge wird regelmässig etwas konisch geformt, so daß es an dem hintern Ende 5 Zoll, und an dem vordern 6 Zoll im Durchmesser hält. In das stärkere Ende wird ein Haken eingeschlagen und daran eine Leine befestigt, womit man es weiter ziehn kann. Man legt es auf die Sohle des Grabens und bestreut es zunächst mit Sand, damit der feste Boden nicht zu stark daran haftet, alsdann bringt man eine dünne Lage steifen Thon auf, der den Sand festhält und zugleich die innere Fläche des künstlichen Erdgewölbes bildet. Man tritt diese Lage gehörig an und dasselbe geschieht mit allen einzelnen Schichten der folgenden Aufschüttung, so daß man also unmittelbar diejenige feste Decke darstellt, die sich sonst nur später bilden würde. Endlich zieht man das Holz etwa 2 Fuß weit vor und setzt die Arbeit auf gleiche Art weiter fort, indem man die Ueberschüttung über der ganzen Länge des Holzkernes allmählig ansteigen läßt.

Sehr einfach ist auch das Verfahren, welches man in Lancashire anwendet, wobei nämlich der Graben einige Zolle über seiner Sohle mit schmalen Banketen versehen wird, auf welche man Torfstücke von 9 Zoll Höhe legt, welche sonach die Decke des Canales bilden. Statt des Torfes wendet man in gleicher Weise auch flache Steine an, wie Fig. 127 zeigt. Um jedoch einer Verschüttung des Canales durch die Fugen zwischen den Steinen vorzubeugen, muß darüber noch eine grobe Kiesschüttung oder eine Strohlage angebracht werden, die man oft noch mit Rasen bedeckt.

Vortheilhafter ist es, wenn man Ziegel oder andere besonders zu diesem Zwecke gebrannte Steine benutzt, man kann alsdann auch leicht die Seitenwände des Canales mit solchen einfassen. Andere Methoden, wobei gleichfalls flache Steine zur Ueberdeckung und Umschließung der Gräben verwendet werden, zeigen die Figuren 128, 129, 131, 132 und 133. Dieselben Constructionen werden in England auch oft zur Trockenlegung von Strafsen gewählt.

Bei Anwendung des Strauches zur Darstellung freier Canäle ist die in Fig. 130 dargestellte Methode besonders häufig benutzt worden. Man schneidet nämlich kleine Stäbchen von etwa 15 Zoll Länge

und lehnt diese abwechselnd an die eine und die andre Wand des Grabens, so daß sie sich in der Mitte kreuzen und unmittelbar berühren. Alsdann füllt man den obern prismatischen Raum mit Strauch, worüber Stroh gelegt wird, damit die aufgeschüttete Erde nicht hindurchfällt. Das untere dreiseitige Prisma bildet den eigentlichen Sickercanal.

In neuester Zeit ist man von den beschriebenen Constructionen abgegangen, und hat dafür eine andere gewählt, die in Bezug auf Dauer und Sicherheit des Erfolges unbedingt den Vorzug verdient. Jene Sickergräben, die mit vegetabilischen Stoffen überdeckt werden, bleiben nämlich nur so lange dem Drucke der darauf lastenden Erde entzogen, als diese Stoffe ihre Festigkeit behalten, und man muß besorgen, daß später größere Erdklumpen sich lösen, oder auch feinere Massen hindurchfallen und die Canäle sperren.

Indem man eine dauerhaftere Construction wählt, so fällt auch der Grund fort, die Gräben möglichst hoch zu halten. Bei größerer Tiefe entzieht man sie aber nicht nur manchen Beschädigungen, sondern man senkt auch das Grundwasser, und indem die Wirksamkeit eines Sickergrabens sich zu beiden Seiten um so weiter erstreckt, je tiefer er liegt, so erreicht man noch den wesentlichen Vortheil, daß die Anzahl der Gräben sich vermindert und sonach die ganze Anlage, der größeren Tiefe unerachtet, wohlfeiler wird. Auch eine kräftige Strömung wird bei der festeren Construction unschädlich, und man darf die Canäle in die Richtung der Abdachung des Bodens legen, wodurch ihre Wirksamkeit sich gleichfalls verstärkt.

Die in Fig. 131 dargestellte Anordnung bildet den Uebergang zur neuern Methode. Eine Schicht flacher gebrannter Steine, also Dachziegel oder Fliesen, stellt die Sohle des Canales dar, und zur Begrenzung an den Seiten, so wie zur Ueberdeckung dient eine Reihe von Hohl- oder Forstziegeln. Bei der großen Anzahl der erforderlichen Steine gab man ihnen bald passendere Formen, indem die Bodensteine mit einer flachen Rinne versehen, und die Decksteine in halbe Cylinder verwandelt wurden. Demnächst ersetzte man die ersteren durch die letzten, und bildete Canäle von kreisförmigem Querschnitt. Die horizontalen Fugen waren indessen sehr störend, weil theils leicht Sand und Erde durch sie eindrang, theils auch die obern Steine auf den schmalen Seitenwänden der untern nicht fest und sicher auflagen, und wenn sie sich beim Be-

schütten mit Erde verschoben und herabfielen, so sperrten sie einen großen Theil der Oeffnung. Hiernach ging man endlich dazu über, ganze Cylinder, nämlich die sogenannten Drainröhren, zu formen und zu brennen. Solche werden jetzt allgemein benutzt und sie haben sich bereits als sehr dauerhaft erwiesen, während zugleich der rinnenförmig gekrümmte Boden das durchfließende Wasser mehr zusammenhält und daher die zufälligen Ablagerungen leichter fortgespült werden.

Die einzelnen Röhrenstücke werden meist ohne weitere Verbindung nur stumpf an einander gelegt. Dabei kann es leicht geschehn, daß der Sand durch die Stosfuge dringt, und noch größer ist die Gefahr, daß die kurzen Röhren beim Verlegen und Beschütten mit Erde etwas seitwärts rollen, so daß ihre Oeffnungen nicht mehr genau auf einander treffen, und der Querschnitt der Leitung dadurch stellenweise beengt wird. Um dieses Rollen der Röhren zu vermeiden, hat man zuweilen versucht, sie mit einem breiten Fusse zu versehen, oder auch einen elliptischen Querschnitt ihnen zu geben. Beides kommt jedoch nur selten vor, dagegen benutzt man zuweilen weitere Ringe oder Muffen zur Ueberdeckung der Fugen, ähnlich denen, die auch bei eisernen Leitungsröhren vorkommen, und Fig. 100 Taf. VII. dargestellt sind.

