

Prinz - Kampe

Hydrologie

Zweiter Band

Handbuch der Hydrologie

Zweiter Band: **Quellen**
(Süßwasser- und Mineralquellen)

Von

E. Prinz und Dr.-Ing. R. Kampe

Zivillingenieur
Berlin-Zehlendorf

Direktor des Quellenamtes Karlsbad
Professor d. Deutsch. Techn. Hochschule Prag

Mit 274 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1934

All Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright 1934 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin in 1934
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1934

ISBN 978-3-662-40701-1

ISBN 978-3-662-41183-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-41183-4

Vorwort.

Die Kunde von den Quellen bildet ein Grenzgebiet, in dem sich eine Reihe von Wissenschaften begegnen. Der Geologe beschreibt Bau und Beschaffenheit der Wege des unterirdischen Wassers; der Chemiker, der die Beschaffenheit dieses Wassers untersucht, sowie der Meteorologe, der Geophysiker beschäftigen sich mit den Quellen, und für den Mediziner haben sie hohen Wert als Genuß- oder selbst Heilmittel. Das Wesen der Quellen, die Ursachen und Kräfte der geheimnisvollen Bewegung, welche in ununterbrochener Arbeit das Wasser aus der Tiefe zum Lichte treibt, die Eigenart dieser Bewegung und ihren Einfluß auf die Beschaffenheit des Wassers ergründet der Ingenieur. Er ist berufen, die Maßnahmen zu treffen, welche die Quelle dem Menschen dienstbar machen.

Das Schrifttum über Quellen stammt zum großen Teile aus der Feder von Geologen; es verbreitet sich naturgemäß in erster Linie über das Gefäß, in dem sich unterirdisches Wasser sammelt und bewegt. Unsere Arbeit ist bestrebt, die Bücher, in welchen Hydrologie und Hygiene der Quellerscheinungen kürzer behandelt wurden, nach dieser Richtung zu ergänzen. In Fortsetzung des „Handbuches der Hydrologie“ von E. Prinz bestrebt sie sich auch, dem praktischen Ingenieur bei der Fassung der Quellen an die Hand zu gehen. Auch die Kunde von den Mineralquellen hat in den letzten Jahrzehnten eine Vertiefung und Bedeutung gewonnen, welche es rechtfertigt, ihr einen größeren Abschnitt des Buches zu widmen.

Möge das Buch eine brauchbare Grundlage für den weiteren Aufbau der hydrologisch-hygienischen Quellenforschung bilden!

Berlin-Zehlendorf und Karlsbad, im Juli 1934.

E. Prinz. R. Kampe.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

Die Süßwasserquellen.

Von E. Prinz, Berlin.

	Seite
1. Einleitung	1
2. Was sind Quellen?	4
3. Die anthropogeographische Bedeutung der Quellen	4
4. Herkunft des Quellwassers	5
5. Die unterirdischen Wege des Quellwassers	6
A. Die Wasserwege im allgemeinen	6
B. Die Wasserwege im besonderen und die sich daraus ergebenden Wasserarten	6
6. Verbreitung der Quellen	10
A. Verbreitung der Quellen über der Erde	10
B. Quellen auf Bergkuppen	11
C. Quellen auf Inseln	13
7. Die Hohlräume des Untergrundes	13
A. Durchlässigkeit der Haufwerke als Maß der Hohlräume	13
B. Klüftigkeit der festen Gebirge als Maß der Hohlräume	14
8. Die undurchlässigen Schichten	17
9. Bildung der Quellen	17
10. Anzeichen von Quellen	19
11. Aufsuchung von Quellen	19
A. Aufsuchung von Quellen nach geohydrologischen Gesichtspunkten	19
B. Aufsuchung nach dem Verfahren von Paramelle	20
12. Nachweis der Quellwassermenge	22
A. Allgemeines über den Nachweis	22
B. Zusammenarbeit des Hydrologen und Geologen	24
C. Besonderes über den Nachweis	25
D. Nachweis durch Rechnung aus Niederschlag und Abfluß	25
E. Unbrauchbarkeit des Rechnungsverfahrens mit Niederschlag und Abfluß	27
F. Besondere Rechnungsverfahren nach Sbroshok und Maillet	27
G. Nachweis der Quellwassermenge durch Messung	30
13. Schwankungen der Quellwassermenge	34
14. Ableitung der wahrscheinlich kleinsten Quellschüttung	37
15. Kleinster Quellabfluß je Quadratkilometer Niederschlagsgebiet in Abhängigkeit von der Gebirgsart	40
16. Schwächung und Absterben von Quellen	41
17. Einteilung der Quellarten	41
A. Unterscheidung nach Art der wasserführenden Schichten	41
B. Unterscheidung nach Ursache und Art des Zutagetretens	42
18. Quellen, die durch Grundwasser gespeist werden	42
A. Allgemeines	42
B. Qualmwasser	43
C. Reine Grundwasserquellen, Grundwasseraufstöße	43
D. Schuttquellen	46
19. Quellen, die durch unterirdische Wasserläufe gespeist werden	48

Inhaltsverzeichnis.

V

	Seite
20. Quellen, gesondert nach Art ihres Zutagetretens	48
A. Schichtquellen	48
B. Stauquellen	49
C. Überlauf- oder Überfallquellen	50
D. Spaltquellen	54
E. Verwerfungsquellen	55
F. Absteigende und aufsteigende Quellen	56
21. Besondere Quellarten	58
A. Zeitweilige oder intermittierende Quellen	58
B. Submarine Quellen, Meeresschwinden	64
C. Artesische Quellen	64
D. Moorquellen	65
E. Künstliche Quellen	66
F. Neue Quellen	67
22. Scheinbare Quellen	68
A. Allgemeines	68
B. Karst- oder Vaclusequellen	69
C. Flußschwinden und Flußkimmen	70
23. Quellgruppen	72
24. Quellhorizonte	74
25. Quellenlose Landschaften	75
26. Bau von Quellfassungen	75
A. Vorarbeiten	75
B. Allgemeines über den Bau von Quellfassungen	76
C. Die Bauglieder einer Quellfassung und Baustoffe	80
D. Holz als Baustoff	83
E. Überdeckung und Verdämmung von Quellfassungen	83
27. Erhöhung der Quellschüttung durch zweckmäßige Fassung	84
28. Beispiele von Quellfassungen	84
A. Einfache, nicht begehbare Fassungen	84
B. Große, zum Teil begehbare Fassungen	92
C. Stollenfassungen	95
D. Wassererschließung durch Tunnel- und Stollenbauten	99
E. Stollenfassungen mit Wasseraufspeicherung	99
29. Quellfassungs-Beiwerke	101
30. Zusammenleiten von Quellen	103
31. Ableitung des Quellwassers mit natürlichem Gefälle	104
32. Ausnutzung des Leitungsgefälles zwecks Ersparnis an Rohrkosten	107
33. Ausnutzung des Leitungsgefälles zur Gewinnung von Wasserkraft	107
34. Gefällsvernichtung	109
35. Klarheit bzw. Trübung des Quellwassers	109
36. Ausscheidungen	112
37. Hygienisches vom Quellwasser	113
A. Reinigende Wirkung des Bodens	113
B. Verschiedenheit des Verhaltens der Quellen, je nachdem sie durch Grundwasser oder unterirdische Wasserläufe gespeist werden	115
C. Verschiedenheit der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser im Untergrunde bewegt	115
D. Verschiedenheit der Quellschüttungsmenge	116
E. Die Temperatur der Quellen	117
F. Der Gehalt des Quellwassers an Lebewesen	119
α) Große Organismen (Pilze, Eisenorganismen, Krebse, Würmer)	119
β) Kleine Organismen (Bakterien)	121
38. Durchgreifende Reinigung tiefgründiger Haufwerke	122
39. Abnahme der Bakterienzahl in porösem, filtrierendem Untergrund mit zunehmender Tiefe	122
40. Bedingte Reinigung in flachgründigen Haufwerken	123
41. Unvollkommene Reinigung in klüftigen Gebirgsarten	124
42. Bedingte Reinigung in klüftigen Gebirgsarten	126

	Seite
43. Folgen der Verwendung hygienisch minderwertiger Süßwasserquellen	129
44. Schutz der Quelfassungen	133
45. Kosten der Quellen und Quelfassungen	137
A. Geldwert einer Quelle	137
B. Baukosten von Quelfassungen je 1 sl.	138
46. Wasserentzug durch Quelfassungen und Schadenersatz	138

Zweiter Teil.

Die Mineralquellen.Von **R. Kampe**, Karlsbad.

Einleitung	140
Definition des Begriffes „Mineralquelle“	140
I. Chemismus der Mineralquellen	142
1. Die Analyse	142
2. Einteilung der Mineralwässer	147
3. Radioaktive Quellen	149
4. Quellsedimente, Sinter, Ocker, Schlamme	156
II. Der natürliche Mechanismus der Mineralquellen.	162
1. Herkunft des Wassers	162
2. Der Wärmegehalt der Thermen	166
3. Herkunft des Mineralgehaltes und der Gase	171
A. Kationen	172
B. Anionen	173
C. Nichtelektrolyte	174
D. Gasförmige Bestandteile	174
4. Weg und Bewegung des Wassers	178
A. Mineralquellensysteme	179
B. Beispiele von Quellsystemen	180
C. Der Mechanismus der aufsteigenden Mineralquellen	184
D. Geiser und gasführende Quellen	188
E. Erbohrte Quellen	195
F. Beziehungen der Mineralquellen zum süßen Bodenwasser	199
III. Quellenbeobachtung	201
1. Ergiebigkeitsmessung	202
A. Wasserergiebigkeit	202
Volumetrische Methode S. 203. — Quellenmessungspraxis S. 204.	
— Messung der Augenblicksergiebigkeit. Registrierende Meß-	
apparate S. 206. — Die Wichtigkeit des ungestörten Beharrungs-	
zustandes bei Quellenmessungen S. 212. — Störung des Behar-	
rungszustandes bei aufsteigenden Quellen S. 212. — Störung des	
Beharrungszustandes bei absteigenden Quellen S. 215. — Messung	
gedrosselter Quellen S. 215.	
B. Ergiebigkeitsmessung der Quellgase	217
2. Druckmessungen	221
3. Temperaturmessung	223
4. Kontrollanalysen	224
5. Aufarbeitung der Beobachtungsergebnisse	225
A. Ergiebigkeitsänderungen und deren Ursachen	226
Einfluß der Niederschläge S. 226. — Einfluß des süßen Boden-	
wassers S. 226. — Wilde Austritte S. 227. — Einfluß des Sinterns	
der Quelle S. 228. — Einfluß des Luftdruckes auf die Quell-	
ergiebigkeit S. 229. — Einfluß von Erdbeben auf die Ergiebigkeit	
S. 230.	

Erster Teil.

Die Süßwasserquellen.

Von E. Prinz, Berlin.

*Vom Himmel kommt es,
Zum Himmel steigt es,
Und wieder nieder
Zur Erde muß es.
Ewig wechselnd.*

Goethe

1. Einleitung.

Das Wort „Quelle“ ist die althergebrachte, seit Jahrtausenden eingebürgerte Bezeichnung für jenes Wasser, das auf natürliche Weise aus dem Untergrund zutage tritt. Weil es aus der Erde herausquillt, heißt es „Quelle“, weil es dem Untergrund entspringt „Spring“. Auch die Bezeichnung „Born“ ist üblich.

Schon im Urzustand der Menschheit spielten die Quellen bei der Anlage von Siedelungen eine große Rolle, und Quellfassungen gehören zu den ältesten Kulturarbeiten. Für das Volk war seit jeher mit dem Begriff „Quelle“ die Eigenschaft der Reinheit, gesundheitlichen Güte, der labenden Kühle und des guten Geschmacks verbunden. Es ist meist ein bezauberndes Bild, klares, lebendiges Wasser aus der Erde hervorsprudeln zu sehen, und es ist nur natürlich, daß viele Menschen die Quellen, an denen sich ihre Ahnen niedergelassen haben, als „heilig“ bezeichneten und verehrten. Auch jetzt noch gelten dem Volke zahlreiche Quellen als heilig und gesundheitsbringend, zu denen die Menschen wallfahren.

Die Zeiten sind aber vorbei, in welchen man glauben konnte, daß jedes aus der Erde sprudelnde Quellwasser unbedingt rein und gesundheitlich einwandfrei sein müsse. Viele Quellen sind in ihren Eigenschaften veränderlich, heute gut, morgen vielleicht unsicher und im Verlauf der Zeit sogar Krankheiten erregend. Bittere Erfahrungen haben gezeigt, daß die Reinheit vieler Quellen nicht selten ein frommer Wunsch ist, und daß das Vertrauen, das man in ihre gesundheitliche Beschaffenheit gesetzt hat, mit sog. Wasserepidemien und Massensterben belohnt worden ist. Es sind Fälle bekannt, in denen z. B. beim Ausbruch von Typhus verängstigte Menschen Wallfahrten zu einer verunreinigten, von ihnen aber als „heilig“ verehrten Quelle unternommen haben mit dem traurigen Ergebnis, daß die Quelle nun erst recht durch Abfallstoffe Erkrankter verseucht und dadurch der Typhus ins Katastrophale gesteigert worden ist. Heute weiß man aber, daß „Quell-

wasser“ kein Qualitätsbegriff ist. Nicht jede Quelle muß reines und gesundheitlich einwandfreies Wasser spenden. Verunreinigtes Bodenwasser, dem sich keine Gelegenheit zur natürlichen Reinigung bietet, gibt verunreinigte Quellen. Die heutige Wissenschaft lehrt, daß jede Quelle ein Einzelwesen für sich darstellt. Die einzelnen Quellen sind in ihren äußeren und inneren Merkmalen nicht weniger verschieden als die Menschen. Es gibt selbstredend auch auf diesem Gebiet ausgesprochene Typen, die sich zu Gruppen vereinigen lassen, man muß sich aber hüten, die Verallgemeinerung höher zu treiben, als dies den Tatsachen entspricht.

Auch für die Quellen gilt Schillers Wort¹: „Die Welt ist vollkommen überall, wo der Mensch nicht hinkommt mit seiner Qual.“ Man wird nur dort gesundheitlich einwandfreies Quellwasser finden, wo entweder bei klüftigem Gebirge das Speisegebiet der Quelle von menschlichen Ansiedelungen, Dungstätten u. dgl. frei ist oder wo das von der Oberfläche in den Untergrund versickernde Wasser einen natürlichen Reinigungsprozeß (Filtration) durchgemacht hat. Mit Recht und aus voller Überzeugung betont Gärtner (1)², daß bereits Martel in seinem Buche: „Le sol et l'eau“ (1906) eine scharfe Unterscheidung verlangt zwischen Quellen, die von porösen, filtrierenden Haufwerken und Quellen, die aus klüftigen Gesteinen gespeist werden. Martel sagt: „In dem zerklüfteten Gestein gibt es kein Grundwasser, und zwar aus dem Grunde, weil die Gesteine dieser Art absolut kompakt sind bis auf die Spalten, welche sie in einzelne Blöcke, in Polyeder aufteilen. Es ist sehr bemerkenswert, daß die großen Gelehrten Arago, Daubrée usw. deutlich und völlig das Vorhandensein geschlossenen Grundwassers in Spaltengesteinen geleugnet haben, und daß es dennoch kaum möglich ist, ein Buch aufzuschlagen, welches eine Arbeit über unterirdisches Wasser enthält, ohne fast auf jeder Seite dem Ausdruck Grundwasser zu begegnen, selbst da, wo es sich um klüftige Kalksteine handelt. Seit 15 Jahren schon kämpfe ich gegen diesen in dem Worte liegenden Irrtum, ohne ihn beseitigen zu können.“ Gärtner bemerkt zu den Worten von Martel: „Zweifellos ist es schwer, einen eingewurzelten Irrtum zu beseitigen, aber das darf uns nicht abhalten, im Interesse der für die hygienische Beurteilung des Wassers so notwendigen Klarheit dagegen anzukämpfen; wir müssen die reinliche Scheidung zwischen den beiden Arten des Wassers vom gesundheitlichen Standpunkt aus verlangen, denn wir kommen ohne die Trennung nicht aus.“ Eine solche Trennung ist notwendig, weil es vom gesundheitlichen Standpunkt mitunter verhängnisvoll ist, daß eine verlockend aussehende Quelle, die aus klüftigem, verseuchtem Hinterlande gespeist wird, Reinheit und Güte vortäuscht.

Die meisten primitiven Quellfassungen findet man auf Bauernhöfen, und sie sind namentlich dann gesundheitlich gefährlich, wenn sich in ihrer Nähe Dungstätten finden (Abb. 1).

¹ Die Braut von Messina. IV, 7.

² Die in Klammern gesetzten, schräg gedruckten Zahlen beziehen sich auf das am Schluß des Buches befindliche Schrifttumverzeichnis.

Es kann allerdings nicht geleugnet werden, daß Quelleitungen, und zwar namentlich Hochquelleitungen, mancherlei Vorteile besitzen, wie z. B. den eines einfachen billigen Betriebes, des Fortfalls von Maschinen, einer fortlaufenden Beschaffung von Betriebsstoff usw. Diesen Vorteilen steht in vielen Fällen gegenüber ein Sinken der Quellergiebigkeit in der Sommerzeit, also in der Zeit des größten Wasserbedarfs. Letzteres ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil in den letzten Jahren der Spitzenbedarf der zentralen Wasserwerke infolge Zunahme der häuslichen Bademöglichkeit und des sommerlich hohen Wasserverbrauchs der mit Hausgärten verbundenen städtischen Randsiedelungen eine hohe Steigerung erfahren hat. Auch darf man nicht vergessen, daß Hochquelleitungen nicht selten ausgedehnte Schutzbezirke erfordern, deren Erwerb kostspielig ist und nicht selten an den hohen Kostenscheitert. Von diesen Gesichtspunkten aus ist es verständlich, daß man vielfach Quellfassungen in klüftigem Gestein gegen solche aus



Abb. 1. Alte Fassung eines Quellbaches im Laabertal.
(Aufnahme von Reuter¹.)

Grundwasservorkommen eingetauscht bzw. durch solche ergänzt hat. So sind z. B. die Quellfassungen des Tamaro- und Gradiocioligebiets bei Lugano wegen ihrer ständigen Trübung durch Grundwasseranlagen im Tal des Vedeggio ergänzt worden. Auch die Städte Luzern, Freiburg und Basel in der Schweiz sind nachträglich an die Erschließung von Grundwasservorkommen herangetreten und dabei gut gefahren. Auch Paris ist bemüht, seine alten, gesundheitlich nicht immer einwandfreien Quellfassungen in klüftigem Gebirge durch Fassung von Grundwasser zu ersetzen. Von deutschen Städten, die durch Grundwasser ihre Quellfassungen ersetzt bzw. ergänzt haben, seien nur die Städte Paderborn und Wiesbaden genannt.

Es muß allerdings zugegeben werden, daß auch Quellen, die durch Grundwasser gespeist werden, infiziert werden können. Dies ist aber die Ausnahme. Bei Quellen, die aus klüftigem Gebirge kommen, wird man nur dort gesundheitlich einwandfreies Wasser erwarten können,

¹ Für die Wiedergabe der Abbildungen 1 und 59 stellte Herr Oberregierungsrat Dr. L. Reuter, München freundlicherweise sein Negativmaterial zur Verfügung.

wo entweder das Einzugsgebiet frei von Infektionsherden ist oder wo Trübungen und schädliche Keime durch eingelagertes Filtermaterial abgefangen werden. Das ist bei Urgesteinen häufig der Fall, auch bei kristallinen Kalken, deren Klüfte sandig eingeschwemmt sind. Sind Infektionsherde vorhanden und macht das Wasser keinen Filtrationsprozeß durch, so wird die Infektionsgefahr mit seltenen Ausnahmen zur Regel, und zwar namentlich dann, wenn Schneeschmelze oder starke Niederschläge einsetzen.

2. Was sind Quellen ?

Quellen sind die natürlichen Ausflüsse des unterirdischen Wassers auf die Erdoberfläche. Man findet sie überall dort, wo die hydraulisch zusammenhängenden Strombahnen des unterirdischen Wasserkreislaufs die Erdoberfläche schneiden, wo also die wasserführenden Schichten zur Erdoberfläche in ein natürliches Entwässerungsverhältnis treten.

Man kann Quellen auch als natürliche Entlastungs- bzw. Zapfstellen des unterirdischen Wasservorrats bezeichnen.

Ebensowenig wie aus der besonderen Mechanik einer Zapfstelle auf die Eigenschaften des aus der Zapfvorrichtung ausfließenden Wassers geschlossen werden kann, ebensowenig ist es angängig, allein daraus, daß unterirdisches Wasser zutage tritt, auf irgendwelche allgemein gültigen Eigenschaften des Quellwassers schließen zu wollen. Man sollte also streng unterscheiden zwischen dem Begriff „Quelle“ als Stelle und Art des Wasserausflusses und „Quellwasser“ als Flüssigkeit und Lebensmittel, die aus dem Untergrunde kommen.

Aus dieser Erkenntnis folgt, daß örtliche Quellerscheinungen rein mechanischer Art sind, und daß es unzulässig ist, dem Quellwasser mit Rücksicht auf seine chemischen, hygienischen und sonstigen qualitativen Eigenschaften irgendeine Sonderstellung einräumen zu wollen.

Es gibt gute, hygienisch einwandfreie und im Gegensatz hierzu gesundheitlich minderwertige Quellwässer.

Die Art des Quellaustritts, seine Umgebung, Höhenlage u. dgl. sind nur äußere Merkmale von untergeordnet hygienischer Bedeutung.

Worauf es hier in erster Linie ankommt, sind die durch ihre Herkunft bedingten Eigenschaften der Flüssigkeit und nicht die Begleitumstände, unter welchen sie aus dem Erdkörper herausquillt.

3. Die anthropogeographische Bedeutung der Quellen.

Nach Ditzel (2) ist die Abhängigkeit der menschlichen Siedlungen von der Lage der Quellen in Gegenden mit Niederschlägen nicht so leicht zu entscheiden wie in trockenen Gebieten, wo das Wasser nicht selten mit Geld aufgewogen wird. Ein sicherer Beweis für das Gebundensein einer Siedlung an den Ort einer Quelle ist nur dann erbracht, wenn gezeigt werden kann, daß die Siedlung allein auf das Wasser einer Quelle angewiesen war zur Zeit ihrer Gründung. Dieser Nachweis ist jedoch schwer zu führen, da der Mensch infolge der raschen Kulturentwicklung in künstlich hergestellten Brunnen bequemen Ersatz für die Quellen fand, wodurch die ursprünglichen Wasserversorgungs-

verhältnisse verwischt worden sind. Das Grundwasser ermöglicht nicht allein die Anlage von Siedelungen auf einer großen Fläche, es hat auch den Vorzug, daß jeder Hausbewohner seinen eigenen Brunnen haben, also nahe an der Wasserbezugsquelle sitzen kann. Daraus erklärt sich vielfach die Bevorzugung des Grundwassers vor dem Quellwasser in ländlichen Wohnorten ohne zentrale Wasserversorgung. Aber auch zentrale Wasserversorgungsanlagen haben in der letzten Zeit vielfach das Quellwasser zugunsten des Grundwassers aufgegeben. Ursache dieses Wechsels sind vor allem: ungenügende Ergiebigkeit der Quellen bei wachsendem Bedarf, Gefährdung der Wasserbeschaffenheit bei großen Niederschlägen durch Trübungen und Einschwemmungen von Krankheitskeimen sowie die wirtschaftliche Unmöglichkeit des Erwerbs großer Schutzgebiete in solchen Fällen, wo klüftige Quellgebiete mit menschlichen Siedelungen belegt sind.

4. Herkunft des Quellwassers.

Der Ursprung des Quellwassers ist nach den heutigen fast allgemein als richtig anerkannten wissenschaftlichen Anschauungen zu suchen

1. in der Atmosphäre und
2. im Erdinneren.

Das aus der Atmosphäre kommende Wasser bezeichnet man nach Suess als *vados*¹, das aus dem Erdinneren stammende als *juvenil*. Über die Entstehung des Quellwassers aus der Atmosphäre gibt es zur Zeit 2 Theorien:

- a) die Versickerungstheorie und
- b) die Verdichtungstheorie.

Über diese beiden Theorien geben die am Schluß des Buches im Schrifttumverzeichnis angeführten „Selbständigen Werke über Hydrologie“ genügend Auskunft.

Juveniles Wasser ist nach Suess das verdichtete Entgasungsergebnis der feuerflüssigen, langsam erstarrenden Tiefengesteine und demnach eine Neubildung, die den Wasserhaushalt der Erde vermehrt. Die Menge des juvenilen Wassers dürfte aber so gering sein, daß sie praktisch für die allgemeine Wasserversorgung kaum in Betracht kommen wird. Wohl spielen aber juveniles Wasser und juvenile Gase bei Mineralquellen eine wichtige Rolle.

Für den Nachweis und die Gewinnung von Quellwasser zu Wasserversorgungszwecken sind die Theorien über die Herkunft des Quellwassers ohne besondere praktische Bedeutung. In der Quellfassungstechnik wird stets die Hauptfrage lauten: „Ob, wo und in welcher Menge und Beschaffenheit die benötigte Quellwassermenge dauernd gewinnbar ist?“

Mit vorstehendem soll indessen nicht gesagt werden, daß die praktische Hydrologie kein Interesse an der richtigen Erfassung des Entstehungsvorgangs des Quellwassers hat. Gelingt dies, so steht zu erwarten, daß auch die Praxis der Quellwasserforschung und Quellfassung hieraus wird entsprechenden Gewinn ziehen können.

¹ *Vadosus* = seicht, *Juvenilis* = jugendlich, jungfräulich.

5. Die unterirdischen Wege des Quellwassers.

A. Die Wasserwege im allgemeinen.

Um das Entstehen von Quellwasser zu ermöglichen, müssen zunächst dem atmosphärischen Wasser Wege offen stehen

1. in das Erdinnere, damit sich dort Quellwasser bilden und sammeln kann und

2. im Erdinneren selbst, zwecks Bildung von zusammenhängenden Wasserbahnen, die das Wasser aus dem Einzugsgebiete, auch das Quellgebiet genannt, wieder an die Erdoberfläche leiten.

Man wird deshalb nur dort mit der Bildung von Quellwasser rechnen können, wo der Untergrund nicht aus festgefügtten Gebirgsmassen besteht, sondern aus geologischen Bildungen, die von Hohlräumen durchsetzt sind. Solche Hohlräume sind die erste Grundbedingung für die Entstehung, Sammlung und Fortbewegung des Quellwassers. Man nennt die von Hohlräumen durchsetzten und mit Wasser teilweise oder ganz gefüllten geologischen Bildungen wasserführend.

Damit aber das in die Erde gelangende atmosphärische Wasser nicht in die Tiefe sinke, müssen ferner die wasserführenden Schichten von undurchlässigen Schichten unter- bzw. umlagert sein. Solche Schichten, die aus festgefügtten Gebirgsmassen oder Ton und Lehm bestehen können, bilden den Boden und die Wandungen der jeweiligen Quellerscheinung. Man nennt sie wassertragende Sohle, Wasserstauer oder Wassergerinne.

B. Die Wasserwege im besonderen und die sich daraus ergebenden Wasserarten.

Die unterirdischen Hohlräume, in welchen sich Quellwasser bildet, sammelt und fortbewegt, sind keineswegs einheitlicher geologischer Prägung. Man kann im großen und ganzen unterscheiden zwischen:

1. Hohlräumen, die dadurch entstehen, daß sich einzelne Gesteinstrümmer von einer gewissen Korngröße zu losen Haufwerken zusammensetzen. Die zwischen den einzelnen Gesteinskörnern sich bildenden Hohlräume summieren sich zu einem zusammenhängenden Gefäß, und das sich darin sammelnde Wasser bildet keinen einheitlichen, zusammenhängenden Flüssigkeitskörper, sondern einzelne Wasserfäden, die allerdings in hydraulischer Verbindung miteinander stehen.

Die Hohlräume eines aus losen Gesteinstrümmern sich zusammensetzenden Wasserträgers bezeichnet man als Poren und das sich in einem porösen Untergrund bildende unterirdische Wasser als Grundwasser.

2. Hohlräumen, deren Entstehung darauf zurückzuführen ist, daß in festen, zusammenhängenden Gebirgsmassen Risse, Spalten, Fugen, Klüfte, Höhlen und sonstige Unterbrechungen bzw. Zerstörungen auftreten. In solchen Gefäßen stellt das unterirdische Wasser einen zusammenhängenden Flüssigkeitskörper dar, ähnlich den oberirdischen Wasserläufen, und man bezeichnet das in einem klüftigen Untergrund auftretende Wasser zum Unterschied von Grundwasser als unterirdische Wasserläufe.

Den Unterschied zwischen Grundwasser und unterirdischen Wasserläufen kann man sich am leichtesten so vorstellen, wie dies in Abb. 2 veranschaulicht ist.

Ist der volle Querschnitt eines Wassergerinnes *A* nur mit Wasser gefüllt, so haben wir es mit einem Taggewässer zu tun. Ist das Gerinne unter Tags, so haben wir es mit einem unterirdischen Wasserlauf zu tun. Ist der Querschnitt *A* mit Sand, Kies und ähnlichen Trümmergesteinen ausgefüllt, so entsteht Grundwasser. Ist der Querschnitt *B* mit Sand, Kies u. dgl. teilweise oder ganz gefüllt, so haben wir es gleichfalls mit Grundwasser zu tun.

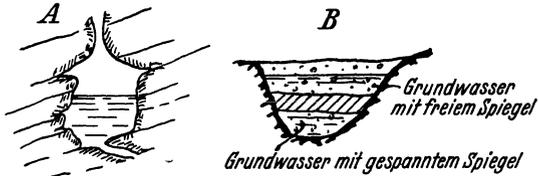


Abb. 2. Schematische Darstellung des Unterschiedes zwischen unterirdischem Wasserlauf und Grundwasser.

Wird das Wasser in beiden Gerinnen *A* und *B* in Bewegung gesetzt, so erkennt man unschwer, daß bei einem derartigen hydraulischen Vorgang zwischen *A* und *B* sich insofern ein Unterschied einstellen muß, als im Querschnitt *A* die Reibungswiderstände bei der Bewegung der Flüssigkeit sich auf die Wandungen des Gerinnes beschränken, während im Querschnitt *B* zu diesen äußeren Widerständen noch sozusagen innere Widerstände¹ treten, welche die Füllmasse des Gerinnes zusätzlich der Wasserbewegung entgegensetzt.

Der Widerstand bei unterirdischen Wasserläufen hängt demnach nur von der Beschaffenheit der Wandungen des Gerinnes ab, der Widerstand beim Grundwasser außerdem und wesentlich von der Beschaffenheit des Materials, welches das Grundwassergerinne ausfüllt.

Da nun der benetzte Umfang der sich aus zahlreichen kleinen Kanälen zusammensetzenden grundwasserführenden Schicht viel größer sein muß als der benetzte Umfang eines unterirdischen Wasserlaufs, der meist nur aus einem, wenn auch verästelten Gerinne besteht, so folgt daraus, daß im allgemeinen die Bewegungsvorgänge und die damit zusammenhängenden Folgeerscheinungen bei grundwasserführenden Haufwerken anderer Art sein müssen als bei unterirdischen Wasserläufen.

Der vergleichsweise höhere Widerstand der grundwasserführenden Schichten muß zunächst eine geringere Wassergeschwindigkeit zur Folge haben. Ist danach die Wassergeschwindigkeit des Grundwassers kleiner als die Geschwindigkeit unterirdischer Wasserläufe, so braucht das Grundwasser zur Zurücklegung des gleichen Weges erheblich mehr Zeit als ein unterirdischer Wasserlauf. Das die Quellen speisende Grundwasser muß daher mehr Zeit und Gelegenheit haben, seine von der Oberfläche mitgebrachten Eigenschaften zu verändern. Die verzögerte natürliche Geschwindigkeit des Grundwassers führt nicht allein zu einem Ausgleich der Temperatur- und Mengenschwankungen des zu Grundwasser gewordenen Oberflächenwassers, sondern vermöge der verhältnismäßig

¹ Die wirklichen inneren Widerstände, welche durch das Aneinandergleiten der Wasserfäden, Turbulenz usw. erzeugt werden, sind hier vernachlässigt.

kleinen Durchgangsquerschnitte des Wassers auch zu einer durchgreifenden Befreiung desselben von Schwebestoffen und Verunreinigungen oberirdischen Ursprungs, einem Vorgang, den man als „natürliche Reinigung durch den Boden“ bezeichnen kann. Das ist von ausschlaggebender hygienischer Bedeutung.

Bei unterirdischen Wasserläufen fallen dagegen dort, wo keine filtrierenden Deckschichten oder Einschwemmungen mit genügender Filtrationswirkung vorhanden sind, alle aus der rückhaltenden Wirkung der porösen Haufwerke sich ergebenden Folgeerscheinungen fort, und wir finden hier daher im allgemeinen weder einen durchgreifenden Ausgleich der Temperatur-, Spiegel- und Mengeschwankungen noch eine reinigende Wirkung des vom Wasser durchlaufenen Bodens.

Je nach der Art der wasserführenden Schicht hat man es sonach in hydrologischer und vor allem in hygienischer Beziehung mit zwei voneinander abweichenden Arten des unterirdischen Wassers zu tun, und es ergeben sich aus dem vorstehenden folgende Begriffsbestimmungen:

1. Das Grundwasser ist jenes unterirdische Wasser, welches sich in den Trümmergesteinen der Erdkruste, die zu Haufwerken von mehr oder weniger ausgesprochen gesetzmäßiger Durchlässigkeit gelagert sind, sammelt und nach den Gesetzen der Filtration fortbewegt.

Das Charakteristische des Grundwassers sind die bei seiner Bewegung zu überwindenden besonderen Bodenwiderstände, die für seine hydrologischen, hygienischen und sonstigen Eigenschaften von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Die gewöhnlichen Folgen der besonderen Bodenwiderstände sind:

- a) verhältnismäßig kleine Wassergeschwindigkeiten;
- b) geringe Schwankungen des Spiegels, der Ergiebigkeit und Temperatur;
- c) Zurückhaltung der vom Wasser geführten Schwebestoffe und sonstiger Beimengungen anorganischer und organischer Art oder kurz gesagt: Filtrationswirkung.

2. Unterirdische Wasserläufe führen im Gegensatz hierzu jenes Wasser, welches sich in den Spalten, Klüften, Höhlen und sonstigen unterirdischen Gerinnen des festen Gebirges nach den Gesetzen, die für die Bewegung des Wassers in Gerinnen im allgemeinen Geltung haben, bewegt.

Die gewöhnlichen Folgen dieser hydrologischen Verhältnisse sind:

- a) verhältnismäßig große Wassergeschwindigkeiten;
- b) große Schwankungen der Ergiebigkeit und Temperatur;
- c) keinerlei filtrierende Wirkung und daher wenigstens zeitweise auftretende Trübungen. Derartige Wässer „gehen in der Regel mit dem Regen“, wie der Volksmund richtig sagt.

Die Zweiteilung des unterirdischen Wassers in Grundwasser und unterirdische Wasserläufe ist daher nicht allein vom hydrologischen, sondern insbesondere vom hygienischen Standpunkt aus ungemein wichtig.

Die rückhaltende, ausgleichende und reinigende Wirkung der porösen Haufwerke bringt es mit sich, daß das Grundwasser dem Wasser der

unterirdischen Wasserläufe im allgemeinen gesundheitlich weit überlegen sein muß. Während einerseits das Grundwasser ein auf natürlichem Wege erzeugtes Filtrat darstellt, ist andererseits das von unterirdischen Wasserläufen geführte Wasser hinsichtlich seiner hygienischen Beschaffenheit vom Oberflächenwasser oft kaum zu unterscheiden. Die Unterscheidungsmerkmale zwischen Oberflächenwasser und unterirdischen Wasserläufen sind oft rein äußerlicher Art und beschränken sich darauf, daß das eine Wasser über, das andere unter der Erde fließt. Auf die Beschaffenheit ist dies von keinerlei Einfluß, und man kann daher sagen, daß unterirdische Wasserläufe oft nichts anderes sind als unter Tag gesunkene oberirdische Wassergerinne.

Aus diesem Grunde wird man auch leicht verstehen, warum Quellen, die von unterirdischen Wasserläufen gespeist werden, in hygienischer

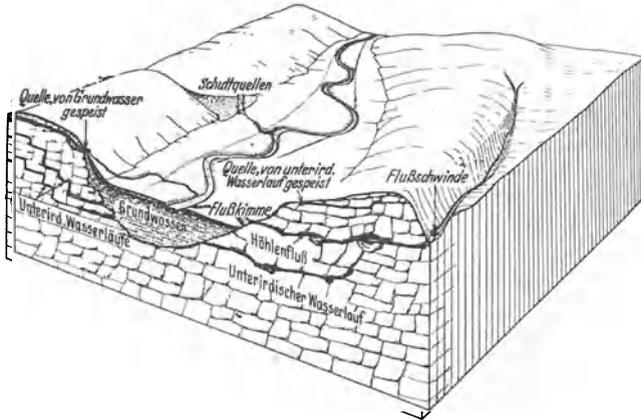


Abb. 3. Grundwasser, unterirdische Wasserläufe und Quellen.

Beziehung vielfach so wenig einwandfrei sind. Die großen gesundheitlichen Enttäuschungen und Gefahren, welche unterirdische Wasserläufe und die von ihnen gespeisten Quellen bisher gebracht haben, sind lediglich auf die durchaus irrige Vorstellung zurückzuführen, daß in natürlich gewachsenem Untergrund nur reines Wasser fließe. Dies ist aber durchaus nicht der Fall und nur dort zu erwarten, wo das von der Oberfläche stammende Wasser von Haus aus rein ist oder einen natürlichen Reinigungsvorgang durchgemacht hat.

Ein derartiger Vorgang kann auch bei unterirdischen Wasserläufen zustande kommen im Deckgebirge und selbst im Untergrund, wenn die Spalten und sonstigen Gerinne durch Einlagerungen von filtrierenden Eigenschaften ausgefüllt sind. Wir werden im Abschnitt 42, S. 126 ff. auf derartige Fälle näher eingehen.

Eine ausgesprochene Grenze zwischen Grundwasser und unterirdischen Wasserläufen gibt es naturgemäß nicht und kann es auch nicht geben. Wie es überall in der Natur Übergänge gibt, so gibt es auch zwischen Grundwasser und unterirdischen Wasserläufen mehr oder weniger ausgesprochene Übergänge, und man wird oft nicht in der

Lage sein, entscheiden zu können, ob man es mit der einen oder anderen Wasserart ausschließlich zu tun hat, oder ob beide vermischt auftreten.

Auch ist es daher selbstverständlich, daß es sowohl gesundheitlich minderwertige Grundwässer als auch hygienisch einwandfreie unterirdische Wasserläufe gibt.

Ebenso wie über die Wassermenge entscheidet auch über den hygienischen Wert der einzelnen Wasserart von Fall zu Fall nur die Untersuchung.

In Abb. 10 sind die geologischen Verhältnisse, unter denen sich Grundwasser und unterirdische Wasserläufe bilden, veranschaulicht.

6. Verbreitung der Quellen.

A. Verbreitung der Quellen auf der Erde.

Quellen finden sich über der ganzen Erdoberfläche zerstreut und treten sowohl tief unter dem Meeresspiegel als auch auf dem Flachlande und auf den höchsten Bergkämmen auf. Sie sind nicht willkürlich auf der Erdoberfläche zerstreut, sondern nach bestimmten Gesetzen angeordnet, die in erster Linie von der Art des geologischen Aufbaues des Untergrundes abhängen. Es gibt weite Flächen, die gar keine Quellen aufweisen, und im Gegensatz hierzu Gebiete, die sich durch das Vorhandensein zahlreicher und starker Quellen auszeichnen. Es wäre aber verfehlt, aus dem Nichtvorhandensein von Quellen auf Wasserarmut oder sogar Wassermangel einer Gegend zu schließen, denn es gibt zahlreiche Fälle, wo die Trockenheit nur dadurch verursacht wird, daß sich das unterirdische Wasser in großer Tiefe findet und die Vorbedingungen zur Quellbildung ungünstig sind. Wir finden häufig Quellaustritte an bestimmte, deutlich hervortretende Linien gebunden und zu ganzen Quellgruppen geschart und finden vereinzelt Quellen, deren Ursprung entweder nur flachgründig oder deren Herkunft in großer Tiefe zu suchen ist. Auch finden wir Quellen, die übereinander in verschiedenen Horizonten auftreten und über das Gebirge stockwerkartig verteilt sind.

Die Höhe, bis zu der Quellen vorkommen, schwankt je nach den Begleitumständen in weiten Grenzen.

Im allgemeinen kann angenommen werden, daß die obere Grenze der Quellaustritte (sofern es sich nicht um Thermalquellen handelt) die Schneegrenze ist. Die wirkliche Schneegrenze liegt nach Poschinger (3) dort, wo das schneebedeckte Gelände bereits größer ist als das apere. Die Schneegrenze ist das Ergebnis klimatischer, geologischer und orographischer Verhältnisse und hat einen außerordentlich großen Spielraum. Sie steigt z. B. in der Antarktis bis zum Meeresspiegel herab und flüchtet in den Anden und in Tibet in die Höhe von rund 6000 m (Abb. 4).

Die höchsten bisher bekannt gewordenen kalten Quellen liegen nach Mitteilungen von Schlagintweit (4) in Tibet in 5379, im Himalaja in 4852, in den Anden in 4732 und in den Alpen in 3182 m Meereshöhe.

Höhenlage einiger Flußquellen.

	ü. N. N.		ü. N. N.		ü. N. N.
Vorderrhein . . .	2340 m	Elbe	1390 m	Weichsel	1125 m
Aare	2256 „	Moldau	1172 „	Glatzer Neiße . . .	975 „
Weißer Main . . .	890 „	Saale	728 „	Bober	780 „
Mosel	735 „	Spree	401 „	Brahe	180 „
Lippe	141 „	Havel	63 „	Warthe	71 „

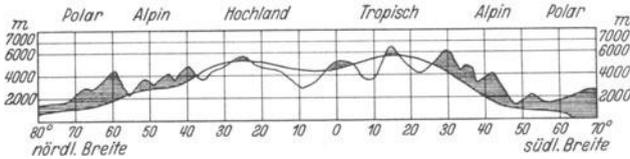


Abb. 4. Kurve der mittleren Schneegrenze zwischen 80° nördlicher und 70° südlicher Breite. (Nach Poschinger.)

B. Quellen auf Bergkuppen.

Die Höhe eines Ortes ist kein Hindernis für die Quellbildung, wenn ihn eine höhere Gebirgslage überragt, welche mit dem Quellort durch wasserführende Schichten verbunden ist. An der Spitze eines Berges wird im allgemeinen nur dann eine Quelle hervorberechen, wenn es sich um eine aufsteigende Quelle mit erheblichem Überdruck handelt. Die Quellergiebigkeit von Bergspitzenquellen wird im allgemeinen gering sein. Der Quellbildung auf Bergen kommt zugute die größere Nieder-

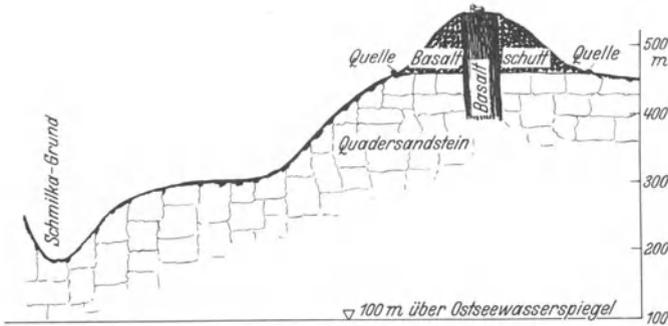


Abb. 5. Quellen auf dem Großen Winterberg. (Nach Beyer.)

schlagsmenge im Vergleich mit den tieferen Gebirgslagen. Die Herkunft des Wassers dürfte in vielen Fällen in erster Linie dem Höhennebel und reichlichem Nachttau zuzuschreiben sein.

Quellen auf hohen isolierten Bergen sind nach Martel (5) u. a.: Die Quelle von Font Filiole (1788 m), von Ventoux (1912 m), von d'Ahusquy (1100 m). Die Quelle von Ahusquy hat ein Niederschlagsgebiet von 100 ha, und aus der Regenmenge läßt sich ein Zufluß von etwa 25 l/s errechnen. Die tatsächliche Quellspende liegt aber bedeutend unter dieser Zahl.

Eine ausgesprochene Gipfelquelle besitzt der Große Winterberg in Sachsen, dessen Gipfelhöhe aus einem Basaltgang besteht und

dessen Seiten durch Basaltschutt abgebösch sind. Nach Beyer (6) hat der Große Winterberg immer als quellenreich gegolten, aber es fehlen größere und andauernde Quellen. Keine einzige erreicht eine

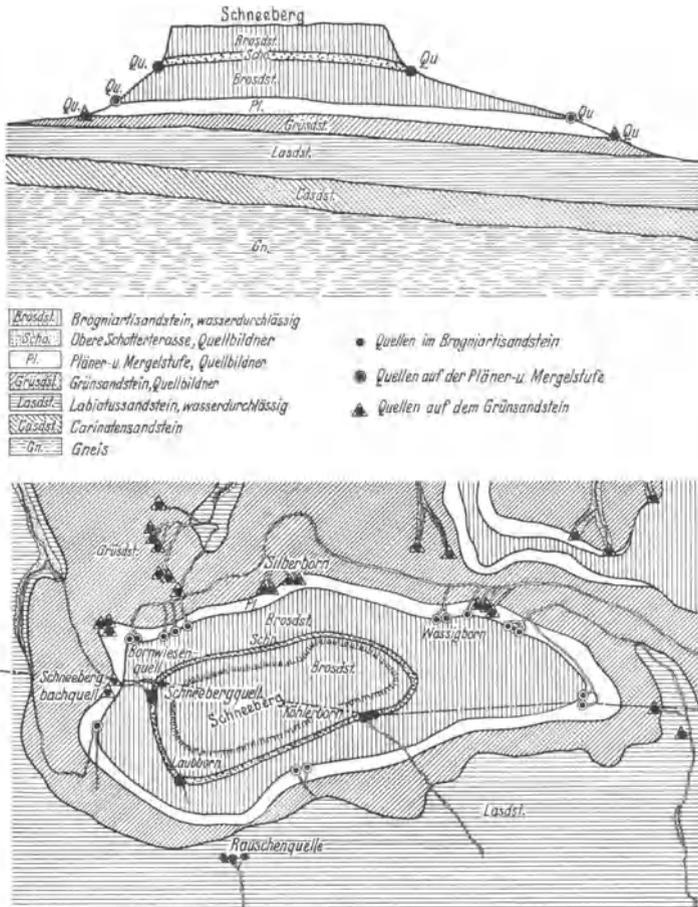


Abb. 6. Quellen auf dem Hohen Schneeberg in der Sächs.-Böhm. Schweiz. (Nach Beyer.)

Mittlergiebigkeit von 1 l/s. Auch sind sie meist nicht ausdauernd. Der Herkunft nach müssen die Quellen als Schuttquellen angesprochen werden.

Das weitere typische Beispiel eines auf einer Bergkuppe liegenden Quellgebietes mit 3 Quellenhorizonten bietet der Hohe Schneeberg in der Böhmischen Schweiz, dem im ganzen 45 Quellen entspringen. Nach Mitteilung von Beyer (6) entfallen hiervon 4 Quellen auf die Hochterrasse im Brögnerisquadersandstein, 31 auf den Plänerkalk und 10 auf den Grünsandstein. Sämtliche Quellen sind Schichtquellen (Abb. 6).

C. Quellen auf Inseln.

Auf Inseln, die vom Meere umflossen sind, können Quellen durch das eigene Niederschlagswasser entstehen oder durch hydraulische Verbindung mit dem benachbarten Lande. Vielfach sind Inseln durch Abtrennung vom Festlande entstanden. Die Abtrennung beschränkt sich dann auf die Oberfläche und die Wasserzuführung erfolgt dückerartig unter dem Meeresspiegel. Eine solche vom Festland mit Quellwasser versorgte Insel scheint nach Aristoteles (7) die Insel Tino im Golf von Genua zu sein, welche wegen der Menge ihrer Quellen „Hydrussa“ hieß.

7. Die Hohlräume des Untergrundes.

Wie wir bereits erwähnt haben, ist die Hauptbedingung für das Zustandekommen von Quellen das Vorhandensein von Hohlräumen bzw. unterirdischen Wasserwegen, in denen sich das Wasser sammeln und nach dem Quellort fortbewegen kann. Die Art und Größe dieser Hohlräume ist verschieden, je nachdem es sich um die Hohlräume in porösen Haufwerken oder in klüftigen Gebirgsarten handelt.

A. Durchlässigkeit des Haufwerkes als Maß der Hohlräume.

Bei Haufwerken, die grundwasserbildend sind, bestehen die Hohlräume aus Poren, deren Größe im wesentlichen abhängt von

1. der Korngröße der einzelnen Körner des Haufwerks,
2. der Gestalt der Körner,
3. ihren Lagerungsverhältnissen,
4. dem Mischungsverhältnis, in dem die Körner zueinander stehen.

Dieses Korngemisch stellt ein natürliches Filter dar, in dem sich das Wasser nach dem sog. Filtrationsgesetz bewegt, dessen Formel lautet:

$$\left(\frac{Q}{F}\right)^m = k \cdot \frac{h}{l},$$

worin Q die Ergiebigkeit des Grundwasserstroms, F sein Querschnitt, h die Druckhöhe zur Überwindung des Durchgangswiderstandes, l der zurückgelegte Weg und k sowie m Beiwerte sind, die nur von der Beschaffenheit der Filterschicht abhängen. Bei geringem Spiegelgefälle des Grundwassers kann der Beiwert $m = 1$ angenommen werden, wodurch das Poiseuille-Darcy-Dupuitsche Gesetz $\frac{Q}{F} = k \cdot \frac{h}{l}$ entsteht. Der Beiwert „ k “ wird als Durchlässigkeitsbeiwert bezeichnet, und es ist

$$k = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{h}.$$

Man spricht deshalb bei Haufwerken von Durchlässigkeit, die gesetzmäßig bestimmt ist und sich ermitteln läßt. Jeder Korngröße entspricht ein bestimmter Durchlässigkeitswert. So ist z. B. durch Versuche ermittelt worden:

Tabelle 1.

Art des Materials	Korndurchmesser mm	k (m/s)	Art des Materials	Korndurchmesser mm	k (m/s)
Flußsand . .	0,1—0,3	0,0025	Feiner Kies .	2,0—4,0	0,0300
Flußsand . .	0,1—0,8	0,0088	Mittelkies . .	4,0—7,0	0,0351

Über die Ermittlung der Durchlässigkeit findet man Näheres im „Handb. der Hydrologie“ 1923 S. 121 ff.

B. Klüftigkeit der festen Gebirge als Maß der Hohlräume.

Im Gegensatz zu den porösen Haufwerken kann von einer gesetzmäßig bestimmaren Durchlässigkeit, die sich durch den sog. Durchlässigkeitsbeiwert ausdrücken läßt, bei festen Gebirgen im allgemeinen nicht gesprochen werden. Hier tritt an ihre Stelle die sog. Klüftigkeit, die sich aus einer unzähligen Summe in Größe und Verlauf verschiedener Hohlräume zusammensetzt und größtmäßig nur in ganz seltenen Fällen ermittelt werden kann.

Für die Wasserführung der festen Gebirge kommen als Hohlräume in Betracht: Schichtfugen, Klüfte und die Blasenporen der Mandelsteine und Laven. Von den Klüften sind besonders zu nennen: die Verwitterungsklüfte, welche durch die Wirkung von Atmosphärien (Frost, Regen usw.) hervorgerufen werden, die tektonischen Klüfte, die die Folge einer Auslösung der Spannungen gebirgsbildender Kräfte sind, und die Absonderungsklüfte in Eruptivgesteinen. Die tektonischen Klüfte sind die am meisten vorkommenden. Oft herrscht in Gebirgen weitgehende Parallelität der Klüfte, und es entspricht dann nach Lehmann (8) jeder größeren Faltungsperiode ein besonderes Kluftnetz. Jedes Kluftnetz besteht aus zwei Kluftscharen, die das Gestein in Quader zerlegen. Nach Leppla setzt eine und dieselbe Kluft selten durch mehrere verschieden zusammengesetzte Gesteine durch.

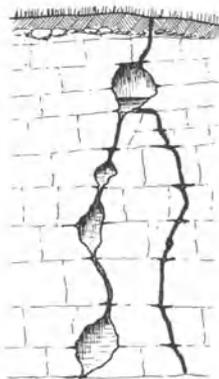


Abb. 7. Klüftgerinne.
(Nach Keilhack.)

Die Wasserergiebigkeit eines klüftigen Gesteins wird nicht allein durch die Häufigkeit, sondern vor allem durch den Grad des Offenstehens der Klüfte bestimmt. Vielfach bringt erst der Einfluß der Verwitterung eine Erweiterung der Klüfte mit sich, und man kann in solchen Fällen von „Wasseradern“, die das Gestein durchziehen, sprechen. Sowohl durch chemische Lösung als auch durch mechanischen Angriff werden nicht selten

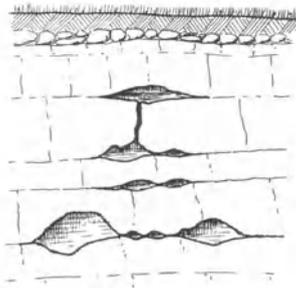


Abb. 8. Schichtfugengerinne.
(Nach Keilhack.)

Schichtfugen und Spalten sowie Klüfte nach Keilhack (9) zu Gerinnen, Grotten und Höhlen von bedeutenden Abmessungen erweitert und so die Klüftigkeit und das Aufspeichungsvermögen gesteigert (Abb. 7 u. 8).

Auch die Tiefenlage der Klüfte ist von Einfluß auf die Wassergiebigkeit. Mit zunehmendem Gebirgsdruck sind die Klüfte viel mehr geschlossen als näher an der Oberfläche, doch ist dies nach Stappenbeck örtlich recht verschieden.

Zur Bildung von wasserführenden Klüften eignen sich vor allem Eruptivgesteine und die sedimentären Gebirgsarten, also: Kalksteine, Dolomite, kristalline Schiefer und die verschiedenen Sandsteine. In Eruptivgesteinen ist die Klüftung zumeist unregelmäßig, in Sedimentärbildungen stehen im allgemeinen die Klüfte mehr oder weniger senkrecht zu den Schichtfugen.

Im Gegensatz zu dieser Erscheinung findet mitunter auch eine Minderung der Klüftigkeit und Wasserführung statt durch Zusetzen



Abb. 9. Harter, geschichteter Sandstein mit abwärts führenden Klüften.
(Aufnahme von A. J. Ellis.)

der Wasserwege mit eingeschwemmtem Sand, Ton und Gebirgsschutt sowie infolge von Sinterausscheidung. Auch durch eingeschwemmtes Sperrgut (Blätter, Gras, Sträucher, Baumäste) können Stau- und Sperrerscheinungen bis zur vollständigen Unterbindung früherer Wasserwege hervorgerufen werden.

Weitere Hindernisse können entstehen durch Deckeneinsturz. Die Trümmer verlegen dann teilweise den Wasserlauf und bilden infolgedessen eine Art Wehr, welches das Wasser im Gebirge stauen und auf diese Weise nachträgliche Quellerscheinungen an unerwünschten Stellen hervorgerufen kann. Es findet dann eine Abnahme der Quellschüttung statt infolge von Einstau in neue Abflußkanäle. Vielfach findet man auch U-förmige Dücker, welche sich verstopfen und dann die Ursache der Entstehung neuer Wasserbahnen werden. So scheinen nach Knebel (10) die zahlreichen Einstürze im Gebiet der Adelsberger Grotte die Ursache zu sein, daß die Poik sich einen neuen unterirdischen Weg geschaffen hat. Wegverlegungen und Sperrungen dieser Art sind eine

Eigentümlichkeit klüftiger Gebirge, mit denen man bei der Anlage von Quellfassungen zu rechnen hat. Bei porösen Haufwerken sind derartige



Abb. 10. Schichtung von Kalkstein-Dolomit und Mergelschichten bei Eschershausen (Hann.). (Nach Rinne.)

Erscheinungen ausgeschlossen.

Abb. 9 zeigt nach Meinzer (11) harten, geschichteten Sandstein, der vollständig dicht und undurchlässig ist. Die Klüfte sind durch Sickerwasser teilweise derartig ausgewaschen worden, daß ein System abwärts führender Kanäle entstanden ist, durch welche das Niederschlagwasser leicht in die Tiefe gelangen kann.

In Abb. 10 ist nach Rinne (12) der typische Aufbau von Sedimentgesteinen dargestellt. Sie liegen in Schichten, Platten, Lagen, Flözen (Bänken) übereinander.

Es fehlt selbstverständlich nicht an Versuchen, auch der Klüftigkeit mit Formeln bei-

zukommen. So hat z. B. Winkel (13) die Spaltbreiten in festem Gebirge aus der Menge des Sickerwassers und aus dem Druckgefälle nach der Formel für laminare Strömung errechnet. Es ist

$$\frac{h}{L} = 0,0000011 \cdot \frac{v}{s^2 \cdot \sigma},$$

worin

$\frac{h}{L}$... das Spiegelgefälle,

v ... die Geschwindigkeit in m/s,

s ... die Spaltenweite,

σ ... einen von der Wassermenge abhängigen Wert bedeutet.

Tabelle 2.

Temp.	0	5	10	13,2	15	20	25	30°C
$\sigma =$	0,68	0,79	0,92	1,0	1,05	1,19	1,32	1,46

Auf Grund von Ergiebigkeitsmessungen hat Huber (14) den Füllraum des Münzbergstollens bei Wiesbaden und des Jeschken-

gebirges bei Reichenberg i. Böhmen mit 0,05% ermittelt. Von ihm stammt auch eine gute Übersicht über die Klüftigkeit und Wasserführung des verschiedenen Gesteins (15).

8. Die undurchlässigen Schichten.

Nicht minder wichtig für die Quellbildung sind auch die undurchlässigen Schichten, welche dem Wasser den Abfluß in die Tiefe erschweren oder diesen ganz hindern. Auch als Wasserstauer spielen die undurchlässigen Schichten bei der Quellbildung eine bedeutende Rolle, indem sie dem Wasser als Hindernis entgentreten und letzteres zum Austritt an die Oberfläche zwingen.

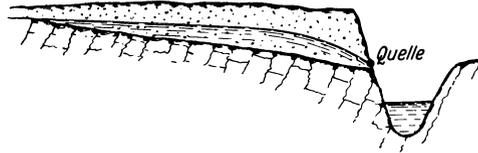


Abb. 11. Entstehung einer Quelle oberhalb der undurchlässigen Sohle.

Wohl die einfachsten Verhältnisse, unter denen eine durch Grundwasser gespeiste Quelle entsteht, sind in Abb. 11 dargestellt. Das Niederschlagswasser sammelt sich im trockenen Kies durch Versickerung und tritt dort, wo die undurchlässige Sohle ausbeißt, als typische Schichtquelle zutage.

9. Bildung der Quellen.

Die Art der Quellbildung ist je nach Art der geologischen Beschaffenheit des Hinterlandes und auch des Quellortes eine verschiedene.

Hat man es mit Quellen zu tun, die durch Grundwasser gespeist werden, so treten die Quellen vielfach, entsprechend der Breite und verhältnismäßig gleichmäßigen Durchlässigkeit der wasserführenden Schichten, flächenartig auf in Gestalt auf der Erdoberfläche zerstreuter Grundwasseraustritte. Wir finden dann die Quellen entweder in Gestalt von ganz dünnen Quellfäden, die höchstens den Bruchteil eines Sekundensliters an Schüttung aufweisen, sich aber über große Flächen ausdehnen und dann als Bodenfeuchtigkeit, Naßgallen oder Sumpfflächen in Erscheinung treten oder als Grundwasseraufstöße, die nicht selten bereits in wenigen Metern Entfernung von ihrem Ursprung Quellbäche von mehreren Metern Breite erzeugen und dementsprechend große Wassermengen führen.

Verdanken die Quellen ihr Wasser unterirdischen Wasserläufen, so wird ihre Entstehung in den meisten Fällen durch den Verlauf und die Größe der ein Gebirgsmassiv bildenden Wechsellagerung von durchlässigen und undurchlässigen Schichten und der sie durchsetzenden Schicht- und Bruchfugen bedingt sein. Dort, wo die Schichtfugen in den Berg hineinfallen, ist meist das Gehänge quellenlos, dort, wo sie aus dem Berge herausfallen, bringen sie Quellen. Die meisten und ergiebigsten Quellen treten in der Regel in der Nähe von Kontakten oder Schichtwechsellagen auf. Im Gegensatz zu den vom Grundwasser gespeisten Quellen sind die aus klüftigen Gebirgen kommenden Quellen vielfach vereinzelte Wasseraustritte, deren Lage durch eine zutage

tretende Spalte oder Kluft gegeben ist. Doch kommen auch hier bei geologisch günstigen Vorbedingungen zusammenhängende Quellgruppen vor, wie z. B. die Quellen der Pader, die sich aus etwa 130 einzelnen Quellaustritten zusammensetzen.

Die meisten Quellen sind die Folgeerscheinung der Erosion, welche wasserführende Schichten bloßlegt oder durchschneidet. Es entstehen dann vielfach Quellen zu beiden Seiten des Erosionstales. Das Beispiel einer solchen Talerosion, die das ganze Jura massiv durchschneidet und Quellbildung auf beiden Talseiten zeigt, ist nach Reuter (16) das Pegnitztal bei Nürnberg.

Derartige Erosionsquellen begleiten sehr oft Bach- und Flußläufe, in welche das Abschwemmungsgut abgespült worden ist. Sie stellen in den weitaus meisten Fällen keinen Dauerzustand dar, setzen vielmehr

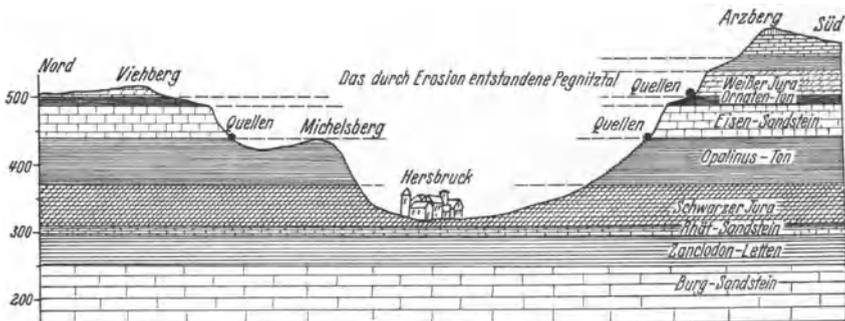


Abb. 12. Querschnitt durch das Pegnitztal. Hochquellen entspringen auf dem Ornaten- und Opalinuston. (Nach L. Reuter.)

die von den oberirdischen Wässern eingeleitete Erosion fort, indem sie die wasserführenden Schichten weiter abtragen und den Quellort vergrößern. Die ursprünglich schmale Quellrinne erweitert sich dann zu einem Quellkanal, und aus der einzelnen Quelle wird mit fortschreitender Zeit ein ganzes Quellgebiet. Auf solche Vorgänge sind die zahlreichen Quellschluchten mit bogenförmig verlaufenden, steilen und hohen Wänden zurückzuführen. Die Bildung solcher Naturerscheinungen wird nicht selten dadurch gesteigert, daß die Quellen auch aus dem Innern des wasserführenden Gebirges feine Sande und tonige Gesteine (die dem Quellwasser dann eine milchige Trübung verleihen) ausspülen. Wir haben es dann zugleich mit einer unterirdischen Erosion zu tun, durch welche ein Nachsinken der deckenden Schichten und eine weitere Veränderung der Erdoberfläche entstehen kann. Derartige rückwärts schreitende Talkessel, durch welche das Hinterland entwässert wird, findet man u. a. am westlichen Nordrande des Fläming, wo sie den Namen Rummel führen.

Sinkt mit fortschreitender Erosion ein Bach- oder Flußtal und damit zugleich der Talweg, so werden sich oft an den trockengelegten Talwänden Quellen in zunehmender Anzahl und Schüttungsmenge zeigen. Es sind das Quellen, die früher unsichtbar in den Fluß selbst entwässerten und der Beobachtung entzogen waren.

10. Anzeichen der Quellen.

Anzeichen unterirdischer Wasservorkommen sind wasserliebende Pflanzen, also Süßgras, Seggen, Binsen, Vergißmeinnicht, Wassermerk, Schachtelhalm, Ampfer, Ziest usw. Im Frühjahr fallen Stellen mit Grundfeuchtigkeit durch vorzeitiges Grünwerden auf, und in Zeiten anhaltender Dürre kann man Quellpunkte auf Kilometerweite infolge ihrer erhaltenen Grünfärbung von dem ausgetrockneten Boden unterscheiden. In solchen Zeiten ist das Aufsuchen von verborgenen Quellen besonders lohnend.

Zur Zeit von Gewitterbildung und Landregenpausen entwickeln sich im Gebirge über stärkeren Quellenaustritten Schwaden. Auch die sinkende Sonne erzeugt Nebelschwaden, die sich dann schlangenförmig über dem mit Wasser gesättigten Boden hinziehen.

Im Winter ist bei Schneedecke quelliges Gelände durch vorzeitige Schneeschmelze leicht erkenntlich. Warme Quellen, die sich unsichtbar in Bäche und Flüsse unterhalb des Wasserspiegels ergießen, machen sich im Winter durch offene Stellen in der Eisdecke bemerkbar. Eine ausführliche Beschreibung von Pflanzen, die unterirdisches Wasser anzeigen, stammt von Meinzer (17).

11. Aufsuchung von Quellen.

A. Aufsuchung von Quellen nach geohydrologischen Gesichtspunkten.

Die Aufsuchung von Quellen ist selbstverständlich dort am einfachsten, wo das Wasser offen zutage tritt, sei es in Gestalt von Feuchtigkeit, einzelner Quellen oder ganzer Quellgruppen. Bei der Aufsuchung spielt aber nicht allein das Wasservorkommen eine Rolle, sondern auch seine Höhenlage, da mit der Höhe des Quellorts im allgemeinen die Menge des Quellwassers sinkt. Je höher aber der Quellort, desto niedriger werden im allgemeinen die Leitungskosten, da mit wachsendem Gefälle die Rohrquerschnitte sich verkleinern. Der Wert der Höhenlage eines Fassungsortes hängt aber auch ab von der praktischen Durchführbarkeit der Ableitung, über die man sich stets vor dem Erwerb einer Quelle und der Inangriffnahme der Fassungsarbeiten klar sein sollte. Ist der Talhang, in den die Ableitung zu verlegen ist, klüftig und neigt er zu Rutschungen, so wird man sich überlegen müssen, ob es vorteilhaft ist, die sich hieraus ergebenden Schwierigkeiten bei der Rohrverlegung in Kauf zu nehmen, oder ob es sich empfiehlt, die Quelle erst unterhalb des baulich unsicheren Talabschnittes zu fassen.

Bei der Aufsuchung von Quellen sollte man sich ferner stets von vornherein über die Lagerungsverhältnisse der Schichten genaue Aufklärung verschaffen. Ist die Lagerung horizontal, so sind auf beiden Seiten des Tales die Aussichten auf Quellvorkommen gleich günstig. Das gleiche gilt, wenn die Schichten gleichmäßig gegen das Tal einfallen (Abb. 13). Schneidet das Tal in eine Gebirgsmasse mit einseitiger Neigung der Schichten ein, so ist nur die einfallende Seite quellbildend, die abfallende quellenfrei (Abb. 14). Bei Schichtbildung nach Abb. 15 bildet

sich ein quellenloses Tal. Die Quellschüttung wird unter sonst gleichen Umständen desto größer sein, je größer das Einzugsgebiet ist und je höher das Niederschlagsgebiet liegt. Niederschlagsgebiete, die im Regenschatten liegen, liefern weniger Wasser als die auf der Regenseite.

Schwieriger gestaltet sich die Aufsuchung von Quellen, wenn es sich um verborgene Quellen handelt, deren Wasser, nachdem es aus Gebirgsspalten ausgetreten ist, im vorgelagerten Gebirgsschutt verschwindet.

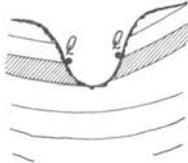


Abb. 13. In das Tal beiderseitig einfallende Schichten.

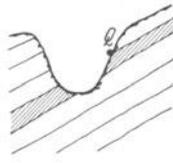


Abb. 14. Schichten mit einseitiger Talneigung.

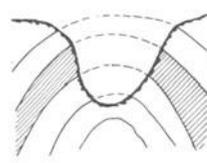


Abb. 15. Quellenloses Tal.

Das Wasser bewegt sich dann unsichtbar im Gebirgsschutt weiter, bis es entweder am Fuß des Talhangs als sichtbare Schuttquelle zutage tritt oder, wenn in den Schutt ein Bachlauf eingeschnitten ist, vom Bachlauf aufgenommen wird und als Oberflächenwasser weiterfließt. Im ersteren Fall wird es sich vielfach empfehlen, dem Ursprung der Schuttquelle im festen Gebirge nachzugehen, und zwar namentlich dann, wenn es erwünscht ist, die Quelle möglichst hoch zu fassen. Verliert sich das Quellwasser unsichtbar im Bachlauf, so wird man durch Überfallmessungen leicht die Strecken feststellen können, in welchen der Bachlauf Quellwasser empfängt und aus diesem Ergebnis die weiteren Maßnahmen zum Verfolgen des Quellwassers ableiten können. Quellaustritte werden auch verschleiert durch vorgelagerte Moor- und Kalktuffbildungen, deren Entstehung im Quellwasser selbst zu suchen ist.

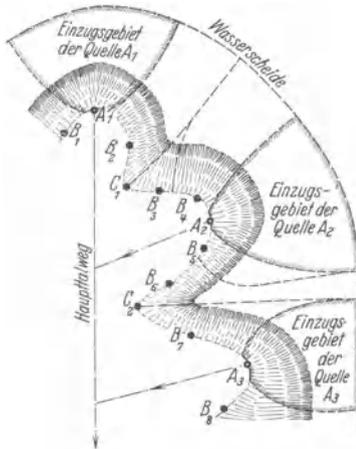


Abb. 16. Quellbildung nach Paramelle.

lauf Quellwasser empfängt und aus diesem Ergebnis die weiteren Maßnahmen zum Verfolgen des Quellwassers ableiten können. Quellaustritte werden auch verschleiert durch vorgelagerte Moor- und Kalktuffbildungen, deren Entstehung im Quellwasser selbst zu suchen ist.

B. Aufsuchung von Quellen nach dem Verfahren von Paramelle.

Einer der erfolgreichsten Quellsucher, die es vielleicht je gab, war Abbé Paramelle (18). Nach Ansicht von Paramelle entstehen Quellen nicht durch Zufall, sondern an besonders günstigen Stellen, die sich durch besondere Gestaltung der Oberfläche, Faltung der Schichten und sonstige günstige Umstände auszeichnen.

Nach seiner Ansicht werden die stärksten Quellen in den Stellen $A_1 A_1 A_2$ auftreten (Abb. 16), das ist an den Stellen der tiefsten Einbuchtungen, da hier die Wasserfäden zusammenfließen. In den Stellen $B_1 B_2$ werden ebenfalls Quellen zutage kommen, aber mit geringerer Ergiebigkeit, und in den Orten $C_1 C_2$ wird Quellbildung kaum zu erwarten sein.

Paramelle gibt ferner folgendes als das Ergebnis seiner Beobachtungen und Erfahrungen an: „Der unterirdische Wasserlauf fließt an der tiefsten Sohle des Tales auf dem Talweg in der gleichen Richtung wie das oberirdische Wasser. Schwierigkeiten bei der Aufsuchung von Quellen machen in gewissen Tälern mangelhafte Neigung der Talsohle sowie Hindernisse in Gestalt von Felsblöcken, Spalten, Geröllanhäufung, Versickerung und künstliche Eingriffe in den Untergrund. Wo ein zweites Tal einmündet, macht gewöhnlich der oberirdische Wasserlauf einen diesem mit der Spitze zugewandten Winkel. So ist es auch beim unterirdischen Wasserlauf, der in der Höhe dieses Winkels eine meist schon offene Quelle bildet. Jedes Tal, jede Erdfalte hat eine Quelle. Jeder Vorsprung, dem ein kleiner austretender Winkel gegenüberliegt oder der einen Halbkreis am Fuße eines Abhangs bildet, verbirgt gewöhnlich eine Quelle. Dies ist sicher der Fall, wenn in der Ebene, welche von dem Vorsprung beherrscht wird, ein Tal oder eine Reihe von Erdfällen gerade auf diesen Vorsprung zuläuft. Jedesmal, wenn die Oberfläche eines Tales so fest ist, daß bei Regengüssen sich ein oberirdischer Strom bilden kann, geht unter der Erde genau auf der Linie des oberen zeitweiligen Abflusses ein beständiger Wasserlauf an allen Punkten, wo der Fuß beider Abhänge zusammenstößt oder bei Ebenen dort, wo die Talwände gegen den oberen Strom hinneigen. Der unterirdische Strom tritt oft nur bei Regenwetter an gewissen Stellen seiner Richtlinie aus. Am nächsten der Oberfläche kommt das unterirdische Wasser im Mittelpunkt des Talanfanges oder der Gebirgsfalte, wo das oberirdische Wasser sich zuerst sammelt, in jeder Vertiefung des oberen Talweges, am Ausgang des Tales. Wenn ein Gebirgsrücken nach einer Seite seine Schichten neigt, so darf man nie auf der abschüssigen Seite Quellen suchen. Der Fuß einer Talwand ist für den Quellsucher am günstigsten. Besonders sind folgende Stellen zu wählen: Die Spitze eines eintretenden Winkels, die zurückgelegenste Stelle eines Vorsprungs in der Talebene, die Tiefe einer Erdfalte oder Schlucht, wo ihr Talweg mit dem Fußrande der Talwand zusammenstößt.“

Die Tiefe einer Quelle berechnet Paramelle nach der Spiegellage vorhandener Brunnen, nach der Lage der bei Hochwasser sich zeigenden Wasserausbrüche und nach der Tiefe der Linie, worin die Talwände zusammenstoßen. In der Durchschnittslinie der Verlängerung der beiden Steilabhänge liegt gewöhnlich die größte Tiefe, in der sich die Quelle (unter dem Punkt C) findet (Abb. 17). Um die Entfernung AC vom linken Bordrand zu finden, hat man zu setzen:

$$(HG + EF) : AB = HG : AC,$$

daher

$$AC = \frac{AB \cdot HG}{HG + EF},$$

und die Tiefe CD aus der Gleichung $CD : AC = GJ : HG$ und somit $CD = \frac{AC \cdot GJ}{HG}$. Bemerkte sei, daß beim Einmessen der Flankenneigung die beiden Latten GJ und EK gleich lang sein müssen.

Wiewohl die Ansichten Paramelles veraltet sind, so zeugen sie doch von großer Beobachtungsgabe und Erfahrung. Es ist in ihnen manches von dauerndem, wissenschaftlichem Wert enthalten.

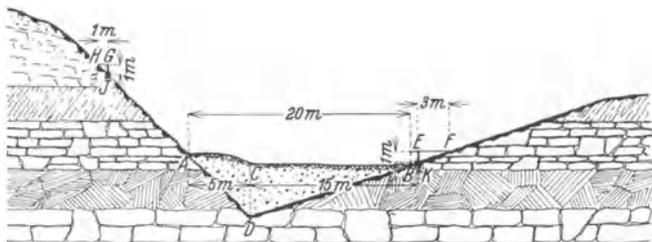


Abb. 17. Durchschnitt eines Tales mit der Quelltiefe *CD*. (Nach Paramelle.)

Die Wassermenge hängt nach Paramelle ab von der Beschaffenheit und Ausdehnung des Einzugsgebietes. Auf Hochebenen, die mit Schutt von 2–8 m Höhe bedeckt waren, fand Paramelle, daß je 5 ha Fläche bei gewöhnlicher Trockenheit eine Quellmenge von etwa 4 l/m lieferten. Das gilt aber nur bei sehr durchlässigem Boden.

12. Nachweis der Quellwassermenge.

A. Allgemeines über den Nachweis.

Die Menge des von der Oberfläche dem Untergrund zusickernden Wassers hängt sowohl von der Oberflächengestalt und ihrer sonstigen Beschaffenheit als auch vom geologischen Aufbau der wasserführenden Schichten und der undurchlässigen, wassertragenden Sohle ab.

Über die Oberflächenverhältnisse einer Landschaft geben Auskunft die Meßtischblätter, über den geologischen Aufbau des Untergrundes die geologischen Karten. Aus den letzteren kann man mit ziemlicher Sicherheit die Grenzlinien der einzelnen geologischen Bildungen herausfinden. Nach Hocheder (19) sind von besonderer Wichtigkeit diejenigen Grenzlinien, welche anzeigen, in welcher Lage und in welcher Mächtigkeit wassertragende Schichten an der Oberfläche zutage treten. Überträgt man solche geologische Grenzlinien auf die mit Höhenschichtenlinien versehenen Meßtischblätter, so wird man annähernd ermitteln können, nach welcher Richtung die wassertragende Schicht streicht, bzw. Gefälle hat. Die Höhe irgendeines Punktes der Oberfläche über einem Punkt der geologischen Grenzlinie gibt unter Berücksichtigung des ermittelten Schichtungsgefälles annähernd die Tiefenlage an, in welcher Wasser zu erwarten ist.

Höhenschichtenlinien des Geländes lassen ohne weiteres eine Talmulde erkennen. Meist hat die geologische Linie, welche die Grenzlage einer wassertragenden Schicht andeutet, einen ähnlichen Verlauf wie die Höhenschichtenlinien und überall da, wo die geologische Grenzlinie der wassertragenden Schicht der Mulde folgt, wird man das Auftreten einer Quelle erwarten können, wenn das Schichtengefälle mit dem Gefälle der Mulde gleiche Richtung hat.

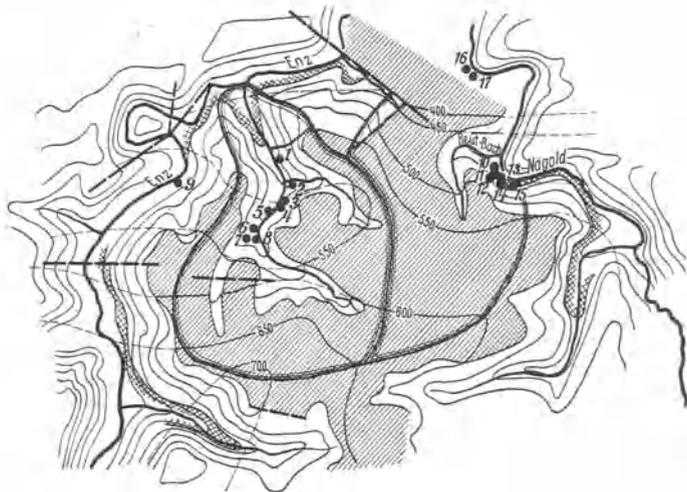
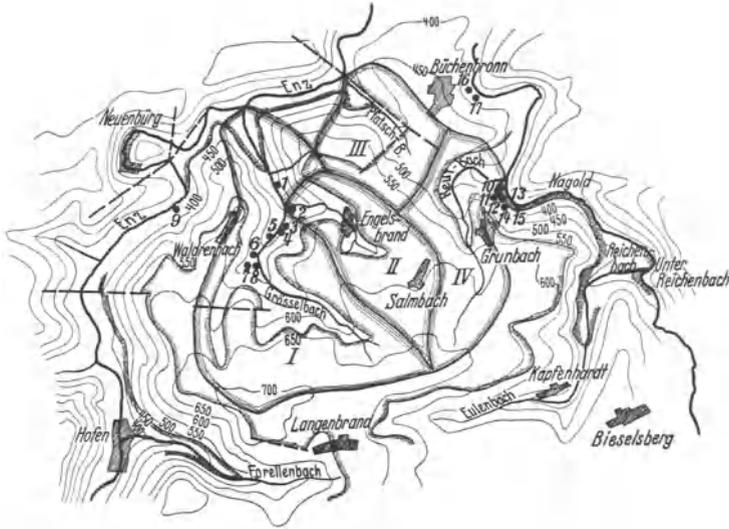
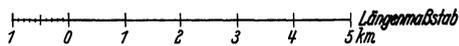


Abb. 18 a u. b. Quellgebiet des Grösseltals und Reutbachtals bei Pforzheim. (Nach Röhrer.)



-  Höhenlinien der Geländeoberfläche (Abstand 50 m).
-  Verwerfungen.
-  Obere Grenzlinie des Eck'schen Konglomerates.
-  Untere Grenzlinie des oberen Buntsandsteins.
-  Untere Grenzfläche des oberen Buntsandsteins nach gedachter Entfernung des durchlässigen oberen Buntsandsteins.
-  Streichlinien der unteren Grenzfläche des oberen Buntsandsteins.
-  Grenzen der Einzugsgebiete.
-  • 5 Quellen.

Die stärkeren Quellen wird man in der Regel dort finden, wo die Oberfläche der wassertragenden Sohle eine Falte bildet. Verläuft die Schicht ohne Falten, so zerstreuen sich die einzelnen Wasserfäden und es kommt statt einer Quelle nur eine ausgedehnte Durchfeuchtung des Bodens zustande.

Ein Beispiel derartiger Aufnahmen im Quellgebiet des Grösseltals und Reutbachtals zeigt nach Röhler (20) Abb. 18a und b. Die Oberflächengestaltung ist nach Abb. 18a aus den Geländehöhenlinien ersichtlich. Aus diesen Höhenlinien sind die Einzugsgebiete abgeleitet. Man sieht, daß die Quellen 1—17 sich auf die Einzugsgebiete I—IV verteilen. Auffallend ist, daß die Quellen 10—15 (dicht an der Mündung des Reutbaches) nicht innerhalb der oberirdischen Einzugsgebiete des Baches liegen. Die geologische Untersuchung hat in den oberen Lagen den wasserführenden oberen Buntsandstein und darunter Hauptkonglomerat und Ecksches Konglomerat nachgewiesen, die praktisch undurchlässig sind. Durch die geologischen Schichtenaufnahmen (Abb. 18a) sind die Schichtgrenzlinien und Schichtgrenzflächen festgestellt. Auf der Grenzfläche muß das in den Untergrund vordringende Wasser abfließen und an oder unterhalb der Grenzlinie des oberen Buntsandsteins als Quellen zutage treten. In Abb. 18b ist der durchlässige obere Buntsandstein an den schraffierten Stellen als abgehoben gedacht und die untere Grenzfläche mit dem Konglomerat durch Streichlinien (= Höhenlinien der Grenzfläche) dargestellt. Die gestrichelte Fortsetzung der Grenzlinien über die schraffierte untere Grenzfläche des Sandsteins hinaus zeigt den früheren Zustand an, bevor die Flußläufe durch Erosion das Gebirge einkerbten. Aus den Streichlinien läßt sich die Abflußfläche des unterirdischen Wassers und auch die Grenze der unterirdischen Einzugsgebiete der Quellen ermitteln.

B. Zusammenarbeit des Hydrologen und Geologen.

Beim Nachweis von Quellen, die durch Grundwasser gespeist werden, wird man im allgemeinen mit hydrologischen Methoden, wie sie im „Handbuch der Hydrologie“ ausführlich behandelt sind, auskommen. Die Mitwirkung eines Geologen wird aber dort unerläßlich sein, wo es sich darum handelt, festzustellen, ob Bohrungen bereits die unterste Grenze des Alluviums oder der diluvialen Schichten erreicht haben und auch dort, wo die Gefahr besteht, daß durch ein Tiefergehen salzhaltige Schichten älteren Ursprungs angeschnitten werden können.

Im ersteren Fall hat man es mitunter mit mehreren übereinanderliegenden, wasserführenden Stockwerken zu tun, und es sind aus der Praxis Fälle bekannt, wo die Lösung einer Wasserfrage nur deshalb nicht gelungen ist, weil die Schürfungen in einem oberen, nicht genügend ergiebigen Wasserstockwerk steckengeblieben sind, wiewohl in weiterer Tiefe genug Wasser hätte erschlossen werden können. Im zweiten Falle besteht bei nicht genügender geologischer Erfahrung die Gefahr, daß durch ein Tiefergehen salzhaltige Schichten angefahren werden, und daß durch die zum Auftrieb kommende Salzsole das süße Wasser höher liegender Schichten unbrauchbar gemacht wird.

Aber auch bei klüftigen Gebirgsarten wird sich sehr oft eine Zusammenarbeit des Geologen mit dem Hydrologen empfehlen. Wäre der tektonische Bau des Quellgebietes im Bereich der einzelnen Quellwege bekannt, so wäre es leicht, auf rein geologischem Wege die Gesetze zu finden, nach denen sich das Quellwasser bildet und im Innern der Erde immer wieder erneuert und bewegt. Es wäre dann auch möglich, auf rein geologischem Wege die zu erwartende Quellwassermenge vorauszusagen. Wie aber die zahlreichen falschen Voraussagen über die durch Tunnelbauten zu erschließenden Wassermengen beweisen, führt der rein geologische Weg vielfach ins Irre. Er muß in all den Fällen fehlgehen, wo man lediglich aus der Lagerung der Gesteine an der Oberfläche Schlüsse auf den Bau im Innern eines Quellgebietes zieht. Die Kenntnis der Tektonik der Oberfläche, wenn sie nur flachgründig ist, reicht nicht aus für eine einwandfreie Beurteilung der Wasserverhältnisse in der Tiefe. Wir dürfen uns also bei der Lösung quelltechnischer Fragen nicht auf das Studium der Tektonik beschränken, wir müssen vielmehr auch das rein Hydrologische klarzustellen suchen, d. h. also, es muß der Geologe mit dem Hydrologen Hand in Hand arbeiten, wenn der Quellmechanismus und seine Wasserführung richtig erkannt werden soll.

C. Besonderes über den Nachweis.

Zum Nachweis der Quellwassermenge bieten sich zwei Wege dar:

1. ein rechnerischer, welcher beobachtete Niederschlagsmengen bzw. den Teil derselben, der in den Untergrund gelangt und die Größe des Einzugsgebietes in Zusammenhang bringt und
2. die Messung tatsächlicher Quellschüttung.

D. Nachweis durch Rechnung aus Niederschlag und Abfluß.

Dieser Nachweis stützt sich auf die Annahme, daß von der Niederschlagsmenge ein Teil oberirdisch abfließt, ein Teil in den Untergrund gelangt und ein Teil verdunstet. (Der Wasserverbrauch der Pflanzen wird vernachlässigt.) Diese drei Teilmengen schwanken aber von Ort zu Ort und bewegen sich selbst innerhalb desselben Flächenabschnittes je nach der Jahreszeit in weit auseinandergehenden Grenzen.

Gleichmäßig niederfallender Landregen erzeugt in der Regel mehr unterirdisches Wasser als die gleiche oder sogar größere Regenmenge, die als Sturzregen oder Wolkenbruch niedergeht. Ebenso erzeugen langsam schmelzende Schnee- und Eismassen mehr unterirdisches Wasser als die gleichen Wassermengen in Regen ausgewertet, und zwar namentlich dann, wenn der Boden vor Auftauen der Schneedecke nicht gefroren ist, da er dann unter dem Schneeschutz einen großen Teil seiner sommerlichen Durchlässigkeit behält.