Indem die Röhren oft nur 1 bis 2 Zoll weit sind, so bedarf der Graben, in den man sie legt, keiner bedeutenden Breite, doch muß diese so groß sein, daß ein Arbeiter darin noch stehn und gehn kann. Letzteres geschieht freilich nur sehr unbequem, indem er den einen Fuß immer voranstellt und den andern nachzieht. Die Grabensohle wird zu diesem Zweck 4 Zoll breit gemacht, und da sie mindestens 4 Fuß tief liegt, so ist das Verlegen der Röhren sehr lästig, besonders da man die Seitenwände möglichst steil halten muß, um die Erdarbeiten nicht zu weit auszudehnen. Der Graben wird, nachdem seine Richtung und Breite abgesteckt ist, mit Spaten ausgestochen, und zwar sind diese von verschiedener Breite und Form, um in den verschiedenen Tiefen die Arbeit möglichst zu erleichtern. Man bedient sich auch mit Vortheil gewisser Pflüge, die indessen nur zum Auflockern, nicht aber zum Ausheben des Bodens dienen.

Nachdem der Graben an einer Stelle die volle Tiefe erhalten hat, und gehörig geebnet ist, so werden die Röhren darin sogleich verlegt. Der Arbeiter, der dieses thut, steht gemeinhin im Graben,

doch kann man die Röhren, wenn sie auf einen passenden Hacken gesteckt sind, auch von oben verlegen, obwohl dieses weniger sicher ist, weil die Röhren nicht nur auf einander treffen, sondern auch mit dem bestimmten gleichmäßigen Gefälle verlegt werden müssen. Gemeinhin zieht man 2 bis 3 Röhrenstücke, deren Länge 12 bis 14 Zoll beträgt, auf einen dünnen Stab, und verlegt sie so, daß dieser Stab noch in die bereits früher verlegte Röhre greift. Mit der Setzwage wird alsdann die Neigung untersucht, und die Grabensohle, soweit es nöthig ist, vertieft oder erhöht. Wenn die Röhren passend liegen, so drückt man sie fest an, überdeckt jeden Stofs mit einer Handvoll Heidekraut und bringt eine dünne Lage feinen und zähen Thon auf, der sogleich angetreten wird, um ein ferneres Verschieben der Röhren zu verhindern. Alsdann zieht man den Stab heraus, und beginnt die Verfüllung des Grabens. Auf diese Art wird der Graben keineswegs in größerer Länge auf einmal eröffnet, wodurch seine Wände stärker austrocknen und nachstürzen würden, vielmehr pflegt man die Erdarbeit so anzuordnen, daß der Graben nur da, wo gerade die Röhren verlegt werden, die volle Tiefe hat, und er dahinter schon wieder verschüttet wird. Man pflegt aber die lockerste Erdschicht zum ersten Ueberdecken der Röhren zu verwenden, um das Durchsickern des Wassers zu erleichtern, und die compacten Schichten in den obern Theil des Grabens zu werfen. Die einzelnen Lagen stampft man etwas an, um ein späteres starkes Setzen zu vermeiden.

Was die Anordnung dieses Entwässerungs-Systems betrifft, so pflegt man im Allgemeinen anzunehmen, daß die Canäle bei hinreichendem Gefälle so viel Ruthen von einander entfernt sein dürfen, als ihre Tiefe unter der Oberfläche Fulse mißt. Diese Regel gilt indessen mehr für leichten, als für strengen Boden. Je fester derselbe ist, um so geringere Entfernungen muß man wählen. Leclerc sagt, er habe bei Besichtigung dieser Anlagen in England gefunden, daß 4 Fufs tiefe Sickergräben bei verschiedenen Bodenarten in folgende Entfernungen gelegt werden:

in strengem Boden	22 bis 32 Fufs
wenn der Untergrund aus Kreide besteht	25 - 35 -
in Torf	35 - 45 -
in leichtem Thonboden	32 - 48 -
in sandigem Boden	48 - 64 -

Man giebt den Sickercanälen das stärkste Gefälle, welches das Terrain gestattet, und betrachtet 1 : 500 oder auch wohl schon 1 : 400 als das schwächste, noch zulässige Gefälle. Ist die Fläche so eben, daß man selbst bei Verfolgung des stärksten Abhanges dieses Gefälle nicht darstellen kann, so wählt man eine Anordnung, die dem Rückenbau für Ueberrieselungen ähnlich ist (§. 30). Man legt nämlich einen weiteren Sickercanal in größerer Tiefe mitten durch das Feld, der wegen der bedeutenden Oeffnung von 4 bis 6 Zoll Durchmesser nur eines geringen Gefälles bedarf, und läßt in diesen die kleineren Sickercanäle mit gehörigem Gefälle und in angemessenen Entfernungen von beiden Seiten eintreten.

Auch wenn das Terrain es gestattet, jeden einzelnen Sickergraben frei austreten zu lassen, so zieht man es doch vor, dieselben in eine gemeinschaftliche weitere Röhre zu führen, und zwar geschieht dieses in der Art, daß die kleinern Röhren einige Zolle höher liegen, und durch die Decke in die weitere münden. Sie finden also einen freien Abfluß, wenn letztere auch gefüllt ist. Die Verbindung bedarf keiner besondern Festigkeit, man wählt dazu entweder Röhren, die vor dem Trocknen gebogen waren, oder man benutzt auch kleine hölzerne Zwischenröhren. Diejenigen Röhrenstücke, welche unmittelbar in den Wiesengrund, oder in einen offenen Graben austreten, müssen wenigstens 2 Fufs lang sein, damit die nächste Stofsuge in feste Erde trifft. Man pflegt in denselben noch ein Drahtnetz anzubringen, um das Eintreten der Mäuse und Ratten zu verhindern, die oft zur Sperrung der Canäle Veranlassung geben.

Diejenigen Röhren, welche unmittelbar das Wasser aus dem Acker auffangen, sind genügend weit, wenn ihre Oeffnung 1 Zoll im Durchmesser hält, doch erweitert man sie meist auf $1\frac{1}{4}$ oder $1\frac{1}{2}$ Zoll, damit die unvermeidlichen Unregelmäßigkeiten beim Verlegen nicht sogleich eine starke Verengung veranlassen. Die Länge des ganzen Stranges beträgt meist etwa 1000 Fufs und bei starkem Gefälle nicht selten sogar 2000 Fufs. Bei größerer Ausdehnung ist es aber vortheilhaft, sie in etwas weitere Röhren übergehn zu lassen, damit alles Wasser sicher gefalst wird.