Überblickt man die große Anzahl der so verschiedenen Ursachen, welche den Zerfall des Niederschlages in die einzelnen Unterabteilungen bedingen und die gar nicht erschöpfend aufgezählt werden können, so kommt man zu der Überzeugung, daß es unmöglich ist, irgendwelche auch nur angenähert richtige Zahlen über das gegenseitige Mengenverhältnis von Niederschlagsgröße, Abfluß, Verdunstung, Pflanzen-

verbrauch und Wasserabgabe an den Untergrund anzugeben. In dieser Unsicherheit liegt die erste Fehlerquelle des rechnerischen Verfahrens. Die zweite Fehlerquelle ist darin zu suchen, daß das oberirdische Niederschlags- und das unterirdische Einzugsgebiet einer Quelle einander nicht immer gleich sind und die oberirdischen und unterirdischen Wasserscheiden sich in höchst seltenen Fällen decken.

Ist man auch in der Lage, die meist scharf ausgeprägten oberirdischen Wasserscheiden mit Hilfe des Nivellierinstrumentes aufzunehmen und zeichnerisch festzulegen, so ist im Gegensatz hierzu die genaue Ermittlung der unterirdischen Wasserscheiden meist zeitraubend und schwierig.

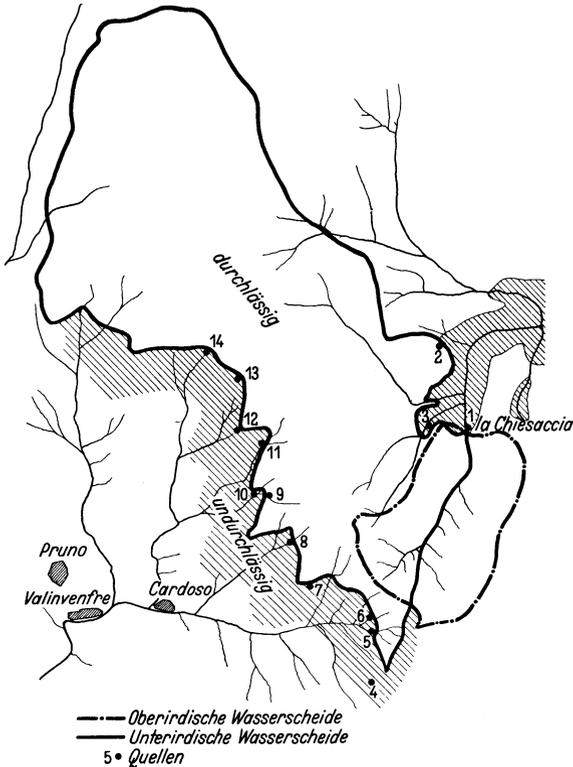


Abb. 19. Die Quelle Chiesaccia (Apulische Alpen), Ergiebigkeit = 150 sl. (Nach Canavari.)

nehmen und zeichnerisch festzulegen, so ist im Gegensatz hierzu die genaue Ermittlung der unterirdischen Wasserscheiden meist zeitraubend und schwierig. Ist der geologische Aufbau des wasserführenden Gebirges einfach, so läßt sich wohl angenähert durch eine geologische Aufnahme der Verlauf der unterirdischen Wasserscheiden bestimmen. Dort aber, wo die Kräfte, welche sich beim Bau des Felsgerüsts auswirkten, einzelne Gebirgstteile gehoben, gesenkt und zerrüttet haben, dort ist es schwierig, den Verlauf und die Umgrenzung der zu einem Quelllauf gehörigen Wasserwege zu ermitteln. Es gibt unterirdische Wasserscheiden,

die weit in das Gebiet der oberirdischen Wasserscheide eingreifen. So tritt z. B. im oberen Aternolauf eine Quelle auf, deren Speisegebiet in das Tiberbecken hinübergreift (21). Es gibt auch Fälle, in denen das unterirdische Einzugsgebiet das obertägige um ein Mehrfaches übertrifft.

Das Bild einer derartigen Ungleichheit zeigen die hydrologischen Verhältnisse der Quelle von Chiesaccia (Abb. 19). Ihr Niederschlagsgebiet hat nur 130 ha Fläche, das Einzugsgebiet ist dagegen etwa 5 mal so groß. Die Quelle entspringt an den Berührungsflächen von Kalk und Dolomit mit undurchlässigen Triasschiefern. Aus dem Einzugsgebiet werden noch einige Nebenquellen gespeist.

E. Unbrauchbarkeit des Rechnungsverfahrens mittels Niederschlag und Abfluß.

Das vorstehend erörterte Rechnungsverfahren führt vielfach selbst dann zu unbrauchbaren Ergebnissen, wenn man statt des Niederschlagsgebietes das unterirdische Einzugsgebiet in Rechnung setzt und auch nach Möglichkeit die Lagerungsverhältnisse des Gebirges berücksichtigt. Die Größe der das Rechnungsergebnis beherrschenden Fehler ist eben zu groß, als daß es gelingen könnte, zu einem zuverlässigen Ergebnis zu kommen.

Wenn aber, wie dies leider immer noch vorkommt, mit der ganz wertlosen Dreiteilung des Niederschlags in je ein Drittel oberirdischen Abflusses, unterirdischer Speisung und Verdunstung Berechnungen angestellt werden, so ist dies ein unsachliches Verfahren, das unter allen Umständen zu groben Irrtümern führen wird und gegen das mit allem Nachdruck Einspruch erhoben werden muß.

Die Gefahr, welche das Rechnungsverfahren in sich birgt, liegt entweder in einer Über- oder einer Unterschätzung der tatsächlich vorhandenen Quellwassermenge. Im ersteren Falle ist das Ergebnis eine nicht genügend ergiebige Quelfassung, im zweiten Falle kann es geschehen, daß ein brauchbares Wasservorkommen unbenutzt liegen bleibt.

F. Besondere Rechnungsverfahren nach Sbroshék und Maillet.

Je ein besonderes Rechnungsverfahren stammt von Sbroshék und Maillet. Sbroshék stellt nach Mitteilungen von Gravelius (22) für die Beziehungen zwischen Niederschlag und Quellergiebigkeit folgende rechnerische Betrachtungen an:

Berechnet man als topographisches Gebiet eines Flusses dasjenige, aus welchem der Wasserlauf durch den oberflächlich ablaufenden Niederschlag gespeist wird, so ist die einem gegebenen Profil aus dem topographischen Gebiet zufließende Wassermenge gleich der Niederschlagsmenge abzüglich der aus Versickerung und Verdunstung herrührenden Verluste. Ist F die Fläche des topographischen Gebiets, h_n die Niederschlagsmenge für eine Periode von n Tagen, so ist die entsprechende Wassermenge

$$Q_n = \alpha_0 \cdot h_n \cdot F,$$

wobei

$$\alpha_0 < 1.$$

Das unterirdische Speisegebiet der Quelle ist dasjenige, aus welchem die zur Versickerung gekommenen Niederschlagsmengen auf unterirdischen Wegen dem Flußlauf zustreben. Das unterirdische Speisegebiet kann dem topographischen Gebiet gleich, es kann aber auch kleiner oder größer als das oberirdische sein. Die Quellen, in denen das unterirdische Sammelgebiet seine Wässer dem Fluß zuführt, sind in zwei Gruppen zu ordnen:

1. zeitweilige, das sind diejenigen, die lediglich aus den oberen Bodenschichten gespeist werden und also bald nach Aufhören der Niederschläge aussetzen, und

2. ständige, d. h. solche Quellen, die aus den ständig ergiebigen Vorräten des tieferen Untergrundes Speisung erhalten, also nicht versiegen und nur Ergiebigkeitsschwankungen, die von den Niederschlägen abhängig sind, aufweisen. Die von den zeitweiligen Quellen dem Profil zugeführten Wassermengen hängen ab von der Niederschlagsmenge, abzüglich der Verluste durch oberirdischen Abfluß, Verdunstung, Zurückhaltung im Boden und Versickerung in die tieferen Erdschichten. Ist F_1 die Fläche, welche die Quelle speist, so ist die von den zeitweiligen Quellen in n Tagen dem gegebenen Profil zugeführte Wassermenge

$$Q'_n = \alpha_1 \cdot h_n \cdot F_1,$$

worin wieder

$$\alpha_1 < 1.$$

Die von den ständigen Quellen geführte Wassermenge hängt u. a. ab von der Höhe des Grundwasserspiegels über dem Ausfluß, von der Durchlässigkeit des Bodens, der horizontalen Ausdehnung des Wasserträgers und kann proportional der jährlichen Niederschlagsmenge gesetzt werden. Sie beträgt für einen Zeitraum von n Tagen

$$Q''_n = \frac{n}{360} (\alpha_2 \cdot H F_2 + \alpha_3 \cdot H_1 F_3),$$

wo F_2 der Teil des topographischen Sammelgebiets ist, aus dem Wasser den wasserführenden tieferen Schichten zugeführt wird, F_3 die Fläche des außerhalb des topographischen Sammelbeckens gelegenen Gebietes, aus dem das Wasser so versickert, daß es den ständigen Quellen von F zugeführt wird. H ist die jährliche Niederschlagsmenge im topographischen Einzugsgebiet, H_1 die Jahresmenge der Niederschläge im Gebiet F_3 .

Der allgemeine Ausdruck für die Abflußmenge des betrachteten Profils und den Zeitraum von n Tagen wird somit

$$Q_n = Q'_n + Q''_n + Q'''_n = (\alpha_0 F + \alpha_1 F_1) h_n + \frac{n}{360} (\alpha_2 H F_2 + \alpha_3 H_1 F_3).$$

Die vier Koeffizienten α sind veränderlich; α_0 und α_1 hängen von den klimatologischen, geologischen und topographischen Bedingungen des Sammelgebietes ab, α_2 und α_3 zudem noch von der Druckhöhe, unter welcher der Ausfluß aus den Quellen erfolgt. Unter Vernachlässigung kleinerer Schwankungen dieser Größen α_2 und α_3 im Jahreslaufe, wie sie den Schwankungen des Grundwasserspiegels entsprechen, kann man sich an Stelle von α_2 und α_3 auch deren jährliche Mittelwerte gesetzt denken und dann schreiben:

$$\begin{aligned} \alpha_0 F - \alpha_1 F_1 &= \alpha F, \\ \alpha_2 F_2 \cdot H + \alpha_3 F_3 H_1 &= \beta F H. \end{aligned}$$

Hierbei ist stets $\alpha < 1$. Für die Wassermenge Q_n erhält man dann

$$Q_n = \alpha F h_n + \frac{n}{360} \beta F H = F \left(\alpha h_n + \beta \cdot \frac{nH}{360} \right).$$

Sind die Flächen in Quadratkilometern, die Regenmengen in Millimetern und die Wassermengen in Kubikmetern ausgedrückt, so ist die numerische Gleichung

$$Q_n = 1000 \cdot F \left(\alpha h_n - \beta \cdot \frac{nH}{360} \right).$$

Zur Bestimmung von β wird man aus einer regenlosen Periode einen niedrigen Beharrungszustand auswählen, für den die sekundliche Ausflußmenge q_0 sei. Für n Tage ist dann

$$Q_n^0 = 86400 \cdot n \cdot q_0$$

und da

$$h_n = 0,$$

so ist

$$86400 n q_0 = 1000 F \cdot \beta \cdot \frac{nH}{360}$$

und

$$\beta = \frac{31104 q_0}{FH}.$$

Für einen beliebigen Zeitraum von m Tagen ergibt sich

$$\begin{aligned} Q_m &= F \alpha h_m - 1000 F \beta \cdot \frac{mH}{360} \\ &= 1000 \cdot F \alpha h_m + 86400 m q_0, \end{aligned}$$

woraus

$$\alpha = \frac{Qm - 86400 \cdot m q_0}{1000 \cdot F h_m}.$$

β kann man als den Koeffizienten der Quellergiebigkeit bei gegebenem Niederschlag bezeichnen, βH ist die zugehörige Abflußhöhe der Quellen.

Für das obere Dongebiet hat Sbroshék auf Grund der vorstehend entwickelten Formel gefunden, daß β in den Grenzen von 0,016 bis 1,398 schwankt.

Nach Maillet (23) gilt für viele Quellen die Ergiebigkeitsformel (vgl. Handb. der Hydrologie S. 219)

$$Q + C = (Q_0 + C) e^{-\alpha(t-t_0)}.$$

Es ist möglich, die Ergiebigkeit einer Quelle zur Zeit ihrer Unabhängigkeit von Niederschlägen zu errechnen, wenn ihr Ergiebigkeitsgesetz bekannt ist. Maillet gibt für die Quelle von Ain-Zeboudja (Algier), deren Schüttung zwischen 4000 — 30 m³/Tag schwankt, folgende Formeln an:

Für die Zeit der Unbeeinflussung (April bis September)

$$Q = Q_0 \cdot e^{-0,264(t-t_0)},$$

worin Q_0 der Menge zu Beginn der Zeit t_0 entspricht und $(t - t_0)$ ausgedrückt wird in Monaten oder Bruchteilen von solchen;

für die Quelle von Toudja (Bougie) für die Zeit vom Mai bis Oktober bei einer Schüttungsschwankung von 302 — 5 sl

$$Q = 5 = (Q_0 - 5) \cdot e^{-0,639(t-t_0)},$$

worin Q in Sekundenlitern, für die Vauclusequelle

$$\frac{1}{\sqrt{Q}} - \frac{1}{Q_0} = 0,561(t - t_0),$$

worin die Menge in m³/s und die Zeit in Monaten einzusetzen sind.

G. Nachweis der Quellwassermenge durch Messung.

Das sicherste Mittel zum Nachweis der Dauerschüttung einer Quelle ist die Messung mittels geeigneter Vorrichtungen. Als solche eignen sich am besten: 1. Geeichte Gefäße, 2. Überfälle und 3. der Woltmannflügel.

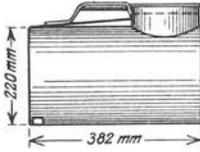


Abb. 20. Geeichtes Meßgefäß. (Nach Huber.)

Geeichte Gefäße leisten gute Dienste, wenn die Quellschüttung unter etwa $2-2\frac{1}{2}$ sl liegt.

Huber (24) empfiehlt ein Meßgefäß von genau 15 l Inhalt aus Zinkblech mit Handgriff und Ausstoßrinne für sich bildende Luftblasen (Abb 20). Bei einer jeden Quellmessung wird die Schürfung, wo zugänglich, bis auf das Muttergestein vorgetrieben,

dann ein Lettendamm in die Schürfung eingesetzt und in diesen ein Ablaufrohr aus Zinkblech eingebaut (Abb. 21). Für Wassermengen von 2—300 sl eignet sich am besten der Ponceletüberfall, der allen anderen Überfällen vorzuziehen ist. Auch Überfälle (Abb. 22) müssen gegen undurchlässiges Muttergestein abgedichtet werden, da sich sonst durch

Wasserverluste grobe Meßfehler ergeben.

Für Messungen von Mengen über 300 sl ist der Woltmannflügel das geeignete Gerät.

Quellergiebigkeiten schwanken oft in weiten Grenzen. Bleiben Niederschläge aus, so muß die Quellschüttung abnehmen. Quellen, die während der Sommerdürre versiegen, haben keinen Wert und sind von der Beobachtung auszuschließen, auch wenn sie vorher noch so stark gewesen sind. Man soll die Messung einer jeden



Abb. 21. Quellmessung mittels Ablaufrohr. (Aufnahme von Huber.)

Quelle jahrelang fortsetzen, um ein zuverlässiges Bild ihres Ergiebigkeitsganges zu gewinnen. Wie groß die Zahl der Messungen unter Umständen sein kann, um zu einem zuverlässigen Ergebnis zu gelangen, kann man daraus erkennen, daß z. B. Huber (24) in der Umgebung von Reichenberg i. Böhmen bei 61 Meßstellen innerhalb von 6 Jahren 72200 Quellmessungen, in der Umgebung von Teschen bei 112 Meßstellen innerhalb von 3 Jahren 4900 Quellmessungen, in der Umgebung von Hermannstadt bei 451 Meßstellen innerhalb von 3 Jahren 7600 Quellmessungen und in der Umgebung von Karlsbad bei 507 Meßstellen innerhalb von 4 Jahren 31300 Quellmessungen durchführen ließ.

Alle Messungsergebnisse sollten fortlaufend auf Millimeterpapier aufgetragen werden, da man nur auf diese Weise Meßfehler aufdeckt. Werden Quellmengen mit den gemessenen Niederschlägen verglichen, so zeigt ein Vergleich der Schaulinien, ob wir es mit seicht- oder tiefgründigen Quellen zu tun haben. Seichtgründige Quellen, die ihren Ursprung im oberflächlichen Schutt haben, gehen mit dem Regen (Abb. 23) und zeigen einen unruhigen Verlauf. Bei tiefgründigen Quellen ist die Abflußmenge verhältnismäßig stetig.



Abb. 22. Quellmessung mittels Überfall. (Aufnahme von Huber.)

Werden Quellmessungen zu Versuchszwecken ausgenutzt (z. B. Ermittlung eines Ergiebigkeitsgesetzes oder der Möglichkeit einer erhöhten Quellschüttung durch Spiegelsenkung), so ist wohl zu unterscheiden zwischen Quellen, die als Überschuß einer breiten Grundwasserströmung auftreten, und Quellen, die sich in Ge-

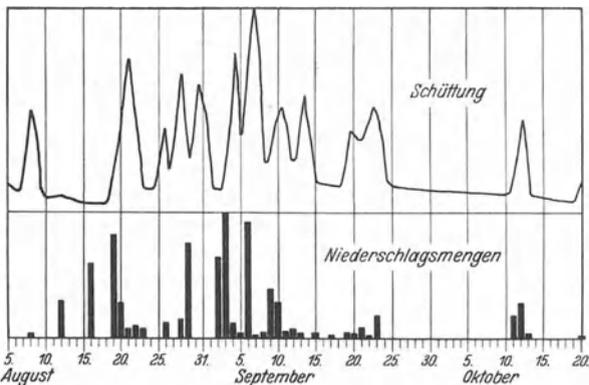


Abb. 23. Schüttungsgang einer seichtgründigen Quelle. (Nach Huber.)

stalt eines geschlossenen Wasserlaufes in klüftige Gebirge hineinverfolgen lassen.

Durch Grundwasserüberschuß erzeugte Quellen verhalten sich genau so, wie die sie speisende Grundwasserströmung, und man wird in der Regel in der Lage sein, durch entsprechende Spiegelsenkung die Quellergiebigkeit zu erhöhen (vgl. Handb. der Hydrologie, IX, 2).

Hat man es aber mit Quellen zu tun, die aus Spalten und Klüften hervorbrennen, so kommt ein allgemein gültiges Ergiebigkeitsgesetz

nicht mehr in Frage, man muß vielmehr das jedem unterirdischen Wasserlauf eigene Aufspeicherungs- und Schüttungsverhalten bzw. Gesetz durch Messung ermitteln. Solche Ermittlungen sind in der Regel mit künstlichen Eingriffen in den Quellort oder in seine Zuläufe verbunden. Hebungen und Senkungen des Quellspiegels allein werden hier nicht immer zum Ziel führen. Bei Spiegelhebungen ist es erforderlich, sich dagegen zu sichern, daß durch unterirdischen Stau kein Wasser in sonst trockene unterirdische Läufe oder fremde Einzugsgebiete eingestaut wird und auf diese Weise durch neue Quellausbildungen verloren geht. Aus Abb. 24 ersieht man, wie durch den Stau der Quelle Q Wasser der am entgegengesetzten Abhang liegenden Quelle Q_1 künstlich zugeführt werden kann. Die der Quelle Q_1 zugeführte Menge geht der Messung verloren und führt naturgemäß zu irrigen Schlußfolgerungen.

Umgekehrt kann ein Senken des Quellspiegels Wasser benachbarter Einzugsgebiete heranziehen, was namentlich dann schwer ins Gewicht

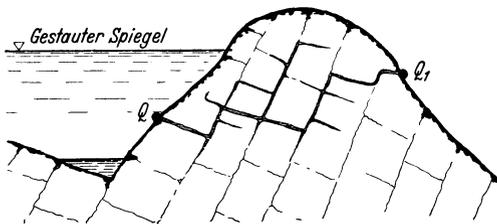


Abb. 24. Neue Quellbildung infolge von Spiegelhebung.

fällt, wenn es sich um Nachbargebiete abweichender geologischer und mineralogischer Beschaffenheit handelt, da dann eine Änderung der Wasserbeschaffenheit eintreten kann. In den meisten Fällen wird man jedoch bei der Prüfung der Quellverhältnisse mit Spiegelbeeinflussungen nicht auskommen und zu Abgrabungen, Anlage von Sickerschlitzten und Herstellung von Schächten und Stollen greifen müssen, die dann später beim Ausbau einer endgültigen Wasserfassung mitbenutzt werden können.

Mit derartigen Grabarbeiten nimmt in der Regel der Wasserzulauf zu und erreicht seinen Höchststand mit der Erschürfung der wassertragenden, undurchlässigen Sohle. Im klüftigen Gebirge können sich dann aber unter dem Einfluß des vermehrten Wasserzuflusses ganze Systeme von neuen Gerinnen bilden, die das Einzugsgebiet des Versuchsbaues vergrößern und zur allmählichen Entleerung des seit langer Zeit in den unterirdischen Hohlräumen aufgestauten Wassers führen können.

Mit derartigen Grabarbeiten nimmt in der Regel der Wasserzulauf zu und erreicht seinen Höchststand mit der Erschürfung der wassertragenden, undurchlässigen Sohle. Im klüftigen Gebirge können sich dann aber unter dem Einfluß des vermehrten Wasserzuflusses ganze Systeme von neuen Gerinnen bilden, die das Einzugsgebiet des Versuchsbaues vergrößern und zur allmählichen Entleerung des seit langer Zeit in den unterirdischen Hohlräumen aufgestauten Wassers führen können.

Meßversuche lassen sich bei Quellen, die an flachen Hängen entspringen oder sonst eine einfache, bequeme Vorflut haben, zweckdienlich mit Hilfe von Versuchsschlitzten, Versuchsgräben, Versuchsstollen und Versuchsschächten durchführen. Das vorhandene Vorflutgefälle ermöglicht einen einfachen, billigen Betrieb und gestattet eine regelmäßige, von Schwankungen freie Entnahme, was bei der Ermittlung der Menge bzw. des Ergiebigkeitsgesetzes von nicht zu unterschätzendem Vorteil ist. Die Baukosten derartiger Versuchsanlagen werden sich allerdings mitunter ziemlich hoch stellen, doch wird dieser Nachteil dadurch aufgehoben, daß der Versuchsbetrieb bei natürlichem Abfluß nahezu kostenlos erfolgen kann. Sind die Hänge steil, so daß bei der Herstellung

von Schlitzten und Gräben große Erdbewegungen sich ergeben, so kommt man am besten mit dem Vortreiben eines Stollens oder der Niederbringung eines Schachtes zum Ziele. Versuchsschächte kann man bei geeigneter Vorflut ebenfalls nahezu kostenlos durch eine selbsttätige Heberanlage entwässern. Geht dies nicht, so muß das Wasser künstlich mittels Pumpen gefördert werden. Versuchsschächte empfehlen sich namentlich dann, wenn man durch Senken und Heben des Wasserspiegels angenäherten Aufschluß über die Größe und Höhenlage etwaiger größerer Hohlräume im wasserführenden Gebirge erhalten will. Wird der Versuchsschacht entleert, und läßt man dann den Wasserspiegel steigen, so geben die Zeiten, in welchen der Spiegel z. B. in 1 Minute steigt, im Zusammenhange mit den aus dem Schachtquerschnitt errechneten Zulaufmengen übersichtliche Mengen- bzw. Füllkurven, die verschieden sein werden, je nach Art der Klüftigkeit des Gebirges.

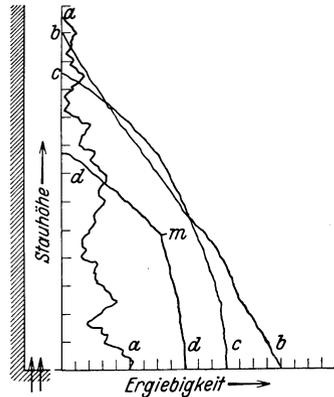


Abb. 25. Füllkurven, aufgenommen in Quellschächten. (Nach A. Heim.)

In Abb. 25 sind nach Heim (25) die Füllkurven der Quellen *a*, *b*, *c* und *d* dargestellt. Quellen mit zackigen Füllkurven (*aa* in Abb. 25) zeichnen sich durch große Ergiebigkeitsschwankungen aus, und der Kurvengang läßt auf erhebliche Erweiterungen ihres Gerinnes schließen. Die Unregelmäßigkeiten der Kurve entsprechen den als Behälter wirkenden unregelmäßigen Hohlräumen des Erdinneren. Aus der Kurve *bb* kann man auf regelmäßigen Verlauf des unterirdischen Gerinnes schlie-

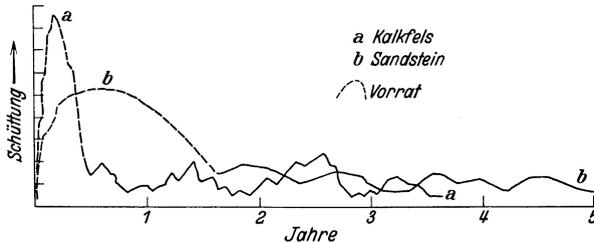


Abb. 26. Mengenkurven bei Entleerung von Kalkfels und Sandstein. (Nach A. Heim.)

ßen, während die regelmäßig gebogene Kurve *cc* und die scharf geknickte Kurve *dd* in der Höhe *m* auf unbekannte seitliche Abflüsse, also auf unterirdische Wasserverluste, schließen lassen.

Die Gestalt der Mengenkurve einer Quelle während eines Versuchsbetriebes wird auch verschieden sein je nach der Art der Durchlässigkeit bzw. Klüftigkeit des wasserführenden Gebirges, das die Quelle speist. Sind die Gebirgsspalten eng oder besteht das Gebirge aus Konglomeraten, Sandsteinen u. dgl., also aus einer Bildung, deren Rückhaltungsvermögen groß ist, so werden sich die vorhandenen Wasservorräte langsamer entleeren, als wenn das Gebirge grobklüftig ist, z. B. aus Kalk-

stein bestehend. Aus den Mengenkurven kann man, wie aus Abb. 26 hervorgeht, sowohl den lebendigen Wasservorrat als auch die laufende Ergiebigkeit bestimmen.

Künstliche Eingriffe in den Wasserhaushalt wasserführender Gebirge durch Entwässerungsanlagen, gleichviel welcher Art, müssen außerordentlich vorsichtig und mit weiter Sicht beurteilt werden, da oft Jahre vergehen, bevor ein tatsächlicher Beharrungszustand erreicht wird. So berichtet z. B. Heim, daß nach Vollendung des Dettenbergtunnels volle 30 Jahre vergingen, bevor wieder stabile Quellenverhältnisse in seiner Umgebung eingetreten sind.

13. Schwankungen der Quellwassermenge.

Die Schwankungen der Quellergiebigkeit sind erfahrungsgemäß abhängig von der geologischen Beschaffenheit des Einzugsgebietes, seiner Oberflächenbeschaffenheit, den Niederschlags-, Verdunstungs- und Frostverhältnissen, der Vegetation und schließlich auch der Größe der Quellen und ihrer Höhenlage. Da demnach die Ergiebigkeitsschwankungen von Quellen nicht allein durch die geologische Zusammensetzung des Untergrundes bestimmt werden, so folgt daraus, daß es nicht angängig ist, aus den geologischen Merkmalen eines Niederschlagsgebietes allein auf die Größe und Beständigkeit von Quellerscheinungen Schlüsse zu ziehen. Tatsächliche Messungen haben ergeben, daß auch innerhalb einer und derselben geologischen Bildung große Abweichungen in der Größe und Nachhaltigkeit der Quellen auftreten können.

Im großen und ganzen läßt sich indessen behaupten, daß Quellen, welche z. B. aus ausgedehnten Sand-, Kiesfeldern und Sandsteinbildungen kommen, also durch Grundwasser gespeist werden, beständiger sind als Quellen, welche in klüftigen Gebirgsarten ihren Ursprung haben. Es steht ferner fest, daß häufig Quellen von großer Ergiebigkeit geringeren Schwankungen in der Ergiebigkeit unterliegen als Quellen von kleinem Erguß. Dieses Verhalten ist darauf zurückzuführen, daß Sande, Kiese und Sandsteine infolge der ihnen eigentümlichen engen Wasserkanäle ein größeres Rückhaltungsvermögen besitzen als klüftige Gebirgsarten, in deren Spalten und Hohlräumen sich das unterirdische Wasser verhältnismäßig schneller bewegt. Große Quellergiebigkeiten entsprechen in der Regel räumlich ausgedehnten Speisegebieten. Die Zeit, welche die einzelnen Wasserteilchen zum Zurücklegen ihrer ziemlich langen unterirdischen Wege brauchen, ist verhältnismäßig groß, und infolge dieser Verhältnisse werden hier Unregelmäßigkeiten und Schwankungen der speisenden Niederschläge besser ausgeglichen als bei Quellen mit kleinen Einzugsflächen. Höherliegende Quellgebiete werden mehr Wasser liefern als tieferliegende, da mit der Höhe die Niederschlagsmenge zunimmt.

Wie bereits erwähnt, zeigen Quellen, die aus Sand-Kiesablagerungen und Sandsteinbildungen kommen, einen wesentlich gleichmäßigeren Charakter als Quellen, die in klüftigen Gebirgen ihren Ursprung haben. Nachstehende zwei Zusammenstellungen werden dies beweisen.

Tabelle 3. Mengenschwankungen von Quellen, die aus Sand-Kiesablagerungen und Sandsteinformationen gespeist werden.

Nr.	Geologische Bildung	Gegend	Höchstschüttung sl	Mittlere Schüttung sl	Kleinste Schüttung sl	Verhältnis	
						Q _{min} Q _{max}	Q _{min} Q _{mittl}
1	Eiszeitlicher Schutt	Schlienquelle b. Bern	—	7,6	5,9	—	1:1,29
2	„	Scherlitalquelle b. Bern	—	71,0	51,0	—	1:1,40
7	Moräne	Kaufbeuernquelle in Bayern	46,8	—	22,4	1:2,1	—
8	„	Weyarn in Bayern	2,9	—	1,0	1:2,9	—
9	Buntsandstein . .	Markttheiderfeld in Bayern	30,4	—	10,2	1:3,0	—
6	„	Lahr	14,5	—	10,5	1:1,48	—
11	„	Baden-Baden	72,0	—	16,0	1:4,50	—
10	Molasse	Stedt bach b. Bern	324,0	—	76,0	1:4,26	—
12	Buntsandstein . .	Wolfsbrunnen b. Heidelberg	51,0	—	6,0	1:8,50	—
3	Weißjura	Ranna b. Nürnberg	275,0	250,0	233,0	1:1,2	1:1,1
4	Diluvium	Mühltaler Quelle b. München	1300,0	—	800,0	1:1,6	—
5	„	Gotzinger Quelle b. München	1200,0	—	700,0	1:1,7	—

Den auffallend gleichbleibenden Schüttungsgang der aus Kieslagern kommenden Ramseiquelle bei Bern in Zusammenhang mit den Regenhöhen veranschaulicht Abb. 27. Man erkennt aus den Ganglinien, daß die Quelle vom Regen so gut wie nicht beeinflusst wird.

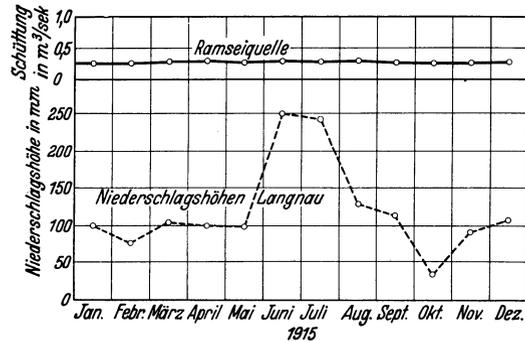


Abb. 27. Schüttungsgang der Ramseiquelle bei Bern. (Nach Hug.)

Tabelle 4.

Geologische Bildung	Gegend	Höchstschüttung sl	Mittlere Schüttung sl	Kleinste Schüttung sl	Verhältnis	
					Q _{min} Q _{max}	Q _{min} Q _{mittl}
Kalk, Dolomit	Kaiserbrunnen, Wien	2046,0	—	233,0	1:8,8	—
Weißer Jura .	Aachquelle in Baden	25000,0	6000,0	2500,0	1:10,0	1:4,00
Devon . . .	Pfaffenborn b. Wiesbaden	103,0	51,0	8,0	1:12,80	1:6,40
Lettenkohle .	Sommershausen in Bayern	400,0	—	37,0	1:23,5	—
Kreide . . .	Vannequelle, Paris	1129,0	200—300	37,0	1:30,62	1:5,4:8,1
Weißer Jura .	Blautopfquelle	14000,0	1500—1800	350,0	1:40	1:4,3-5,1

Im Gegensatz zur Ramseiquelle zeigt die aus klüftigen Spaltenzügen kommende Rhumequelle im Harz einen außerordentlich schwankenden Gang, der, wie aus Abb. 28 hervorgeht, ganz deutlich von den Niederschlagshöhen beeinflusst wird.

Vergleicht man die Grenzwerte der Mengenschwankungen der aus filtrierendem Material einerseits und aus klüftigem Gebirge andererseits kommenden Quellarten, so ergibt sich, daß bei Quellen, die aus Sand, Kies und Sandsteinen kommen, das Verhältnis Q_{\min} zu Q_{\max} etwa zwischen 1:1,2 und 1:8,5, bei klüftigen Gebirgen dagegen zwischen 1:8,8 und 1:40 liegt. Es hat also eine gewisse Berechtigung, wenn be-

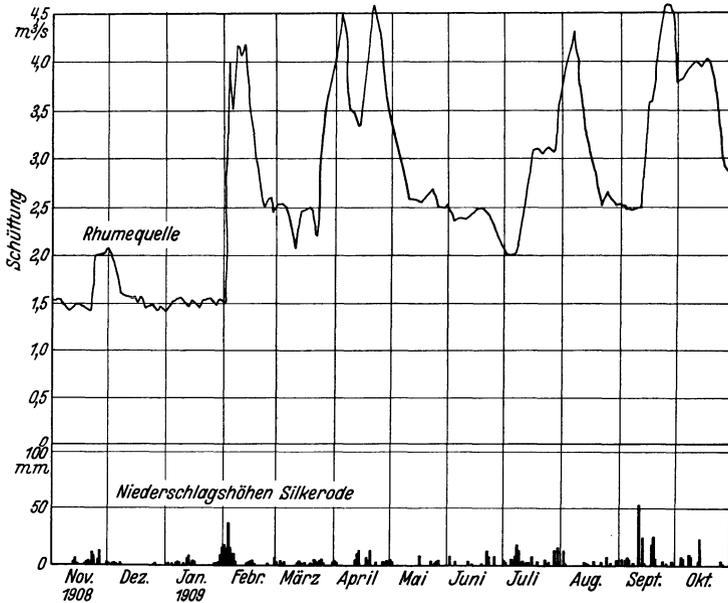


Abb. 28. Schüttungsgang der Rhumequelle im Harz. (Nach Thürnau.)

hauptet wird, daß Quellen, deren Mengen zwischen 1:1 bis 1:8 schwanken, gut sind, dagegen Quellschwankungen, die über 1:8 hinausgehen, auf verdächtige Quellen hindeuten.

Die in den vorstehenden Tabellen 3 und 4 gegebenen Verhältniszahlen zwischen höchster und kleinster Quellschüttung in Abhängigkeit von der geologischen Bildung haben aber keine allgemeine Gültigkeit, da in ein und derselben Bildung erfahrungsgemäß Quellen mit großen Mengenschwankungen und im Gegensatz hierzu solche mit gleichmäßigem Erguß vorkommen. Es ist dies wohl vielfach die Folge der Verschiedenheit der Durchlässigkeit bzw. Klüftigkeit und daher auch des abwechselnden Aufspeicherungs- bzw. Rückhaltungsvermögens des wasserführenden Gebirges. Auch der Austrittsquerschnitt einer Quelle spielt eine Rolle, insbesondere, wenn der Auslauf eng und röhrenförmig ist. Dann fließt die Quelle fast gleichmäßig ab.

So weisen z. B. die im Muschelkalk entspringenden Alten Stadtquellen von Würzburg (26) Schwankungen von 70—170 sl auf (1:2,43), während die aus derselben Bildung kommenden Zeller Quellen durch einen nahezu gleichbleibenden Erguß sich kennzeichnen. Es betrug die Schüttung der Zeller Quellen im Jahresdurchschnitt

1900 . . .	102,00 sl	1907 . . .	117,80 sl
1901 . . .	106,80 „	1908 . . .	108,80 „
1902 . . .	119,10 „	1909 . . .	102,50 „
1903 . . .	98,70 „	1910 . . .	116,70 „
1904 . . .	106,00 „	1911 . . .	114,10 „
1905 . . .	103,20 „	1912 . . .	104,80 „
1906 . . .	115,00 „	1913 . . .	105,01 „

14. Ableitung der wahrscheinlich kleinsten Quellschüttung.

Soll das durch eine Quelle versorgte Gebiet keinen Wassermangel leiden, so muß die kleinste Quellschüttung den höchsten Sommerbedarf decken können. Es ist daher die Ermittlung der kleinsten Quellschüttung, die in der Regel in den Sommer fällt, eine der wichtigsten Aufgaben des Hydrologen. Hat der Hydrologe das Glück, daß in die Zeit seiner hydrologischen Erhebungen eine Zeit hoher Sommerdürre fällt, so ist es unschwer, durch Messung das richtige Maß der kleinsten Quellschüttung zu ermitteln, weil dann die minderwertigen Quellen versiegen und nur die brauchbaren übrigbleiben. Ist es aber unmöglich, die hydrologischen Erhebungen zeitlich so weit auszudehnen, daß man auch über ein Beobachtungsjahr hoher Sommerdürre verfügt, so kann man sich unter Umständen brauchbare Zahlen durch Vergleich mit bekannten Kleinstschüttungen benachbarter Quellgebiete verschaffen, die möglichst der gleichen geologischen Bildung angehören. Ist auch die Beeinflussung benachbarter Quellgebiete durch Regen keine ganz gleichsinnige, so findet doch in der Regel in regenarmer Zeit ein Parallelgang der Ergiebigkeit statt, weil die Quellspeisung nur aus dem in den Hohlräumen aufgespeicherten Wasservorrat erfolgt.

Als Beispiel eines solchen Verlaufs können nach Holler (27) die Messungen an einer Lettenkohlenquelle bei Fuchsstadt in Unterfranken und der Quelle in Sommershausen gelten. Wie aus nachstehender Zusammenstellung hervorgeht, hat die Schüttung der Quelle in Sommershausen im Dezember 1909 ein Mindestmaß erreicht. Für diese Zeit fehlt ein Meßergebnis bei der Quelle von Fuchsstadt.

Tabelle 5.

Datum der Messung	Schüttung l/m		Bemerkung
	Sommershausen	Fuchsstadt	
15. März 1907	210	210	In Fuchsstadt dürfte nach Abb. 29 mit einem Rückgang der Schüttung auf 50—60 l/m zu rechnen sein.
17. April 1909	39	91	
Dezember 1909	17	fehlt	
5. Juli 1911	155	202	
29. April 1913	65	110	

Trägt man die Beobachtungsergebnisse graphisch auf Koordinatenpapier mit logarithmischer Einteilung auf (Abb. 29), so ergibt sich daraus angenähert für die Quelle bei Fuchsstadt eine kleinste Schüttung von 50–60 l/m.

Ein besonderes Verfahren zur rechnerischen Ermittlung der kleinsten Schüttung stammt von Huber (28). Nach Huber liegt hinter jeder Quelle im speisenden Gebirge ein Füllraum, der die Gestalt eines weitverzweigten, unregelmäßig gestalteten Wegnetzes besitzt. Da der Hohlraum dieses Wegnetzes innerhalb praktisch in Frage kommender Zeiträume unveränderlich ist, so muß sich seine Entleerung rechnerisch verfolgen und durch ein Gesetz mathematisch ausdrücken lassen. Dann muß es möglich sein, die Schüttung einer Quelle zu einem bestimmten Zeitpunkt rechnerisch zu ermitteln, vorausgesetzt, daß durch erneute Zuflüsse (Nieder-

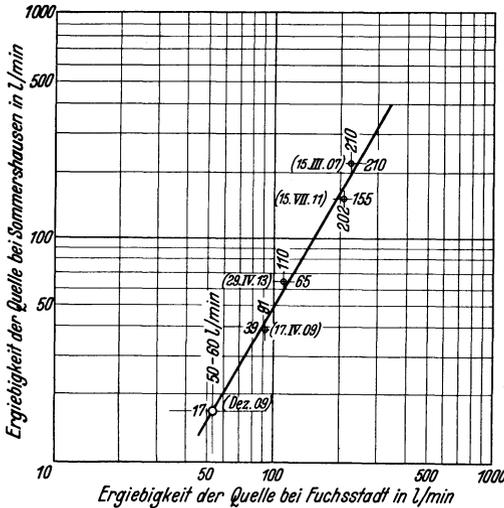


Abb. 29. Graphische Ableitung einer kleinsten Quellschüttung.

schläge) keine Änderung der im Füllraum aufgespeicherten Wassermasse stattfindet.

Da die verschiedenen Quellen verschiedene Füllräume (nach Größe und Gestalt) haben, so kann es für Quellen, die durch unterirdische Wasserläufe gespeist werden, auch kein einheitliches Entleerungsgesetz geben; jede Quelle hat ihr besonderes Ergiebigkeits- bzw. Entleerungsgesetz. Huber hat für eine Anzahl von Quellen Schüttungskurven beobachtet und rechnerisch ausgewertet. Er kommt zu dem Ergebnis, daß sich den meisten Schüttungskurven eine logarithmische Kurve *n*ter Ordnung anpassen läßt (Abb. 30). Die Fläche *abcd* stellt dabei die Menge des in den Hohlräumen angesammelt gewesenen Wassers dar.

Die Gleichung der Schüttungskurve lautet:

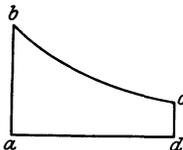


Abb. 30. Schüttungskurve einer Quelle zu regenloser Zeit.

$$q = q_0 a^{-t} = q_0 e^{-kt}$$

oder

$$\log q = \log q_0 - t \log a$$

$$\log q = \log q_0 - nt,$$

worin *q* die Abflußmenge zu einer beliebigen Zeit *t*, *q*₀ die zur Zeit *t*₀ beobachtete Schüttung, *n* eine durch Beobachtung zu ermittelnde Konstante, *a* die Basis der Briggschen Logarithmen und *e* die Basis der natürlichen Logarithmen sind.

In der Form

$$\log q = \log q_0 - nt$$

ist das Gesetz als Gerade darstellbar, wenn t als Abszisse und $\log q$ als Ordinate gewählt werden. Es genügen also zur Ermittlung des Gesetzes zwei Beobachtungen der Schüttung, da durch die beiden dadurch gegebenen Punkte die Gerade festgelegt ist. Voraussetzung ist, daß durch Niederschläge keine Störung des Abflusses stattfindet. Die so ermittelte Gerade gestattet, den Logarithmus der Schüttungsmenge zu einer beliebigen Zeit zu ermitteln und damit die Schüttungsmenge selbst (Abb. 31).

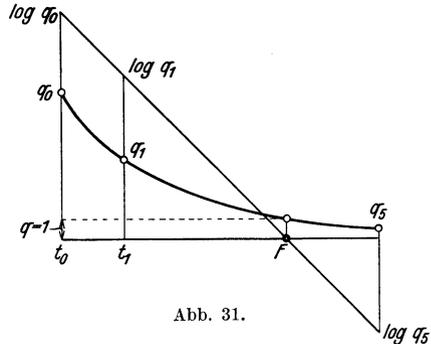


Abb. 31.

Dort, wo die Gerade die Abszissenachse schneidet, also im Punkte F , wird der $\log q = 0$, also $q = 1$. Wir erhalten damit den Zeitpunkt, in dem die Schüttung der Quelle auf den Wert 1 der gewählten Maßeinheit (z. B. Sekundenliter) gesunken ist. Mit diesem Verfahren hat Röhrer (20) das Schüttungsgesetz des sog. Jacobsbrunnens bei Pforzheim aus Beobachtungen im Jahr 1907 mit

$$\log q = 1,56937 - 0,005436 \cdot t$$

ermittelt (Abb. 32). Die Rechnung ergibt, daß die Schüttung auf 1 sl (bei Fortfall von Niederschlag) in 289 Tagen fallen würde.

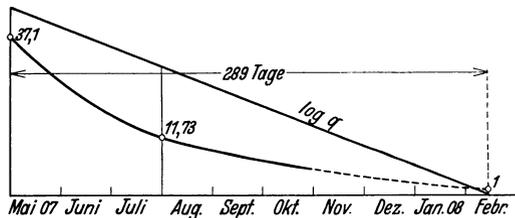


Abb. 32. Schüttungsmengen des Jacobsbrunnens. (Nach Röhrer.)

Im allgemeinen wird auch zur Zeit der Sommerdürre dann und wann ein Niederschlag fallen.

Setzt z. B. im Punkt b (Abb. 33) Regen ein, so steigt die Abflußmenge nach der Linie bc und sinkt beim Nachlassen des Regens nach einer Kurve, deren Gesetz schon durch die Kurve aba_1 ausgedrückt ist. Bei wiederholtem Regen entsteht eine ganze Kurvenschar, deren einzelne Äste sich infolge des Regens auf der Abszissenachse verschieben. Daraus folgt, daß durch jeden Regen die stets gleichbleibende Abflußkurve einfach horizontal weiterschoben wird.

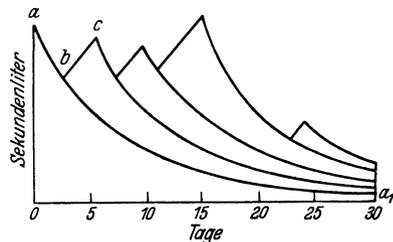


Abb. 33. Schüttungskurven einer Quelle bei wiederholt einsetzendem Regen.

15. Kleinster Quellabfluß je Quadratkilometer Niederschlagsgebiet in Abhängigkeit von der Gesteinsart.

Die Quellbildung hängt in erster Linie davon ab, ob das Muttergestein entweder undurchlässig oder durchlässig ist. Undurchlässig sind Tone, Mergel, Schiefer und die kristallinen Massen- und Schiefergesteine, soweit ihr ursprüngliches festes Gefüge erhalten ist. Als durchlässig können gelten alle geschichteten, zertrümmerten und vom Wasser ausgehöhlten Gebirgsarten mit Spalten und Klüften. Der Einfluß der besonderen Gesteinsart auf die Ergiebigkeit der Quellen geht aus nachstehenden Beobachtungen von Huber (29) hervor.

Tabelle 6. Kleinste Ergiebigkeit einiger Quellbäche.

Nr.	Gegend	Bewaldung	Geol. Gepräge	Quellabfluß in sl je km ²
1	Reichenberg i. Böhmen .	gut	Tonschiefer	0,41— 0,51
2	„ „ „ .	„	Granit	0,10— 3,52
3	„ „ „ .	„	Kambrium	0,34— 1,92
4	„ „ „ .	„	Kristalliner Kalk	7,03— 7,15
5	Karlsbad i. Böhmen . .	„	Gneisglimmerschiefer	1,05— 2,59
6	Hermannstadt	„	Gneis	6,54—13,79
7	„	spärlich	„	3,11

Daß die Ergiebigkeit des Granits bis auf Null sinken kann, erklärt sich daraus, daß seine Klüftigkeit oft trotz aller Schiebungen und Pressungen, die anlässlich seiner Hebung vorgekommen sind, gering geblieben ist. Und wo Klüftigkeit vorhanden ist, wird sie durch die Einschwemmung von Verwitterungserzeugnissen ausgefüllt, so daß die Wasserführung der Klüftigkeit wieder verschwindet. Das ist nach Huber (29) der Grund, warum oft auf den Hochflächen der Granitgebirge Hochmoore sich entwickeln, die dann allerdings als Wassersammler und Speiser hochliegender Quellen von hervorragender Bedeutung sind.

Die in der vorstehenden Zusammenstellung gegebenen Vergleichszahlen gelten selbstredend nur für solche Quellen, die von einem einzigen Niederschlagsgebiet gespeist werden. Es gibt aber auch Fälle, wo die unbekannt unterirdischen Wasserwege benachbarte Quellgebiete miteinander verbinden. Solche Zusammenhänge lassen sich durch Quellmessungen nachweisen, wie Huber (29) an folgenden Beispielen nachgewiesen hat.

Tabelle 7.

Nr.	Quellgebiet	Geologische Bildung	Niederschlags- gebiet km ²	Kleinster Abfluß sl/km ²
1	Quelle 28 bis 31 (Kopytna- bach b. Teschen)	Godulasandstein	0,003	0,495
2	Quelle 49 (Rzekabach b. Teschen)			
3	Zechenwasser bei Reichen- berg i. Böhmen	Kristalliner Kalk	0,050	5,900

Es ist wohl ausgeschlossen, daß z. B. das Niederschlagsgebiet der Quelle Nr. 2 von nur 0,010 km² einen Kleinstabfluß von 3,0 sl liefern könnte. Man muß aus den Zahlen schließen, daß das Wasser nicht im eigenen Niederschlagsgebiet seinen Ursprung haben kann, sondern aus benachbartem Gebiet angereichert wird.

16. Schwächung und Absterben von Quellen.

Eine Schwächung von Quellen kann verursacht werden durch Stau, teilweise oder gänzliche Verlegung der Quellwege mit Sand, Ton und anderem Schwemmgut, Einstürze, Durchbruch der wassertragenden Sohle, wodurch Wasser in die Tiefe absinken kann, ferner Sinterung, Abholzung von Wäldern, unzureichende Fassung u. dgl.

Schwächung der Ergiebigkeit einer Hauptquelle kann auch entstehen, wenn z. B. eine durchlässige Hochfläche

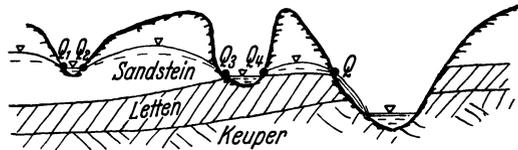


Abb. 34. Schwächung einer Quelle durch Zerschneidung einer Hochfläche.

(Abb. 34) durch kleine Erosionstäler so tief zerschnitten wird, daß der Wasserspiegel angetitzt wird. Dann wird durch die Quellen Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 der Hauptquelle Q ein Teil ihrer Schüttung entzogen, und dies kann sich bei fortschreitender Erosion sogar zum Versiegen der Quelle Q steigern. Manche Quellen arbeiten langsam an einer Zerstörung ihres Einzugsgebietes bis zum völligen Absterben des Quellergusses. Dies geschieht in der Weise, daß durch das zutage tretende Wasser die Bodenschichten aufgeweicht, unterwaschen, zum Einsturz gebracht und fortgespült werden. Die Folge dieser Vorgänge ist ein fortschreitendes Rückwärtsverlegen des Quellauslaufs. Das Einzugsgebiet der Quelle wird immer kleiner, die Quellschüttung nimmt ab, bis schließlich das ganze Quellgebiet abgestorben ist.

17. Einteilung der Quellarten.

A. Unterscheidung nach Art der wasserführenden Schichten.

Wie wir im Abschnitt 5B erörtert haben, empfiehlt es sich sowohl aus rein geohydrologischen Gründen als auch vom Standpunkt der Gesundheitslehre aus, zunächst die Quellen in zwei Hauptgruppen zu unterteilen, und zwar in

1. Quellen, die durch Grundwasser und
2. Quellen, die durch unterirdische Wasserläufe gespeist werden.

Erstere erhalten ihr Wasser aus Sanden, Kiesen und Schottern, die als lose Trümmergesteine oder Schutt bezeichnet werden, und man kann sie deshalb auch mit dem Namen Grundwasser- oder Schuttquellen belegen.

Letzteren wird das Wasser aus den Spalten und Klüften des festen Gebirges zugeführt, und man kann sie auch als Kluft- oder Bergquellen bezeichnen.

Die beiden Unterscheidungen tragen der Herkunft des Wassers bzw. der unterschiedlichen Beschaffenheit der Speisegebiete Rechnung.

B. Unterscheidung nach Ursache und Art des Zutagetretens.

Will man bei der Einteilung der Quellen die Ursache und Art ihres Zutagetretens, wie dies meist geschieht, in den Vordergrund stellen, so kann man im großen und ganzen unterscheiden:

1. Schichtquellen,
2. Stauquellen,
3. Überlauf- und Überfallquellen,
4. Spaltquellen und
5. Verwerfungsquellen.

Die nachstehende Abb. 35 gibt eine Übersicht der geologisch-hydrologischen Verhältnisse ihres Zutagetretens.

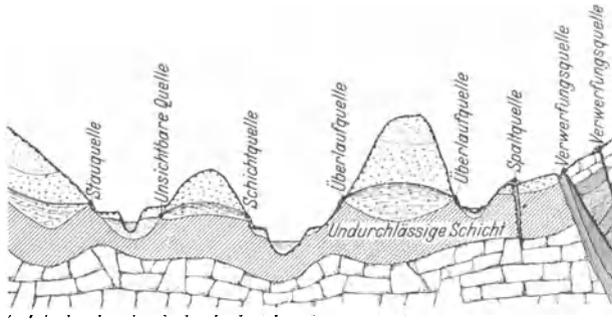


Abb. 35. Übersicht der geologisch-hydrologischen Verhältnisse von Schicht-, Stau-, Überlauf-, Spalt- und Verwerfungsquellen.

18. Quellen, die durch Grundwasser gespeist werden.

A. Allgemeines.

Die aus Trümmergesteinen hervorkommenden Grundwasserquellen sind schon deshalb die am meisten verbreitete Quellart, weil Trümmergesteine, also Sand, Kies und sonstige Gerölle sowie poröse Konglomerate und Sandsteine allgemein und weit verbreitet sind. Wasserführende Geschiebe finden sich sowohl in den Niederungen in Gestalt alluvialer und diluvialer Ablagerungen als auch im Gebirge, wo sie die Talsohlen ausfüllen und als Gehängeschutt die Talflanken bedecken. Konglomerate aus Sandstein bilden vielfach ausgedehnte Gebirgsmassen.

In Niederungen treten die Grundwasserquellen, die man auch als Grundwasseraufstöße bezeichnet, häufig in Gestalt zahlreicher, feiner Quellfäden zutage, die obersten Erdschichten aufweichend und sie in quelligen Zustand versetzend. Es kommt dann zur Bildung von Grundwassersümpfen. Dort, wo der aus Trümmergesteinen bestehende wasserführende Untergrund sichtbar in Gestalt von mehr oder weniger großen Quellenausbrüchen entwässert, finden wir die Grundwasserquellen vielfach zu ganzen Quellgruppen geschart. Zahlreiche Grundwasserquellen

werden indessen der Wahrnehmung dadurch entzogen, daß sie auf dem Boden oder in den Seitenwänden oberirdischer Wasserläufe austreten.

Die in den Niederungen auftretenden Grundwasserquellen sind in der Regel trotz ihrer bedeutenden Wasserführung unscheinbar im Vergleich zu Höhenquellen, die, wenn sie aus Felsspalten hervorbrechen und kaskadenartig über Felswände herabstürzend, das Auge des Beobachters fesseln und in seiner Erinnerung als schöne Naturerscheinung dauernd fortleben. Aus der Unscheinbarkeit der Grundwasserquellen erklärt sich, daß man so wenig von ihnen spricht. Sie sind meist nur dem Hydrologen bekannt. Wie gewaltig die in unscheinbaren Grundwasseraufstößen zutage tretenden Grundwassermengen sein können, beweisen die Aufstöße im Emmental oberhalb Burgdorf, deren Schüttung auf 3300 sl geschätzt wird.

Einen Übergang vom Oberflächenwasser zu den Grundwasserquellen bildet das sog.

B. Qualmwasser,

dessen Zutagetreten auch mit dem Namen Blänken bezeichnet wird.

Nach Koehne (30) bezeichnet man als Qualmwasser Grundwasser, das in einem eingedeichten Gebiet durch den vom Fluß her wirkenden Überdruck hochgepreßt und zum Ausquellen gezwungen wird, wobei das Flußwasser in den Untergrund einströmt und das austretende Grundwasser fortlaufend ersetzt. Das Qualmwasser ist eine besondere Erscheinung des eingedeichten Polderlandes (Abb. 36).

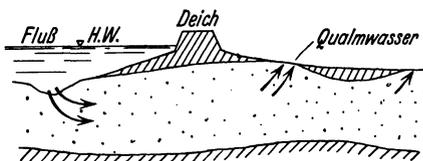


Abb. 36. Entstehung von Qualmwasser.
(Nach Schirmer.)

Nach Schirmer (31) beginnt das Qualmwasser im wesentlichen Umfang bei den meisten Deichen erst, wenn das Außenwasser die Geländelage binnendeichs um das Maß von etwa 0,5–1,0 m übersteigt. Bei Deichen an den mitteldeutschen Strömen, wo meist mit 20–40 cm Sand unter den Deichen gerechnet werden muß, kann man den Qualmwasserandrang je Meter Höhenunterschied und je Kilometer Länge bei Deichen auf wenig qualmendem Boden mit etwa 10–15 sl/km, bei Deichen auf mittelmäßigem Untergrund mit etwa 30 sl/km, bei Deichen auf schlechtem Untergrund mit 50 sl/km und mehr annehmen (Elbe und Oder). Die Qualm Spitze folgt der Hochwasserwelle mit einer Verzögerung von einigen Tagen.

C. Reine Grundwasserquellen, Grundwasseraufstöße.

Das Zutagetreten von Grundwasser in Gestalt von einzelnen Quellen in Niederungen wird meist verursacht durch Verminderung der grundwasserführenden Schicht infolge Einengens des Durchflußprofils. Diese Einengung kann entweder durch Hebung der undurchlässigen Sohle oder durch seitliches Zusammenziehen der undurchlässigen Wände des Gerinnes verursacht werden. Haben wir z. B. eine wasserführende Schicht, die im Querschnitt AA_1 die Durchflußhöhe H hat (Abb. 37) und ver-

ringert sich im Querschnitt BB_1 die Durchflußhöhe auf die Größe h , so ist der Untergrund nicht mehr in der Lage, das gesamte Wasser fortzuleiten. Es wird ein Teil des unterirdischen Wassers zum Austritt an die Oberfläche gezwungen und so die Quelle Q entstehen. Der durch die Quelle nicht zutage tretende Teil des Wassers setzt seinen Weg unterirdisch fort.

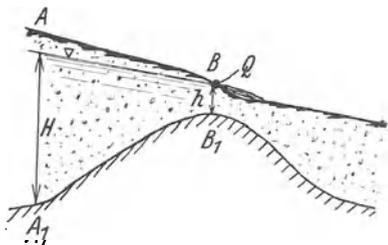


Abb. 37. Entstehung einer Grundwasserquelle durch Hebung der undurchlässigen Sohle.

Keilt die undurchlässige Schicht gänzlich zutage aus, so wird das gesamte Wasser zum Austritt in der Quelle gezwungen. Eine Übersättigung des Durchflußquerschnittes tritt auch ein, wenn das natürliche Gefälle der Erdoberfläche stärker als das Grundwassergefälle wächst oder wenn durch den plötzlichen Gefällsbruch eines Flusses die wasserführenden Schichten ausgeschnitten werden.

Das infolge einer Übersättigung des Durchflußquerschnittes zutage tretende Grundwasser bildet Quellen, die man nach Hug (32), wie bereits

erwähnt, auch als Grundwasseraufstöße bezeichnet (Abb. 38). Der geringe hydraulische Überdruck, welcher das Zutagetreten des Grundwassers bewirkt, verursacht oft ein pulsierendes Aufstoßen des Grundwassers, das von einem Aufwirbeln feiner Sandteile begleitet wird. Mitunter werden durch das Aufstoßen auch feine Schlammteile emporgewirbelt und dadurch deutlich sichtbare wolkenartige Trübungen des Quellwassers erzeugt. Nehmen die Grundwasseraufstöße größere Abmessungen an, so entstehen ganze Quellseen oder Quellbecken (Abb. 39).

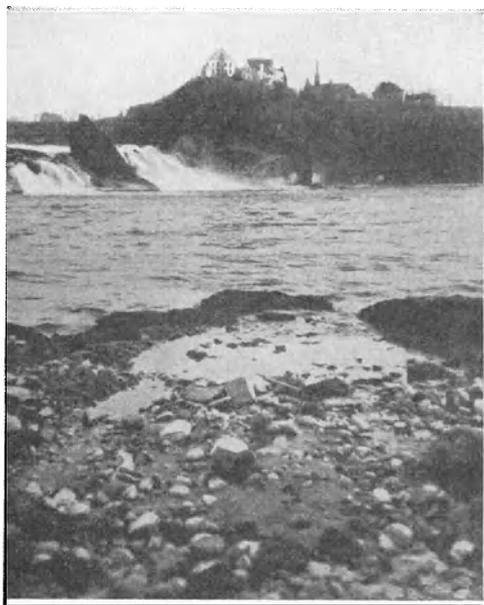


Abb. 38. Grundwasseraufstöße am rechten Rheinufer unterhalb des Rheinfalls. (Nach L. J. Hug.)

Eine Einschnürung des Durchflußquerschnitts durch festes, mehr oder weniger undurchlässiges Gebirge ist in der Regel die Ursache von Quellbildung oberhalb der Einschnürung. So rieselt nach Hug (33) unterhalb Rietheim im Rheintal und oberhalb einer schmalen Schlucht, deren Wände triasische Felsschichten bilden, auf einer Flächenaus-

dehnung von einigen Aren im Winter das warme Grundwasser auf völlig schnee- und eisfreiem Flußufer in zahlreichen Quellen zutage (Abb. 40). Nach demselben Beobachter spielt auch bei den Quellen von Ober-



Abb. 39. Quellbecken beim Kundolfingerhof (Diesenhofen). (Nach J. Hug.) (Schüttung=75 sl.)

Entfelden die Einschnürung der Talsohle (von 2 km auf 1 km auf einer Strecke von mehr als 3 km) sowie bei der großen Quelle bei Ramsei (Wasserversorgung der Stadt Bern) die quellerzeugende Rolle. Die Einschnürung des Grundwasserstromquerschnitts kann indessen bei gleichbleibender Talbreite auch in lotrechter Richtung des Querschnitts erfolgen. Ein solcher Fall liegt nach Hug (33) bei Rohr, wo der Wasserüberschuß am Fuße einer Felsterrasse abgestoßen wird.

Steigerung der Grundwasserführung in einem Grundwasserbett durch Zufluß eines seitlichen Grundwasserstroms kann ebenfalls zur Quellbildung führen. Aus diesem Grunde sieht man beispielsweise bei Suhr oberhalb der Vereinigungsstelle der aus dem Suhr- und Wynetal

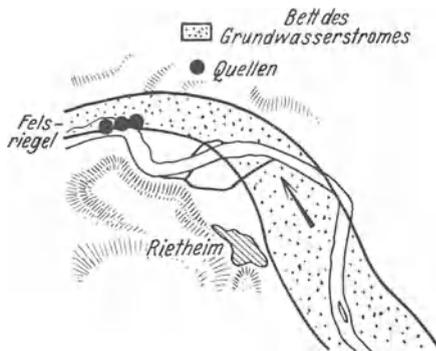


Abb. 40. Entstehung von Quellen bei Rietheim durch Einschnürung des Grundwasserträgers. (Nach J. Hug.)

kommenden Grundwasserströme zahlreiche Quellbildungen (Abb. 41). Verstärkt wird hier die Quellbildung noch durch eine Taleinschnürung unterhalb Suhr. Entsprechend der allmählichen Einschnürung vollzieht sich der Austritt des Grundwassers in Gestalt von Quellen ebenfalls nur allmählich. Die Quellen beginnen fast unmerklich, setzen sich aber auf einer Strecke von fast 3 km fast ununterbrochen fort.

Auch die Winkelmattquellen, welche für die Stadt Bern gefaßt sind, verdanken ihre Entstehung dem Zusammenfließen bzw. Stauen zweier Grundwasserströme im Schotterquerschnitt von Emmenmatt.

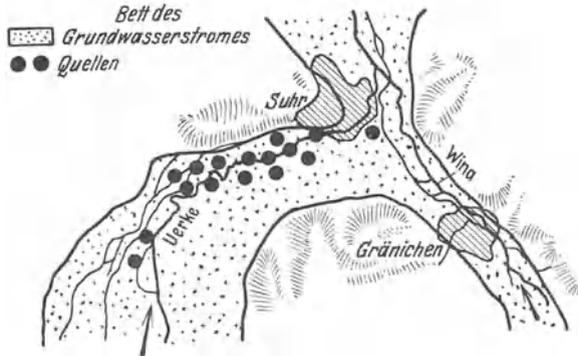


Abb. 41. Quellbildung oberhalb Suhr, veranlaßt durch das Vereinigen zweier Grundwasserströme. (Nach J. Hug.)

Es kommt auch vor, daß sich starke Quellen am äußersten Rande eines Talbodens, am Fuß der angrenzenden Felswände zeigen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Fluß infolge geringen Gefälles Geschiebe



Abb. 42. Die obersten Quellen der Stillen Reuß bei Erstfeld. (Nach J. Hug.)

ablagert und so sein Bett laufend erhöht. Auf diese Weise wird der Grundwasserspiegel der Talsohle zunehmend abgedeckt und werden seine Austritte an die Talflanke gedrängt. Derartige Quellbildungen zeigen nach Hug (33) die obersten Quellen der Stillen Reuß (Abb. 42).

D. Schuttquellen.

Am Fuß der Gebirge findet sich häufig Schutt, aus dem Grundwasser in Gestalt von Schuttquellen hervorbricht (Abb. 43).

Im Gebirge selbst kommt regelmäßig Geländeschutt vor, der festen Gebirgen angelagert ist und durch welchen mitunter aus Spalten und

Klüften tretende Bergquellen verschleiert werden (Abb. 44). Die durch die Vorlagerungen des Gebirgsschutts fließenden Quellwässer erleiden



Abb. 43. Schuttquelle unterhalb des Manhart (Julische Alpen). (Aufnahme von Rumpel.)

in den mehr oder weniger feinen Geröllen starke Verzögerung. Dies ist von großer hydrologischer Bedeutung, da die Schuttquellen infolge dieser Verzögerung häufig die trockenen Jahreszeiten überdauern und so regulierend auf die Wasserführung der von ihnen gespeisten Bäche einwirken. Die direkt auf die Schutthalde fallenden Niederschläge vermehren die Schüttung der Quelle Q_2 .

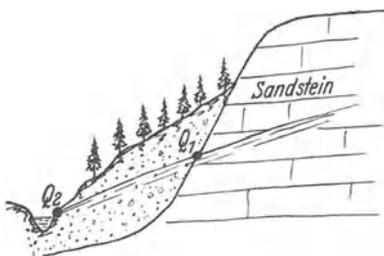


Abb. 44. Durch Schutt verschleierte Bergquelle.

19. Quellen, die durch unterirdische Wasserläufe gespeist werden.

Quellen, die von unterirdischen Wasserläufen gespeist werden, sind je nach Herkunft der letzteren, der Beschaffenheit des Speisegebietes, des unterirdischen Weges, den sie zurücklegen, und der Art ihres Austritts so mannigfaltig, daß sie sich in ein System kaum einordnen lassen. Von ihnen gilt insbesondere der Satz: „Jede Quelle ist ein Einzelwesen für sich.“

20. Quellen, gesondert nach Art ihres Zutagetretens.

A. Schichtquellen



Abb. 45. Schichtquellen in einem Synklinaltal.

entspringen auf undurchlässigen Schichten, die gegen einen Talhang Gefälle haben. Bei Tälern mit synklinalen Schichten (Abb. 45) treten in der Regel Schichtquellen auf beiden Talseiten auf.

Als typische Schichtquellen seien angeführt nach Reuter (34) die Quellen im Vilstal (Oberpfalz) — (Abb. 46).



Abb. 46. Schichtquellen im Vilstal. (Nach Reuter.)

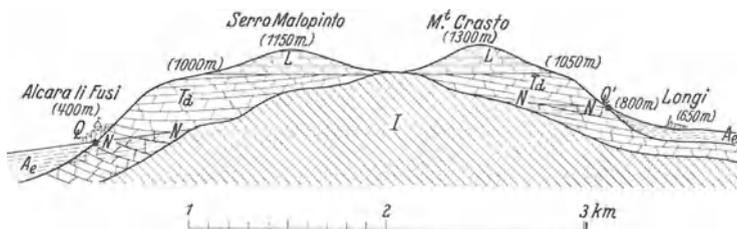


Abb. 47.

Abb. 47. Schichtquellen von Alcara und Longi.

(Nach Giordano.)

I Schiefer des unteren Silurs;
Ta Dolomit der Trias;
L Lias;
Ae eocäne Tone;
N-N' Grenze der Wasserführung;
Q, Q' Quellen von Alcara und Longi.

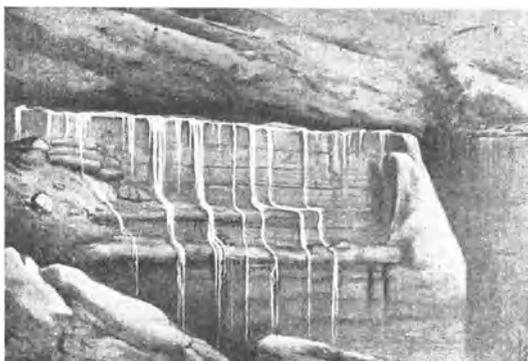


Abb. 48. Schichtquellen.
 (Nach Mager.)

Die Schichtquellen von Alcara und Longi (Abb. 47) auf Sizilien entspringen Kalken. Die wassertragende Sohle bildet Silur.

Die Schichtfuge zwischen undurchlässiger und durchlässiger Schicht tritt besonders scharf in Erscheinung in Abb. 48.

Abb. 49 zeigt dreifach übereinandergelagerte Schichtquellen in der Weberschlucht (Böhmisch-Sächsische Schweiz).



Abb. 49. Dreifach übereinandergelagerte Schichtquellen in der Weberschlucht. (Aufnahme von Reissmann.)

B. Stauquellen.

Wird der Grundwasserträger teilweise oder gänzlich bis zur wassertragenden Sohle von wenig oder ganz undurchlässigen Schichten unterbrochen, so entsteht eine Art von unterirdischer Staubildung, die das Grundwasser entweder teilweise oder gänzlich zum Austritt an die Oberfläche zwingt (Abb. 50 und 51). Die so entstehenden Quellen nennt man Stau- (Barriere-) Quellen. Bei einer nur teilweisen Einschnürung der Wasserwege wird nur ein Teil des vom Untergrund geführten Wassers

in Gestalt einer Quelle zutage treten. Dieser Teilbetrag entspricht der Größe der Einschnürung. Der übriggebliebene Teilbetrag des Wassers setzt seinen Weg unterirdisch fort, und man wird in der Lage sein, durch

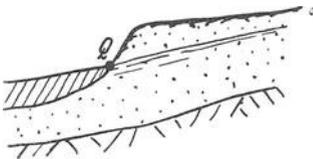


Abb. 50. Stauquelle am Rande einer undurchlässigen Schicht, nur einen Teil der Grundwassermenge zutage fördernd.

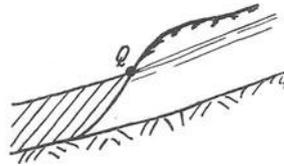


Abb. 51. Stauquelle am Rande einer undurchlässigen Schicht, die gesamte Grundwassermenge abführend.

entsprechende Fassungsmaßnahmen auch das in der Quelle nicht zutage tretende Wasser zu gewinnen. Wird durch das Hindernis der ganze unterirdische Wasserweg verlegt, so muß in der Quelle das gesamte vom Untergrund geführte Wasser oberhalb der Einschnürungsstelle zutage treten. Irgendwelche Fassungsmaßnahmen zwecks Erhöhung

der Quellschüttung haben in diesem Falle keinen Zweck. Quellen, die durch Stau entstehen, sind z. B. die Paderquellen (Abb. 52 und 53).

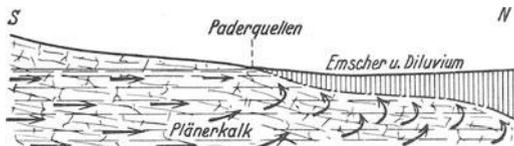


Abb. 52. Entstehung der Paderquellen. (Nach Stille.)

Sie verdanken ihre Entstehung einer undurchlässigen, aus Emscher bzw. Diluvium bestehenden Schwelle, die dem wasserführenden Plänerkalk vorgelagert ist.

Stauquellen können auch dort entstehen, wo die Durchlässigkeit des Untergrundes abnimmt, also z. B. dort, wo grober Sand und

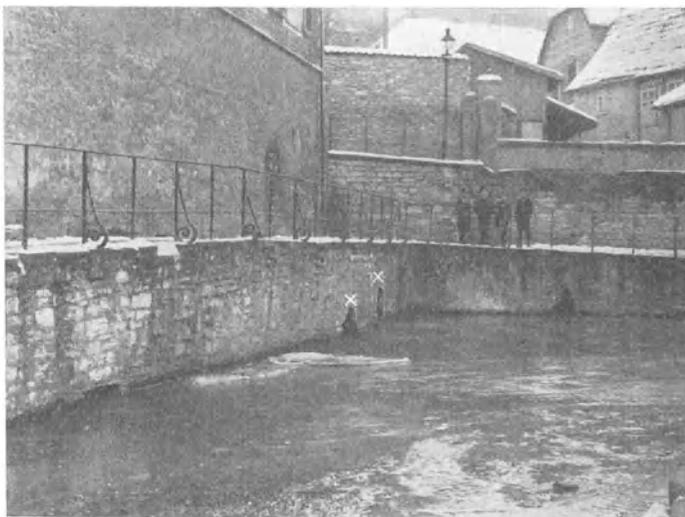


Abb. 53. An der Spülpader. × Quellaustritte.

Kies in feinen Sand übergeht, der der Wasserbewegung einen gesteigerten Widerstand entgegengesetzt.

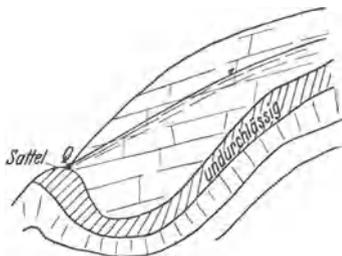


Abb. 54. Überlaufquelle bei Sattelformung.

C. Überlauf- und Überfallquellen¹

werden sich dort bilden, wo das wasserführende Gebirge muldenartig in undurchlässige Schichten eingelagert ist. Die undurchlässigen Schichten stellen dann eine Art wassergefüllte Schüssel dar, welche an den Stellen, wo der Schüsselrand am tiefsten liegt, überfließt. Überlaufquellen können auch dort entstehen, wo die undurchlässige Schicht

sich sattelartig aufbiegt (Abb. 54), so daß der Sattelscheitel eine Art Über-

¹ Hydrologisch streng genommen besteht kaum ein Unterschied zwischen Stau- und Überlauf- bzw. Überfallquellen.

fallwehr darstellt. In beiden Fällen bilden die unterhalb des Wasserspiegels liegenden Wassersäcke unterirdische Vorratsbehälter, die sich durch zweckmäßige Anlage der Fassung wasserwirtschaftlich ausnutzen lassen. Überlaufquellen entstehen ferner dort, wo in den Abzugsklüften wasserführender Höhlen eine starke Verengung des Querschnitts eintritt. Bei Schneeschmelze oder starken Regenfällen staut sich dann das Wasser in der Höhle. Erreicht der gestaute Wasserspiegel ein sonst trockenes Wassergerinne, das ins Freie mündet, so entstehen zeitweilige



Abb. 55. Überlauf- und Schichtquelle, paarweise auftretend. (Nach Holler-Reuter.)

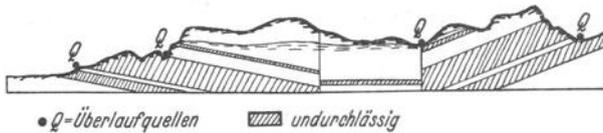


Abb. 56. Schematischer Querschnitt durch den nördlichen Frankenjura. (Nach Reuter.)

Überlaufquellen, welche man als Maibrunnen, Hungerquellen oder intermittierende Quellen bezeichnet (vgl. Abschnitt 21 A: Zeitweilige Quellen S. 58 bis 63).



Abb. 57. Die Quellen des Mangfalltals vor der Fassung.

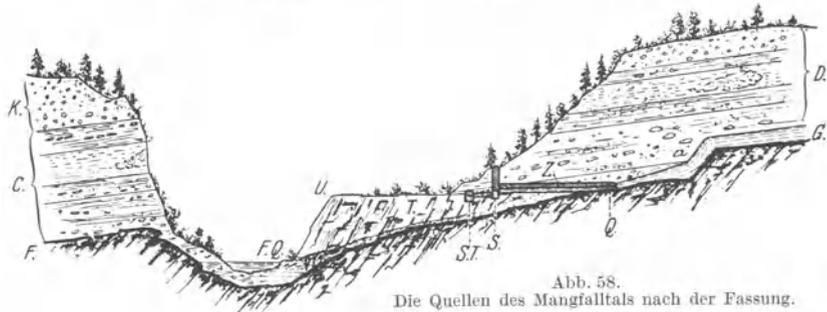


Abb. 58. Die Quellen des Mangfalltals nach der Fassung.

Bei kuppenartiger Gestalt der wasserführenden Schicht und stärkerer Neigung der wassertragenden Sohle kommt es vielfach auf beiden Seiten der Gehänge zur Quellbildung. Es treten dann Schicht- und Überlaufquelle paarweise auf. In der Richtung der Schichtneigung entsteht eine Schichtquelle, auf dem Gegenhang eine Überlaufquelle. Die Schichtquelle liegt tiefer als die Überlaufquelle (Abb. 55). Nach Holler-Reuter (35) rückt mit dem Rückgang des Grundwasserstandes die Wasserscheide immer näher gegen die Austrittsstelle der Überlaufquelle,



Abb. 59. Überlaufquelle im Altmühltal. (Nach Reuter.)

und diese hört auf zu fließen, wenn die

Grundwasserscheide unter ihren Auslauf sinkt. Es ergibt sich aus diesem Verhalten, daß Überlaufquellen in ihrer Schüttungsmenge stärker schwanken müssen als Schichtquellen, und daß sie leicht in trockenen Zeiten versiegen können.

Überlaufquellen können u. a. auch dadurch entstehen, daß beim Absinken des mittleren Teils eines Gebirges die Außenflügel stehenbleiben und gegen das eingebrochene Mittelfeld Neigung erhalten (Abb. 56).

Nach Reuter (36) läßt sich eine solche Senkungserscheinung mit einer Schüssel oder einem Trog vergleichen,

deren durchlässiges Material die Niederschläge so lange verschluckt und aufspeichert, bis das Übermaß des Wassers die Ausgußöffnungen am Rand erreicht und dann in Gestalt von Überlaufquellen abfließt. Da hier das Wasser über die Ränder des Beckens wie über eine Wehrkrone ins Freie tritt, so kann man solche Quellen sowohl Stau- als auch Überfallquellen nennen.

Ein gutes Beispiel der Entstehung von Überlaufquellen infolge eines Hindernisses sind die Mühltaler und Gotzinger Quellen im Mangfalltal oberhalb München. Sie verdanken ihre Entstehung einer undurchlässigen Tuffablagerung, die im Laufe der Zeiten durch das Grundwasser des Hinterlandes zwischen Fluß (Mangfall) und dem durchlässigen Diluvium sich gebildet hat (Abb. 57 und 58).

Im Flußtale erschienen ursprünglich nur die Schichtquellen *FQ*, welche dem Einfallen der Flinzschicht gegen das Mangfall ihre Entstehung

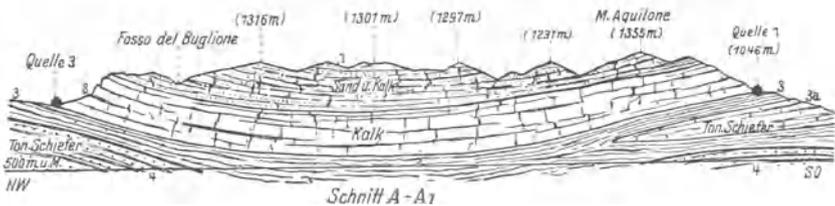
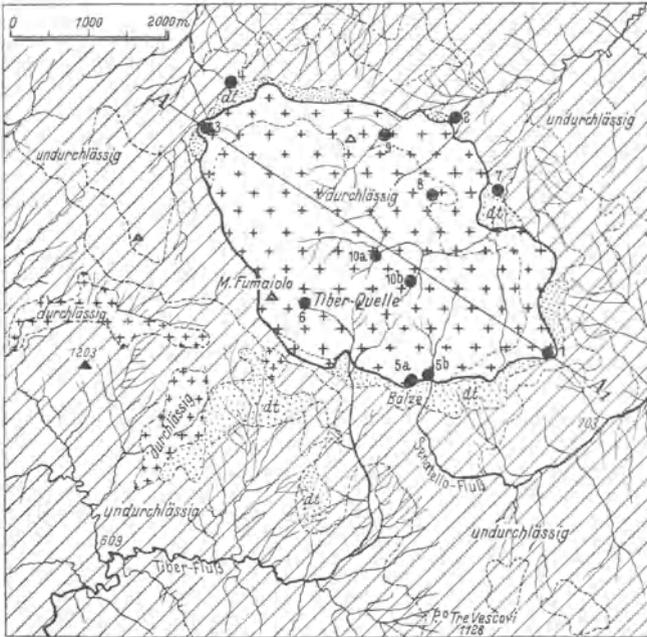


Abb. 60. Die Lage der Tiberquelle und Schnitt A-A₁. (Nach Canavari und Lotti.)

verdanken. Die Quellen *U* sind eine nachträgliche Bildung und verschwanden nach durchgeführter Fassung.

Abb. 59 zeigt die Überlaufquelle im Altmühltal bei Riedenburg. Sie ist die Ursprungsstelle eines Quellbaches. Ihre Ergiebigkeit beträgt einige hundert Sekundelliter.

Auch die Tiberquelle mit der Senatelloquelle sind Überlaufquellen (Abb. 60).

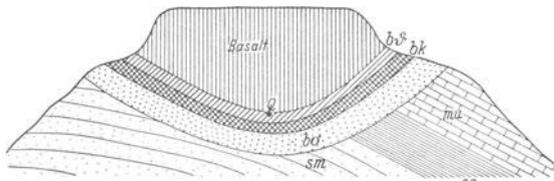


Abb. 61. Überfallquelle am Meißner. (Nach Keilhack.)
mu Unterer Muschelkalk; *so* Röt; *sm* mittl. Buntsandstein; *bs* Sand des Tertiärs; *bk* Kohle des Tertiärs; *bt* Ton des Tertiärs.

Die Tiberquelle liefert 4,2 sl (Meereshöhe 1208 m), die Quelle des Senatello 42 sl (Meereshöhe 1046 m); die übrigen Quellen liefern 3—6 sl.

Ein ausgezeichnetes Beispiel von Überfallquellen bieten nach Keilhack (9) die beiden Seiten der mächtigen Basaltmasse des Meißner (Abb. 61). Der Basalt füllt die schüsselförmige Vertiefung einer tertiären Mulde aus. In fast gleicher Höhe fließt der Wasserüberschuß des Basaltes in Gestalt zweier Quellen aus mit einer Schüttung von je 1200 m³ im Tag ab.

D. Spaltquellen

treten in brüchigem Gebirge auf längs der mehr oder weniger steil gestellten Trennungsflächen. Spaltquellen sind besonders reichlich in Kalkgebirgen, kommen aber auch vor in Eruptivgesteinen und sonstigen spröden Felsarten. Nicht selten sinkt ein Teil des Wassers



Abb. 62. Die Brunnengrabenquelle.



Abb. 63. Die Quelle von Chiria Ayata. (Nach Rolland.)

durch die Spalten in die Tiefe und geht so verloren. Eine typische Spaltquelle ist die Brunnengrabenquelle der Stadt Wien (Abb. 62).

Eine besonders interessante Spaltquelle aus der Wüste Sahara beschreibt Rolland (37). Es ist die Quelle von Chria Ayata, welche aus geklüftetem Sandstein hochkommt (Abb. 63).

E. Verwerfungsquellen

unterscheiden sich von den Spaltquellen nur dadurch, daß hier undurchlässige Schichten gegen durchlässige verschoben sind. Das Wasser wird durch die undurchlässige Verwerfung gestaut und so zum Austritt

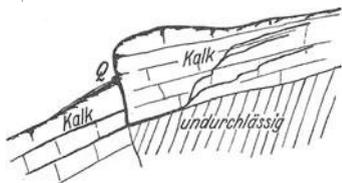


Abb. 64. In einer Verwerfungsspalte aufsteigende Quelle mit teilweiser Entwässerung des Hinterlandes. — In Quelle Q fließt nur ein Teil des unterirdischen Wassers ab, ein Teil geht durch den unterhalb der Quelle anstehenden klüftigen Kalk verloren.

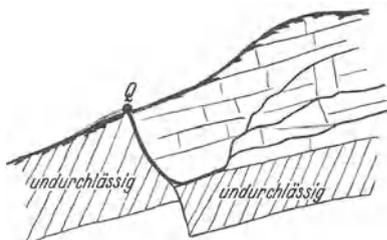


Abb. 65. In einer Verwerfungsspalte auftretende Quelle mit vollständiger Entwässerung des Hinterlandes. — In Quelle Q wird dagegen das gesamte Wasser zutage gefördert.

gezwungen. Man könnte aus diesem Grunde die Verwerfungsquellen auch zu den Stauquellen rechnen.



Abb. 66. Der Kläfferbrunnen.

Bei Verwerfungsquellen bietet die durch eine Verwerfung entstehende Kluft dem Wasser einen verhältnismäßig reibungslosen, bequemen Ausweg ins Freie, durch den entweder das ganze Wasser des Einzugsgebiets

oder auch nur ein Teil desselben als Quelle zutage tritt. Vielfach setzt ein Teil des Wassers seinen unterirdischen Weg fort, doch kommt es auch vor, daß durch die Verwerfungsspalte Wasser in die Tiefe abgeleitet wird (Abb. 64). Derartige Quellen könnte man auch als Kluft- oder Spaltquellen bezeichnen.

Wird infolge Hebung oder Abgleitung eine undurchlässige Schicht dem durchlässigen Gebirge so vorgelagert, daß dem Wasser der ganze Weg nach abwärts gesperrt wird, so wird, wie in Abb. 65 dargestellt, das gesamte Wasser des tributären Hinterlandes durch die Quelle zutage gefördert.

Eine durch Verwerfung entstandene Quelle ist der sog. Kläfferbrunnen der Stadt Wien (Abb. 66).

Schichtquellen, Stauquellen, Spaltquellen und Verwerfungsquellen führen im allgemeinen ständig Wasser, wenn auch ihre Schüttung in vielen Fällen in weit auseinandergehenden Grenzen schwankt. Überlaufquellen sind dagegen oft unzuverlässig in ihrer Wasserspende. Sie versagen mitunter gänzlich.

F. Absteigende und aufsteigende Quellen.

Legt man der Einteilung der Quellen die Bewegungsrichtung des Wassers zugrunde, so kann man unterscheiden:

1. absteigende und
2. aufsteigende Quellen.



Abb. 67. Absteigende Quelle.