Es bedarf kaum der Erwähnung, daß der Ausführung einer solchen Anlage eine sorgfältige Untersuchung der Höhenlage und der Beschaffenheit des Bodens, und die Bearbeitung eines vollständigen Projectes vorangehn muß. Zunächst ist zu prüfen, ob man

das einfache System der parallelen Röhren wählen darf, oder ob es nöthig ist, gröfsere Abzugscanäle, in welche jene einmünden, dazwischen zu legen. Für jene, wie für diese mufs die Richtung und Höhenlage vollständig ermittelt werden, damit das erforderliche Gefälle sich überall bilden, und die ganze Anlage in kräftige Wirksamkeit treten kann.

Die Anfertigung der Drain-Röhren erfolgt in gröfseren Ziegeleien oder besondern Fabriken und zwar mittelst Maschinen, in welchen der steife Thon unter sehr starkem Drucke durch eine kreisförmige Oeffnung geprefst wird, in welcher ein cylindrischer Kern schwebt. Letzterer wird vor der Oeffnung durch einen schmalen Arm gehalten. In dieser Art tritt die fertige Röhre aus der Maschine und wird in den Zwischenzeiten, wo der Druck aufhört, in den beabsichtigten Längen durch einen oder mehrere Drähte zerschnitten. Der hierbei zu verwendende Thon mufs von besonderer Güte auch möglichst sorgfältig bearbeitet und gereinigt sein, sowie auch das Trocknen und Brennen mit grofser Vorsicht erfolgen mufs, damit die Röhren den nöthigen Härtegrad erhalten, ohne ihre Form zu verändern.

§. 30.

Bewässerungsanlagen.

Die Bewässerung der Ländereien geschieht entweder durch Ueberstauung, oder durch Ueberrieselung. Die erstere ist vorzugsweise beim Getreidebau üblich, doch wendet man sie auch häufig bei Wiesen zur Beförderung des Graswuchses an, während die letztere sich allein auf die Wiesencultur beschränkt. Nach der ersten Methode wird in der geeigneten Jahreszeit das Feld einmal oder wiederholentlich unter Wasser gesetzt und bleibt einige Tage hindurch damit bedeckt, wobei theils eine starke Durchnässung des Bodens erfolgt, theils aber auch die erdigen Theilchen aus dem Wasser niederschlagen und dadurch zur Befruchtung wesentlich beitragen. Bei der Ueberrieselung wird dagegen über die Wiesenfläche eine möglichst gleichmäfsige Strömung geführt, die keineswegs den Rasen bedeckt, sondern die feinen Grasblättchen überall über das Wasser her-

vorragen läßt, so daß man letzteres nur eben dazwischen durchschimmern sieht.

Daß in beiden Fällen auch reines Wasser von Nutzen ist, ist nicht zu bezweifeln, da dieses ebenso wie der Regen wirkt. Wenn dagegen das Wasser nicht ganz rein ist, sondern einigen Schlamm mit sich führt, so ist es für die Ueberschwemmung um so nützlicher und wahrscheinlich auch für die Ueberrieselung, obwohl man häufig das Gegentheil behauptet. Eine starke Ablagerung erdiger Stoffe ist im letzten Falle freilich insofern nicht günstig, als dadurch die künstlich eingerichtete Wiesenfläche leicht so unregelmäßig sich erhöht, daß das Bewässerungssystem gestört wird, dagegen bemerkt man bei diesen Wiesen, wenn das Wasser auch ganz rein zu sein scheint, mit der Zeit ein Aufwachsen des Bodens, und sonach ist übereinstimmend mit den sonstigen Erfahrungen anzunehmen, daß auch hier die feinen und kaum merkbaren Erdtheilchen einigen Einfluß auf die Vermehrung des Ertrages ausüben. Von welcher Art die im Wasser schwebenden Erdtheilchen sind, und ob sie für die beabsichtigte Cultur vortheilhaft oder vielleicht nachtheilig sein werden, muß man, wenn nicht directe Erfahrungen vorliegen, näher untersuchen, damit man sich nicht etwa über die Verbesserung des Ackers täuscht, oder man ihn wohl gar durch das darüber geleitete Wasser verdirbt. Bélidor *) erzählt ein Beispiel des letzten Falles.

Die Bewässerungsanstalten zeichnen sich im Allgemeinen vor allen sonstigen hydrotechnischen Anlagen durch eine große Einfachheit aus. Sie bestehn gewöhnlich nur in kleinen Gräben und niedrigen Verwallungen, und die Stauwerke oder Schütze, die man zuweilen dabei benutzt, sind wegen der geringen Dimensionen wieder sehr einfache Bauwerke. Die große Anzahl und weite Ausdehnung solcher Anlagen, die sämmtlich eine fortdauernde Aufmerksamkeit und bei entstehenden Unregelmäßigkeiten eine schleunige Ausbesserung erfordern, erschweren aber häufig in hohem Grade das Gelingen des ganzen Unternehmens. Der Landmann, der von der Bewässerung den Nutzen zieht, muß selbst alle zugehörigen Anlagen controlliren und in gutem Stande erhalten, und darf nur in dem Falle einen Vortheil davon erwarten, wenn er dieses mit Liebhaberei und häufig thut. Ein einzelner Spatenstich, der zur rechten Zeit ge-

*) *Architecture hydraulique. Vol. IV. p. 476.*

macht wird, kann leicht großen Unordnungen vorbeugen, und so muß diese Arbeit ganz in den Kreis der gewöhnlichen landwirthschaftlichen Verrichtungen übergehen, wenn sie ohne große baare Auslagen besorgt werden soll.

Was die Bewässerung durch Ueberstauung betrifft, so war diese Methode schon in dem frühesten Alterthume bekannt, indem ein Theil von Egypten seit dem Anfange der historischen Zeit ebenso bewässert wurde, wie dieses noch jetzt geschieht, nur sind die Anlagen, die man künstlich für diesen Zweck dargestellt hat, heut zu Tage nicht mehr sämmtlich in Wirksamkeit. Die natürlichen Anschwellungen des Nils setzen diese Bewässerungsanstalten in Thätigkeit. Sie bestehn in einer Menge von Coupirungen, welche in dem westlichen Arme des Nils, oder dem Josephs-Canale (*Bahr Jousef*) angelegt sind. Dafs dieser Arm künstlich ausgegraben sei, wie der Name es vermuthen läßt, darf man wohl bezweifeln, aber dennoch ist eine solche Stromspaltung, wie diese, vielleicht ohne ihres Gleichen. Auf 70 bis 80 Meilen Länge von Dendyra bis Cairo fließen nämlich die beiden Arme vielfach unter sich verbunden, doch in getrennten Betten in einem Abstände von 1 bis 2 Meilen parallel mit einander fort, und man muß vermuthen, dafs diese Spaltung, welche für das Bewässerungssystem so wesentlich ist, durch Kunst vervollständigt und gesichert wurde. Der westliche Arm, der nur etwa 300 Fufs breit ist, während der eigentliche Nil oder der östliche Arm über 2000 Fufs Breite hat, heifst von Tharout es Sherif abwärts der Joseph-Canal, und von hier bis unterhalb Cairo, also auf drei Breitengrade zieht er sich ohne Unterbrechung fort und dient zum Bewässern des Landstriches, der zwischen ihm und dem eigentlichen Nil liegt. Jenseits des Nils konnte diese Bewässerung nicht ausgedehnt werden, weil der Fufs des Mokattam-Gebirges größtentheils das Stromufer bildet. Auf der westlichen Seite des Josephs-Canales erheben sich gleichfalls die hohen Sandhügel, die von der Libyschen Bergkette herabgeweht sind, welche letztere auch nicht fern ist. Sonach ist das eigentliche Flufsthal Mittel-Egyptens auf den fruchtbaren Strich zwischen beiden erwähnten Flusarmen beschränkt, und diesem Bewässerungssysteme verdankt derselbe allein seine Fruchtbarkeit. Das Terrain liegt hier so hoch, dafs es durch die natürlichen Anschwellungen des Nils nicht regelmäfsig inundirt werden

kann. Zu diesem Zwecke sind aber die vielfachen Durchdämmungen des Josephs-Canales ausgeführt, und in gehöriger Entfernung von denselben, Verbindungen mit dem Nil eröffnet. Vor jedem solchen Damme staut das Wasser bis zu derjenigen Höhe auf, welche der Wasserspiegel des Nils an der Einmündung des nächst oberhalb belegenen Verbindungschanales erreicht, also nach Maafsgabe des Gefälles steigt es mehrere Fufs über die natürliche Anschwellung des Stromes. So bilden sich treppenweise Bewässerungsbassins hinter einander, und vielfach werden die künstlichen Dämme durchstoehen oder durchbrochen, wodurch sich nach und nach die grofse Wassermenge verliert, die aufgesammelt war, und sobald sie abgeflossen ist, ist der Boden nicht nur durchnäßt und gedüngt, sondern überhaupt so vorbereitet, dafs die Saat sogleich ohne Weiteres ausgestreut werden kann.

Das Steigen des Nils beginnt bald nach dem Sommersolstitium, also in den ersten Tagen des Julius. Am stärksten ist es im Anfange oder der Mitte des August, Mitte September hat das Wasser die gröfste Höhe, etwa 25 Fufs über dem kleinen Wasser, erreicht. Im October zeigt sich schon ein merkliches Fallen, November und December wird dieses am stärksten, doch erfolgt es viel langsamer als das Steigen. Im October durchsticht man schon die Dämme und eröffnet dadurch dem Wasser den Abflufs, worauf auch sogleich die Aussaat geschieht.

Von dem Josephs-Canale tritt etwa 12 Meilen oberhalb Cairo durch ein enges Thal in der Libyschen Bergkette ein Arm in die acht Meilen lange und stellenweise eben so breite fruchtbare Ebene el Fajoum, an deren nordwestlicher Seite sich der Möris-See hinzieht. Diese ganze Ebene wird auf dieselbe Art, wie der Landstrich zwischen den beiden Nilarmen, künstlich inundirt und sogar in einen zusammenhängenden See verwandelt, so dafs die Communication hier gänzlich aufhört. Nach Herodot's Erzählung flofs das Wasser aber nicht auf demselben Wege, auf dem es eingelassen wurde, wieder zurück, sondern es ergofs sich durch einen künstlich eröffneten nördlichen Abflufs nach Nieder-Egypten und diente auch hier zu Bewässerungen. Ein solcher nördlicher Abflufs ist aber gegenwärtig nicht vorhanden, vielmehr verschwindet das eingetretene Wasser nur durch Verdunstung.

In Nieder-Egypten endlich, oder in dem Nil-Delta, wo das Ge-

fälle zur Zeit des Hochwassers nur etwa $\frac{1}{20000}$ beträgt, wird das Wasser zwar auch durch Erddämme angespannt und dadurch so hoch gehoben, daß es einen Theil der Ländereien bedeckt, doch bleiben die höherliegenden Striche davon gewöhnlich frei und können nur durch Schöpfmaschinen bewässert werden.

In der neuern Zeit ist das System der Bewässerung durch Ueberstauung am meisten im nördlichen Italien ausgebildet, und das Wasser, welches die von dem Südabhange der Alpen herabkommen- den Flüsse führen, wird zu diesem Zwecke so vollständig benutzt, daß man im Sommer während der Bewässerungen keinen Tropfen Wasser in den Flußbetten sieht. Das Terrain zeichnet sich hier durch seine horizontale Lage aus, der geringe Abhang nach dem Po ist kaum bemerkbar, und selbst die Felder sind so eben, daß man außer den künstlichen Erddämmen nicht die geringste Erhebung wahrnimmt. Diese Gestaltung der Oberfläche ist großentheils durch die gleichmäßige Ablagerung des Materials, welches die Flüsse herbeiführten, veranlaßt worden, gewiß aber haben die künstlichen Ueberschwemmungen auch zur Entfernung der kleineren Unregelmäßigkeiten beigetragen, indem man solche durch Abgraben beseitigte, um jedes einzelne Feld vortheilhaft benutzen zu können.

Diese Ebene ist mit zahlreichen Gräben durchschnitten, welche, der allgemeinen Neigung des Terrains folgend, sich von Norden nach Süden hinziehen, und auf beiden Seiten von niedrigen Erddeichen eingeschlossen sind, welche die einzelnen Felder begrenzen. Jedes Feld ist ringsum mit einem solchen Deiche eingefast, und ein kleines Schütz von einigen Quadratfuß Fläche, daß zwischen steinernen Gries-säulen und auf einer Steinschwelle angebracht ist, giebt Gelegenheit, auf der obern Seite das Wasser aus dem Graben einzulassen. Sobald dieses Schütz geöffnet wird, schließt man den Graben darunter, um alles Wasser in das zu inundirende Feld zu leiten. Der Zufluß dauert so lange bis das ganze Feld, wenn es nicht sogleich einen Theil des Wassers verschlucken würde, 3 bis 6 Zoll hoch damit bedeckt werden könnte. Alsdann schließt man jenes Schütz wieder, und bewässert auf gleiche Weise ein anderes Feld. Nach kurzer Zeit hat sich alles Wasser in den Boden eingezo- gen und die Getreidesaaten wachsen üppig empor, bis nach dem allgemeinen Culturplane vielleicht nach einer oder zwei Wochen wieder eine neue Ueberstauung gegeben wird, bis das Getreide zur Reife

kommt. Häufig ist noch ein zweites Schütz an der untern Seite des Feldes angebracht, welches indessen nur nach starkem und anhaltendem Regen geöffnet wird.