Das Wasser der absteigenden Quellen fällt, entsprechend dem Fallen der Spalten und Klüfte des wasserführenden Gebirges, immer tiefer, bis es auf eine undurchlässige, talwärts geneigte Schicht trifft, die das Wasser zutage leitet (Abb. 67). Die Füllung der Spalten nimmt mit der Tiefe zu, doch wird es auch Spalten geben, die nur teilweise mit Wasser gefüllt sind. Die Wasserspiegel liegen dann in verschiedenen Höhen und lassen sich schwer hydrologisch auswerten. Die Anlage einer Fassung unterhalb des natürlichen Quellortes hat im allgemeinen keinen Zweck, da mit einer solchen Tieferlegung in der Regel kein Ergiebigkeitszuwachs verbunden sein wird.

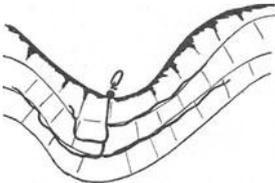


Abb. 68. Aufsteigende Quelle in einem Synklinaltal.

Aufsteigende Quellen entstehen entweder dadurch, daß sich dem auf einer geneigten undurchlässigen Schicht fließenden Wasser ein Hindernis entgegenstellt, sei es in Gestalt eines undurchlässigen Felsriegels oder einer Ton- bzw. Mergelbank und wenn zugleich zwischen undurchlässiger und durchlässiger Schicht ein Spalt vorhanden ist, in dem das Wasser hochsteigen kann.

Eine aufsteigende Quelle kann aber auch dadurch zustande kommen, daß sich in einem Synklinaltal ein Spalt befindet, in dem das unterirdische Wasser hochsteigen kann (Abb. 68).

Bei aufsteigenden Quellen sind die Wasserwege unterhalb des Quellaustritts in der Regel mit Wasser voll gefüllt, und die Wasserspiegel

zeigen ein hydrologisch auswertbares Gepräge. Der natürliche Quellaustritt führt meist nur einen Teil des unterirdischen Wasserreichtums zutage. Man wird in solchen Fällen durch eine unterhalb des Quellaustritts liegende Fassung F (Abb. 69) eine Steigerung der Schüttung erreichen können.

Hydrologisch betrachtet entwässern absteigende Quellen das Hinterland in der Regel vollständig, aufsteigende nur teilweise. Man wird also bei aufsteigenden Quellen in der Lage sein, durch entsprechende Fassungsmaßnahmen die natürliche Quellschüttung zu erhöhen.

Streng genommen gibt es eigentlich fast nur absteigendes Quellwasser, da ja wohl das gesamte unterirdische Wasser aus der Atmosphäre stammt und eine Versickerung oder ein Versinken der Niederschläge nur im Sinne von oben nach unten vor sich gehen kann. Die aufsteigende Tendenz des Wassers wird man in der Regel nur in der Nähe des Quellorts feststellen können. Entfernt man sich vom Quellort, so werden die Wasserbahnen allmählich die Richtung von oben nach abwärts annehmen. Ab- und aufsteigende Richtung des Quellwassers sind demnach nur relativ aufzufassen.

Das Einreihen der Quellen in die auf S. 42 angegebenen einzelnen Quellgruppen hat in vielen Fällen kaum eine praktische Bedeutung. Nicht immer bestehen die Einzugsgebiete von Quellen aus einer einheitlich aufgebauten Gebirgsformation. Meist setzen sie sich aus Urgebirge, festen Sedimenten und losen Trümmergesteinen zusammen, und die Quellgänge laufen dann im Inneren des Gebirges bald auf-, bald abwärts, das Wasser zu den verschlungensten Wegen zwingend. So kann es vorkommen, daß eine Quellader aus dem Urgebirge (Abb. 70) beim Eintritt in die Sedimente eine aufsteigende Quelle Q_1 bildet, dann die Sedimente als Überlaufquelle Q_2 verläßt, im Punkt Q_3 bei Schürfungen als absteigende Quelle in Erscheinung tritt und endlich als Schuttquelle Q_4 an den Tag kommt. Für eine solche Quelleinheit finden sich also je nach der Lage ihrer Fassungsstelle vier verschiedene Namen.

Will man die hydrologischen Lebensbedingungen der Quelle richtig erfassen, so führt nur das Vortreiben eines Stollens ab in das Urgebirge zum Ziel. Die das Urgebirge abdeckenden Sedimente und der Schuttkegel sind für die Quelle nur Durchgangsgebiete von mitunter untergeordneter hydrologischer Bedeutung.

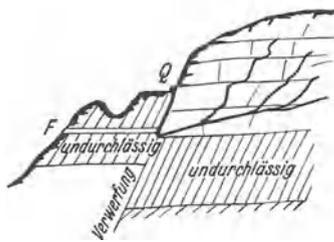


Abb. 69. Aufsteigende Quelle infolge von Verwerfung.

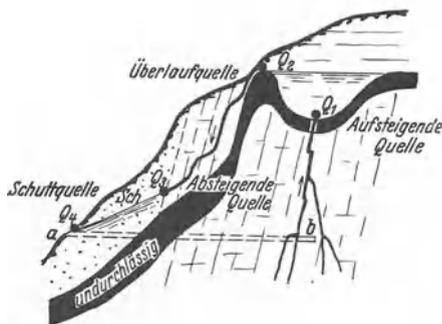


Abb. 70. Ein Quellauf, vier verschiedene Namen für den Quellaustritt.

21. Besondere Quellarten.

Als besondere Quellarten sind noch zu nennen die bereits auf S. 51 erwähnten

1. zeitweiligen oder intermittierenden Quellen, ferner
2. submarine Quellen oder Meeresschwinden,
3. artesische Quellen,
4. künstliche Quellen und
5. neue Quellen.

A. Zeitweilige oder intermittierende Quellen.

Zu den merkwürdigsten und wissenschaftlich ungenügend erforschten Quellerscheinungen gehören die zeitweiligen, aussetzenden oder intermittierenden Quellen. Man findet sie fast ausschließlich in klüftigen Gebirgen, welche von unregelmäßig gestalteten und verlaufenden Gerinnen, Grotten und Höhlen durchzogen sind. Ein Hauptgebiet solcher Quellen ist der Karst.

Das Charakteristische solcher Quellen ist, daß sie in mehr oder weniger regelmäßigen Zeitabschnitten ihre Schüttung teilweise oder gänzlich unterbrechen und daß ihre Schüttungsmenge in vielen Fällen großen Schwankungen unterworfen ist. Es gibt Quellen, die nur zu gewissen Minuten und Stunden fließen, und es gibt Quellen, die Tage, Monate und Jahre aussetzen. Die Dauer des Fließens und Aussetzens hängt ab von der Tages- und Jahreszeit, der Größe der Niederschläge und der Gestalt, dem Verlauf und der Größe der unterirdischen Wasserwege, dem Luftdruck und auch von unterirdischen Gasen. Nach Lersch (7) gibt es zweimal täglich fließende Quellen bei Fonsanche unweit Nîmes, die $7\frac{1}{2}$ Stunden lang fließen mit 5 Stunden Unterbrechung, dreimal täglich fließende im Val d'Asta sowie bei Sendbrary (Kaschmir), und viermal täglich fließende bei Puisgros (5—6 Stunden Unterbrechung). Die Quelle von Boulet soll nur in 7 Jahren 2 Monate lang fließen, die Quelle St. Nicolas de Campagne sogar in 20 Jahren nur einmal einsetzen. Diese Zeitangaben sind aber nur als rohe Annäherungswerte zu betrachten, da systematische Beobachtungen an zeitweiligen Quellen, die sich auf längere Zeit erstrecken, bislang kaum gemacht worden sind.

Verhältnismäßig einfach und leicht verständlich ist die Ursache des zeitweiligen Fließens und Aussetzens bei den sog. Frühlings-, Mai-, Sommerbrunnen und Hungerquellen. Hungerquellen werden solche Quellen genannt, welche in außerordentlich nassen Zeiten fließen, also zu einer Zeit, in der die Nässe der Fruchtbarkeit der Felder schadet und dem Fließen der Quelle die Vorbedeutung hoher Getreidepreise zukommt. Alle diese Quellen sind weiter nichts als die Folgeerscheinungen großer Niederschläge oder rasch auftauender Schneemassen, die in klüftigem Untergrund versinken und sich durch sonst trocken liegende unterirdische Wasserkanäle mit weniger oder mehr Verzögerung einen Weg ins Freie suchen. Solche Quellerscheinungen sind z. B. nach Mitteilungen von Tarnuzzer (38) die Johannisquelle (Fontana Jon) im Unter-

engadin, welche am längsten Jahrestage erscheinen und am kürzesten verschwinden soll sowie die stockende Quelle im Val d'Asta, die nach Beobachtungen von Kiliass 12 Uhr nachts zu steigen anfängt, wogegen sie nach Tarnuzzer bereits um 12 Uhr nachts den Höchststand erreicht. Aus diesem Widerspruch folgt wohl, daß bei der Quelle Vald'Asta von einem regelmäßigen Rhythmus nicht die Rede sein kann. Ihre Temperatur beträgt $2,15^{\circ}\text{C}$, ist also die Temperatur eines richtigen Gletscherwassers. Die Quelle Vald'Asta scheint eine Folge der Jahres- und Tageszeit zu sein bzw. der Besonnung benachbarter Schnee- und Firnfelder. Das Zustandekommen solcher jahreszeitlichen Quellen setzt immer das vorherige Auftreten eines besonders hohen Wasserschwall voraus, der das Fließen der Quelle auslöst.

Je nach dem Schwanken der Wassermenge bzw. dem Stand des Wasserspiegels kann ein und derselbe unterirdische Wasserlauf sogar mehrere benachbarte intermittierende Quellen zum Laufen bringen, die zugleich oder auch gegenseitig aussetzend fließen können. Das Beispiel einer solchen Quellerscheinung ist nach Martel (5) der unterirdische Wasserlauf des Boundoulaou (Aveyron) mit seinen fünf Quellaustritten (Abbildung 71).

Aber auch solche Quellen, die das ganze Jahr rhythmische Ausflußerscheinungen zeigen, setzen stets einen besonders großen Wasserzuschuß voraus, der die Ursache des Fließens der zeitweiligen Quelle wird. Vielfach läßt sich das Ingangkommen einer zeitweiligen Quelle durch eine Verengung *E* (Abb. 72) des unterirdischen Abzugskanals erklären. Mündet aus der Höhle ein sonst trockenes Seitengerinne ins Freie und erfolgt plötzlich ein so starker Zufluß, daß ihn die Verengung *E* nicht ganz schlucken kann, so staut sich das Wasser in der Höhle bis zu dem sonst trockenen Gerinne, und das Stauwasser löst die zeitweilige Quelle aus.

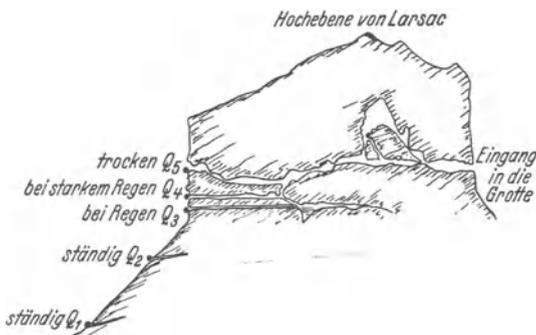


Abb. 71. Schnitt durch den Boundoulaou (Aveyron) mit fünf Quellaustritten. (Nach Martel.)

Zwei hiervon fließen ständig, der dritte bei schwachem, der vierte bei starkem Regen. Der fünfte Auslauf ist zur Zeit stets trocken und floß wohl in vorgeschichtlichen Zeiten.

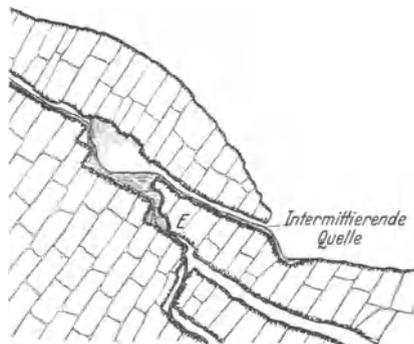


Abb. 72. Entstehung einer zeitweiligen Quelle durch Stau.

Zur Erklärung des Mechanismus, der das Zustandekommen zeitweiliger Quellen ermöglicht, hat man die sog. Hebertheorie erfunden. Diese Theorie findet sich bereits bei Paramelle (vielleicht schon bei Athanasius Kirchner?) und wird von fast sämtlichen Schriftstellern, die sich mit zeitweiligen Quellen befassen, als richtig hingestellt. Die Hebertheorie setzt eine Höhle *R* (Abb. 73) voraus, welche durch den Zulauf *E* Wasser empfängt.

Die Höhle hat einen heberartig gekrümmten Auslauf zur Quelle *Q*, dessen talwärts gerichteter Schenkel länger ist als der innere. Steigt das Wasser in der Höhle über den Heberscheitel *S*, so soll der Heber in Tätigkeit kommen. Nun nimmt man an, daß das Wasser so lange fließe, bis die innere Hebermündung frei werde. Sei das Innere der Höhle erschöpft, so trete Ruhe ein, während welcher sich die Höhle wieder fülle bis zum Scheitel *S*. Dann beginne das Heberspiel aufs neue. Bei ver-

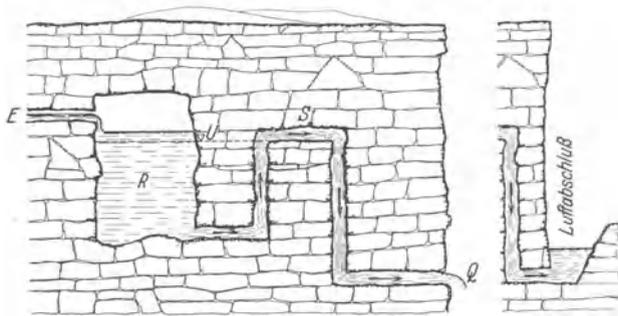


Abb. 73. Erklärung des Entstehens einer zeitweiligen Quelle durch sog. Heberwirkung.

mehrtem Wasserzufluß (bei Regen, Schneeschmelze) seien die Unterbrechungen kürzer als bei Trockenwetter. Das Abwechseln kleinerer Ausbrüche mit größeren will man aus der Verbindung verschiedener Höhlen durch Heber verschiedener Weite erklären. Der weitere Heber trete seltener in Wirksamkeit als der engere usw. Diese Erklärung ist sehr einfach, hat aber den Fehler, daß sie durchaus unwahrscheinlich, ja sogar unmöglich ist. Ihre Richtigkeit wurde schon von Lersch (7) bezweifelt. Er meint, daß noch niemand diesen theoretischen Heber nachgewiesen habe, und daß das Vorhandensein luftdichter Heberkanäle in klüftigen Gebirgen geradezu unmöglich sei. Namentlich im letzten Punkt muß man der Ansicht Lersch's beipflichten.

Wer je mit Hebern zu tun hatte, wird die Erfahrung gemacht haben, daß Heber außerordentlich empfindliche technische Einrichtungen sind. Ein Heber kann nur dann in Gang gebracht werden, wenn er absolut luftdicht ist. Voraussetzung der Höhlenbildung aber ist einerseits Klüftigkeit, und Voraussetzung einer Hebertätigkeit ist also andererseits absolute Luftdichtheit, die bei klüftigem Gebirge niemals vorhanden sein wird. Das sind Widersprüche, die sich nicht überbrücken lassen. Auch die Quellmündung ins Freie ist eine hydraulische Unmöglichkeit, da durch sie stets Luft ungehindert zum Heberscheitel *S* gelangen kann. Das Bild würde an Wahrscheinlichkeit gewinnen, wenn der talseitige

Heberschenkel in einen mit Wasser gefüllten Quelltopf münden würde, wie in der Nebenabbildung zu Abb. 73 angedeutet ist. Das Ingangkommen eines Hebers setzt ferner voraus, daß in seinem Scheitel eine Entlüftung vorhanden ist, die, wenn die Luft aus dem Heber durch sie entfernt worden ist, sich wieder schließt, damit äußere atmosphärische

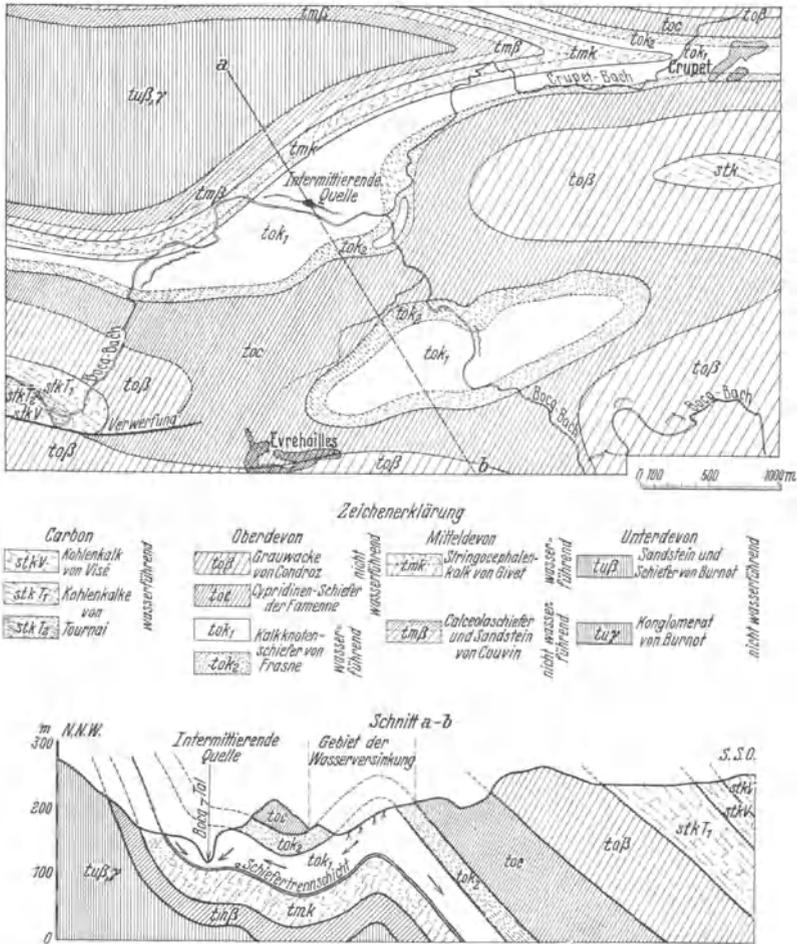


Abb. 74. Lageplan und Schnitt des Quellgeländes von Crupet.

Luft nicht in den Heber gelangen kann. Wie soll eine derartige Entlüftung mit rechtzeitigem Verschuß bei klüftigem Gebirge automatisch nach Abb. 73 stattfinden, wenn sich der Heber bei Stillstand, also bei stattgehabter Entleerung, von der Innenseite oder vom Quellauslauf aus mit Luft gefüllt hat?

Eine der wenigen intermittierenden Quellen, über die genaue Beobachtungen (aber durchaus nicht ausreichend) vorliegen, ist die Quelle

von Crupet in Belgien, über welche Van den Broeck, Martel und Rahir (39) eingehend berichten. Lageplan und Schnitt des Quellgeländes gibt Abb. 74. Auch von dieser Quelle behauptet die Tradition, daß die Abflußunterbrechung genau 7 Minuten betrage. Es liegen nun drei Beobachtungsreihen vor, aus denen aber unzweideutig hervorgeht, daß das Spiel der Quelle ein außerordentlich unregelmäßiges ist.

Im Beobachtungsabschnitt *a* vom 22. Mai 1899, dem eine Woche ziemlichlicher Trockenheit vorausgegangen war, wurden sechs Abflüsse beobachtet, deren Dauer zwischen 3 und 8 Minuten schwankte. Der sechste Abfluß dauerte ohne Unterbrechung 30 Minuten bei etwas

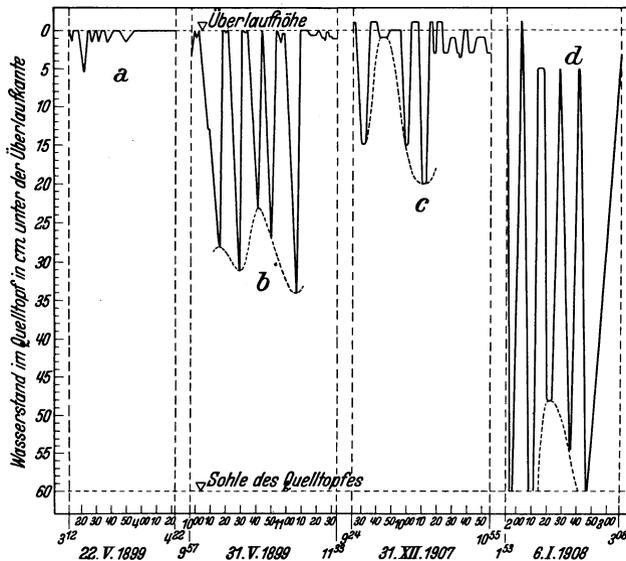


Abb. 75. Spiegelgang der Quelle von Crupet.

schwankender Menge und dauerte fort, nachdem man die Beobachtung eingestellt hatte. Die Spiegelschwankung betrug 5 cm.

Vom 24. bis 27. Mai gab es beträchtliche Niederschläge, aber trotzdem gab bis zum 27. Mai die Quelle kein Lebenszeichen von sich, der Quelltopf war leer. Am 31. Mai, also nach großen Niederschlägen, ergab sich der in Abb. 75b ebenfalls wiedergegebene Spiegelgang, der ganz verschieden ist von jenem am 22. Mai. Die Abflußzeiten variierten zwischen 3 und $7\frac{1}{2}$ Minuten, der Ruhezustand zwischen $5\frac{1}{4}$ und $16\frac{1}{2}$ Minuten. Die Spiegelschwankungen waren etwa dreimal größer als am 22. Mai. Sie steigerten sich bis zu 34 cm. Das Wasser war trübe, doch schien seine Menge der am 22. Mai beobachteten ziemlich gleich zu sein. Gegen 15 Uhr hörte plötzlich das Fließen auf, doch blieb der Quelltopf gefüllt. Am 31. Dezember 1907, an welchem Tage die Umgebung der Quelle die Schneedecke trug, ergaben die Beobachtungen Rabozées das Schaubild Abb. 75c. Am 6. Januar 1908 sind die Schwankungen besonders

groß gewesen (Abb. 75d). Rabozée (39) erläutert den Mechanismus der Quelle Crupet unter Hinweis auf Abb. 76 wie folgt:

1. Es muß ein Verbindungskanal E bestehen zwischen Quelltopf und Bach.

2. Würde nur der Heber ARB vorhanden sein, so müßte das Spiel der Quelle ziemlich regelmäßig sein unter der Voraussetzung, daß das mittlere Abflußvermögen des Kanalteils B größer ist als die Zuflußmenge durch A und der Abfluß durch E .

3. Die Unregelmäßigkeiten des Quellspiels werden hervorgerufen durch den zweiten Heber $A'R'B'$. Es sind unzählige Variationen denkbar selbst dann, wenn die Zuflüsse durch die Kanäle A und A' konstant bleiben sollten.

4. Eine Kluft M mit wechselndem Wasserverschluß oder einer zeitweiligen Sperre durch eingeschwemmten Ton kann eine Heberwirkung unterbrechen oder wieder in Gang setzen.

Es ist aber kaum anzunehmen, daß ein derartiger Wechselverschluß in der Natur vorkommen wird.

Man kann wohl behaupten, daß eine allgemein befriedigende Erklärung der Ursache des zeitweiligen Quellfließens bis heute noch nicht gefunden ist. Unter der Voraussetzung, daß weder in den Zuflüssen einer Quelle noch an der Quellmündung Änderungen der Gestalt und Größe vorgekommen sind, kann ein Wechsel in der Quellschüttung nur verursacht werden durch Veränderung der Zulaufmenge und des die Wasserbewegung beeinflussenden Luftdrucks. Bei Quellen, die in Flüsse, Seen oder in das Meer sich ergießen, kann auch der wechselnde Wasserstand der letzteren einen wechselnden Gegendruck auf den Quellspiegel ausüben und die Quellschüttung beeinflussen. Damit ist wohl in vielen Fällen ein Schwanken der Menge zu begründen, keineswegs aber eine zeitweise Unterbrechung der Schüttung zu erklären.

Wohl hat man versucht, durch Aufgrabung sich einen Einblick in den Mechanismus zeitweiliger Quellen zu verschaffen. Das Ergebnis war aber stets eine Zerstörung des Quellmechanismus. Das zeitweilige Fließen der Quelle hörte auf, das Rätsel blieb ungelöst.

Nach Auffassung des Verfassers wird man die Ursache des zeitweiligen Fließens von Quellen nur ergründen können durch systematische Beobachtungen und Messungen der Zulauf- und Abflußmengen, der Niederschlagsverhältnisse, Temperaturen, des Luftdrucks und der in Betracht kommenden Spiegelbewegungen. Derartige Beobachtungen werden sich auf Monate, vielleicht auch Jahre ausdehnen müssen.

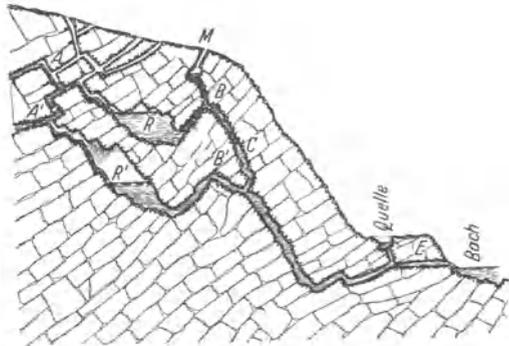


Abb. 76. Theoretischer Mechanismus der Quelle von Crupet.
(Nach Rabozée.)

B. Submarine Quellen, Meeresschwinden.

Längs der Meeresküsten vieler Karstländer beobachtet man häufig Süßwasserquellen, welche unterhalb des Meeresspiegels hervorberechen. Es sind das die Ausflüsse unterirdischer Wasserläufe oder Höhlenflüsse, die infolge ihrer hohen Spiegellage und Strömungsgeschwindigkeit den hydrostatischen Gegendruck des Meerwassers überwinden.

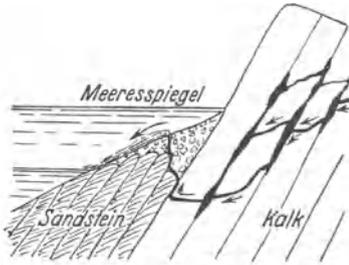


Abb. 77. Submarine Quelle, die durch unterirdischen Karstwasserlauf infolge von Überdruck gespeist wird. (Nach Boegan.)

Zu den größten submarinen Quellen gehören die Aurisinaquellen bei Triest, welche bis zu 20000 m³ Wasser je Tag in das Meer abstoßen.

Rätselhaft ist die Erscheinung submariner Wassergerinne deshalb, weil doch das Wasser stark klüftiger Karstgebiete sich leicht einen Höhlenweg graben kann, dessen Mündung über dem Meeresspiegel liegt, so daß es den Druck des Meerwassers nicht zu überwinden braucht. Nach Knebel (10) ist diese Erscheinung dadurch zu erklären, daß die Gerinne submariner Quellen ursprünglich über dem Meeresspiegel lagen und durch positive Strandverschiebung später unter den Meeresspiegel gekommen sind.

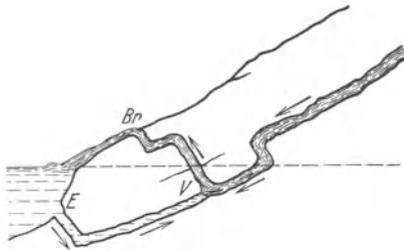


Abb. 78. Bildung einer Brackwasserquelle. (Nach Lehmann.)
(Wesentlich ist, daß V unter dem Meeresspiegel liegt, hingegen ist es unwesentlich, ob V höher oder tiefer liegt als die Einströmung des Meerwassers bei E.)

Von Einfluß auf die submarinen Quellen sind die sog. Meeresschwinden, die den süßen submarinen Quellen zeitweise Salzwasser zuführen, wodurch die submarinen Quellen brackig werden. Nach Wiebel (40) wirkt in Meeresschwinden der Überdruck des süßen Wassers ejektorartig auf das Meerwasser und saugt dieses in die Quellmündung, wodurch dem süßen Wasser salziges Wasser zugesetzt wird. Bildung einer Brackwasserquelle zeigt nach Lehmann (41) Abb. 78.

Die bekannteste Meeresschwinde findet sich auf der Insel Kephalaria bei Argostoli.

Fallen die mit einer Meeresschwinde verbundenen Kanäle landeinwärts, so wird eine Einwirkung des Meerwassers auf entfernte Teile des Festlandes ermöglicht. So berichtet z. B. Imbeaux (42), daß im Untergrund des Tales des Curé sich der Salzgehalt, der vom Meer stammt, noch in Entfernungen von 15–20 km von der Küste bemerkbar macht.

C. Artesische Quellen.

Natürliche artesische Quellen können dort entstehen, wo die undurchlässige Deckschicht durch natürlichen Wasserdruck durchbrochen wird. Dies setzt einen so hohen Wasserdruck voraus, daß der Spiegel über Flur

steigt, der dann sprudelartig zutage tritt. Daher nennt man solche Quellen auch Sprudelquellen. Die meisten natürlichen artesischen Quellen treten erst dann auf, wenn die Schwächung der spannenden Deckschicht infolge natürlicher Erosion so groß geworden ist, daß ein Durchbruch des Wassers stattfindet. Viele artesische Quellen durchbrechen abgetragene oder verletzte Flußsohlen und speisen auf diese Weise unsichtbar oberirdische Wasserläufe (Abb. 79).

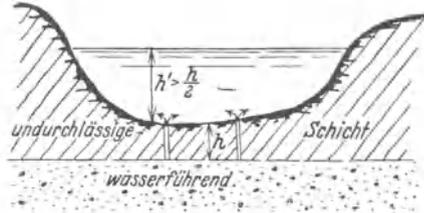


Abb. 79. Natürliche artesische Quellen, die einen Fluß speisen.

In vulkanischen Gegenden kommen oft artesische Wasserläufe dadurch zustande, daß flüssige Gesteinsmassen (Lava, Basalt, Trachyt) sich über Sandlager ausbreiten und auf diese Weise eine undurchlässige Decke bilden, die dem in den Sanden sich bewegenden Wasser gespannte Eigenschaften verleihen. Bricht das Wasser durch die Decke, so entstehen artesische Quellen. Solche Quellen finden sich z. B. in der Auvergne bei Tartarat, Puy de Dôme, Coquille usw. (Abb. 80).

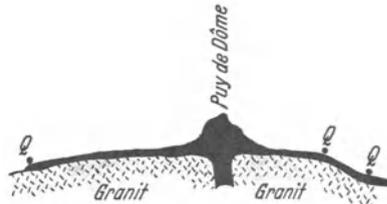


Abb. 80. Schnitt durch den Kegel des Puy de Dôme mit seinen Quellen.

Es kommt auch vor, daß eine natürliche artesische Quelle ihren Auslauf durch ausgeschiedenen Kalksinter verbaut und zu fließen aufhört.

Über eine derartige Erscheinung berichtet Reuter (34) aus der Nähe von Ingolstadt. Hier hat ein Kalksinterkegel von 5 m Höhe den Auslauf der Quelle zum Stillstand gebracht. Eine Bohrung am Fuße des Kegels hat von neuem 120 sl frei abfließendes Quellwasser erschlossen.

D. Moorquellen.

Mitunter geben Quellen Anlaß zur Bildung von Gehängemooren dadurch, daß infolge der andauernden Feuchtigkeit Humusboden entsteht, auf dem sich torfbildende Pflanzen entwickeln, die den Anfang von späteren Torfmooren bilden. Die Wasseraufnahmefähigkeit der Moore ist sehr groß, und man vergleicht sie oft mit einem Schwamm, der sich vollgesogen hat und das Wasser zurückhält. Letztere Ansicht ist irrig, da kein Moor mehr Wasser in sich aufnehmen kann, als seinem Aufspeicherungsvermögen entspricht.

Durch Entwässerungsanlagen kann man Mooren bedeutende Wassermengen laufend entziehen. Hochmoore spielen im Wasserhaushalt der Quellen eine große Rolle. Viele Hochquellen sind ohne Speisung aus den über denselben liegenden Mooren schlechterdings nicht denkbar. Werden Moore künstlich entwässert, so sinkt der Abfluß der von ihnen gespeisten Quellen und Bäche bedeutend. So hat Huber (29) beobachtet, daß die Abflußzahlen des ehemals sehr wasserreichen Waldflössels infolge

von Drainierung auf den siebenten Teil des benachbarten Bildfichtenbachs zurückgegangen ist.

Tabelle 7.

Quellengebiet	Bewaldung	Kleinster Abfluß sl/km ²
Bildfichtenbach bei Reichenberg in Böhmen . . .	gut	3,50
Waldflössel	„	0,54

Das aus den Mooren stammende Quellwasser ist in der Regel stark humushaltig und braun gefärbt. Es ist meist ein langer unterirdischer Weg in Schichten mit großer Reinigungswirkung erforderlich zur Überführung von Moorwasser in humusfreies Quell- oder Bachwasser.

E. Künstliche Quellen.

Künstliche artesisische Quellen kann man hervorrufen durch Nachbildung der unter 21 C geschilderten natürlichen Vorgänge. Solche Quellen



Abb. 81. Künstliche artesisische Quelle, erzeugt durch Aushub. (Aufnahme von W. Siehardt.)

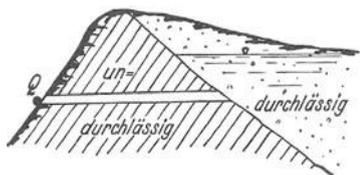


Abb. 82. Künstliche Quelle, erzeugt durch Stollenvortrieb.

treten bei besonderen hydrogeologischen Vorbedingungen in tiefen Baugruben, beim Abgraben von Lehm für Ziegeleizwecke u. dgl. auf (Abb. 81). Sie sind dann meist lästig, da sie entweder den Baufortschritt hemmen oder den Ziegeleibetrieb vollständig unterbinden können. Unschädlich macht man sie durch Grundwassersenkung. Bei

besonderen Verhältnissen kann man Quellen auch künstlich hervorrufen durch Stollenbauten (Abb. 82), die in das ansteigende Berggelände von der undurchlässigen Bergseite aus vorgetrieben werden.

Solche Bauten sind z. B. auch die sog. Kärise (auch Karis, Kjaris genannt), die in Transkaukasien, Persien usw. zur Wassergewinnung dienen. Nach Busse (43) sind bei solchen Bauten die wasserfassenden Galerien mit der Erdoberfläche durch besondere Luftschächte, deren

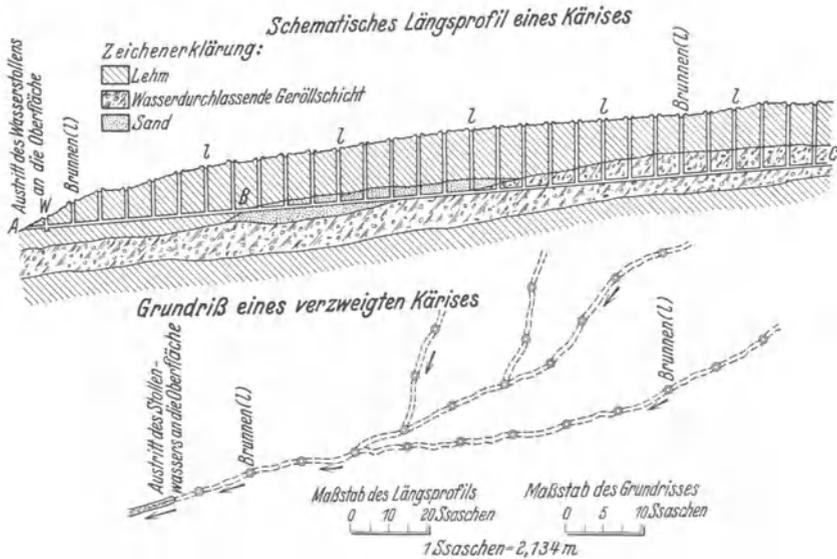


Abb. 83. Persischer Käris. (Nach Bykowski.)

Entfernung etwa zwischen 4 und 40 m schwankt, verbunden. Diese Schächte dienen zum Ausheben des Erdreichs beim Bau und zur Belüftung (Abb. 83) und haben eine Tiefe von 2 bis über 50 m. Letztere Tiefe findet sich am Scheitelpunkt der Galerien.

F. Neue Quellen.

Wie es nirgends in der Natur einen Stillstand gibt, so gibt es auch auf dem Gebiete der Quellbildung keinen ausgesprochenen Endzustand. Während vorhandene Quellen durch geo- und hydrologische Zustandsänderungen im Untergrunde einerseits verschwinden, entstehen andererseits aus demselben Grunde neue Quellen. So können durch Bergstürze in dem frisch aufgeschütteten, trockenen Boden, der als Talriegel wirkt, Quellerscheinungen dadurch hervorgerufen werden, daß das Stauwasser an der Bergseite zum Versickern und an der Talseite zum Austritt aus der Schuttmasse gezwungen wird. Auf diese Weise entstehen Schuttquellen, die unter den einzelnen Felsblöcken hervorsprudeln. Eine derartige Quellerscheinung ist in Abb. 84 dargestellt.

Auch dort, wo alte, frühere Talläufe später durch Bach- oder Gletscherschutt eingedeckt wurden, können neue Quellen dadurch entstehen, daß der Bach in ein neues Bett gezwungen wird. Dann kann sich in dem alten, verlassenen Tallaufe das Sickerwasser zu einem Quellauf sammeln, der an irgendeiner Stelle des verdeckten Tallaufs hervor-

bricht. Eine solche Quelle, die etwa 50 sl Wasser führt, findet sich nach A. Heim (25) bei Kundelfingen und entspricht einem alten Thurlaufe. (Vgl. auch 9, Bildung der Quellen, S. 17.)



Abb. 84. Hauptquellen der Plavna, erzeugt durch einen Bergsturz. (Nach J. Hug.)

22. Scheinbare Quellen.

A. Allgemeines.

Mit der Bezeichnung „Quelle“ oder „Quellwasser“ hat man, wie bereits in der Einleitung erwähnt, seit jeher den Begriff der Reinheit und der Frische verbunden. Damit das aus der Erde kommende Wasser die Eigenschaften der Reinheit und Frische bekomme, ist es notwendig, daß die atmosphärischen Niederschläge, die sich im Untergrund in Quellwasser verwandeln sollen, auf ihrem unterirdischen Wege von allen aus der Erdoberfläche mitgenommenen schädlichen Beigaben befreit werden und die kühle, gleichmäßige Temperatur des Bodens annehmen. Nur auf diese Weise entsteht Quellwasser, das hygienisch einwandfrei ist und sich durch eine gleichmäßige, kühle Temperatur auszeichnet. Nur Quellen, in welchen solches Quellwasser zutage tritt, sind wahre Quellen.

Es gibt aber zahlreiche Wasseraustritte, die dadurch entstehen, daß ein oberirdischer Bach- oder Flußlauf teilweise oder gänzlich durch sein durchlässiges Bett oder durch Felsspalten, über die er wegfießt, in den Untergrund versinkt, hier unsichtbar eine Zeitlang seinen unterirdischen Lauf fortsetzt und nach Zurücklegung einer mehr oder weniger großen Strecke als Quelle, oder richtiger gesagt, als quellartig aussehender Wasserausbruch wieder zutage tritt. Auf diese Weise entstehen scheinbare Quellen von oft gewaltiger Wasserführung. Man bezeichnet sie als

B. Karst- oder Vaclusequellen.

Karstquellen deshalb, weil sie eine typische Erscheinung verkarsteter Landschaften sind. Der Name Vaclusequelle ist zurückzuführen auf

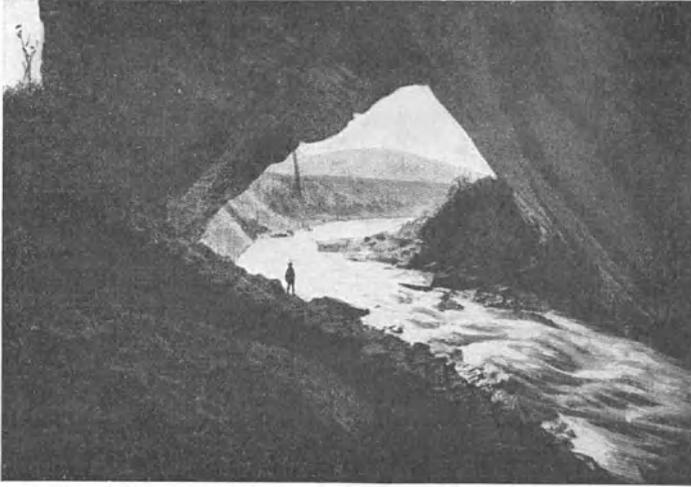


Abb. 85. Verschwinden der Lesse in der Grotte von Belleveaux.

den großen Wasserausbruch aus einer senkrechten, mehr als 200 m hohen Felswand bei Avignon, die das Tal der Sorgue wie eine Mauer abschließt. Daher wurde dieses Tal „Vallis clausa“ genannt und die

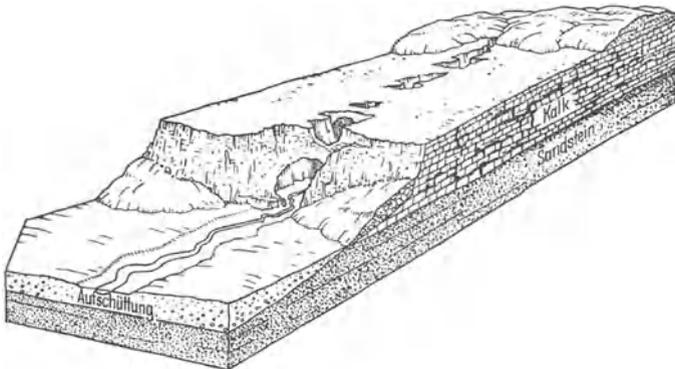


Abb. 86. Höhlenfluß.

(Aus Georg Wagner, Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte, 1931.)

Bezeichnung auf die Quelle übertragen. Man nennt solche Quellen auch Riesenquellen.

Derartige Erscheinungen sind weiter nichts als ein Verschwinden von Oberflächenwasser in den Höhlen des Untergrunds (Abb. 85) und Wiederhochkommen an geeigneter Stelle (Abb. 86). Ihrem ganzen Wesen nach haben sie, wenigstens in hygienischer Beziehung, mehr Ähnlichkeit

mit den Notauslässen städtischer Kanalisationen als mit den Erscheinungen, die man als wahre Quellen bezeichnet.

In Anbetracht der gesundheitlichen Gefahren, die versunkenen und wieder aus der Erde hochkommenden Tagewässern anhaften, wird man Martel (5) beipflichten müssen, wenn er sich mit allem Rüstzeug geologischer Wissenschaft dafür einsetzt, daß man Karst- oder Vaclusequellen nicht mehr mit dem Namen „Quellen“ belege. Er schlägt vor, den Beginn eines unterirdischen Wasservorkommens infolge von Versenkung wie bisher mit „Perte“ (Schwinde) und sein Wiederhochkommen, nachdem es, in seinen Eigenschaften unverändert, unterirdische Klüfte und Höhlen durchlaufen hat, mit „resurgence“ (von *resurgere, réapparaitre* = Wiederkommen) zu bezeichnen.

Nach Ansicht des Verfassers wird es sich empfehlen, dem Beispiel Martels zu folgen und für Beginn und Ende vorstehend beschriebener karstartiger Wasservorkommnisse die deutschen Bezeichnungen

C. Flußschwinden und Flußkimmen

zu wählen.

Flußschwinden und Flußkimmen sind zahlreich, und ebenso zahlreich (namentlich in Frankreich) ist die Zahl der Städte, die sich in Unkenntnis der gesundheitlichen Minderwertigkeit zeitweise unter-



Abb. 87. Aachtopf, in dem die versunkene Donau wieder zutage tritt. (Aus G. Wagner, Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte, 1931.)

irdisch fließenden Oberflächenwassers durch den Namen „Quelle“ zur Wasserentnahme aus solchen Wasservorkommen verleiten ließen.

Ein gutes Beispiel von Flußschwinden und Flußkimmen aus Deutschland ist das Versinken der Donau bei Immendingen. Das versunkene Wasser tritt in etwa 11 km Entfernung von der Wasserscheide als Aachquelle auf (Abb. 87), welche Wasser, das ursprünglich dem Donaugebiet

angehörte, dem Rhein zuführt. Eine der großartigsten Flußschwinden ist die Schwinde der Rhône bei Bellegarde (Abb. 88), deren größte Tiefe man mit etwa 120 m gemessen hat.

Nicht minder großartig ist der Austritt der Vacluse aus der Grotte (Abb. 89).

Das Einzugsgebiet der Vacluse beträgt etwa 1450 km². Ihre Schüttung schwankt zwischen 4 m³/s bei Niedrigwasser und 150 m³/s bei Hochwasser. Das Verhältnis ist also 1:37.

Einen Schnitt durch das Einzugsgebiet gibt Abb. 90, durch den Austritt Abb. 91.

Größere Höhlenflüsse treten nicht immer unmittelbar als Quellen zutage. Sie können je bei entsprechender Klüftung des Gebirges seitlich Wasser abstoßen und auf diese Weise die Entstehung ganzer Quellgruppen veranlassen. Das Beispiel derartiger hydrologischer Abspaltung bildet nach Boegan (45) die Aurisinaquelle bei Triest (Abb. 92a u. 92b).



Abb. 88. Flußschwinde der Rhône (im Winter). (Nach Martel.)



Abb. 89. Austritt der Vacluse aus der Grotte. (Aus Meyers Lexikon, 1928, Bd. 9.)

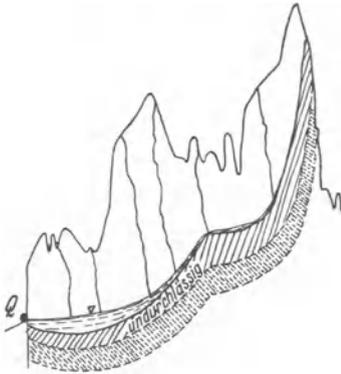


Abb. 90. Längenschnitt durch das Speisegebiet der Vaucluse. (Nach Dyrion.)

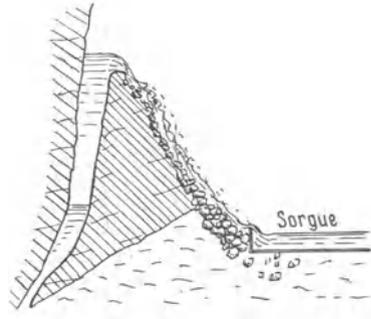


Abb. 91. Austritt der Vaucluse aus dem Gebirge.

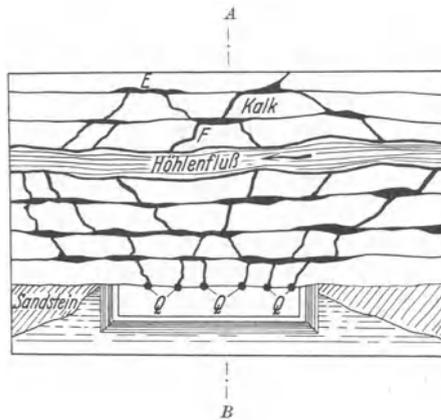


Abb. 92a. Schematische Darstellung der Entstehung der Aurisinaquellen. (Nach Boegan.)

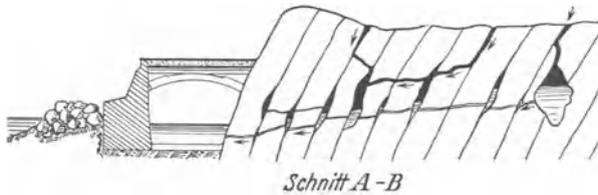


Abb. 92b.

23. Quellgruppen.

Gruppenartig angeordnete Quellen treten dann auf, wenn eine zusammenhängende wasserführende Schicht in größerer Breite ausstreicht oder wenn ein klüftiges Gebirge durch mehrere benachbarte Spalten über der undurchlässigen Schicht entwässert. In Abb. 93 ist eine Quellgruppe, die aus fünf durch Stau hervorgerufenen Quellen besteht, dargestellt.

Hat die undurchlässige Schicht eine wellenförmige Gestalt, besteht also die Landschaft aus einer Reihe von Synklinaltälern, so wird es in der Regel zur Bildung von Quellgruppen kommen, und die einzelnen

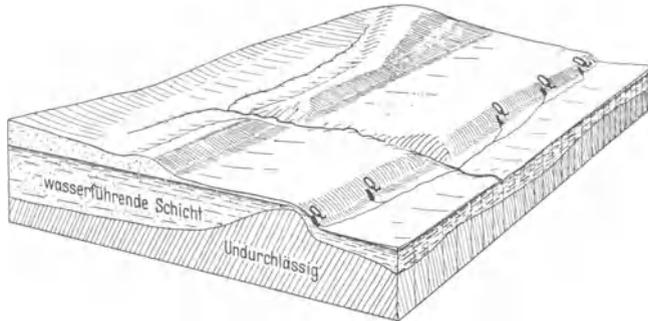


Abb. 93. Entstehung einer Quellgruppe.

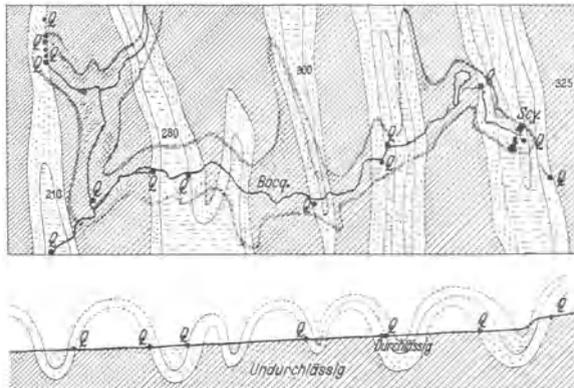


Abb. 94. Quellgruppe in einer Reihenfolge von Synklinaltälern. (Nach Broeck.)

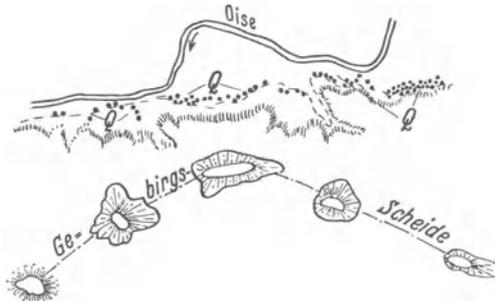


Abb. 95. Quellgruppe von Pont-Saint-Maxence.

Quellen werden im Taltiefsten der verschiedenen Mulden entspringen (Abb. 94).

Zwei gute Beispiele gruppenartiger Quellbildungen stellen die zahlreichen Quellen in der Nähe von Pont-Saint-Maxence dar (Tal der

Oise), die dem Auskeilen von Sand (Iprésien) über plastischem Ton ihren Ursprung verdanken (Abb. 95) sowie die zerstreuten Austritte der Ruhmequelle im Harz (Abb. 96).



Abb. 96. Lageplan der Ruhmequelle. (Nach Thürnau.)

24. Quellhorizonte.

Wechseln innerhalb eines Gebirgsstockes mehrere durchlässige Schichten mit undurchlässigen in Überlagerung, so entstehen einzelne Quellhorizonte (Abb. 97). Es können auch drei, vier und mehr Horizonte übereinander liegen. Das typische Beispiel eines Quellgebietes mit drei Quellhorizonten bildet nach Beyer (6) die Scheibenkuppe in der Sächsisch - Böhmischeschweiz (Abb. 98). Der Quellhorizont des Tonschiefers liegt auf 220 m, der des Carinatensandsteins auf 290 m, der des Glaukonitsandsteins auf 390 m über N. N. In allen drei Horizonten ist die Wasserbewegung gegen Nordosten gerichtet.

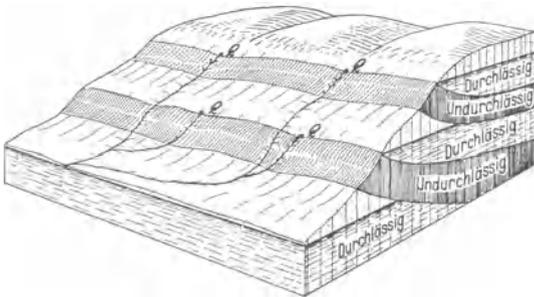


Abb. 97. Zwei übereinander liegende Quellhorizonte.

verschiedenen Höhen angeschnitten wird. Eine derartige Erscheinung, wo drei Quellhorizonte terrassenartig übereinander lagern, bilden Quellen bei Balatschauri im Aragwatal (Kaukasus) — (Abb. 99).

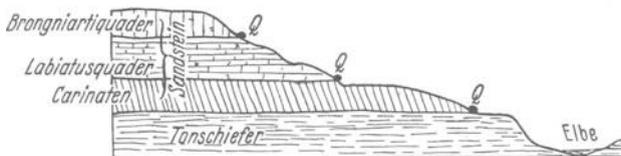


Abb. 98. Drei Quellhorizonte der Scheibenkuppe. (Nach Beyer.)

In porösen Schichtgesteinen können Quellhorizonte dadurch entstehen, daß beim Versickern bzw. Versinken des Niederschlags von der Erdoberfläche erdige und feinsandige Teilchen in die Tiefe gespült und dann über dem Verwitterungsschutt, der die Spalten bereits teilweise ausfüllt, abgelagert werden. Auf diese Weise werden im Laufe der Zeiten undurchlässige Zwischenlagen gebildet, welche das unterirdisch sich ansammelnde Wasser in einzelne Stockwerke trennen und auf diese Weise Rückstau und neue Quellaustritte auf neuen Horizonten veranlassen.

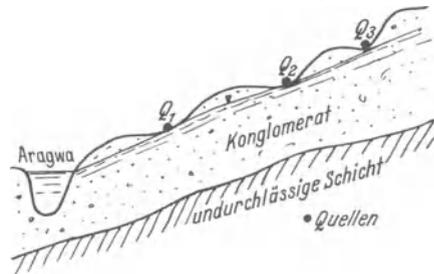


Abb. 99. Terrassenartig übereinander liegende Quellen im Aragwatal unterhalb Balatschauri im Kaukasus.

Quellhorizonte können auch entstehen durch allmähliche Reduktion der wasserführenden Schichten. Ein derartiges Beispiel sind nach

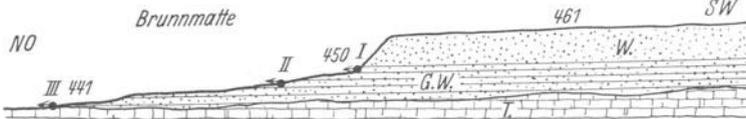


Abb. 100. Bildung von Quellhorizonten zwischen Mumenthal und Station Roggwil (Brunnenmatte). (Nach J. Hug.)

I. Quelle; II. Quelle infolge langsamer Reduktion der Mächtigkeit der wasserführenden Schicht; III. Quelle infolge Auskeilung der wasserführenden Schicht.

Hug (32) die Quellen der Brunnenmatte, wo eine Reduktion des wasserhaltenden Niederterrassenschotters um den Betrag von 10 m stattfindet (Abb. 100).

25. Quellenlose Landschaften.

Quellenlose Landschaften sind entweder die Folge ungenügender Niederschläge oder eines raschen Absinkens des in die Erde eingedrungenen Wassers in die Tiefe. Letzteres ist namentlich der Fall bei klüftigen Karstlandschaften, die dem Wasser bequeme Wege nach abwärts darbieten. Solche Landschaften sind wohl arm an oberirdischen Quellen, führen dann aber oft in der Tiefe bedeutende Wassermengen, die allerdings schwer zugänglich sind. Quellenlose Täler finden sich in der Regel dort, wo die durchlässigen Schichten bergwärts einfallen (Abb. 101).

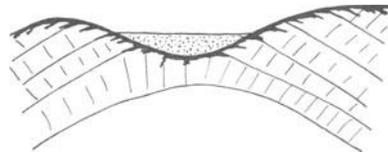


Abb. 101. Quellenloses Tal über einem durchlässigen Sattel.

26. Bau von Quellfassungen.

A. Vorarbeiten.

Vorarbeiten, welche die Unterlagen für Entwurf und Ausführung einer Quellfassung bilden, sollten stets bestehen aus:

1. Geologischen Untersuchungen des wahren Einzugsgebietes einer Quelle (nicht nur etwa des oberirdischen Niederschlagsgebietes) mit besonderer Berücksichtigung des Verlaufs der Schichtung und der sie kreuzenden Klüftung, der Ermittlung von Hohlräumen und ihrer Größe und gegebenenfalls der Feststellung, ob die geplanten Quellfassungen und die von ihnen ausgehenden Abflußleitungen sich gegen etwa mögliche Rutschungen mit einfachen, billigen Mitteln sichern lassen.

2. Hydrologischen Aufnahmen und insbesondere der Messung von Quell- und benachbarten Bachwassermengen zur Zeit der größten und kleinsten Wasserführung in Abhängigkeit vom Niederschlag und besonders hoher und anhaltender Dürre.

3. Chemischen, bakteriologischen und biologischen Untersuchungen in vorstehend genanntem Abhängigkeitsverhältnis.

4. Beobachtung von Wassertemperatur und etwaigen Trübungen, ebenfalls in Abhängigkeit von Niederschlag und Dürre.

Leider lehrt die Erfahrung, daß viele Bauherren für die Bedeutung zuverlässiger Vorarbeiten nicht immer das erforderliche Verständnis zeigen, und zwar namentlich dann, wenn schwierige Vorarbeiten viel Geld kosten. Eine derartige Sparsamkeit ist nicht am richtigen Ort angebracht und kann sich unter Umständen später empfindlich rächen.

Wissenschaftliche Vorarbeiten sollten in der Regel erst dann vorgenommen werden, wenn man sich die Möglichkeit eines käuflichen Erwerbs des Quellwassergeländes hinreichend gesichert hat. Will man unter allen Umständen eine Quelle gegen schädliche Beeinflussungen aus der Nachbarschaft geschützt sehen, so muß sich der Landerwerb namentlich bei klüftigem Untergrund nach Möglichkeit auf das ganze Einzugsgebiet erstrecken. Ist dies nicht möglich, so sollte man sich wenigstens durch Verträge gegen Düngung mit tierischen Abfällen sowie gegen menschliche Ansiedelungen und Abgrabungen schützen. Ein weitgehender Landerwerb ist auch deshalb angebracht, weil späterer Zukauf von Gelände und sonstige Sicherungen in der Regel mit größeren Opfern verbunden sind.

B. Allgemeines über den Bau von Quellfassungen.

Ein Hydrologe, dem die Lösung einer Quellwasserfrage anvertraut ist, sollte sich stets bewußt sein, daß selbst die kleinste Quelle (vorausgesetzt, daß sie eine Dauerergiebigkeit hat) wertvoll sein kann, und zwar namentlich dann, wenn kleine Quellen gruppenweise auftreten und sich leicht zusammenfassen lassen.

Eine gute Quellfassung soll technisch zweckmäßig und hygienisch einwandfrei sein. Technisch ist sie zweckmäßig, wenn sie möglichst einfach ist und sich den geologischen und hydrologischen Verhältnissen des Quellaustritts sowie des ganzen Fassungsgebietes richtig anpaßt und auch einer vielleicht möglichen zerstörenden Einwirkung des Quellwassers bei der Wahl des Baumaterials Rechnung trägt. Eine technisch richtige Fassung soll ferner möglichst wenig das natürliche hydrologische Gleichgewicht der Quelle und ihres Speisegebiets stören. Ein Über-

spannen der Quellschüttung im Frühling und Herbst macht sich meist im Hochsommer unangenehm bemerkbar. Ausnahmen sind nur in besonderen Fällen zulässig.

Im allgemeinen wird man Quellen möglichst in der Höhe ihres natürlichen Auslaufs fassen.

Für die Fassung von Quellen, die durch Grundwasser gespeist werden, gelten im allgemeinen die im „Handbuch der Hydrologie“ unter F III, S. 293ff. erörterten Gesichtspunkte und Regeln.

Handelt es sich um die Fassung von Quellen, durch die das Wasser unterirdischer Wasserläufe abfließt, so ist, wenn die geohydrologischen Verhältnisse des Quellortes verhältnismäßig einfach sind, das beste und billigste Fassungs mittel ein Sickerschlitz. Ein Sickerschlitz hat den Zweck, das aus der Tiefe oder Seite kommende Wasser vor seinem Zutagetreten abzufangen und dann abzuleiten. Man soll mit der Fassung nicht tiefer in das Gebirge gehen, als dies mit Rücksicht auf eine hinreichend hohe Schutzdecke nötig ist. Eine Ausnahme wird man nur dann machen, wenn die einzelnen Quellläufe in der Höhe ihrer Austritte auseinanderlaufen, so daß sich die Quellen $Q_1 Q_2 Q_3 Q_4$ auf eine längere Quelllinie verteilen (Abb 102). In diesem Falle wird die in das Innere verlegte Fassung FF_1 unter Umständen billiger als die Fassungsline $Q_1 Q_2 Q_3 Q_4$.

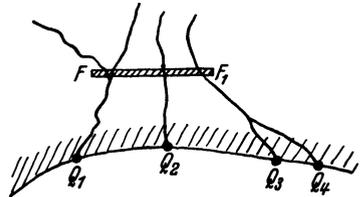


Abb. 102. Fassung auseinanderlaufender Quellen im Hinterlande.

Die notwendige Grabentiefe eines Sickerschlitzes hängt von der geologischen Beschaffenheit des wasserführenden Gebirges, der Brüchigkeit und Zusammensetzung des durchfahrenen Materials, vom Gefälle der Oberfläche, von der Bewirtschaftung der Umgebung und evtl. Besiedelung der Nachbarschaft ab. Im Wald kann man sich mit geringerer Grabentiefe begnügen als in offenem Kulturland, wo unter keinen Umständen gedüngt werden darf. Der Graben wird am besten mit etwa 1,2–1,5 m Breite und einer Tiefe vor Ort von 4–5 m angesetzt, woraus sich bei der Anlage von Böschung eine Sohlenbreite von etwa 0,9 bis 1,0 m ergibt. Hat der Graben die genügende Tiefe erreicht, so wird die Sohlenmitte etwas vertieft, so daß eine Rinne zur Aufnahme der Fassungsrohre entsteht. Für die Fassung eignen sich gelochte Steinzeugrohre und gelochte, dickwandige Zementrohre. Besitzt der Graben starkes Gefälle und ist anzunehmen, daß das gefaßte Wasser unter Umständen harten Sand führen kann, so sind die harten Steinzeugrohre vorzuziehen. Ist weniger Gefälle vorhanden und Sandführung nicht wahrscheinlich, so kann man sich mit den billigeren Zementrohren begnügen. Der Rohrdurchmesser sollte so gewählt werden, daß bei höchstem Abfluß die Rohre nur eine $\frac{1}{2}$ – $\frac{2}{3}$ Füllung haben. Tritt das Wasser an verschiedenen Stellen zutage, so legt man zweckmäßig in Abständen von 3–5 m über die ganze Grabenbreite Querriegel $d_1 \dots d_4$ aus Beton (Abb. 103). Die Querriegel sollen beiderseitig rd. 0,15–0,20 m in den gewachsenen Boden eingreifen. Ihr Hauptzweck ist, das in den

Schlitz eintretende Quellwasser aufzustauen und es zum Eintritt in die gelochten Steinzeugrohre zu zwingen. Die Packung, welche die Fassungsrohre umhüllt, beginnt mit faustgroßen Steinen und verkleinert ihre

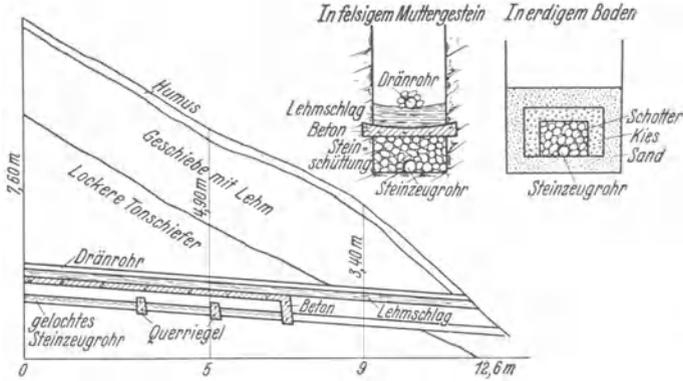


Abb. 103. Sickerschlitze mit Querriegeln. (Nach U. Huber.)

Kornabmessungen allmählich auf Sandkorngröße. Diese Fassungsart ist bei felsigem Muttergestein zweckmäßig.

Bei erdigen Böden muß das Tonrohr in drei Lagen eingebettet werden, wie Abb. 103 zeigt. Über die Querlämme und die Kies- bzw. Schotter-

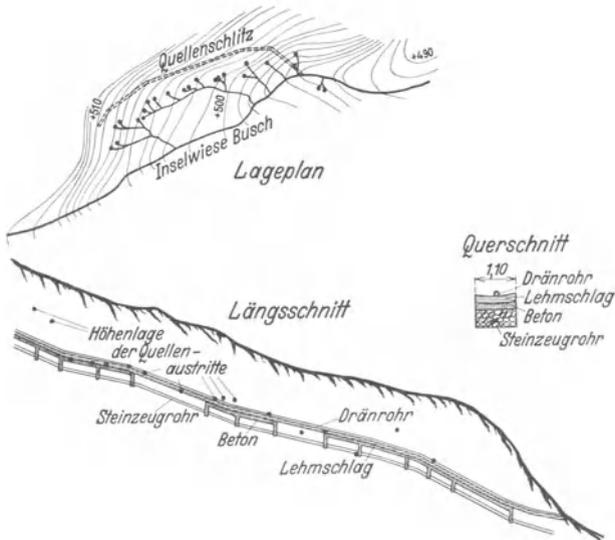
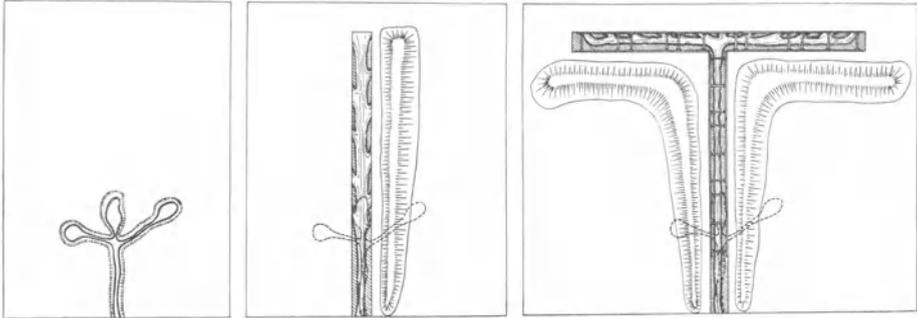


Abb. 104. Schlitzfassung Inselwiese III (Reichenberg i. Böhmen). (Nach U. Huber.)

packung wird eine wasserdichte Betonschale aufgestampft, die in die Schlitzwände eingreift und den Eintritt von Tagwasser in das Quellwasser zu verhindern hat. Damit aber bei einem Leckwerden der Betonschale kein Tagwasser in die Fassung gelangen könne, wird über der Betonschale

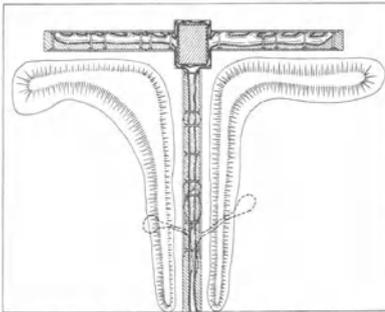
ein muldenförmiger Tonschlag von mindestens 25 cm angeordnet, in dessen Muldentiefstem ein Entwässerungsrohr liegt. Dieses Entwässerungs-



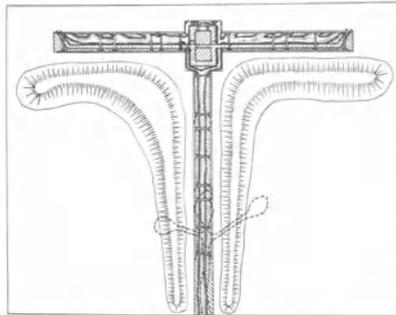
Quellaustritt vor der Erschließung.

Vortrieb eines bis auf die undurchlässige Sohle reichenden Schürfgrabens in den Hang.

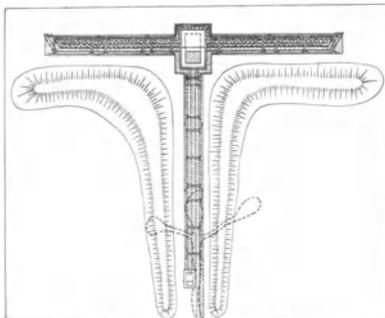
Ausdehnung des Schürfgrabens nach rechts und links zur Erfassung der Quellzuflüsse.



Erweiterung des Schürfgrabens zur Aufnahme des Quellschachtes.



Einbau der Fassungsmauern und des Quellschachtes.



Einbringen der Dichtungsletten, der Tonrohre, der Sickersvorlagen und der Ableitungsrohre.



Abdeckung der Sickersvorlagen mit Beton und Letten. Ausfüllung des Aushubs.

Abb. 105. Arbeitsvorgang bei Fassung einer Schichtquelle. (Bayerische Landesanstalt für Wasserversorgung.)

rungsrohr wird ebenfalls mit einer Kies- oder Schotterpackung umgeben. Sein Zweck ist die Fernhaltung von Tagewasser von der Fassungsanlage.

Der darüber aufzubringende Aushub ist sehr dicht einzustampfen und darüber noch eine Decke aus nichtfettem Lehm in 20–30 cm Stärke anzubringen.

Treten kleine Quellen einzeln auf, so empfiehlt sich nach Huber (46), jeder einzelnen Quelle nach der Linie des größten Oberflächengefälles mit etwa 2–5% Schlitzsohlengefälle nachzugehen. Zeigt sich in der Sohle des Schlitzes ein Wasseraustritt, so ist er auf 4–5 m Brusttiefe weiter zu verfolgen. Zeigt sich aber das Wasser auf der Seite des Schlitzes, so treibt man den Schlitz seitlich vor.

Treten zwei Quellen nebeneinander zutage, so sind sie mit wenigen Ausnahmen gemeinsamen Ursprungs und es ist dann zweckmäßig, die stärkere aufzuschlitzen und dann zu beobachten, ob die schwächere in ihrer Ergiebigkeit zurückgeht. Ist dies der Fall, so treibt man den Schlitz weiter, bis die schwächere Quelle versiegt.

Treten mehrere Quellen nebeneinander auf, so ist zu untersuchen, ob jede einzelne durch einen Längsschlitz oder alle durch einen Querschlitz abgefangen werden kann. Aus einem Vergleich der Größe der Bodenbewegung wird sich ergeben, welche Fassungsart die billigere ist.

Sind mehrere Quellen im Gelände zerstreut, so schneidet man sie am besten oberhalb ihres Austritts durch einen gemeinsamen Schlitz ab (Abb. 104), dessen Entfernung von ihnen so zu bemessen ist, daß seine Sohle bei 4–5 m Tiefe mit der Höhe des benachbarten Quellenaustritts übereinstimmt oder noch besser etwa $\frac{1}{2}$ m darunter liegt.

In Abb. 105 ist der Arbeitsvorgang bei Fassung einer Schichtquelle übersichtlich dargestellt.

Hygienisch einwandfrei ist eine Fassung, wenn die guten Eigenschaften des Quellwassers durch die baulichen Maßnahmen nicht ungünstig beeinflußt werden, wenn sie also gegen das Eindringen von Oberflächenwasser, Einschleppen von Schmutzstoffen, Eindringen von Keimen, Insekten und Tieren und Überflutung durch benachbarte Bäche unbedingt gesichert ist. Ferner ist die Abdeckung und der Verschuß der Fassung gegen äußere Temperatureinflüsse zu sichern und für eine genügende Belüftung zum Zwecke einer hinreichenden Lufterneuerung zu sorgen.

C. Die Bauglieder einer Quellfassung und Baustoffe

sind:

1. Die eigentliche Quellfassung. Sie ist der wichtigste Teil der Anlage, dem man bei der Ausführung stets die größte Sorgfalt zuwenden sollte. Viele Quellfassungen liegen in einsamen, schwer zu beaufsichtigenden Gegenden und sind deshalb oft Beschädigungen durch unberufene Hände ausgesetzt. Es ist daher zweckmäßig, Fassungsanlagen möglichst verdeckt, einfach und widerstandsfähig auszuführen. Sichtbare Flächen sind in solchen Fällen zu vermeiden und kaum wahrnehmbare Einsteigeschächte auffallenden Portalen vorzuziehen. Zugangsschächte mit gut gesicherten, verschließbaren Einsteigedeckeln verdienen auch deshalb Vorzug vor Portaltüren, weil Türschlösser leicht rosten und verrostete Schlösser den Zugang zur Fassung erschweren.

2. Die Entnahmeleitung. Der Durchmesser des Entnahmerohres sollte mindestens so groß sein, daß das Rohr imstande ist, den Höchstbedarf des Versorgungsgebiets zu decken. In vielen Fällen wird es zweckmäßig sein, den Rohrquerschnitt sogar der Höchstschüttung der Quelle anzupassen. Man trägt auf diese Weise einer späteren Erhöhung des Wasserbedarfs Rechnung. Die Unterkante der Entnahmeleitung sollte stets etwa 0,5–1,0 m über der Sohle des Abflußschachtes liegen, um gegen das Mitreißen von Schlamm und Sand gesichert zu sein, denn eine sorgfältig durchgeführte Quellfassung muß jederzeit sand- und schlammfreies Wasser liefern.

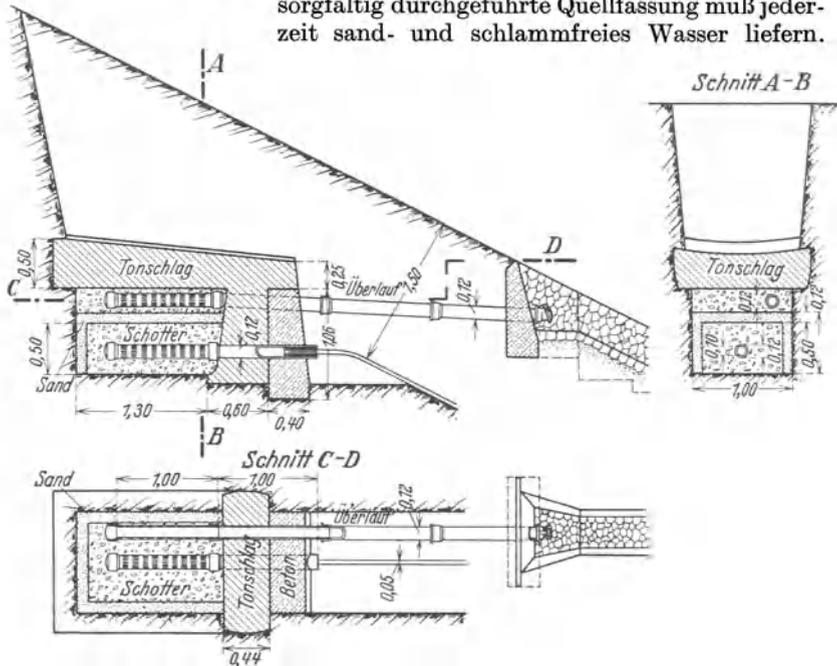


Abb. 106. Schlitzfassung mit Überlauf. (Nach U. Huber.)

3. Der Überlauf. Bei Quellen, deren Schüttung gleichmäßig ist, kann man vielfach auf die Anlage eines Überlaufs verzichten. Bei großen Schüttungsschwankungen wird dagegen ein Überlauf notwendig. Überlaufrohre müssen dann so bemessen sein, daß bei allseits geschlossenen Quellfassungen die Fassungen durch ihr eigenes Wasser weder gespannt noch gesprengt werden können. Eine Schlitzfassung mit Überlauf ist in Abb. 106 abgebildet. Jedes Überlaufrohr sollte in einer Froschklappe enden zwecks Fernhaltung von Ungeziefer. Um Mücken und sonstiges kleines Ungeziefer fernzuhalten, empfiehlt sich die Einbettung des Überlaufanfangs in eine Kiespackung.

4. Der Leerlauf. Der Sammelschacht jeder Fassungsanlage muß einen Leerlauf besitzen, der so groß zu bemessen ist, daß die Fassung zur Vornahme von Ausbesserungsarbeiten zugänglich wird. Der Leerlauf erhält einen Absperrschieber.

5. Die Entlüftung. In vielen Fassungsanlagen sammelt sich zeitweise schlechte Luft und auch Kohlensäure an, die durch eine besondere Luftleitung entfernt werden müssen. Eine Entlüftung soll auch verhindern, daß der Quellspegel einer schädlichen Gasspannung ausgesetzt wird. Man setzt die Entlüftung am Scheitel der Quellabdeckung an oder benutzt hierzu den Einsteigedeckel. Erfolgt die Fassung durch eine Anlage, die nur durch Aufgrabung zugänglich ist, so kann auch der Überlauf zur Belüftung ausgenutzt werden. Entlüftungen sind durch feine Gewebe gegen das Eindringen von Insekten zu schützen.

6. Die Meßvorrichtung. Bei jeder größeren Quelle sollte man eine selbsttätige Meßvorrichtung errichten, um die Schwankungen der Schüttung messen zu können. Handelt es sich um eine zusammengeleitete Quellgruppe, die aus einer Anzahl kleiner Quellen besteht, so ist es zweckmäßig, am Ende der Fassung einen besonderen Meßschacht anzulegen. Als Meßvorrichtung empfiehlt sich ein Überfall mit Schreibrolle, die durch ein Uhrwerk angetrieben wird.

Quellen, die zeitweise Sand führen, erhalten einen besonderen Sandfang. Hat das Quellwasser aggressive Eigenschaften (z. B. infolge von Kohlensäure), so empfiehlt sich die Anlage einer besonderen Entsäuerungsanlage, die man entweder in der Quellstube unterbringt oder als selbständiges Bauwerk errichtet.

7. Baustoffe. Das Mauerwerk kann entweder trocken oder in Mörtel ausgeführt werden. Verwendet man Backsteine, so müssen solche hart gebrannt sein. Am besten verwendet man sog. Klinker. Gewöhnliche Mauersteine werden leicht mürbe und zerfallen in verhältnismäßig kurzer Zeit. Auch Bruchsteine sollten stets widerstandsfähig sein. Ihre Lagerflächen müssen gut bearbeitet werden.

Der Mörtel muß aus besten hydraulischen Zementen und lehmfreien, scharfen Sanden gemischt werden.

Beton kann entweder als gewöhnlicher oder Eisenbeton verwendet werden. Fette Mischungen sind mageren vorzuziehen.

Verputz. Zu solchen eignet sich am besten ein Mörtel im Mischungsverhältnis von etwa 1 Teil Zement zu 1 Teil scharfem reinem Sand.

Schutzanstriche sind namentlich bei aggressivem Wasser zu empfehlen. Inertol, Bitolan u. dgl. sind geeignete Schutzmittel. Gewölbe erhalten zweckmäßig einen Asphaltüberzug oder eine Decke aus Asphaltfilz zwecks Verhütung von Tropfsteinbildungen und Eindringen von Pflanzenwurzeln in das Mauerwerk.

Rohre können aus Eisen, Steinzeug und Beton bestehen und sind stets mit guten Schutzanstrichen zu versehen. Gelochte Steinzeugrohre sind der beste Baustoff für Sickeranlagen. Muffen, die weniger als 2,0—2,5 m unter Erdoberfläche liegen, werden mit Asphalt gedichtet, weil durch diesen ein Eindringen von Wurzeln in die Rohre am besten verhindert wird. Ton- und Zementdichtungen werden leicht rissig.

Sand- und Kiespackungen sollen nur aus reinem, gewaschenem und gesiebtem Material bestehen.

D. Holz als Baustoff.

Holz sollte man grundsätzlich beim Bau von Quellfassungen nicht zulassen, da Holz, wenn es nicht ständig unter Wasser bleibt, leicht fault und dann Brutstätte organischen Lebens wird. Aus diesem Grunde ist es auch ratsam, für Laufstege statt Holz Betonplatten zu verwenden.

E. Überdeckung und Verdämmung von Quellfassungen.

Zur Überdeckung und Verdämmung von Fassungen zwecks Schutzes gegen das Eindringen von Tagwasser und sonstigen unerwünschten Zuflüssen eignen sich nach der heute vorwiegend noch herrschenden Ansicht am besten plastischer Ton und Beton. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß Betondichtungen mitunter den Nachteil haben, daß sie nach dem Erhärten infolge von Durchquellungen undicht werden, wobei wohl der Beton unbeschädigt bleibt, aber zwischen Beton und natürlich gewachsenem Boden Randklüfte ausgespült werden, durch welche unerwünschte Zuflüsse in die Fassung gelangen können. Tonschlagdichtungen haben den Vorzug der Plastizität und gelten im allgemeinen als unbedingt zuverlässiges Dichtungsmittel. Daß diese Ansicht nicht immer richtig ist, beweist Hug (47) unter Hinweis auf zwei Fälle, in denen eine Abdichtungsdecke aus Lehm durch Austrocknung von tiefgehenden Rissen durchsetzt worden ist und so ihre abdichtende Wirkung verloren hat (Abb. 107). Die Folge



Abb. 107. Rißbildung in plastischem Ton.
(Nach J. Hug.)

war das Eindringen von Jauche in das Leitungswasser. Die Richtigkeit der Beobachtungen Hugs wird bestätigt durch umfangreiche Versuche der „Kommission für Abdichtungen des Schweizerischen Wirtschaftsverbandes“ (48), die das Ergebnis dahin zusammenfaßt, daß nicht allein mit Rücksicht auf die beim Eintrocknen fetter Lehme fast stets in mehr oder minder hohem Maße auftretende Schwundrissigkeit, sondern auch mit Rücksicht auf die durch Frostwirkung bedingte Netzrissigkeit und schließlich im Hinblick auf das ungünstige Verhalten völlig eingetrockneter Lehme bei Wiedereintritt von Wasser Lehmverkleidung nur dort am Platz ist, wo entweder die Abdichtung stets unter Wasser oder wenigstens der direkten Einwirkung von Sonne, Regen und Frost entzogen ist. Deshalb ist es zweckmäßig, über Lehmdecken eine Rasendecke anzubringen, die das Austrocknen verhindert. Nach Hug ist die intensive Rißbildung durch Austrocknung besonders charakteristisch für reine Lehme. Mit Sand und Kies gemischte Lehme verhalten sich günstiger.

Man ersieht aus vorstehendem, daß Beton- und Tondichtungen nur bedingungsweise zuverlässig sind. Dort, wo Nässe und Trockenheit abwechseln sowie Sonne und Frost Zutritt haben, wird man bessere

Dichtungserfolge mit reinem, feinem Sand haben. Solcher Sand backt nicht, neigt weder zur Riß- noch zur Randkluftbildung und ist infolge seines hohen Filtrationsvermögens imstande, unreine Zuflüsse unschädlich zu machen.

27. Erhöhung der Quellschüttung durch zweckmäßige Fassung.

Durch zweckmäßige Fassung kann mitunter die Quellschüttung erhöht werden. So stieg die Ergiebigkeit der Quelfassung von Ranna (Nürnberg) von 250 auf 350 sl, die der Fassung von Nancy durch Stau von 6—7 auf etwa 60 sl und die der Donkaquellen (Sächsisch-Regen) von 26,2 auf 34,5 sl.

Die Messungen am Kaiserbrunnen und an der Stixensteinquelle der Stadt Wien nach ihrer Fassung zeigten nur in den ersten Jahren größere Minima. Im übrigen ergaben sie, daß zwar infolge Einbeziehung von Wasserzuflüssen, welche früher den Quellen nicht dienstbar waren, das jährliche Gesamtergebnis und die Maxima größer, dagegen die Minima kleiner wurden als früher. Es ist dies die Folge des erleichterten Wasserzuflusses zu den Quellen, welcher den Wasserspiegel rascher zu senken vermag.

28. Beispiele von Quelfassungen.

Die Anwendung der im Absatz „Allgemeines über den Bau von Quelfassungen“ gegebenen Richtlinien soll im nachstehenden durch praktische Beispiele näher erläutert werden. Die außerordentliche Mannigfaltigkeit, unter der Quellen in ein und derselben geologischen Formation auftreten können, bringt es mit sich, daß von einer schematischen Behandlung ihrer Fassung im Sinne bestimmter Regeln nicht die Rede sein kann. Jede Quelle ist ein Individuum für sich und muß, entsprechend ihren Eigentümlichkeiten, besonders behandelt werden.

A. Einfache, nicht begehbare Fassungen.

An der Seite einer Talsohle oder an einem Talhang treten in der Regel Schichtquellen auf. Der Quellaustritt liegt dann unmittelbar auf der undurchlässigen Schicht, und die wasserführende Schicht hat vielfach geringe Tiefe. In einem solchen Fall sind die einfachsten Fassungen die in den Abb. 108 bis 112 angedeuteten.

Bei größerer Mächtigkeit der wasserführenden Schicht empfehlen sich Fassungskörper nach den Abb. 113 und 114.

Einen besonderen Steinzeuffassungskörper mit schrägen Eintrittschlitzen nach Cua u stellt Abb. 115 dar.

Tritt die Quelle in einer Talmulde zutage, so wird man mit einer kurzen Fangmauer auskommen, hinter der eine Steinsickerung angeordnet wird (Abb. 116).

Ist die undurchlässige Schicht nicht ausgesprochen waagrecht, sondern wellenförmig gelagert, so empfiehlt sich die Zerlegung der

Fassung in kleinere Fassungseinheiten nach Abb. 117, deren Schüttung in einem Sammelschacht zusammengeleitet wird. Bei kleinen Quellen wird oft eine einfache Fassung nach Huber genügen (Abb. 118).

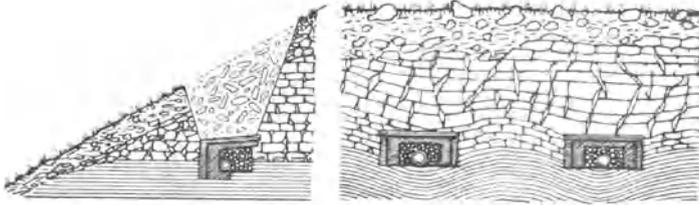


Abb. 117. Zerlegte Fassung bei wellenförmigem undurchlässigem Untergrund. (Bayerisches Landesamt für Wasserversorgung.)

Treten die Quellen auf einer längeren Strecke zusammenhängend zutage, so wird man das ganze Quellgebiet mit einer langen Fangmauer abdämmen. Die Fangmauer wird in einer Stärke von 0,30—0,50 m

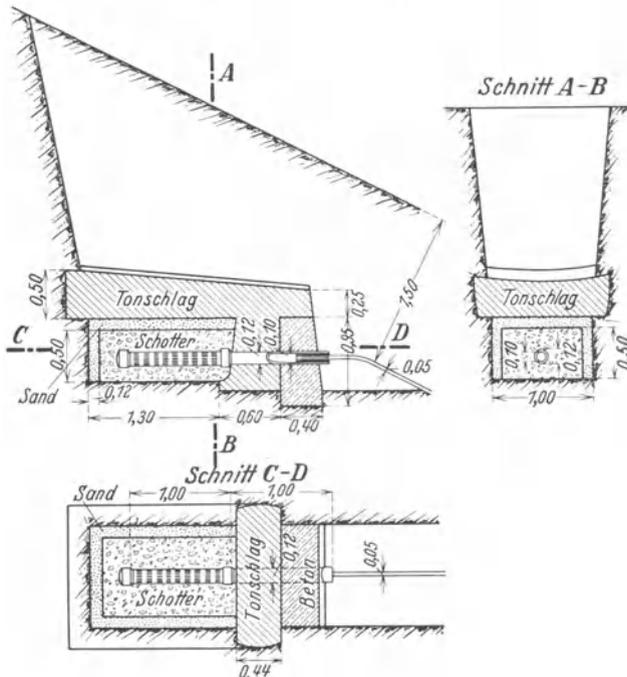


Abb. 118. Einfache Quellfassung nach U. Huber.

in Beton hergestellt und auf der Außenseite mit einer Lettenschicht umgeben, um ein Austreten des Quellwassers durch den nicht völlig dichten Boden und durch zufällig entstehende Mauerrisse zu verhindern.