Die erwähnten Gräben werden durch Zuleitungscanäle gespeist, die von jenen Flüssen aus sich am Fusse der Anhöhe auf der obern Seite der Ebene hinziehen. Ein Wehr schliesst jedesmal dicht unter der Mündung eines solchen Canales das ganze Flußbette, so daß dieses nur das höhere Wasser abführt. Auf die gleichmäßige Vertheilung des Wassers aus dem Flusse über die ganze damit zu inundirende Fläche wird große Sorgfalt verwendet, und die Anlagen sind so bemessen, daß zur Zeit des niedrigsten Wassers allen zu inundirenden Flächen in gleichen Zeiten gleiche Massen zuströmen. Nach Maafsgabe der Größe der Flächen wird aber die Dauer des Zuflusses geregelt, und der niedrigste Wasserstand ist als Norm angenommen, weil während desselben es auf die gleichmäßige Vertheilung am meisten ankommt.

Dieses sind im Allgemeinen die Principien der Bewässerung in der Lombardei. Der ganze Verband steht unter der Controlle des von demselben erwählten Aufsichtspersonals, welches nicht nur die Inundationen regulirt und zu diesem Zwecke alle Schütze unter Verschluss hat, sondern auch über die gute Erhaltung aller Werke wacht. Die Sorgfalt, womit diese Anlagen aber unterhalten werden, ist überraschend.

Es kommt noch darauf an, einige Data über die Wassermenge mitzutheilen, welche zur Bewässerung benutzt wird. G. Goury führt an, daß im Piemontesischen 343 Liter in der Secunde 130 bis 140 Hectaren fruchtbares Land bewässern, oder für die ganze Zeit der Bewässerung muß man durchschnittlich für jede Hectare 11,4 Wasserzoll rechnen, oder jeder Magdeburger Morgen braucht während dieser Zeit in der Secunde 0,021 Cubikfuß Wasser. Sandiger Boden verlangt das Doppelte, wenn man dagegen auf thonigem Untergrunde Wiesen bilden will, so braucht man nach Goury nur die Hälfte.

Auch in Frankreich kommen mehrfach ähnliche Bewässerungsanlagen vor. In der Provence rechnet man auf jede Hectare $7\frac{1}{4}$ Wasserzoll oder auf den Morgen 0,013 Cubikfuß, und dabei wird gewöhnlich alle Monate nur einmal jedes Feld bewässert. In andern Gegenden Frankreichs bewässert man vom März bis Juni wöchent-

lich einmal, und zwar giebt man, wenn das Wasser reichlich vorhanden ist, jedesmal so viel davon, dafs es 3 Zoll hoch das Land bedeckt. Die Kosten belaufen sich für die jährliche Bewässerung in den verschiedenen Theilen Frankreichs zwischen 23 und 40 Francs, durchschnittlich aber 30 Francs für die Hectare, oder für den Morgen beinahe 2 Thaler. *)

Endlich mufs noch erwähnt werden, dafs die Bewässerungen zuweilen, wie bei den untern Rhone-Niederungen noch zu einem andern Zwecke dienen. Der aus dem Meere aufgewachsene Boden ist stark mit Salz durchzogen, und wenn eine Austrocknung durch Verdunstung erfolgt, so efflorescirt das Salz an der Oberfläche und tödtet die jungen Saaten. Man bedeckt daher den Boden vor der Aussaat mit dem süfsen Rhonewasser und nachdem dieses das Salz aufgelöst hat, wird es abgelassen. Dieselbe Operation mufs aber mehrmals wiederholt werden. Ausserdem bestreut man die Felder noch mit Schilf, nachdem die Aussaat geschehn ist, um das Austrocknen und somit die starke Ansammlung von Salz zu verhindern. Dieses Schilf dient aber für die Folge wieder zur Düngung. **)

Was die Bewässerung durch Ueberrieselung betrifft, so ist dieselbe für den Hydrotecten von geringerer Bedeutung, indem sie sich nur auf einzelne Wiesenflächen bezieht. Die betreffenden Anlagen sind daher gemeinhin auch so wenig umfassend, dafs sie kaum als zur Wasserbaukunst gehörig betrachtet werden. In der Regel werden sie von dem Grundbesitzer selbst nach dem Augenmaafse und nach blofser Schätzung ausgeführt, woher denn auch in den Schriften, die hierüber handeln, keine bestimmten Erfahrungssätze mitgetheilt werden, sondern die Burtheilung des passendsten Gefälles, der nöthigen Wassermenge und dergleichen nur von einer dunkeln Schätzung, oder dem sogenannten praktischen Blicke abhängig gemacht wird. Nichts desto weniger mögen die wichtigsten Methoden, die zum Theil sehr sinnreich sind und oft mit grofser Geschicklichkeit angewendet werden, kurz berührt werden.

Augenscheinlich kann man die Wiesenwässerung in keiner grösseren Höhe beginnen lassen, als wo man im Stande ist das Wasser noch hinzuleiten. Zuweilen wird freilich durch Schöpfräder, auch

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. II. p. 291 ff.