Man kann, wie in Abb. 119 dargestellt, die Fassung nur in Steinpackung ohne besonderen Abflußschacht ausführen oder, wie Abb. 120

zeigt, zur Fassung besondere Sickerrohre verwenden und die Ableitung sowie den Überlauf in einem Quellschacht anordnen.

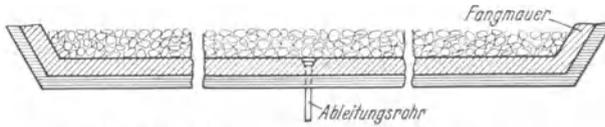


Abb. 119. Einfache Sickeranlage aus Steinpackung.

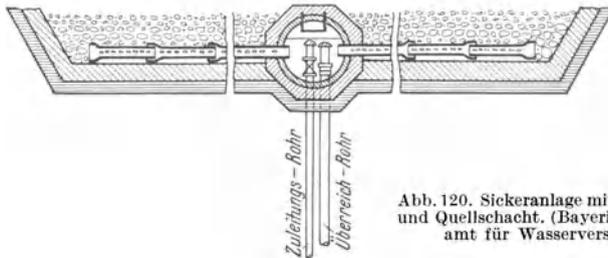
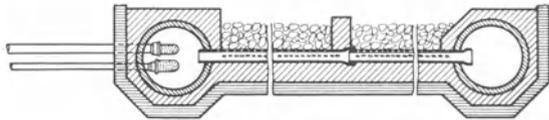


Abb. 120. Sickeranlage mit Sickerrohren und Quellschacht. (Bayerisches Landesamt für Wasserversorgung.)

Eine Sickeranlage mit seitlichem Quell- und Nachschau-schacht gibt Abb. 121 wieder. Der Quellschacht kann zugleich als Sandfang dienen.

Abb. 121. Sickeranlage mit Quell- und Nachschau-schacht. (Bayerisches Landesamt für Wasserversorgung.)



Der Nachschau-schacht ermöglicht eine Überprüfung der Fassungsanlage. Man legt zweckmäßig Nachschau-schächte an allen etwa notwendigen Brechpunkten der Fassung an.

Tritt in einer Talbildung das Quellwasser auf größere Länge von zwei Seiten aus dem Untergrund, so fallen die Fassungsmauern fort, und es werden nur einzelne Abdämmungen senkrecht oder schräg zur Richtung der Quellfassung angelegt, wie aus Abb. 122 hervorgeht.

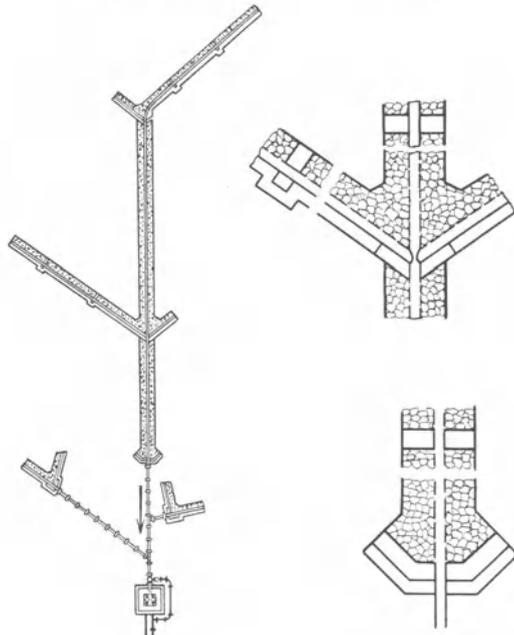


Abb. 122. Quellfassung Trauchgau in Bayern. (Bayerisches Landesamt für Wasserversorgung.)

Treten Quellen in verschiedener Höhe auf, so kann man sie treppenartig fassen nach Abb. 123.

Bei Quellen, die nicht von der Seite eines Talhangs kommen, son-

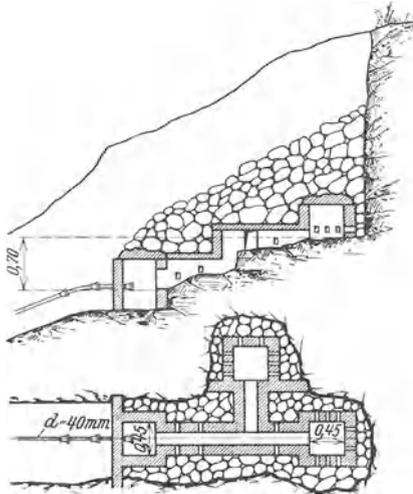


Abb. 123. Fassung von zwei übereinanderliegenden Quellen. (Nach Friedrich.)

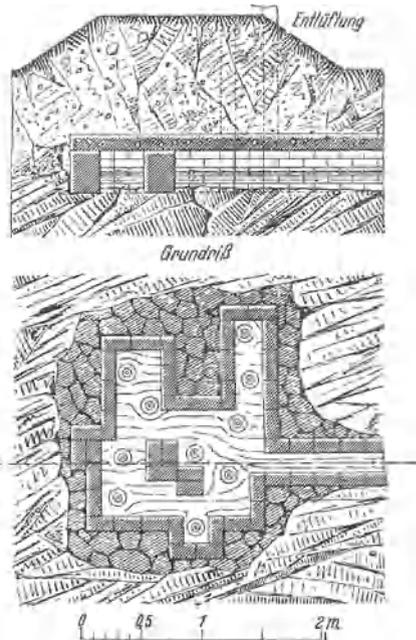


Abb. 124. Fassung durch Backsteindohlen. (Nach Lubbegeger.)

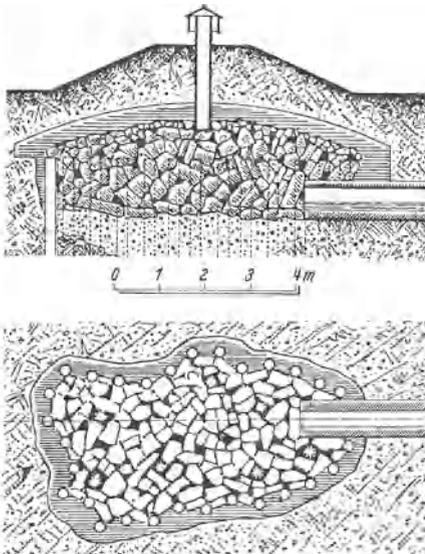


Abb. 125. Fassung mittels Steinpackung.

nen, nach Abb. 125 mittels einer Steinpackung, die von einer Pfahlwand (am besten Betonpfähle) umschlossen wird. In beiden Fällen geschieht

dern von unten ihren Zufluß erhalten, muß die Fassung die unter der Talsohle liegenden wasserführenden Schichten erschließen. Dies erreicht man am leichtesten entweder mittels aufgelagerter Steinpackung, Tiefgrabung oder durch Brunnen-schächte. Grabung ist am Platze bei mäßigem Wasserandrang und nicht allzu großer Mächtigkeit der wasserführenden Schicht, Brunnen-senkung oder Bohrung, wenn der Zufluß große bauliche Schwierigkeiten verursacht und die wasserführenden Schichten mächtig sind.

So sind aufsteigende Quellen nach Abb. 124 gefaßt durch ein Netz von Dohlen aus Backsteinen, nach Abb. 125 mittels einer Steinpackung, die von einer Pfahlwand

die Sicherung gegen das Eindringen von Oberflächenwasser durch eine Decke aus Beton oder Lehm.

Als Beispiel gefaßter aufsteigender Stauquellen können die Quellen der Umgebung von Ranna bei Nürnberg gelten, die in den Klüften des Dolomits ihr Speisegebiet haben und durch wasserdichte Einschwemmungen so hoch aufgestaut werden, daß sie in der Nähe der

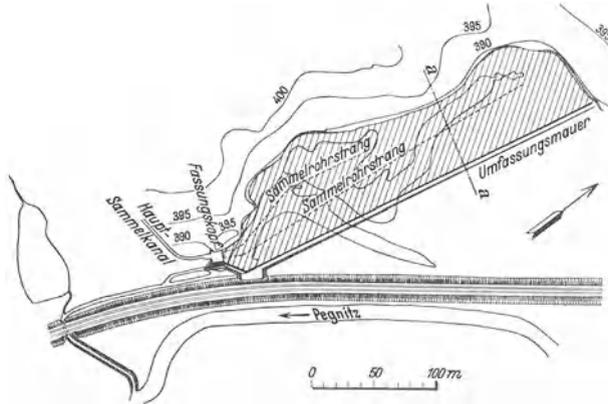


Abb. 126. Übersichtsplan der Quellfassung bei Ranna.

Pegnitz zum Durchbruch kommen. Die Fassung erfolgt unmittelbar über ihrem Ausbruchsort durch Umfassung mittels einer Mauer, Verlegung eines Sammelrohrs in eine Steinpackung (30—50 cm Korngröße) und Bildung einer Schutzdecke, die aus Schotter, Sand, einer Eisenbetondecke von 20 mm Stärke und Aufschüttung besteht (Abb. 126 bis 128).



Abb. 127. Querschnitt durch die Quellfassung bei Ranna.

Bei Quellen mit mächtigem Auftrieb, welche z. B. in der Buntsandsteinformation aus verschlammten Sandsteintrümmern emporsteigen, empfiehlt es sich nach Hocheder (19), womöglich sämtliche Quellen durch einen Sammelschacht mit offenem Boden zu fassen und die Umfassungsmauern des Schachtes auf Schwellrost zu setzen (Abb. 129). Dieser Arbeitsvorgang empfiehlt sich bei der verschlammten Beschaffenheit der Steintrümmer deshalb, weil überall dort, wo man Gräben zieht, ebenfalls Wasser auftritt, sobald die Baugrube unter den eigentlichen Quellspiegel hinabreicht, während gleichzeitig die Quelle völlig

verfällt. Man vermeidet es deshalb, einen geschlossenen Schacht in der Nähe der eigentlichen Fassung anzulegen, da seine Abdichtung bei



Abb. 128. Ausfüllung des Quellfassungsbeckens bei Ranna.

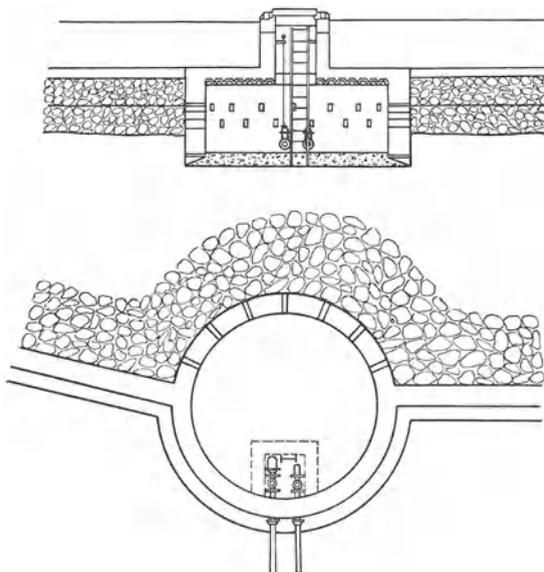


Abb. 129. Quellfassung Trippstadt mittels offenen Sammelschachtes. (Nach Hocheder.)

der schwachen lettigen Beschaffenheit der Überlagerung sehr schwierig ist, und umfaßt möglichst sämtliche Quellen mit einem Sammelschacht, dessen Boden offen bleibt.

Eine aufsteigende kleine Quelle kann man auch mittels eines lotrecht stehenden gelochten Steinzeugrohres fassen (Abb. 130).

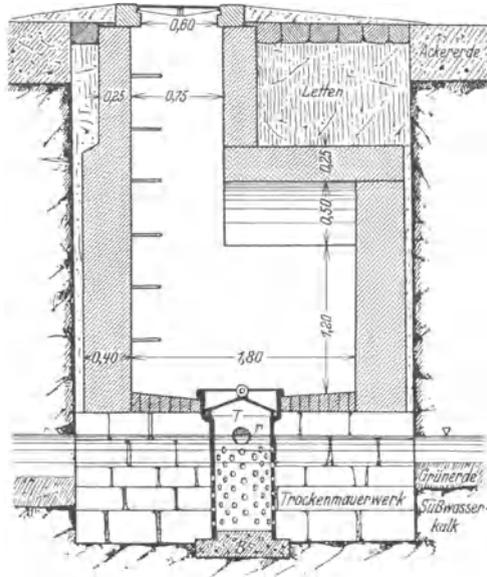


Abb. 130. Fassung mittels eines lotrecht stehenden Steinzeugrohres. (Nach Friedrich.)

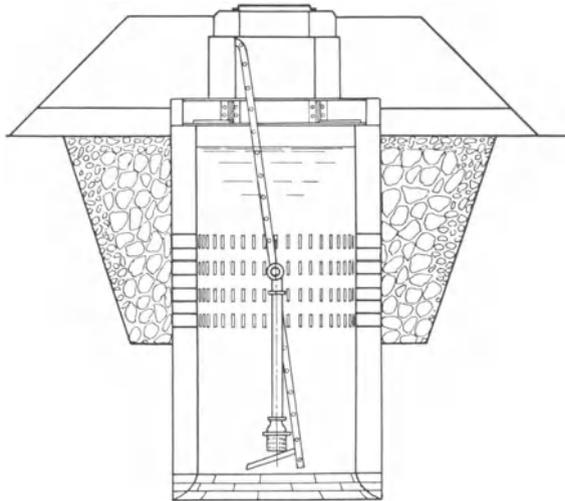


Abb. 131. Quellfassung Altötting. (Nach Hocheder.)

Das Fassungsrohr sitzt auf einer Betonplatte und ist mit einem Deckel geschlossen. Der Zutritt des Wassers erfolgt durch Trockenmauerwerk.

Nach Hocheder ergeben sich oft in den in alluvialen Geröll hinziehenden Tälern, welche an der Oberfläche mit lettigen Massen angefüllt sind, Fassungen an den Hängen, welche an der Talseite an Letten

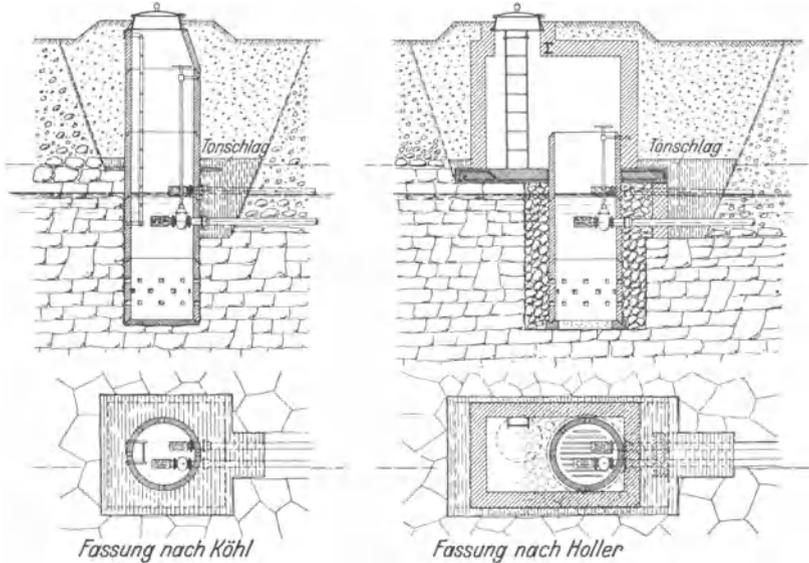


Abb. 132. Fassung einer tiefliegenden Quelle. (Nach Köhl und Bayerisches Landesamt für Wasserversorgung.)

grenzen und an der Hangseite im Geröll sitzen und selbst in großer Tiefe auf keinerlei undurchlässige Sohle treffen. In solchen Fällen empfiehlt sich eine Fassung nach Abb. 131, die eigentlich schon den Übergang zu einem Grundwasserbrunnen bildet.

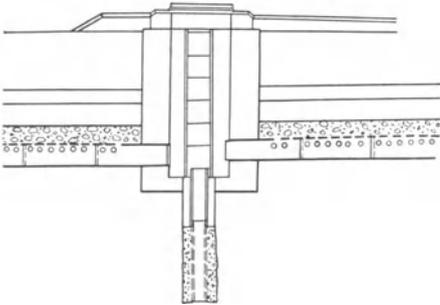


Abb. 133. Sickerfassung Rosenheim. Rohrbrunnenfassung. (Nach Hocheder.)

Ist unterhalb der schwer durchlässigen Schicht noch eine wasserführende und befinden sich darunter weitere völlig abgeschlossene Schichten, die ebenfalls Wasser führen, so wird man eine horizontale Sicker-galerie nur im oberen Stockwerk anlegen und die unteren mittels Rohr- oder Schachtbrunnen erschließen (Abb. 132).

B. Große, zum Teil begehbare Fassungen.

Eine höchst bemerkenswerte große Quelfassung ist die Kaiserbrunnenfassung der Stadt Wien. Das den Kaiserbrunnen speisende Quellwasser kommt aus zerklüfteten Kalken der Trias. Die undurchlässige Sohle bildet Werfener Schiefer. Beim Vortreiben des Arbeits-

stollens fand man eine 17 m lange und etwa 1 m breite Grotte, aus der an fünf Stellen mächtige Quellen hervortreten. Der Fassungsbau be-

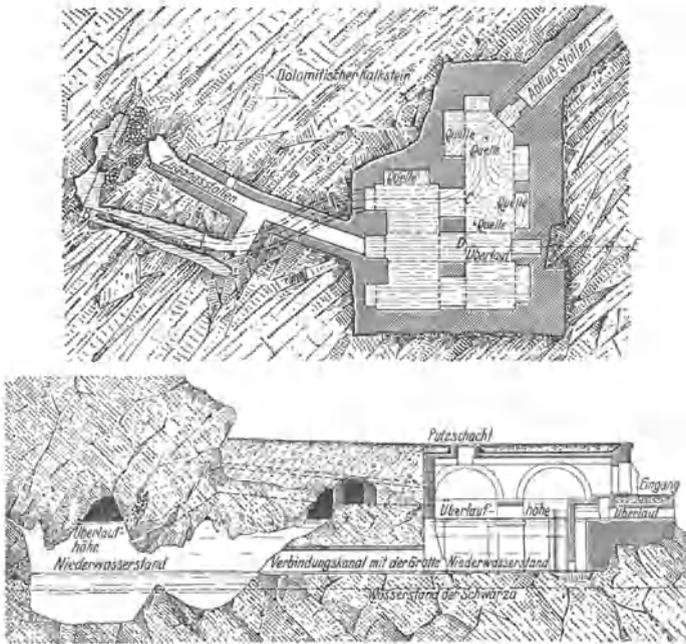


Abb. 134. Kaiserbrunnenfassung der Stadt Wien.

steht aus einem in Quadermauerwerk ausgeführten Wasserschloß mit Abflußstollen und Überlauf. Die Reinigung kann durch einen besonderen Putzschacht erfolgen (Abb. 134).



Abb. 135. Quellen von Caposelle vor der Fassung.

Eine verhältnismäßig einfache Fassung weisen die Quellen von Caposelle (Apulien) auf. Ihre Schüttung beträgt im Winter etwa $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, im Sommer $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Da hier die undurchlässigen Kalksteine auch nicht der kleinsten Wassermenge ein Entweichen gestatten, so bestanden nach Hal-

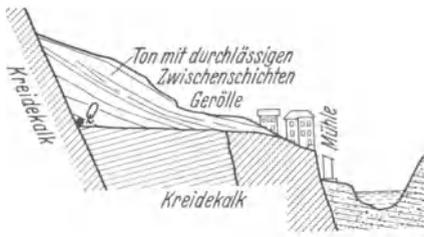


Abb. 136. Schnitt durch die Quellfassung von Caposelle. (Nach Giambarba.)

ler (49) und Fattorini (50) die Fassungsarbeiten im wesentlichen aus der Erstellung einer 2 m starken Absperrmauer, deren Krone 2,45 m über dem mittleren natürlichen Quellspiegel liegt, und 12 Sickerstollen verschiedener Länge mit einem Querschnitt von $0,80 \times 1,20 \text{ m}$ (Abb. 135 bis 137).

Mittels tiefgründiger Maßnahmen werden nach Bechmann und Babinet (51) die Quellen von Saint Thomas gefaßt. Die Quellen liegen im Überschwemmungsgebiet des Lunain und gehören zu der

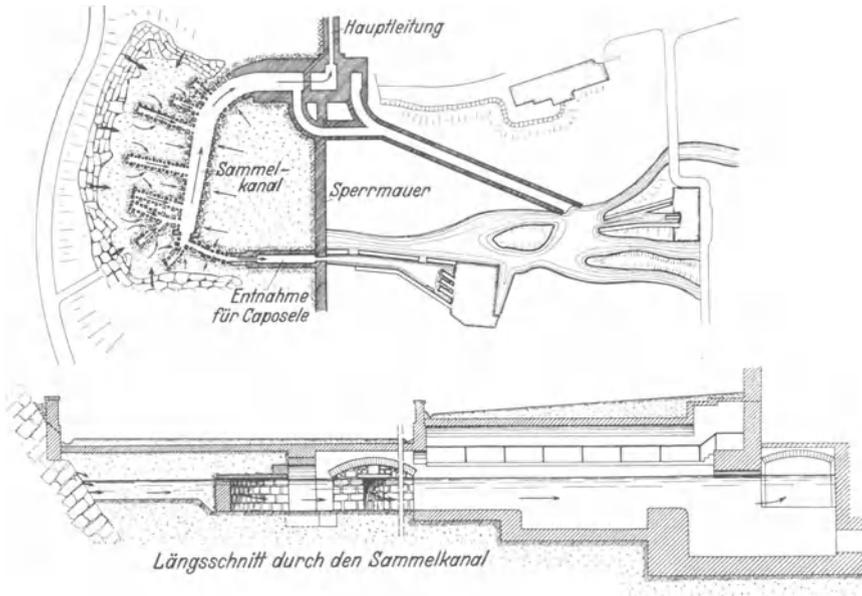


Abb. 137. Quellfassung von Caposelle.

Quellgruppe Loing-Lunain. Die Fassung erfolgt in der Kreide mittels eines gemauerten Senkbrunnens von 3,40 m i. L. (Abb. 138). Die Fassungsanlage ist mit Rücksicht auf den zum Teil aus Torf bestehenden Untergrund durch Gewölbe, die auf Pfahlrost ruhen, unterfangen. Die Ergiebigkeit der Quelle beträgt rund 240 sl bei etwa 8 m Spiegelsenkung.

Es ist aber hygienisch zweckmäßig, das Quellwasser im Stollen nicht offen, sondern in einer gegen Verschmutzung gesicherten Rohrleitung abfließen zu lassen, wie in Abb. 143 dargestellt. Eine solche Stollenfassung besitzt die Stadt Baden-Baden. Die Fassung besteht aus einem

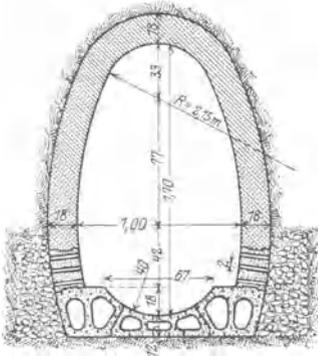


Abb. 142. Abflußstollen mit Bankett.

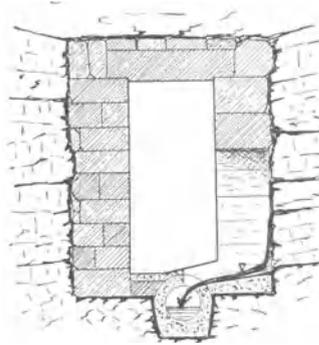


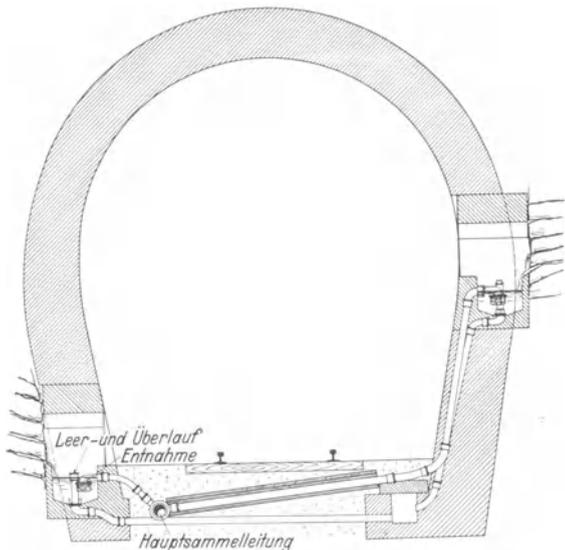
Abb. 143. Sammelstollen der Stadt Baden-Baden.

begehbaren Stollen von $1,60 \times 0,70$ m i. L. An jeder Stelle, an welcher eine stärkere Quelle hervortritt, ist in der Stollenwand eine Nische angelegt und die zur Aufnahme des Quellwassers dienende Zementrohrleitung gegen die Nische geöffnet. Die Sohle des Sammelstollens ist besonders entwässert, damit kein Tropf- und sonst unerwünschtes Wasser in das Quellwasser gelange. Das Mauerwerk der Stollenwände ist trocken in gutem Verband ausgeführt, die Sohle und etwa 20 cm der anschließenden Wand haben Zementputz erhalten.

Besondere Sicherungsmaßnahmen gegen Verunreinigung sind nach Mitteilungen von H. C. Ryser bei der Wasserfassung von Courgenay getroffen worden

(Abb. 144). Das aus Nischen kommende Quellwasser fließt in geschlossenen Leitungen zur Sammelleitung.

Auf besondere und billige Art wurden Stollenfassungen in Molasse-sandstein (Miozän) durch H. C. Ryser in der Schweiz ausgeführt.

Abb. 144. Fassungsstollen von Courgenay.
(Nach H. C. Ryser, Bern.)

Infolge der verschiedenen Härten des Gesteins können in der Molasse sowohl Graben- als auch Stollenfassungen in Frage kommen. Eine

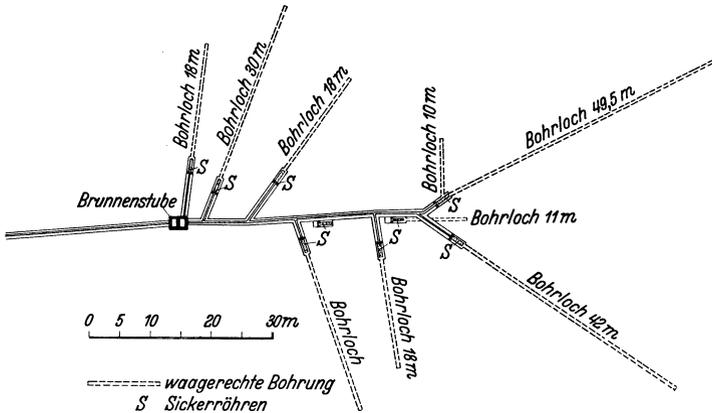


Abb. 145. Fassungen Innerberg in der Molasse. (Nach H. C. Ryser, Bern.)

Eigentümlichkeit der Molasse besteht darin, daß sie vielfach von Spalten durchzogen ist, in welchen sich Wasser sammelt und zum Abfluß kommt.



Abb. 146. Durch Bohrung erschlossene Quellen in der Molasse. (Nach H. C. Ryser, Bern.)

Im senkrechten Durchfahren möglichst vieler solcher Spalten beruht oft das Geheimnis des quantitativen Erfolgs der Fassung. Da sowohl die Graben- als auch Stollenbauten zu kostspielig werden, andererseits das Material nicht sehr hart ist, so kann hier mit Vorteil zum horizontalen Bohren gegriffen werden, insbesondere wenn die Spalten in ziemlich vertikaler Richtung verlaufen. Der Bauvorgang ist dann nach Ryser der, daß das Gelände bis auf etwa 4—6 m Tiefe angeschnitten und dann mit der Bohrung begonnen wird. Das Bohrloch wird etwa 0,5 m über der Grabensohle angesetzt. Als Bohrwerkzeug verwendet man einen Stahlbohrer, der in eine gelochte galvanisierte Röhre geschraubt wird. Die Röhre dient als Fassungskörper (Abb. 145 und 146). Der Fortschritt ist

relativ groß. Mit 4—5 Mann können im Tag bis 25 m gebohrt werden. Es kommen Bohrlochlängen bis 60 m vor.

D. Wassererschließung durch Tunnel- und Stollenbauten.

Unbeabsichtigte Quellaufschlüsse finden sich bei Tunnelanlagen. Wie verschieden in Funktion der Länge, Art des Gebirges und der Jahreszeiten die durch Tunnelbauten erschlossenen Wassermengen sind, geht aus folgender Zusammenstellung hervor.

Tabelle 8.

Tunnel	Länge m	Abfluß sl		Geologische Bildung	Bemerkungen
		max.	min.		
St. Gotthard	14984	348	230	Gneis, mitunter zersetzt in Ton	Größte Infiltration im Sommer bei Schneeschmelze, max. im Sept. und Okt.
Arlberg . .	10249	15	—	Glimmerschiefer, Gneis, Quarz, trocken	Die Menge von 15 sl floß nur einige Tage.
Turchino .	6427	117	74	Eruptiv, Schiefer	max. im Okt. min. im April.
Albula . . .	5806	319	—	Schiefer, Mergel, Granit	In 1197 m Menge 210 bis 230 sl.
Col de Tende	8099	1000	340		max. im Mai—Juni während Schneeschmelze und Okt. bis Nov. während der Herbstregen.

Auch bei Stollen, die nur Wassergewinnungszwecken dienen, kann die Wasserführung der verschiedenen Gesteine große Unterschiede zeigen. So z. B. geben nach Michels (52) die Trinkwasserstollen im südöstlichen rheinischen Schiefergebirge (Taunus) je Stollenmeter und Tag aus nachstehender Zusammenstellung ersichtliche Wassermengen (m³):

Tabelle 9.

Stollen	Phyllit bzw. metamorphe Eruptiva m ³	Grauwackenschiefer m ³	Taunusquarzit m ³
Münzberg	0,38	—	3,05
Kellerkopf	0,19	—	1,78
Kreuzstollen	0,20	—	1,43
Schäferskopf	0,45	—	1,43
Homburg (3 Stollen)	0,43	0,90	2,00
Rüdesheim	—	—	0,36

E. Stollenfassungen mit Wasseraufspeicherung.

Bei Quellen, die durch Stollen erschlossen werden und deren natürliche Ergiebigkeit auf das Mindestmaß im Hochsommer sinkt, also in die Zeit des höchsten Wasserverbrauchs fällt, kann man die Sommererschüttung dadurch künstlich erhöhen, daß man im Frühjahr und im Herbst das Wasser in den durchlässigen Schichten künstlich aufstaut. Ein solcher Aufstau ist aber nur unter ganz bestimmten geologischen Verhältnissen praktisch durchführbar und setzt in erster Linie den Wechsel steil abfallender durchlässiger und undurchlässiger Schichten von hinreichender Mächtigkeit voraus.

Den ersten Stollen dieser Art erbaute Winter für die Wasserversorgung der Stadt Wiesbaden (53). Die Anlage besteht aus mehreren

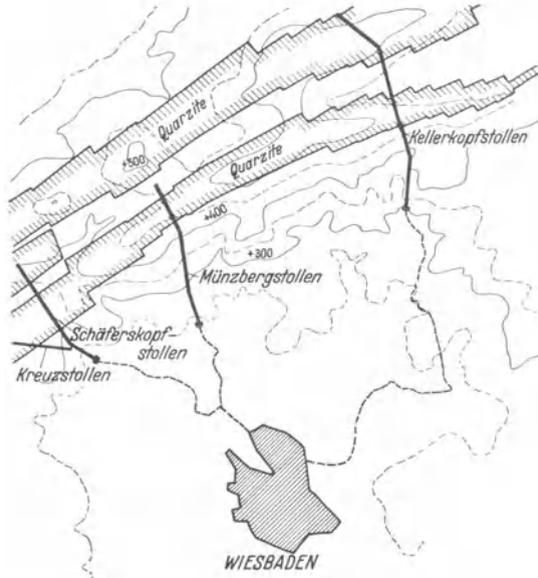


Abb. 147. Lageplan der Stollenfassungen der Stadt Wiesbaden. (Nach Halbertsma und Spieser.)

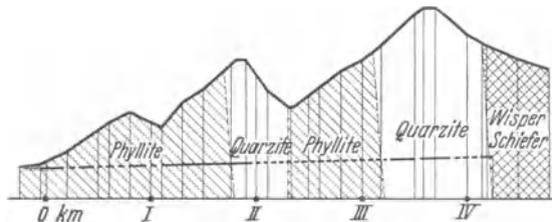


Abb. 148. Schnitt durch den Kellerkopfstollen. (Nach Halbertsma und Spieser.)

Stollen, welche hinter den wasserarmen, ziemlich undurchlässigen Phylliten wasserreiche Quarzitschichten erschlossen haben (Abb. 147 und 148).

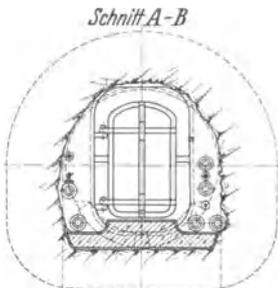


Abb. 149. Dammtür im Kellerkopfstollen.

Als Aufstauvorrichtungen dienen besondere Stollenverschlüsse, die es ermöglichen, das Wasser in den Spalten und Rissen des Quarzits bis zu etwa 170 m Höhe über Stollenssole zu stauen und auf diese Weise einen Wasservorrat von mehr als einer halben Mio m³ für den erhöhten Sommerbedarf zu sammeln. Als Verschlüsse dienen Mauerwerkskörper mit Türen. Abflußröhren mit Absperrvorrichtungen durchbrechen die Mauern (Abb. 149 und 150).

Ähnliche Anlagen hat nach Imbeaux (54) Brüssel (in Sanden), Nancy (im Kalk), Santa Barbara (im Sandstein). Aufstauvorrichtungen sind nur dann am Platze, wenn der gestaute Wasserspiegel nicht mit

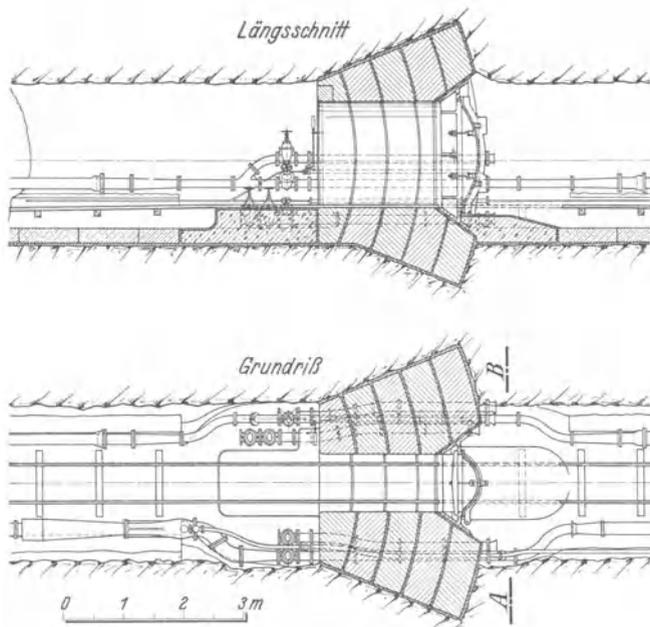


Abb. 150. Dammverschluß im Kellerkopfstollen. (Längsschnitt und Grundriß.)

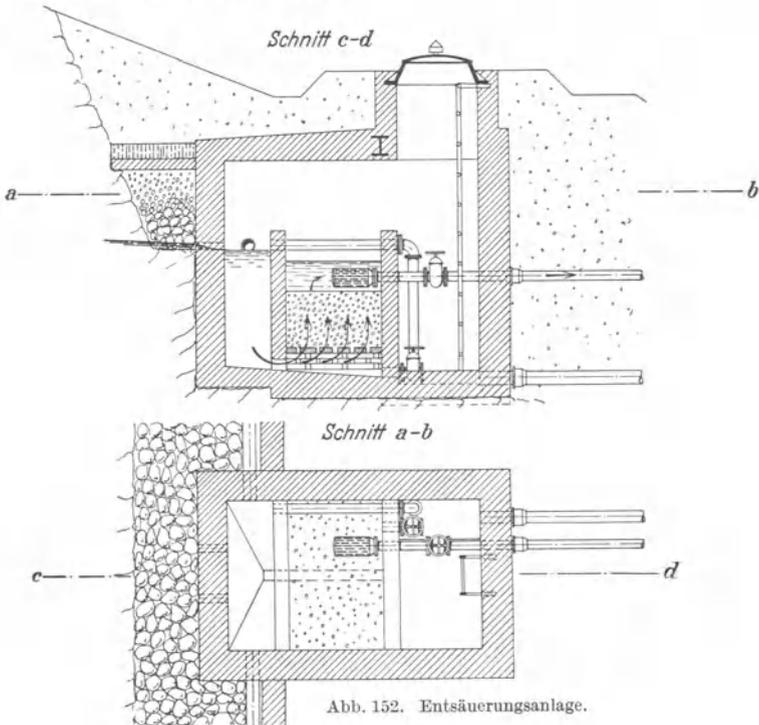
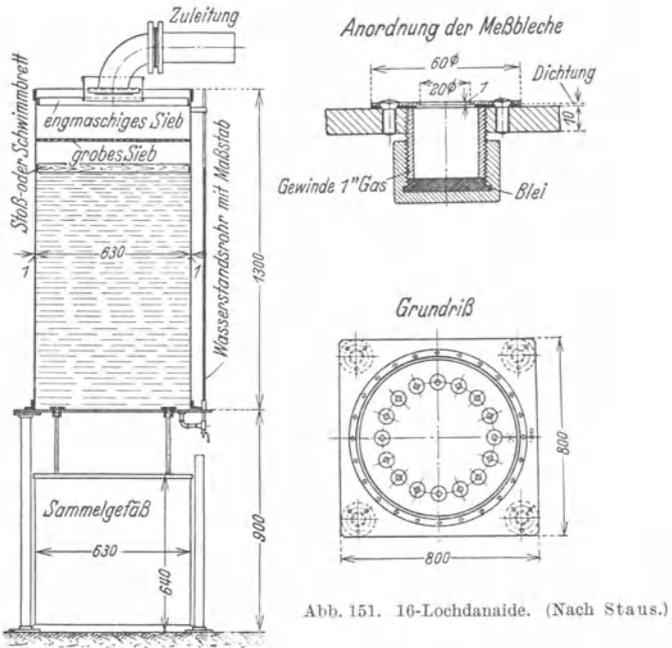
leicht auslaugbaren Tonschichten in Berührung kommt. Der Spiegel muß stets unter solchen Schichten bleiben, da sonst lästige Wassertrübungen eintreten.

29. Quellfassungs-Beiwerke.

Zu den Quellfassungsbeiwerken gehört eine Meßvorrichtung zum fortlaufenden Messen der Quellergiebigkeit. Eine derartige Vorrichtung empfiehlt sich namentlich dort, wo es sich um größere Schüttungsmengen und stark schwankende Ergiebigkeit handelt. Im Zusammenhalt mit Regenmessungen wird der Schüttungsgang Auskunft geben über den hydrologischen Charakter der Quelle und ihren Zusammenhang mit der Oberfläche.

Als Meßvorrichtung empfehlen sich vor allem Überfälle mit selbstregistrierendem Pegel. Nähere Angaben über Überfallmessungen findet man im „Handb. der Hydrologie“ 1923, S. 74 ff. sowie bei Staus (55).

Ist genügend Gefälle vorhanden, so eignen sich zur genauen Nachmessung auch Danaiden. Danaiden sind offene Gefäße, in deren Boden sich eine oder mehrere Öffnungen befinden. Man hat Einloch-, Zweiloch-



und Mehrlochdanaiden. Eine 16-Lochdanaide (Abb. 151) hat eine maximale Leistung von etwa 15 s/l, eine 60-Lochdanaide von etwa 60 s/l. Genaueres über Danaiden findet man bei Staus.

Bei Quellwässern mit verhältnismäßig hohem Kohlensäuregehalt empfiehlt sich zwecks Vermeidung von Korrosionsgefahr unter Umständen die Einrichtung einer besonderen Entsäuerungsanlage, deren Hauptbestandteil ein Marmorkiesfilter ist. Einzelheiten einer solchen Anlage sind aus Abb. 152 ersichtlich.

30. Zusammenleiten von Quellen.

Hat man mehrere Quellen, die an einen gemeinschaftlichen Abflußstrang angeschlossen werden sollen, so leitet man sie am zweckmäßigsten in einen gemeinsamen Sammelschacht. Man muß aber bei einem solchen Zusammenleiten berücksichtigen, daß große Spiegelunterschiede ein Stauen niedriger gelegener Quellen verursachen können. Dies verhindert man durch Einbau von Absturzschrägen oder Gefällsunterbrechern.

Zum Sammeln schwächerer, benachbarter Quellen bedient man sich mit Vorteil eines sog. Sammeltopfes (Abb. 153). In ihn ergießen sich dann mehrere Quellen, deren Wasser durch ein gemeinsames Ableitungsrohr weitergeleitet wird.

Ableitungsschächte sowie Sammeltopfe können je nach Bedarf einen Überlauf sowie einen Rechen zum Abfangen grober Gegenstände erhalten. Der Rechen ist namentlich während des Baues nützlich, da die Arbeiter häufig Steine und Holz in die Rohre stecken. Sie werden durch den Rechen aufgefangen.

Ein Beispiel von Zusammenleitung verschiedener Quellgruppen bietet nach Huber die Quellfassung von Sächsisch-Regen in Siebenbürgen (Abb. 154). Die sog. Donkaquellen ergaben vor der Fassung durch Messung 25 sl und später

bei Meßschacht	I	4,9 sl
„	„	II 8,9 „
„	„	III 3,5 „
„	„	IV 8,9 „
			<hr style="width: 100px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> 26,2 sl

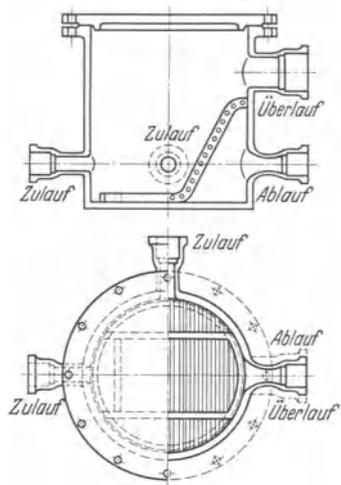


Abb. 153. Sammeltopf für schwächere Quellen. (Nach U. Huber.)

Zwecks Fassung wurden alle Spalten geöffnet und mit fettem Zementmörtel von oben her zubetoniert. Der Bach wurde abgeleitet

und die Spalten im Bachbett und beiderseits des Bachbettes auf gleiche Weise verdichtet. Dadurch stieg die ursprüngliche Ergiebigkeit von 20 sl auf 34,5 sl.

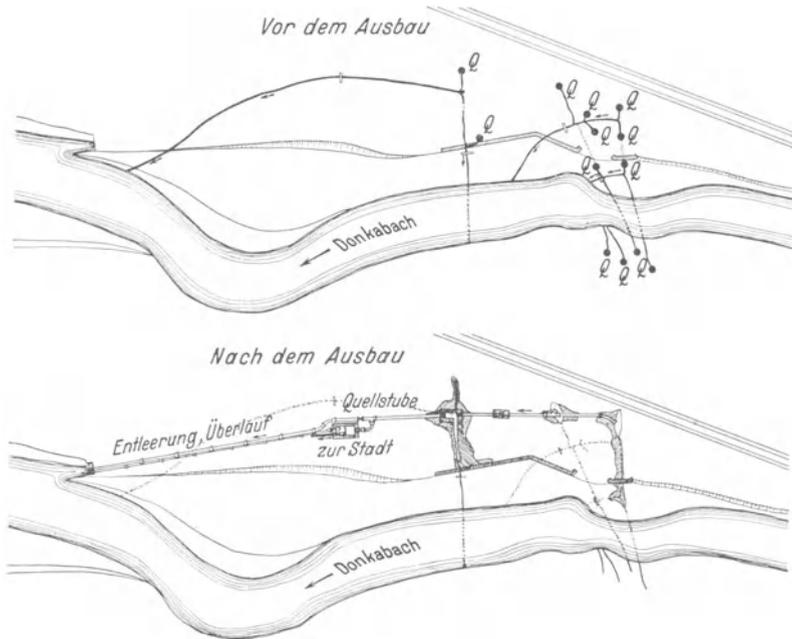


Abb. 154. Quellfassung von Sächsisch-Regen. (Nach U. Huber.)

31. Ableitung des Quellwassers mit natürlichem Gefälle.

Sind in einem Tal Quellen in verschiedener Höhenlage vorhanden und liegen die Quellen so hoch, daß es möglich ist, sie mit natürlichem

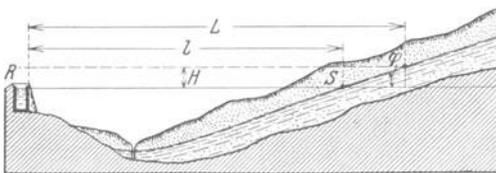


Abb. 155.

Gefälle in das Versorgungsgebiet zu leiten, so wird diejenige Quellfassung die zweckmäßigste sein, für welche die Zuleitungskosten ein Minimum werden. Die zweckmäßigste Lage der Fassung kann nach

Weyrauch (56) wie folgt ermittelt werden (Abb. 155):

Es sei:

B der Hochbehälter,

H die Höhe der Quellfassung über dem Hochwasserspiegel des Behälters,

L die Entfernung der Quellfassung vom Hochbehälter,

φ der Winkel, den die gemittelte Verbindungslinie zwischen den einzelnen Quellorten mit der Horizontalen bildet,

l die Entfernung der Stelle, an welcher der Hochwasserspiegel die gemittelte Linie schneidet,

- D die Lichtweite der Leitung,
- Q die Wassermenge,
- λ der Widerstandsbeiwert,
- m ein empirischer Beiwert, welcher mit D den Aufwand für 1 m Rohrlänge gibt,
- K die Kosten der ganzen Druckleitung,

dann ist

$$(L - l) \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{H \cdot \lambda \cdot Q^2 L}{D^5}.$$

Werden die Kosten je Längenmeter fertig verlegte Rohrleitung der Lichtweite einfach proportional gesetzt, so ist der Gesamtaufwand für die Leitung

$$K = m \cdot D \cdot L.$$

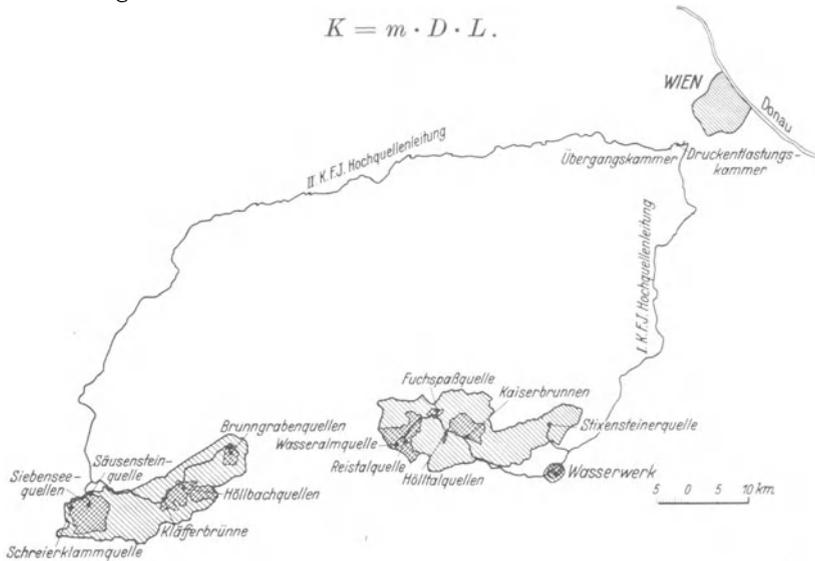


Abb. 156a. I. und II. Hochquelleitung der Stadt Wien.

Eliminiert man D , so folgt

$$K = \sqrt[5]{\frac{m^5 \cdot \lambda Q^2 L^6}{\operatorname{tg} \varphi (L - l)}}.$$

Soll L so bestimmt werden, daß die Kosten ein Kleinstes werden, so ist der Differentialquotient von K nach L zu bilden und gleich Null zu setzen. Daraus ergibt sich

$$QL^5(L - l) - L^6 = 0,$$

$$L = \frac{5}{6} l.$$

Diese Rechnung hat nur dann Gültigkeit, wenn die Leitung mit nahezu gleichem Gefälle verläuft. Finden Gefällsbrüche statt, so kann die wirtschaftlichste Variante nur durch Kostenvergleichung ermittelt werden.

Ein Beispiel einer zweifachen Quelleitung mit natürlichem Gefälle bilden die I. und II. Hochquelleitung der Stadt Wien (Abb. 156a und b).

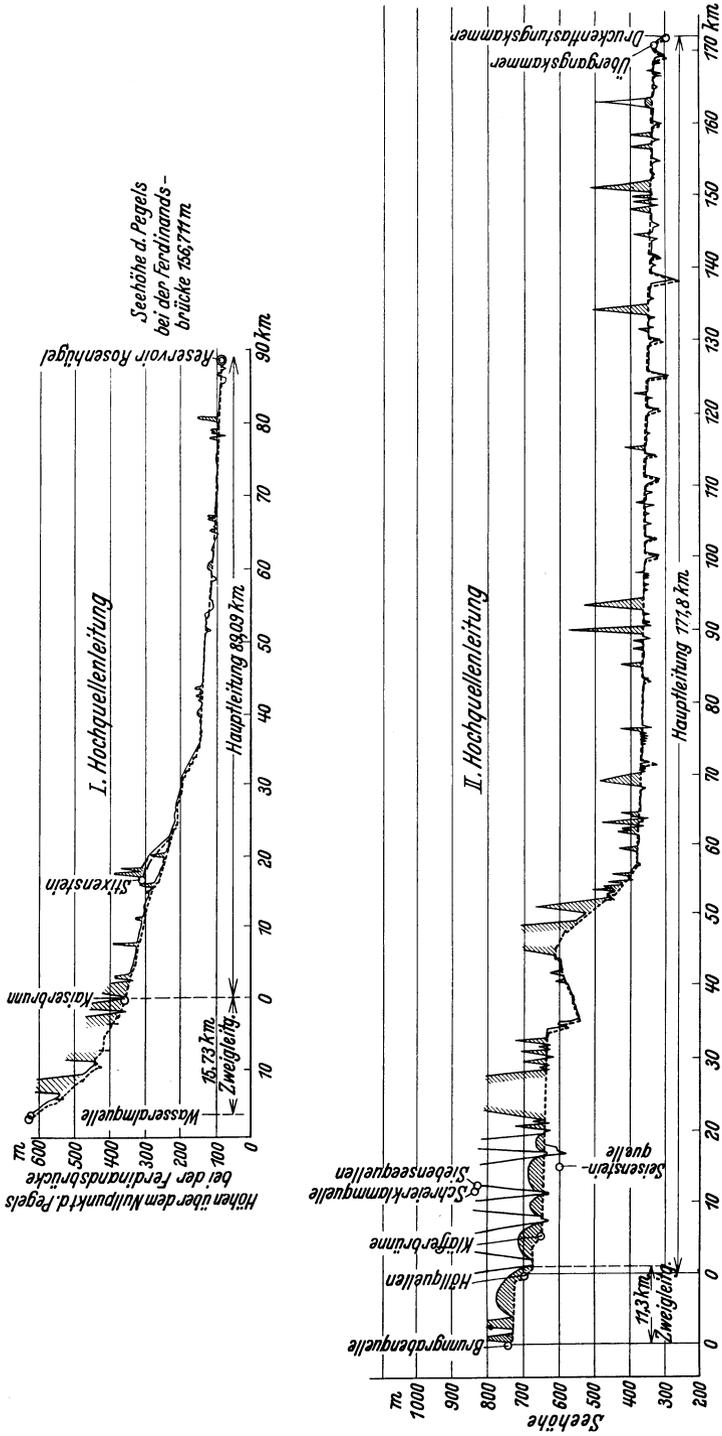


Abb. 156b. Längensprofile der Hochquellenleitungen der Stadt Wien.

32. Ausnutzung des Leitungsgefälles zwecks Ersparnis an Rohrkosten.

Bei Quellfassungen, die im Vergleich zum Versorgungsgebiet sehr hoch liegen, wird man das große Gefälle mit Vorteil zur Steigerung des Leitungsvermögens der Ableitung und zu Ersparnissen an Rohrkosten ausnutzen. Es können sich so in der Rohrleitung erhebliche Abstufungen im Durchmesser ergeben, wie z. B. bei der Quelleitung von Hermannstadt, die nach Angaben von Huber (57) über ein Gefälle von 1135 m verfügt.

Tabelle 10.

Rohrstrecke von Schacht zu Schacht	Länge m	Gefälle m	Spez. Gefälle	Durchflußmenge sl	Rohrdurchmesser mm
0—1	4810,7	78,10	0,0162	80	250
1—2	2464,8	97,17	0,0394	80	200
2—3	696,7	100,00	0,1435	80	175
3—4	261,8	101,00	0,3858	80	150
4—5	4870,7	63,13	0,0129	80	250
5—6	734,5	80,90	0,1101	80	175
6—7	732,8	8,71	0,1150	75	175

Ist man nicht in der Lage oder gewillt, das Gefälle zur Steigerung des Leitungsvermögens zu verwenden, so kann man es mit Vorteil zur Gewinnung von Wasserkraft ausnutzen.

33. Ausnutzung des Leitungsgefälles zur Gewinnung von Wasserkraft.

Durch Ausnutzung einer zwischen den Orten Lunz und Gaming liegenden Gefällsstufe der zweiten Wiener Hochquelleitung werden 5000 PS bzw. 28 Millionen kWh Jahresleistung gewonnen. Das Wasserkraftwerk nutzt nach den Angaben von Kuhn (58) ein Rohrgefälle von 193,95 m aus. Die Betriebswassermenge beträgt 2,315 m³/s. Der neue Wasserkraftstollen mit 0,6‰ Sohlengefälle setzt am Beginn der Steilstrecke der alten Leitung an und endet in einem Wasserschloß (Abb. 157 a und b).

Von hier aus wird das Wasser in einer eisernen Druckrohrleitung zu den Turbinen geführt, die in einem Krafthaus aufgestellt sind. Nach Abgabe seiner Kraft fließt das Wasser durch einen Unterwasserkanal wieder der alten Leitung zu.

Den Betrieb der Anlage erläutert Abb. 158, worin

- | | |
|---|--|
| <p>1 die Abzweigstelle des Kraftstollens,
 1—7 die alte Hochquellenleitung,
 2 Entlastungskammer,
 2—3 Überfallstollen,
 1—2—4 neuer Oberwasserstollen,
 4 Wasserschloß,
 4—5 Druckrohrleitung,</p> | <p>5 Turbinen,
 6 Synchronauslässe,
 5 bzw. 6—7 Unterwasserkanal,
 4—8 Leerlauf,
 8 Tosbecken,
 9 bewegliche Abschlußorgane,
 10 feste Abschlußorgane (Damm balken).</p> |
|---|--|
- sind.

Nach Inbetriebsetzung des Kraftwerks nimmt das Wasser, das bisher die Strecke 1—7 durchfloß, den Weg von 1 über 2, 4, 5 nach 7. Tritt eine Entlastung der Maschinen ein, z. B. durch Störung in der Fernleitung, so läßt man das Wasser statt durch die Turbine durch den Synchronauslaß 6 in das Unterwasser gelangen. Tritt Schaden an der elektrischen Einrichtung oder an den Turbinen ein, dann werden die Turbinenschieber bzw. der Abschluß 9 geschlossen, und das Wasser stürzt über den Überfall in den Seitenstollen 2—3 und fließt der alten Hochquellleitung zu.



Abb. 157 a. Lageplan.

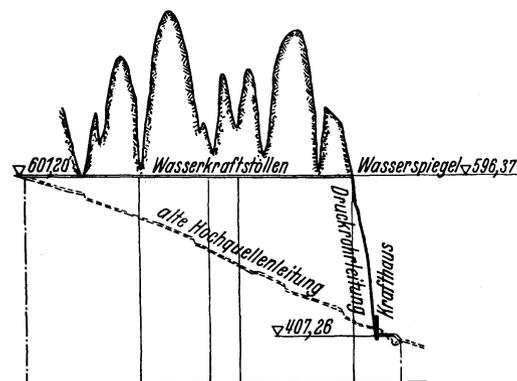


Abb. 157 b. Längenschnitt.

Abb. 157. Wasserkraftanlage der Stadt Wien zwecks Ausnutzung des Gefälles der zweiten Hochquellleitung.

Auch die Stadt Salzburg nutzt nach Mitteilungen von Rosskoth (59) den Überschußdruck der Hochquellleitung zu Kraftzwecken aus.

Besonders hohe Wasserkräfte werden auch aus dem Gefällsüberschuß der Apulischen Wasserleitung gewonnen. Aus der großen Reihe

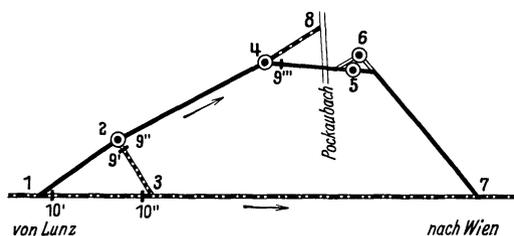


Abb. 158. Schema der Betriebsführung der Wasserkraftanlage Gaming.

der apulischen Kraftanlagen seien nach Fattorini (50) hier nur genannt:

Die Anlage von Tuppa mit 784 PS bei 54,20 m Fallhöhe,
„ „ „ Andria-Barletta-Trani mit 1411 PS bei 102,45 m Fallhöhe.
„ „ „ Bari mit 799 PS bei 106,50 m Fallhöhe.
„ „ „ Castelli mit 2516 PS bei 118,40 m Fallhöhe.
„ „ „ Grottaglie mit 1471 PS bei 105,80 m Fallhöhe.

34. Gefällsvernichtung.

Bei überschüssigem Gefälle ist es mitunter erwünscht, den Leitungsdruk zwecks Schonung der Leitungen herabzusetzen. Dies geschieht durch teilweise Vernichtung des Gefalles. Ist der Gefällsüberschuß nicht allzu groß, so ist das einfachste Mittel ein gemauerter Unterbrechungsschacht, der in die Gefällsleitung an geeigneter Stelle eingeschaltet wird.

Eine besondere Vorrichtung zur Unterbrechung bzw. Vernichtung von großem, unerwünschtem Gefälle ist die von Huber (57) in die Praxis eingeführte gußeiserne Birne (Abb. 159). Beträgt z. B. das Gefälle 80—100 m

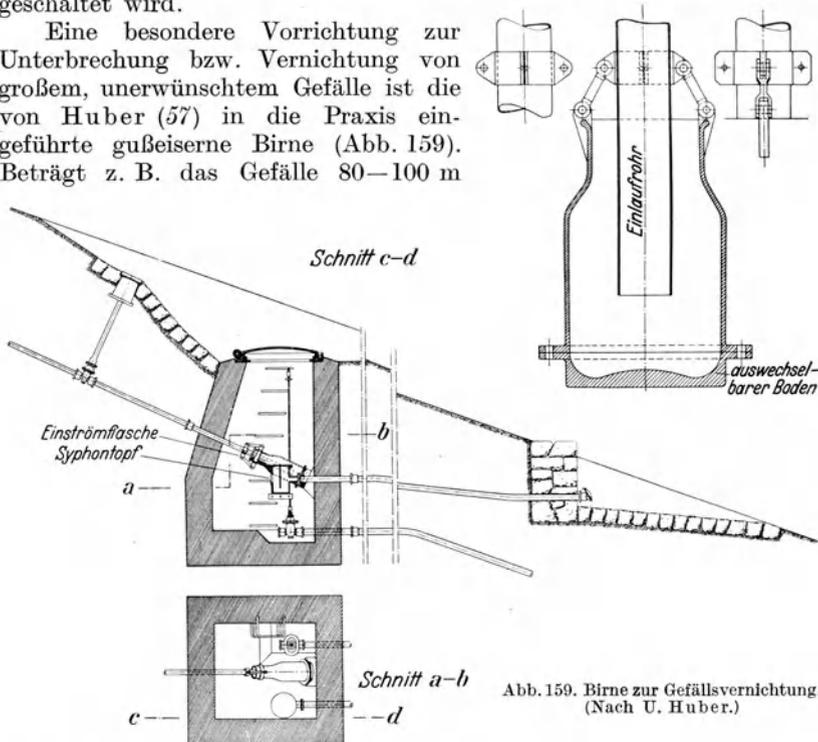


Abb. 159. Birne zur Gefällsvernichtung.
(Nach U. Huber.)

und darüber, so ist die daraus sich entwickelnde lebendige Kraft so groß, daß ihr auf die Dauer kein Mauerwerk eines Unterbrechungsschachts widersteht. Man leitet in diesem Falle das Wasser in eine gußeiserne Birne, deren starker Anprallboden auswechselbar ist. Die Birne wird in einem besonderen Schacht untergebracht, und das vom Überdruck befreite Wasser gelangt durch eine Ableitung aus dem Schacht zum nächsten Unterbrechungsschacht. Der Schacht erhält eine Überlaufleitung.

35. Klarheit bzw. Trübung des Quellwassers.

Die meisten Quellen, die durch Grundwasser gespeist werden, zeichnen sich dadurch aus, daß ihre Klarheit weder durch Schneeschmelze noch durch starke Regengüsse irgendwie beeinflusst wird.

Kommen Trübungen vor, so sind sie meist die Folge unsachgemäßer Fassungsarbeit oder des Eisengehalts des Wassers. Das Eisen tritt in Gestalt von Trübungen erst dann auf, wenn das Wasser in innige Berührung mit der atmosphärischen Luft kommt. Abhilfe schafft ein künstliches Enteisungsverfahren.

Unter den Quellen, die aus unterirdischen Wasserläufen ihr Wasser erhalten, gibt es zahlreiche Quellen, die zur Zeit größerer Niederschläge oder der Schneeschmelze trübes Wasser führen. Diese Trübung wird meist durch ganz feine Tonteilchen verursacht. Die Stärke der Trübung kann schwanken zwischen einem schwachen Opalisieren und einer deutlichen Färbung, die je nach ihrem mineralogischen Ursprung grau, gelb, rot oder braun sein kann. Es gibt so feine Trübungsbestandteile, daß es technisch unmöglich ist, die Trübung durch Filtration zu beseitigen. Derartige Trübungserscheinungen zeigen z. B. viele Quellen, die zwischen Paderborn und Soest dem Plänerkalk entspringen. Größeres Trübungsmaterial lagert sich meist nach kurzer Zeit im Untergrund selbst oder in den Leitungen und Behältern, durch die das Wasser fließt, ab. So betrug z. B. die Stärke der Trübungsablagerungen in der Wiener Hochquelleitung nach Drennig (60) rund 1 mm innerhalb von 5 Jahren.

Die Trübungen setzen oft schon in wenigen Stunden nach jedem Regen ein, es vergehen aber auch Tage, bevor sich die Trübung einstellt. Manche Quellen trüben sich bei jeder Regenerscheinung, manche erst bei Landregen, Wolkenbrüchen und Schneeschmelze. Oft ist die Trübung von kurzer Dauer, oft hält sie tage- und wochenlang an. Auch die Stärke der Trübung schwankt nicht selten. Die Ursachen dieses verschiedenen Verhaltens sind oft schwer zu ergründen. Trübungen, die in kurzer Zeit einem Regen folgen, werden meist darauf schließen lassen, daß der Ursprung der Trübung nicht weit entfernt vom Quellort liegt. Spät eintretende Trübungen sprechen dafür, daß der Beginn der Trübung weit entfernt ist oder daß bei Beginn des Regens eine Filtration stattfand, die aber bei Zunahme der Regenwassermenge ihre Wirksamkeit infolge von Überlastung verloren hat. Nach Gärtner (1) kann man aus der Farbe der Trübung bei den Quellen der Umgebung von Weimar erkennen, wo die Gewitter niedergegangen sind, welche die Trübung verursachen: fielen die Regen in der Nähe von Berka-Kranichfeld, dem Buntsandsteingebiet, so zeigt das Quellwasser eine deutlich rötliche Färbung, haben sich die Regenwolken über der Muschelkalkformation entleert, dann ist die Farbe grau bis graugelb.

Regelmäßig auftretende Trübungen deuten in vielen Fällen auf den Zufluß von nichtfiltriertem Oberflächenwasser, zeitweilige Trübungen können auch mit der Entstehung neuer Erdfälle oder dem Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume zusammenhängen. In Eruptivgesteinen und Sandsteinen sowie Konglomeraten, in denen Ton oder Lehm als Bindemittel nicht vorkommt, sind Trübungen kaum zu erwarten. Eine Ausnahme bilden Urgebirge und Quarzadern. Der Quarzit tritt dann vielfach in pulverförmigem Zustand auf und führt zu lästigen Trübungen, die sich in Anbetracht des feinen Kornes der trübenden Masse schwer beseitigen lassen.

Eine eigentümliche Trübungserscheinung bei Quellen ist die, daß mitunter Quellen, die bei heftigen Niederschlägen sich zu trüben pflegen, und Quellen, die stets klar bleiben, nur wenige Meter auseinanderliegen. Über einen solchen Fall aus dem Gebiet der Paderquellen berichtet Stille (61). Auch im Karst gibt es nach Katzer (62) eng benachbarte Quellen, deren eine Gruppe nach vorhergegangenem, wolkenbruchartigem Regen trübt, die andere dagegen nicht. Er bezeichnet die Quellen zwischen Drežnica und Raškagora als durch Regen unbeeinflußt, während die großen Quellen von Radabolja, Jesenica und Bura bei Mostar starke Trübungen zeigen. Solche

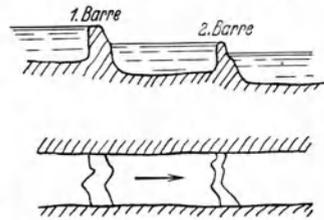


Abb. 160. Barren im unterirdischen Fluß von Padirac.

sonderbare Erscheinungen lassen sich vielleicht erklären durch unterirdische Stauseen, in denen die Schwebestoffe durch Ablagerung ausgeschieden werden. Über einen derartigen Fall berichten Launay und Martel (63). Im unterirdischen Fluß von Padirac sind natürliche

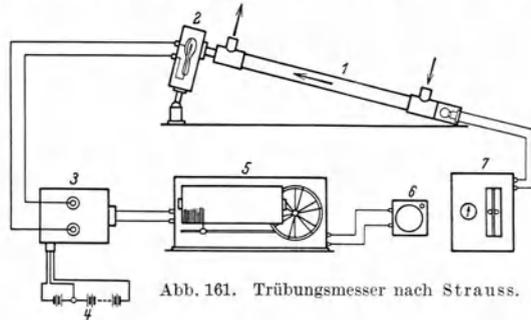


Abb. 161. Trübungsmesser nach Strauss.

Barren quer über die Stromrichtung gelagert (Abb. 160), deren Höhe bis zu 8 m beträgt. Auf diese Weise ist eine ganze Reihe unterirdischer Becken entstanden, die einen Wasserstand bis zu 7 m Tiefe aufweisen und als Klärbehälter wirken.

Zur automatischen Messung der Trübungen kann man sich u. a. auch des Trübungsmessers von Strauss bedienen (60). Diese Vorrichtung besteht aus einem vom Wasser durchströmten Glaszylinder, einer Glühlampe als Lichtquelle und einer photoelektrischen Zelle am unteren Ende des Glasrohres. Die in der Photozelle entstehenden Photoströme schwanken mit dem Trübungsgrad des Wassers und werden durch Vermittelung eines „Lichtmekapion“ auf einen Kurvenschreiber übertragen. Abb. 162 zeigt eine vorübergehende, etwa einstündige Trübung an.



Abb. 162. Schaulinien von Trübungen. (Aufgenommen durch den Trübungsmesser.)

36. Ausscheidungen.

Bei süßen Quellen beschränken sich Ausscheidungen in der Regel auf Eisen und Kalziumkarbonat. Die Ursachen der Ausscheidung sind Berührung des Wassers mit der Luft, Kohlensäureverlust und vielleicht auch Temperaturwechsel. Die Ausscheidung geht desto schneller vor



Abb. 163. Absatz von Kalktuff im Götzenbachtal bei Nagold. (Aufnahme von G. Wieser.)
(Aus Wagner, Erd- und Landschaftsgeschichte, 1931.)

sich, je lebhafter die Wasserbewegung ist, also namentlich bei Wirbel- und Kaskadenbildung. Das Eisen fällt zunächst in Gestalt von Flocken aus und verursacht eine rote bis rotbraune Färbung des Bodens und der Ufer des Quellauflaufs. In quelligen Sumpfbereichen bildet sich auch Ort-

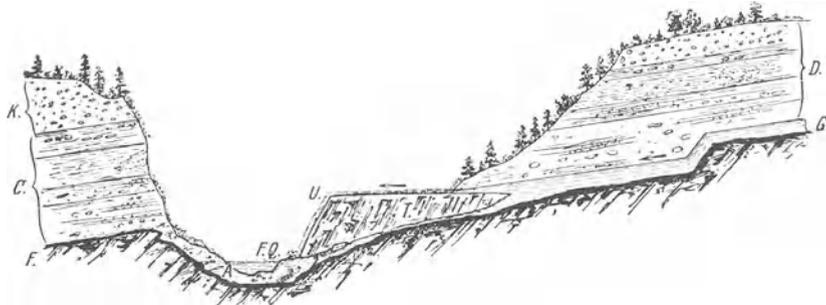


Abb. 164. Tuffablagerungen der Quelle im Mangfalltal b. Mühltal. (T Tuff.)

stein (Raseneisenstein, Sumpferz), der sich aus Sand und Eisenoxyd zusammensetzt. Quellen, die dem Alluvium und Diluvium entspringen, sind meistens in Norddeutschland eisenhaltig.

Verlust von Kohlensäure bewirkt die Abscheidung von kohlensaurem Kalk in Gestalt von Wiesenmergel (Alm, Seekreide), Kalktuff und Kalksinter. Die Kalkausscheidungen erfolgen bei Quellen, deren Wasser

Pflanzen benetzt, auf Moosen, Gräsern usw. (Abb. 163), bei Quellen, die über toten Boden fließen, auf den Talböden selbst und den benachbarten Gehängen. Es entstehen dann oft Kalktuffmassen von bedeutender Größe (Abb. 164). Kalkausscheidungen findet man am häufigsten bei Quellen, die aus den Muschelkalken und der Juraformation kommen. In Höhlen finden sich Kalkabsätze von Quellen in Gestalt von sog. Kalksinter an Decke, Boden und Wänden. Die zapfenförmig hängenden nennt man Stalaktite, die auf dem Boden stehenden Stalagmite.

37. Hygienisches vom Quellwasser.

A. Reinigende Wirkung des Bodens.

Quellwasser ist vom gesundheitlichen Standpunkt nur dann ein wandfreies Genußmittel, wenn es frei von Krankheitserregern und solchen Stoffen, die geeignet sind, die Gesundheit zu schädigen, klar, farb-, geruch- und geschmacklos sowie von einer möglichst gleichbleibenden, erfrischenden Temperatur ist.

Die atmosphärischen Niederschläge, welche der Ursprung des Quellwassers sind, sind in der Regel frei von Krankheitserregern. Sie erleiden jedoch sowohl auf ihrem Luftwege als auch auf der Wanderung durch das Erdreich Verunreinigungen, deren Herkunft eine dreifache sein kann, und zwar:

1. die Atmosphäre selbst,
2. die Erdoberfläche,
3. der tiefere Untergrund.

1. Das atmosphärische Wasser, sei es in Dampf, flüssiger oder fester Gestalt, nimmt beim Durchsinken der Atmosphäre all die Beimengungen der Luft mit, die in derselben verteilt sind. Das können sein: Säuren, Staub (mineralischen und pflanzlichen sowie tierischen Ursprungs), Bakterien usw. Diese Verunreinigungen sind meist gering und gegenüber den unter 2 und 3 genannten von hygienisch untergeordneter Bedeutung.

2. Größere Verunreinigung der niederfallenden Atmosphäriken entsteht durch die Berührung mit der Erdoberfläche, wenn diese mit Abfällen, Dungstoffen und Verwitterungserzeugnissen pflanzlichen und tierischen Herkommens bedeckt oder durchsetzt ist. Durch Aufnahme von Luft und Säuren kann das Lösungsvermögen der Niederschläge erheblich gesteigert werden.

3. Beim Eindringen des Wassers in den tieferen Untergrund können zunächst weitere gesundheitsschädliche Stoffe aufgenommen werden, und zwar namentlich dann, wenn im Boden undichte Kanäle, Jauchegruben und sonstige Sammelanlagen von Abfallstoffen und Abwässern vorhanden sind. Es können aber auch gesundheitlich gänzlich oder nahezu unschädliche Stoffe aufgelöst und ausgelaugt werden, wie z. B. Chloride, Kalk-, Eisen-, Mangansalze usw. Je nach dem Grad der Verunreinigung und nach der mineralischen Zusammensetzung des Bodens können vom Wasser Stoffe aufgenommen werden, die entweder in Suspension bleiben oder aufgelöst werden. Die in Suspension bleibenden Stoffe sind Körperchen entweder mineralischen oder organischen Ur-

sprungs. Die mineralischen Schwebestoffe können naturgemäß im allgemeinen als hygienisch unschädlich gelten. Überschreitet ihre Menge aber eine gewisse Grenze, so werden sie dem Auge sichtbar dadurch, daß sie das Wasser trüben. Suspensionen organischer Natur können entweder eine tote organische Masse darstellen (Pflanzenleichen und -reste usw.) oder sie sind lebende Substanz (Wurmeier, Infusorien, Protozoen, Bakterien). Die Menge der ersteren (vorausgesetzt, daß keine weitere Zufuhr stattfindet) kann niemals zunehmen. Im Gegensatz hierzu kann bei günstigen Bedingungen die Vermehrung der lebenden organischen Körper eine ganz ungeheure sein.

Je nach seiner mineralogischen Beschaffenheit verhält sich der Boden gegen in ihn eindringende Schwebestoffe und Lebewesen wie ein Sieb von mehr oder weniger großer Maschenweite. Sind die Hohlgänge des Bodens kleiner als die Abmessungen der im Wasser schwebenden Körperchen, so werden letztere vom Boden zurückgehalten. Dieses Rückhaltungsvermögen des Bodens ist die Ursache der reinigenden Wirkung des Bodens. Die Filterwirkung des Bodens ist desto größer, je enger und länger die Wege sind, welche die Flüssigkeit zurücklegen muß. An den Einschnürungen dieser Wege verfangen sich die einzelnen Körperchen, doch findet auch ein Zurückhalten statt infolge von Adhäsion, und zwar namentlich dann, wenn die Körpermasse schleimiger Natur ist. Aus diesem Grunde ist die Filterwirkung eines feinkörnigen Bodens größer als die eines grobkörnigen, und auch Haarrisse und ganz enge Spalten in festem Gebirge sind wasserreinigend wirkende Größen. Die Filtrationsfähigkeit des Bodens wird wirksam ergänzt durch das Adsorptionsvermögen desselben, welches darin besteht, daß auch lösliche, organische und anorganische Masse vom Boden zurückgehalten wird. Zu den Stoffen, die ein filternder Boden leicht bindet, gehören u. a. Farbstoffe und gelöste eiweißhaltige Substanzen. Die Bindekraft des Bodens wird durch Humus und Bakterien wesentlich erhöht (biologische Reinigung). Steriler Boden ist infolgedessen ein schlechter Filterkörper. Grobe Kiese, Schotter, Gerölle sowie breitere Spalten, Klüfte und Hohlräume im festen Gebirge haben eine geringe oder gar keine Filtrationswirkung und sind vom hygienischen Standpunkt aus danach zu bewerten.

Aus vorstehendem ersieht man, daß für die hygienische Beschaffenheit eines Quellwassers von ausschlaggebender Bedeutung die Art der unterirdischen Wege ist, die das Quellwasser von seinem Ursprung bis zum Austritt aus der Erde zurücklegt. Geht der Wasserweg durch Haufwerke, also Sande, Kiese, Sandsteine, Konglomerate u. dgl., denen infolge der verhältnismäßig kleinen Durchflußquerschnitte ein hohes Rückhaltungsvermögen bzw. eine besondere Filtrationswirkung zukommt, so wird das Ergebnis ein hygienisch einwandfreies Quellwasser sein. Wir haben in Absatz 5 B das in Haufwerken sich bewegende unterirdische Wasser als Grundwasser bezeichnet.

Nimmt das Wasser dagegen den Weg durch Spalten, Klüfte, größere Gerinne, Höhlen u. dgl., so kann von einer Rückhaltung schädlicher Stoffe und Lebewesen bzw. Filtration im allgemeinen keine Rede sein.

Wir haben das in Spalten, Klüften u. dgl. sich bewegende unterirdische Wasser unterirdische Wasserläufe genannt. Vom hygienischen Standpunkt aus gibt es also zwei Quellwasserarten, die streng voneinander zu unterscheiden sind, wenn man sich nicht großen Irrtümern aussetzen will.

B. Verschiedenheit des Verhaltens der Quellen, je nachdem sie durch Grundwasser oder unterirdische Wasserläufe gespeist werden.

Eine Verschiedenheit im Verhalten des Quellwassers als Folge der Verschiedenheit der von ihm durchlaufenen unterirdischen Wasserwege läßt sich im allgemeinen feststellen

1. in der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser im Untergrunde bewegt,
2. in der Schüttungsmenge,
3. im Gang der Temperatur des Wassers,
4. im Gehalt an Lebewesen.

C. Verschiedenheit der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser im Untergrunde bewegt.

Wie verschieden die Geschwindigkeit sein kann, je nachdem man es mit Grundwasser oder unterirdischen Wasserläufen zu tun hat, zeigt die nachstehende Gegenüberstellung tatsächlich gemessener Geschwindigkeiten.

Tabelle 11.

Ort	Gemessene Geschwindigkeiten		
	des Grundwassers m/Tag	der unterirdischen Wasserläufe	
		Art des durchlässigen Untergrundes	m/Tag
Brooklyn	0,33	Kalkstein, ge- klüftet . . .	1028—1992
Gothenburg	0,50	Plänerkalk b. Paderborn .	2600—7900
East Medow	0,80	Kalkstein, rissig	4224—6158
Merrick	0,95	„ mit Hohlräumen .	24000
Mannheim	1,2—1,6		
Fürth in Bayern	1,5		
Naunhof b. Leipzig	2,5		
Rheintal b. Straßburg	3,0—7,8		
Kiel	4,7		
Káraný	9,3		
In den Dünenanden bei Haarlem	4,0—5,5 m/Jahr		

Man ersieht aus einem Vergleich dieser Zusammenstellungen die große Verschiedenheit in der Schnelligkeit der Bewegung des Wassers im Untergrunde. Mit dem Gefälle ändert sich selbstverständlich die Geschwindigkeit. So schwankte nach den Beobachtungen von A. Thiem (64) die Grundwassergeschwindigkeit bei Naunhof innerhalb eines halben Jahres um das 1,2fache.

Die Grundwassergeschwindigkeit wechselt nicht allein mit der Zeit, sondern auch innerhalb des vom Wasser durchlaufenen Bodenquer-

schnitts infolge der verschiedenen Wechsellagerung und Durchlässigkeit der wasserführenden Schichten. Bei unterirdischen Wasserläufen kommen dagegen Geschwindigkeitsschwankungen bis zum 40- und 100fachen der kleinsten Geschwindigkeit vor und betragen in einzelnen Fällen das 2—2,5tausendfache der Geschwindigkeit, mit der sich Grundwasser bewegt.

D. Verschiedenheit der Quellschüttungsmenge.

Auch in den Schwankungen der Schüttungsmenge finden wir das gleiche Verhalten wie unter I geschildert, je nachdem es sich um Grundwasser oder unterirdische Wasserläufe handelt, die eine Quelle speisen. Die nachstehenden Zahlen beweisen dies.

Tabelle 12.

Schwankung der Schüttungsmengen von Quellen, die gespeist werden durch					
Grundwasser			unterirdische Wasserläufe		
Geologische Bildung	Quellort	Min. Max.	Geologische Bildung	Quellort	Min. Max.
Diluvium	Sohlsprung	1:1,05—1,10	Granit	Quimper	1:3,1
„	Ranna	1:1,1	Kalk	Kaiserbrunnen	1:9,1
„	Mühltal	1:1,62	Weiß. Jura	Leinleiterbach	1:11,0
„	Gotzing	1:1,7	Kalk	Vaucluse	1:21,8
„	Emmenmatt	1:2,0	—	Flächloch	1:50
			Jura	St. Sulpice	1:100

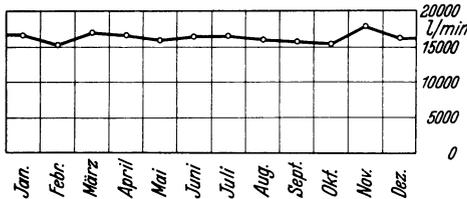


Abb. 165. Schüttungsgang der Ramselquelle. (Nach H u g.)

Man kann aus vorstehenden Zahlen entnehmen, daß der Ertrag von Quellen, die durch Grundwasser gespeist werden, die also eine Filtration durchgemacht haben, etwa in den Grenzen von 1:1,1 bis 1:2,0 schwankt, daß dagegen die Schüttung von

Quellen, deren Wasser aus unterirdischen Wasserläufen stammt, die also hygienisch mit besonderer Vorsicht zu beurteilen sind, sich in den Grenzen von etwa 1:3 bis 1:100 bewegt.

Ausnahmen, in denen auch unterirdische Wasserläufe eine Reinigung durchgemacht haben, werden in Absatz 42, S. 126 ff. ausführlich behandelt werden.

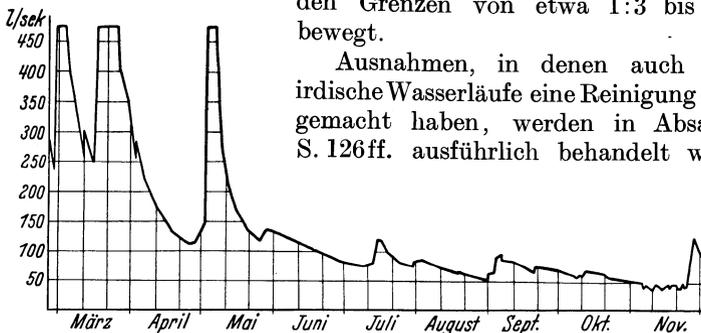


Abb. 166. Schüttung des Quellgebietes des Leinleiterbaches. (Nach Reuter.)

Das Bild des Schüttungsgangs einer guten, durch Grundwasser gespeisten Quelle zeigt Abb. 165, den Gang einer hygienisch schlechten Quelle Abb. 166. Die Quelle des Leinleiterbaches erhält im März reiche Wasserzufuhr durch schmelzenden Schnee und ergiebige Regengüsse. Die hohe Schüttung im Mai ist die Wirkung einer längeren Regenperiode (29. 4. bis 5. 5. mit 46,4 mm Niederschlag). Von da nimmt die Schüttung ab und erreicht im November ihren geringsten Stand mit 40 sl.

E. Die Temperatur der Quellen.

Mit dem Begriff Süßwasserquelle verbindet man Frische und belebende Wirkung eines Trinkwassers, die wir bei einer gleichmäßig kühlen Temperatur von etwa 7–12° C empfinden.

Die Temperatur der Quellen wird zunächst bestimmt durch das Zusammenwirken von Boden- und Luftwärme. Die Bodenwärme, die innerhalb der geothermischen Stufen nahezu als konstant gelten kann, bewirkt eine ziemlich konstante Wassertemperatur, die Luftwärme hingegen verursacht jährlich periodische Schwankungen derselben, die sich allerdings nur bis zu einer gewissen Bodentiefe bemerkbar machen. Dem Einfluß der äußeren Temperatur wird das Quellwasser in vielen Fällen fast entzogen, wenn es aus Schichten stammt, die mindestens 8–10 m tief liegen. Immerhin kommen auch dann noch Schwankungen vor. Die Quellwärme hängt aber nicht allein von der Boden- und Luftwärme sowie Tiefe des Quellgebiets unter Erdoberfläche, sondern auch von der geologischen Beschaffenheit des Einzugsgebiets, seiner Durchlässigkeit, der Menge und Zeit der Niederschläge, der Bewaldung und Kultivierung, der Höhe über dem Meeresspiegel, Himmelsrichtung und geographischen Breite ab. Quellen südlicher Himmelsrichtung zeigen größere Wärme als solche auf nördlichen Abhängen. Auch die Beschattung spielt eine Rolle bei der Quellwärme. Im Waldschatten liegende Quellen sind in der Regel kälter als Feldquellen. Grundwasserquellen haben meist die niedrigsten Temperaturen im Sommer, die höchsten im Winter. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei Quellen, die von unterirdischen Wasserläufen gespeist werden, wenn sie große Rückhaltebecken durchlaufen müssen. Fehlen große Behälter, so geht ihre Temperatur in der Regel gleichsinnig mit der Jahreswärme der Oberfläche. Im Hochgebirge, wo sich der Einfluß der sommerlichen Schnee- und Gletscherschmelze geltend macht, sind die Quelltemperaturen im Sommer niedrig, im Winter hoch, da zu dieser Zeit die hochgelegenen Spaltenzuflüsse einfrieren und die Quellspeisung nur aus den tiefer liegenden, wärmeren Schichten erfolgt. In solchen Fällen hat man es also mit einer sog. Temperaturumkehr zu tun.

Die Temperaturschwankungen der durch Grundwasser gespeisten Quellen bewegen sich in der Regel in engen Grenzen, die 2–3° C kaum überschreiten. Die Temperaturschwankungen unterirdischer Wasserläufe dagegen sind in Abhängigkeit von der Jahreszeit bzw. von der Schneeschmelze und vom Regen oft deutlich ausgeprägt. In Abb. 167 sind nach Gärtner (1) die durch Frühjahrsregen verursachten Temperaturabstürze einiger Paderquellen, die aus klüftigem Plänerkalk kommen, aufgetragen.

Bei der Beurteilung, ob eine Quelle reines Grundwasser führt, ob ihr Oberflächenwasser beigemischt ist, oder ob sie nichts anderes als in den Untergrund versunkenes Oberflächenwasser darstellt, spielt die Temperatur eine wichtige Rolle. Bei reinem Grundwasser werden,

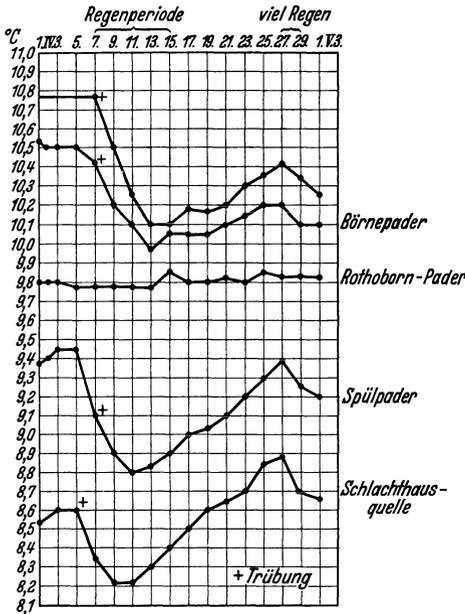


Abb. 167. Durch Frühjahrsregen verursachte Temperaturstürze bei einer Reihe von Paderquellen.

wie bereits erwähnt, im allgemeinen die Temperaturschwankungen gering sein, bei Zusatz von Oberflächenwasser (je nach der Jahreszeit) die Schwankungen zunehmen. Es wäre indes verfehlt, anzunehmen, daß Quellen mit konstanter oder wenig schwankender Temperatur unbedingt auf die Speisung durch reines Grundwasser hinweisen. Gärtner (1) berichtet über Beobachtungen, die mit zwingender Deutlichkeit beweisen, daß auch bei gleichbleibender Temperatur ein starkes Zuströmen von Oberflächenwasser stattfinden kann. So schwanken die Jahrestemperaturen der Schlachthofquelle in Paderborn, welche starke Zuflüsse von verschiedenen unreinen Bächen erhält, um nur 3° C. Der Rothoborn, welcher dicht unterhalb des Paderborner Domes entspringt, zeigt sogar nur 0,7° C Jahrestemperaturunterschied. Erklären läßt sich vielleicht dieses irreführende Temperaturverhalten durch große Wasseransammlungen in den Höhlen des Untergrundes, die ausgleichend auf die Wassertemperatur wirken.

Nach Martel (5) betrug die Temperatur der Vauclusequelle im Januar 1903 8° C, im März 14,7° C. Dieser außerordentlich hohe Unterschied wird durch das Ausbleiben kalter Winterniederschläge zu erklären versucht.

Man hat verschiedentlich auch versucht, die Abnahme der Quellwärme mit zunehmender Höhenlage mathematisch auszudrücken. So beträgt z. B. für das Fichtelgebirge für je 100 m die Temperaturabnahme 0,45° C (nach Gümbel), die Böhmisches-Sächsische Schweiz 0,608° C (nach Bayer), das Rheinland bis zu 200 m 0,50° C (nach Daubrée), das Rheinland von 200—360 m 0,83° C (nach Daubrée), das Rheinland von 360—920 m 0,50° C (nach Daubrée).

Solche Zahlenangaben sind aber mit großer Vorsicht zu gebrauchen.

Außerordentlich umfangreiche Arbeiten über Quelltemperaturen stammen von Mezger (65), (66).

F. Der Gehalt des Quellwassers an Lebewesen.

α) Große Organismen (Pilze, Eisenorganismen, Krebse, Würmer).

Es wäre falsch, anzunehmen, daß selbst im reinsten Quellwasser keine Organismen vorkommen können. Nach Kolkwitz (67) gibt es auch in Quellwasser eine Reihe charakteristischer Organismen, die an sich, zumal wenn sie nur vereinzelt vorkommen, zumeist unschädlich sind, reichlicher vorkommend aber sich als Anzeichen wichtiger Störungsursachen im Betrieb und in der Wasserbeschaffenheit betrachten lassen.

So verstopfen Stränge des Pilzes Hallimasch (*Armillaria mellea*) Drainröhren bis zur vollständigen Zuwachsung (Abb. 168, 1). Der Pilz ist ein Luftbewohner, der als Hutpilz an Bäumen und Baumstümpfen wächst, von denen aus er in den Boden und die Röhren gelangen kann. Sickerschlitze werden verstopft durch Wurzeln des Bergahorns (*Acer pseudoplatanus* — Abb. 168, 2). Man sollte deshalb Bäume im Umkreis von etwa 10 m der Fassungsanlagen nicht zulassen.

Polyporus, ein Röhrenpilz (Abb. 168, 3), gibt Holzteilen von Fassungsanlagen muffigen bis anisartigen Geruch. Er wuchert nicht selten auf feuchten Holzteilen von Enteisungsanlagen. *Sphaerotilus* ist ein schleimiger, sehr weicher Pilz (Abb. 168, 4), zieht Nahrung aus frischem Holz und verschwindet mit fortschreitendem Alter des Holzes. Es ist deshalb zweckmäßig, bei endgültigen Fassungsanlagen kein frisches Splintholz zu verwenden.

Der bei reichlicherem Vorhandensein von Schwefelwasserstoff im Grundwasser vorkommende Schwefelpilz *Thiothrix* (Abb. 168, 5) überzieht Wasserkammern und kann sich auch im Leitungsnetz entwickeln. Beseitigung des Schwefelwasserstoffs durch Lüftung hemmt seine Entwicklung. Die Eisenbakterie *Leptothrix ochracea* (Abb. 186, 6) findet sich massenhaft in eisenhaltigen Wässern. Sie verschwindet, sobald das Wasser enteist ist. *Zoogloea filipendula* Beger (Abb. 168, 7) kommt gelegentlich in Fassungsanlagen vor und kann handgroße gallertige Massen bilden. Moose werden in ihrer Entwicklung gehemmt durch grüne Verglasung, weil grüne Farbe die Entwicklung chlorophyllführender Pflanzen schädlich beeinflußt (Abb. 168, 8). *Cyclops* (Hüpferling — Abb. 168, 9) kommt bisweilen auch in guten Wasserleitungen vor, ist aber an sich unschädlich. Nauplius, Jugendstadium von *Cyclops* (Abb. 168, 10), findet sich auch in guten Wasserleitungen, ist zählebig und weit verbreitet. Brunnenflohkrebs (*Niphargus puteanus* — Abb. 168, 11) kommt bisweilen in Kesselbrunnen und Fassungsschächten vor und ist an sich unschädlich. Er ist normalerweise blind, ein Bewohner von wasserführenden Höhlen und tritt auch in Leitungen auf. Man kann ihn beseitigen durch Spülen und Chloren, falls die Leitung nicht sog. tote Stränge aufweist. Eine nicht seltene Erscheinung in den Quellstuben ist der sog. Brunnenwurm (*Phreoryktes menkeanus*), der massenhaft auftreten kann, aber an sich harmloser Natur ist.

Über interessante hydrobiologische Feststellungen aus dem Wasser der Wiener Hochquellenleitung berichtet Eugling (68). Die Wiener

Hochquellen zeigen Schwankungen in ihrer Ergiebigkeit in der Gestalt, daß regelmäßig einer geringsten Schüttung im Winter ein Ansteigen

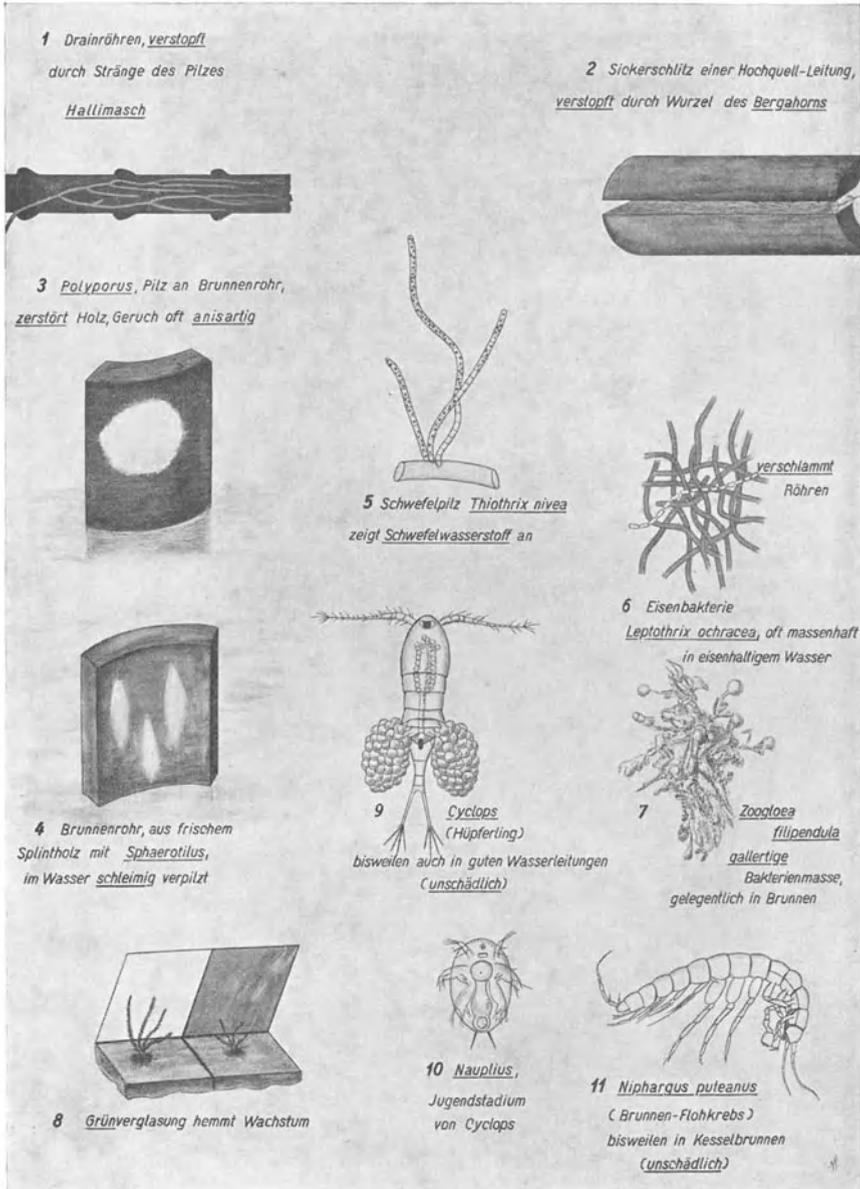


Abb. 168. Organismen im Quellwasser. (Nach Kolkwitz.)

Der Druckstock der Abb. 168 wurde freundlicherweise von der Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem, zur Verfügung gestellt.

zur Zeit der Schneeschmelze folgt. Die anderen Schwankungen der Er-
giebigkeit hängen von Niederschlägen ab, die sich in erhöhter Keimzahl,
erhöhtem Colititer und größerer Ausbeute von Organismen auswirken.
Nach einem starken Regenguß im Hochquellgebiet konnten auch größere
Tiere, vor allem Würmer und Krebse, oft auch Rädertierchen im Wasser
festgestellt werden. Mit der Vermehrung der großen Organismen hatte
sich auch die Wassertrübung vermehrt. Nach den Mitteilungen von
Eugling wurden vom 1. 4. 1927 bis 31. 3. 1930 insgesamt 19360 Organismen
im Wiener Hochquellenwasser festgestellt, und zwar 13781 pflanzliche
und 5579 tierische, die sich auf etwa 50 verschiedene Arten
verteilten. Die Kurve des Organismengehalts zeigte eine auffallende
Übereinstimmung mit der Kurve des Keimgehaltes in 1 cm³ Was-
ser nach 48 Stunden (vgl. Abb. 169).

Bedenkt man, daß oft tierische und pflanzliche Organismen der vorher ge-
nannten Arten 100 mal größer sein können als Bakterien, und daß sie
trotzdem durch den Boden in das Wasser gelangen, so müssen Bakterien um so
leichter Durchgang durch ihn finden. Treten daher große Organismen plötz-
lich oder massenhaft im Wasser auf, so stellen sie Warnungsrufe dar, die man
nicht außer acht lassen darf, auch wenn das Wasser bakteriologisch in Ordnung
gewesen sein sollte. Meist gelangen große Organismen durch Undichtheiten in den
Fassungsanlagen oder durch Unvorsichtigkeit bei Besichtigungen von der Ober-
fläche aus in die Fassungen und siedeln sich dort dauernd an.

Eine „Biologie der Trink- und Brauchwasseranlagen“ haben H. und
E. Beger (69) geschrieben.

β) Kleine Organismen (Bakterien).

Gleichwie große Organismen können auch Bakterien in das Quell-
wasser nur von der Erdoberfläche aus gelangen. Nach Gärtner (1)
herrscht in den obersten Bodenschichten das reichste Leben. Es kommen,
wie bereits erwähnt, vor: niedere Tiere, Kleinpflanzen, z. B. Schimmel,
Leptotricheen und ähnliche Gebilde. Sie treten jedoch völlig zurück
gegenüber den Bakterien, deren Anzahl in 1 cm³ Erde der Oberfläche
mehrere Hunderttausende bis mehrere Millionen betragen kann. Die
Art und Weise, in welcher die Bakterien in den tieferen Untergrund
bzw. in das Quellwasser gelangen, ist nun verschieden, je nachdem der

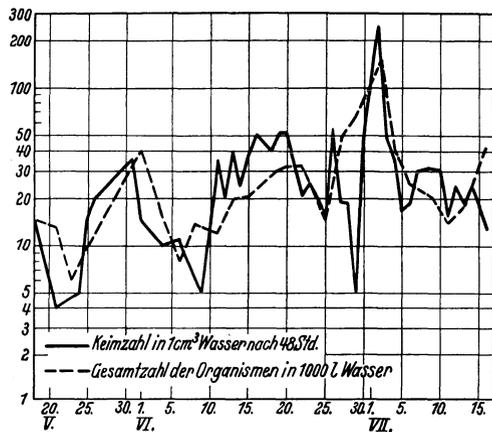


Abb. 169. Gleichsinniger Gang der Organismen und Keimzahl im Wasser der Wiener Hochquellenleitung. (Nach Eugling.)

Untergrund aus losen Haufwerken, also porösem Bodenmaterial oder klüftigem Gebirge besteht. Im ersteren Fall haben wir es, wie bereits wiederholt betont, mit der Bildung von Grundwasser zu tun, welches die Quellen speist, im letzteren mit unterirdischen Wasserläufen, die an geeigneten Stellen als Quellen zutage treten.

38. Durchgreifende Reinigung in tiefgründigen Haufwerken.

Bei grundwasserbildenden Haufwerken, also Sanden und Kiesen, ist die Zahl der Bakterien bereits in Tiefen von 10–20 cm wesentlich vermindert. Bleibt der Boden feinporig, so sind in 1 m Tiefe vielleicht nur einige Tausende und in 3–4 m Tiefe nur noch einige oder keine mehr vorhanden. Diese Abnahme der Bakterien bei feinporigen Haufwerken ist zunächst die Folge eines Zurückhaltens derjenigen Bakterien, die größer sind als die Porenquerschnitte, durch welche das Oberflächenwasser in die Tiefe sich bewegt. Hier liegt also zunächst eine Art Abfiltrierung vor. Die große Mehrzahl der Bakterien, die kleiner als die Erdporen sind, wird aber durch Flächenattraktion an die Porenwandungen angelagert und gebunden, wo sie allmählich an unzulänglicher Nahrung absterben.

Aus der nachstehenden Zusammenstellung geht hervor, wie groß die Abnahme der Bakterien in porösem gut filtrierendem Untergrund mit zunehmender Tiefe ist.

39. Abnahme der Bakterienzahl in porösem, filtrierendem Untergrund mit zunehmender Tiefe.

[Nach Gärtner (1)].

Tabelle 13.

Fränkel		Kabrhel		Kümmel	
Oben poröser, dann rein diluvialer Sand (Pfungstberg, Potsdam)	Zahl der in 1 cm ³ Boden enthaltenen Bakterien	Waldboden des Diluviums bei Prag	Zahl der in 1 cm ³ Boden enthaltenen Bakterien	Heideboden, dann Sand bei Altona	Zahl der in 1 cm ³ Boden enthaltenen Bakterien
Oberfläche	verflüssigt	0,3 m unter der Oberfläche)	} 827520	0,25 m	6422
0,5 m	70000	1,0 m			
1,0 „	1000	1,5 „	5040	0,50 „	7060
2,0 „	0	1,7 „	1120	2,00 „	50
2,5 „	250	{	3400	3,50 „	0
3,0 „	0		15120	4,50 „	0
4,0 „	0	2,2 „	200	6,50 „	0
4,5 „	100	3,1 „	260		
5,0 „	0	Grundwasser	400		
Grundwasser	—				

Am deutlichsten geht die reinigende Wirkung von feinkörnigen tiefgründigen Haufwerken aus folgender Zusammenstellung hervor:

Tabelle 14.

Ort	Geologische Formation	Keime		
		Min.	Mittel	Max.
Quellfassung, Schaffhausen	Diluvium	0	3	10
Burainquelle b. Winterthur	„	0	3	8
Sihl- und Lorzequelle b. Zürich . .	„	0	6	49
Quellfassung b. Frauenfeld	Verschwemmte Moräne	0	1	1
Ramsaiquelle b. Bern	Eiszeitlicher Schotter	1	5	10

40. Bedingte Reinigung in flachgründigen Haufwerken.

Das auffallende Ansteigen der Bakterienzahl, nachdem bereits ein deutliches Absinken bei 4,5 m unter Oberfläche (vgl. Tab. 13) eingetreten war, erklärt Kabrhel (70) durch die Beobachtung, daß an und mit Pflanzenwurzeln Bakterien in die Tiefe gehen und sich hier wieder vermehren können. Nach Gärtner sind solche Mikroorganismen völlig harmlos. Pathogene Keime können durch wachsende Pflanzenwurzeln nicht in die Tiefe und in das Grundwasser gelangen.

Anders und gefährlicher gestalten sich aber nach Gärtner die Verhältnisse, wenn die Pflanzenwurzeln absterben und an ihre Stelle Hohlräume treten. Sind die Wurzelfäserchen sehr dünn, so vermögen sich die Kanäle rasch wieder zu schließen. Gehen aber Wurzeln von erheblicher Dicke tief hinunter, so bleiben die Kanäle längere Zeit offen. Solche tiefgehende Baumwurzeln, wenn sie vermodern, sind aber nur dann gesundheitlich gefährlich, wenn gerodeter Wald in gedüngtes Ackerland umgewandelt wird oder wenn die Bäume auf Gehöften stehen, auf denen Dunghaufen lagern. Auch Halmfrüchte und Leguminosen, die man auch zu den Flachwurzlern rechnet, haben oft bedeutende Wurzellängen (z. B. Luzerne) und können unter Umständen Quellfassungen, wenn durch Vermoderung offene Wurzelkanäle entstehen, gesundheitlich gefährden.

Über die großen Wurzellängen von Halmfrüchten und Leguminosen gibt die nachstehende Zusammenstellung nach Schulze (71) Auskunft.

Tabelle 15. Tiefgang der Pflanzenwurzeln. (Längen, cm im Mittel.)

1. Halmfrüchte.

	Winterroggen	Winterweizen	Sommerroggen	Sommerweizen	Hafer	Gerste
Junge Pflanzen . .	53,7	52,7	52,9	39,1	66,6	62,1
In der Bestockung .	101,9	133,6	112,0	130,0	79,5	95,1
Zeit des Schossens .	199,4	277,2	135,5	183,6	214,3	259,0
Ende „ „			179,8	174,0	227,9	258,0
Milchreife	178,0	235,0	197,1	189,4	234,4	244,3
Vollreife	194,0	186,4	176,1	179,3	247,3	220,6

2. Leguminosen.

	Erbse	Pferdebohne	Weißer Lupine
Junge Pflanzen	25,6	32,1	40,4
Beginn des Längenwachstums	63,8	78,3	111,3
„ der Blüte	143,0	123,8	150,1
Ende „ „	175,5		
Reife	208,6	168,0	205,2

Auch die Regenwürmer spielen bei der Filtrationswirkung des natürlich gewachsenen Bodens eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Lüdecke (72) berichtet, daß bereits Darwin Regenwurmrohre bis zu 160 cm und Goethe in Geisenheim sogar bis 320 cm Tiefe verfolgte. Die Anzahl der Regenwürmer gibt Hensen auf 13—14 Stück je 1 m² = 133000 Stück auf 1 ha an. Goethe fand in Geisenheim 16 Wurmröhren auf 1 m² in leichtem, in feuchtem Boden dagegen 59. Regenwurmrohre benutzen mitunter die Pflanzenwurzeln zum besseren Vordringen in die Tiefe, und wenn die Wurzeln (bzw. Wurzelstöcke) verfaulen, so bilden sich Kanäle, die unfiltriertes Oberflächenwasser in den tieferen Untergrund und in das Grundwasser leiten können. Über die Tätigkeit der Regenwürmer gibt Abb. 170 Auskunft.



Abb. 170. Die Tätigkeit der Regenwürmer, dargestellt an einem lotrechten Schnitt durch den Erdboden. (Nach Hoffmann.)

Auch Mäuse, Ratten und Maulwürfe können ihre Gänge bis auf den Grundwasserspiegel vortreiben. Bei steigendem Grundwasser ragen die Gänge dann in den Grundwasserkörper hinein.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, daß unter Umständen auch bei einem aus feinkörnigen Haufwerken bestehenden Untergrund ein unerwünschter Zusammenhang zwischen Grundwasser und Oberfläche in Gestalt von Röhren bestehen kann. Da Pflanzenwurzeln und Tiergänge auch in Ton und Lehm vorkommen, so muß man auch damit rechnen, daß Ton und Lehm nicht immer eine zuverlässige, undurchlässige Schutzschicht bilden,

wie man sich noch vielfach einbildet. Auf alle Fälle ist bei flachgründigen Fassungen trotz der sonst vorhandenen Filtrationswirkung der Haufwerke Vorsicht geboten.

41. Unvollkommene Reinigung in klüftigen Gebirgsarten.

Tritt an Stelle einer Versickerung durch porösen Untergrund ein Versinken von Oberflächenwasser in klüftigen, tiefen Untergrund nur durch Vermittelung von Spalten, Klüften, Schwalglöchern, Erdfällen u. dgl., so kann im allgemeinen von einem gesundheitlich wirksamen, durchgreifenden Filtrationsvorgang nur in beschränktem Maße die Rede sein. Das von der Erdoberfläche durch einen Riß oder Spalt in den tieferen Untergrund gelangende Wasserteilchen kommt nach und nach in das Bereich eines Spaltengewirres, in dem sich die einzelnen Wasser-

tropfen zu einem zusammenhängenden Wasserfaden und schließlich zu einer Wasserader zusammenschließen. Mag der Weg einer solchen unterirdischen Wasserader noch so lang und verwickelt sein, die Geschwindigkeit, mit der sich die Teilchen dieser Wasserader bewegen, ist verhältnismäßig groß, außerordentlich viel größer als die Geschwindigkeit, mit der sich ein Wassertropfen beim Durchgang durch die Poren eines filtrierenden Haufwerks bewegt. Es fehlt eben das die Wassergeschwindigkeit hemmende große Rückhaltungsvermögen der feinporigen Haufwerke, und die Folge hiervon ist zunächst, daß die in Spalten und Klüften sich sammelnden unterirdischen Wasserläufe, welche die Quelle speisen, in ungedrosseltem Zusammenhang mit den Niederschlägen stehen und, wie man zu sagen pflegt: „mit dem Regen gehen“. Hierzu kommt, daß die in porösen Haufwerken sich geltendmachende Flächenanziehung und Filtrationswirkung, welche die Bakterien und Schwebestoffe in den oberen Erdschichten zurückhält und sie an einem Vordringen in die Tiefe hindert, in Spalten, Klüften und ähnlichen Wasserwegen verhältnismäßig großer Abmessungen kaum zur Wirkung kommen kann. Dieser Mangel an Rückhaltungsvermögen und Flächenanziehung wirkt sich bei klüftigen Kalksteinen, wie aus folgender Zusammenstellung hervor geht, in großen Schwankungen der Bakterienzahl und in Trübungen aus, welche die Folge größerer Niederschläge sind.

Tabelle 16. Charakteristische Beeinflussungen typischer Kalksteinquellen durch Regen. [Nach Gärtner (1).]
Wasserführende Schicht: Oberer und mittlerer Muschelkalk.
Höhe des Deckgebirges mindestens 60 m.

Datum	Wetter	Trübung	Bakterienzahl im cm ³		
		Quelle RS.	Quelle H.	Quelle N.	Quelle P.
14. April	Seit Wochen trocken	klar	klar	klar	klar
18. Mai	Seit 2 Tagen mäßiger Regen	0—5 Bakt. leicht trübe 2200 bis 2600 Bakt.	30-40Bakt. — —	95 Bakt. stark trübe 12000 bis 18000Bakt.	— leicht trübe 3600 bis 3700 Bakt.
8. Sept.	Trocken, zuletzt etwas feucht	klar	klar	klar	klar
14. „	Starker Regen	1 Bakt. stark trübe 1200 bis 1900 Bakt.	22 Bakt. sehrst.trübe 8000 Bakt.	11-64 Bakt. stark trübe 4800 bis 5800 Bakt.	3 Bakt. klar 470 bis 640 Bakt.
24. Juli	Starker Regen	stark trübe 195000Bkt.	stark trübe 91000Bakt.	stark trübe 12000 Bakt.	stark trübe 1000 bis 24000 Bakt.
24. Jan.	Trockener Frost	klar 8 Bakt.	klar 31 Bakt.	klar 51 Bkt.	klar 8 Bakt.

Aber auch andere klüftige Formationen zeigen ein ähnliches Verhalten.

Nichts charakterisiert die mangelhafte Filtrationswirkung klüftiger Gesteine besser als die Tatsache, daß es zahlreiche, in klüftigem Gebirge niedergebrachte artesische Brunnen gibt, die Fische, Krabben, Mollusken u. dgl. zutage fördern. So berichtet Gärtner (1), daß die artesischen Brunnen bei Biskra 5 Arten Fische, 3 Arten Krabben und 25 Arten

Tabelle 17. Schwankungen des Keimgehalts in klüftigen Gebirgen.

Ort	Geologische Formation	Keimzahl im cm ³ bei		Autor
		trockenem Wetter	regnerischem Wetter	
Soest	Plänerkalk	134	2800	Gärtner (74)
Umgebung von Jena .	Unterer Wellenkalk	0—60	18000	„
Houderville (Mosel) . .	Lias	180	8000	„
Umgebung von Basel .	Korallenkalk	30	2975	„
Pilatusquelle	Kalk und Sandstein	40	200	„
Buchbrunnen b. Schaffhausen	Jurakalk	50	40000	
Blautopf	Weißer Jura	164	6170	Stuttgart (73)

Mollusken heraufbrachten. In Riemke in Westfalen förderte ein Brunnen von 45 m Tiefe kleine Fische von 8—10 cm Länge zutage, die aus 10—20 km entfernten Bächen stammen konnten. Derartige Erscheinungen sind durchaus nicht selten.

42. Bedingte Reinigung in klüftigen Gebirgsarten.

Nur dort, wo Spalten und Klüfte durch feinkörnige Verwitterungsgebilde teilweise oder ganz ausgefüllt sind, findet im Innern des Gebirges Filtrationswirkung statt, und in solchen Fällen werden Trübungen und Bakterienvorkommnisse seltener. In dieser Beziehung liegen die Verhältnisse besonders günstig bei den verschiedenen Sandsteinen und Konglomeraten, die nach Auswaschung des Bindemittels in einzelne Quarkörner oder sonstige Haufwerke zerfallen und auf diese Weise hygienisch wirksame natürliche Filter bilden können. Einen derartigen Fall stellen z. B. die Quellen von Ranna dar. Hier wirken als Filtrationsmaterial in den Klüften des wasserführenden Dolomits die sandigen Einschwemmungen, die aus Veltensteiner Sandstein und Oberflächenschutt stammen. Auch Kalke können in feinkörnige Trümmer zerfallen, wie z. B. die Krinoidenkalke von Tournai (39), die sich durch reines Quellwasser mit geringen Schwankungen der Temperatur und Ergiebigkeit auszeichnen. Auch die Siebenseebadquellen der 2. Wiener Hochquellenleitung, die aus klüftigen Triasschichten kommen, haben stets hygienisch einwandfreies Wasser. Sie treten aus den Triasschichten mittels des vorgelagerten Moränenschutts zutage. Auf diese Weise wird die Moräne zum Filterkörper. Auch kann es vorkommen, daß mitunter in feinen, dem Auge kaum wahrnehmbaren Rissen und Fugen die Kapillarwirkung als reinigende Kraft sich geltend machen kann. Es findet dann eine innige Berührung des Wassers mit der Gesteinsmasse statt, wodurch eine Art filtrierende Wirkung erzielt wird.

Die geschichteten Gesteine zeigen vielfach, insbesondere dort, wo ihre Oberflächen gut bewaldet sind, einwandfreie Quellen, und kann darauf hingewiesen werden, daß solche im Gneis, Glimmerschiefer, Tonschiefer, kristallinen Kalken, Quarziten, Grauwacken und auch in Arkosen und Rotliegendkonglomeraten gefunden werden. In Steinbrüchen dieser Gebirgsarten kann man vielfach sandige Einschwem-

mungen feststellen, deren reinigende Wirkung sich in der Wasserbeschaffenheit geltend macht.

Bei Quellen, die aus großen, tiefen, unterirdischen Wasserspeichern, Stollen, unterirdischen Sperrn, zusammenhängenden Klüften gespeist werden, kommt unter Umständen eine Selbstreinigung vor wie bei oberirdischen Staubecken oder Stauseen. Nach Gärtner (1) sind im Wasser von Stauseen pathogene Keime noch nicht nachgewiesen worden. Als Tatsache kann gelten, daß die Zahl der Bakterien mit der Tiefe, also der Höhe der auf ihnen lastenden Wassersäule abnimmt. Gärtner ist der Ansicht, daß in Staubeckenwasser gelangende Krankheitserreger (Typhus, Ruhr und Cholera) infolge biologischer Reinigung bald wieder aus dem Wasser verschwinden (ein Teil geht zugrunde, weil er den osmotischen Veränderungen des Mediums nicht Widerstand zu leisten vermag, ein anderer, weil die Ernährungsverhältnisse schlecht sind, ein dritter, weil die Belichtung ihn schädigt, ein vierter, weil er von anderen Lebewesen, insbesondere Infusorien, aufgenommen wird, ein fünfter, weil er infolge seines spezifischen Gewichts langsam in die Tiefe sinkt und ein weiterer sinkt schneller, festgebant durch die Anziehung größerer Körper, die rasch zu Boden fallen), sofern nur die Zeit recht lang und die Wassertiefe hinreichend groß ist.

Im Gegensatz zu oberirdischen Stauseen spielt allerdings bei unterirdischen Höhlen das Sonnenlicht keine keimtötende Rolle. Günstig wirkt dagegen auf die Selbstreinigung der Umstand, daß Verunreinigungen von der Oberfläche aus (z. B. durch Staub) bei Höhlen so gut wie ausgeschlossen sind.

Nach Lehmann und Reichle (75) sind tatsächlich aus der Praxis Fälle bekanntgeworden, wo aus klüftigen Gebirgsschichten ohne Filtermaterialfüllung dauernd keimfreies, bakteriologisch unbedenkliches Wasser gewonnen werden konnte. Fälle dieser Art sind u. a. das Wasserwerk Staßfurt mit 70 m tiefen Brunnen, die aus dem unteren Muschelkalk das Wasser entnehmen, und das Wasserwerk Memel mit 250—280 m Brunnentiefe und Wasserentnahme aus Dolomit und dolomitischem Kalk. In beiden Fällen sind die Brunnen artesisch. Die Abflußverhältnisse zeigt Abb. 171. Unter der Talsohle, die von einer wasserundurchlässigen Schicht überlagert wird, stehen die Kalkschichten unter Druck. Bringt man in der Talsohle in genügender Entfernung von Quellaustritt einen Tiefbrunnen nieder, so liefert dieser erfahrungsgemäß keimarmes Wasser, das zugleich luftarm bzw. luftfrei ist. Ähnliche Verhältnisse liegen bekanntlich bei offenen Gewässern vor, wie z. B. beim Boden- und Genfersee, die in großer Tiefe keimarmes Wasser führen.

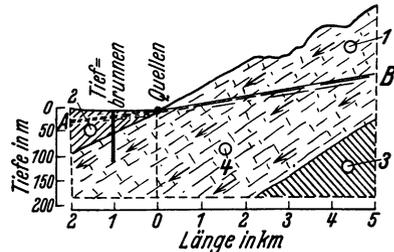


Abb. 171. Längenschnitt durch ein wasserführendes Gebirge mit Spalten.
(Nach C. Reichle.)

1 Zone mit freiem Abfluß der verunreinigten Spaltenwasser; 2 wasserundurchlässige Überlagerung; 3 wasserundurchlässige Sohle; 4 druckerfüllte Zone des Spaltengebirges; A—B Grundwasserspiegel.

Es liegt bei Tiefbrunnenwasser, das aus Spalten kommt, die Vermutung nahe, daß beim Absinken des Wassers in die unter Druck stehende Zone die Luft allmählich entweicht bzw. verbraucht wird. Infolgedessen wird es zu einem Absterben zunächst der aeroben Bakterien kommen, während anaerobe Bakterien so lange am Leben bleiben, als organischer Nahrungsstoff für sie vorhanden ist. Schließlich wird dieser verbraucht, wodurch auch die anaeroben Bakterien zugrunde gehen.

Von dieser Vermutung ausgehend, haben Lehmann und Reichle das Verhalten von Colibakterien in unter Sauerstoffabschluß stehendem Wasser experimentell untersucht und zu diesem Zwecke u. a. 9-Literkolben verwendet, die nur mit Wasser gefüllt waren. Das Ergebnis der Versuche gibt die Zusammenstellung auf Seite 128.

Es konnten also lebende Colikeime bei einem Wasser, das mit rund 2,8 Mio pro 1 cm³ verunreinigt war, in den Kolben A_1 und A_2 schon am 9. und 19. Tage nach Sauerstoffabschluß mit den üblichen Züchtungsmethoden nicht mehr nachgewiesen werden. Bei den Versuchen A_3 , A_4 und A_5 wurde die Keimfreiheit erst in 32, 60 und 43 Tagen erreicht. Für diese Zeitunterschiede kann man als wahrscheinliche Erklärung den Unterschied in der Temperatur des Aufbewahrungsortes der Kolben (21,2 und 22,2° C) heranziehen. Bei unterirdischem Wasser, das im Gebirge lange Wege zurückgelegt hat, kann man wohl angenähert gleichbleibende Temperatur annehmen.

Bestätigt wird die Richtigkeit der von Lehmann-Reichle gemachten Beobachtungen durch die Mitteilung von Mosny und Martel (76), nach welcher im Wasser der unterirdischen Höhlen des Ragas bei 0,30 m Wassertiefe 25 Kolonien in 10 m³ und etwa 10 Colibakterien im Liter und 18,0 m Wassertiefe 11 Kolonien in 10 m³ und keine Colibakterien in 100 cm³ festgestellt wurden.

Ob es wirtschaftlich richtiger ist, das Wasser am Quellort oder erst unterhalb des Quellaustritts in der Tiefebene mittels Tiefbrunnen zu fassen, entscheiden die Kosten der Quelfassung mit anschließender Sterilisierung sowie die Kosten des Tiefbrunnens und die Größe des Gefällsverlustes zwischen Quelfassungs- und Tiefbrunnenspiegel. Letztere wird dann besonders ins Gewicht fallen, wenn die Möglichkeit besteht, das Wasser der Quelle dem Verbrauchsort mit natürlichem Gefälle zuzuleiten.

43. Folgen der Verwendung hygienisch minderwertiger Süßwasserquellen.

Es ist durch Erfahrung nachgewiesen, daß zahlreiche Epidemien durch verseuchtes Quellwasser hervorgerufen worden sind. Es steht aber auch fest, daß diese Epidemien fast ausschließlich auf Quellen entfallen, deren Speisung durch unterirdische Wasserläufe erfolgt ist, also Wasserwege, auf denen das von der Oberfläche aus verunreinigte Wasser keinerlei Filtrationsvorgang durchgemacht hat. Es handelt sich also um in die Tiefe versunkenes Oberflächenwasser, das, mit allen früheren Eigenschaften des Oberflächenwassers nach wie vor belastet, nach Zurücklegung einer unterirdischen Strecke wieder zutage tritt und so

eine aus der Tiefe der Erde kommende gesundheitlich unverdächtige Quellerscheinung vortäuscht. Den lehrreichen Typus einer solchen

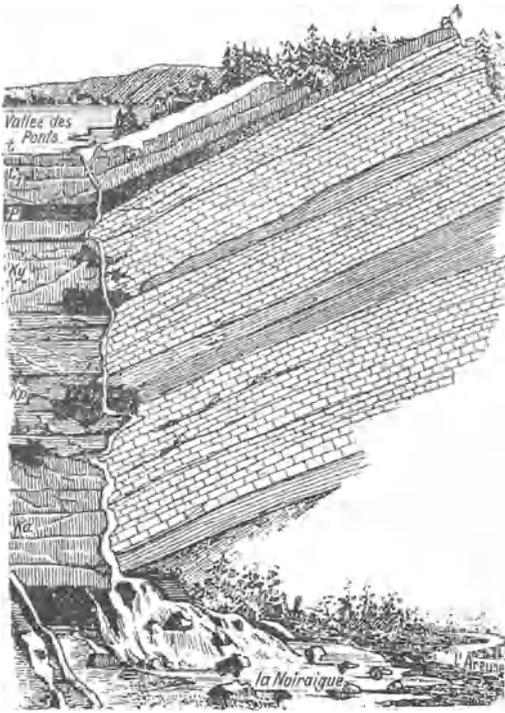


Abb. 172. Versunkenes Tagewasser beim Austritt aus der Erde, eine unverdächtige Quelle vortäuschend.

Quelle zeigt Abb. 172 nach Desor (77). Die im Vallée des Ponts (Jura) versinkenden Oberflächenwässer treten im Tal der Areuse, nachdem sie etwa 280 m Höhe durchlaufen haben, als Quelle der Noiraigue aus den Juraschichten zutage. Irgendeine Reinigung des Wassers hat trotz des langen unterirdischen Weges nicht stattgefunden und daher der Name „noire aigue = Schwarzes Wasser“.

Es ist insbesondere Gärtner (74) gewesen, der durch Zusammenstellung und nähere Untersuchung unterirdischer Wasserläufe darauf hingewiesen hat, daß z. B. die Typhusepidemien in Paris, Bar le Duc, Besançon, Weimar, Pader-



Abb. 173. An der Dielenpader. (× Quellaustritte.)

born usw. lediglich auf ungenügende Reinigung des Wassers im klüftigen Untergrund zurückzuführen sind. Aus der Zahl der bekanntgewordenen Wasserepidemien mögen im nachstehenden die Fälle Paderborn und Pforzheim kurz erläutert werden.

Nach Gärtner wurde die Stadt Paderborn in dem Zeitraum von 1885 bis 1898 von vier Typhusepidemien heimgesucht. Die erste im Jahre 1885, als die Zentralversorgung noch nicht bestand, erstreckte sich nicht über die ganze Stadt. Die zentrale Wasser-versorgung wurde 1887 errichtet, und sechs Jahre später trat eine schwere Epidemie auf. Der Verdacht, daß das Leitungswasser Ursache der Epidemie sei, wurde bald als berechtigt nachgewiesen. Das Leitungswasser stammte aus den sog. Trinkquellen, welche zu den Quellen der Börnepader gehören (Abb. 173). Die Paderquellen entspringen mitten in der Stadt, in etwa fünf Gruppen angeordnet. Die Zahl der einzelnen Quellen beträgt etwa 150. Ihre genaue Zahl festzustellen ist unmöglich, denn überall rieselt und quillt das Wasser aus der Erde, aus dem Pflaster der Straßen, unter den Fundamenten und den Mauern, welche inmitten und über den Quellen errichtet worden sind (Abb. 174). Die Quellen zeigen zunächst in ihrem

Temperaturverhalten Verschiedenheiten. Man unterscheidet kühle und warme Quellen. Die kühlen zeigen Schwankungen zwischen 8–11° C, die warmen zwischen 12–15° C. Aus Abb. 167, S. 118 ist ersichtlich,

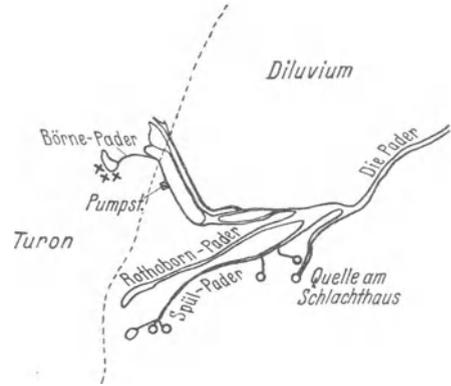


Abb. 174. Lageplan der Paderquellen. (Nach Gärtner.)

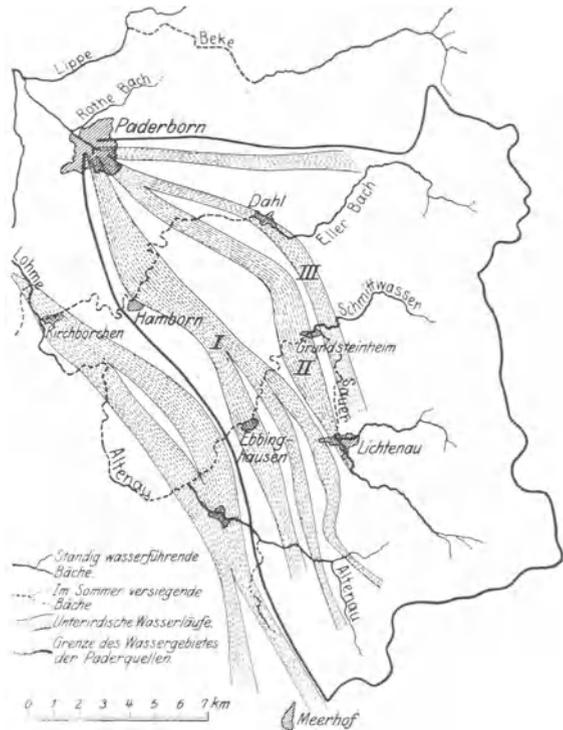


Abb. 175. Unterirdische Wasserläufe, welche die Paderquelle speisen. (Nach Stille.)

in welchem Maße Regen die Temperaturen der Quellen beeinflusst. Außer durch das verschiedene Temperaturverhalten unterscheiden sich die Paderquellen noch dadurch voneinander, daß einzelne trotz starker Regen klar bleiben, andere selbst bei geringen Niederschlägen trüben. Neben den Trübungen durch Tonteilchen traten zu Regenzeiten Bakterien in größerer Menge in den Quellen auf, während die chemischen Befunde sich nicht wesentlich änderten.

Trotz dieser Verschiedenheiten geht aus dem Verhalten der Temperatur, der Trübungen und der Bakterien unzweideutig hervor, daß die Paderquellen mit dem Regen gehen und demnach mit der Erdoberfläche ohne Zwischenschaltung genügend filtrierender Schichten zusammenhängen müssen. Die Paderquellen werden durch unterirdische Wasserläufe gespeist, die aus der Kreide kommen (Abb. 175). Die Klüftigkeit ihres Speisegebietes ist die Ursache der Infektion. Man hat sich deshalb entschlossen, das Quellwasser zu sterilisieren und zu diesem Zwecke eine Ozonanlage gebaut, welche später durch das Chlorverfahren ersetzt worden ist. Beide Verfahren vermochten indessen nicht die Trübungen zu beseitigen. Eine einwandfreie Lösung der Wasserfrage ist erst durch das im Jahre 1930 in Betrieb gekommene Grundwasserwerk gelungen, welches Wasser aus den Sennesanden entnimmt.

Auch die Stadt Pforzheim ist nach Daur und Röhrer (78) in den Jahren 1894, 1897 und 1919 von Typhusepidemien heimgesucht worden. Die Ausgangsstelle der Epidemie im Jahre 1919 war ein Haus in Waldrennach, in welchem sich in den Monaten Januar und Februar

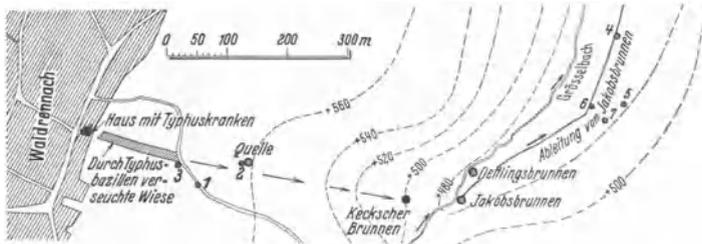


Abb. 176. Lageplan der Umgebung des Keckschen Brunnens bei Pforzheim. (Nach Röhrer.)

Typhusfälle ereigneten (Abb. 176). Die Ausleerungen der Erkrankten kamen in undesinfiziertem Zustand in eine Jauchegrube und von hier auf die hinter dem Hause gelegene Wiese. Vom Ort Waldrennach führt eine mit Felsblöcken überschüttete Rinne mit steilem Gefälle zum Grösseltal. Unweit der Einmündungsstelle dieser Rinne in das Grösseltal liegt der Kecksche Brunnen. Ein erster Salzungsversuch in den

Tabelle 19.

Punkt	Entfernung vom Brunnen	Wassergeschwindigkeit m/h
1	350 m	58,3
2	270 „	45,0
3	380 „	63,0

Punkten 1 und 3 ergab, daß das Wasser aus der Mulde bei Waldrennach in recht kurzer Zeit in den Brunnen gelangt. Die Durchflußgeschwindigkeit betrug 17,5 bis 18,0 m/h. Ein zweiter Salzversuch vom Erdloch 3 aus ergab nebenstehende Durchflußgeschwindigkeiten:

unter der Oberfläche ist kein Maß der Sicherheit gegen Infektion, da Spalten und Klüfte die größten Tiefenlagen mit der Oberfläche verbinden

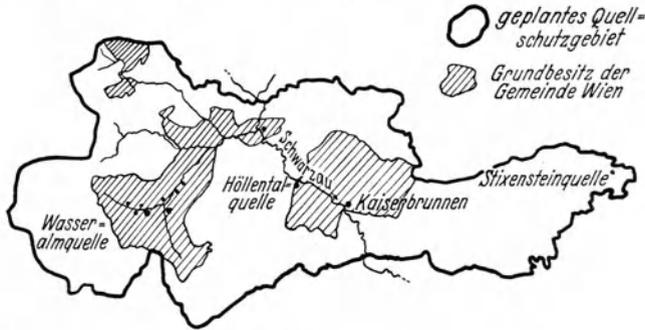


Abb. 178. Das geplante Quell-schutzgebiet der Stadt Wien. (Nach Schönbrunner.)

können. Dungstätten und sonstige Verunreinigungsmöglichkeiten sind selbstverständlich innerhalb des Schutzbezirks nicht zu dulden. Befinden sich innerhalb des Schutzbezirks menschliche Ansiedlungen, so sind solche zu sanieren; ihre Abfallwirtschaft ist laufend zu überwachen. Abwassergräben, Abflüsse von gewerblichen Betrieben u. dgl. dürfen keineswegs den Schutzbezirk kreuzen, auch dann nicht, wenn sie in geschlossenen Leitungen durchgeführt werden, da solche Rohrleitungen undicht und so zur Infektionsquelle werden können. Der eigentliche Fassungsstreifen soll baumfrei bleiben und nur Grasbedeckung erhalten. Das empfiehlt sich mit Rücksicht auf bauliche Arbeiten an der Fassung und die Gefahr von tiefen Wurzelbildungen durch die Fassungsanlage verstopfend und zerstörend auswirken können. Das außerhalb des Fassungsstreifens liegende Einzugsgebiet sollte nach Möglichkeit aufgeforstet werden. Es ist dies das sicherste Mittel einer hygi-

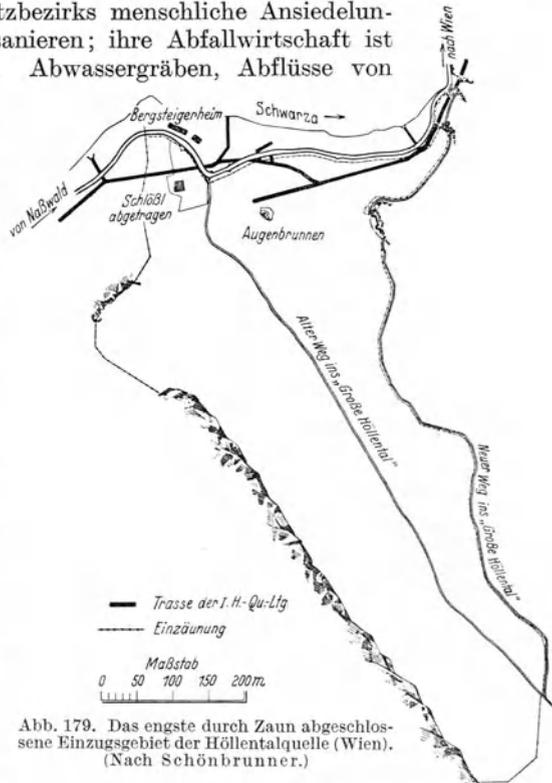


Abb. 179. Das engste durch Zaun abgeschlossene Einzugsgebiet der Höllentalquelle (Wien). (Nach Schönbrunner.)

enischen Sicherstellung. Dem Erwerb des Schutzgebietes ist vor einer Pachtung stets der Vorzug einzuräumen, sowohl aus rein hygienischen Gründen als auch zwecks Vermeidung von wasserrechtlichen Prozessen. Es ist eine alte Erfahrung, daß land- und forstwirtschaftliche Betriebe nicht selten Mißernten und Baumschaden ausschließlich auf Wasserentziehung durch benachbarte Fassungen zurückzuführen suchen. Man sollte daher stets den Grunderwerb mindestens auf das Einwirkungsgebiet der Fassung bei größter Wasserentnahme ausdehnen. Eine Abwehr des prozessualen Gegners wird desto leichter sein, je einwandfreiere hydrologische Feststellungen aus der Zeit der natürlichen Zustände vorliegen. Der Erwerb des ganzen Einzugsgebiets wird wohl nur dort möglich sein, wo es sich um kleine Flächen handelt. Bei großen Gebieten scheidet der Erwerb in der Regel an finanziellen Schwierigkeiten. So beträgt z. B. das Einzugsgebiet der I. Wiener Hochquellenleitung nach Schönbrunner (79) 2500—28000 ha (Abb. 178). Von diesem Gebiet gehören der Stadt

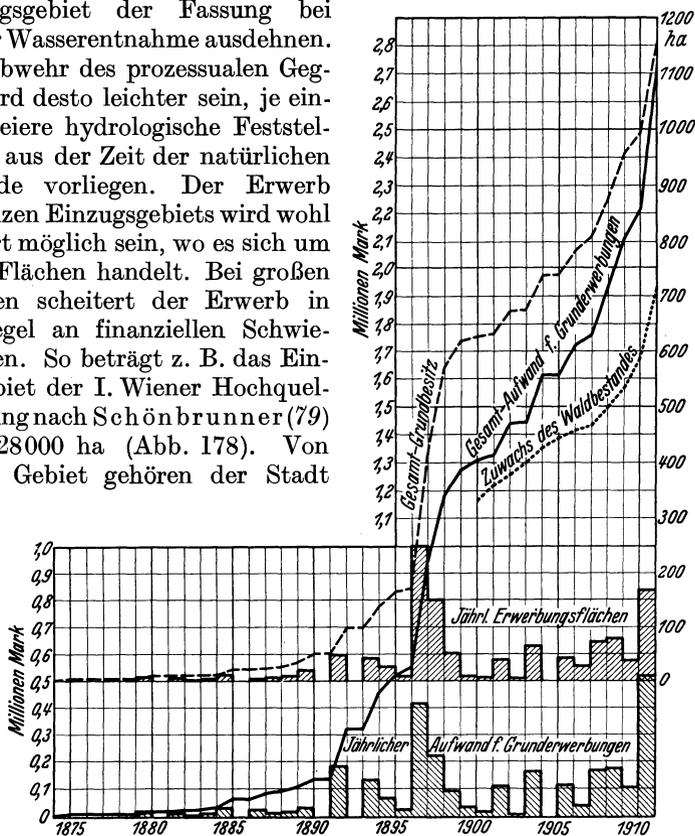


Abb. 180. Entwicklung des Münchener Grundbesitzes im Quellgebiet. (München, Festschrift 1912.)

Wien zur Zeit etwa 6000 ha. Man hat sich deshalb in Wien entschlossen, zunächst wenigstens das engste Gebiet der Höllentalquelle durch einen Drahtzaun gänzlich abzusperren. Der sonstige Schutz besteht in einer möglichst großen Beschränkung des menschlichen Verkehrs und Umleitung desselben auf ungefährliche Stellen, Verhinderung von neuen Ansiedelungen und dort, wo solche bestehen und nicht beseitigt werden können, auf hygienisch einwandfreie Beseitigung der Fäkalien und sonstigen Abfallstoffe.

Die Stadt München hat bis Ende 1911 allein im Gebiet der Mangfallquelle 1163,7 ha mit 2725000 RM. Kosten erworben (80). Aus Abb. 180

ist die Entwicklung des Münchener Grundbesitzes im Quellgebiet sowie der Zuwachs an neuem Waldbestand ersichtlich.

Durch gute Quellfassungen darf nur reines Quellwasser eingefangen werden. Jegliches Oberflächenwasser ist durch geeignete bauliche Maßnahmen

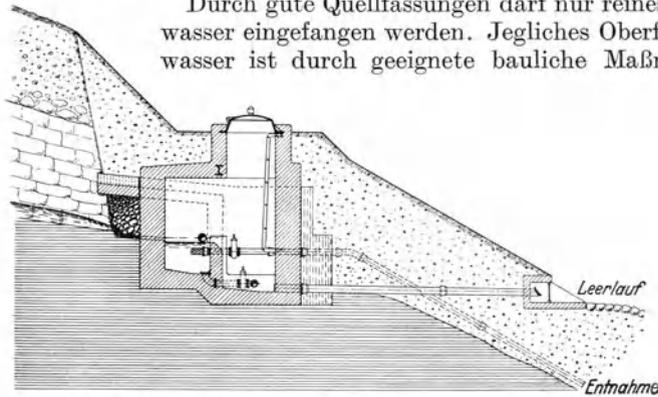


Abb. 181. Hygienisch einwandfreier Zugang zu einer Quellstube.

fernzuhalten. Liegen Quellfassungen in der Nähe von Bächen, so sind sie so hoch über dem Bachlauf anzulegen, daß die Bachwässer auch bei Hochstand nicht gefährlich werden können. Gegebenenfalls wird man den Bachlauf verlegen oder sich durch eine Schutzmauer gegen Überflutung schützen.

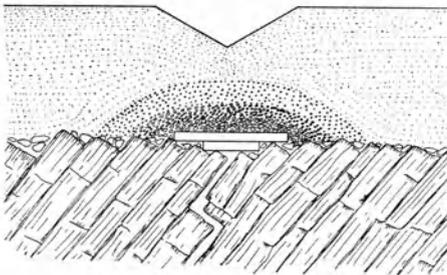


Abb. 182. Verbauung einer Schwinde.

In solchen Fällen, wo das Einzugsgebiet Erdlöcher, Schwinden aufweist, durch welche Oberflächenwasser

in die Tiefe gelangen kann, kann es sich nach dem Vorschlag von Grégoire und Hallet (39) empfehlen, die Schwinden zu verbauen (Abb. 182). Man deckt zu diesem Zweck mittels eines Schachtes die Klüfte des Untergrundes auf, verlegt sie mit Steinplatten und baut über diese ein Filtergerüst aus Steinschlag mit

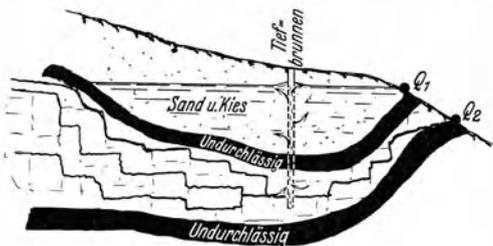


Abb. 183.

abnehmender Korngröße und deckt dieses mit feinem Sand zu. Es kann auch vorkommen, daß zwei Wasserhorizonte übereinanderliegen, von denen der obere aus filtrierenden Sanden besteht, der untere

dagegen ein verzweigtes Netz wasserführender Spalten und Klüfte darstellt. Der obere Wasserhorizont speist die Quelle Q_1 , der untere die Quelle Q_2 (Abb. 183). Infolge der gut filtrierenden Wirkung ihres Speisegebietes wird Quelle Q_1 hygienisch einwandfreies Wasser liefern, Q_2 dagegen Wasser, welches unter Umständen mit Krankheitserregern belastet ist. Man sieht daraus, aus welchen Gründen sich eng benachbarte Quellen so verschiedenartig in gesundheitlicher Beziehung verhalten können.

Legt man Wert darauf, beide Quellen für menschliche Genußzwecke nutzbar zu machen, so wird es das zweckmäßigste sein, durch Bohrungen das Wasser des tieferen Horizonts in den oberen zu leiten, in welchem es nachträglich eine wirksame Filtration durchmachen kann. Voraussetzung ist, daß die hydraulische Spannung im unteren Stockwerk den Übergang in das obere ermöglicht. Quelle Q_2 wird dann trockengelegt, ihr Wasser kommt in Quelle Q_1 in hygienisch einwandfreier Beschaffenheit zum Ausfluß.

45. Kosten von Quellen und Quellfassungen.

A. Geldwert einer Quelle.

Nach Müller (81) ist der Geldwert einer Quelle unter sonst gleichen Umständen desto größer, je näher sie beim Versorgungsgebiet und je höher sie über diesem liegt. Außerdem ist naturgemäß in wasserarmen Gegenden das Quellwasser wertvoller als in wasserreichen, und schließlich ist der Wert einer Quelle auch abhängig von der Beschaffenheit ihres Wassers.

Man kann im allgemeinen setzen:

$$W = n \cdot 1000 - \frac{l}{2} + 2h^2,$$

worin

- W der Wert der Quelle in Mark für 1 sl geringster Schüttung;
- n ein Koeffizient, der bei guter Wasserbeschaffenheit in wasserreichen Gegenden = 1, in wasserarmen = 2 und bei weniger guter Beschaffenheit in wasserreichen Gegenden = $\frac{1}{2}$ und in wasserarmen = 1 zu setzen ist;
- l die Länge des Zuleitungsweges von der Quelle bis zum Versorgungsgebiet in m;
- h die Höhe der Quelle über dem Versorgungsgebiet in m ist.

Liegt die Quelle tiefer als das Versorgungsgebiet oder muß ihr Wasser gehoben werden, so ist „ h “ gleich der notwendigen Förderhöhe und negativ.

Vorstehende Formel gibt nur rohe Annäherungswerte. In Wirklichkeit schwanken die für Quellwasser gezahlten Preise in weiten Grenzen. So sind z. B. gezahlt worden:

Tabelle 20.

Ort	Quellen	Schüttung sl	Preis	Preis je 1 sl	Angabe von
Reichenberg i. Böhmen . . .	Verschiedene	—	—	2500 K. ö. W.	Huber
Diessenhofen i. Schweiz . . .	Kundolfinger- quellen	7,5	10500frs. Schw.	140 frs. Schw.(?)	Hug
Salzburg	Glaneggquellen	32,6	340000 S. ö. W.	10300 S. ö. W.	Rosskothen

Auch die Baukosten der Quelfassungen gehen weit auseinander, wie die nachstehende Zusammenstellung beweist.

B. Baukosten von Quelfassungen je 1 sl.

Tabelle 21.

Ort bzw. Land	Geologische Formation	Art der Fassung	Kleinste Schüttung sl	Baukosten Rm	Angaben von
Kaufbeuren .	Diluvialer Schotter	Sickerung und Brunnen	15	je 1 sl 435	} Bayer.L.-A. f. Wasservers.
Gossweil . .	Diluvialer Schotter	Sickerung und Schacht	2,1	2990	
Schweiz. . .	Moräne	Sickerung 1,20 × 0,9 m	—	je 1 m 80—120	} H. C. Ryser, Bern
„ . . .	Alluvialer Schotter	Sickerung 1,20 × 0,9 m	—	120—160	
„ . . .	Treibendes Gebirge	Stollen 1,80 × 0,9 m	—	240—400	
Goldbach-Hößbach	Buntsandstein	Sickerung, Brunnen	10	je 1 sl 415	} Bayer.L.-A. f. Wasservers.
Impflinger Gruppe	Buntsandstein	Sickerung, Brunnen	13	2277	
Reichstal . .	Rotliegendes	Senkbrunnen	0,25	1668	
Mörsheim . .	Weißer Jura	Sickerung, Schacht	16	160	
Friedenfels .	Granit	Sickerung, Schacht	2,2	3588	} U. Huber
Isergebirge .	Kalk	Sickerung	—	4000 (im Durchschnit)	

46. Wasserentzug durch Quelfassungen und Schadenersatz.

Wie die Erfahrung lehrt, wirkt Wald erhaltend und verbessernd auf den Wasserhaushalt der Quellen. So berichtet u. a. Huber (82), daß im Quellgebiet des Berzdorfer Baches die Quellen solange flossen, als das Quellgebiet mit Wald bestanden war. Nachdem eine große Waldfläche abgeschlagen war, versiegten die Quellen vollständig. Erst nach 20 Jahren Neubestand des Waldes, als es wieder Schatten gab, zeigten sich wieder schwächere Quellen. Nach 30 Jahren liefen sie wieder in alter Stärke ab.

Bei der Frage der Wertminderung des Waldes infolge von Wasserentzug durch Quelfassungen muß wohl unterschieden werden zwischen Quellen, die durch Grundwasser und Quellen oder durch unterirdische Wasserläufe gespeist werden.

Über den Einfluß der Absenkung bei Grundwasserbrunnen ist das Nötige in meinem „Handbuch der Hydrologie“ [Bd. I dieses Werkes S. 363 ff. (1923)] gesagt.

Bei Quellen, die aus Rissen, Spalten und Klüften des Gebirges entspringen, die man also als Gebirgs- oder Hochquellen bezeichnen kann,

liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Das Felsgerüst, auf welchem unsere Hochwälder stehen und aus dem die Hochquellen kommen, wird fast überall von zwei übereinanderliegenden Decken verhüllt, die man als Pflanzenkleid und Schuttdecke bezeichnet. Der oben meist weiche, feinkörnige Boden, der vielfach mit Steinen durchsetzt ist, wird nach der Tiefe immer steiniger, die Felsbrocken nehmen an Größe und Zahl zu und schließlich findet ein allmählicher Übergang zu dem festen, anstehenden Felsen des Untergrundes statt. Die Stärke der Verwitterungsschicht hängt von der Dicke des Pflanzenteppichs, von der Weichheit des Gesteins, der Böschung des Geländes und der Lage gegen die Himmelsrichtung ab. In unserem Klima sind Verwitterungsdecken von 2 bis 5 m Stärke schon als beträchtlich zu bezeichnen. Dort, wo die Decke durch Regen abgewaschen ist, findet man häufig die Baumwurzeln direkt auf Felsblöcken angesiedelt. Und da die meisten unterirdischen Wasserläufe tief unter der Erdoberfläche liegen, so sind die meisten Bäume des Hochwaldes in ihrer Wasseraufnahme auf die Bodenfeuchtigkeit des Schutts und insbesondere auf den Tau, Nebel und die Wolkenchwaden, kurz Luftfeuchtigkeit, angewiesen. In solchen Fällen kann von einem zusammenhängenden unterirdischen Wasservorkommen nicht die Rede sein, und es wäre falsch, hier auf Grund einer willkürlich angenommenen Wasserentziehung einen durch nichts bewiesenen Waldschaden berechnen und so den Erwerb von Hochquellen auf ein unberechtigtes Maß steigern zu wollen.

Mit Recht wendet sich daher Huber gegen die oft willkürlich hohen Preisforderungen für Hochquellen und verlangt, daß, wenn Dörfer und Städte aus Hochwäldern Quellwasser beziehen wollen,

1. ein unterirdischer Wasserstrom unter den Waldbeständen nachgewiesen werde und insbesondere, ob er überall den Wurzelraum erreicht. In diesem Falle wäre zu vereinbaren, daß der Wertentgang durch eine Reihe von 20—30 Jahren festgestellt und danach erst die Entschädigung bemessen werde,

2. wo Quelldränagen eingebaut werden, eine Untersuchung stattzufinden hat, ob die Wurzelräume der Bäume vom Wasser bespült werden oder aber mindestens $\frac{1}{2}$ m höher liegen,

3. durch Schürfungen oder Bohrungen die Grenzen des etwa vorhandenen unterirdischen Wasserstromes in der Waldgemarkung und nach der Tiefe festgestellt werden und

4. für alles Grund- und Quellwasser vom Staate ein einheitlicher Ablösungspreis festgestellt werde.

Das uns von der Natur geschenkte Wasser soll allen Bewohnern des Staates zugänglich gemacht, sein Preis darf nicht einseitig vom jeweiligen Grundbesitzer bestimmt werden. Das in den Waldungen zutage quellende Wasser ist kein Eigentum des Grundbesitzers, weil der Wasserablauf einer Quelle sich der räumlichen Herrschaft entzieht als fließende Wasserwelle (Aqua profluens). Bei der Unentbehrlichkeit des fließenden Wassers für die Lebensbedürfnisse der Menschheit ist die ausschließliche Herrschaft des einzelnen über das Wasser mit dem allgemeinen Wohl unvereinbar.

Zweiter Teil.

Die Mineralquellen.

Von R. Kampe, Karlsbad (Böhmen).

Einleitung.

*„Ihr alle fühlt geheimes Wirken
Der ewig waltenden Natur,
Und aus den untersten Bezirken
Schmiegt sich herauf lebend'ge Spur.“*

Goethe.

Die Bedeutung der Mineralquellen ist in den letzten Jahrzehnten in ungeahntem Ausmaße gestiegen. Die medizinischen Wissenschaften richteten ihr Interesse auf die Balneologie, welche bislang mehr auf empirischer Grundlage gepflegt worden war. Die neuesten Forschungsergebnisse der Chemie und der physikalischen Chemie fanden im Chemismus der Mineralquellen ein reiches und lohnendes Anwendungsgebiet. Erhöhte Anforderungen an die Schüttungsmenge und Qualität, Konservierung des chemischen Charakters, Gewinnung der Quellengase und Emanationen usw. einerseits — die Forderung nach unbedingtem vorbeugenden Schutz der kostbaren Heilquellen andererseits — veranlaßten ein vertieftes Studium der Quellmechanismen durch Hydrologen, Geologen und Chemiker und bewirkten einen Aufstieg und Sonderausbau der Mineralquellentechnik, gewiß zum Wohle der Menschheit.

Heute bildet die Mineralquellenkunde und -technik ein wichtiges Wissensgebiet, über das an den Hochschulen eigene Vorlesungen gehalten werden. Große Tiefbaufirmen haben sich für Mineralquellfassungen spezialisiert. Kurverwaltungen und staatliche Quellenschutzbehörden benötigen Ingenieure mit besonderen Fachkenntnissen auf diesem Gebiete.

Definition des Begriffes „Mineralquelle“.

In der Natur findet sich nirgends chemisch reines Wasser. Selbst das Niederschlagswasser enthält schon aus der Atmosphäre gelöste gasförmige und feste Stoffe. Als Bodenwasser hat es durch die innige Berührung mit dem Bodenmaterial auf großer Fläche in längeren Zeiträumen weitere Gelegenheit Mineralsubstanz aufzunehmen. Im weitesten Sinne wären daher alle Quellen „Mineralquellen“. Der Begriff Mineralquellen im heutigen engeren Sinne steht in naher Beziehung zu

dem der „Heilquellen“. Wohl zunächst angelockt durch höhere Temperatur, eigentümlichen Geschmack, auffallend gefärbte Sedimente usw., entdeckte der Mensch frühzeitig auf empirischem Wege die Heilwirkung beim Baden in solchen Quellen oder durch den Genuß ihres Wassers. Viel später erst, als schon zahlreiche solcher Heilquellorte eine mehrhundertjährige Tradition besaßen, nahm die Wissenschaft die Erklärung der Wirkungen dieser Quellwasser aus ihrem besonderen chemischen Charakter in Angriff, und diese Forschung ist bis heute nicht abgeschlossen. Vor nicht gar langer Zeit noch konnte die Forschung z. B. in den kalten, mineralarmen radioaktiven Quellen keine Sonderheit entdecken, die sie von tausenden ähnlichen unterschied; die Heilwirkung zahlreicher solcher Wasser war aber schon durch viele Generationen bekannt und erprobt.

Erst in jüngster Zeit ist der umgekehrte Vorgang eingetreten; man entdeckte auf Grund chemischer und physikalischer Untersuchungen Mineralquellen und führte sie der balneologischen Erprobung und Auswertung zu. Hierbei würde eine exakte Definition des Begriffes „Mineralquelle“ gute Dienste leisten. Mit Rücksicht auf die Vielfältigkeit der chemischen Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften der Mineralwässer und andererseits darauf, daß es bis heute nicht sicher geklärt ist, welche der einzelnen Bestandteile und Eigenschaften bzw. welche optimale Konzentration und Intensität derselben oder welche besondere Gruppierung den Heilwert bedingt, bereitet eine solche exakte Begriffsbestimmung erhebliche Schwierigkeiten.

Nach Keilhack ist ein Mineralwasser ein Grundwasser, dessen Lösungsinhalt seiner Menge nach das gewöhnliche Maß wesentlich überschreitet oder in dem einzelne Stoffe stärker hervortreten, dessen Lösungsinhalt also quantitativ oder qualitativ von der Norm erheblich abweicht.

Nach dem Deutschen Bäderbuch (83) unterscheidet sich ein Mineralwasser von den gewöhnlichen Quell- und Brunnenwässern entweder

1. durch einen hohen Gehalt an gelösten Stoffen, oder
2. durch den Gehalt an seltener vorkommenden Stoffen, oder
3. durch die hohe Temperatur.

Zur näheren Erklärung der Worte „hoch“ und „selten“ in diesen drei Punkten hat Grünhut (84) die S. 142 folgende Tabelle der Grenzwerte aufgestellt.

Wird einer dieser Werte überschritten, so kann das Wasser als Mineralwasser angesprochen werden. Mit Recht heben jedoch E. Hintz und L. Fresenius (85) hervor, daß die Natur keine scharfen Grenzen kennt, und daß deshalb die zahlenmäßigen Merkmale niemals engherzig, sondern stets sinngemäß unter Berücksichtigung des Gesamtbildes angewandt werden müssen; daß sich ferner solche Beurteilungsnormen stetig dem Fortschritte der Wissenschaft anpassen müssen. So ist z. B. die Radioaktivitätsgrenze von 3,5 M.E. seither längst als zu niedrig erkannt worden; man sieht heute Aktivitäten von 25—50 M.E. für Badekuren als Mindestmaß an; Trinkkuren verlangen viel höheren Emanationsgehalt.

Tabelle 22. Grenzwerte, welche Mineralwässer von gewöhnlichen Wässern scheiden.

Gesamtmenge der gelösten festen Stoffe	1 g	in 1 kg
Freies Kohlendioxyd (CO ₂)	0,25 „	„ 1 „
Lithium-Ion (Li')	1 mg	„ 1 „
Strontium-Ion (Sr'')	10 „	„ 1 „
Barium-Ion (Ba'')	5 „	„ 1 „
Ferro- oder Ferri-Ion (Fe', Fe'')	10 „	„ 1 „
Brom-Ion (Br')	5 „	„ 1 „
Jod-Ion (J')	1 „	„ 1 „
Fluor-Ion (Fl')	2 „	„ 1 „
Hydroarsenat-Ion (HAsO ₄ '')	1,3 „	„ 1 „
Meta-Arsenige Säure (HAsO ₂)	1 „	„ 1 „
Gesamtschwefel (S)	1 „	„ 1 „
Meta-Borsäure (HBO ₂)	5 „	„ 1 „
Engere Alkalität	4 Milli-Val	„ 1 „
	entsprechend	0,34 g NaHCO ₃ „ 1 „
Radiumemanation	3,5 Mache-Einh.	in 1 l
Temperatur	+20° C	

I. Chemismus der Mineralquellen.

1. Die Analyse.

Die Durchführung der chemischen Analyse des Mineralwassers ist natürlich Aufgabe des Fachchemikers. Doch soll der zu Fassung, Erhaltung und Schutz der Mineralquellen berufene Ingenieur, will er unter Rücksichtnahme auf den individuellen Charakter der Quelle bestmögliche Arbeit leisten, ein gewisses Maß an chemischen Fachkenntnissen besitzen. Zum mindesten muß er die vom Chemiker gelieferten Analysenergebnisse verstehen.

Hintz und Grünhut (86) führen zwei Hauptaufgaben der chemischen Analyse der Mineralquellen an: Sie soll einmal bei größter Vollständigkeit und mit dem höchst erreichbaren Genauigkeitsgrade das Wasser so kennzeichnen, daß auf ihre Ergebnisse die pharmakologische Bewertung gegründet werden kann (Hauptanalyse oder ganze Analyse). Zweitens ist sie berufen, unter Anwendung vereinfachter Methoden und Beschränkung auf die Hauptbestandteile in häufiger Wiederholung ein Bild von den Schwankungen in der Zusammensetzung der Quelle zu geben (Kontrollanalysen s. S. 224). Dem wäre noch als dritter Punkt die Aufgabe des Chemikers bei der Fassung einer Mineralquelle hinzuzufügen: Vor Beginn der Arbeiten ist durch Kontrollanalyse der letzte Zustand der Quelle, während der Durchführung der Charakter der einzelnen aufgeschlossenen Adern zu bestimmen. Bei den Spannungsversuchen zur Ermittlung des besten Auslaufniveaus ist eine eventuelle Änderung der Zusammensetzung mit der Auslaufhöhe zu untersuchen. Schließlich ist das Endergebnis der Fassung in chemischer Beziehung nach eingetretener Beharrungszustand durch eine Hauptanalyse festzustellen.

Die wichtigsten in Mineralwässern vorkommenden Stoffe sind¹: die Kationen Natrium, Kalium, Lithium, Rubidium, Caesium, Ma-

¹ Eine Tabelle aller bisher aus Thermal- bzw. Mineralwässern bekanntgewordener Stoffe bringt Knett (87).

gnesium, Kalzium, Barium, Strontium, Radium, Mangan, Eisen, Aluminium und die Anionen: Chlor, Brom, Jod, Fluor, Sulfat, Phosphat, Hydrophosphat, Hydroarsenat, Karbonat und Hydrokarbonat, Hydrosulfid, die nichtionisierten Stoffe: Borsäure, Kieselsäure und die Gase: Wasserstoff, Helium, Argon, Radiumemanation, Thoriumemanation, Stickstoff, Kohlendioxyd („Kohlensäure“), Schwefelwasserstoff, Kohlenwasserstoffe.

Die Mineralwässer haben daher den Charakter (zumeist stark) verdünnter Lösungen von Salzen und Gasen.

Die Darstellungsweise der Analysenergebnisse hat im Laufe der Zeit, entsprechend den Fortschritten der Chemie und Physik der Lösungen, Änderungen erfahren. Man gruppierte früher die in der Analyse festgestellten Elemente und Elementgruppen zu Salzen, wobei in der Wahl des Zusammenstellungsprinzipes eine gewisse Willkür waltete. Bunsen schlug 1871 vor, die Gruppierung so vorzunehmen, wie die Salze beim Verdunsten bei bestimmter Temperatur auskristallisieren würden. R. Fresenius sättigte die stärkste Säure mit der stärksten Base und die anderen absteigend nach ihrer Stärke. Da die Analyse selbst keinerlei Anhaltspunkte darüber geben kann, ob und wie sich die Elemente zu Salzen verbinden, und da sich Analysenresultate mit verschiedenem Gruppierungsprinzip nicht vergleichen lassen, machte K. v. Than schon im Jahre 1864 den Vorschlag, von der Zusammenstellung zu Salzen abzusehen und nur die tatsächlichen Analysenresultate anzugeben. Dieser Vorschlag fand zunächst fast gar kein Gehör. Erst die Entdeckung der elektrolytischen Dissoziation in Lösungen durch Sv. Arrhenius (1887) und deren Anwendung durch Wilh. Ostwald hat hier umstürzend gewirkt.

Wir wissen heute, daß sich die Moleküle der sog. Elektrolyte¹ in der Lösung in kleinere Teile spalten, die Ionen, welche mit einer elektrischen Ladung von bestimmter Energiemenge behaftet sind. Infolge dieser Ladung treten die normalen Elementeigenschaften der Ionen nicht in Erscheinung; das Chlor-Ion ist farblos, das Na-Ion wirkt nicht wasserzersetzend usw. Während Ostwald und seine Schule diese Dissoziation noch auf einen Teil des gelösten Stoffes beschränkt glaubten, der mit fortschreitender Verdünnung zunehmen sollte (Dissoziationsgrad), haben später Bjerrum und Debeye nachgewiesen, daß die Salze der starken Säuren, unabhängig von der Konzentration, praktisch vollständig dissoziiert sind.

Man stellt daher heute die Ergebnisse der Analyse in einer Ionentabelle zusammen, in welcher nur die schwachen Elektrolyte, z. B. Kieselsäure, Borsäure, als ungespaltenes Molekül auftreten. Wenn dieser Ionentabelle gewöhnlich auch heute noch eine Gruppierung zu Salzen, die alte Salztabelle, gegenübergestellt wird, so ist das nur ein Entgegenkommen gegenüber den an die frühere Darstellungsweise gewöhnten Balneologen; sie entspricht nicht den Tatsachen.

¹ Stoffe, die durch die Dissoziation ihrer Moleküle in elektrisch geladene Ionen die Lösung elektrisch leitfähig machen (Säuren, Basen, Salze, gewisse Eiweißkörper usw.).

Die Darstellung in Ionen ist um so mehr gerechtfertigt, weil die Ionen die eigentlichen Träger der für die Heilkunde wichtigen physiologischen Wirkungen der Stoffe sind.

Die Analyse ergibt die Menge des betreffenden Ions in der untersuchten Mineralwassermenge in Gramm, und dieser Befund, auf Gramm im Liter umgerechnet, erscheint in der ersten Kolonne der Ionentabelle. Ihre Endsumme gibt die im Liter gelöste Menge fester Bestandteile. Neben dieser absoluten Stoffmenge interessiert den Balneologen auch die Anzahl der von einzelnen Stoffen vorhandenen Molekel und Ionen, die sog. osmotische Konzentration, denn diese bestimmt den osmotischen Druck, und mit ihm die Intensität, mit welcher sich der Austausch von Flüssigkeit und gelösten Stoffen durch permeable Membranen (Zellwände!) vollzieht. Die Wahl der Einheit, in der diese Zahlen ausgedrückt werden, basiert auf dem Gesetze, daß Gewichtsmengen von Stoffen, welche sich wie die Molekulargewichte der Stoffe verhalten, die gleiche Anzahl von Molekülen besitzen. Das Molekulargewicht der Stoffe, selbst als Gewichtsmenge in Gramm gedacht, das sog. Grammolekül oder Mol, enthält also bei allen Stoffen die gleiche Molekelzahl, und zwar $6,1 \times 10^{23}$ Molekel.

Da sich diese Einheit praktisch als zu groß gezeigt hat, rechnet man gewöhnlich mit ihrem tausendsten Teil, 1 Millimol = $6,1 \times 10^{20}$ Moleküle. Analog spricht man von Grammion und Milligrammion. Wir finden daher in einer zweiten Spalte der Analyse die Bestandteile in Millimol bzw. Milligrammionen angeführt.

Nach Raoult ist die Gefrierpunktserniedrigung einer Lösung gegenüber reinem Wasser proportional der osmotischen Konzentration. Der Gefrierpunkt sinkt pro Millimol oder Milligrammion um $0,00185^\circ$. Deshalb enthält eine vollständige Analyse auch die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung.

Endlich gestattet auch der Widerstand, den die Lösung dem elektrischen Strom bietet, bzw. die elektrische Leitfähigkeit des Mineralwassers, die Berechnung seiner osmotischen Konzentration. Daher findet sich auch diese Konstante unter den Resultaten einer vollständigen Analyse.

Eine dritte Kolonne enthält die sog. Äquivalentgewichte, das sind die Ionengewichte pro chemischer Wertigkeitseinheit. Ein Gramm-äquivalent oder Val beträgt soviel Gramme, als vom Ionengewicht auf eine Wertigkeitseinheit entfallen = $\frac{\text{Ionengewicht}}{\text{Wertigkeit}}$. Die Angaben der dritten Kolonne stimmen daher bei einwertigen Ionen mit denen der zweiten überein, bei n -wertigen Ionen sind sie das n -fache derselben. Die Äquivalentsummen der Anionen und Kationen müssen übereinstimmen.

Neuerdings werden öfters in einer vierten Kolonne die Äquivalentgewichte in Prozenten der Gesamtsumme ausgedrückt. Die Tabelle der Äquivalentgewichte, namentlich die auf Prozente umgerechnete, wird besonders zur Charakterisierung des Mineralwassers und Einreihung in die einzelnen Gruppen herangezogen (Knett, 87).

Eine vollständige Mineralwasseranalyse enthält noch die Radioaktivität (s. S. 151), die Wasserstoffionenkonzentration, die katalytische Wirkung des Wassers und bei gasführenden Quellen die Zusammensetzung des frei entströmenden Gases.

Wasserstoffionenkonzentration. Die Anzahl der infolge elektrolytischer Dissoziation im Liter vorhandenen Wasserstoffionen gibt ein genaues Maß der Reaktion der Flüssigkeit. Die Wasserstoffionenkonzentration (W.I.K.) ist die Konzentration der H-Ionen in Grammäquivalenten pro Liter. Das ganz reine, also neutrale Wasser enthält nach Kohlrausch 10^{-7} Grammäquivalente von H-Ionen. Man mißt nach Sörensen die W.I.K. an dem negativen Logarithmus derselben; bei neutralem Wasser ist sie demnach $p_H = 7$. Werte unter 7 entsprechen saurer, über 7 alkalischer Reaktion. Tillmans wählte für seine Bezeichnungsweise die Konzentration des neutralen Wassers in Milligrammäquivalenten, also 10^{-4} , als Einheit $h = 1$. Es entspricht

nach Sörensen	nach Tillmans	
$p_H = 8$	$h = 0,1$	alkalisch
7	1	neutral
6	10	sauer
5	100	„

Die katalytische Wirkung der Mineralwässer, d. h. ihre Eigenschaft, chemische Prozesse, z. B. die Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd (88) zu veranlassen, ohne daß sich ihr Mineralgehalt an diesen Prozessen selbst beteiligt und chemische Änderungen erleidet, hat in letzter Zeit größeres Interesse erweckt. Da diese Eigenschaft mit der Zeit an Intensität verliert („Altern“ des Katalysators), sucht man darin einen Grund für die besondere therapeutische Wirkung des frisch an der Quelle getrunkenen Wassers. Als Träger dieser katalytischen Wirkung kommen hauptsächlich Ferro- und Mangan-Ionen in Betracht. Ihre Intensität wird durch die Reaktionsgeschwindigkeit k ausgedrückt.

Als Beispiel einer modernen chemischen und physikalisch-chemischen Analyse diene die nachfolgend auszugsweise wiedergegebene Analyse des Karlsbader Mühlbrunnens, ausgeführt vom Chemischen Laboratorium Fresenius-Wiesbaden im Jahre 1932.

Spezifisches Gewicht bei 15°C , bezogen auf Wasser von 4°C : 1,0055.

Temperatur. $52,2^\circ\text{C}$ bei einer Lufttemperatur von $17,0^\circ\text{C}$ und einem Barometerstand von 732 mm.

In 1 kg des Wassers sind enthalten:

Kationen	Gramm	Millimol	Millival
Kalium-Ion (K ⁺)	0,09574	2,448	2,448
Natrium-Ion (Na ⁺)	1,690	73,50	73,50
Lithium-Ion (Li ⁺)	0,002897	0,4174	0,4174
Ammonium-Ion (NH ₄ ⁺)	0,000132	0,0073	0,0073
Kalcium-Ion (Ca ⁺⁺)	0,1303	3,251	6,501
Strontium-Ion (Sr ⁺⁺)	0,000249	0,0028	0,0057
Magnesium-Ion (Mg ⁺⁺)	0,04477	1,841	3,682
Ferro-Ion (Fe ⁺⁺)	0,001254	0,0225	0,0449
Mangano-Ion (Mn ⁺⁺)	0,000198	0,0036	0,0072
			<hr/>
			86,61

Anionen	Gramm	Millimol	Millival
Chlor-Ion (Cl')	0,6013	16,96	16,96
Brom-Ion (Br')	0,000722	0,0090	0,0090
Jod-Ion (J')	0,000003	0,00003	0,00003
Fluor-Ion (F')	0,002063	0,1086	0,1086
Sulfat-Ion (SO ₄ '')	1,641	17,09	34,18
Hydrophosphat-Ion (HPO ₄ '')	0,000291	0,0030	0,0060
Hydroarsenat-Ion (HAsO ₄ '')	0,000199	0,0014	0,0028
Hydrokarbonat-Ion (HCO ₃ ')	2,157	35,36	35,36
	<u>6,368</u>	<u>151,0</u>	<u>86,63</u>
Borsäure (meta) (HBO ₂)	0,002678	0,0611	
Kieselsäure [meta] (H ₂ SiO ₃)	0,08960	1,148	
	<u>6,460</u>	<u>152,2</u>	
Freies Kohlendioxyd (CO ₂)	0,7177	16,31	
	<u>7,178</u>	<u>168,5</u>	

Das Mineralwasser entspricht in seiner Zusammensetzung ungefähr einer Lösung, welche in 1 kg enthält:

	Gramm
Kaliumchlorid (KCl)	0,1825
Natriumchlorid (NaCl)	0,8477
Natriumbromid (NaBr)	0,000929
Natriumjodid (NaJ)	0,000004
Natriumfluorid (NaF)	0,004560
Natriumsulfat (Na ₂ SO ₄)	2,427
Natriumhydrokarbonat (NaHCO ₃)	2,076
Lithiumhydrokarbonat (LiHCO ₃)	0,02836
Ammoniumchlorid (NH ₄ Cl)	0,000390
Kaliumhydrokarbonat (Ca/HCO _{3/2})	0,5262
Kaliumhydrophosphat (CaHPO ₄)	0,000412
Kaliumhydroarsenat (CaHAsO ₄)	0,000256
Strontiumhydrokarbonat (Sr/HCO _{3/2})	0,000595
Magnesiumhydrokarbonat (Mg/HCO _{3/2})	0,2694
Ferrohydrokarbonat (Fe/HCO _{3/2})	0,003993
Manganhydrokarbonat (Mn/HCO _{3/2})	0,000637
Borsäure (meta) (HBO ₂)	0,002678
Kieselsäure (meta) (H ₂ SiO ₃)	0,08960
	<u>6,461</u>
Freies Kohlendioxyd (CO ₂)	0,7177
= 432,0 ccm bei 52,2° C und 760 mm Druck	
	<u>7,179</u>

Die Summe der gelösten festen Bestandteile beträgt etwa 6,46 g in 1 kg, wobei Natrium-, Hydrokarbonat-, Sulfat- und Chlor-Ionen vorwalten. Der Gehalt an freiem Kohlendioxyd beträgt etwa 0,72 g. Mit Rücksicht hierauf und im Hinblick auf die Temperatur (52,2° C) ist der Mühlbrunnen als warme alkalisch-salinisch-muriatische Quelle zu bezeichnen. Bemerkenswert ist der Gehalt an Fluor-Ion (2mg).