**) *Annales des ponts et chaussées* 1832. I. p. 127.

wohl durch andre Maschinen, das Wasser künstlich gehoben, gewöhnlich staut man aber den Bach, der in dem Thale fließt, an einer passenden Stelle auf, und führt ihn in Seitengräben möglichst hoch am Ufer fort. Wenn ein solcher Graben auf eine größere Länge die Wiese bewässern soll, so darf man das Wasser nicht unmittelbar über das Ufer treten lassen, weil dadurch leicht tiefe Einrisse entstehn würden. Man versieht ihn also an beiden Seiten mit höheren Ufern, und legt im Abstände von 3 Fufs an der Thalseite mit ihm parallel einen besondern Ueberrieselungsgraben an, der nur einen Spatenstich breit und tief ist und durch Verbindungsgräben in Entfernungen von etwa 2 Ruthen gespeist wird. Diese Verbindungsgräben lassen sich leicht durch ein Stückchen Rasen oder einen Spahn so weit verengen, oder andererseits so viel erweitern, daß sie gleichmäfsig dem Ueberrieselungsgraben das Wasser zuführen. Aus letzterem, der mit keinem höheren Ufer versehen ist, fließt das Wasser überall auf den Rasen über und die Gleichmäfsigkeit in der Verbreitung desselben wird dadurch erreicht, daß man mit dem Spaten in der Hand täglich die Anlage begeht und wo es Noth thut die feinen Rinnen erweitert oder verengt. Es kann jedoch nicht fehlen, daß wegen der Unebenheit der Oberfläche sich bald Unregelmäßigkeiten bilden und das Wasser sich an einzelnen Stellen stärker sammelt als an andern, man muß daher in einem zweiten Ueberrieselungsgraben, der ganz horizontal geführt ist, das Wasser wieder sammeln und es von diesem aus aufs Neue möglichst gleichmäfsig verbreitet auf die unterhalb gelegene Wiesenfläche treten lassen. So durchzieht man in Abständen von 1 bis 5 Ruthen den Abhang mit horizontalen kleinen Gräben, und in jedem derselben sammelt man das Wasser und verbreitet es aufs Neue über den Rasen. Man findet solche einfache Anlagen häufig im westlichen Deutschlande, so oft das stärkere Gefälle der Bäche es erlaubt, diese am Wiesenrande hin zu führen. Auf die Neigung der Wiesenfläche scheint es dabei wenig anzukommen, und die Grenze dafür wäre nur, daß sich der Rasen noch bilden kann.

Zuweilen trifft es sich, daß das Thal zu unregelmäfsig gestaltet ist, als daß man es mit den horizontalen Furchen überziehn und überall einen kräftigen Rasen erzeugen kann. Dieses ist der Fall, wenn die Ufer stellenweise sehr steil sind, auch das Bachbette sehr

veränderlich ist, so daß der gewonnene Rasen immer von Neuem zerstört wird. Wenn in solchem Falle der Boden aus reinem Sande besteht, wobei die angedeuteten Uebelstände sich am stärksten zeigen, so tritt die Gelegenheit zur Anlage von Schwemmwiesen ein, wie solche an der Ems und Lippe und in andern sandigen Gegenden des nordwestlichen Deutschlands nicht selten vorkommen. Eine Schwemmwiese zeigt, sobald sie fertig ist, nichts Eigenthümliches, sie wird auch wie andere Wiesen überrieselt, dagegen ist ihre Darstellung oder das sogenannte Wiesenflößen wichtig. Wollte man nämlich durch Abgraben der sandigen Ufer die tiefen Stellen ausfüllen und theils dem Bache selbst ein regelmäsig geneigtes und gerades Bette geben, theils aber auch den Wiesengrund auf beiden Seiten von dem steilen Abhange bis zu diesem Bette sanft neigen, so würden die Kosten sehr groß ausfallen. Man führt daher künstlich dieselben Veränderungen herbei, wodurch die Thäler der Flüsse und Bäche sich in der Natur ausbilden, und unter günstigen Verhältnissen sich in weit ausgedehnte, nahe horizontale und fruchtbare Wiesenründe verwandeln. Der Bach selbst muß die Anhöhen, die man beseitigen will, abbrechen, und das gelöste Material theils in die Vertiefungen führen, theils aber es gleichmäsig über das ganze Thal verbreiten, um demselben die erforderliche Höhenlage und sanfte Abdachung zu geben.

Das Wiesenflößen kann nur mit Erfolg betrieben werden, wenn der Bach mäsig angeschwollen ist. Oberhalb der Stelle, wo die Melioration vorgenommen werden soll, zieht man einen Damm durch das Thal, um die ganze Wassermenge zu einer kräftigen Strömung benutzen zu können. Die Melioration beginnt jedesmal oben, oder dicht unterhalb jenes Dammes, und wird, so oft die Witterung es gestattet, weiter abwärts fortgesetzt. Das Verfahren besteht darin, daß man gegen die Höhen, die man abtreiben will, die Strömung richtet, und deren Wirkung noch dadurch unterstützt, daß man diese Höhen zugleich abstechen läßt. Der gelöste Sand wird aber nicht etwa fortgekartt oder ausgeglichen, vielmehr nur in das Wasser geworfen. Letzteres läßt ihn großentheils in geringer Entfernung wieder fallen und lagert ihn gleichmäsig ab, indem es die Vertiefungen in der Nähe anfüllt. Bis zu der Stelle, wo jedesmal der Angriff ausgeübt werden soll, fließt der Bach in einem geschlossenen

und ziemlich regelmässigen Bette, welches man mit Sorgfalt darstellt, da es auch später benutzt wird. Weiter abwärts wird dagegen das Wasser nicht mehr zusammengehalten, es folgt daher dem stärksten Abhange und fließt meist quer über das Thal nach dem früheren Bachbette. Auf diese Art bildet sich die beabsichtigte Erhöhung und Abdachung aus, aber sie würde sehr unregelmässig und sonach auch wenig vortheilhaft sein, wenn man sie ganz dem Zufalle überlassen wollte. Man muß daher schon vor dem Beginne der Arbeit ein deutliches Bild von der neuen Wiesenanlage sich entworfen haben, auch die darzustellenden Höhen kennen, wobei Auf- und Abträge sich ausgleichen. Gewöhnlich liegt in der Mitte der ausgebildeten Wiese das Bachbette, welches im erwähnten Damme durch eine Arche gespeist wird, die zur Abführung des Hochwassers dient. Zu beiden Seiten steigt der Wiesengrund sanft an bis zum Fusse der höheren Ufer, und hier liegen die Zuleitungsgräben für das Rieselwasser. Dieses sind dieselben Gräben, welche während des Flössens in der beschriebenen Art schon in Thätigkeit waren.

Es leuchtet ein, daß eine große Aufmerksamkeit und ein vielfaches kräftiges Einwirken nöthig ist, um die beabsichtigte Umformung des Bodens wirklich darzustellen, und namentlich ist es oft nicht leicht, die erforderliche Erhöhung bis zur Mitte des Thales auszudehnen. Man muß zuweilen allein zu diesem Zwecke Quergräben eröffnen, in welchen das Wasser schnell genug fließt, um den bereits hineingeworfenen Sand nicht sogleich fallen zu lassen. Wenn man aber hierdurch auch keineswegs eine ganz regelmässige Oberfläche darstellen kann, so läßt sich doch der schwierigste Theil der Arbeit auf diese Art ausführen, und es bleibt nur übrig, Einzelnes durch Handarbeit auszugleichen. Es muß aber noch bemerkt werden, daß die Bäche, namentlich wenn sie weiter unterhalb ein starkes Gefälle behalten, den Sand nicht vollständig fallen lassen, sondern ihn zum Theil noch mit sich führen und sonach dieses Wiesenflößen oft Veranlassung ist, daß Versandungen in den untern Theilen der Flüsse entstehen.