Leitfähigkeit. Die spezifische Leitfähigkeit des Wassers des Mühlbrunnens bei 48,5°, d. h. die Leitfähigkeit einer Schicht von 1 cm Länge und 1 cm² Querschnitt, beträgt 0,01161 reziproke Ohm. Dividiert man diese Zahl durch die Äquivalentkonzentration eines Kubikzentimeter Wassers 0,00008709, so erhält man die mittlere Äquivalentleitfähigkeit, bezogen auf 1/(cm Ohm) bei 48,5° C zu 133,3.

Gefrierpunktserniedrigung. Die Gefrierpunktserniedrigung des Wassers des Mühlbrunnens beträgt $-0,276^\circ$. Daraus berechnet sich die osmotische Konzentration zu 149,19 Millimol pro Liter.

Radioaktivität. Die Radioaktivität wurde mittels des Fontaktoskops von Engler und Sieveking zu 2,4 M.E. bestimmt. Die Halbwertszeit (s. S. 150) wurde mit 5,27 Tagen berechnet; hieraus geht hervor, daß neben gelöster Emanation auch geringe Mengen von Radiumsalzen vorhanden sind.

Wasserstoffionenkonzentration. Diese wurde mit dem Doppelkeilkalorimeter nach Bjerrum und Arrhenius bestimmt. Es ergab sich:

Nach Minuten	p _H	Temperatur in °C	Nach Minuten	p _H	Temperatur in °C
4	6,50	42,5	80	7,06	29,5
10	6,55	42,0	170	7,20	26,5
20	6,55	41,5	250	7,25	25,4

Katalytische Wirksamkeit. Die Versuche ergaben ein sehr starkes Wasserstoffsuperoxyd-Zersetzungsvermögen im Sinne einer Katalyse. Die Werte der Konstante $k \cdot 10^3$ sind mit Ausnahme der beim Karlsbader Sprudel gefundenen die höchsten bisher von uns beobachteten.

Die Prüfung auf katalytische Wirksamkeit im Sinne einer Peroxydase (mittels der Benzidinreaktion) ergab eine anfangs recht starke peroxydaseartige Wirkung, die in dem Maße, wie die vorhandenen Ferri-Ionen in Ferri-Ionen übergehen, abnimmt und schließlich verschwindet.

Spektralanalytische Untersuchung. Diese ergab die Anwesenheit von Natrium, Kalium, Kalzium, Strontium, Magnesium, Aluminium, Eisen, Mangan, Silizium, ganz geringer Mengen von Lithium und Arsen, und Spuren von Kupfer, Silber, Molybdän, Beryllium, Barium, Rubidium, Zäsium, Titan und Bor.

2. Einteilung der Mineralwässer.

Nach der Auslauftemperatur teilt man die Mineralquellen in kalte Quellen und warme Quellen oder Thermen. Geologen und Balneologen wählen für diese Teilung verschiedene Grenzpunkte. Für den Geologen ist die mittlere Jahrestemperatur = Temperatur der neutralen Zone der Erdrinde (in ca. 20 m Tiefe unter der Oberfläche) das Normale, höherentemperiertes Wasser „warm“. Thermen im geologischen Sinne sind also alle Quellen, deren Temperatur die mittlere Jahrestemperatur übersteigt. Für den Balneologen war seit jeher das auf der Haut erzeugte Wärmegefühl für die Unterscheidung maßgebend. Im Deutschen Bäderbuch, das auch in dieser Beziehung normalisierend gewirkt hat, wurde die Temperatur von 20°C als Grenze gewählt. Im Handbuch der Balneologie (86) schlagen Hintz und Grünhut folgende Einteilung vor:

	Temperatur
A. Kalte Quellen	unter 20°C
B. Warme Quellen oder Thermen . . .	über 20°C
a) hypotherme Quellen	zwischen 20° und 34°C
b) homöotherme Quellen	„ 34° „ 38°C
c) hypertherme Quellen	über 38°C

Hierbei wurde die Hauttemperatur des Menschen, der sog. Temperaturindifferenzpunkt (34–38°), zur weiteren Unterteilung herangezogen.

K. Schneider (89) teilt die Thermen (über 20°) in warme Quellen (20–50°) und heiße Quellen (50–100°). Die Temperatur von 50° bilde in der Natur eine Grenze, da sowohl die Kiesel- als auch Kalksinter der Thermen unter dieser Temperatur weich und mürbe, oberhalb derselben hart und dicht wären. Auch der Umstand, daß bei 50° C Eiweißstoffe zu koagulieren beginnen, betone diese Grenztemperatur. Gümbel nennt Quellwasser mit konstanter Temperatur *homotherm*, solche mit schwankendem Wärmegrad *heterotherm*.

Auch der osmotische Druck bietet ein wichtiges Teilungsprinzip für Mineralwasser. Hierbei ist die osmotische Konzentration des menschlichen Blutserums, zu welchem die Mineralwässer bei der Trinkung in Beziehung treten, maßgebend (303 Millimole + Milligrammionen in 1 l, mit 7,70 at osmotischem Druck). Der Balneologe nennt Mineralwässer mit gleichem osmotischem Druck *isotonisch*, bei höherer Konzentration *hypertonisch*, bei niederer *hypotonisch*, indem er diesen in der Physik relativ gebrauchten Bezeichnungen absoluten Charakter verleiht.

Das wichtigste Einteilungsprinzip der Mineralquellen ist das nach ihrer chemischen Zusammensetzung. Hierbei sind in erster Linie die vorwaltenden Anionen maßgebend, in zweiter Reihe die Kationen. Wir geben im nachstehenden die kurze übersichtliche Einteilung von Hintz und Fresenius (85) wieder.

a) Einfache warme Quellen (Akratothermen, Wildbäder). Vom chemischen Standpunkt dadurch charakterisiert, daß sie weniger als 1 g gelöste Bestandteile in 1 kg des Wassers enthalten. Ihre Zugehörigkeit zu den Mineralquellen ergibt sich auf Grund ihrer gleichbleibenden, 20° C übersteigenden Temperatur.

b) Radioaktive Quellen. In diese Gruppe gehören unabhängig von der chemischen Zusammensetzung die Wässer mit praktisch bedeutsamer Radioaktivität.

c) Einfache Säuerlinge. Diese Mineralwässer sind reich an freiem Kohlendioxyd, mehr als 1 g, und arm an gelösten festen Bestandteilen, weniger als 1 g in 1 kg Wasser.

d) Erdige Säuerlinge. Zu dieser wichtigen Klasse gehören diejenigen Mineralwässer, welche in 1 kg Wasser mehr als 1 g freies Kohlendioxyd und mehr als 1 g gelöste feste Bestandteile enthalten. Unter den Anionen waltet Hydrokarbonat-Ion, unter den Kationen Kalzium- und Magnesium-Ion vor.

e) Alkalische Quellen. Dieselben enthalten in 1 kg des Wassers mehr als 1 g gelöste mineralische Bestandteile, unter denen Hydrokarbonat-Ion und Natrium-Ion vorwiegen.

f) Kochsalzquellen (muriatische Quellen). Diese enthalten in 1 kg des Wassers mehr als 1 g gelöste feste Stoffe, unter deren Anionen Chlor-Ion, unter deren Kationen Natrium-Ion bei weitem überwiegt.

g) Bitterquellen. Diese Mineralwässer enthalten in 1 kg des Wassers mehr als 1 g gelöste feste Bestandteile, unter deren Anionen

Sulfat-Ion vorwaltet. Die Gegenwart dieses Bestandteils prägt dem Wasser einen so ausgesprochenen Charakter auf, daß nicht nur sein relatives Vorwalten maßgebend ist, sondern daß schon jedes Mineralwasser, das bei Abwesenheit von Alkalität im engeren Sinne Sulfat-Ion in erheblicher Menge enthält, als Bitterwasser zu bezeichnen ist.

h) Eisenquellen. Eisenquellen sind solche Quellen, die mehr als 0,01 g Ferro- oder Ferri-Ion in 1 kg des Wassers enthalten und deren auffälligste Wirkung auf den Eisengehalt zurückgeführt werden kann.

i) Arsenquellen. Als Arsenquellen werden Wässer angesehen, die hinsichtlich ihrer allgemeinen chemischen Zusammensetzung meist den Charakter von Eisenwässern oder von Salzquellen haben, die aber dadurch ausgezeichnet sind, daß sie Arsen im fünf- oder dreiwertigem Zustande in pharmakologisch bedeutsamer Menge enthalten.

k) Schwefelquellen. Schwefelquellen sind solche Quellen, die Hydrosulfid-Ion, gegebenenfalls daneben Thiosulfat-Ion und sehr oft auch freien Schwefelwasserstoff, in Mengen enthalten, die insgesamt 0,001 g durch Jod titrierbaren Schwefel in 1 kg des Wassers entsprechen, und für die es dargetan ist, daß ihre auffälligste Wirkung durch den Gehalt an diesen Bestandteilen verursacht wird.

l) Jodquellen. Jodquellen sind durch das Vorkommen einer klinisch in Betracht kommenden Jodmenge gekennzeichnet, im übrigen zeigen diese Quellen einen recht verschiedenartigen chemischen Charakter.

3. Radioaktive Quellen.

Radioaktive Stoffe sind charakterisiert durch die Aussendung gewisser Strahlungen. Zuerst beobachtete H. Becquerel im Jahre 1896 diese Eigenschaft an dem Element Uran. 1898 fand G. C. Schmidt die Radioaktivität des Thoriums. Das Ehepaar Curie isolierte 1898 aus der St. Joachimstaler „Pechblende“ das hochaktive Element Radium. 1899 findet Debierne in der Pechblende das Aktinium. Im Jahre 1902 konstatierten Sella und Poccettino zuerst die Radioaktivität von Quellwässern.

Die Ursache der Radioaktivität bildet der Atomzerfall der radioaktiven Elemente. Nach dem Bilde, das sich heute die Wissenschaft von dem Bau der Atome macht, bestehen dieselben aus einem positiv geladenen Kern, um den sich — ähnlich wie die Planeten um die Sonne — negative elektrische Elementarquanten, „Elektronen“, in Kreisbahnen bewegen. Der Kern besteht aus materiellen Teilchen, Elektronen und positiven Elektrizitätsquanten. Die algebraische Summe der elektrischen Quanten des Kernes gibt die — immer positive — Kernladung, in Elementarquanten die „Ordnungszahl“ des Elementes im periodischen System der Elemente.

Die Atome der Elemente mit den höchsten Ordnungszahlen sind nicht stabil; durch Ausschleudern von materiellen Teilchen („Alphastrahlung“) oder Elektronen („Betastrahlung“) aus dem Kern gehen sie in Elemente mit anderer Ordnungszahl, im ersteren Falle auch mit anderem (geringerem) Atomgewicht über. Diese Geschößstrahlung sowie die durch

dieselbe hervorgerufene, den Röntgenstrahlen verwandte Wellenstrahlung („Gammastrahlung“) der radioaktiven Stoffe werden in der Medizin zu Heilzwecken verwendet („Strahlungstherapie“). Die durch den geschilderten Abbau der Atomkerne stufenweise auseinander entstehenden Elemente bilden eine „Zerfallsreihe“. Man kennt bisher nur zwei Ausgangselemente solcher Zerfallsreihen¹, das Uran, welches sich nacheinander in Ionium, Radium, Radiumemanation (gasförmig), Radium A—E, Polonium und Radiumblei oder — mit Weglassung der kurzlebigen Zwischenstufen — über Protaktinium, Aktinium, Aktiniumemanation in Aktiniumblei verwandelt; und das Thorium, mit den Hauptstufen: Mesothorium, Radiothorium, Thoriumemanation, Thorium B und Thoriumblei. In jeder dieser Zerfallsreihen gibt es eine gasförmige Stufe, die „Emanation“. Diese, und zwar wegen ihrer relativen Langlebigkeit vornehmlich die Radiumemanation, hat für die radioaktiven Quellen besondere Bedeutung.

Da in gleicher Zeit immer ein gleicher Bruchteil der vorhandenen Atomzahl zerfällt, ist die Zahl der übrigbleibenden Atome eine Exponentialfunktion der Zeit. Ist N_0 die anfänglich vorhandene Menge eines radioaktiven Stoffes (Atomanzahl), so ist die Menge N_t nach der Zeit t

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}.$$

Hiernach verschwindet zwar ein radioaktives Element theoretisch nie gänzlich (da für $N_t = 0$, $t = \infty$ wird), es hängt aber von der Größe der Konstanten λ (der „Zerfallskonstanten“) ab, wie rasch die Menge zu kleinen Werten herabsinkt. Man hat zur Beurteilung dieser „Lebensdauer“ der Zerfallsstufen die „Halbwertszeit“ T eingeführt, jene Zeit, nach welcher nurmehr die Hälfte der ursprünglichen Menge des Elementes übrig ist. $N_t = \frac{1}{2} N_0$ ergibt $T = \frac{\log 2}{\lambda}$. So beträgt beispielsweise die Halbwertszeit von

Radium	1750 Jahre	Radiumemanation . . .	3,85 Tage
Aktinium	30 „	Aktiniumemanation. . .	3,9 Sek.
Mesothorium	6,7 „	Thoriumemanation . . .	54,5 „
Radiothorium	1,9 „		

Nach der zehnfachen Halbwertszeit ist die Menge schon auf zirka ein Tausendstel der ursprünglichen gesunken.

Entstehen aus einer relativ langlebigen Substanz hintereinander kurzlebige Stufen, so stellt sich mit der Zeit ein Beharrungszustand ein, bei welchem in jeder Zwischenstufe die zerfallende Menge gleich der neugebildeten ist, die Menge daher konstant bleibt; man bezeichnet dies als „radioaktives Gleichgewicht“. Es verhalten sich dann die Substanzmengen umgekehrt wie ihre Zerfallsgeschwindigkeiten.

Radioaktive Quellen enthalten entweder gelöste Emanation allein oder neben dieser auch feste radioaktive Substanzen in Lösung.

¹ Wahrscheinlich unterliegen auch andere Grundstoffe, vielleicht alle dem radioaktiven Zerfall; doch erfolgt dieser nur bei wenigen so rasch, daß er für uns nachweisbar ist. Bei Kalium und Rubidium gelang es, radioaktive Strahlungen nachzuweisen.

Auch in letzterem Falle spielt die Aktivität der Emanation die Hauptrolle, und die allgemeinen Angaben über die Radioaktivität der Quellen beziehen sich auf deren Emanationsgehalt. Ob das Wasser die Emanation als „selbständigen Bestandteil“ besitzt, zeigt das Verhalten derselben mit der Zeit. Fällt die Radioaktivität entsprechend der Zerfallskonstante der Emanation (Radiumemanation = 3,85 Tage), so ist nur diese vorhanden; ein solches Wasser ist nach 30 Tagen völlig inaktiv. Sind Vorläufer der Emanation in Lösung, so sinkt die Aktivität langsamer und hält sich dann für einige Zeit konstant; das Wasser besitzt „Restaktivität“. Sicher ist diese nachweisbar durch ihr Neuauftreten nach dem Austreiben der selbständigen Emanation durch Sieden des Mineralwassers. Als selbständiger Bestandteil kommt von den Emanationen mit Rücksicht auf die Kurzlebigkeit der beiden anderen nur die Radiumemanation in Betracht. Als Restaktivität wurde in selteneren Fällen auch Thoriumemanation nachgewiesen. Sie tritt dann gewöhnlich als Begleiter der Radiumemanation auf. Da die Löslichkeit der Emanation als Gas mit der Temperatur abnimmt, sind die Bedingungen für ihr Vorkommen in kälteren Quellen günstiger als in heißen. Das siedend heiße Wasser von Geisern kann keine Emanation enthalten.

Steht das radioaktive Quellwasser mit Gasen in Berührung, so verteilt sich die Emanation in Abhängigkeit von der Temperatur in beide Komponenten. Nach Mache und Meyer enthält bei zwei im Lösungsgleichgewichte stehenden Räumen von Wasser und Luft die Luft bei

0° C.	1,96	40° C.	6,20
10° „.	2,85	50° „.	7,25
20° „.	3,94	70° „.	8,55
30° „.	5,13	100° „.	9,26mal soviel

Emanation als das Wasser. Bei gasführenden Thermen muß daher das Begleitgas im Gleichgewicht immer mehr Emanation enthalten als das Wasser. Dies hat sich in der Natur insbesondere für gasärmere Quellen bestätigt.

Messung der Radioaktivität. Die Messung der Radioaktivität der Quellen erstreckt sich immer auf die Bestimmung ihres Gehaltes an Emanation. Die absolute Menge der in den radioaktiven Quellen vorkommenden Emanation ist jedoch so gering, daß ein direktes analytisches Verfahren durch Volumbestimmung oder Wägung nicht in Betracht kommt. Die Messung erfolgt auf indirektem Wege. Die von der Emanation in bestimmter Zeit ausgesendete Strahlungsmenge ist proportional der Emanationsmenge. Die Intensität der Strahlung kann wieder durch eine ihrer Wirkungen gemessen werden; man wählt hierfür die unter dem Einfluß der Strahlen eintretende Ionisierung der Luft. Beim Zerfall der Emanation reißen die ausgeschleuderten Alphateilchen längs ihres Weges aus den Gasmolekülen der Luft je ein Elektron heraus. Der Rest des zertrümmerten Gasmoleküls besitzt positive Ladung, das freie Elektron ladet ein Gasmolekül, an das es sich anhängt, negativ; die Luft wird also teilweise ionisiert. Bringt man in so veränderte Luft zwei Elektroden und legt an diese eine Spannungsdifferenz, so bewegen sich die Ionen zur ungleich geladenen Elektrode, und die beiderseitige Neu-

tralisierung von Elektrizitätsmengen entspricht einem Verbindungsstrom, die Luft ist elektrizitätsleitend geworden. Die Intensität des Stromes hängt von der Anzahl der Ionen ab, welche die Elektroden in der Zeiteinheit erreichen. Bei zu geringer Potentialdifferenz auf den Elektroden bewegen sich die Ionen so langsam, daß eine große Zahl derselben durch gegenseitige Neutralisation verlorengeht; ist umgekehrt die Spannung zu groß, so wirken die rasch bewegten Ionen auf ihrem Wege selbst wieder ionisierend. In beiden Fällen ist die Stromintensität kein richtiges Maß der Ionisierung. Innerhalb eines gewissen Spannungsintervalls aber beteiligen sich nahezu alle durch die Wirkung der Strahlung erzeugten Ionen, und nur diese, am Stromtransport. Man spricht dann vom „Sättigungsstrom“, dessen Intensität ein Maß der Ionisation, durch diese ein Maß der Strahlungsintensität und durch letztere ein Maß der Emanationsmenge darstellt.

Maßeinheiten. Da die Angabe des Sättigungsstromes in Ampere oder in elektrostatischen Einheiten (ESE) pro Sekunde in den meisten Fällen sehr kleine Zahlen ergeben würde, hat man die sog. Macheinheit¹ eingeführt. Eine Macheinheit beträgt $\frac{1}{1000}$ ESE pro Sekunde, bezogen auf 1 l Wasser. In der Physik führte man als internationale Einheit die Emanationsmenge ein, welche mit 1 g Radium im radioaktiven Gleichgewicht steht (s. oben) und nannte sie „Curie“.

Eine Curie entspricht $2,75 \cdot 10^3$ M.E.; eine Macheinheit = $3,636 \cdot 10^{-10}$ Curie. Eine Tagung von Radiumforschern in Freiberg i. Sa. im Jahre 1921 schlug als Maßeinheit für die Radioaktivität von Quellwässern das „Eman“ vor, welches sie durch die Beziehung: 1 Eman = 10^{-9} Curie = 0,275 M.E. mit den früheren Maßeinheiten verband (90).

Es ist interessant, wie gering selbst bei hochradioaktiven Quellen der wirkliche Gehalt an Emanation ist. Eine Curie enthält 0,6 mm³ Emanation (bei 0° und 760 mm Druck) und wiegt $5,9 \cdot 10^{-6}$ g, also rund 6 milliontel Gramm. Die stärkste Quelle von Brambach i. Sa. mit 3000 M.E. enthält daher im Kubikmeter Wasser 0,000655 mm³ = $\frac{1}{1527}$ mm³ Emanation. Ein Kubikkilometer dieses Wassers enthält 0,655 l Emanation von 6,5 g Gewicht.

Meßmethoden und Apparate. Zur Bestimmung des Emanationsgehaltes eines Quellwassers stehen zwei Wege offen [P. Ludewig (90)]:

1. Man mißt die Intensität des Ionisationsstromes in ESE pro Sekunde und Liter.

2. Man vergleicht den Ionisationsstrom mit dem von einer genau bekannten Emanationsmenge erzeugten Strom.

1. Man wendet heute noch die erste Methode in der Mehrzahl der Fälle an, obwohl sie gegenüber der zweiten einige Nachteile besitzt. Als Meßapparat dient das Fontaktoskop, das besonders in der Form von Engler und Sieveking (s. Abb. 184) allgemeine Verbreitung gefunden hat. Das Instrument besteht aus einem 10-Litergefäß, auf welches ein Elektrometer (*E*) so — gasdicht — aufgesetzt werden kann, daß ein mit demselben leitend verbundener Zerstreungsstab (*Z*) in das Gefäß, aber

¹ Nach dem berühmten Radiumforscher H. Mache.

gegen dasselbe isoliert hinabreicht. Vor Aufsetzen des Elektrometers schüttelt man eine gemessene Menge des zu untersuchenden Wassers in dem Gefäße zur Herstellung des Lösungsgleichgewichtes der Emanation zwischen Luft und Wasser. Sodann setzt man das Elektrometer auf, versieht es mit einer elektrischen Ladung und beobachtet den Potentialabfall pro Sekunde. Zeigt das Instrument vor und nach der Zeit T die Voltwerte V_1 und V_2 und beträgt die Kapazität des Elektrometers C , so ist die Stromintensität

$$i = \frac{V_1 - V_2}{T} \cdot C.$$

Der auf diese Weise bestimmten Stromintensität haften aber noch eine Reihe von Fehlern an, die durch Korrekturen möglichst entfernt werden müssen:

1. Durch Schütteln wird nicht die gesamte Emanation aus dem Wasser entfernt, sondern nur Gleichgewicht in der Verteilung über Wasser und Luft hergestellt. Die Verteilung ist bestimmt durch das Verhältnis der Volumina von Wasser (W) und Luft (L) und die Temperatur. Die Menge der in der Luft enthaltenen Emanation

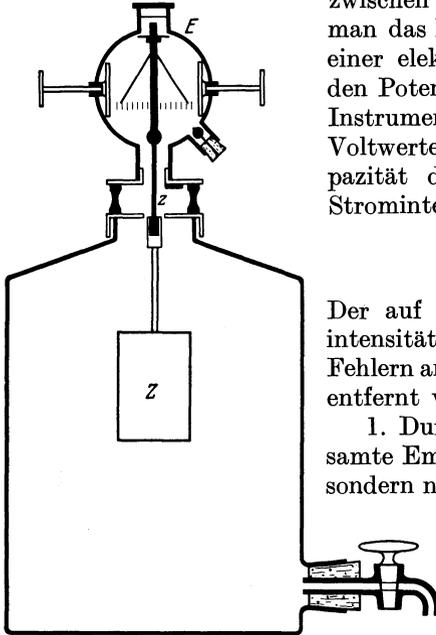


Abb. 184. Fontaktoskop nach Engler und Sieveking.

(E_L) und derjenigen des Wassers (E_W) folgen der Bedingung:

$$\frac{E_L}{E_W} = \frac{L}{\alpha_W}.$$

A sei der Korrekturfaktor, mittels welchem die gefundene Luftemanation korrigiert werden soll:

$$A \cdot E_L = E_L + E_W,$$

$$A = 1 + \frac{E_W}{E_L} = 1 + \frac{\alpha_W}{L}.$$

2. Ein Teil der Alphastrahlen geht für die Ionisationswirkung verloren, weil einzelne Alphateilchen direkt an die Gefäßwand oder den Zerstreustab stoßen. Ist V das Volumen des Gefäßes, S seine Innenfläche, so beträgt nach Duane der bezügliche Korrekturfaktor

$$f = \frac{1}{1 - 0,52 \frac{S}{V}}. \quad ^1$$

Tabelle 23. Verteilungskoeffizient α der Radiumemanation (nach Ludwig).

Temperatur °C	α	Temperatur °C	α
0	0,506	31,6	0,193
10,0	0,340	51,0	0,138
20,0	0,245	91,0	0,108

Für Zimmertemperatur $\alpha = \text{ca. } 0,25$.

¹ Die Formel gilt nur für die Alphastrahlung; alle Emanationen senden solche aus.

Dieser Faktor ändert sich mit der Zeit nach der Einfüllung infolge Ionisierung durch die festen Zerfallsprodukte der Emanation. Nach 3 Stunden gilt

$$f' = \frac{1}{1 - 0,572 \frac{S}{V}}$$

Für die gewöhnliche 10 l-Fontaktoskopkanne ist $f = 1,15$ und $f' = 1,17$.

3. Beim Aufsetzen des Elektrometers verdrängt der Zerstreuungstab einen Teil der Emanation. Der Korrekturfaktor ist von den Dimensionen des Instrumentes abhängig und wird diesem beigegeben.

4. Die atmosphärische Luft ist vielenorts teilweise ionisiert. Es addiert sich dann die Wirkung dieser vorhandenen Ionisation zu der zu suchenden. Auch kann durch Niederschlag der Zerfallsprodukte der Emanationen an den Gefäßwänden bei früheren Untersuchungen eine erhebliche Ionisationswirkung eintreten. Das Instrument ist „infiziert“. Hierdurch kann ein Instrument ziemlich unbrauchbar werden. Zur Vermeidung dieser Fehler bestimmt man vor der Untersuchung des Quellwassers den sog. „Normalverlust“ des Instrumentes und bringt ihn von dem späteren Resultate in Abzug. Er soll nicht mehr als ca. 30 Volt pro Stunde betragen. Wegen der Gleichheit der Bedingungen ist es vorteilhaft, das Instrument jedesmal vor der Bestimmung des Normalverlustes mit inaktivem (Fluß-) Wasser auszuschnwenken.

5. Da die (festen) Zerfallsprodukte der Emanation (Ra A usw.) gleichfalls wieder ionisierend wirken, addiert sich diese Wirkung zu der der Emanation in um so größerem Betrag, als ihre Menge mit der Zeit zunimmt. Der Ionisationsstrom steigt infolgedessen mit der Zeit an und erreicht bei der Ra-Emanation nach 3 Stunden sein Maximum. Die Korrektur dieses Fehlers kann erfolgen:

a) nach der Differenzmethode, indem man möglichst rasch nach der Ablesung des Elektrometers die Emanation austreibt, die Ionisierung durch die Zerfallsprodukte allein bestimmt und von der ersten Messung in Abzug bringt,

Tabelle. 24. Anstieg der Strahlung in einem mit Emanation gefüllten Raume. (Nach H. W. Schmidt.)

Zeit nach dem Schütteln in Minuten	Von der Emanation allein stammende Strahlung in %	Korrekturfaktor
0	100	1,00
1	88,3	0,883
1,5	84,5	0,845
2	81,0	0,810
3	76,1	0,761
4	72,6	0,726
5	70,3	0,703
6	68,6	0,686
7	67,1	0,671
8	66,2	0,662
9	65,3	0,653
10	64,7	0,647
15	62,5	0,625
30	61,5	0,615
180	46,0	0,460

b) man notiert die nach dem Einfüllen verstrichene Zeit und vermindert das Resultat um einen Korrekturfaktor, der dem erwähnten Anstieg in dieser Zeit entspricht (Anstiegsmethode),

c) man mißt nach Ablauf von 3 Stunden das Strahlungsmaximum und multipliziert mit dem Verminderungsfaktor 0,46.

Endlich sind noch Ungenauigkeiten zu erwähnen, welche sich der exakten Richtigstellung entziehen. Es ist dies z. B. der Umstand, daß bei vielen Elektrometern die Kapazität nicht konstant ist, sondern eine Funktion der Spannung darstellt. Auch erreicht man mit den gewöhnlich verwendeten Spannungen kaum den Sättigungsstrom, mißt also nicht die gesamte Ionisationswirkung.

An Stelle des Fontaktoskops von Engler und Sieveking verwendet man heute vielfach ein Instrument, bei welchem Schüttelgefäß und Emanationsraum getrennt sind und die emanationshaltige Luft durch ein Zirkulationsgebläse, bestehend aus Kautschukbällen und -schläuchen, durch die Ionisationskammer getrieben wird. Ein Apparat für diese „Zirkulationsmethode“ rührt von H. W. Schmidt her (siehe Abb. 185).

Die Zirkulationsmethode hat den Vorteil, daß die Wände des Ionisationsraumes trocken bleiben, während Unterschiede in deren Benetzung eine Fehlerquelle des Einkammer-Fontaktoskopes bilden. Der Verdünnung der Emanation durch Vergrößerung des Raumes muß Rechnung getragen werden. Ist I_1 der Raum des Schüttelgefäßes, I_2 der Inhalt von Schläuchen und Gebläse, I_3 der Ionisationsraum, so ergibt sich hierfür ein Korrekturfaktor

$$f = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{I_3}.$$

Durch diese vielen Korrekturen bei dem Verfahren der direkten Messung wird dieses derart umständlich, und die Zahl der Fehlermöglichkeiten so erhöht, daß es nicht wundernehmen kann, wenn die auf solchem Wege bestimmten Resultate bedeutende Differenzen zeigen. Dies bewog die Freiburger Konferenz (1921) dazu, für die Messung der Radioaktivität von Quellwässern das folgende Verfahren vorzuschlagen:

2. Unter Verwendung der gleichen Apparatur wie für das erste Verfahren wird eine vergleichsweise Messung der Ionisierung durch eine geeichte Normlösung eines Radiumsalzes und der Ionisierung durch das zu untersuchende Quellwasser angestellt. Aus dem Verhältnis der Stromintensitäten rechnet sich die Aktivität des Quellwassers direkt in Curie oder Eman.

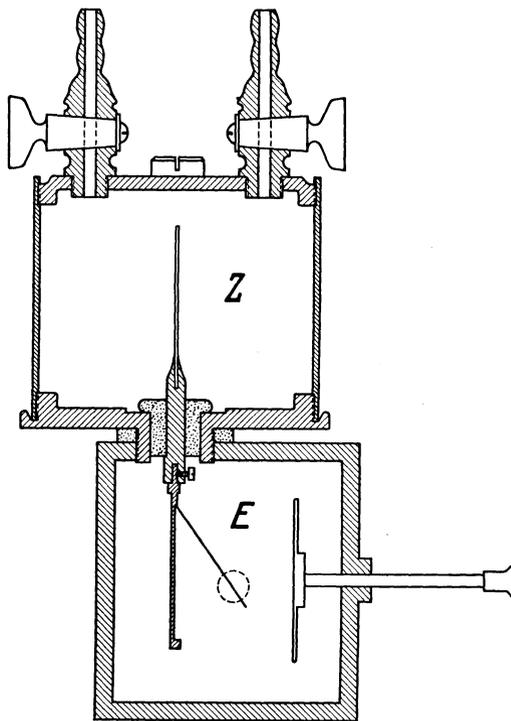


Abb. 185. Apparat zur Radioaktivitätsmessung nach der Zirkulationsmethode (von H. W. Schmidt).

Die Messung geschieht mit der Zirkulationsmethode. Das Ausstreuen der Emanation aus der Normallösung erfolgt durch die hindurchströmende Luft oder durch Auskochen. Man kann die Lösung nach Eintreten des radioaktiven Gleichgewichtes (ca. 39 Tagen) oder schon früher benutzen, wenn man berücksichtigt, daß sie sich nach Gebrauch wie folgt regeneriert:

Nach	1 Tag auf	16,5%
„	2 Tagen	ca. 30 „
„	3 „	42 „
„	3,85 „	50 „
„	2 mal 3,85 „	75 „
„	3 „ 3,85 „	87,5 „
„	10 „ 3,85 „	99,9 „

der maximalen Emanationsmenge.

Der zweite Messungsvorgang hat folgende Vorteile:

1. Der unsichere Wert der Elektrometerkapazität geht nicht in Rechnung.

2. Die Korrektur nach Duane fällt weg.

3. Der Fehler aus mangelndem Sättigungsstrom wird vermieden, wenn man bei beiden Messungen gleiche Spannung anlegt und die Strahlungsintensitäten der Vergleichsflüssigkeiten nicht sehr verschieden sind.

4. Die Korrektur wegen Mitmessung der induzierten Aktivität entfällt, wenn man beide Messungen in gleichem Zeitverlauf ausführt und kontrolliert, ob sich der Normalverlust nicht ändert.

Der Nachteil der zweiten Methode ist die Beschaffung der Normallösung. Dieselbe kann aus Radiumsalz hergestellt werden (genauer, aber kostspieliger) oder aus Pechblende (billiger, aber ungenauer, da der Radiumgehalt der Pechblende nur innerhalb gewisser Grenzen bekannt ist). Die Normallösung ist nur so lange gebrauchsfähig, als sie keinen Niederschlag fester Substanz zeigt, da dieser die Emanation adsorbiert. Normallösungen mit 10^{-6} mg Radium können von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg bezogen werden.

Unzweifelhaft überwiegen die Vorteile des zweiten Verfahrens, und es ist im Interesse der Ermittlung richtiger Werte der Radioaktivität der Quellen zu bedauern, daß sie wegen des geringfügigen Nachteiles selbst von hervorragenden Autoren abgelehnt wurde.

4. Quellsedimente. Sinter, Ocker, Schlamme.

Viele Mineralquellen haben die Eigenschaft, in den Quellwegen, Fassungen und Leitungen Sedimente abzulagern. Diese Ablagerungen stammen entweder aus dem Mineralgehalt der Quelle selbst (Sinter, Ocker) oder sind anderer Herkunft (Schlamme). Die Ablagerungen stark sinternder Quellen bestehen zumeist aus Kalziumkarbonat, Eisenhydroxyd oder Kieselsäure. Ferner treten noch Kalziumsulfat, Manganoxyde, Schwefel u. a. Stoffe für sich oder als Bestandteil des Sinters auf.

Die Abscheidung von Kalksinter ist in erster Linie eine Folge der Druckentlastung des Wassers während des Emporsteigens und Aus-

fließens der Quelle. Parallel mit der Abnahme des Druckes geht Kohlen- säuregas aus der Lösung, mit der Evasion dieses Gases aber geht nach den chemischen Löslichkeitsgesetzen schrittweise Hydrokarbonat-Ion in Karbonat-Ion über; dies bedingt endlich das Ausfallen des unlöslichen, einfach kohlen- sauren Kalkes. Die Abscheidung desselben scheint durch Abküh- lung beschleunigt zu werden, da sich der Kalksinter in Rohr- leitungen gern an Stellen, welche von außen abgekühlt werden, häuft. Er kristali- siert im allgemeinen bei höherer Temperatur und in Gegenwart von

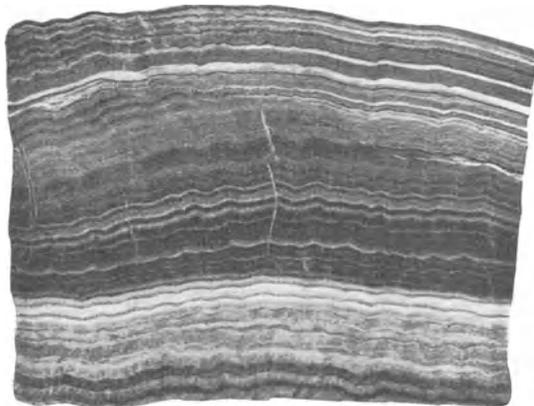


Abb. 186. Karlsbader Sprudelstein.

bestimmten Lösungsgenossen (z. B. Strontium) als Aragonit rhom- bisch, sonst als Kalzit rhomboedrisch.

Bekannt ist der von den Karlsbader Thermen abgelagerte Sprudel- stein, durch Eisenhydroxyd band- artig gefärbter, kristallinischer Aragonit. Eine eigentümliche („oolithi- sche“) Form des Sprudelsteins, der Erbsenstein, besteht aus einzel- nen, konzentrisch-schalig um ein Zentralkörnchen abgesetzten Kugeln, die sich in der Quelle schwebend oder rollend gebildet haben und nach dem Absinken mit Aragonit ver- kittet wurden.



Abb. 187. Karlsbader Erbsenstein (oolithischer Aragonit).

Da die Hauptursache der Bil- dung des Kalksinters in der Druck- entlastung liegt, beginnt diese schon in den Quellwegen unterhalb der Fassung. Dagegen ist die Aus- scheidung von Eisenocker in erster Linie ein Oxydationsprozeß unter Bildung eines unlöslichen Eisen- hydroxyds und beginnt bei Berüh- rung mit dem Sauerstoff der Luft oder beim Kontakt mit sauerstoff- haltigem Bodenwasser. Er entsteht nicht durch Auskristallisieren an Wänden usw., sondern als ein feinkörniger Niederschlag, der sich — wenn für sich allein — als gelb über rot bis schwarz gefärbter Schlamm abgelagert.

haltigem Bodenwasser. Er entsteht nicht durch Auskristallisieren an Wänden usw., sondern als ein feinkörniger Niederschlag, der sich — wenn für sich allein — als gelb über rot bis schwarz gefärbter Schlamm abgelagert.

Die abgelagerte Ockermasse steht mit der an der Ablagerungsstelle normal herrschenden Fließgeschwindigkeit insofern „im Gleichgewicht“, daß eine Erhöhung der Geschwindigkeit ein Aufwirbeln des Ockers bewirkt. Daher die bei Herabsetzung der Spannung und manchmal



Abb. 188. „Lone-star“-Geysir, Yellowstone-Nationalpark, Nordamerika. Sinterkegel.
(Aus „Geologische Charakterbilder“ von Dr. K. Andree.)

selbst bei plötzlichen Barometerstürzen einsetzende Trübung okkernder Quellen. Erfolgt die Ausfällung des Ockers gleichzeitig mit der Ablagerung von Kalksinter, so färbt er diesen braun.

Kieselsäure findet sich als Bestandteil vieler kalkiger Ablagerungen; für sich allein bildet sie die Sintermassen der isländischen und vieler Geiser Nordamerikas (Yellowstone-Park). Sie wird infolge Temperaturerniedrigung abgeschieden, da ihre Löslichkeit hierbei stark abnimmt.

Druckentlastung, Abkühlung und Sauerstoffzutritt sind also die Faktoren, welche die Sinterbildung fördern;

unter sonst gleichen Umständen erfolgt aber die Ablagerung rascher aus langsam, schwerer aus schnell fließendem Mineralwasser. (Über die Drosselung von Quellen durch ihren Sinter s. S. 228.)

Sinter und Ocker von Quellen mit Restaktivität übernehmen einen großen Teil derselben, so daß die Sinter oft hoch radioaktiv sind. Die Anreicherung geschieht nach E. Ebler und M. Felner (91) durch Adsorption, insbesondere stark bei kolloidaler Kieselsäure und Manganperhydroxyd. So ist die hohe Aktivität des Gasteiner Minerals Reissacherit zu erklären, dessen Radiumgehalt $\frac{1}{20}$ desjenigen der Pechblende betragen soll.

Von Interesse sind die Formen der Sintermassen, welche die Quellen in unberührtem, natürlichem Zustande ablagern. Liegt der Quellort in wenig geneigtem Terrain, so lagert sich der Sinter in Form eines geschlossenen Walles um den Quellmund, der — allmählich wachsend — den Quellauslauf immer höher spannt. Mächtige Sinterkegel haben sich auf diese Weise gebildet. So fließt die Quelle Siva brada in der Slowa-

kei am Plateau eines Hügels aus Kalksinter, der heute eine Kirche trägt. Das Mineralwasser rinnt über die Hänge herab und hinterläßt den weithin sichtbaren weißen Sinter, von dem die Quelle ihren Namen („Graubart“) trägt. Auf diese Weise muß die kegelförmig sinternde Quelle endlich von selbst ihr piezometrisches Niveau erreichen und versiegen (Abb. 188).

Ergießt sich das Mineralwasser über einen flachen Hang, so zeigt sich stets die Tendenz zur Terrassenbildung; der Mineralwasserstrom löst sich immer in eine Folge von Staustufen auf. Diese Eigentümlichkeit beobachtet man bei kleinen Quellabläufen ebenso wie bei den mächtigen Bauten sich selbst überlassener ergiebiger Thermen (Abb. 189)



Abb. 189. Kalksinterterrassen der Mammuth hot Springs, Yellowstone-Park [aus Keilhack (9)].

Der Quelleningenieur kommt je nach den Umständen fallweise in die Lage, den Sinter zu schützen, andererseits ihn als Feind zu bekämpfen. Der Umstand, daß Abkühlung und langsame Zirkulation die Sinterbildung begünstigen, setzt kleine, zu wilden Austritten führende Seitenwege leichter der Versinterung aus als den Hauptschlot. Der Kontakt mit süßem Grundwasser, mag es auch nur geringe Mengen von Sauerstoff führen, fördert an den Kontaktstellen die auf Oxydation beruhenden Ausscheidungen. Die sinternde Quelle heilt auf diese Weise selbst die Schäden, oft an Stellen, die dem Ingenieur unbekannt oder unerreicher sind. So ist der Karlsbader Sprudel von einem mächtigen Aragonitpanzer („Sprudelschale“) umgeben. Die Thermen von Baden bei Wien haben sich durch Verkittung des Schotters des Schwechatflusses gegen das Grundwasser desselben eine Schutzschichte aus einem schwarzen Konglomerat („Thermalschale“) gebaut. O. Hackel fand in dem Bindemittel dieses Konglomerates reinen kohlen-sauren Kalk. Da eine Abscheidung von Kalziumkarbonat aus den Quellen selbst nicht in Betracht kommt, muß dieser aus dem dolomitischen Schotter her-

rühren (92). Solche von den Quellen gebaute Schutzmäntel gegen das süße Bodenwasser muß der Ingenieur möglichst zu erhalten trachten.

Im übrigen aber bereitet ihm das Sintern und Ockern vielfach Arbeit und Sorgen. Wohl wäre ein dünner Sinterbelag über allem Fassungs- und Leitungsmaterial zu begrüßen, denn dann steht das Mineralwasser durchwegs nur mit diesem wesensverwandten Stoff in Berührung, aber bald verringert der Sinter die Lichtweite der Fassungen und Rohrleitungen so stark, daß diese periodisch gereinigt oder ausgewechselt werden müssen; abgelöste Sinterkrusten, die sich in Krümmern usw. festsetzen, sperren den Durchfluß. Die Wände der Mineralwasserbehälter überziehen sich mit dicken Steinschichten. In den Quellablaufkanälen endlich wächst der Sinter so rasch, daß beispielsweise in Karlsbad jährlich 30 m³ Sinter mit der Spitzhaue gebrochen und abgefahren werden müssen.

Quellschlamm. Von den aus dem Mineralwasser selbst stammenden Quellsintern und Ockern wohl zu unterscheiden sind die Quellschlamm, welche von manchen Quellen mechanisch mitgerissen und transportiert werden. Der Schlamm einiger Heilquellen wurde schon seit langer Zeit zu Heilzwecken verwendet. Die moderne Balneotherapie widmet der Behandlung mit Heilschlammen besonderes Augenmerk. O. Hynie und J. Koutek haben die Entstehung und den Charakter der wichtigsten europäischen Quell-Schlammarten studiert und ihre Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt (93). Die folgenden Daten sind zum Teil dieser Arbeit entnommen.

Der Schlamm, der mit dem Mineralwasser in Kontakt kommt, ist entweder Oberflächenursprungs, oder er wird von dem Quellwasser aus der Tiefe an die Oberfläche gebracht (Tiefenursprung). Er stellt im zweiten Falle eine mechanische Suspension feiner Gesteinsteilchen dar, die von der Quelle während des Aufstieges mitgerissen wurden. Dann ist der Kontakt der Schlammpartikel mit dem Mineralwasser besonders innig. Der Quellschlamm enthält neben vorwiegend mineralischen Bestandteilen zumeist auch organische Substanzen. Oft erfolgt eine stoffliche Veränderung des Schlammes durch die Einwirkung des Mineralwassers. Manche Schlammarten erhalten erst durch die Einwirkung einer speziellen Mikroflora ihre therapeutisch wertvolle Zusammensetzung.

Seit langem bekannt ist der Heilschlamm von Battaglia in Italien (Fango di Battaglia¹), ein Schlamm mit Oberflächenursprung, der sich in den, von radioaktivem heißem Thermalwasser (bis 70° C) gespeisten „Fangoteichen“ aus dem quartären Boden aufwirbelt und durch die Einwirkung des Thermalwassers und biologische Prozesse seinen chemischen Charakter erhält.

Der Schlamm von Pistyan in der Slowakei setzt sich an gefaßten und wilden Austritten der Thermen (radioaktive, sulfatische, schwefelwasserstoffführende Bitterquellen) ab. Die „Kratoquelle“ bringt ihn suspendiert zur Oberfläche, an den Austrittsstellen im Inundations-

¹ Fango (ital.) = Schlamm.

gebiete des Waagflusses wird er an der Oberfläche verarbeitet (Schlammvulkane, Abb. 190), wobei er sich mit dem Mineralgehalt der Thermen anreichert und durch biochemische Prozesse verändert wird (Schwefel-



Abb. 190. Schlammkrater im Nebenarm der Waag in Pistyan.
[Nach O. Hynie und J. Koutek (93).]

bakterien). Der Pistyaner Schlamm enthält nach Mache, Pick und Weinberger (1928) 8^{-11} bis 10^{-11} g Radium pro 1 g.

Wegen der erzeugenden Quelle ist endlich der Schlamm der Thermalquelle von Héviz in Ungarn interessant. Die Quelle speist mit einer Ergebigkeit von ca. 1000 l/sek einen Thermalteich von 5 ha Größe, von

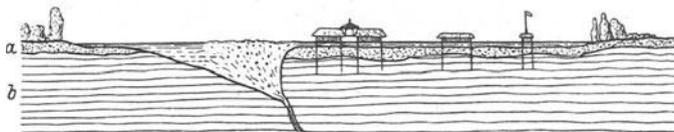


Abb. 191. Die Therme von Héviz (Ungarn). (Nach O. Hynie.)
a Moorlager, *b* Jungtertiär.

trichterförmigem Profil (Abb. 191). Durch den Einstoß der mächtigen, 39° C heißen Quelle in 36 m Tiefe steht die Oberfläche stetig in Bewegung. Der Teich liegt in einem Torfbecken; das Liegende bilden von 5—6 m abwärts pontische Tone. Das Wasser verarbeitet den Torf zu einem mit Mineralsubstanzen durchsetzten Schlamm, die „Hévizier Kleie“, dem ob seines geringen Mineralgehaltes eher die Bezeichnung „Moor“ gebührte. Seine Radioaktivität beträgt 44 M.E. Das Wasser selbst enthält nur 0,5166 g Mineralsubstanz im Liter.

II. Der natürliche Mechanismus der Mineralquellen.

1. Herkunft des Wassers.

Der Größtteil der Mineralquellen entnimmt sein Wasser — wie die Süßwasserquellen — im Wege eines Einzugsgebietes aus dem allgemeinen Kreislauf, indem Niederschlagswasser durch Infiltration oder Wasserdampf der Luft durch Kondensation in den Boden eintritt. Es sind wohl meist lange und komplizierte Wege, auf denen es in die Tiefen sinkt, in welchen die Bedingungen für die Anreicherung seines Mineralgehaltes herrschen, ausgedehnte Wegstrecken, in der Tiefe langsam durchströmt, so daß auch genügend Zeit für diese Anreicherung geboten ist. Die Tatsache, daß sehr viele Mineralquellen geringen und zeitlich stark verschobenen Parallelismus mit den Niederschlägen und geringe Konzentrationsschwankungen aufweisen, läßt auf die Retentionswirkung ausgedehnter Bodenwasserkörper schließen.

Posepny (94) unterscheidet eine vadose und profunde Wasserzirkulation im Boden. Das Vadosum umfaßt jenes Bodenwasser, welches mit wesentlicher Strömung von der Erdoberfläche in die Tiefe eindringt und der Oberfläche binnen verhältnismäßig kurzer Zeit wieder zuströmt. Das Profundum ist die darunterliegende Zone stagnierender bzw. nur in langsamer Diffusionsbewegung befindlicher allgemeiner Durchfeuchtung des Gesteines und seiner Porenräume.

Berg (95) spricht von den „stagnierenden Tiefen des Grundwasser-ozeans, welcher unter dem Grundwasserspiegel alle kapillaren, subkapillaren und überkapillaren Hohlräume erfüllt. Hier können Bewegungen nur noch erfolgen durch Ungleichheiten im spezifischen Gewicht des profunden Grundwassers, die erzeugt werden entweder durch verschiedenen Lösungsinhalt . . . oder durch verschiedene Temperatur . . .“ — und weiter: . . . „für uns ist es von Wichtigkeit, daß vadose Grundwasser mit zunehmenden unterirdischen Wegen mit dem Gestein, welches sie durchfließen, in zunehmendes chemisches Gleichgewicht treten. Profundes Grundwasser wird stets im chemischen Gleichgewicht mit dem umgebenden Gestein stehen. Überall, wo Wasser der vadosen Zirkulation nennenswerte Wege durch leicht lösliches Gestein zurückgelegt hat oder wo aufsteigende Wässer aus dem Gebiete profunder Zirkulation an die Oberfläche kommen . . . ist daher die Bildung von Mineralquellen gegeben.“

Diese Vorstellung macht es auch erklärlich, daß man nur in seltenen Fällen mit Sicherheit das Einzugsgebiet der Mineralquellen an der Oberfläche angeben und umgrenzen kann, so wertvoll dies auch z. B. für den Schutz der Mineralquellen wäre.

Auch Weithofer (96) teilt das Untergrundwasser in 1. Fließwasser, ober den (natürlichen) Drainageeinschnitten, daher mit absteigenden Quellen, und 2. Standwasser, unter den Drainageein-

schnitten, daher mit Auftriebsquellen. Er kommt zu dem Schlusse, daß bei den meisten Thermen — insbesondere bei allen jenen in nicht-gebirgigem Gebiete — die Wärme und mit ihr in vielen Fällen auch die Mineralisation (das strittige juvenile Wasser beiseite gelassen) dem Standwasser der Erdtiefe entstammt.

Für die mögliche Ausdehnung des Profundums ist die Tiefe von Bedeutung, bis zu welcher wasserführende Bodenporen angenommen werden können, für seinen flüssigen Aggregatzustand die Druck- und Temperaturverhältnisse in der Tiefe. Nach E. Hang reichen offene Hohlräume der Gesteine bis 10—12 km Tiefe; zu derselben Anschauung kommt van Hise. Nach Experimenten von Adams hält er noch bis 18 km Tiefe offene Poren für möglich, King bis 30 km Tiefe. Sieberg rechnet mit der Möglichkeit offener Spalten bis zur Bruchzone, das ist ungefähr 50 km Tiefe.

Die kritische Temperatur des Wassers beträgt 365,0° C. Da diese Temperatur (s. S. 167 „Geothermische Tiefenstufe“) in 12100 m Tiefe herrschen dürfte, und der Druck dortselbst den kritischen Druck von 200,5 at sicher überschreitet, könnte von diesem Gesichtspunkte aus flüssiges Wasser bis 12 km Tiefe existieren.

Allen — wenn auch auf Umwegen — am allgemeinen Kreislauf des Wassers beteiligten Quellen stellte E. Sueß (97) einen Typus von Quellen gegenüber, welcher beständig neues, noch nicht an der Zirkulation beteiligtes Wasser dem Kreislaufe zuführt; Wasser, das als Exhalation erkaltender und erstarrender vulkanischer Magmamassen zur Oberfläche strömt. Sueß nannte dieses Wasser juvenil¹ und alles übrige Wasser unter Umänderung der diesem Worte von Posepny verliehenen Bedeutung als *vados*.

„Vadose Quellen,“ sagt E. Sueß vor der 74. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte, im Jahre 1902, in Karlsbad, „nennen wir jene, die aus der Infiltration von Tagwässern hervorgehen; die Bezeichnung juvenil gilt für jene, welche als Nachwirkungen vulkanischer Tätigkeit aus den Tiefen des Erdkörpers aufsteigen, und deren Wasser zum ersten Male an das Tageslicht treten.“

Die Sueßsche These von dem Vorkommen vulkanischen Wassers und der Speisung von Quellen durch dieses wurde der Gegenstand einer umfangreichen Diskussion; auch heute noch nehmen alle einschlägigen Fachwerke zu dieser Frage Stellung. Sueß selbst modifizierte seine Anschauung im Jahre 1909 (98) wie folgt: Juvenile Wasser sind solche, die entstehen, indem unter sehr hohem Druck und sehr hoher Temperatur aus dem Erdinnern hervordringender Wasserstoff sich mit dem Sauerstoff der Atmosphäre verbindet. Doch hat sich die spätere Forschung dieser Erklärung nicht angeschlossen. Es sei gleich an dieser Stelle betont, daß die hohe Temperatur kein Hindernis für die Existenz des Wassers als solches, undissoziiert, bildet. Die Dissoziation des Wassers ist bei relativ hoher Temperatur sehr gering und beträgt nach Nernst und Wartenberg

¹ Von juvenilis = jugendlich.

bei 1 at Druck und 1124° C Temperatur	0,0078 %
„ 1 „ „ „ 1207° „ „	0,0189 „
„ 1 „ „ „ 1288° „ „	0,0340 „

Zudem wirkt Drucksteigerung dem Zerfall entgegen.

Der heftigste Gegner erwuchs der Sueßschen These in L. Brun. Seinen Satz: „Le volcan est anhydre“ (99) nennt G. Berg, schon in Anbetracht der ungeheuren Wolken von Wasserdampf, die fast bei jeder größeren Vulkaneruption aus dem Krater aufsteigen, ein Paradoxon. Brun stellte fest, daß die heißesten vulkanischen Exhalationen vielfach kein Wasser enthalten. Alles die übrigen Fumarolengase begleitende Wasser sei sekundär hinzugesetzt. Hingegen ist ihm die nachweisbare Abhängigkeit der Quellschüttung von der Regenhöhe ein wesentlicher Beweis für die vadoso Natur des Wassers in den Thermen. Abgesehen davon, daß diese Abhängigkeit nicht bei allen Thermen besteht, beispielsweise beim Karlsbader Sprudel, den E. Sueß als Typus einer juvenilen Quelle hinstellte, absolut fehlt, wird bei Thermalquellen, welche aus einer juvenilen und einer vadosen Komponente entstehen, der Einfluß der Niederschlagsmenge in Erscheinung treten (Berg). Endlich ist ein Einfluß der Regenhöhe auf mittelbarem Wege häufig, indem ungefaßte, wilde Austritte der Thermen durch den überlagerten, schwankenden Grundwasserhorizont verschiedenen Widerstand erleiden (s. S. 201).

Das Fehlen von Wasserdampf in den heißen Exhalationen erklärt Berg aus ihrem Reichtum an Chloriden und Chlor. Chloride und Chlor setzen sich bei hoher Temperatur mit dem ursprünglich vorhandenen Wasserdampf zu Oxyden und Chlorwasserstoff bzw. freien Sauerstoff und Chlorwasserstoff um. Der Sauerstoff oxydiert alle vorhandenen oxydablen Stoffe. Da an diesem Prozesse auch die durch Sublimation im Exhalationsschlot angereicherten Chloride teilnehmen, ist es kein Wunder, daß die heißesten Fumarolen trocken sind.

Endlich besagt auch die von Brun experimentell festgestellte Tatsache, daß gewisse vulkanische Gesteine beim Erhitzen in dem Temperaturintervall 826—1200° C explosionsartig große Mengen wasserfreien Gases abgeben — welchen Explosionen er bei der vulkanischen Eruption eine Rolle beimißt —, nichts über die im ursprünglichen Magma vor dem Erstarren enthaltenen Wassermengen. Denn das juvenile Wasser wird als Exhalation beim Erkalten des Magma aufgefaßt, nicht beim Erwärmen bereits erstarrten Gesteins.

R. Lepsius (100) „teilt nicht den geistreichen, aber praktisch unbrauchbaren Gedanken von E. Sueß“.

Eine ganze Reihe von Forschern ist von der Exhalation vulkanischen Wasserdampfes und dem Vorkommen juvenilen Quellwassers überzeugt. Die meisten betonen allerdings, daß das juvenile Wasser auf dem Wege zur Oberfläche oft Gelegenheit finden dürfte, sich mit vadosem Wasser zu vermischen, so daß Quellen rein juvenilen Ursprungs sehr unwahrscheinlich seien. Mit juvenilem Charakter von Thermen wird besonders in Gegenden zu rechnen sein, die in jüngeren geologischen Epochen Schauplatz vulkanischer Ereignisse waren. So scheint der Schlot des

Karlsbader Sprudels in der Eruptionsspalte des basaltischen Veitsberges zu liegen, welcher der tertiären Eruptionsmasse des Duppauer Gebirges zuzuzählen ist. Keilhack weist in gleichem Sinne auf die heißen Springquellen Islands¹, Neuseelands und des Yellowstone-Parkes hin und in Deutschland auf das Thermalgebiet der Eifel.

F. Rinne (101) findet für Gebiete erlöschender vulkanischer Tätigkeit heiße Quellen charakteristisch. „Natürlich“ — schreibt er —, „können solche juvenile, aus dem Schmelzfluß stammende und erstmalig in den Kreislauf tretende Wässer ihre Zusammensetzung auf dem langen Wege von der Tiefe zur Erdoberfläche durch Vermischen mit vadosen Zuflüssen oder durch Auflösen von Stoffen wesentlich geändert haben. Andererseits ist aber durchaus möglich, daß Salze dem juvenilen Wasser unmittelbar zugehören. Bei den heißen Karlsbader Quellen dürfte das der Fall sein, gleichwie bei Bor- und bei sodahaltigen Quellen“. Rinne lehnt auch die Ansichten Bruns ab und verweist auf die sorgfältigen Untersuchungen von Day und Shepherd, welche in den Gasen des Kilauea-Schmelzflusses außer N, CO₂, CO, SO₂, H, S, Cl, F auch Wasser sichergestellt haben.

A. Steuer (102) ist im Prinzip kein Gegner der Sueßschen Anschauungen, verurteilt aber deren häufige Anwendung dort, wo sie nicht begründet ist. Er sieht beispielsweise in den Nauheimer Thermal-sprudeln vadoses Tiefenwasser, das durch juvenile Kohlensäure über die Oberfläche gehoben wird.

Eine befriedigende Lösung des Problems des juvenilen Wassers kann nur die chemisch-physikalische Erforschung des Erstarrungsprozesses der Magmen bringen. Berg (103) gibt eine erschöpfende Zusammenstellung der Forschungsergebnisse auf diesem Gebiete bis in die neueste Zeit, der wir das für unser Problem Wichtigste im folgenden auszugsweise entnehmen.

Die Erstarrung eines Magma geht keineswegs als einheitlicher Prozeß vor sich, es tritt vielmehr zunächst eine geringe „Erstkrystallisation“ der schwerstschmelzbaren bzw. der im Gesamt magma schwerstlöslichen Komponenten ein, dann in einem ziemlich beschränkten Temperaturintervall die „Hauptkrystallisation“ des größten Teiles des Magmas, während ein Krystallisationsrest ziemlich lange in flüssigem Zustande verbleibt, bis er in der „Restkrystallisation“ erstarrt. Ein großer, oft sogar der weitaus größte Teil des Krystallisationsrestes besteht aus Wasser, so daß die Restkrystallisation niemals zu voller Erstarrung führt. Bei der Erstarrung unter geringem Druck und schneller Abkühlung besteht der Rest fast nur aus Gas und Wasserdampf. Die Exhalation des Magmas besteht dann aus einer einfachen heißen, wässerigen Lösung und aus freiem Gas. Ist die innere Dampfspannung des Magmas gering gewesen oder durch reichliche vorherige Gasentladung gering geworden, so entstehen langanhaltende Abscheidungen heißer Thermalwässer, die vulkanischen Thermen.

¹ Hingegen glaubt K. Schneider (89) an keine Beteiligung juvenilen Wassers an den Isländischen Geisern.

In dem Maße, als mit zunehmender Entfernung vom Magma und abnehmender Temperatur Kondensation der Exhalationen eintritt, vermischen sich die Thermallösungen mit den nichtjuvenilen Wässern der profunden Zirkulation, die mit dem Gestein, in dem sie Jahrtausende, ja selbst geologische Zeiträume hindurch stagnierten, im chemischen Gleichgewichte stehen. So kann durch die Vermischung mit den nichtjuvenilen Wässern die chemische Zusammensetzung der Thermen eine Beziehung zu dem Gestein erhalten, welches sie durchströmen. Was man in der balneologischen Praxis als Mineralquellen bezeichnet, stelle daher keineswegs eine rein magmatogene Erscheinung dar; andererseits ist ein guter Teil der Mineralquellen unzweifelhaft vulkanisch oder tiefenmagmatisch bedingt. Die komplexe Natur jeder einzelnen Quelle mache aber eine Trennung in magmatogene und nichtmagmatogene, in juvenile und vadose im Sinne von E. Sueß unmöglich.

Nach meinem Erachten ist Prof. Berg bei der Stilisierung dieses Satzes etwas zu weit gegangen. Wohl wird man Thermen, bei deren Erergiebigkeit kein direkter Einfluß der Niederschläge nachweisbar ist, deren Gasführung unzweifelhaft vulkanischen Ursprungs ist, und deren Mineralisation sich nicht aus dem Muttergestein herleiten läßt, mit großer Wahrscheinlichkeit als juvenil oder wenigstens hochprozentig juvenil ansehen müssen. Allerdings wird man auf diese Weise viel weniger Quellen als juvenil oder gemischt erklären, als wirklich vorhanden sind; so daß sich eine der Wirklichkeit völlig entsprechende Teilung in juvenile und vadose Quellen nicht durchführen läßt. In diesem Sinne ist wohl die Bergsche Formulierung aufzufassen.

Der Vollständigkeit halber bleibe nicht unerwähnt, daß die moderne Petrographie in zahlreichen Erzgängen und Mineralvorkommen hydrothermale Bildungen erkannt hat, also Absätze aus juvenilen Exhalationen und Thermen.

Endlich sei auf den hohen Wassergehalt der bei vulkanischen Eruptionen der neuesten Zeit beobachteten Glutwolken (104) und vulkanischen Schlamme (105) hingewiesen. Diese in ihrer Konsistenz flüssigen oder zähflüssigen Auswurfmassen bestehen aus einer Art Emulsion fester Aschenbestandteile in einer Mischung von Wasserdampf und Gasen von hoher Temperatur.

2. Der Wärmegehalt der Thermen.

Für den Wärmegehalt der Thermen kommen folgende Ursprungsmöglichkeiten in Betracht:

1. Der Wärmeverrat des Erdinneren.
2. Wärmeerzeugende chemische Prozesse.
3. Reibungswärme.

Wärmeerzeugenden chemischen Prozessen schrieb man in früherer Zeit gern die Rolle des Wärmespenders der Thermalquellen zu. Eine Schätzung der durch Oxydations- und andere wärmeentbindende chemische Prozesse möglicherweise in der Erdrinde frei werdenden Wärmemengen einerseits und die Berechnung der von einer ergiebigen Therme

an die Oberfläche gebrachten Wärmemengen andererseits ergibt, daß man diese Erklärung schon rein aus quantitativen Gründen ablehnen muß¹.

Die beim Durchströmen feinporiger Massen entstehende Reibungswärme wird wohl allgemein unterschätzt. Bemerkenswerte Versuche Adams (106) ergaben, daß sie immerhin einen Teil des Wärmeinhaltes einzelner warmer Quellen bestreiten oder mindestens den Abkühlungsverlust ersetzen könnte.

Die Hauptquelle des Wärmeinhaltes der Thermen bildet aber unstrittig der Wärmereichtum des Erdinneren. Die Temperaturverhältnisse der obersten Erdkruste sind durch zahlreiche Messungen bekannt. Wir wissen, daß der Wärmegrad der Erdoberfläche den Schwankungen der Außentemperatur um das Jahresmittel folgt. Die Amplitude dieser Schwankungen verringert sich mit der Tiefe und wird bei uns in ungefähr 20—25 m Tiefe gleich Null, in welcher Zone („Neutrale Temperaturzone“) ziemlich stabil die mittlere Jahrestemperatur herrscht. Abwärts dieser neutralen Zone wächst die Temperatur mit der Tiefe. Es läge nahe, diesen Temperaturgradient in Celsiusgraden pro 1 m oder pro 100 m auszudrücken; man ist aber seit jeher gewohnt, die Zunahme reziprok in Metern pro Celsiusgrad zu messen und bezeichnet diese Einheit als „Geothermische Tiefenstufe“. Die an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche in Schächten und Bohrlöchern beobachteten geothermischen Tiefenstufen sind nicht gleich. Eine Tabelle von R. A. Daly (107) führt Messungen in 28 Bohrlöchern von 407—2286 m Tiefe an mit Tiefenstufen von 27,4—53,7 m. Die Beobachtungen in Amerika liefern durchwegs höhere Tiefenstufen als die in Europa. Der Temperaturgradient beträgt durchschnittlich in Amerika 2,5° C, in Europa 3,0° C pro 100 m. Über die Temperatur in größeren Tiefen des Erdinneren herrscht noch ziemliche Unklarheit. Es wäre ungerechtfertigt, durch Extrapolation über die bisher untersuchte Tiefe auf den Wärmegrad größerer Tiefen zu schließen. Die Frage wurde noch durch die Entdeckung der Wärmeproduktion des Radiums kompliziert². Nach Gutenberg (107) dürfte die Temperatur in der Tiefe viel langsamer wachsen als an der Oberfläche und sicher nicht 8000° C, wahrscheinlich nicht 2000° C erreichen.

Wir müssen also damit rechnen, daß bei uns in 1000 m Tiefe die Temperatur ca. 30°, in 2000 m 60°, in 3000 m fast 100° C beträgt. Die Wässer der profunden Zirkulation haben daher Gelegenheit, in der Tiefe Wärme aufzunehmen und können nach ihrem Emporsteigen an der Erdoberfläche vadose Thermen bilden. Allerdings erleiden hierbei die wärmespendenden Regionen eine beständige Abkühlung, die wir uns durch den stetigen Wärmestrom aus dem Erdinneren zur Oberfläche ausgeglichen denken müssen, soll anders nicht die Temperatur der Therme allmählich abnehmen. Doch ist bisher über derartige Tempera-

¹ Der Wiesbadener Kochbrunn bringt täglich rund 36000000 Kal. Der Karlsbader Sprudel rund 200000000 Kal. und die Gasteiner Thermen rund 210000000 Kal. an die Erdoberfläche.

² Nach Rutherford erzeugt 1 g Radium pro Stunde 0,2 Kal.

turabnahmen seit Durchführung exakter periodischer Messungen nichts bekanntgeworden.

Die Therme gibt beim Aufsteigen und Durchströmen kälterer Boden-gebiete wieder Wärme ab und nur der verbleibende Rest bedingt die Auslauftemperatur. Es muß der langsamen profunden Zirkulation auf langem Wege, die beinahe völligen Temperatenausgleich zwischen Wasser und Gestein ermöglicht, einerseits und der verhältnismäßig raschen Aufwärtsbewegung im Quellschote andererseits zugeschrieben werden, daß hierbei ein solcher Wärmerest übrigbleibt.

Es ist interessant, das räumliche Gebiet des Wärmestromes zu berechnen, der für eine vadose Therme in Anspruch genommen wird. Der Wärmestrom, der sich in der Erdrinde beständig in vertikaler Richtung gegen die Oberfläche bewegt, beträgt durchschnittlich 0,00001714 Kalorien pro Sekunde und Quadratmeter [Schoklitsch (108)]. Ein Sekundenliter einer rein vadosen Therme benötigt daher für jeden Celsiusgrad Überschuß über die mittlere Jahrestemperatur den Wärmestrom von 58,300 m². Hierbei vernachlässigen wir die Abkühlung im Steigschote und setzen voraus, daß der gesamte Wärmestrom des berechneten Gebietes für die Erwärmung der Therme verbraucht würde. Es würden dann beispielsweise die vier ergiebigsten Thermen von Bad Nauheim den Wärmestrom von 37,5 km² in Anspruch nehmen, wenn sie auf diesen allein als Wärmespende angewiesen wären. Es ist daher zu vermuten, daß bei derart ergiebigen vadosen Thermen neben dem Wärmestrom noch andere Wärmespende tätig sind. In Gebieten jüngerer vulkanischer Eruptionen kommt hierfür die Wärmeabgabe heißer Magmaherde nahe der Oberfläche in Betracht. Viele Autoren sehen in den heißen Exhalationen solcher Herde, insbesondere in dem ohne Zweifel vulkanischen Kohlensäuregas, den Überbringer dieser Wärme. Die rechnerische Überprüfung ergibt die Unwahrscheinlichkeit, ja Unmöglichkeit dieser Annahme. Die Eignung eines Stoffes zur Wärmespeicherung kommt in seiner „Spezifischen Wärme“ zum Ausdruck, das ist die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit bei Erhöhung (Verminderung) seiner Temperatur um 1° C aufnimmt (abgibt). Bei Gasen hängt diese Größe von der Zustandsänderung ab, die ihnen während der Wärmeaufnahme erlaubt ist. Man wird den natürlichen Verhältnissen nahekommen, wenn man mit der „Spezifischen Wärme bei konstantem Drucke“ rechnet (c_p), da die Wärmeabgabe stets innerhalb einer gewissen Tiefenzone stattfinden dürfte. Die Größe c_p von mehr als zweiatomigen Gasen (also auch bei CO₂) wächst mit zunehmender Temperatur und steigendem Druck; nach Wiedemann (109) beträgt c_p für Kohlensäuregas

bei den Temperaturen in ° C	spezifische Wärme c_p in cal/kg
0	0,1952
100	0,2169
200	0,2387

welche Zahlen ungefähr bis zum Drucke von 12 at Geltung haben. Nach Winkelmann (110) beträgt c_p für Kohlensäure bei 79,2° C und 24,25 at Druck 0,2537 cal/kg. Hieraus rechnet sich eine ungefähre

spezifische Wärme für das Intervall 100 bis 35°C und 24,25 at von 0,2507 cal/kg und für den Bereich $200 - 100^{\circ}\text{C} = 0,2713$ cal/kg. Der Druck von 24 at entspricht ungefähr einer Tiefe von 30 m unter dem tiefsten Nauheimer Bohrloch. Die Nauheimer Thermen übertragen 640,7 Kalorien pro Sekunde. Es wären also zu ihrer Erwärmung 14,76 kg Kohlensäure von 200°C per Sekunde erforderlich, entsprechend 508 m³/min Kohlensäuregas von Quelltemperatur bei 1 at Druck. (Bei einer Heiztemperatur der CO_2 von 300°C wären 323 m³/min erforderlich.) Diese Zahlen sind so groß, daß sie auch bei Rücksichtnahme auf die zu ihrer Berechnung gemachten willkürlichen Annahmen die Erwärmung der Thermen auf diesem Wege sehr unwahrscheinlich machen.

Viel wahrscheinlicher ist die Wärmeübertragung durch juvenilen Wasserdampf. Die hohe Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme des Wassers ermöglicht die Erwärmung der heißesten und ergiebigsten Thermen mit verhältnismäßig geringen Dampfmengen. Die Verdampfungswärme des Wassers beträgt bei 1 at 539,7 cal. Bei 20 at Druck, also in ca. 200 m Tiefe, gibt 1 kg kondensierender Wasserdampf 457,9 cal ab, wobei Kondenswasser von $211,3^{\circ}\text{C}$ entsteht. Würde die Erwärmung der Nauheimer Thermen durch Mischung vadosen Wassers der dortigen mittleren Jahrestemperatur von $8,6^{\circ}\text{C}$ mit juvenilem Wasserdampf von 20 at Druck erfolgen, so genügte ein Zusitzen von 0,66 Sekundenlitern juvenilen Wassers, das sind ca. 2,5% der Gesamtmenge für die Erzeugung der Endtemperatur von 35°C .

Der Karlsbader Sprudel, als gemischte Therme angesehen, würde bei einer Gesamtergiebigkeit von rund 2000 l/min von 72°C eine juvenile Komponente von 219 Minutenlitern, das sind 11% der Ergiebigkeit, enthalten.

Diese Überlegungen machen es wahrscheinlich, daß juveniles Wasser häufiger, als dies gewöhnlich angenommen wird, an der Erwärmung der Thermen beteiligt ist, und daß viele Quellen von anscheinend vadosem Charakter zu den gemischten gehören. Nach Sosman (111) liefert eine Magmaintrusion von 1000 m Mächtigkeit mit 5 Gewichtsprozentem Wassergehalt, wenn ihre Abkühlung 1 Million Jahre dauert, während dieser Zeit auf je 10 km² Erdoberfläche 23,81 pro Minute juvenilen Wassers. Denkt man das juvenile Wasser im Verhältnis 1:9 mit vadosem gemischt, so wäre es imstande, heiße Quellen von je 238 Minutenliter Ergiebigkeit und je $6\frac{1}{2}$ km voneinander entfernt gelegen, zu speisen.

Nach Berg dürfte aber der Verlauf in der Natur meist der sein, daß zuerst ungeheure Massen heißen Wassers in dicht gedrängten Geisern ausgestoßen werden und sich dann eine ruhige Thermaltätigkeit einzelner Quellen über viele hunderttausend Jahre anschließt.

Ein Beispiel für den Ausstoß gewaltiger Mengen von Wasserdampf im Anschluß an eine vulkanische Katastrophe bildet das im Jahre 1912 durch den Ausbruch des Katmai in Alaska entstandene „Tal der zehntausend Dämpfe“. Nach Griggs (105) entströmen hier in einer Talsohle von 24 km Länge mehrere zehntausend Fumarolen mit

Temperaturen von 100—645° C dem Boden. Tausende dieser Dampfstrahlen erreichen Höhen von mehr als 150 m, einige sind bis 300 m



Abb. 192. Das „Tal der zehntausend Dämpfe“. Schauplatz der Haupttätigkeit.
(Nach R. F. Griggs.)

Höhe sichtbar. Die Dämpfe bestehen zu 98,4—99,9% aus Wasser; die wichtigsten übrigen Gase sind Chlorwasserstoff, Kohlendioxyd,

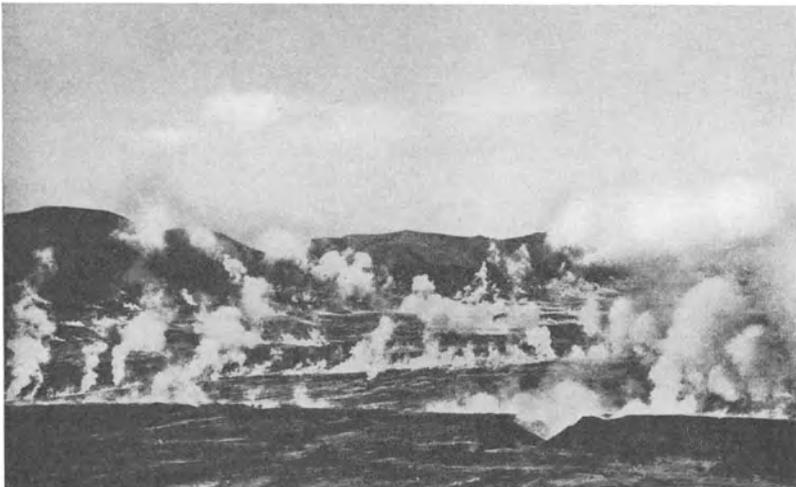


Abb. 193. Das „Tal der zehntausend Dämpfe“. Fumarolen auf Querspalten.
(Nach R. F. Griggs.)

Schwefelwasserstoff, Stickstoff, Fluorwasserstoff und manchmal Sumpfgas. Ihre Sublimate enthalten Chlorammonium, Kalialaun, Schwefel, Arsen, Aluminium, Eisen usw. Nach Griggs muß ein großer Teil des

Wassers vulkanischen Ursprungs sein (juvenil); nach Allen (112) läßt sich die Frage, ob das Wasser oder der Wasserstoff in den Gasen ursprünglich vorhanden ist, überhaupt nicht bindend entscheiden, doch neigt er zur Annahme vadosen Ursprunges.

Ein von höherem zu niederem Drucke expandierendes Gas bindet Wärme („erzeugt Kälte“, Kältemaschinen!). Diese Wärme wird in den gasführenden Thermen bei der Druckentlastung während des Emporsteigens dem Thermalwasser entzogen. Eine genaue Berechnung dieses Verlustes ist untunlich, weil die Art der Zustandsänderung des Gases nicht bekannt ist. Doch läßt die in der Kohlensäureindustrie zur Verflüssigung des Gases notwendige Kühlung ungefähr die Größenordnung dieses Verlustes erschließen; danach scheint die durch Expansion bewirkte Abkühlung selbst bei gasreichen Quellen sehr gering zu sein. Sie beträgt beim Karlsbader Sprudel ungefähr 1° C.

3. Herkunft des Mineralgehaltes und der Gase.

Die im Mineralwasser gelösten Stoffe können zweierlei Ursprung haben:

1. Sie wurden bei der vadosen oder profunden Zirkulation des Wassers aus dem Boden aufgenommen oder

2. sie stiegen als vulkanische Exhalationen aus der Tiefe und lösten sich entweder a) in Bodenwasser vadosen Ursprunges oder b) in dem sie begleitenden juvenilen Wasser.

Wenn die Mineralstoffe einer Quelle nicht juvenilen Ursprunges sind, wird der Charakter der Mineralisation durch die chemische Zusammensetzung der Gesteine bestimmt, welche sie im Untergrunde vornehmlich berührte und mit welchen sie sich in chemisches Gleichgewicht gestellt hatte. Schon im zweiten Jahrhundert n. Chr. schrieb der griechische Arzt Galenos: „Tales sunt aquae quales terrae per quas fluunt.“

Interessant ist eine Zusammenstellung der deutschen Mineralquellen und ihrer geologischen Formationen durch Keilhack (86). Es ergab sich, daß 50% der „einfachen warmen Quellen“ den alten kristallinen Gesteinen entspringen; 45% der erdigen Sauerlinge der Devonformation, was Keilhack der weiten räumlichen Verbreitung dieser Formation in Gebieten des jüngeren Vulkanismus zuschreibt. In noch höherem Maße gelte dies für die alkalischen Quellen, die zu 78% in Gesteinen des Devons auftreten. Deutlich ist der Zusammenhang bei den Kochsalzquellen, die zu 25% im Zechstein, zu 12% im mittleren Muschelkalk entspringen, in zwei salzreichen Formationen. 66% der Bitterwässer empfangen ihre Mineralisation im Muschelkalk, der reich an Gips und Dolomit ist. Von den Schwefelquellen entspringen 90% Formationen vom Muschelkalk aufwärts, nur zwei in alten Gesteinen.

Im folgenden seien die heutigen Anschauungen über die Herkunft der wichtigsten in Mineralquellen auftretenden Stoffe kurz zusammengestellt¹.

¹ Eingehender in Hintz und Grünhut (86).

A. Kationen.

Kalium findet sich wohl in sehr vielen Mineralwässern, aber in verhältnismäßig geringen Mengen. Obwohl die Silikatgesteine, deren Zersetzungsprodukte für die Mineralisierung der Quellen vorwiegend in Betracht kommen, meist bedeutend mehr Kalium als Natrium enthalten, finden wir in den Mineralwässern zumeist das umgekehrte Verhältnis. Dittrich zeigte an Laboratoriumsversuchen, daß Kaliumsalzlösungen bei Berührung mit zersetzten Silikatgesteinen das Kaliumgegen Natrium-Ion umtauschen.

Der Gehalt der Mineralquellen an Natrium schwankt zwar innerhalb sehr weiter Grenzen, es fehlt aber nie gänzlich. Berg bezeichnet es als das bei weitem überwiegende Kation. Viel Na findet sich in den alkalischen, muriatischen und salinischen Quellen, in den „gesättigten Solquellen“ in Mengen von über 100 g im Liter. Gleich dem Chlor ist es hier durch Auslaugung von Salzlagerstätten zu erklären. Doch gibt es (Berg) „natürlich auch Quellen in Vulkangebieten, deren Na-Gehalt als juvenil oder wenigstens als durch juveniles Anion in Lösung gehalten zu betrachten ist“.

Lithium wurde das erstmal als Mineralquellenbestandteil im Jahre 1823 von Steinmann im Karlsbader Schloßbrunn und im nächsten Jahre von Berzelius im Karlsbader Sprudel nachgewiesen. Der Li-Gehalt ist meist gering. Es findet sich auch in den Gesteinen meist in geringer Menge und als schwer verwitterndes Silikat. Neuerdings zählt man es indessen zu den wahrscheinlich juvenilen Stoffen.

Ammonium, dessen Vorhandensein im Süßwasser als Indikation für die Berührung mit faulenden Eiweißstoffen gilt, findet sich in Mineralquellen, bei welchen diese Herkunft ausgeschlossen ist. Seine Anwesenheit in vulkanischen Fumarolen (z. B. am Ätna, Vesuv, Katmai usw.) beweist die Möglichkeit seiner Bildung in der Tiefe ohne Mitwirkung organischer Stoffe. Gautier, Stoklasa erklären sein Entstehen durch die Einwirkung erhitzten Wasserdampfes auf Silizium- und Metallnitride.

Kalzium ist fast in jedem Wasser enthalten. Sein häufiges Vorkommen in den Mineralquellen ist auf die weite Verbreitung dieses Ions in der Erdrinde zurückzuführen. Nach Tamann beträgt der Kalziumgehalt der Eruptivgesteine durchschnittlich 3,6%. Es findet sich meist in Verbindungen, die schon im reinen, besonders aber in kohlen säurehaltigem Wasser löslich sind. Für die Lösungsfähigkeit von Kalziumhydrokarbonat spielt der Partialdruck der Kohlensäure, mit der die Lösung in Berührung steht, eine große Rolle. Infolgedessen fällt Kalziumkarbonat beim Entweichen des Kohlendioxyds am Quellauslauf vielfach als Kalzit- oder Aragonitsinter (s. S. 157) aus.

Magnesium ist fast in allen Mineralquellen anzutreffen; insbesondere aber in den erdigen und in Bitterwässern, welche letztere sich fast durchwegs aus oberflächennahen Verwitterungszonen mineralisieren.

Eisen, welches schätzungsweise 5,46% der Erdrinde bildet, findet sich wohl in jedem Tiefenwasser. Es kann fallweise juvenilen Ursprungs

sein, doch läßt nach Hummel (113) der Eisengehalt der deutschen Mineralquellen keine klaren Beziehungen zum Vulkanismus erkennen. Eisen spielt ähnlich dem Kalzium eine Rolle bei der Bildung von Quellsintern; doch beruht sein Ausfallen auf Oxydationsprozessen (Ocker).

Einzelne Schwermetalle finden sich in Mineralquellen, jedoch in so geringer Menge, daß sie therapeutisch kaum eine Rolle spielen. Doch kann ihr Vorkommen für die wissenschaftliche Erforschung des Quellursprunges von Bedeutung sein. Nach Miholić (114), der sich mit dieser Frage eingehend beschäftigt und die Mineralquellen Jugoslawiens nach Schwermetallen untersucht hat, lassen sich aus diesem Gesichtspunkte drei Gruppen unterscheiden: 1. Wässer, in welchen unter den Schwermetallen Nickel und Kobalt überwiegen (z. B. Homburg v. d. H., Roncegno in Italien, Ronneby in Schweden usw.); 2. Wässer mit überwiegendem Zinn (Vichy, Kissingen, Vrđnik in Jugoslawien usw.); 3. Wässer, in denen Blei und Zink überwiegen (Pymont, Levico, Boračova in Jugoslawien usw.). Miholić findet eine gesetzmäßige Beziehung zwischen diesen Gruppen und dem geologischen Alter ihres Ursprunges. Gruppe 1 soll der archaischen, 2 der variskischen und 3 der alpinen Faltung entsprechen. Er verspricht sich eine fruchtbringende Anwendung dieser Beziehungen in der Tektonik und historischen Geologie.

B. Anionen.

Chlor gehört zu den wichtigsten Anionen der Mineralquellen. Es kann juvenilen Ursprungs sein. Chlor selbst, wie auch Chlorwasserstoff wurden in vulkanischen Exhalationen nachgewiesen. Der Karlsbader Sprudel fördert im Jahre 650 000 kg Chlor, obwohl sich im weitesten Umkreise keine chlorführenden Gesteine finden. In den meisten Fällen jedoch stammt das Chlor aus Steinsalz- und Abraumsalzlageren, in Deutschland besonders solchen der mittleren und oberen Zechsteinformation, auf deren Auslaugung die großen Chlormengen der deutschen Solquellen zurückgeführt werden. Nach Keilhack, Mestwerdt u. a. dürften auch die in älteren Formationen entspringenden Solquellen (z. B. Kreuznach) ihre Mineralisation auf langem Spaltenwege aus dem Zechstein beziehen. Dieser Anschauung tritt Keßler (115) entgegen, der den Chlorgehalt dieser Quellen als juvenil anspricht. Auch die Salzlager der Juraformation mineralisieren zahlreiche deutsche Solquellen. In Österreich, dem Elsaß, Spanien usw. sind es Salzlagerstätten der Tertiärformation, auf deren Auslaugung der Chlorgehalt der Solquellen zurückzuführen ist.

Brom ist in geringen Mengen ein häufiger Begleiter des Chlors; dies hat seine Ursache in dem gemeinsamen Auftreten beider Stoffe in den Salzlagerstätten.

Jod findet man in Quellen, die aus Gesteinen mit hohem Gehalt an organischen Stoffen pflanzlichen Ursprungs austreten, z. B. in Quellen der Posidonienschiefer oder Kulmkieselschiefer (Berg).

Fluor ist schon von J. J. Berzelius im Karlsbader Sprudel nachgewiesen worden; es kommt meist nur in sehr geringen Mengen vor;

einen beträchtlichen Gehalt an Fluor sieht man als typisch für die juvenile Herkunft des Wassers an.

Sulfat-Ion bildet eines der wichtigsten Anionen. Die größte Menge der Schwefelsäure dürfte aus dem in der Erdrinde weit verbreiteten Kalziumsulfat (Gips) stammen. Die Gegenwart von Cl- und Na-Ion erhöht die Löslichkeit von Gips im Wasser in hohem Maße. Eine zweite Herkunftsmöglichkeit der Schwefelsäure bietet die Oxydation von Schwefelmetallen. Doch lassen sich diese Entstehungsarten nicht für alle sulfathaltigen Quellen in Anspruch nehmen. In der näheren und weiteren Umgebung der Karlsbader und Marienbader Quellen z. B. finden sich weder sulfatische Minerale noch sulfidische in solcher Menge, um die enorme Menge Schwefelsäure dieser Quellen daraus herleiten zu können. Der Karlsbader Sprudel fördert täglich 4666 kg Sulfat-Ion. Bei solchen Quellen muß die Schwefelsäure als vulkanisches Produkt, also als juveniler Bestandteil angesehen werden. Schwefeldioxyd (SO_2) findet sich häufig als vulkanische Exhalation. B. Winter ist es im Laboratoriumsversuch gelungen, die Bildung von Sulfaten durch Einwirkung von SO_2 auf Granit nachzuweisen.

Hydrokarbonat-Ion gehört gleichfalls zu den wichtigsten Anionen der Mineralquellen. Es kennzeichnet die alkalischen und erdigen Quellen. Über die Herkunft der Kohlensäure s. S. 175.

C. Nichtelektrolyte.

Borsäure wurde zuerst von Fresenius im Wiesbadner Kochbrunnen nachgewiesen. In vulkanischen Thermen ist sie juvenilen Ursprungs. Doch warnt Knett (87) angesichts der großen Zahl der Borwässer, die Borsäure als Indikator für die profunde Herkunft der Mineralisierung zu betrachten.