Endlich ist noch des sogenannten Siegenschen Wiesenbaues zu erwähnen. Das Eigenthümliche dabei ist, daß der ganzen Wiese durch Handarbeit in allen Theilen diejenige Neigung gegeben wird, welche bei eintretender Ueberrieselung den größten Ertrag bedingt. Man bemüht sich gewöhnlich, die Neigung von 1:12 darzustellen,

doch sind etwas flachere Abhänge, nämlich bis 1:18 noch zulässig. Hat die Wiesenfläche schon diese Neigung, oder kann sie ihr künstlich gegeben werden, so wird die Bewässerung mittelst der horizontalen stufenförmig unter einander liegenden Ueberrieselungsgräben in der Art eingerichtet, wie bereits beschrieben worden. Man nennt dieses den Hangbau. Fig. 134 *a* und *b* zeigt zwischen *E* und *H* im Grundrisse und im Längenprofile diese Anordnung. *E* ist der Zuleitungsgraben, *F* und *G* sind die Ueberrieselungsgräben mit den dazwischen liegenden Verbindungsgräben, doch müssen die letzteren während der Ueberrieselung durch zugeschärfte Brettchen geschlossen werden.

Zuweilen hat die Wiese nicht das erwähnte starke Gefälle, alsdann kann man ihr dasselbe noch durch Querabhänge geben, wie dieselbe Figur diese auf der rechten Seite und Fig. *c* im Querprofile zeigt. Man nennt dieses den Rückenbau, der auch häufig mit dem Hangbau vereinigt ist, indem die Wiesen gewöhnlich oben ein stärkeres Gefälle haben als unten. Die Einrichtung des Rückenbaues ist folgende: man theilt die Wiese in dachförmige Rücken ein, welche sich in der Richtung hinziehen, die den Abhang der Wiese bezeichnet. Die Breite der Rücken beträgt nur 2 bis 3 Ruthen, wenn nicht etwa in jedem Rücken noch der Hangbau angebracht ist. Der Sammelgraben oder Zuleitungsgraben *H* ergießt sein Wasser theils als gewöhnlicher Ueberrieselungsgraben in die anstossenden dreieckigen Flächen zwischen je zwei Rücken, theils aber und hauptsächlich speist er die Rückengräben *J*, die sich längs dem Kamme mit möglichst geringem Gefälle hinziehen. Die letzteren sind die eigentlichen Ueberrieselungsgräben, welche das Wasser auf die trapezförmigen Flächen zu beiden Seiten ausgießen und außerdem auch die dreieckige Fläche (entsprechend dem Walme eines Daches) bewässern. Zwischen je zwei Rücken zieht sich Sammelgräben *K* hin, die alles Wasser der Seitenabhänge auffangen und es in den Abzugsgraben *L* führen. Eine ganz gleichförmige Vertheilung des Wassers findet hier nicht statt, sobald der Graben *H* und die Rückengräben *J* gleichmäÙig an allen Stellen das Wasser übertreten lassen, denn die Flächen, die oberhalb des Sammelgrabens *K* liegen, erhalten von zwei Seiten ihre Zuflüsse, während diejenigen, die unterhalb der Rückengräben *J* sich befinden, weder von der einen, noch von der andern Seite gehörig gespeist werden, in ähnlicher Art, wie in der

Hohlkehle zwischen zwei Dachflächen sich vieles Wasser ansammelt, während dem Grade, der die Seitenfläche vom Walme trennt, gar kein Wasser zufließt. Man muß diese Unregelmäßigkeit durch passende Zuleitung und durch Erhöhung oder Senkung der Grabenränder möglichst auszugleichen suchen.

Man überzeugt sich leicht, wie eine schwächere Neigung, welche die Wiesenfläche im Allgemeinen hat, dennoch ausreichen kann, um jedem einzelnen Abhange das nöthige Gefälle zu geben. Wenn dieses z. B. zu 1:12 angenommen ist, und die Länge der Rücken 6 Ruthen, ihre Breite 2 Ruthen und das Längengefälle der Rücken- und Sammelgräben $\frac{1}{2}$ Zoll auf die Ruthe oder 1:288 beträgt, so wird die Niveaudifferenz zwischen den Gräben H und L gleich $12 + 2\frac{1}{2} = 14\frac{1}{2}$ Zoll sein, während man für den Hangbau bei Einführung desselben Gefälles 72 Zoll Gefälle gebraucht haben würde.

Nadault de Buffon *) hat sich bemüht, auch für die Ueberrieselung das Bedürfnis an Wasser aus mehrfachen Beobachtungen festzustellen. Die Resultate weichen freilich unter sich sehr bedeutend ab, und der Unterschied wird, wie Buffon sagt, noch größer, wenn man die Landwirthe fragt, die immer möglichst viel Wasser fordern, um selbst bei anhaltender Dürre noch große Massen verwenden zu können. Es ergab sich aber, daß ein Zufluß, der während der Sommermonate durchschnittlich in der Secunde 1 Liter lieferte, in allen Fällen mehr, als genügend war, um eine Hectare Wiesengrund zu bewässern, ein halbes Liter wurde selbst in den heißen Landstrichen des südlichen Frankreichs für genügend angesehen, und bei vorsichtiger Zuleitung und Vertheilung des Wassers war sogar die Hälfte davon, oder ein Viertel Liter für dieselbe Fläche ausreichend.

Hiernach entscheidet sich Buffon dahin, daß ein dauernder Zufluß von einem Viertel bis zu einem halben Liter in der Secunde für eine Hectare Wiesengrund genüge, oder $3\frac{1}{4}$ bis $7\frac{1}{2}$ Cubikzoll für den Morgen. Ein Bach, der während des Sommers durchschnittlich 1 Cubikfuß in der Secunde giebt, ist sonach fähig, 480 bis 240 Morgen Wiesenfläche zu bewässern. Man läßt aber das Wasser nicht ununterbrochen auf dieselbe Fläche treten, vielmehr ist es vortheil-

*) *Traité théorique et pratique des Irrigations. Tome III. Paris 1844. p. 502 bis 509.*

haft, wenn das Wasser möglichst vortheilhaft verwendet werden soll, die Wiese in zwei gleiche Hälften zu theilen, die abwechselnd immer 14 Tage hindurch bewässert werden. Die ungetheilte Wassermenge, die während einer solchen Periode auf die halbe Fläche tritt, entspricht einem Niederschlage von $2\frac{1}{3}$ bis $4\frac{2}{3}$ Zoll Höhe, also jedenfalls einem sehr starken Regen, während mehrerer Tage.

Nachträglicher Zusatz zu §. 8.

In neuester Zeit haben die sogenannten Amerikanischen oder Abessinischen Brunnen mehrfach Eingang gefunden, und die Leichtigkeit, womit sie sich unter günstigen Verhältnissen einrichten lassen, dürfte ihnen eine ausgedehnte Verbreitung sichern. Namentlich bei dem Feldzuge der Engländer in Abessinien waren sie von unschätzbarem Werth, da sie an allen passend gewählten Lagerplätzen in der kürzesten Zeit das nöthige Trinkwasser lieferten. Sie unterscheiden sich von den gewöhnlichen Brunnen nur dadurch, daß ihnen der Kessel, oder das Bassin fehlt, in welchem das Wasser sich ansammelt. Der natürliche Boden umgiebt nämlich unmittelbar das Pumpenrohr. Letzteres wird in irgend einer Weise eingetrieben, und muß, damit es leicht eindringt, von gleichmäßiger Form und möglichst geringem Durchmesser sein, woher bei ihnen die Einrichtung von Druckpumpen unmöglich ist. Diese Brunnen sind nur ausführbar, wenn das Grundwasser nicht tief liegt, dasselbe also durch Luftverdünnung noch angesogen werden kann. Eine zweite Bedingung ist, daß der Boden hinreichend rein ist, um das Rohr leicht eindringen zu lassen.

Die nachstehende Beschreibung bezieht sich auf einen Brunnen, der vor Kurzem in dem Hofraume der hiesigen Gewerbe-Academie aufgestellt wurde.

Indem das Bohrloch nicht tief, und nicht bis in das Grundwasser herabgetrieben, auch nur bis zum Einstellen des Saugerohres offen erhalten werden sollte, so war die Umschließung desselben mit Futterröhren entbehrlich, auch der Bohrer durfte nur zum He-

ben von feuchtem Sande eingerichtet sein: ihm fehlte daher die cylindrische Umschließung des gewöhnlichen Erdbohrers, und er bestand nur aus zwei flachen Schraubengängen, von denen jeder einen Halbkreis von 2 Zoll Radius umfasste. Dieser Bohrer, an ein leichtes Gestänge befestigt, wurde von zwei Mann eingeschoben und brachte jedesmal einen Cylinder feuchten Sandes anfänglich mit vielem Bauschutt vermengt, von 3 bis 4 Zoll Höhe heraus.

In der Tiefe von 10 Fufs unter dem Pflaster zeigte sich der Sand schon stark mit Wasser durchzogen, woraus sich ergab, dafs man das Grundwasser erreicht hatte. Nunmehr wurde die Sauge- röhre eingestellt. Dieselbe bestand in einer 2 Zoll weiten gezogenen eisernen Röhre. An ihrem untern Ende befand sich eine Grundschraube aus Schmiedeeisen, deren weit vortretende dünne Gänge in ihren äufsern Rändern einen Kegel darstellten, der unten in eine Spitze auslief, dessen obere Basis aber 4 Zoll im Durchmesser hielt. Oberhalb der Schraube, wo die Höhlung der Röhre ihren Anfang nahm, waren die Wandungen der letzteren mit einer grofsen Anzahl, angeblich neunzig, kleinen Oeffnungen versehen, durch welche das Wasser eintreten konnte.

Diese Röhre wurde, nachdem in passender Höhe ein kurzer zweiarmiger Hebel mittelst Schrauben daran befestigt war, noch 4 Fufs tiefer in den Boden eingeschoben. Sie mußte dabei durch eine eben so weite Ansatzröhre mit Hülfe einer übergeschobenen Muffe verlängert werden. Endlich schrob man den gufseisernen Kopf darauf, worin sich die vollständige Pumpe nebst Schwengel und Ausgufsrohr befand, und hiermit war die Aufstellung des Brunnens beendigt. Die Zwischenzeit zwischen dem Aufbrechen des Pflasters und der Benutzung der Pumpe betrug 45 Minuten und dabei waren nur 2 Mann beschäftigt gewesen.

Das aus der Tiefe von etwa 13 Fufs gehobene Wasser war Anfangs dunkelbraun gefärbt, doch klärte es sich schon beinahe vollständig, nachdem man etwa 6 Eimer gepumpt hatte.

Auffallend war es, dafs bei dem lange fortgesetzten Pumpen der Brunnen nicht versiegte, vielmehr stets reichlich Wasser gab, dasselbe drang also nicht allein aus der nächsten Umgebung hinzu, sondern sammelte sich in weitem Umkreise. Die Erscheinung erklärt sich durch den starken Druck, unter dem das Wasser der Pumpe zufließt, und der keineswegs allein der Niveaudifferenz zwi-

schen dem Grundwasser und der Sohle des Saugerohres entspricht, vielmehr vorzugsweise durch die Luftverdünnung in der Pumpe veranlaßt wird. Der Ueberdruck der Atmosphäre treibt das Wasser in gleicher Art nach der Röhre, wie Donnet (vergleiche Seite 75) die Luftverdünnung im Brunnenkessel zur schnelleren Speisung desselben benutzte. Zu diesem Zwecke wurden auch die Schraubengewinde vor der Verlängerung des Saugerohres und vor dem Aufsetzen des Kopfes mit dünnem Eisenkitt bestrichen, der den luftdichten Schluß darstellte.

In andern Fällen werden diese Brunnen, nachdem der Boden einige Fuß tief aufgegraben oder aufgebohrt ist, nicht eingeschraubt, sondern eingerammt. Das Saugerohr ist alsdann am untern Ende nur mit einer massiven Spitze versehen, worüber sich die feinen Zufluß-Oeffnungen befinden. Auf dieses Rohr wird aber zunächst ein starker gußeiserner Kopf aufgeschraubt, der sowol den Schlag des eisernen Rammklotzes aufnimmt, als er auch zwei Leitstangen trägt, zwischen welchen der leichte Klotz sich bewegt. An die Leitstangen sind die Scheiben befestigt, worüber die Rammtaue laufen.

Die Erfindung dieser Brunnen ist übrigens nicht ganz neu, da schon früher zuweilen hölzerne Röhren in ähnlicher Weise eingerammt und benutzt sind. So soll in Berlin ein Brunnen dieser Art bereits seit 18 Jahren im Gebrauch sein.

Ende des ersten Bandes.

Gedruckt bei A. W. Schade (L. Schade) in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

290. 00

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349956

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349612

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000309179

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300970