Kieselsäure kommt in der Mehrzahl der Mineralquellen nur in geringer Menge vor. Einzelne Geiser (Island, Yellowstonepark, Neuseeland) führen größere Mengen derselben. Hier kommt es auch zur Bildung mächtiger Ablagerungen von Kieselsinter. Die Löslichkeit der Kieselsäure steigt mit der Temperatur des Wassers und seinem Alkaligehalte. Berg sieht in der Kieselsäure ein vulkanisches Produkt, öfters durch Hydrolyse von Silikaten durch stark überhitztes Wasser entstanden, als Emanationen von Restlösungen der Silikatmagmen entstammend.

D. Gasförmige Bestandteile.

Abgesehen von einigen nur selten anzutreffenden Gasen findet man in Mineralquellen hauptsächlich Kohlendioxyd („Kohlensäure“), Schwefelwasserstoff, Sumpfgas, Stickstoff, Sauerstoff, Radiumemanation, seltener Thoriumemanation, geringe Mengen von Edelgasen u. a. Bleibt die Gasmenge pro Liter Mineralwasser unter der Ostwaldschen Löslichkeitsziffer (s. S. 191), so ist das Gas zur Gänze im Wasser gelöst, dem Auge unsichtbar. Anderenfalls begleitet ein Überschuß in Gasform, als „Gasblasen“ das Mineralwasser. Ist dieses ungelöste Gas in derartiger Menge vorhanden, daß es auf das mechanische Verhalten des

Quellgutes merkbaren Einfluß nimmt, so handelt es sich um eine „Gasführende Quelle“ im quellentechnischen Sinne (s. S. 189).

Die Kohlensäure (richtiger „Kohlendioxyd“) gehört zu den wichtigsten Bestandteilen der Mineralquellen. Ältere Autoren suchten alle natürlichen Kohlensäurevorkommen auf chemische Prozesse im Untergrunde zurückzuführen. Namentlich sah man die kohlensauren Salze, speziell den kohlensauren Kalk, als das Kohlensäurelager an, aus welchem die Natur schöpfe. Eine Erklärungsweise läßt das Gas aus den Kalksteinmassen durch Einwirkung von Schwefelsäure austreiben, die durch Oxydation von Schwefelkies entstehen soll. Eine andere Theorie führt die Bildung der Kohlensäure auf einen natürlichen Brennprozeß von Kalkstein zurück, der durch vulkanische Ereignisse oder tektonische Verlagerung in Zonen höherer Temperatur geriet. So glaubt Lepsius (100) als eifriger Verfechter dieser Entstehungsweise, das Karlsbader Granitmassiv als „Granitplatte“ über ein altpaläozoisches Schiefergebirge überschoben und die Kohlensäure des Karlsbader Sprudels durch die Erwärmung der Silurkalke entstehend. In ähnlicher Art bilde sich die Kohlensäure im Niederrheinischen Schiefergebirge und in der Wetterau. Lepsius nimmt hierbei eine Substitution der Kohlensäure bei hoher Temperatur durch Kieselsäure an.

Gintl sieht in dem Kohlungsprozeß (116) der Braunkohlenflöze den Ursprung der Kohlensäure der Sauerlinge Nordwestböhmens, insbesondere des Biliner Sauerbrunnens, eine Theorie, die schon wegen der komplizierten Bedingungen, welche für die gasdichte Aufspeicherung und Fortleitung vorausgesetzt werden, abzulehnen ist.

Erwähnt sei auch die Herleitung der Kohlensäure aus im Grundwasser gelöstem Eisenbikarbonat durch Oxydation. W. Witte (117) glaubt, daß auf diesen Prozeß die meisten Sauerlinge zurückzuführen sein werden¹. Nach Höfer (118) ist das Kohlendioxyd der Sauerlinge „zwar meist juvenilen Ursprunges, doch kann es hier und da auch von anderwärts kommen“ . . . „doch haben diese Quellen des Kohlendioxyds . . . bei gasreichen Sauerlingen nur wenig Wahrscheinlichkeit“.

Heute schafft sich immer mehr und mehr die Erkenntnis Raum, daß der Hauptteil der Quellenkohlensäure vulkanischen Charakters ist. Kohlensäureausströmungen („Mofetten“) finden sich nicht bloß im Umkreise der tätigen Vulkane, sie sind auch für die alten Eruptionsgebiete der Braunkohlenzeit charakteristisch. „Wohin wir auf Erden unseren Blick richten,“ sagt Keilhack (9), „sehen wir in den Gebieten, in denen die gewaltigen Basalteruptionen der Tertiärzeit erfolgten, noch heute allenthalben Kohlensäure, zum Teil in gasförmiger Gestalt oder mit Wasser gemischt und zum Teil von ihm absorbiert zutage treten.“ Nach der Anschauung dieses Gelehrten entstammen die Kohlensäuremassen, welche in den Sauerlingen einen der wichtigsten Bestandteile bilden, sehr wahrscheinlich ganz ausschließlich dem Erdinneren und sind demnach als vulkanisch (juvenil) zu bezeichnen.

¹ Eine Zusammenstellung der Theorien über nichtvulkanische Herkunft der Kohlensäure gibt Delkeskamp (120).

K. Hummel (113) hat zur Widerlegung der Ansichten Wittes (s. S. 175) die Kohensäureschüttung der Mineralquellen Deutschlands, soweit ihm hierüber Daten erreichbar waren, in einer Karte eingetragen, welche die Beziehungen zwischen Kohensäureexhalation und jungvulkanischen Charakter deutlich erkennen läßt (s. Abb. 194).

Hummel glaubt nicht, daß alle Kohensäure direkt aus dem Magma exhaliere, sondern denkt an eine Speicherung derselben in porösen Gesteinen, die sie langsam abgeben. Eine ähnliche Anschauung vertritt

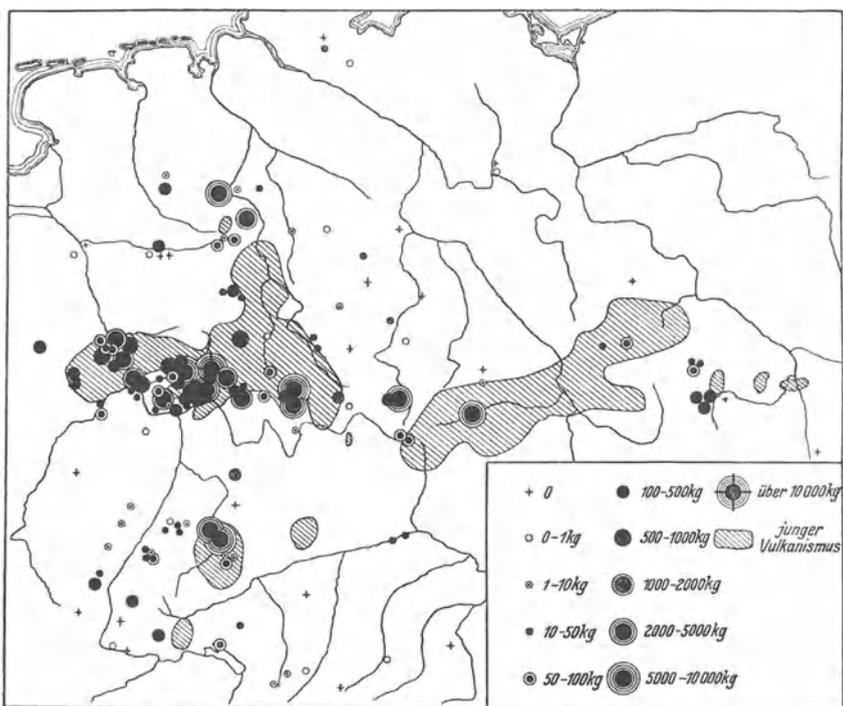


Abb. 194. Die Beziehung zwischen der täglichen Kohensäureschüttung deutscher Mineralquellen und jungem Vulkanismus. (Nach K. Hummel.)

Mestwerdt (85). Hummel glaubt ferner, daß bei kalten einfachen oder erdigen Säuerlingen die Vermischung der Kohensäure mit dem (vadosen) Wasser erst in oberen Teufen erfolge; mische sich das Gas schon in größerer Tiefe mit warmem Wasser, so entstünden durch Zersetzung von Feldspäten usw. alkalische Thermen. Auch vermutet er in den alkalischen Quellen in höherem Ausmaße als in den anderen Quellen juvenile Bestandteile.

J. Cadisch (119) fand bei Überprüfung der Schweizer Mineralquellen die Ansichten Hummels nicht bestätigt. In Passug beispielsweise und in Schuls-Tarasp weisen die erdigen Wässer fast durchwegs etwas höhere Temperatur auf als die alkalischen.

Nach Berg (103) geht der Kohlenstoff bei der Erstarrung der Magmen weder in die Erstkristallisation (s. S. 165), weil diese sulfidisch-oxidisch ist, noch in die Hauptkristallisation, weil diese rein silikatisch ist, ein, bleibt also im Restmagma. Der weitaus größte Teil des Elementes, bei vulkanischen Verhältnissen, d. h. unter geringerem Druck, sogar die Gesamtmenge, tritt also als vulkanische Kohlensäureexhalation oder kohlensäurehaltige Mineralquelle an der Oberfläche in die Atmosphäre. Während aber Keilhack die Erklärungsversuche für die Bildung des Kohlendioxyds aus Kalkstein als wenig wahrscheinlich bezeichnet, läßt ihnen Berg immer noch eine gewisse Bedeutung. Die Erfahrung lehre, daß $\frac{9}{10}$ aller Kohlensäure haltenden Quellen, und zwar gerade die bedeutendsten, an vulkanische Gebiete geknüpft sind, und daß daher fast alle der Erde als Gas oder als kohlensaures Wasser entströmende Kohlensäure vulkanischen Ursprungs sei. Doch sei nicht alle vulkanische Kohlensäure im strengen Sinne juvenil, da sich unter der Wirkung sehr heißer magmatischer Exhalationen Karbonate in der Tiefe mit freier Kieselsäure in Silikate umwandeln, wobei Kohlensäure frei wird. „Auf diese Weise mag ein beträchtlicher Bruchteil der vulkanischen Kohlensäureaushauchungen zu erklären sein.“

Der Gehalt an gelöster Kohlensäure verleiht dem Wasser ein besonderes chemisches Lösungsvermögen und bildet daher eine Ursache der weiteren Mineralisierung. Auf diese Weise entsteht der Gehalt der Säuerlinge an Hydrokarbonaten der Alkalien, alkalischen Erden, des Eisens usw. Die Bildung der Bikarbonate der Erdalkalien wird durch Druck, also in der Tiefe, begünstigt, doch existiert nach O. Hähnels ein Grenzdruck, oberhalb dessen die Löslichkeit der Karbonate nicht mehr zunimmt. Bikarbonate aber, deren Bildung oberhalb des Grenzdruckes erfolgt ist, zeigen größere Beständigkeit als solche, welche bei niederem Drucke entstanden.

Auch bei Schwefelwasserstoff kommt ein zweifacher Ursprung in Betracht. Die trockenen Ausströmungen dieses Gases bei tätigen Vulkanen, „Solfataren“, rechtfertigen die Anschauung, daß der Schwefelwasserstoff der in vulkanischen Gebieten entspringenden Mineralquellen postvulkanischen Charakter besitzt, also als juvenil angesprochen werden kann. In der größeren Zahl der schwefelwasserstoffführenden Quellen dürfte jedoch das Gas aus einem Reduktionsprozeß aus Sulfaten (insbesondere schwefelsaurem Kalzium, Gips) durch Einwirkung organischer Substanzen herrühren.

Obwohl Kohlenwasserstoffe auch in vulkanischen Exhalationen nachgewiesen wurden, ist der Gehalt an solchen, und insbesondere an Methan (CH_4) wohl fast immer durch Aufnahme aus bituminösen Sedimenten zu erklären. Methan bildet ein Hauptprodukt bei der Zersetzung organischer Substanzen und einen steten Begleiter des Erdöls. Da der Jodgehalt der Mineralquellen auf die Auslaugung pflanzlicher Sedimente zurückgeht, finden wir Methan häufig als Begleiter von Jodquellen. Das Methan tritt häufig in solcher Menge auf, daß es die Quelle in physikalisch-mechanischer Beziehung zur „gasführenden“ Quelle macht. Die Gase der Solbrunnen von Salso-Maggiore (bis zu

77,3% aus Methan bestehend) werden zur Beleuchtung des Ortes benutzt.

Stickstoff und Sauerstoff als Quellgase dürften zumeist der atmosphärischen Luft entstammen. Der hier und da in Quellen in sehr geringer Menge nachgewiesene Wasserstoff wird als vulkanisches Produkt angesehen.

Die ziemlich häufig, jedoch meist nur in sehr geringen Mengen vorkommenden Edelgase können gleichfalls aus der atmosphärischen Luft stammen. Helium kann als Endprodukt beim Zerfall radioaktiver Elemente entstanden sein, es findet sich auch stets in radioaktiven Quellen. Doch enthalten die sehr ergiebigen Heliumgasquellen Nordamerikas nur so geringe Mengen von Emanation, daß für sie direkte Bildung durch Atomzerfall kaum in Frage kommt. Es bleibt (Hintz und Grünhut) „keine andere Annahme übrig, als daß in den Tiefen der Erde, von den radioaktiven Umwandlungen geologischer Vergangenheit her, gewaltige Heliummengen aufgespeichert sind“.

Radiumemanation ist ein Zwischenglied in der Zerfallsreihe des Elementes Uran (s. auch Kapitel „Radioaktive Quellen“). Der Gehalt eines Mineralwassers an Emanation kann zweierlei Ursprunges sein. Entweder löst das Wasser im Untergrunde in Berührung mit radiumhaltigen Gesteinen die von diesen gebildete Emanation oder das Mineralwasser enthält selbst Radium-Ion und daher auch die mit seiner Menge im Gleichgewicht stehende Emanationsmenge.

Besonders reich an radioaktiven Quellen sind Syenite, Granite, Porphyre. Thorium- und Aktiniumemanation kommen in Quellen seltener vor als Radiumemanation. Wegen ihres raschen Zerfalls spielen sie in der Therapie eine geringe Rolle.

4. Weg und Bewegung des Wassers.

Im allgemeinen gilt alles im ersten Teile dieses Buches über die natürlichen Bedingungen für das Entstehen und den Bestand von Quellmechanismen Gesagte in sinngemäßer Anwendung auch für Mineralquellen. Die speisenden Mineralwässer können sich im Untergrunde sowohl als Grundwasser als auch in der Form unterirdischer Wasserläufe bewegen. Für die Lösungsvorgänge und chemischen Prozesse bei der Bildung der Mineralwässer ist die Form des Grundwassers oder eines in stark zerklüftetem Gestein mit geringer Geschwindigkeit zirkulierenden unterirdischen Wasserlaufes günstig, weil diese Formen das Wasser auf großen Flächen durch längere Zeit mit dem Gestein in Berührung bringen (s. S. 162 „Profundum“). Der Transport des Mineralwassers an die Oberfläche dürfte hingegen zumeist in der Form unterirdischer Wasserläufe, als Spaltenwasser, stattfinden. Nur diese Form ermöglicht dem Wasser bei verhältnismäßig geringem Widerstand, quer durch die natürliche Schichtenlagerung und mächtige, an sich undurchlässige kristalline und Massengesteine durchsetzend, das Aufsteigen aus größerer Tiefe. Wir sehen daher auch die Überzahl der Mineralquellen von unterirdischen Wasserläufen gespeist, und auch

die verhältnismäßig selteneren Mineralgrundwässer beziehen ihr Wasser vielfach aus solchen.

Dies kommt in der geographischen Verteilung der Mineralquellen deutlich zum Ausdruck. Im ungestörten Flachlande treten sie spärlich auf, zahlreicher in gebirgigen Gebieten, wo Spalten und Verwerfer das Gestein durchschneiden und ohne oder mit nur geringer Überlagerung zutage ausbeißen. Sie häufen sich geradezu in Bezirken, die in geologisch jüngerer Zeit Störungen ausgesetzt waren, besonders wenn diese tektonischen Ereignisse von jungvulkanischen Magmaeruptionen begleitet waren. Hier bieten die noch offenen Spalten und Klüfte dem Aufsteigen vulkanischer Gase bzw. den mit ihnen vermischten Wässern den Weg zutage.

A. Mineralquellensysteme.

Ein und dasselbe tektonische Ereignis kann Veranlassung für die Entstehung mehrerer Quellen sein. Man spricht dann von einem Quellensystem. Liegen die einzelnen Quellen auf einem Verwerfer-spalt, so reihen sich die Quellorte, den Ausbiß der Spalte markierend, zu einer Quellinie. Benutzen die Quellschote in einer Zertrümmerungszone verschiedene der sich scharenden Spalten, so sehen wir ein Quellgebiet.

Gabeln sich die Quelladern eines Systems von einem ursprünglich gemeinsamen Schlote oder entspringen sie einem gemeinsamen Herde, so stehen die einzelnen Quellindividuen in größerer oder geringerer gegenseitiger hydraulischer Abhängigkeit. Man kann dann von einem Quellensystem im „engeren Sinne“ sprechen. Diese Abhängigkeit zeigt sich deutlich, wenn z. B. bei einer Neufassung durch Änderung der Austrittswiderstände die Schüttung eines Quellindividuums geändert wird; es reagieren dann die Ergiebigkeiten der anderen Quellen des Systems auf diesen Eingriff im umgekehrten Sinne. Bei manchen Quellensystemen tritt zeitweise, auch ohne äußere Veranlassung durch Menschenhand, eine Verschiebung zwischen den Ergiebigkeiten der einzelnen Quellen ein („Vikariieren“ der Quellen). Die Ursache solcher allmählich vor sich gehender oder plötzlich einsetzender Verschiebungen kann in der fortschreitenden Versinterung der Schlote liegen, aber auch in der Ausräumung schlammförmiger Sedimente (Ocker) durch vergrößerte Fließgeschwindigkeit. So wurde bei den Karlsbader Thermen sprunghaftes Vikariieren nach heftigen Barometerstürzen beobachtet (s. S. 229). Bei der Gabelung von Quelladern gasführender Quellen ist die Verteilung der freien Gasmenge auf beide Äste für deren Wasserführung von Bedeutung. Dies dürfte die Ursache dafür sein, daß gasführende Quellensysteme besonders zum Vikariieren neigen. Die Mineralquellen eines engeren Quellensystems weisen meist nur geringe Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung auf. Gewöhnlich handelt es sich um Unterschiede der Konzentration oder, bei Thermen, geringe, durch die Temperaturdifferenzen bedingte Verschiedenheiten (z. B. Gaslösung). Doch kennt man auch engere Quellensysteme, deren Quellindividuen erhebliche Unterschiede im chemischen Charakter zeigen, z. B. die Quellen von Marienbad in Böhmen; hier resultiert der

chemische Charakter aus der Zusammensetzung mehrerer verschiedener Komponenten und die Unterschiede der Quellen sind auf wechselnde Mischungsverhältnisse derselben zurückzuführen (s. auch S. 234).

Besitzt eine Dislokation (Verwerfung, Zertrümmerungszone, Grabensenkung) eine lange Erstreckung, so kann sie Quelladern Platz bieten, die untereinander weder einen hydraulischen Zusammenhang besitzen, noch gleichen Chemismus zeigen. Es handelt sich dann um ein Quellsystem „im weiteren Sinne“. Es gibt auch hier Übergänge und besteht vielleicht in manchen Fällen doch ein Zusammenhang, wenn sich derselbe auch bei den vorkommenden Änderungen nicht zeigt; er würde erst bei größeren Eingriffen, für welche gewöhnlich keine Veranlassung besteht, in Erscheinung treten.

B. Beispiele von Quellsystemen.

Die Thermen von Aachen (121) entspringen devonischen Kalkschichten des „Aachener Sattels“. Hier bilden paläozoische Schichten (Devon, Karbon) ein System zusammengepreßter, gegen Norden über-

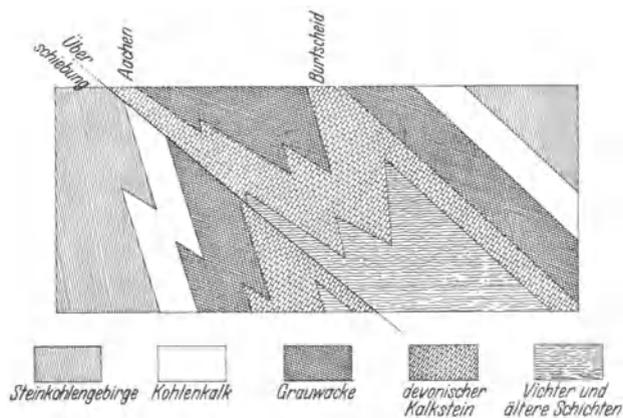


Abb. 195. Geologisches Profil von Aachen. (Nach J. Beissel.)

kippter Falten mit Überschiebungen, nach v. Decken eine Fortsetzung der großen Überschiebung am Südrand des belgischen Kohlenbeckens von Lüttich und von Hainaut („Faille eifélienne“). Die klüftigen oberdevonischen Kalke, die Träger des Thermalwassers, sind im Hangenden und Liegenden von undurchlässigen Ablagerungen eingeschlossen. Der Ausbiß zweier paralleler Faltenscheitel dieser Kalkschichten bildet an der Oberfläche zwei gleichlaufende streifenförmige Zonen: die Thermalzonen von Aachen und Burtscheid. Bei den einzelnen Thermalquellen jeder dieser Zonen wurde ein gegenseitiger hydraulischer Zusammenhang festgestellt, die Zonen selbst zeigten sich bisher voneinander unabhängig. Wir haben es hier mit einem Quellsystem im weiteren Sinne zu tun, das aus zwei Systemen engeren Sinnes besteht. Die Falten selbst zeigen eine schwache Wölbung, deren Achse normal zur Faltenachse steht; auch Spalten senkrecht zur Achse der Faltung

wurden gefunden. Solchen tiefreichenden Spalten schreibt Beissel die Rolle der Zubringer des Thermalwassers zu, dessen Einzugsgebiet er am Nordfuß des Venngebirges sucht, woselbst der devonische Kalkzug in den Tälern der Vesder, des Raerener Baches, Falkenbaches und Vichtbaches unbedeckt ansteht. Die Aachen-Butscheider Thermen schütten insgesamt 3500—4200 Minutenliter Wasser; einzelne Quellen erreichen fast 74°C Temperatur. Beissel führt ihre Erwärmung auf den Wärmestrom der Erdrinde zurück. Mit Rücksicht auf das S. 169



Abb. 196. Die Karlsbader Thermalspalte. Ausbiß beim Mühlbrunn.
(Aus Balneologie und Balneotherapie. Jena 1922.)

Gesagte ist die Erwärmung durch juvenilen Wasserdampf wahrscheinlicher. Auch das im Gebirge fehlende Chlor weist auf juvenile Bestandteile hin.

Der Südabbruch des Erzgebirges, von Laube als „Böhmische Thermalspalte“ bezeichnet, bietet zahlreichen Thermen, Mineralquellen und Sauerlingen den Weg zur Oberfläche (Karlsbader Thermen, Teplitz, Gießhübl-Sauerbrunn, Krondorf, Bilin usw.). Die Kohlensäure und sonstigen juvenilen Bestandteile dieser Quellen exhalierten aus den in der Tiefe erstarrenden Magmaherden, auf deren Vorhandensein die zahlreichen jungvulkanischen Berge (Basalt, Phonolith) schließen lassen. Wenn man auch die Bruchzone der Böhmischen Thermalspalte im ganzen als ein Quellensystem im weiteren Sinne bezeichnen muß,

so sind doch Fälle der gegenseitigen Beeinflussung ihrer Spaltenwässer beobachtet worden (s. Kapitel „Quellenschutz“ S. 275).

Die Karlsbader Thermen bilden unter sich ein System engeren Sinnes. Sie steigen auf einem Verwurf zutage, der das Karlsbader Granitgebirge, NNW—SSO streichend und fast vertikal einfallend, durchschneidet. Sie schütten insgesamt ca. 2000 Minutenliter Thermalwasser und schätzungsweise 6000 Minutenliter Kohlensäuregas. Die einzelnen Thermen des Systems sitzen teils auf der Hauptspalte, teils auf verschiedenen einfallenden Seitenspalten der Verwurfzone. Die Sprudel-

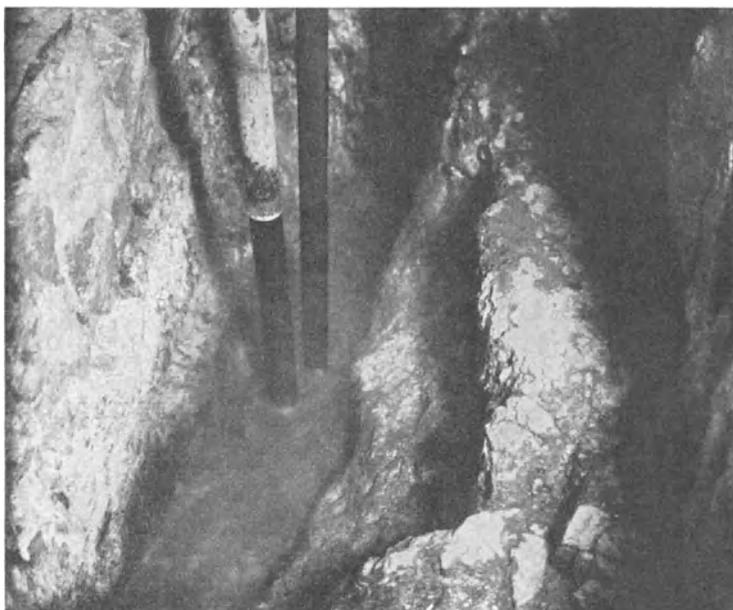


Abb. 197. Die Karlsbader Thermalspalte. Aufschluß bei der Neufassung des Schloßbrunnens im Jahre 1911. Das Thermalwasser bildet in der klaffenden Spalte einen dampfenden Spiegel, in den zwei Pumpsaugrohre tauchen. (Aus Balneologie und Balneotherapie. Jena 1922.)

quellen entspringen einem ehemals vom Thermalwasser, wahrscheinlich in einem seeartigen Stau, aufgebauten, von Hohlräumen durchsetzten, aragonitischen Sintergebilde (Sprudelstein, Sprudelschale). Die Karlsbader Quellen sind muriatisch-alkalisch-salinische, mit Kohlensäure gesättigte Thermen mit Temperaturen von 43—73° C. Interessant sind die Temperaturdifferenzen der einzelnen Quellen des Systems, welche angesichts der geringen Konzentrationsunterschiede der Abkühlung in den Quellwegen zugeschrieben werden müssen.

Die Unabhängigkeit der Karlsbader Quellen von den Niederschlagsverhältnissen, ihr Reichtum an juvenilem Gas, die konstante hohe Temperatur und die Eigenart ihrer chemischen Zusammensetzung, welche sich nicht aus ihrem Muttergestein Granit herleiten läßt, veranlaßten E. Sueß im Jahre 1902 zur Aufstellung der Theorie der juvenilen Quellen (97).

Einer Zertrümmerungszone am Südrande des Kaiserwaldplateaus in Westböhmen entströmen die kohlenensäurereichen Quellen von Marienbad. Sie bilden das interessante Beispiel eines Quellsystems, dessen einzelne Individuen erheblich verschiedenen chemischen Charakter besitzen. Winter (122) führt dies auf den unterschiedlichen geologischen Charakter des Muttergesteins der einzelnen Quelladern zurück. Das ursprünglich aus der Tiefe steigende salinisch-alkalisch-muriatische Thermalwasser bildet teils unvermischt Quellaustritte, teils beteiligt es sich als mehr und weniger starke Komponente an anderen, vadosen Quellen, die ihren Mineralgehalt der Einwirkung des mit Kohlensäure gesättigten Bodenwassers auf verschiedene Gesteine verdanken.

Der natürliche Mechanismus der Solquellen von Bad Reichenhall kann mit dem „Sinkwerk“ eines Salzbergbaues verglichen werden [Gillitzer (123)]. Der Nordhang des Lattengebirges bildet das Einzugsgebiet. Hier scheidet ein vertikaler Verwurf, O—W streichend, den Ramsaudolomit des Lattengebirges von emporgequollenem Haselgebirge (salzführend). Längs dieses Verwerfers und insbesondere durch Vermittlung von zahlreichen N—S streichenden Brüchen des Haselgebirges dringt Süßwasser in letzteres ein. Geschähe die Einwirkung des Wassers vom Hangenden aus, so wäre eine dauernde Solbildung unmöglich, weil dann erfahrungsmäßig der Tongehalt des Haselgebirges („Laist“) allmählich eine undurchlässige Schutzschicht bilden würde. Die Querbrüche vermitteln jedoch die „Verätzung“ des Steinsalzes von unten nach oben, wobei der absinkende Laist kein Hindernis bilden kann. Sobald die aufwärtsschreitende Verätzung auf die durch tektonische Einsenkungsvorgänge tief in das Haselgebirge versenkten Schollen des klüftigen Reichenhaller Dolomits stießen, boten diese Raum für den aufsteigenden Weg der Sole zur Oberfläche zwecks Bildung der Solquellen. Dem weiteren Vordringen der Sole gegen Norden ist durch das Ansteigen des Neokoms im Liegenden des Haselgebirges und Auskeilen des letzteren eine Grenze gesetzt. Gillitzer berechnet aus der Temperatur der Reichenhaller Sole und der geothermischen Tiefenstufe ihre Herd-

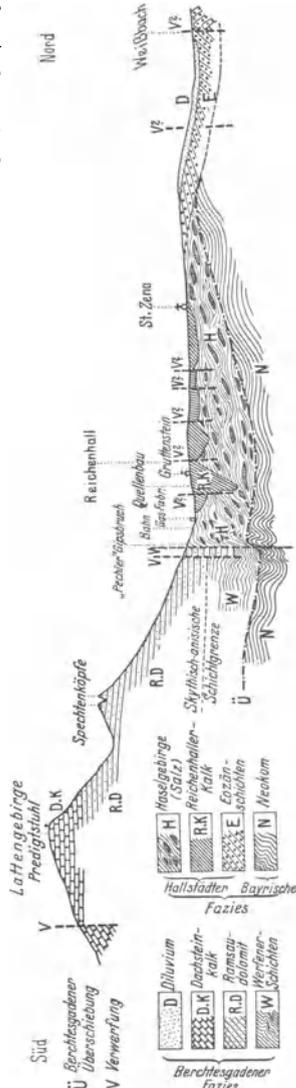


Abb. 198. Mutmaßliches Profil durch Reichenhall. (Nach G. Gillitzer.)

tiefe mit 300—400 m. Eine beobachtete allmähliche Temperaturabnahme der Quellen läßt sich auf das stetige Emporsteigen der Verätzungszone zurückführen. Demnach hätte sich diese im Laufe von 100 Jahren bei der „Edelquelle“ um 72—99 m gehoben.

Die heißen Quellen von Wiesbaden entströmen einer Verwerfung, in der Serizitgneis an tertiäre Mergel stößt. Der Kohlensäure der Quellen von Salzbrunn in Schlesien dient der Abbruch der Kulmschichten an dem Südrande des Gneishorstes von Seitendorf — Kolonie Sandberg — Salzbrunn als Weg zur Oberfläche. Die Sauerlinge Mährens und der Karpathen (Luhatschovic, Krynica usw.) folgen den Spalten jungtertiärer Andesiteruptionen; desgleichen die Quellen von Rohitschauerbrunn in der Südsteiermark usw.

C. Der Mechanismus der aufsteigenden Mineralquellen.

Die Mineralquellen gehören fast durchwegs zu den „aufsteigenden“ Quellen, d. h. bei den meisten derselben bewegt sich der Speisungsstrom wenigstens im letzten Teile des Quellweges zum Quellorte mit vertikal aufrecht gerichteter Komponente. Man hört des öfteren Einwendungen gegen die Einteilung in aufsteigende und absteigende Quellen in diesem Sinne. Kegel z. B. (124) will nur jene Quellen als „aufsteigende“ benannt wissen, deren Fanggebietsspiegel tiefer liegt als der Auslauf; alle anderen seien ihrem Wesen nach absteigend. Für den Ingenieur, dem als eine Hauptaufgabe der Quellentechnik die Fassung der Quelle obliegt, ist es aber von großer Wichtigkeit, wie die Quelle die letzte Strecke ihres Weges zur Oberfläche fließt, weil dies für die Fassungsform bestimmend ist (s. S. 237). Die Unterscheidung nach der Bewegungsrichtung im letzten Teile des Quellschlotes ist vorwiegend vom Standpunkte der Fassungs technik wichtig.

Absteigende Mineralquellen finden sich nur selten. Über ihren Mechanismus ist dem auf S. 56 Gesagten nichts hinzuzufügen. Nur eine Gruppe von Mineralwässern, die Bitterwässer, treten wohl immer in der Form von absteigendem Grundwasser auf. Die Bitterwässer entstehen durch Auslaugung von oberflächennahen Verwitterungsprodukten und werden meist aus Kesselbrunnen künstlich gehoben. In diesem Falle stellen sie im Sinne der Definition eigentlich keine Quellen dar, was natürlich ihrer therapeutischen Bedeutung keinerlei Abbruch tut.

Abb. 199 zeigt schematisch eine von vadosem Wasser gespeiste aufsteigende Quelle. E sei das Druckniveau des Einzugsgebietes, Q der Quellort, $v-O$ ihr Niveauunterschied. Wäre der Quellschlot bei U geschlossen, so bedeuteten links die Linien $Q-O$ und $E-v$, rechts $Q'-u'$ und $E'-U'$ die statischen Drucklinien der beiden Äste (links das Niveau, bis zu welchem in einer Bohrung das Wasser aufsteigen würde, z. B. bei C bis c , wobei $K-c = K'-c'$; bei D bis d , wobei $P-d = P'-d'$). Im Fließzustande treten an die Stelle dieser statischen Drucklinien die hydrodynamischen $E-p-Q$ bzw. $E'-W-Q'$. Der dynamische Druck ist im absteigenden Aste kleiner, im Steigschlote größer als der statische. Der jeweilige Vertikalabstand zwischen den Linien $E-Q$ und $E-N$

bzw. die horizontale Entfernung der Linien $E'-W-Q'$ und $E'-U'$ entspricht der bis zu diesem Punkte zur Überwindung des Bewegungswiderstandes verbrauchten Druckhöhe. Die Form der Linie $E-p-Q$ und $E'-W-Q'$ ist daher von den Widerständen des Quellweges, bedingt durch die Querschnittsverhältnisse, Rauhgigkeit, Krümmungen usw. abhängig. In der Abb. 199 wurden gerade Drucklinien gewählt.

Wäre die Quelle bei Q absolut dicht gefaßt, so könnte man sie in Rohren hochleiten („spannen“). Geschieht dies bis zum Punkte H , so schwenkt die Drucklinie in die Lage $E-H$; das Druckgefälle ist jetzt ein geringeres, daher auch die Fließgeschwindigkeit und Ergiebigkeit kleiner. Trägt man die Ergiebigkeit als Abszissen in der zugehörigen Spannungshöhe auf, so entsteht die Ergiebigkeits-Höhenkurve e_1-e_2-N . Sie besitzt im Punkte N , dem piezometrischen Niveau der Quelle,

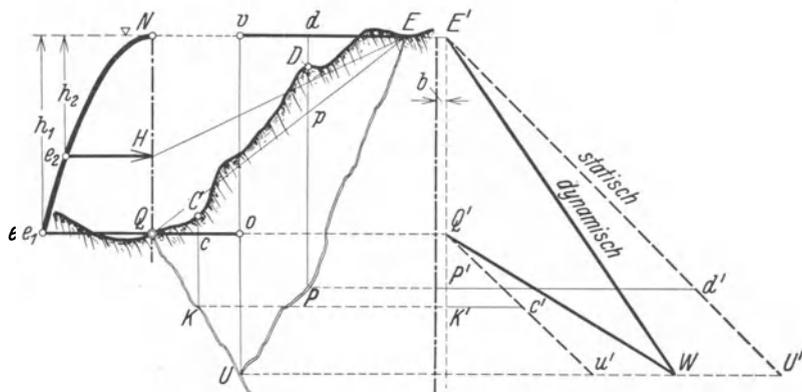


Abb. 199. Druck- und Ergiebigkeitsverhältnisse bei einer vadosen aufsteigenden Quelle.

ihren Scheitel, entsprechend der Ergiebigkeit O bei abflußlosem „Stagnieren“ der Quelle. Die Ergiebigkeit ist also eine Funktion der „Spannungshöhe“ oder des Auslaufniveaus der Quelle. Erfolgt die Speisung der Quelle durch unterirdische Wasserläufe, so kann man erwarten, daß analog den Gesetzen des Fließens in unter Druck erfüllten Rohren das Quadrat der Ergiebigkeit proportional dem Druckhöhenverluste ist: $e^2 = c \cdot h$, wobei c , die Leitungszahl, die Widerstände des Quellweges zum Ausdruck bringt; die Ergiebigkeitskurve ist dann eine Parabel.

Besitzt der Speisungsstrom auch nur in Teilstrecken den Charakter von Grundwasser, so mindert sich der Exponent von e in obiger Gleichung, und die Ergiebigkeits-Höhenkurve nähert sich der Geraden. In beiden Fällen würden theoretisch zwei Punkte, d. h. zwei Ergiebigkeitsmessungen in zwei verschiedenen Spannungshöhen, zur Konstruktion der Kurve genügen. Mit Rücksicht auf die Unsicherheit des Kurvencharakters und wegen des Schließens „aus dem Kleinen ins Große“ wird man in praktischen Bedarfsfällen möglichst viele Punkte bestimmen, und deren Lage annähernd die Form der Kurve anpassen. Häufig ist die Ergiebigkeitsfunktion nicht einheitlichen Charakters, sondern setzt sich — hintereinander — aus einzelnen Ästen zusammen,

welche entweder stetigen Übergang zeigen oder durch Unstetigkeitsstellen getrennt sind.

Ein Beispiel hierfür ergibt sich, wenn ein in der Tiefe abzweigender Nebenaustritt der Quelle von einem bestimmten Spannungsniveau der Hauptquelle an zu schütten beginnt. Der Fall ist in Abb. 200 schematisch dargestellt; die Quelle sei bei A gefaßt, in PN liege ihr piezometrisches Niveau und der Scheitel der Ergiebigkeitsparabel $PN-Z-R$. Bei B befindet sich die Ausmündung eines Seitenarmes des Quellweges, welche durch eine wasserdurchlässige Überlagerung der Sicht entzogen sein kann. Je tiefer der Abzweigungspunkt C des Seitenarmes liegt, desto höher wird in demselben das Quellwasser stagnieren, denn der Niveauunterschied zwischen dem Spiegel im Seitenarm und dem Auslaufe A ist das Maß des Druckabfalls, also der Bewegungswiderstände in der Schlot-

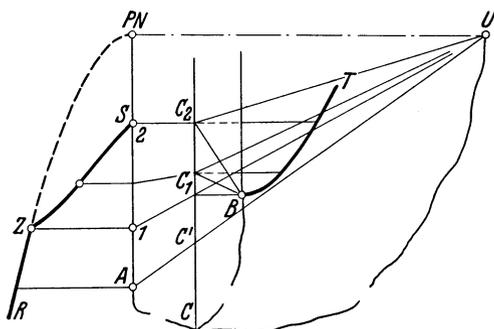


Abb. 200. Einfluß eines wilden Seitenaustrittes auf die Ergiebigkeitskurve einer aufsteigenden Quelle.

strecke $C-A$, und um so größer, je länger diese ist. Die Linie $U-C'-A$ versinnbildlichte schematisch den Verlauf der Drucklinie des Quellstromes vom Ursprung über C zum Auslauf A . Der wirkliche Verlauf ist natürlich fallweise durch Form und Widerstände des Quellweges bedingt. Bei der Fassung A werde nun zur empirischen Bestimmung der Ergiebigkeitskurve eine allmähliche Hebung der Spannung durchgeführt. Entsprechend der Hebung des Auslaufes A steigt der Spiegel unter B und erreicht bei der Spannung 1 (in A) die Ausmündungsstelle B . Bei fortgesetzter Hebung teilt sich nun der Quellstrom bei C in zwei fließende Äste $C-A$ und $C-B$, die Quellergiebigkeit zerfällt in zwei Komponenten. Je höher wir bei A spannen, um so mehr wird die unsichtbare Komponente B auf Kosten des Auslaufes zunehmen; sie folgt in Abhängigkeit von der Druckhöhe in C der Ergiebigkeitslinie $B-T$ (Parabel). Bei einer Spannungshöhe 2 endlich genügt das Druckgefälle C_2-B , um die gesamte Ergiebigkeit durch die Seitenspalte $C-B$ zu fördern, d. h. der Auslauf A stellt seine Tätigkeit ein und stagniert bei S . Die Wirkung des seitlichen Austrittes äußert sich demnach wie folgt: in der Strecke $A-I$ gehorcht die Schüttungsmenge der Ergiebigkeitsparabel $R-Z-PN$ mit dem Scheitel in PN . Das Einsetzen der Tätigkeit des Seitenaustrittes äußert sich in einer plötzlichen heftigeren Ergiebigkeitsabnahme mit der Höhe, also einem Knick der Kurve bei Z , von welchem Unstetigkeitspunkte an die Ergiebigkeitskurve steiler zur Achse verläuft und in einem scheinbaren piezometrischen Niveau bei S spitz endigt¹.

Im vorstehenden wurde der Höhenunterschied der Wassersäulen im absteigenden und aufsteigenden Ast als alleinige Ursache des für das

¹ Aus Z. f. Kurortwissenschaft 1931, 5 (vom Verfasser).

Emporsteigen nötigen Druckgefälles angenommen. Doch kann das Druckgefälle auch durch andere Ursachen erzeugt oder vergrößert werden. Da der statische Druck einer Flüssigkeitssäule außer vor ihrer vertikalen Höhe noch vom spezifischen Gewichte der Flüssigkeit abhängig ist, kann der Druckunterschied zwischen absteigendem und aufsteigendem Ast auch durch verschiedene spezifische Gewichte in denselben hervorgerufen werden. So findet man in der Literatur häufig die Gewichtsverminderung durch Erwärmung und durch Gasabsorption zur Begründung des Druckgefälles herangezogen.

Die Rechnung zeigt, daß die Temperaturdifferenz so geringe Druckunterschiede schafft, daß diese höchstens für die Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, kaum aber für die alleinige Ursache der Bewegung im Quellschloße in Betracht kommen können. Für eine Therme mit 35°C Auslaufftemperatur bei der mittleren Jahrestemperatur von 8°C (= Temperatur im absteigenden Aste) errechnet sich ein Druckgefälle

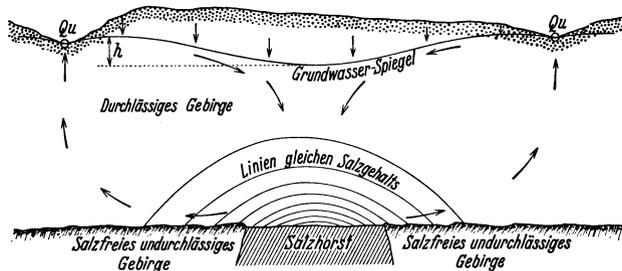


Abb. 201. Aufsteigende Solquellen infolge verschiedener Lösungsdichte nach Kegel (124).

von höchstens 0,0058, also bei 900 m Herdtiefe (entsprechend normaler geothermischer Tiefenstufe) ein Überdruck von 5,2 m. Angesichts des großen Widerstandes, welchen die natürlichen unterirdischen Wasserwege der Fließbewegung entgegensetzen, ist das ein verschwindender Betrag. Verfasser kann daher der Gewichtsänderung durch die Temperatur nicht die Bedeutung für das Emporfließen der Quellen zubilligen, die ihr z. B. Kegel (124) beimißt.

Kegel zieht auch die durch Konzentrationsunterschiede hervorgerufenen Gewichtsdifferenzen, speziell bei Solquellen zur Erklärung des Druckgefälles heran. Die durch Auslaugung salzföhrnden Gesteins höher konzentrierte Sole bilde den schweren absteigenden Ast, die von hier abfließende, durch süßes Grundwasser allmählich verdünnte Sole den längeren, höher aufsteigenden Ast (Abb. 201).

Kegel erklärt auf diese Weise den Mechanismus der Solquellen der Linie Salzkotten—Königsborn in Westfalen durch Auslaugung im Münsterschen Becken.

Die Verminderung des spezifischen Gewichtes durch Gasabsorption kommt gerade bei dem Gase, das in den weitaus meisten Fällen das Mineralwasser begleitet, der Kohlensäure, in Wegfall, da durch die Lösung dieses Gases das spezifische Gewicht vergrößert wird. Befindet sich jedoch ein überschüssiger, nichtgelöster Teil der Gase in Form von

Gasblasen dem Quellgute beigemischt, so kann er dessen spezifisches Gewicht so bedeutend herabsetzen, daß hierdurch allein das Fließen der Quelle ermöglicht wird, selbst in Fällen, in welchen das Niveau des Einzugsgebietes tiefer liegt als der Quellauslauf. Es ist dann die im Gase in der Tiefe gespeicherte potentielle Druckenergie, welche durch Expansionsarbeit diese Mehrleistung schafft. Von diesen „Gasführenden Quellen“ handelt das nächste Kapitel.

D. Geiser und gasführende Quellen.

Geiser. Die Geisertätigkeit beruht auf der periodischen Füllung und Entleerung eines Schlotens; für die Geiser ist daher die Periodizität der Schüttung charakteristisch. Der Schlot wird von einem Bodenvasser mit verhältnismäßig geringer Ergiebigkeit gefüllt. Dieser Zufluß als solcher braucht nicht den Charakter einer Quelle zu besitzen, sein piezometrisches Niveau kann negativ sein, also sein Ruhespiegel unter der Oberfläche liegen. Durch plötzliche Dampfbildung oder Gasexpansion im Schlote entleert sich dieser in Form einer Eruption, die oft ein großartiges Naturschauspiel bietet. Für den Mechanismus der Dampfgeiser ist die schon von Bunsen gegebene Erklärung die einfachste und wahrscheinlichste. Der Wasserinhalt des Schlotens wird durch Zustrom von Wärme vulkanischen Ursprunges erhitzt; die Erwärmung kann durch Übergang vom Gestein erfolgen, wahrscheinlicher durch vulkanischen Dampf. Infolge der Erhöhung des Siedepunktes mit dem Druck erreicht das Wasser in der Tiefe des Schlotens Temperaturen von über 100° ohne zu sieden. Bunsen konstatierte mittels eines im Schlote des großen Geisers in Island versenkten Thermometers Wärmegrade bis $127,5^{\circ}\text{C}$. Setzt endlich an irgendeiner Stelle des Schlotens das Sieden ein, so hebt der gebildete Wasserdampf die Wassersäule und bringt hierdurch die überhitzten Wassermassen in Zonen niederen Druckes, also niederer Siedetemperatur. Der Siedeprozess ergreift immer mehr Wasser, und die plötzlich erzeugten großen Dampfmen gen stoßen das Wasser über die Oberfläche. Damit ist nur das Prinzip dargestellt. In der Natur kann und wird der Mechanismus der Geiser z. B. durch an den Schlot angeschlossene unterirdische Hohlräume, durch mehrere Erwärmungsstellen usw. häufig verwickelter sein.

Bekannt sind die im langsamen Ersterben begriffenen Geiser der Insel Island und die großartigen Dampfgeiser im Yellowstoneparke in den Staaten Wyoming und Montana der Vereinigten Staaten.

Bei den Gasgeisern bildet eine durch den Wasserverschluß des Schlotens zu periodischer Expansion gezwungene Gasexhalation die Ursache der Eruption. Altfeld erklärt mit der Schilderung der Tätigkeit des erbohrten NAMEDYGEISERS bei Andernach a. Rh. den Mechanismus der Gasgeiser wie folgt: Das Bohrloch wird durch kleine Zuflüsse gespeist, welche zu seiner Füllung mehrere Stunden benötigen; übrigens münden in das Bohrloch kohlen säureführende Spalten, deren Druck in größerer Tiefe durch einen engen Querschnitt abgedrosselt ist. Bei entleertem Bohrloch bläst der gesamte Gasinhalt der Kohlen säure spalten, einschließlich evtl. kommunizierender Hohlräume oberhalb der

Drosselstelle, bis zu niederem Drucke ab. Das den Schlot füllende Wasser dringt nun in die Gaswege ein und sperrt sie ab. Der Gasdruck oberhalb der Drosselstelle nimmt infolge der steten Zuströmung allmählich zu, doch hält ihm die ansteigende Wassersäule während der Pause noch das Gleichgewicht. Die schließlich einsetzende Gasausströmung vermindert durch Wasserverdrängung den Druck im Bohrloch, die gasgefüllten Hohlräume beginnen daher zu expandieren und es kommt zur Eruption. Altfeld hat die Möglichkeit seiner Theorie experimentell bewiesen (125).



Abb. 202. „Castle“-Geiser in Eruption. Yellowstone-Park.
(Aus André: Geologische Charakterbilder.)

Die im Winter 1930/1931 von Dr. A. Hartmann in Tarasp in der Schweiz in ca. 100 m Teufe erbohrten zwei Sauerlinge sind ausgesprochene Gasgeiser. April 1931 schüttete das eine Bohrloch alle 15 Minuten, das andere in Intervallen von $2\frac{1}{2}$ Stunden (119). Bei den Gasgeisern kommen hauptsächlich vulkanische Kohlensäure und Kohlenwasserstoffe als treibende Gase in Betracht.

Gasführende Quellen.

Die genaue Kenntnis der gasführenden Quellen ist von großer praktischer Bedeutung, da die Mehrzahl der wichtigsten und wertvollsten Heilquellen diesem Typus angehören. Sie unterscheiden sich prinzipiell von den Geisern. Aus den Geisern wird das Wasser chargenweise durch periodische Gas- oder Dampfexpansion gleich einem Geschoß aus dem Schlot getrieben, wobei vom mechanischen Standpunkte die Aufnahme des nach dem Prinzip der gleichen Aktion und Reaktion eintretenden Rückstoßes durch die Schlotbasis charakteristisch ist. Die Eruption des Geisers läßt sich mit dem heftigen Überströmen einer geöffneten ungekühlten Seltersflasche vergleichen. Die gasführenden Quellen fließen kontinuierlich. Das im Quellgut verteilte Gasvolumen wirkt durch die Verminderung des spezifischen Gewichtes, die Expansionsarbeit des Gases erzeugt und vergrößert dieses Volumen, ohne daß von den expandierenden Gasen ein Reaktionsdruck auf eine Schlotbasis ausgeübt wird; eine solche ist nicht vorhanden.

Die gasführenden Quellen haben ihr Analogon in den „Mammutpumpen“ (System Borsig), in welchen die Flüssigkeit durch Einpressen

von Luft in das Steigrohr von niederem zu höherem Niveau gehoben wird. Die von der Luftpumpe eines solchen „Druckluflhebers“ beim Komprimieren und Einpressen der Luft in das Wasser geleistete Energie ruht bei der gasführenden Quelle vom Ursprung an als potentielle Druckenergie in dem unter hohem Druck absorbierten Gase. Sie wird bei der Evasion und Expansion desselben allmählich in Bewegungsenergie umgesetzt. Die Mammutpumpe gleicht also nur dem letzten Schlotabschnitt der gasführenden Quelle. Der Vergleich kann sich für die Fassungschnik der gasführenden Quellen wie für die zweckmäßigste Konstruktion der Mammutpumpen fruchtbar auswirken, da die Forschungsergebnisse auf dem einen Gebiete auch im anderen nutzbringend verwertet werden können.

In dem aufsteigenden Schlote der gasführenden Quellen (126) bewegt sich ein mechanisches Gemisch von Wasser und Gasblasen, für dessen Bildung es zwei Möglichkeiten gibt: In den steigenden Ast einer aufsteigenden Quelle mündet eine Gasquelle; das Wasser absorbiert entsprechend Druck und Temperatur einen Teil des Gases, während sich der Überschuß mechanisch beimengt. In dieser Weise dürfte sich die Bildung der meisten Kohlensäuerlinge vollziehen. Das Gas kann aber auch ursprünglich mit dem Wasser aus der Tiefe aufsteigen (z. B. bei den juvenilen gasführenden Quellen). Es ist dann infolge des hohen Druckes in der Tiefe völlig gelöst und scheidet sich infolge der Druckabnahme beim Aufsteigen allmählich aus der Lösung.

In den weitaus überwiegenden Fällen gasführender Quellen bildet Kohlensäure den gasförmigen Bestandteil. In Naphthagebieten finden sich auch gasführende Quellen und Gasgeiser mit Kohlenwasserstoffen als gasförmigem Teil, zumeist künstlich erschroten beim Bohren auf Petroleum.

Die gasführenden Quellen fließen kontinuierlich. Sie müssen daher ein die statische Druckzunahme überschreitendes Druckgefälle mit der Tiefe besitzen. Doch erzeugt die Natur diese Druckdifferenz nicht durch größeren Speisungsdruck von einem höheren Niveau, wie bei den gewöhnlichen aufsteigenden Quellen (s. Abb. 199), sondern durch Verminderung des statischen Druckes im aufsteigenden Quellschlote. Das spezifische Gewicht des Gas-Wassergemisches ist kleiner als das des Wassers und um so geringer, je größer der volumprozentuelle Gasgehalt des Gemisches ist. Da der statische Druck einer Flüssigkeitssäule mit dem spezifischen Gewichte abnimmt, wird durch die Anwesenheit des Gases der Druck vermindert und so der für die Aufwärtsbewegung nötige Überdruck erzeugt. Nach dem Gesagten ist die statische Druckzunahme mit der Tiefe im Mechanismus der aufsteigenden Quellen gleichsam als bewegungshindernder Umstand von Bedeutung. In inkompressiblen Flüssigkeiten ist der spezifische Druck, bestimmt durch das Produkt aus dem spezifischen Gewicht mal der vertikalen Höhe der Flüssigkeitssäule, infolge der Unveränderlichkeit des Gewichtes proportional der Tiefenlage. Graphisch dargestellt ergibt für solche Flüssigkeiten die Druck-Tiefenfunktion eine Gerade, deren Neigungswinkeltangente zur Vertikalen das spezifische Gewicht ausdrückt.

Das Gas-Wassergemisch ist eine kompressible Flüssigkeit. Das Gasvolumen nimmt bei höherem Drucke ab, einmal infolge seiner elastischen Zusammendrückbarkeit, ein Zweitesmal infolge der erhöhten Absorption im Wasser. Das spezifische Gewicht des Gemisches ist daher eine Funktion des Druckes und nimmt mit der Tiefe zu, der Neigungswinkel der Drucklinie desgleichen, die Druck-Tiefenlinie ist daher eine Kurve, deren Tangenten-Neigungswinkel zur Vertikalen nach oben zu abnimmt. Das Vorhandensein freien Gases bewirkt eine langsamere Druckzunahme mit der Tiefe, ein geringeres statisches Druckgefälle. Derselbe Druck in der Tiefe vermag daher in der gasführenden Quelle eine höhere Flüssigkeitssäule zu tragen als in einer gasfreien, bzw. auf die gleiche Höhe eine größere Wassermenge zu fördern.

Die Druck-Tiefenfunktion bei gasführenden Quellen. Unter bestimmten vereinfachenden Voraussetzungen läßt sich die Gleichung der statischen Drucklinie (gleichsam als „Normalfall“) wie folgt ableiten (127): Es sei

- G das Gewicht der die Gewichtseinheit Wasser begleitenden Gasmenge,
- η das spezifische Gewicht des Gases beim Drucke 1 und der herrschenden Temperatur,
- λ die Ostwaldsche Löslichkeitszahl des Gases im Wasser bei der herrschenden Temperatur,
- p der jeweilige spezifische Druck,
- h die Tiefe eines Fließquerschnittes unter dem Auslaufe.

Dann ist das spezifische Gewicht des Gas-Wassergemisches beim Drucke p

$$\gamma = \frac{\text{absolutes Gewicht}}{\text{Volumen}} = \frac{1 + G}{1 + \frac{G}{\eta \cdot p} - \lambda}.$$

Das G im Zähler kann mit Rücksicht auf seine geringe Größe vernachlässigt werden. Für $\frac{G}{\eta}$ setzen wir die Konstante r , das ist das gesamte Gasvolumen, welches die Gewichtseinheit Wasser begleitet, gemessen beim Drucke = 1, und erhalten

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{r}{p} - \lambda}. \quad (1)$$

Innerhalb eines Höhendifferentials dh lassen wir Proportionalität des Druckes mit der Tiefe gelten, da der hierbei begangene Fehler bei der Integration verschwindet. Es ist also der unendlich kleine Druckzuwachs von der Tiefe h zu $h + dh$

$$dp = \gamma \cdot dh. \quad (2)$$

Wir lösen nach dh auf und setzen den Wert für γ ein:

$$dh = \frac{dp}{\gamma} = dp - \lambda dp + r \frac{dp}{p}.$$

Integriert man zwischen den Grenzen $p = p$ und $p = b$ (Luftdruck):

$$\int dh = \int dp - \lambda \int dp + r \int \frac{dp}{p} + \text{const}$$

oder

$$h = p - b - \lambda \cdot (p - b) + r \cdot \log \text{nat} \frac{p}{b}. \quad (3)$$

Die Gleichung $h = p - b$ entspräche der Drucklinie im reinen Wasser; die Glieder $r \cdot \log \text{nat} \frac{p}{b} - \lambda \cdot (p - b)$ besagen, um wieviel tiefer erst derselbe Druck in der gasführenden Quelle auftritt.

Bei einem bestimmten Mindestdruck P , den wir als Grenzdruck bezeichnen wollen, ist alles Gas vom Wasser absorbiert; unterhalb der Grenzdruckzone nimmt der Druck wie in gewöhnlichen Wasserquellen, das ist proportional der Tiefe, zu. Der Grenzdruck rechnet sich aus der Gleichung: Gasvolumen = Absorptionsvolumen, also

$$C=0 \quad \frac{G}{\eta \cdot P} = \lambda \quad \text{mit} \quad P = \frac{G}{\eta \lambda}. \quad (4)$$

In Abb. 203 seien nun die Druck- und Ergiebigkeitsverhältnisse einer durch unterirdischen Wasserlauf gespeisten gasführenden Quelle graphisch dargestellt. $A-B$ ist der Luftdruck im Quellorte A , $B-W$ die Gerade der statischen Druckzunahme im Wasser, $B-E$ die Drucklinie im ruhend gedachten Gas-Wassergemisch.

In der Tiefe T herrscht der Grenzdruck P ; hier ist noch alles Gas in Lösung, die Drucklinie geht tangentiell in eine Gerade über. $U-D$ sei der Innendruck in der Tiefe U , da $U-D$ kleiner als $U-W$, würde

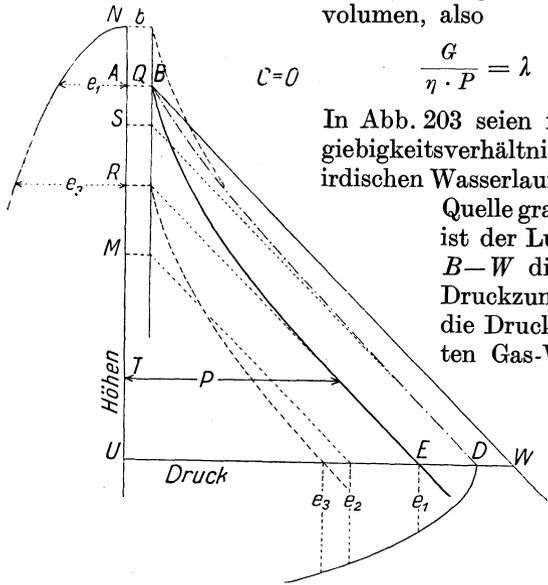


Abb. 203. Druck- und Ergiebigkeitsverhältnisse einer gasführenden Quelle.

er zum Antrieb einer gewöhnlichen aufsteigenden Quelle nicht hinreichen; die Quelle würde mit negativem piezometrischem Niveau bei S stagnieren. Durch Pumpen gehoben, gäbe sie bei Absenkung bis M bzw. R die Ergiebigkeiten e_2 und e_1 , welche, die Speisung durch unterirdischen Wasserlauf vorausgesetzt, als Ordinaten eine Parabel mit D als Scheitel erfüllen müssen.

Machen wir die Fußpunkte dieser Ordinaten zu Ausgangspunkten von Drucklinien der gasführenden Quelle, so ergeben deren obere Endigungen die zu den betreffenden Schüttungsmengen gehörenden Spannungshöhen, also die „Ergiebigkeits-Höhenkurve“ der Quelle, in diesem Falle auch eine Parabel.

In der fließenden Quelle folgt der Druck natürlich einer dynamischen Druckfunktion (Linie $D-B$), in welcher das allmähliche Verzehren des Überdruckes $E-D$ durch die Bewegungswiderstände Ausdruck findet; ihre Gestalt ist von den Schlotverhältnissen abhängig und entzieht sich der Berechnung.

In Gleichung (3) fehlt eine Querschnittsgröße; die statische Druckfunktion in gasführenden Quellen müßte demnach — wie bei reinen Flüssigkeiten — unabhängig von der geometrischen Form des Fließquerschnittes sein. Die Natur lehrt uns jedoch anderes: Die Querschnittsverhältnisse des Quellweges üben tatsächlich auf das Verhalten der gasführenden Quelle einen weitgehenden Einfluß. Die Ursache dieses Widerspruches ist die bisher und insbesondere bei Entwicklung der Gleichung (1) gemachte Voraussetzung gleicher Geschwindigkeiten von Gas und Wasser, welche Bedingung in der Natur nur in besonderen Fällen annähernd erfüllt erscheint.

Im allgemeinen besitzt das Gas eine relative Geschwindigkeit gegenüber dem Wasser. Die Ursache ist der Auftrieb, den die Gasblasen im Wasser erleiden. Das Gas-Wassergemisch stellt ein Massensystem dar, dessen Teile geometrische Verschiebungen gegeneinander dulden; ein solches System bewegt sich bekanntlich unter dem Einflusse der Schwerkraft so lange, bis der Schwerpunkt die tiefstmögliche Lage einnimmt. Nicht mischbare Flüssigkeiten schichten sich daher so, daß die spezifischen Gewichte der einzelnen Schichten gegen oben abnehmend geordnet sind; auch in Gas-Wassergemischen ist diese Schichtung beständig im Gange, indem die leichteren Gasblasen emporsteigen. Die Blasen vollführen demnach zwei gleichgerichtete Bewegungen: mit dem Wasser und relativ gegenüber dem Wasser, daher als Resultierende die Summe beider Bewegungen.

Denkt man in jedem Horizontalschnitte durch den Quellschlot die Schnittflächen der Gasblasen zu einem Gasquerschnitte summiert, so bilden diese kontinuierlich aufeinanderfolgenden Querschnitte einen idealen Gasschlot, der von einem gedachten Wasserschlot so begleitet ist, daß beide die Quellader überall restlos ausfüllen. Es ändert an dem Ergebnis nichts, wenn man diese gedachten Verhältnisse in die Überlegungen über die Gewichts- und Druckverhältnisse einführt.

Bei Vernachlässigung des Gasgewichtes ist das spezifische Gewicht des Quellgutes im Querschnitte f der Quellader, bestehend aus der Gasfläche f_g und der Wasserfläche $f - f_g$

$$\gamma = \frac{f - f_g}{f}. \quad (5)$$

Für jeden der beiden Schlote gilt die Flußgleichung: Querschnitt mal Geschwindigkeit ist gleich dem sekundlichen Volumen; je größer die Geschwindigkeit bei gleicher Menge, um so geringer der Querschnitt. Die Voreilgeschwindigkeit des Gases vermindert also den Gasquerschnitt und vergrößert mithin [nach Gleichung (5)] das spezifische Gewicht; je größer die Voreilgeschwindigkeit, um so größer das spezifische Gewicht, um so geringer also die günstige Wirkung des Gases in den Quellen. Bei der theoretischen Relativgeschwindigkeit $c = \infty$ des Gases gegenüber dem Wasser müßte sich der Gasschlot zum Querschnitt $f_g = 0$ zusammenschnüren, also die Verhältnisse wie in gasfreiem Wasser herrschen, bei $c = 0$ hingegen treten die im vorausgehenden erörterten Verhältnisse [Gleichung (3)] als günstigster Grenzfall ein.

Die Größe der Voreilgeschwindigkeit wird erheblich beeinflusst durch die Querschnittsverhältnisse des Quellschlotes. In einem Schlote mit kreisförmigem Querschnitte von 150 mm Durchmesser wurde sie vom Verfasser mit durchschnittlich 0,40 m/s ermittelt. In weiteren Quellwegen nimmt sie rasch zu, in engeren nähert sie sich dem Werte Null.

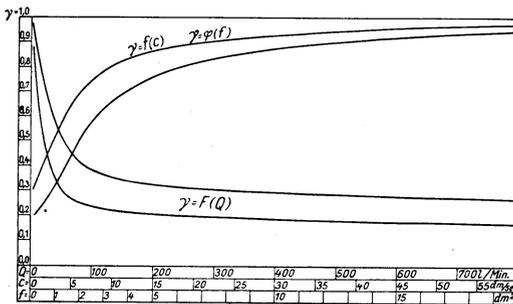
Allen (128) fand den Widerstand aufsteigender Gasblasen — wie schon Newton — proportional dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit.

Bischof (129) findet bei Versuchen mit engeren Rohren $c = 24$ cm/s. Henrich (130) erhält gleichfalls $c = 24$ cm/s, der Wert kommt ihm aber zu klein vor. Darapsky verwendet Rohre bis 96 mm Durchmesser und erhält ebenfalls kleine Werte (131). Höfer (132) bestimmt eine große Zahl von Blasengeschwindigkeiten mittels eigener zweckmäßiger Apparate. Er findet Werte bis 34 cm/s. Durch Steigerung der Luftzufuhr an Mammutpumpen errechnet er Werte bis zu 161 cm/s und höher. Es ist fraglich, ob diese Werte noch unserem Begriffe der Voreilgeschwindigkeit entsprechen; es dürfte sich mehr um einen kontinuierlichen Gasstrom mit mitgerissenen Flüssigkeitsquanten handeln. Exner (133) stellte Versuche im Lunzer See an. Die Blasen besaßen Durchmesser von 2 und 20 cm und stiegen aus maximal 30 m Tiefe empor. Er fand ziemlich unabhängig von der Tiefe für die erste Größe $c = 0,26-0,286$ m/s und für die Blasen von 20 cm Durchmesser Geschwindigkeiten von 0,63—0,68 m/s. Es ist zu beachten, daß diese Blasen gleichsam in ∞ weiten Rohren aufsteigen.

Unter Berücksichtigung der Voreilgeschwindigkeit c findet man für das spezifische Gewicht des Gemisches

$$\gamma = \frac{1}{2n} \cdot \left(n + \frac{r}{p} - 1 \right) \pm \sqrt{\left[\frac{1}{2n} \cdot \left(n + \frac{r}{p} - 1 \right) \right]^2 + \frac{1}{n}}. \quad (6)$$

Hierbei ist $n = \frac{f \cdot c}{Q}$, worin f der (konstante) Querschnitt und Q die Er-
giebigkeit bedeuten. Die Gleichung zeigt, daß neben der Voreil-
geschwindigkeit auch der Querschnitt und die Schüttungsmenge, also



Gesetze vom Optimum des Querschnittes und Maximum der Schüttung bei gasführenden Quellen. Die Untersuchung der zuletzt erwähnten Funktion liefert einige Ergebnisse, die für das Verständnis des Wesens der gasführenden Quellen sowie für deren Fassungstechnik von Wert sind. Es zeigt sich vor allem der nach Obigem zu erwartende Einfluß des Schlotquerschnitts auf die Ergiebigkeitsverhältnisse. Je kleiner der Querschnitt, um so steiler die Druckkurve, daher um so größer die Ergiebigkeit. Da aber andererseits der abnehmende Querschnitt den Bewegungswiderstand vermehrt, also die Schüttung herabsetzt, gibt es für jede gasführende Quelle — genau genommen in jeder Tiefenlage derselben — ein Optimum des Querschnittes hinsichtlich der Ergiebigkeit. Auch bei Verwendung von Rohren gleichmäßigen Querschnittes für Quellschleifungen tritt dieses Gesetz augenfällig in Erscheinung; es empfiehlt sich daher, bei Hochführung gasreicher Quellen den günstigsten Steigrohrquerschnitt empirisch zu ermitteln.

Die Konstruktion der Ergiebigkeits-Höhenkurve ergibt eine besondere Eigentümlichkeit der gasführenden Quellen. Sie besitzen ein Ergiebigkeitsminimum; während man eine gewöhnliche aufsteigende Quelle durch Erhöhen ihres Spannungsniveaus oder Drosselung des Auslaufes alle Zwischenwerte der Ergiebigkeit bis zu 0 durchlaufen lassen kann, bricht die Schüttungsmenge der gasführenden Quelle bei einem ihr eigentümlichen Wert unstetig ab und der Ruhespiegel stellt sich in ein Niveau ein, das tiefer liegt als das der letzten Schüttung. Hierdurch findet auch die Tatsache Erklärung, daß manche erbohrten gasführenden Quellen erst eines einmaligen Ansaugens bedürfen, um dann immerwährend zu fließen. Auch der bei gewissen Heilquellen durch Aufpumpen einer Süßwassersäule künstlich hervorgerufene Ruhezustand („Zudecken“ während der Winterzeit) beruht auf der geschilderten Erscheinung.

Die Rolle, welche die Voreilbewegung des Gases im Mechanismus der gasführenden Quellen spielt, wurde vielfach verkannt; während sie — wie wir gesehen haben — die günstige Wirkung des Gases, je nach ihrer Größe, mehr oder weniger herabsetzt, wurde sie von manchen Autoren direkt als die Ursache dieser Wirkung angesehen, und die oben erklärten Mehrleistungen der gasführenden Quellen auf eine hebende Wirkung, welche die Gasblasen auf das Wasser infolge des Auftriebes und des Voreilens üben sollen, zurückgeführt. Der Umstand, daß diese Anschauung in die beste Fachliteratur Eingang gefunden hat, ändert nichts an ihrer Unrichtigkeit. (Siehe die Schriften des Verfassers Nr. 128 und 135 des Schriftenverzeichnisses.)

E. Erbohrte Mineralquellen.

Eine große Zahl therapeutisch und wirtschaftlich bedeutender Mineralquellen wurde durch Tiefbohrung erschlossen. Zumeist erfolgte die Bohrung an Orten, welche bereits natürlich ausfließende Quellen besaßen; in diesen Fällen spricht man mit Unrecht von künstlich erbohrten Quellen; die Bohrung stellt dann nur eine besondere Form der Fassung dar. Andererseits wurden aber auch zufallsweise Mineralquellen

und Thermen durch Bohrung erschroten, die auf Minerale, Petroleum und Nutzwasser abgestoßen worden war; dies tut natürlich ihrer therapeutischen Bedeutung — für welche allein der Charakter des Mineralwassers ausschlaggebend ist — keinerlei Abbruch.

Die in der Absicht, Mineralwasser zu erschroten, in der Nähe natürlicher Quellausläufe angesetzte Bohrung (Fassungsbohrung s. S. 239) kann, wenn sie fündig wird, die bestehenden Verhältnisse in mehrfacher Beziehung verbessern. Die natürlichen Quellwege bieten dem aufsteigenden Mineralwasser meist sehr große Bewegungswiderstände. Selbst in

klaffenden Spalten mit ebenen Stößen findet man den Quellweg gewöhnlich durch Gesteinsdetritus und Quellsedimente auf einen dünnen Schlot eingengt, und diese „Quellader“ nimmt, gleich den auf ebener Talsohle strömenden Flüssen — wohl aus ähnlichen mechanischen Ursachen — „mäan-

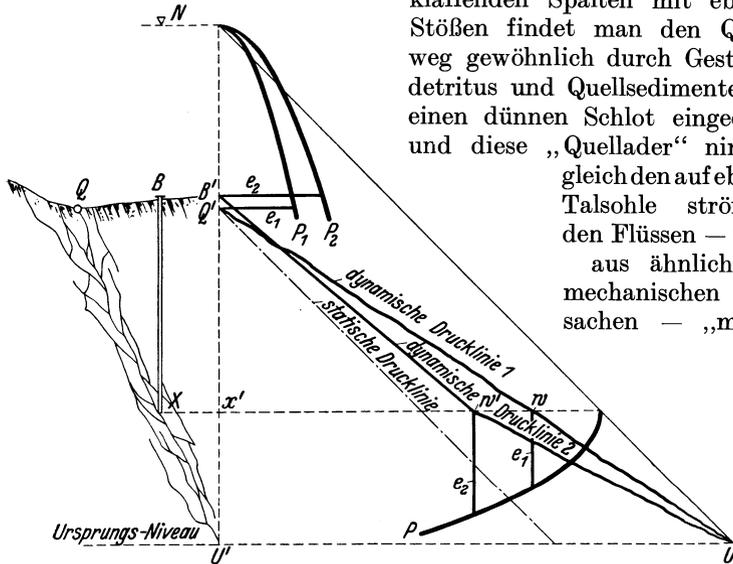


Abb. 205. Ergiebigkeitsvermehrung einer aufsteigenden Mineralquelle durch Bohrung. Die Quelle Q schüttete die Ergiebigkeit e_1 . Das Bohrloch B liefert nach Absperrung von Q infolge geringerer Widerstände die Menge e_2 . Das piezometrische Niveau N bleibt erhalten. Die Ergiebigkeitsparabel P_1 schwenkt nach P_2 aus.

drierend“, einen vielfach gekrümmten und geschlungenen Weg, der durch die rauhe Wandung, die beständigen Richtungs- und Querschnittsänderungen, sehr viel Druckgefälle verzehrt.

An je tieferer Stelle man diese Quellader mit der Bohrung trifft, ein um so längeres Stück des widerstandsreichen Weges schaltet man aus und ersetzt es durch das glatte, gerade Rohr des Bohrloches. Die Quelle setzt das hierdurch gewonnene Druckgefälle in Geschwindigkeit um, d. h. sie gewinnt an Ergiebigkeit. Dieser Gewinn kann zum Teil auch auf Kosten unbekannter wilder Austritte zählen, die auf das verminderte Druckgefälle abnehmend reagieren. In Abb. 205 ist die Wirkung der Bohrung schematisch dargestellt. Die Quelle besitze das piezometrische Niveau N . Beim natürlichen Auslauf in Q bildet sich in der Quellader der dynamische Druckabfall $U-w-Q'$. Im Bohrloch $B-X$ schwenkt die Drucklinie wegen der geringen Widerstände trotz der höheren Geschwindigkeit nach $B'-w'$, so daß die neue Drucklinie in w' einen

Knick macht und das Druckgefälle unterhalb zunimmt ($U' - w'$ steiler als $U - w$). Die Bohrung bewirkt also ein Ausschwenken der Ergiebigkeits-Höhenlinie im Sinne größerer Schüttungen; das piezometrische Niveau bleibt unverändert. Je tiefer die Bohrung auf den natürlichen Quellweg stößt, ein um so längeres Stück desselben schaltet sie aus, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit des Erfolges. Neu erbohrte Quellen benötigen eine gewisse Zeit, bis sich der Beharrungszustand im Fließen einstellt. Die Dauer dieses Überganges ist von einer Menge von Faktoren abhängig, individuell, und läßt sich nicht vorausbestimmen, sondern nur beobachten. Die Bodenwässer antworten auf die durch die Anzapfung bewirkte Druckentlastung zunächst mit einem heftigen Schüttungsschwall. Allmählich bilden sich Druckgefälle zu dem neuen Entnahmepunkt und nähern sich mit der Zeit asymptotisch einem stabilen Zustande. Entsprechend sinkt die Ergiebigkeit und strebt — bei gasführenden Quellen zuweilen mit \pm -Schwankungen (s. S. 214) — dem definitiven Werte zu. Wird gleich der erste Schwall gemessen, so kann die nachträgliche Abnahme 50% und mehr betragen. Sind mit der Einstellung der neuen Druckgefälle Entleerungen größerer Porenvolumina oder Hohlräume verbunden, so kann dies den Eintritt völligen Beharrungszustandes sehr erheblich verzögern. Er ist an der konstanten oder in \pm -Schwankungen um einen konstanten Wert spielenden Ergiebigkeit zu erkennen.

Jedes Bodenwasser besitzt eine bestimmte Kapazität; daher läßt sich die Schüttungsmenge nicht durch Vermehrung der Bohrungen beliebig steigern. Die Erfahrung lehrt, daß mit jeder Neuerschotung eine Ergiebigkeitsabnahme der schon bestehenden Quellen einhergeht und die Gesamtzunahme mit der Anzahl der Bohrungen sinkt. Es ist daher eine gewisse Sparsamkeit am Platze, und der Drosselschieber, ein Armaturstück, das bei Quellen, die durch Schürfung gefaßt sind, verpönt sein muß, kann bei Tiefbohrquellen nützliche Dienste leisten. Badeorte mit ausgesprochener Sommersaison, welche einige Monate des Jahres einen Spitzenbedarf an Mineralwasser haben, können, wenn die Erfahrung ein gewisses Speicherungsvermögen der Bohrquellen ergeben hat, durch Abdrosseln in der Zwischensaison die Quellen „erholen“ lassen (s. auch „Ansaugen“ und „Zudecken“ gasführender Quellen S. 195).

Ein klassisches Beispiel erfolgreicher Bohrungen auf Mineralwasser bilden die Thermen von Bad Nauheim (135), (102). Die Nauheimer Quellen waren schon in prähistorischer und römischer Zeit bekannt und zur Salzgewinnung benutzt worden. 1816 wurde die erste Tiefbohrung angesetzt, der dann eine Reihe weiterer mit wechselndem Ergebnis folgten (Abb. 206). Interessant ist die Eruption des Bohrloches VII, im Jahre 1846, $5\frac{1}{2}$ Jahre nach dem Aufgeben der Bohrung (s. S. 230). Als die Bohrung VII infolge schadhafte gewordener Verrohrung in der Schüttung nachließ, wurde 1852—1855 9,8 m östlich von ihr mit Erfolg das Bohrloch XII abgestoßen. Doch wurde auch VII durch eine neue Verrohrung wieder ergiebig. 1899 stieß Lepsius das Bohrloch XIV ab, welches in 209,43 m Teufe, ohne den Verwurf selbst anzufahren, wasserfühndig wurde.

Nach Steuer werden die Nauheimer Quellen von einem vadosen Solwasserstrom gespeist, der auf langem Wege aus Ost oder OSO unter dem basaltischem Vogelsberg hindurch zuströmt. Steuer erklärt seine Erwärmung aus dem Wärmestrom der Erdrinde oder dem Wärmegehalt der juvenilen Kohlensäure (s. S. 168). Das piezometrische Niveau dieses

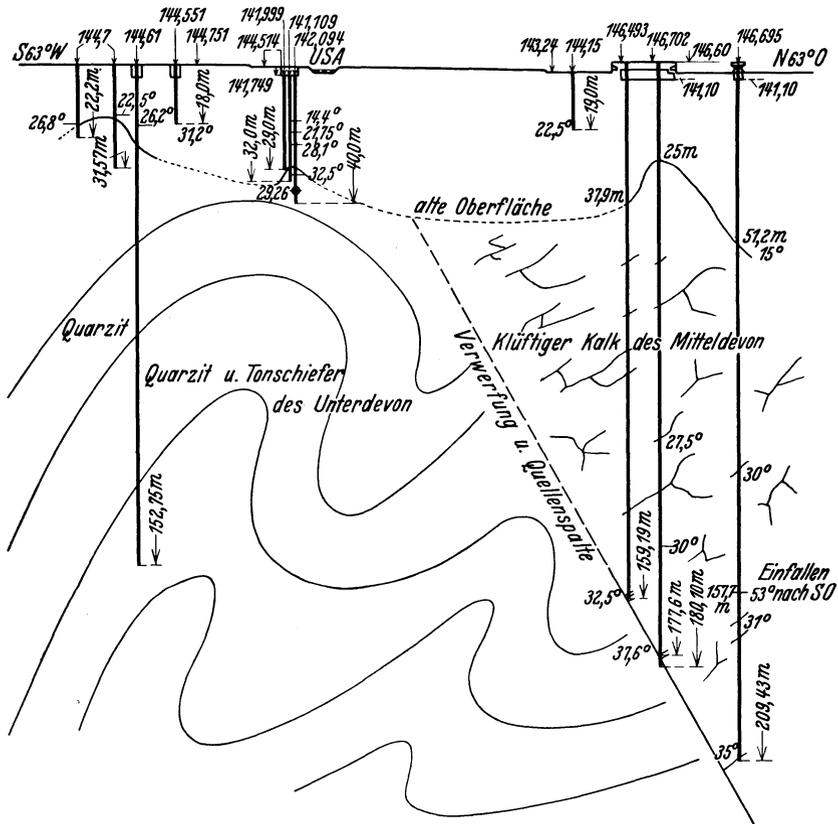


Abb. 206. Geologisches Profil (WSW-ONO) von Bad Nauheim (enthaltend die Mehrzahl der Bohrungen).

Die Verwerfung zwischen mitteldevonischem Kalk und Quarzit und Tonschiefer des Unterdevons ist sehr wahrscheinlich Hauptquellspalte. Ihr Ausbiß ist von Talanschwemmungen der Usa überlagert; daher die dort in geringer Tiefe erbohrten Thermalquellen.

(Aus „Grundwasser- und Mineralquellen-Tagung der Deutschen geologischen Gesellschaft in Frankfurt a. M., 1933“.)

Solstroms an sich ist negativ, die Sole würde aus eigenem Druck die Oberfläche nicht erreichen. Durch Zusitzen großer Mengen juveniler Kohlensäure, Exhalationen der unterirdischen Magmaherde des Vogelsberges, wird die Sohle befähigt, als gasführende Quelle über Niveau auszufließen. Den Quellweg bietet eine SSO-NNWstreichende und mit 60° gegen O einfallende Verwerfung, welche den klüftigen Stringozephalenkalk des Mitteldevons an undurchlässige Quarzite und Tonschiefer des Unterdevons stoßen läßt. Da die alte Oberfläche des Ge-

steins mit 20–30 m mächtigen Schuttmassen überlagert ist, verbreitete sich das Thermalwasser ehemals vom Ausbiß der Verwerferspalte grundwasserartig und bildete an den tiefsten Stellen der Oberfläche, in der Nähe des Ausflusses Quellaustritte mit verdünnter Sole. Erst die am linken Ufer, östlich des Ausbisses abgestoßenen Bohrungen, die den Verwurf in Tiefen von 160–210 m unter Oberfläche anfahren, förderten größere Mengen konzentrierter Sole mit Temperaturen von 32,5–37,6° C. Diese erfolgreichen Bohrungen schufen die Grundlage für die Errichtung des bekannten Bades.

Die Quellen von Bourboule [Puy-de-Dôme (77)] entspringen einer großen Spalte im Granit, welche unter 60–70° gegen SO einfällt und

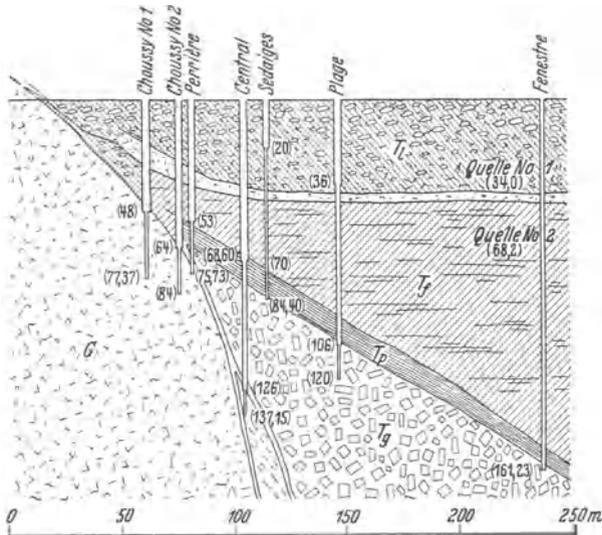


Abb. 207. Geologisches Profil der Thermalquellen von Bourboule, Puy-de-Dôme. [Von Bonnefoy, nach Daubrée (77).]

die Abdachung des Felshanges bildet, an welchen sich der Ort Bourboule lehnt. An den Granit stoßen trachytische oder rhyolitische Tuffe. Zwischen Granit und Tuff keilt nach oben eine Masse brekzienartig zertrümmerten Granites aus, in welcher sich die auf der Tiefe steigenden Thermalwässer verbreiten. Die Granitbrekzie ist von den durchlässigen Tuffen durch eine Schichte undurchlässiger, toniger Tuffe („tuf plastique“) getrennt. Die Thermalwässer durchdringen stellenweise diese Trennungsschichte und bilden in den Tuffen getrennte Thermalwasserhorizonte. Ehemals stieg das Thermalwasser zwischen Granit und Tuff bis zutage und speiste am Spaltenausbiß eine Reihe von Quellen. Doch sind diese nach dem Abstoßen der Bohrlöcher durch deren Wasserförderung versiegt.

F. Beziehungen der Mineralquellen zum süßen Bodenwasser.

Die meisten Mineralquellen durchstoßen als aufsteigende Quellen im letzten Teile ihres Quellweges nahe der Oberfläche eine Zone vadosen

Bodenwassers. Das Vorhandensein einer solchen Zone ist überall wahrscheinlich; da der Quellort in der Regel am tiefsten Punkt des Quellsplattenausbisses liegt, das ist gewöhnlich im Schnittpunkte der Ausbisslinie mit der Achse eines Erosionstales, so durchbricht der Quellschlott den Grundwasserstrom dieses Tales. Es kann aber auch das Spaltensystem, welches der Quelle zum Wege dient, gleichzeitig süßes Spaltenwasser führen. Besteht ein Kontakt zwischen den beiden Wässern, z. B. durch Ausbeissen von Seitenspalten im Grundwasserstauer, so sind zwei Fälle möglich: In der Verbindungsspalte herrscht Druckgefälle vom Quellschlote zum Bodenwasser oder es ist das Umgekehrte der Fall. Im ersten Falle geht beständig Mineralwasser ins Bodenwasser verloren, anderenfalls dringt süßes Wasser in den Quellschlott ein und vermindert die Konzentration des Mineralwassers oder auch sonst seine Qualität.

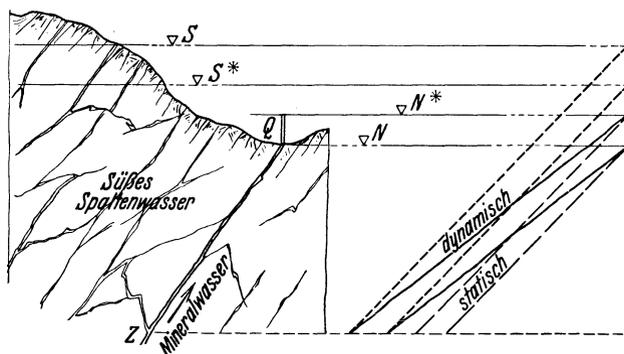


Abb. 208. Beziehung zwischen Mineralwasser und süßem Bodenwasser.

Im Auslaufniveau N sitzt der Quelle Q süßes Spaltenwasser bei Z zu. Der Spiegel des Spaltenwassers S müßte bis S^* abgesenkt, oder der Quellauslauf bis zum Niveau N^* erhöht werden, um gegenseitiges Gleichgewicht herzustellen.

Es stehen gleichsam der statische Druck des Bodenwassers mit dem hydraulischen Druck der Quellader im Kampfe. Da der Fließdruck infolge des Druckgefälles immer größer ist als der rein statische Druck, so bleibt die Quelle immer noch Sieger, wenn ihre Auslaufhöhe im Spiegelniveau des Bodenwassers liegt. Die Auslaufhöhe, in welcher die Quelle weder Mineralwasser verliert noch Süßwasser aufnimmt, kann um so tiefer liegen, je tiefer die Verbindungsstelle beider Wässer im Quellschlote liegt (Abb. 208). In der Natur können sich die Verhältnisse durch Abzweigungen in verschiedener Höhe sehr verwickelt gestalten.

Das bisher Gesagte gilt für Quellen, welche kein Gas oder nur so geringe Mengen desselben führen, daß ihre Druckverhältnisse hierdurch nicht beeinflußt werden; bei gasführenden Quellen (s. S. 191) wächst der Druck mit der Tiefe langsamer und es kann das mit der Quelle im Gleichgewichte stehende Bodenwasserniveau unter der Auslaufhöhe der Quelle liegen.

Man ist bei der Fassung von Mineralquellen, deren Muttergestein von mächtigen Alluvionen überlagert ist, oft trotz sorgfältigster Arbeit nicht in der Lage, alle Ausbisse von Seitenspalten abzudichten. Verlegt

man dann die Auslaufhöhe der Quelle (durch „Spannen“) nach ober- tag, so erleidet sie an den nicht abgedichteten Spaltenausbissen Verluste, es bilden sich unsichtbare „wilde“ Austritte im Untergrund. Liegen diese Verluststellen unter Grundwasserspiegel, so haben sie dessen Druckhöhe zu überwinden, was ihrer Spannung auf Grundwasserspiegel gleichkommt. Steigender Grundwasserspiegel vermindert dann die Austrittsmenge zugunsten der gefaßten Quelle. Man macht daher häufig die Beobachtung, daß mit steigendem Pegel des benachbarten Gewässers (steigendem Grundwasserspiegel) die Ergiebigkeit der gefaßten Quelle zunimmt, ohne an Konzentration einzubüßen (s. S. 226). Man hat es bei gefaßten aufsteigenden Quellen häufig in der Hand, durch richtige Wahl des Auslaufniveaus einerseits oder Regulierung des Bodenwasser- spiegels andererseits das Zusitzen von Süßwasser oder den Verlust von Mineralwasser zu verhindern bzw. einzuschränken.

Nach dem Gesagten muß es wundernehmen, daß die Mineralquellen nicht in höherem Maße durch Bodenwasser verdünnt und qualitativ geschädigt werden, als dies praktisch wahrgenommen wird. Die Ursache liegt vielfach in einem gewissen Selbstschutz der Quellen. Sehr viele Mineralquellen und besonders Thermen setzen unter dem Einfluß der Druckverminderung (Entgasung) und Abkühlung im obersten Teile ihres Schlotese Sedimente, Sinter, ab (s. S. 156). Diese Sinter, deren Ab- scheidung durch die Berührung mit dem kalten Bodenwasser meist noch gefördert wird, bilden allmählich eine dichte Trennungswand zwischen den beiden Wässern und verhindern den weiteren Kontakt („Sprudelschale“ der Karlsbader Thermen, „Thermalschale“ der Badener Quellen usw.).

III. Quellenbeobachtung.

Der individuelle Charakter der einzelnen Mineralquelle stellt keines- wegs etwas absolut Konstantes dar; alle ihre Eigenschaften erfahren in der Zeit mehr oder weniger erhebliche Änderungen und unterliegen Schwankungen, deren Eigenart selbst wieder zur individuellen Charakte- ristik der Quelle gehört.

Außer diesen normalen Schwankungen können überdies fallweise außerordentliche Änderungen auftreten, hervorgerufen durch natürliche Ursachen, die selbst nur selten auftreten (z. B. Erderschütterungen), oder durch störende Einflüsse auf den Quellmechanismus durch Menschenhand.

Die Wissenschaft hat in dem Bestreben, die Charakterbilder der Mineralquellen immer schärfer zu zeichnen, großes Interesse an der Feststellung dieser Schwankungen, Messung ihrer Größe und Beob- achtung ihres zeitlichen Verlaufes; letzten Endes sucht sie die Ursachen der Änderungen zu ergründen.

Auch für den zur Neufassung oder Sanierung von Mineralquellen berufenen Ingenieur sind diese Beobachtungen von Wichtigkeit; ihm obliegt es, gegebenenfalls Maßnahmen durchzuführen, welche unerwünschte Schwankungen der Ergiebigkeit oder im Chemismus beheben oder vermindern.

Für den Balneologen, der bei der Ordination der Mineralquelle die richtige Dosierung erwägt, ist es angezeigt, die Schwankungen im Chemismus und in den physikalischen Eigenschaften der Quelle zu kennen.

Das Bild des normalen Verhaltens der Quelle bildet die Basis für das rechtzeitige Erkennen abnormaler, durch äußere Störungen hervorgerufener Veränderungen und deren Größe, mithin ein wichtiges Instrument des Quellenschutzes.

Diese Gründe lassen es geboten erscheinen, die Schwankungen und Veränderungen bei jeder Mineralquelle nach Art und Größe durch fortlaufende Beobachtung zu kontrollieren. In richtiger Erkenntnis der Bedeutung dieser Quellenbeobachtung unterhält heute ein Großteil der Besitzer von Heilquellen eigene Beobachtungsstationen, ausgerüstet mit den nötigen Instrumenten und Laboratorien und betreut von fachmännisch gebildeten Leitern. Auch die Staatsverwaltungen nehmen mit Rücksicht auf das öffentliche Interesse an der Heilquelle allmählich durch Verordnungen oder gesetzliche Bestimmungen (siehe S. 267) Einfluß auf die Durchführung der Beobachtungen. In Böhmen gehört die Kontrolle der Beobachtungen zu den Aufgaben des staatlichen Quelleninspektorates.

Die Beobachtung soll sich auf alle meßbaren Eigenschaften der Quelle erstrecken, das ist

Ergiebigkeit des Quellgutes: a) an Mineralwasser, b) an Begleitgasen;

Temperatur;

Spannung (wo diese veränderlich ist!);

Chemismus (einschließlich Radioaktivität, Leitfähigkeit, Gefrierpunkt, katalytische Wirkung, s. „Kontrollanalysen“ S. 224);

Gehalt an organischen Keimen (wenn solche vorhanden sein sollten).

Außer auf diese, die Quelle direkt betreffenden Eigenschaften, soll sich die Beobachtung auch auf alle Umstände ausdehnen, welche auf diese Eigenschaften Einfluß nehmen können oder mit ihnen in irgendeinem Zusammenhang stehen können. Gegenstand dieser Beobachtungen können z. B. sein: Luftdruck,

Lufttemperatur,

Bodentemperatur,

Niederschlagsmenge,

Pegelstand der benachbarten Gewässer,

Grundwasserstände in der Umgebung der Quelle und im vermutlichen Einzugsgebiete.

1. Ergiebigkeitsmessung.

A. Wasserergiebigkeit.

Es gibt keine natürliche Quelle mit konstanter Ergiebigkeit; alle zeigen selbst im ungestörten Zustande individuelle Schwankungen, regelmäßig periodische oder unregelmäßige, nach verschiedenen Zeiträumen, je nach den Ursachen.

Durch irgendwelche äußere Umstände gestörte Quellmechanismen zeigen überdies eine fallende oder steigende Tendenz. Gasführende Quellen unterscheiden sich von gasfreien oder gasarmen immer durch eine gewisse Unruhe in der Schüttung. Das prozentuelle Ausmaß dieser kurzperiodischen Schwankungen (Intermittenz) wächst erfahrungsgemäß mit der Erhöhung der Spannung der Quelle. Die zeitliche Periode der Schwankungen kann Sekunden, aber auch Stunden, Tage und längere Zeiträume messen.

Würde man die von der Quelle geschüttete Wassermenge speichern und wäre Q_t das nach Ablauf der Zeit t gesammelte Wasservolumen, so stellt der Quotient $\frac{Q_t}{t} = E$ jene gedachte, konstante Ergiebigkeit dar, welche in derselben Zeit t die gleiche Menge lieferte wie die schwankende Quellergiebigkeit; E ist die durchschnittliche oder mittlere Ergiebigkeit in der Zeit t ; beispielsweise die „mittlere Tagesergiebigkeit“.

Läßt man die Zeit t und mit ihr die Menge Q_t allmählich Null werden, so strebt der Quotient beider Größen einem für jeden Zeitpunkt bestimmten Grenzwert $e = \frac{dQ_t}{dt}$ zu. e ist die augenblickliche Ergiebigkeit im Zeitpunkte t .

Die Bestimmung der augenblicklichen Ergiebigkeit einer Quelle, fortlaufend über einen bestimmten Zeitraum, liefert die Quellergiebigkeit als Funktion der Zeit, charakterisiert demnach die Quelle hinsichtlich dieser Eigenschaft erschöpfend. Solche Messungsmethoden werden daher vorwiegend für wissenschaftliche Zwecke angewendet, insbesondere wenn der Einfluß eines äußeren Faktors untersucht werden soll, dessen Größe selbst kurzperiodischen Änderungen unterworfen ist. Diesen Zwecken dienen die registrierenden Momentmeßapparate (S. 206).

Handelt es sich um die Bestimmung der für den Kurgebrauch oder für die Versendung von Heil- oder Tafelwässern verfügbare Menge oder um die Untersuchung des Einflusses von Faktoren, die sich selbst nur langsam ändern, z. B. Messungen aus Gründen des Quellenschutzes usw., so ist die Bestimmung von Durchschnittsergiebigkeiten zweckmäßiger; man bedient sich dann meist der volumetrischen Messung oder verwendet Summenmeßapparate (nichtregistrierende Wassermesser).

Volumetrische Messung. Die volumetrische Messung bestimmt zwei zusammengehörende Werte von Schüttungsvolumen und Zeit (Q_t und t). Es kann hierbei das Volumen konstant gewählt werden, gleich Inhalt des gefüllten Meßgefäßes: Vollmessung; oder es wird die Zeit und das Volumen gemessen: Pegelmessung. Die einfachste und gebräuchlichste — obwohl nicht die beste — Methode ist die der Vollmessung. Ein Gefäß von bekanntem Inhalt (J) wird bis zur Eichmarke (oder Rand) gefüllt und die nötige Füllzeit mit der Stoppuhr gemessen. Bei der Pegelmessung ist das Meßgefäß mit einer Volumskala versehen, welche den jeweiligen Inhalt nach Beruhigung des Spiegels abzulesen gestattet oder die Schüttung wird in ein derartiges Gefäß überfüllt.

Der Quotient $E = \frac{J}{t}$ gibt die Durchschnittsergiebigkeit während der

Meßdauer t . Die Ergiebigkeit von Mineralquellen wird meist in Minutenlitern angegeben; da die Stoppuhr Sekunden und Bruchteile derselben angibt, rechnet man:

$$\frac{J \text{ (Liter)} \cdot 60}{t \text{ (Sekunden)}} = E \text{ (Minutenliter)}.$$

Die Gleichung $E \cdot t = J$ (konstant) stellt eine Hyperbel dar. Für jedes J (Meßgefäß) gilt eine solche Hyperbel; dieselbe kann — auf Millimeterpapier genau gezeichnet — bei langen Meßreihen mit Vollmessungen ($J = \text{konst.}$) zum raschen und genügend genauen Abgreifen der Ergiebigkeit dienen. Noch bessere Dienste leistet eine Tabelle der Ergiebigkeiten für um $\frac{1}{10}$ Sekunde fortschreitende Zeiten, erstreckt über den bekannten Schwankungsbereich der Quelle.

Quellmessungspraxis. Das Meßgefäß muß — und zwar unter den bei der Messung herrschenden Umständen — tatsächlich das Volumen besitzen, welches man in Rechnung stellt bzw. die Ableseskala bei Pegelmessung muß richtig zeigen. Die rechnerische Ermittlung des Inhaltes von Vollmeßgefäßen darf nur behelfsmäßig oder dort in Anwendung kommen, wo geringere Ansprüche auf Genauigkeit dies erlauben. Sonst wird das Gefäß geeicht, und zwar unter tunlichst denselben Verhältnissen, die bei der Messung herrschen. Also z. B. in der gleichen Aufstellung und bei gleicher Temperatur des Meßgutes. Je massiver die Konstruktion des Meßgefäßes, um so weniger sind Volumsänderungen durch Deformation zu befürchten. Blechgefäße zylindrischer Form, womöglich mit Querspreizen, sind stabiler als solche mit ebenen Wänden. Hohe Gefäße mit kleinerer Basis geben genauere Messungen als niedere mit größerem Spiegel, da sich der Ablesefehler an der Vollmarke oder am Pegel mit der Spiegelfläche multipliziert.

Die durch den Quellstrahl verursachten Spiegelwellen erschweren das Erkennen des „Voll“momentes bzw. das rasche Ablesen des Inhaltes an der Volumskala; man baut zu ihrer Dämpfung zweckmäßig durchlochte Scheidewände in das Meßgefäß.

Bei künstlichem Lichte gelingt die Ablesung des Spiegelstandes am besten, wenn man eine elektrische Glühbirne neben dem Pegel zur Hälfte ins Wasser taucht.

Absolut richtige Zahlen über die Ergiebigkeit einer Quelle erhalte man durch Auffangen der gesamten Schüttung. Doch ist dies bei Mineralheilquellen wegen des Kurbetriebes und aus anderen Gründen meist nicht tunlich. Bei Quellen, deren chemische Zusammensetzung den Einbau von Summenwassermessern in den Quellauslauf erlaubt, könnte damit eine ähnliche Genauigkeit der Messung erzielt werden. Doch eignen sich hierfür nur sehr wenige Mineralquellen; es scheiden alle Mineralwässer aus, welche die Metallteile der Wassermesser angreifen und alle sinternden Wässer. Ein für Mineralquellen und Thermen, welche nicht oder nur wenig sintern, geeigneter Summenwassermesser ist z. B. der „Trommelzähler“ von Siemens, dessen Prinzip in Abb. 209 dargestellt ist. Nach Füllung der Kammer I tritt das Wasser durch b_2 in Kammer II ; die Verlegung des Schwerpunktes bewirkt Drehung in

der Pfeilrichtung, Entleerung von *I* durch e_1 und Füllung von *II* usw. Die Umdrehungen werden von einem Zählwerk summiert. Die Firma Siemens & Halske liefert diese Wassermesser mit einer Fehler-toleranz von $\max \pm 1\%$ bis zur Höchstbeanspruchung von 200 l/min; eine Spezialausführung mit höchstens 0,2% Fehler bis 15 l/min.

Man behilft sich im allgemeinen mit periodisch vorgenommenen stichprobenartigen volumetrischen Messungen kürzerer Dauer und schließt aus diesen auf die Gesamtschüttung; doch muß man, da bei solchem Schlusse „aus dem Kleinen ins Große“ die Fehler multipliziert werden, diese Messungen besonders genau durchführen.

Es ist zweckmäßig, möglichst große, stabile Meßgefäße in der Nähe des Quellauslaufes einzubauen, sog. „Meßstationen“. Doch setzen eine Reihe von Umständen ihrer Größe häufig eine Grenze: mangelnder Raum, Begrenzung der Zeit, für welche die Quelle dem Betriebe entzogen werden darf, Arbeitszeit des Meßpersonals usw. Der Bodenablaß bei stabilen Meßgefäßen ist so zu bemessen, daß die Entleerungspausen nicht zuviel Zeit beanspruchen. Ist große Sparsamkeit mit der Zeit geboten, so verwendet man bei Meßreihen zwei oder mehr Gefäße. Das Einleiten des Ablaufstrahles der Quelle in das Meßgefäß geschieht bei kleinen Meßgefäßen durch „Einrücken“ des Gefäßes mit der Hand. Stabile Meßstationen erhalten Einrückvorrichtungen in Form schwenkbarer Rohre oder Rinnen. Die Messungsweise soll sich dem Schüttungsbilde der Quelle möglichst anpassen, das man am besten durch einen registrierenden Momentmeßapparat oder aus längeren Meßreihen mit kleinem Meßgefäße gewinnt. Gasfreie Mineralquellen ändern ihre Ergiebigkeit meist in so großen Zeiträumen, daß eine Messung täglich mit einem der Schüttungsmenge angepaßten Meßvolumen vollauf genügt. Will man z. B. dem Fehler der persönlichen Gleichung beim Ein- und Ausrücken der Stoppuhr, der nach Erfahrung des Verfassers maximal ca. 0,4 Sekunden beträgt, einen Einfluß von 1 bzw. $\frac{1}{2}\%$ erlauben, so muß man den Gefäßinhalt in Litern 0,67- bzw. 1,3mal der Ergiebigkeit in Minutenlitern wählen. Größere Volumina geben entsprechend genauere Werte; oder man vermindert diese \pm -Fehler durch Meßreihen, aus deren Ergebnissen man das arithmetische Mittel zieht.

Gasführenden Quellen ist außer den erwähnten langsamen Schwankungen meist eine ziemlich regelmäßige Schwankung in kurzen Perioden (Intermittenz) eigentümlich. Ihren Einfluß schließt man um so mehr aus, je größer man das Meßgefäß wählt. Bei Meßreihen in diesem Falle ist natürlich zu vermeiden, daß zufällig die Füllzeiten in das eine und die Pausen zur Entleerung des Gefäßes in das andere Extrem der Schwankung fallen. In Abb. 210 ist der Einfluß des Meßvolumens auf das Resultat dargestellt. Zugrunde gelegt ist das Schüttungsbild einer idealen Quelle mit regelmäßigen Schwankungen von 40–70 Minuten-

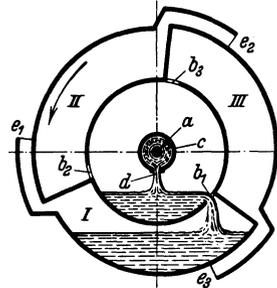


Abb. 209. Trommelzähler.
(Nach Siemens.)

litern in einer Periode von 10 Minuten. Die Durchschnittsergiebigkeit $E = 58,31$ l/min. Die Linien a und b drücken das veränderliche Meßergebnis bei wachsender Meßdauer bzw. zunehmendem Meßvolumen aus, bei I bzw. II beginnend. Die durch Kreise markierten Werte sind Einzelmessungen mit einem 100-Litergefäß, vorgenommen mit Entleerungspausen von 78 Sekunden. Die gebrochene Linie m zeigt die arithmetischen Mittel aus diesen Messungen.

Da die Ergiebigkeit der aufsteigenden Quellen eine Funktion der Spannungshöhe ist (s. S. 185), hat eine Schüttungsziffer nur im Verein mit der Höhenangabe der Spannung, bei welcher die Messung erfolgte,

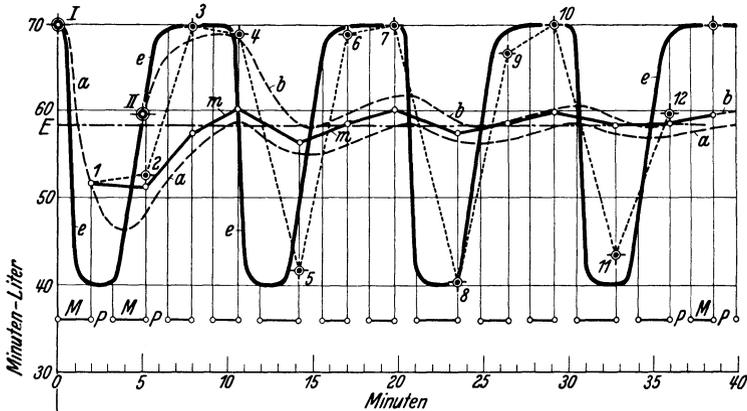


Abb. 210. Messungen an einer idealen Quelle mit Ergiebigkeitsschwankungen gleichmäßiger Periodizität.

Ergiebigkeits-Max. = 70 l/min. Ergiebigkeits-Min. = 40 l/min. Periode = 10 min. Wirkliche Durchschnittsschüttung $E = 58,31$ l/min. e Linie der Momentanergiebigkeit. a Linie der wirklichen Durchschnittsergiebigkeit ab Zeitpunkt I . b desgl. ab Zeitpunkt II . \odot Einzelmessungen mit Meßvolumen $V = 100$ l; Entleerungspause = 78 s. M Messungsdauer; P Entleerungspause. $1-2-3\dots$ Linie der scheinbaren Schüttungsschwankungen auf Grund der Einzelmessungen. m Linie der Durchschnittsergiebigkeit auf Grund der Einzelmessungen.

wissenschaftlichen und praktischen Wert. Man vergesse daher nie, in den Messungsprotokollen und -büchern die Spannungshöhen und deren Änderungen zu vermerken. Bei der Verwendung alter Messungsziffern ist deshalb Vorsicht am Platze. Neufassungen und Änderungen in der Ableitung des Mineralwassers sind meist mit Änderungen der Spannungshöhe verbunden. Die Auslaufhöhe muß mit der Spannungshöhe nicht identisch sein (s. S. 259).

Messung der Augenblicksergiebigkeit. Registrierende Meßapparate. Gilt es, die momentane Ergiebigkeit und ihre Änderungen zu messen, so versagt die volumetrische Methode, da sie nur die Durchschnittsergiebigkeit während der Meßdauer, also an Stelle der stetigen Schüttungskurve eine — in den Entleerungspausen unterbrochene — Stufen-

¹ Die Bezeichnung „Danaiden“ stammt von E. Brauer (136) 1892. Unabhängig davon beschrieb F. Steiner den Meßapparat im Jahre 1900 (137).

linie liefert. Man bedient sich für solche, vorwiegend wissenschaftlichen Zwecken dienende Messungen registrierender Momentmeßapparate. Nachstehend seien die Prinzipien, auf welchen derartige Apparate beruhen, entwickelt.

Danaiden. Diese Apparate¹ bestehen aus einem Retentionsgefäß, welches die Quellschüttung aufnimmt und durch eine Bodenöffnung wieder abströmen läßt. Solange der Zustrom stärker ist als der Ablauf, steigt der Spiegel im Gefäß; da aber die Ablaufmenge mit der Spiegelhöhe zunimmt, erreicht letztere bei entsprechend bemessener Bodenöffnung einen Stand, in welchem Zu- und Ablauf gleich sind, und der Spiegel eine Ruhestellung einnimmt. Jeder Ergiebigkeit entspricht eine andere derartige Spiegelhöhe, d. h. die Bewegung des Spiegels bildet die Ergiebigkeitsschwankungen ab. Allerdings nicht proportional, weil die Ablaufmenge mit der Quadratwurzel der Spiegelhöhe steigt. Auch braucht der Spiegel — je nach dem Querschnitt des Gefäßes — eine gewisse Zeit, um sich der geänderten Ergiebigkeit anzupassen, die Anzeige des Apparates folgt also zeitlich nach und erreicht nicht die den Ergiebigkeitsmaxima entsprechenden Höhen. Beide Fehler lassen sich rechnerisch oder graphisch beseitigen. Bezeichnen wir mit

- e_t die Momentergiebigkeit zur Zeit t ,
- A die Ablaufmenge aus dem Gefäß,
- F den Querschnitt des zylindrischen Gefäßes,
- f den Querschnitt der Ablauföffnung,
- h_t die Stauspiegelhöhe zur Zeit t ,
- k eine dem Apparate eigene Konstante,
- μ den Ausflußkoeffizienten,

so entleert oder füllt sich das Gefäß in der Zeit dt um

$$F \cdot dh = (e_t - A) \cdot dt,$$

woraus

$$e_t = F \cdot \frac{dh_t}{dt} + A,$$

und da zwischen A und h_t die Beziehung

$$A = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2gh_t} = k \cdot \sqrt{h_t}$$

besteht:

$$e_t = F \cdot \frac{dh_t}{dt} + k \cdot \sqrt{h_t}.$$

Allerdings ist μ nicht strenge konstant, sondern selbst eine Funktion von h . Doch spielt dieser Fehler keine Rolle, wenn

man die Kurve $A = k \cdot \sqrt{h}$ aus empirisch bestimmten Punkten graphisch bestimmt. Abb. 211 zeigt, wie der Ausdruck für e_t für einzelne Punkte der Danaidenspiegelkurve ermittelt werden kann. Die Aufzeichnung dieser Kurve erfolgt mittels Schwimmers auf einem Uhrtrommelstreifen. Der

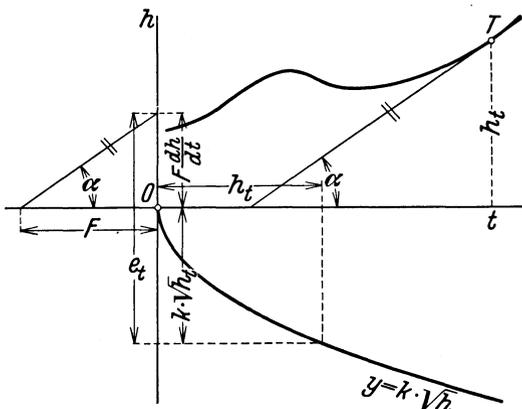
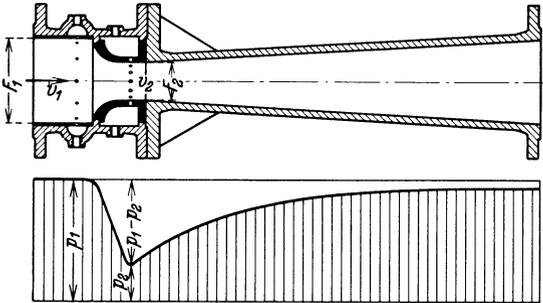


Abb. 211. Konstruktion der richtigen Momentergiebigkeit e_t aus der Ordinate h_t der Danaidenspiegelkurve.

Apparat hat den Vorzug großer Einfachheit. Bei stark sinternden Quellen ist er leicht zu reinigen.

Das uralte Prinzip des Venturimessers kommt heute für die Momentmessung und Registrierung von Ergiebigkeitsschwankungen häufig in Anwendung.

Bezeichnen F_1 und F_2 (Abb. 212) den normalen und den verengten Querschnitt des Venturirohres, v_1 und v_2 die dortigen Fließgeschwindigkeiten und p_1, p_2 die entsprechenden hydrodynamischen Drücke, so ist



und wenn

$$p_1 - p_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g};$$

und wenn

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{v_2}{v_1} = m$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{m^2 - 1}},$$

und die Ergiebigkeit

$$e = F_1 \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{m^2 - 1}} = \text{Konst.} \cdot \sqrt{p_1 - p_2}.$$

Die Schwankungen der Druckdifferenz $p_1 - p_2 = h$ lassen sich entweder mittels Skala und Zeiger ablesen oder sie werden auf einem laufenden Streifen registriert. Da nicht h , sondern \sqrt{h} der Wassermenge proportional ist, muß die Skala parabolisch verzerrt werden (Abb. 213).

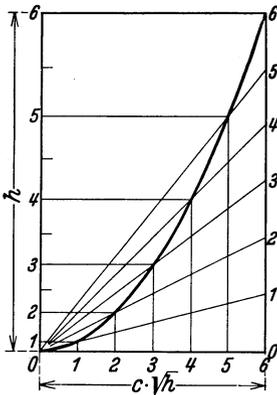


Abb. 213. Konstruktion des nach einer Parabel verzerrten Ablesemaßstabes.

Die erhältlichen Apparate werden auch mit patentierten Einrichtungen versehen, welche den Zeigerausschlag proportional der Ergiebigkeit regulieren („radizieren“) und besitzen dann lineare Skalen. Bei den Mengennessern Patent „Klinkhoff-Zelenka“ geschieht dies durch Abwälzung zweier nach bestimmten Kurven geformter Hebel aufeinander (Abb. 214). Bei den Apparaten der Firmen Bopp & Reuther, Siemens & Halske z. B. kommt die Druckdifferenz im Niveauunterschied der Spiegel eines mit Quecksilber als Sperrflüssigkeit gefüllten U-Rohres zum Ausdruck; dadurch, daß der eine Schenkel des U-Rohres konstanten

Querschnitt besitzt, der andere aber nach einem Paraboloid geformt ist, werden die Spiegelbewegungen im ersten Schenkel proportional der Quadratwurzel der Niveaudifferenz, also proportional den Ergiebigkeitsschwankungen. Ähnlich wie das Venturirohr wirkt jedes in eine Rohrleitung eingebaute Drosselorgan, z. B. die sog. „Meßflanschen“, „Normblenden“, „Normdüsen“, „Stauroste“ usw. (Abb. 215). Für die Wahl derartiger Momentmesser für Quellergiebigkeiten wird zumeist die Be-

dingung besonders geringen Druckverlustes entscheidend sein¹.

Im Venturikanalmesser (z. B. von Siemens & Halske, Berlin) kommt das Venturiprinzip zur Ergiebigkeitsmessung des in einem offenen Gerinne strömenden Wassers zur Anwendung; er verursacht, wie alle Venturimeter, nur geringen Gefällsverlust. Bei stark sinternden Quellen ist wegen des verhältnismäßig großen Einflusses einer nur kleinen Querschnittsänderung auf die Meßgenauigkeit, von der Verwendung von Venturimetern abzuraten. Das Prinzip der Pitotschen Röhre kann zur Konstruktion von Momentmessern verschiedener Ausführung dienen. Die Einrichtung nach Cole [beschrieben von Müller (138)] besteht aus einem U-Rohr mit einer Sperrflüssigkeit, deren spezifisches Gewicht σ nur wenig von dem des Wassers verschieden ist (Abb. 216). Das Gleichgewicht fordert die Bezie-

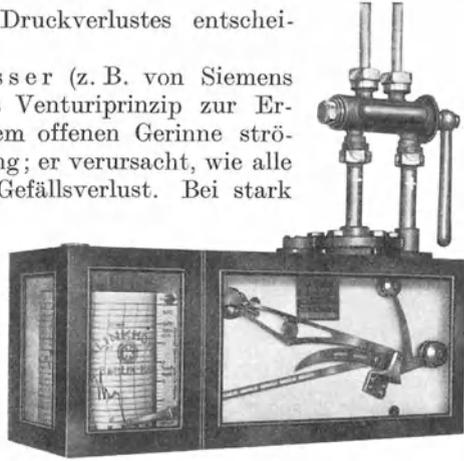


Abb. 214. Mengenmesser. Pat. Klinkhoff-Zalenka. Radiziervorrichtung mittels Wälzhebel.

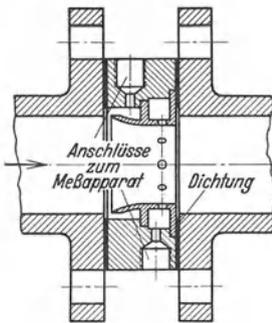


Abb. 215 a.

hung $p + h = h \cdot \sigma$; und da $p = \alpha^2 \frac{v^2}{2g}$ ist, erhält man für die Ergiebigkeit

$$e = F \cdot v = \frac{F}{\alpha} \sqrt{2gh \cdot (\sigma - 1)} = K \cdot \sqrt{h}.$$

Die Konstante K muß durch Eichung bestimmt werden. Ist z. B. $\sigma = 1,25$, so wird $\frac{1}{\sigma - 1} = 4$, d. h. die Ablesung

¹ Siehe auch die „Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen und Blenden“, Strömungsausschuß des V. D. I., Din-Normblatt 1952.

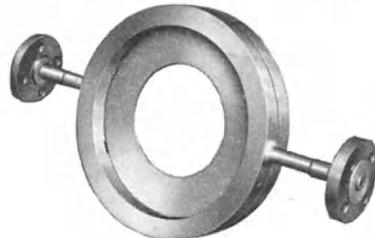


Abb. 215 b.

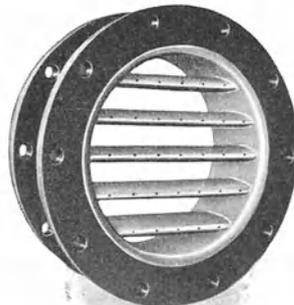


Abb. 215 c.

Abb. 215 a–c. Drosselorgane für Meßzwecke. a Düsenmeßflansch (Ausf. durch Siemens & Halske A.-G.). b Deutsche Normblende 1830 (Siemens & Halske A.-G.). c Staurost (nach Prof. Schmidt, Ausf. von Bopp & Reuther.)

von h gibt die vierfache Geschwindigkeitshöhe; das Instrument ist daher sehr empfindlich. In der Ausführung nach Cole erfolgt die Registrierung der Spiegelschwankungen auf photographischem Wege. Die Ablesung geschieht wieder nach einem parabolisch verzerrten Maßstabe.

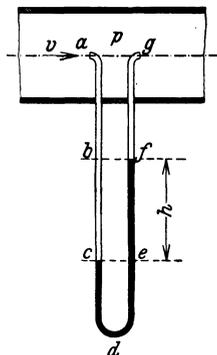


Abb. 216. Pitotsche Röhre.

Gehrt. Prof. Dankwerts (139) beschrieb eine Ausführungsart mit umgekehrtem U-Rohr und einer Sperrflüssigkeit, deren spezifisches Gewicht kleiner als 1 (Mischung von Petroleum und Rüböl), welche sich bei Versuchen des Verfassers zur Messung kleiner Schwankungen bei großen Ergiebigkeiten ausgezeichnet bewährt hat¹. Handelt es sich nicht um die Registrierung der kürzesten Schwankungen (Intermittenz), sondern um die Aufzeichnung von Änderungen längerer Periode, so kann die mechanische Volummessung, verbunden mit einer Registriervorrichtung, sehr gute Ergebnisse liefern. Diesem Zwecke dienen die sog. Kipp- oder Schüttapparate. Die einfachste Konstruktion eines solchen zeigt Abb. 217².

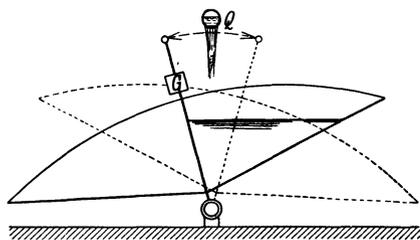


Abb. 217. Schüttapparat, alte Ausführung.

Der Apparat schlägt in die zweite Lage um, wenn die Vertikale durch den Gesamtschwerpunkt rechts der Drehachse fällt. Die Pendelungen werden registriert. Einen Nachteil bilden die Ungenauigkeiten infolge Schwingungen des Wasserinhaltes und das heftige Anschlagen an die Begrenzungsbacken B .³ Verfasser konstruierte zur Aufzeichnung der Ergiebigkeit einzelner Karlsbader Quellen den in Abb. 218a schematisch dargestellten Schüttapparat. Seine Ausführung durch den

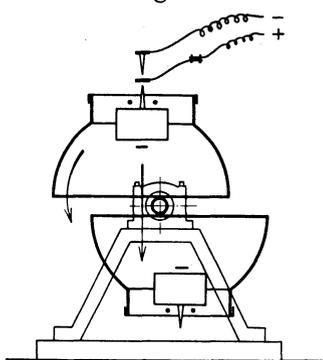


Abb. 218a. Schüttapparat von Kampe (Prinzip).

Mechaniker J. Kettner, Prag, zeigt die Abb. 218 b.

Er besteht aus zwei an einer horizontalen Achse diametral befestigten Meßgefäßen. In

¹ Dieser „Ölheber“ von Dankwerts-Jordan wird von der Firma R. Fieß, Steglitz, geliefert.

² Aus „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ 1908.

³ Einer dem Verfasser als Manuskript vorliegenden Arbeit von F. Moldenhauer, Pawlowsk, ist zu entnehmen, daß dieser i. d. J. 1901/02 an der Ekatherinenquelle in Borschom im Kaukasus registrierende Ergiebigkeits- und Druckmessungen anstellte, um die individuelle Eigenart der Quelle zu studieren, aber auch um den Einfluß von Erderschütterungen festzustellen (s. a. S. 230).

Die Konstruktion des von ihm verwendeten Schüttapparates ist leider den Aufzeichnungen nicht zu entnehmen.

das jeweilig obere fließt die Quelle. Infolge einer kleinen Exzentrizität in der Lagerung übt das gefüllte Gefäß ein Drehmoment um die Achse, ist aber in seiner Stellung verriegelt. Im Augenblicke der vollendeten Füllung löst ein Schwimmer durch elektrischen Kontakt die Verriegelung, die Drehung setzt ein, bis die Gefäße ihre Lage vertauscht haben, in welcher Stellung der Riegel wieder einspringt; das gefüllte Gefäß wird entleert und das leere von neuem gefüllt. Jede Entleerung wird durch elektrischen Kontakt auf einem Uhrtrommelstreifen registriert. Abb. 219a zeigt ein derartiges Diagramm. Die Entfernung der Strichmarken gibt im Zeitmaßstabe die Füllung des Gefäßes an. Mittels einer Ergiebigkeitshyperbel (s. S. 204) lassen sich

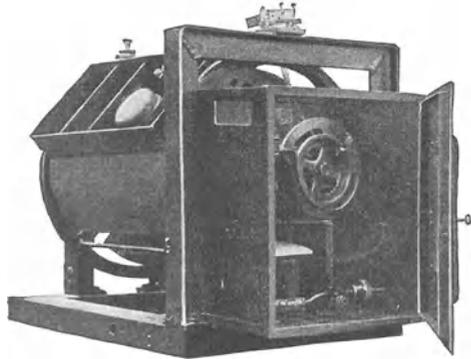


Abb. 218 b. Schüttapparat von Kampe. (Aus Balneologie u. Balneotherapie Bd. 10. Jena 1929.)

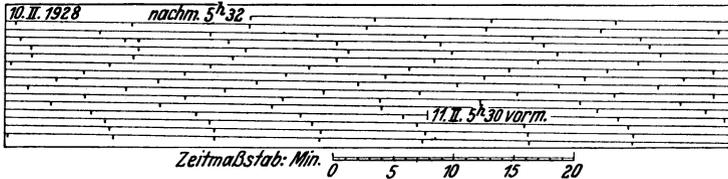


Abb. 219 a. Diagramm des Schüttapparates.

die entsprechenden Schüttungen mit dem Zirkel abgreifen und in ein Ergiebigkeitsdiagramm übertragen. Auf diese Weise wurde aus dem

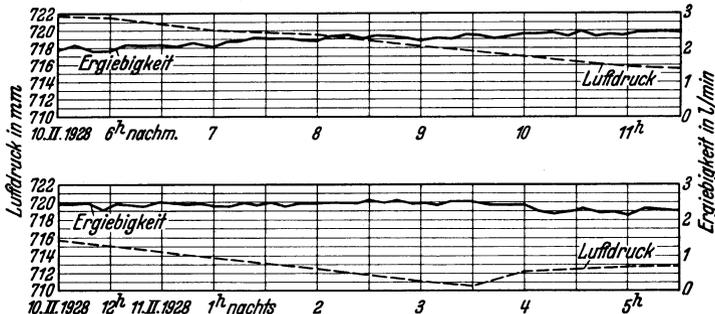


Abb. 219 b. Ergiebigkeitskurve zum Diagramm 219 a. Einfluß des Luftdruckes auf die Schüttung einer gasführenden Quelle.

Diagramm Abb. 219 a die Schüttungskurve Abb. 219 b konstruiert, welche den Einfluß des Luftdruckes auf die Quelle deutlich und meßbar zum Ausdruck bringt.

Endlich könnten auch der Siemenssche Trommelmesser (s. S. 205) oder ähnliche Apparate mit einem elektrischen Kontakte versehen werden, welcher jede Umdrehung verzeichnet.

Die Wichtigkeit des ungestörten Beharrungszustandes bei Quellenmessungen. Die wichtigste Bedingung zur Vermeidung von Fehlern

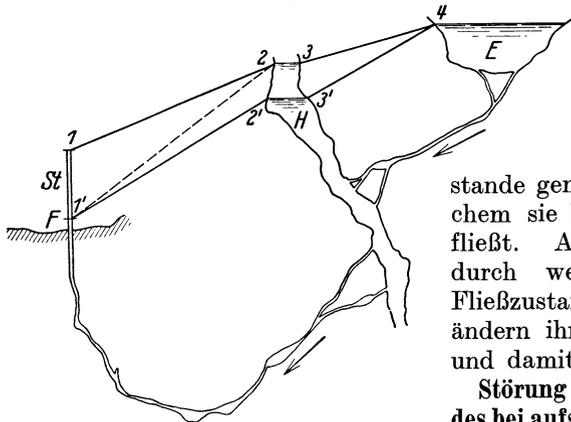


Abb. 220a. Störung des Beharrungszustandes einer vadosen aufsteigenden Quelle.

bei der Ergiebigkeitsmessung ist die Ungestörtheit des Beharrungszustandes der Quelle. Die Quelle muß in dem Zustande gemessen werden, in welchem sie beständig gleichmäßig fließt. Alle Meßvorrichtungen, durch welche dieser normale Fließzustand verändert wird, ändern ihren Spannungszustand und damit die Ergiebigkeit.

Störung des Beharrungszustandes bei aufsteigenden Quellen. Die natürlichen Wege der Quellen kommunizieren immer mit mehr oder

weniger räumlich ausgedehnten unterirdischen Hohlräumen, Spalten, Klüften usw., die je nach ihrer Lage und Verbindung mit Quellgasen oder Wasser gefüllt sind¹. Für die Intensität und Dauer der Ergiebigkeitsänderungen durch Störung des Beharrungszustandes bei aufsteigenden Quellen sind diese Hohlräume im Muttergestein der Quelle von besonderer Bedeutung. An der in der Abb. 220 schematisch dargestellten aufsteigenden Quelle sei dies erläutert. Es stelle *E* das Einzugsgebiet und Speisereservoir, *F* die Quellsfassung mit aufgesetztem Steigrohr *St* dar. *H* ist ein mit der Quellsfassung in Verbindung stehender Hohlraum. Die normale Auslaufhöhe der Quelle befindet sich bei 1. Die in diesem Niveau geschüttete Menge sei im Ergiebigkeits-Zeitdiagramm (Abb. 220 b)

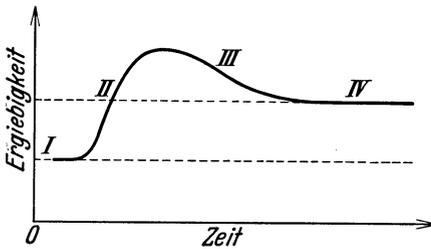


Abb. 220b. Ergiebigkeitsschwankung infolge der in Abb. 220a dargestellten Störung.

bei *I* ersichtlich. Der vom Speisereservoir wirkende Druck verzehrt sich allmählich längs der Ader bei Überwindung der Bewegungswiderstände und durch Erzeugung der Fließgeschwindigkeit. Das hierdurch entstehende Druckgefälle sei durch den schematischen Linienzug 4—3—2—1 dargestellt. Im Hohlraum *H* stellt sich der Spiegel so in das Druckgefälle ein, daß die von *E* bezogene Wassermenge gleich ist der zur Quelle weiterfließenden Menge. Bei der Messung werde nun die

¹ Aus des Verfassers Arbeit: „Über Quellenmessungen“, in Balneologie und Balneotherapie 1925. Jena: Gustav Fischer 1926.

Spannungshöhe von l nach l' erniedrigt. Die unmittelbare Folge ist ein Abschnenken des Drucklinienteiles $2-1$ in die Lage $2-1'$, also eine Vergrößerung des Druckgefälles auf dieser Aderstrecke, welche einen vermehrten Wasserzufluß gegen F zur Folge hat. Die Ergiebigkeit der Quelle nimmt daher sprunghaft zu (Abb. 220b, II). Da die auf der Strecke $4-3$ zum Hohlraume strömende Wassermenge zunächst noch die frühere bleibt, gibt der Hohlraum nach F mehr Wasser ab als er von E bezieht, sein Spiegel beginnt infolge dieses Ausfalles zu sinken. Damit vermindert sich einerseits das Gefälle der Strecke $2-1'$ wieder allmählich und mit ihm die Schüttungsmenge der Quelle (Abb. 220b, III), andererseits wächst aber das Gefälle $4-3$ und mit ihm die vom Speisereservoir zuströmende Wassermenge, beides so lange, bis in der Drucklinie $4-3'$ bis $2'-1'$ wieder ein neuer Beharrungszustand eingetreten ist (Abb. 220b, IV). Die Schüttung zeigt also zunächst ein sprunghaftes Anschwellen, dann ein allmähliches Abfallen zur neuen Ergiebigkeit. Eine während dieser Veränderungen angestellte Messung gibt natürlich gänzlich unrichtige Resultate.

Verwickeltere Verhältnisse treten bei Störungen des Beharrungszustandes von gasführenden Quellen ein. Abb. 221a stelle die Schlotendigung einer solchen Quelle dar. F sei die Fassung mit Steigrohr, N die normale Spannungshöhe. In dem angefügten Druckdiagramm stelle die Linie 1 die Zunahme des statischen Druckes mit der Tiefe dar; Anfangsdruck ist der auf dem Quellauslauf lastende Luftdruck b .

Durch Verlegung des Auslaufes von N nach F werde der Beharrungszustand gestört. Die statische Drucklinie erfährt eine entsprechende Verlagerung in die Lage 2 , so daß an allen Punkten des Quellschlotes der Druck um den mit der Tiefe wachsenden Wert Δp vermindert wird. Da das Quellgut während des Aufsteigens eine beständige Druckverminderung erfährt, ist das Wasser mit Gas gesättigt, ja infolge der Evasionsverzögerung übersättigt. Die plötzliche Herabsetzung des Druckes an allen Stellen des Schlotes bewirkt eine momentane Entbindung der überschüssigen gelösten Gasmengen. Unterschiedlich von der sonstigen allmählichen Evasion des Gases im Verlaufe des Aufsteigens in Zonen immer geringeren Druckes entsteht nunmehr eine plötzliche Volumsvermehrung längs einer längeren Schlotstrecke; die Folge ist ein Herausschleudern größerer Wassermengen aus dem Schlote gegen aufwärts und — nach dem Prinzip gleicher Aktion und Reaktion — eine gleichzeitige vorübergehende Druckwirkung nach abwärts, welche auf den Quellzulauf eine kurze Zeit hemmend wirkt. Die Ergiebigkeit zeigt daher eine auffallende Unruhe. Hierzu tritt nun noch die Wirkung der evtl. vorhandenen Hohlräume. Infolge der Druckverminderung expandiert das in ihnen aufgespeicherte Gas, und der Überschuß tritt in den Quellschlot ein; die statische Drucklinie erhält durch die eintretende Verminderung des spezifischen Gewichtes einen steileren Verlauf (Abb. 221a, 3), d. h. die statischen Druckwerte im Schlote nehmen ab, und da der statische Druck ein Bewegungshindernis bildet, reagiert die Quelle darauf mit erhöhter Fließgeschwindigkeit, die Ergiebigkeit nimmt zu (Abb. 221b, II). Die erwähnte statische Druck-

verminderung hat übrigens ein vermehrtes Abblasen der Hohlräume zur Folge, und dieses eine weitere Herabsetzung des Druckes. Erst wenn sich der Gasinhalt der Hohlräume allmählich auf den verminderten Druck

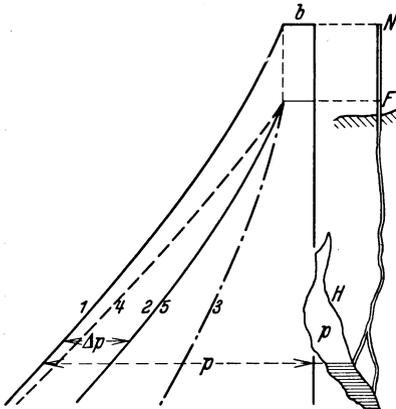


Abb. 221 a. Störung des Beharrungszustandes einer gasführenden Quelle. Schwankungen der Drucklinie.

eingestellt hat, läßt das Abblasen nach, die Folge ist die Wiederabnahme des Gasgehaltes im Schlote, Zunahme des spezifischen Gewichtes des Quellgutes, Anwachsen des statischen Druckes und daher Ab-

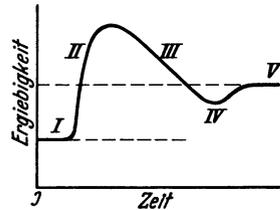


Abb. 221 b. Ergiebigkeitsschwankungen infolge der in Abb. 221 a dargestellten Störung.

nahme der Ergiebigkeit (Abb. 221 b, III). Die unter allmählich höherem Druck gesetzten Hohlräume schlucken nunmehr Gas, dessen Menge dem Schlote entzogen wird, so daß die statische Drucklinie infolge der spezifischen Gewichtserhöhung in die Lage 4 (Abb. 221 a), flacher als die Anfangslage 1 bzw. 2, ausschwenkt; die Ergiebigkeit sinkt gleichzeitig unter

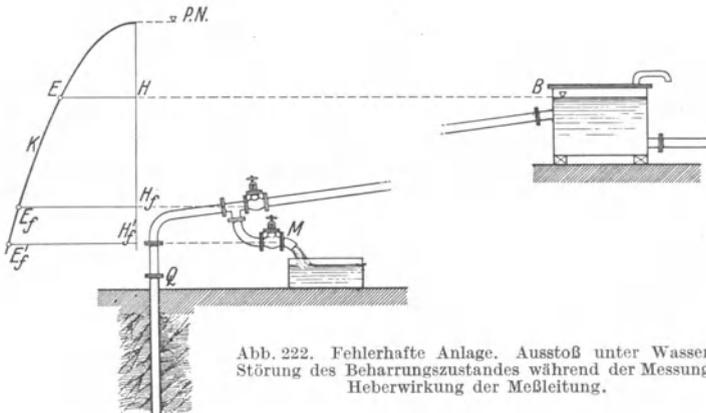


Abb. 222. Fehlerhafte Anlage. Ausstoß unter Wasser. Störung des Beharrungszustandes während der Messung. Heberwirkung der Meßleitung.

den normalen Wert (Abb. 221 b, IV), und erst allmählich nach erfolgter Wiederanspannung der Hohlräume wird der neue Beharrungszustand von unten her erreicht (statische Drucklinie 5, identisch mit 2, Abb. 221 a). Nach den Erfahrungen des Verfassers kann der geschilderte Verlauf viele Stunden in Anspruch nehmen. Die während dieser Zeit angestellten Messungen liefern daher weder absolut richtige noch vergleichbare Resultate.

In Abb. 222 ist ein Fall einer fehlerhaften Meßstation dargestellt. Die Quelle Q ändere ihre Ergiebigkeit mit der Spannungshöhe nach der Linie $K-PN$. Sie fließt normal durch ein ansteigendes Rohr in den Behälter B , wo sie unter dem Spiegel einmündet; diese Spiegelhöhe, vermehrt um die Widerstandshöhe des Zuleitungsrohres, bestimmt die Spannungshöhe H , so daß die Quelle normal die Ergiebigkeit E schüttet. Die Widerstandshöhe des Zuleitungsrohres kann bei langen Leitungen und besonders bei sinternden Thermen beträchtliche Werte annehmen. (In der Abb. wurde sie nicht dargestellt.) Das Öffnen des Meßventils bei M bewirkt ein Absinken des Spannungsniveaus mit allmählicher Annäherung an H_f mit der Ergiebigkeit E_f oder — wenn die Meßleitung bis M als Heber wirkt — bis H'_f mit der Ergiebigkeit E'_f .

Störung des Beharrungszustandes bei absteigenden Quellen. Die Fassung absteigender Quellen stellt immer einen Speicher dar, in welchen der Mineralwasserstrom in Form von Grundwasser oder unterirdischer Wasserläufe mündet. Der Überlauf dieses Behälters bildet den Quellauslauf. Bei geringem Zuströmungsgefälle kann der Rückstau dieses Behälters weit in die Zubringerspaltten oder -schlitze, -stollen usw. hineinreichen. In diesem Falle erzeugt eine auch geringe Verlegung der Auslaufhöhe eine scheinbare¹ Ergiebigkeitsstörung, deren Einspielen auf den neuen Beharrungszustand lange Zeit in Anspruch nehmen kann.

Als Beispiel sei hier eine Stollenfassung angeführt, in der das Wasser einen Überlaufspiegel von 1 m Breite und 50 m Länge bildet; als Überlauf diene eine Rinne von 25 cm Breite. Die normale Ergiebigkeit beträgt 10 l/s. Vor der Messung hat sich der Spiegel durch Verlegung des Überlaufes um 32 mm gehoben. Mit Messungsbeginn werde das Hindernis

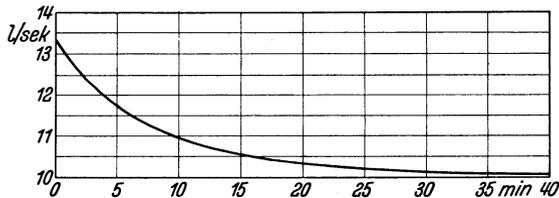


Abb. 223. Störung des Beharrungszustandes bei absteigenden Quellen. Wiedereinstellung des Beharrungszustandes.

entfernt. Das durch graphische Integration gewonnene Schaubild (Abb. 223) zeigt den Verlauf der Annäherung an den alten Beharrungszustand. Theoretisch ist er von unendlich langer Dauer. Nach 15 Minuten beträgt der Messungsfehler noch 0,6 l/s, das ist 6%, nach einer halben Stunde 1% und nimmt dann nur mehr äußerst langsam ab. Der Spiegelstau kann z. B. durch Ockerballen, wie sich solche in Eisenquellen bilden, verursacht werden.

Messung gedrosselter Quellen. Die Begriffe „Auslaufhöhe“ und „Spannungshöhe“ sind nicht identisch². Nur wenn der Auslauf als freier Überlauf ohne Drosselung erfolgt, fallen Auslauf- und Spannungs-

¹ Die wirkliche Ergiebigkeit des Quellstromes wird dabei nicht gestört; ein prinzipieller Unterschied zwischen aufsteigenden und absteigenden Quellen (siehe S. 184).

² Dieses Kapitel aus des Verfassers Arbeit: „Die Ergiebigkeit von Mineralquellen als Funktion ihrer Spannungshöhe.“ Z. Kurortwiss. 1931, 5.

höhe — praktisch — zusammen, weil dann die zur Erzeugung der Überfallsgeschwindigkeit nötige Überstauung höchstens einige Zentimeter beträgt. Zwingt man jedoch die gefaßte Quelle durch ein Rohr von kleinerem Durchmesser auszufließen als die Steigleitung besitzt oder drosselt man den freien Ablauf durch eine eingebaute Absperrvorrichtung so wird die Spannung um die für die Austrittsbeschleunigung verbrauchte Geschwindigkeitshöhe und die Widerstandshöhe des Auslaufes gehoben und die Ergiebigkeit entsprechend vermindert.

Ein derartiger Auslauf zeigt die Ergiebigkeitsänderungen der Quelle, seien es die normalen oder andere, aus irgendwelchen äußeren Ursachen eintretende Mengenschwankungen, verzerrt, weil mit jeder Schüttungsänderung eine Änderung der Spannungshöhe verbunden ist. Die sich hierbei abspielenden Vorgänge seien in der Abb. 224 erläutert. Die von dem Auslaufrohre geförderte Wassermenge

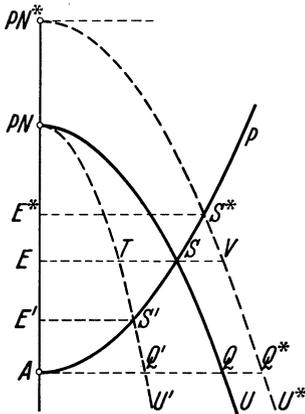


Abb. 224. Verzerrung der Meßbilder bei überstauten Quellen.

ist proportional der Quadratwurzel aus der über dem Auslauf angestauten Wassersäule. Trägt man die nach diesem Gesetze bei jedem Überstau geförderte Menge in diesem Stauniveau als Abszisse auf, so folgen die Abszissenendpunkte einer bestimmten, für die betreffende Auslauform charakteristischen Parabel. In Abb. 224 ist diese Parabel des Auslaufes A durch $A-P$ dargestellt. $PN-U$ sei die Ergiebigkeitslinie der Quelle. Dann ergibt eine einfache Überlegung, daß sich die Quelle bis E , das ist die Höhe der Schnittpunkte beider Linien, anstauen muß, und wir haben zwar die Auslaufhöhe in A , die Spannungshöhe aber in E . Die geschüttete Menge ist $E-S$, obwohl die

Quelle im Auslaufe A bei freiem Überlaufe die Menge $A-Q$ liefern könnte. Es sei nun das Verhalten des Auslaufes bei Ergiebigkeitsänderungen untersucht; solche können in zwei Gruppen geteilt werden: entweder sie sind durch Änderungen des Schlotwiderstandes bedingt, dann kommen sie in einer Schwenkung der Ergiebigkeitslinie unter Beibehaltung des piezometrischen Niveaus zum Ausdruck. Es trete beispielsweise durch eine Vermehrung des Fließwiderstandes an die Stelle der Ergiebigkeitslinie $PN-U$ die Linie $PN-U'$. Im Zustande freien Überlaufes in der Höhe E hätte dies eine Verminderung der Ergiebigkeit $E-S$ auf $E-T$ zur Folge, wegen der gleichzeitig eintretenden Spannungsverminderung um $E-E'$ sinkt aber die Schüttung nur auf $E'-S' > E-T$, also um weniger.

Die zweite mögliche Ursache von Ergiebigkeitsänderungen kommt in einer Änderung des piezometrischen Niveaus, also einer vertikalen Parallelverschiebung der Ergiebigkeitslinie zum Ausdruck (so z. B. die Mengenschwankungen unter dem Einflusse des Luftdruckes, anderweitige Anzapfung des Quellweges usw.). Würde sich in Abb. 224 das piezometrische Niveau von PN nach PN^* verschieben, so hätte dies

bei freiem Überlaufe in der Höhe E eine Vermehrung der Ergiebigkeit $E-S$ in $E-V$ zur Folge. Da jedoch im Zustande der Überspannung eine gleichzeitige Spannungserhöhung bis E^* nötig ist, um die vermehrte Menge in A zum Auslaufe zu bringen, vergrößert sich die Ergiebigkeit nur auf $E^* - S^* < E - V$, also um weniger als bei freiem Überlaufe.

Infolge der erläuterten Verzerrung der Ergiebigkeitsschwankungen bei überstauten Quellausläufen haben Mengenangaben bei solchen nur dann einen gewissen Vergleichswert, wenn gleichzeitig — mittels eines offenen Piezometerrohrs oder an einem angesetzten Manometer — die jeweilige Spannungshöhe abgelesen und vermerkt wird. Die absoluten Ergiebigkeitsschwankungen bleiben aber auch dann unbekannt; hätte man selbst die Ergiebigkeitskurve genau bestimmt, so weiß man im Einzelfalle doch nie, ob die Mengenänderung durch Schwenken oder Parallelverschiebung der Ergiebigkeitskurve hervorgerufen wird.

B. Ergiebigkeitsmessung der Quellgase.

Soll die Ergiebigkeit der Quellgase gemessen werden, so setzt dies voraus, daß der Quellauslauf so konstruiert ist, daß diese Gase, ohne daß sie mit der Luft in Berührung kommen, abgeleitet werden können. Diese Einrichtung ist in allen Fällen vorhanden, wo die Quellgase zu balneologischen oder anderen Zwecken gewonnen werden (s. Kapitel Quellfassung S. 260).

Der erste und eigentliche Auslauf der Quelle darf nicht frei in die atmosphärische Luft erfolgen, sondern die Quelle muß in einen hermetisch geschlossenen Raum einstoßen („Stoßkasten“). In diesem Raume trennt sich das Quellgut mechanisch in seinen gasförmigen und flüssigen Anteil. Das entsprechend dem Atmosphärendruck im Wasser absorbierte und als solches balneologisch bedeutsame Gas bleibt in Lösung. Das Quellwasser enthält sogar nach dem Ausstoßen eine höhere Gasmenge absorbiert, als dem herrschenden Drucke und seiner Temperatur entsprechen würde; da es im Emporsteigen eine stetige Druckentlastung erfahren hat und das Entweichen des Gases nicht plötzlich, sondern allmählich erfolgt, bleibt die Gasentbindung hinter dem Druckabfall zurück (Evasionsverzögerung), und das ausfließende Mineralwasser hält immer ein Plus an Gas gegenüber der Lösungsmenge für 1 at Druck in Lösung, welches in den nächsten Minuten nach dem Ausstoß allmählich entweicht. Bei sehr ergiebigen, gasreichen Quellen ist es daher notwendig, die Speicher, in welchen sich das Mineralwasser zu Bäder- und anderen Zwecken sammelt, hermetisch abzuschließen und zur Gasgewinnung einzurichten.

Über die Konstruktion des Stoßkastens wird im Kapitel Quellfassung (S. 260) gesprochen werden. Die Gasschüttung der Quelle erfolgt meist stoßweise; jeder Stoß erzeugt eine augenblickliche Druckerhöhung im Stoßkasten und eine vorübergehende Geschwindigkeitserhöhung in der Ableitung. Solche plötzliche Geschwindigkeitsänderungen bilden aber durch Trägheitswirkung Fehlerquellen für die Gasmessung. Es empfiehlt sich daher zur Erzielung genauer Messungen, das Volumen der Stoßkästen nicht zu klein zu wählen,

um ihre Pufferwirkung zu erhöhen; auch schaltet man die Meßapparate möglichst entfernt vom Stoßkasten in die Leitung.

Das der Quelle entströmende Gas — es handelt sich zumeist um Kohlendioxyd — ist entsprechend seiner Temperatur mit Wasserdampf gesättigt. Es führt daher besonders die den Thermen entströmende Kohlensäure ansehnliche Mengen Wassers mit sich, welche bei der Ableitung, entsprechend der Temperaturabnahme kondensieren. Zur Entfernung des Kondenswassers dienen Wasserabscheider, welche so angeordnet werden müssen, daß das Kondenswasser die freie Bewegung des Gases nicht behindert. Da es sich bei den Gasleitungen nicht um Gravitationsleitungen handelt, verlegt man dieselben in langsam fallenden Strecken mit vertikalen Übergangsstücken, also mit einem sägeartigen Längsprofil; an die tiefsten Punkte setzt man die Wasserabscheider und erzielt so fast durchwegs Bewegung des Gases und Kondenswassers im gleichen Sinne.

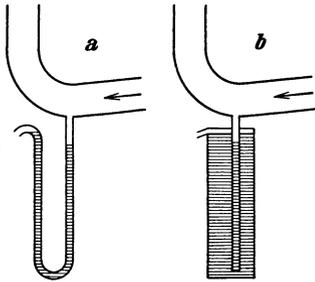


Abb. 225. Wasserabscheider an Quellgasleitungen.
a nicht empfehlenswerte, b bewährte Ausführung.

Als Wasserabscheider verwende man nicht U-Rohre, da deren Wasserverschluß — besonders bei engen Rohren — leicht durch Druckstöße ausgeworfen wird und sich dann nicht mehr erneuert, sondern Tauchtöpfe (Abb. 225).

Die einfachste Gasmessung ist die Volummessung, analog der Wassermessung, durch Auffangen des Gases in einem geeichten Gefäß; man bedient sich für solche Messungen, die nur ungefähre Ergiebigkeitswerte liefern, einer Vorrichtung analog der pneumatischen Wanne der chemischen Laboratorien. Sie kommen wohl nur für Gasmengen unter 100 l/min praktisch in Betracht, bei größeren Ergiebigkeiten nur für angenäherte Bestimmungen.

Die erhältlichen Meßapparate beruhen entweder auf unmittelbarer volumetrischer Messung oder auf mittelbarer Bestimmung der Menge aus der Strömungsgeschwindigkeit oder dem Druckabfall an einer Drosselstelle. Die ersteren sind immer Summenmeßapparate. Sie lassen das in einer beliebigen Zeit durchgeflossene Gasvolumen ablesen und hieraus die Durchschnittsergiebigkeit $\left(= \frac{\text{Volumen}}{\text{Zeit}} \right)$ berechnen. Die indirekt messenden Apparate sind entweder als Summenmesser oder als Momentgasmesser konstruiert und lassen in letzterem Falle die Augenblicksergiebigkeit $e = \frac{dv}{dt}$ ablesen.

Bei den Gasmessapparaten mit volumetrischer Messung finden wir entweder das Prinzip der pneumatischen Wanne verwendet und ausgebaut („Nasse Gasmesser“) oder es füllen und entleeren sich in ihnen abwechselnd Säcke mit bestimmten konstanten Volumen aus biegsamen Membranen („Trockene Gasmesser“) u. a. m. Als Beispiel seien die seit vielen Jahrzehnten bewährten Apparate der Fabriken „Elster“ (Ber-

lin, Wien, Brünn usw.) angeführt. Die genau arbeitenden „Experimentiergasmesser“ Elster, mit Trommeln nach Crosley, sind in Größen für 7,5—250 l/min erhältlich; die mit dem Gase in Berührung stehenden Teile bestehen aus Britanniametall oder Messing, Kupfer, Blei. Sie arbeiten mit einer Fehlergrenze von $\pm 0,2\%$. Die trockensten „Hochleistungsmesser“ Elster besitzen Ledermembranen; sie sind für Gasergiebigkeiten von 25—7500 l/min erhältlich. Ihr Fehler bleibt, wenn Überlastung vermieden wird, weit unter $\pm 2\%$. Bekannt sind auch die neuen „Stationsgas-

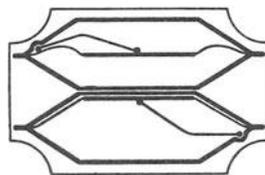


Abb. 226. Trockengasmesser „Elster“. Horizontaler Schnitt durch die Meßkästen und Membranen.

messer“ von Schirmer, Richter & Co., Leipzig. Von den nichtvolumetrisch arbeitenden Gasmessern eignen sich die Flügelradgasmesser zur Summenmessung. Ihre Genauigkeit ist etwas geringer als die der volumetrischen

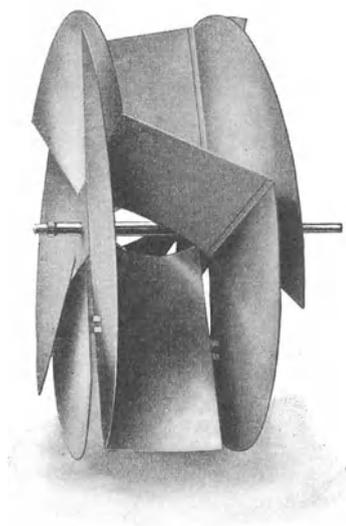


Abb. 227 a. Trommelgasmesser (von Schirmer, Richter & Co.) Crosleysche Trommel.

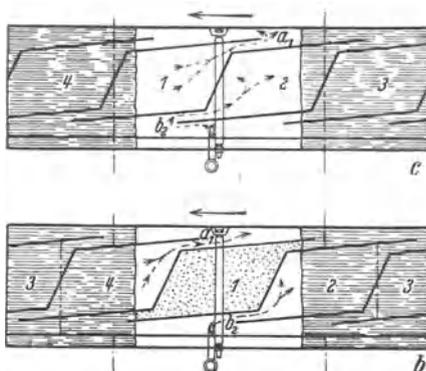


Abb. 227 b, c. Trommelgasmesser. b: Kammer 1 gefüllt, 2 beginnt sich zu füllen, 4 entleert sich. c: Kammer 1 beginnt sich zu entleeren, 2 ist fast voll, 4 leer.

Apparate; ihre Angaben leiden insbesondere bei stoßweiser Strömung des Gases infolge von Trägheitswirkungen. Vorteilhaft sind ihre geringen Abmessungen, welche den Einbau in engen Rohrkanälen gestatten.

Abb. 228 zeigt die Fehlerkurve eines Flügelradmessers System Rotary (Bauart C) von Schirmer, Richter & Co. bei verschiedener Belastung. Sie zeigt bei 40—90% Beanspru-

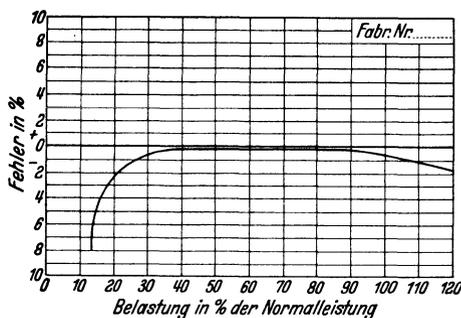


Abb. 228. Genauigkeit der Gasmessung mit einem Flügelradmesser „Rotary“.

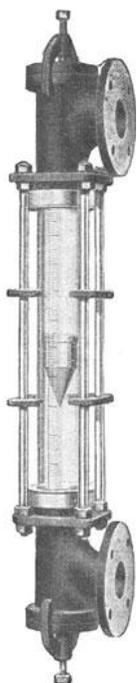


Abb. 229.
Momentgas-
messer „Rota“
(Deutsche
Rotawerke,
Aachen).

chung der Nennleistung weniger als $\frac{1}{4}\%$ Fehler; außerhalb dieser Grenzen wächst derselbe, insbesondere rasch bei geringerer Beanspruchung. Rotarymesser sind für Mengen von 2,5—5000 m³/h erhältlich.

Für Momentgasmesser kommen dieselben Prinzipien zur Anwendung wie für Momentwassermesser (Venturirohr, Staudüsen, Pitotsche Röhre usw.). Die Rotamesser (Abb. 229) der Deutschen Rotawerke, Aachen, bestehen aus einem vertikalen, schwach konischen Glasrohr, in welchem ein rotierender Schwimmkörper durch den Gasstrom getragen wird; je größer die Gasmenge pro Sekunde ist, um so höher wird der Schwimmer gehoben. Die Menge ist an einer am Rohre selbst angebrachten Skala abzulesen. Die Skala kann sich nur auf ein Gas von bestimmter Dichte (Druck) und Temperatur beziehen. Bei gleicher Anzeige des Rotamessers verhalten sich die wirklichen Mengen verschiedener Gase wie die Quadratwurzeln aus ihren Dichten. Wird bei anderem Druck und anderer Temperatur gemessen, als für die Eichung der Skala gilt, so ist die Ablesung nach der Gleichung richtigzustellen:

$$v_0 = v \sqrt{\frac{T_e}{T_m}} \sqrt{\frac{B_m + p_m \cdot 735,51}{B_e + p_e \cdot 735,51}}$$

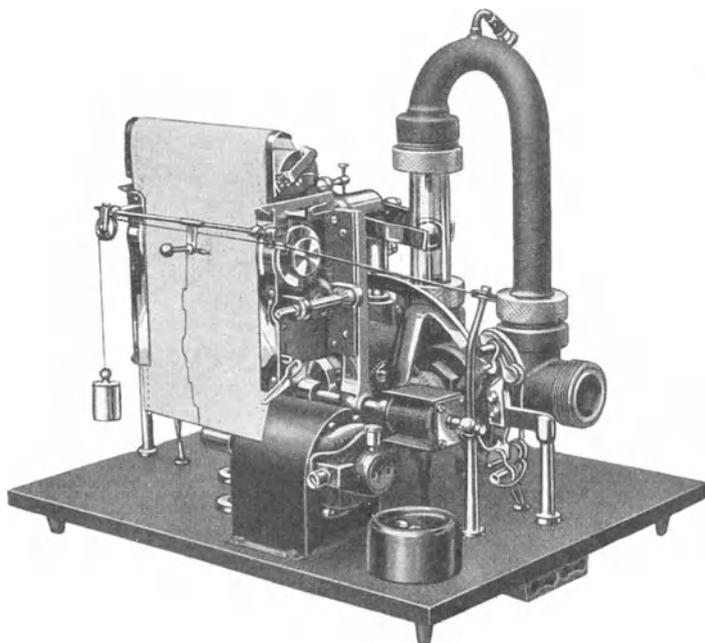


Abb. 230. Registrierender Rotamesser (Deutsche Rotawerke, Aachen).

Hierin bedeuten

- T_e = Eichtemperatur, T_m = Meßtemperatur (beide absolut).
 B_e = Barometerstand bei Eichung, B_m = Barometerstand bei Messung.
 p_e = Überdruck in kg/cm^2 bei der Eichung, p_m dasselbe bei Messung.
 v = Schwimmeranzeig, v_0 = reduzierte Menge.

Der vom Schwimmergewicht abhängige Druckverlust beim Durchströmen des Rotamessers beträgt (nach C. Hardebeck) für einen Apparat mit 2000 l/h Höchstdurchlaß 15–20 mm Wassersäule, ist also gering. Da das Schwimmergewicht durch Benetzung mit Kondenswasser geändert wird, können Rotamesser nur für ungesättigtes oder trockenes Gas in Verwendung kommen. Abb. 230 zeigt einen registrierenden Rotamesser.

Das Rotamesserprinzip wird auch zur Herstellung von Momentwassermessern benutzt.

Die Reduktion von Gasmenge, die auf irgendeine Weise beim Drucke p und der Temperatur t richtig gemessen wurden, auf $p = 1$ und $t = 0^\circ$ erfolgt nach der Gleichung

$$v_0 = \frac{pv_t}{1 + \alpha t}; \quad \alpha = \frac{1}{273} = 0,003665.$$

2. Druckmessungen.

Der Quelleningenieur kommt häufig in die Lage, zu rein technischen Zwecken den Druck des Mineralwassers oder Gases in Fassungen oder Leitungen zu messen; aber auch bei der periodischen Quellenbeobachtung spielen Druckmessungen eine Rolle.

Da der Druck in Rohrleitungen in funktioneller Beziehung zur Fließgeschwindigkeit, also auch Ergiebigkeit, steht, bilden sich deren Schwankungen in den Druckschwankungen ab. Man sieht daher häufig Druckmesser an der Verrohrung von Bohrsprudeln und Steigrohren von Fassungen angebracht.

Druckmessungen an Fassungen sind besonders dort angezeigt, wo der Kurbetrieb Maßnahmen erfordert, welche infolge mangelhafter Anlagen Spannungsänderungen an den Quellen hervorrufen. Sind solche also nicht zu vermeiden, so sollten sie doch nach ihrer Größe und Dauer genau kontrolliert werden.

An den unter Luftabschluß gehaltenen Stoßkästen gasführender Quellen sind unbedingt Druckmesser vorzusehen, um den Innendruck stetig kontrollieren zu können. Steigt derselbe, z. B. infolge Verstopfung eines Kondenswasserabscheiders und Bildung eines Wassersackes in der Gasleitung, so hat dies auf die Quelle dieselbe Wirkung wie eine der Druckvermehrung entsprechende Erhöhung der Spannungshöhe¹. Die Druckmessung erfolgt entweder durch offene Flüssigkeitsmanometer

¹ Aus diesem Grunde ist der Einbau wenigstens eines Wasserabscheiders am Beginn der Gasleitung als „Sicherheitsventil“ ratsam, dessen Wasserverschluß nur so hoch ist, als man im Falle einer Störung schlimmstenfalls das Spannungsniveau erhöhen lassen will. Dieser Abscheider verhindert dann durch Abblasen von Gas jede weitere Erhöhung des Druckes.

mit Wasser- oder Quecksilberfüllung oder durch Federmanometer (z. B. nach Bourdon). Handelt es sich um Gasdruckmessung, so können alle Meßapparate direkt oder durch Vermittlung von Verbindungsleitungen an das betreffende Rohr (Behälter) angeschlossen werden, wobei die Höhenlage des Instrumentes beliebig gewählt werden kann, da der Druck von einigen Metern Gas-säule praktisch unbedeutend ist.

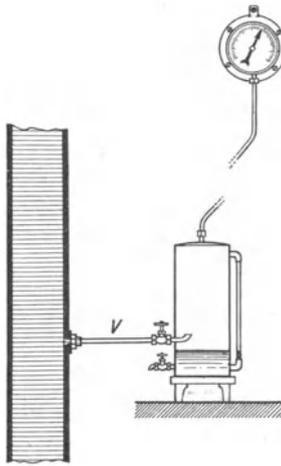


Abb. 231. Druckmessung durch Vermittlung eines Puffergefäßes.

Bei Messung von Wasserdrücken kann das Bourdonmanometer unmittelbar an die Meßstelle geschraubt werden. Soll das Instrument aber, der bequemeren Beobachtung wegen, höher oder tiefer angebracht werden oder sollen Flüssigkeitsdruckmesser in Anwendung kommen, so muß die Druckübertragung durch Gas (Luft, Kohlensäure) erfolgen. Verfasser verwendet in solchen Fällen ein kleines zwischengeschaltetes Puffergefäß nach Abb. 231. Die Steighöhe des ansteigenden Verbindungsrohres *V* wählt man nur wenig Millimeter hoch. (Die Druckmessung ist nur bis auf den dieser Wassersäule entsprechenden Druck genau.) Das Wasser im Puffertopf wird von Zeit zu Zeit abgelassen.

Je nachdem man die kurzperiodischen Schwankungen des Druckes zu ermitteln wünscht (Intermittenz) oder die allmähliche Änderung des durchschnittlichen Druckwertes, läßt man das Verbindungsrohr zum Manometer mit vollem Querschnitt wirken oder dämpft die raschen Schwingungen durch Drosselung eines eingeschalteten Ventiles.

Wünscht man die genaue Aufzeichnung aller Druckschwankungen, verwendet man registrierende Druckmesser. Für kleinere Druckunterschiede werden solche Druckschreiber auf dem Prinzip der offenen Manometer mit Wassersäule gebaut (s. Abb. 232). Als Federmanometer, ähnlich den registrierenden Aneroidbarometern, liefern die Apparatebaufirmen schreibende Instrumente für jeden Druckbereich und verschiedene Papiergeschwindigkeiten.

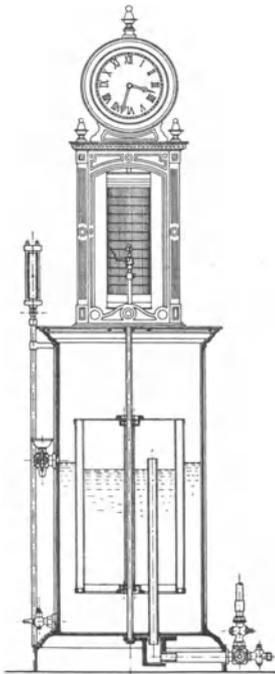


Abb. 232. Druckschreiber mit Schwimmglocke von Crosley (Schirmer, Richter & Co.).

Für genaue Messung und Registrierung auch sehr kleiner Drücke sowie von Druckunterschieden und damit zur Registrierung der Ergebnisse von Venturimessern u. ä. eignet sich vortrefflich die Ringwaage (Abb. 234).

Sie besteht aus einem auf Schneiden drehbar gelagerten Hohring, der zur Hälfte mit einer Sperrflüssigkeit gefüllt ist. Der Raum über dieser ist durch eine Wand in zwei Kammern geteilt; der zu messende Druck wird durch eine Luft- oder Gasleitung in eine der Kammern übertragen. Ein Gegengewicht, dessen Größe und Lage die Empfindlichkeit des Instrumentes bestimmt, begrenzt durch sein Drehmoment den Ausschlagswinkel der Waage. Bei Messung von Druckunterschieden werden beide Ringkammern angeschlossen. Da das Drehmoment des Gegengewichtes mit dem Sinus des Ausschlagswinkels wächst, ist dieser nicht proportional dem Druckzuwachs. In der Ausführung der Ringwaage durch Siemens & Halske wird der Zeigerausschlag durch eine eingeschaltete Kurvenscheibe proportional korrigiert. Desgleichen wird die quadratische Abhängigkeit der Ergiebigkeit vom Druckunterschiede durch eine solche Scheibe radiziert.

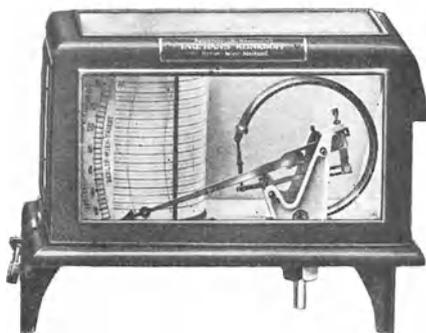


Abb. 233. Registrierendes Manometer.
(Ausf. von Klinkhoff.)

3. Temperaturmessung.

Laufende Temperaturmessungen sollen bei allen Mineralquellen angestellt werden, insbesondere aber bei Thermen. Hier ist eine Messung täglich, zur gleichen Stunde, angezeigt.

Zur Messung verwendet man Quecksilberthermometer verschiedener Ausführung; Verfasser benutzt seit vielen Jahren Instrumente aus Glas mit eingeschmolzener Milchglasskala, auf $\frac{1}{5}$ Celsiusgrade geteilt ($\frac{1}{10}$ Grade genau schätzbar). Mit Rücksicht auf die Deutlichkeit der Teilung einerseits und damit andererseits das Instrument nicht zu lang und zerbrechlich ausfällt, bestellt man das Thermometer nur für den Bereich der in Betracht kommenden Temperaturschwankungen.

Läßt sich das Thermometer nicht unmittelbar während des Eintauchens ablesen, so verwendet man Maximumthermometer mit stehbleibendem Faden (Kapillareinschnürung). Für das Herabschleudern des Quecksilbers in solchen Instrumenten werden neuerdings handliche Apparate erzeugt, deren Anschaffung sich durch das seltenere Brechen bezahlt macht (Abb. 235).

Bezüglich der Stelle, an welcher die Temperatur gemessen werden soll, herrschen in der Praxis verschiedene Gepflogenheiten. Wissen-

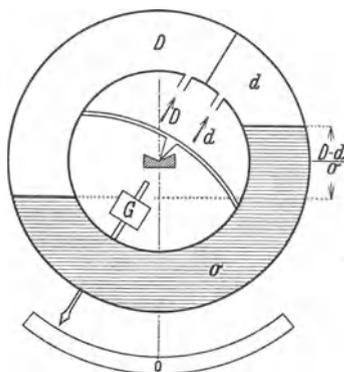


Abb. 234. Prinzip der Ringwaage, zum Messen und Registrieren von Drücken (Druckdifferenzen).

schaftlich richtig ist die Messung an der im Quellstrom am meisten zurückliegenden noch zugänglichen Stelle, um alle verändernden und selbst veränderlichen äußeren Einflüsse möglichst auszuschalten. Zumeist geschieht die Temperaturbestimmung aber am öffentlichen Auslauf



Abb. 235. Apparat zum Absenken von Maximumthermometern. („Schlägel und Eisen“, Teplitz-Schönau 1934.)

der Quelle, dessen Temperatur für den Kurgebrauch der Quelle — besonders bei Trinkthermen — wichtig ist. Jedenfalls muß die Messung immer an derselben Stelle unter immer gleichen Umständen erfolgen und ist diese Stelle im Meßprotokoll anzuführen.

Die Thermometer-eichung gilt für völlig eingetauchten Faden; man verwendet daher bei strahlenförmig ausfließenden Quel-

len zweckmäßig ein Tauchgefäß zum Versenken des Instrumentes.

Für die genaue Aufzeichnung der Temperaturschwankungen von Thermen kommen elektrische Widerstandsthermometer mit Schreibvorrichtung in Betracht, die auch als Fernthermometer eingerichtet werden können; über solche Instrumente geben alle größeren Apparatebaufirmen Auskunft (z. B. Siemens & Halske, W. C. Heraeus, Hanau; Klinghoff, Berlin, Wien usw.).

4. Kontrollanalysen.

Eine der wichtigsten Aufgaben der Quellenbeobachtung bildet die Kontrolle der chemischen Zusammensetzung. Da die häufige Durchführung „ganzer“ Analysen unzulässig ist, erstreckt man die Untersuchung auf einige wichtige Bestandteile. Knett (140) verweist auf den doppelten Zweck der Kontrollbestimmungen; einmal die Erkennung von Konzentrationsänderungen bei gleichbleibendem Relativverhältnis der Bestandteile, zweitens die Untersuchung auf Verschiebungen innerhalb der letzteren. Für die Beobachtung der Konzentration genügt die Bestimmung des Trockenrückstandes oder des spezifischen Gewichtes des Wassers, z. B. mittels Areometer, genauer mit dem Pyknometer. Eine rasche Kontrolle der Konzentration und eventueller Schwankungen derselben ermöglicht auch die Beobachtung der Lichtbrechung des Mineralwassers. Man verwendet zu diesem Zwecke z. B. das Eintauch-Refraktometer von Pulfrich.

Bei Konzentrationsänderungen ohne Verschiebung des relativen Verhältnisses der Bestandteile gibt die elektrische Leitfähigkeit ein gutes Maß der Schwankungen. Es lassen sich daher registrierende Leitfähigkeitsmesser zur fortlaufenden Aufzeichnung der Konzentrationschwankungen verwenden. Siemens & Halske, Berlin, erzeugen einen registrierenden Leitfähigkeitsprüfer, bei welchem durch Einbau eines Temperaturkompensators der Einfluß der Temperaturschwankungen

auf die Leitfähigkeit völlig ausgeschaltet ist. Der Apparat wird zum Eintauchen in Behälter oder zum Einschalten in eine Nebenschlußleitung erzeugt.

Neben der Gesamtkonzentration werden in der laufenden Kontrolle einige Hauptbestandteile des Quellwassers gewichts- oder maßanalytisch bestimmt, wobei man naturgemäß das Augenmerk solchen Bestandteilen zuwenden wird, welche für die Quelle besonders charakteristisch sind; z. B. bei hochaktiven Quellen die Radioaktivität, bei Trinksäuerlingen und zu Kohlensäurebädern verwendeten Quellen der Kohlensäuregehalt usw. In der Ausarbeitung praktischer Methoden für die rasche Bestimmung wichtiger Bestandteile speziell für Mineralquellenuntersuchung hat sich Dr. Wagner, Salzbrunn, verdient gemacht (101). Auch auf die Bestimmungsmethoden der balneologisch so wichtigen Kohlensäure von Zörkendörfer-Dietl sei aufmerksam gemacht (142). Für die angenäherte, aber immerhin recht genaue Ermittlung der freien Kohlensäure besitzt man in dem Reichhardt-Haertlschen Schüttelapparat ein sehr geeignetes Instrument¹. Es kann dem Ingenieur bei Quellfassungsarbeiten zum ersten Vergleich kohlenensäurehaltiger Quelladern gute Dienste leisten. Die Durchführung der zur laufenden Beobachtung der Mineralquellen gehörenden Kontrollanalysen ist Aufgabe des Fachchemikers.

5. Aufarbeitung der Beobachtungsergebnisse.

Bei der Aufzeichnung der gewonnenen Beobachtungsergebnisse ist entsprechende Sorgfalt geboten; sie sollen noch nach Jahren für jedermann lesbar sein. Die Meßprotokolle sind wichtige Dokumente und als solche zu behandeln. Man trägt sie vorteilhaft in Bücher gleichen Formates ein und verwahrt die abgeschlossenen Bände staub- und feuersicher.

Die Aufgabe des mit der Überwachung einer wertvollen Mineralquelle betrauten Ingenieurs besteht aber nicht bloß im Sammeln des Beobachtungsmaterials, sondern auch in seiner Durchforschung. Er muß den Ursachen beobachteter Änderungen nachgehen, etwa vorhandene wechselseitige Beziehungen und Einflüsse zwischen den beobachteten Faktoren aufdecken und die gewonnenen Erkenntnisse zur Verbesserung der Fassungs- und Nutzungsanlagen der Quelle verwerten. Über den außerordentlichen Wert dieser Aufzeichnungen für den Schutz der Quellen gegen Störungen von außen siehe das Kapitel „Quellenschutz“ (S. 274).

Diese Tätigkeit wird wesentlich gefördert durch tabellarische Zusammenstellung der Beobachtungsergebnisse, vor allem aber durch graphische Darstellung der beobachteten Veränderungen. Die Schaulinie gibt nur dann ein richtiges Bild der Veränderlichkeit einer Größe, wenn die Ordinate, welche diese darstellt, zur Gänze auf das Papier fällt, dieses also noch die Nullachse enthält. Darstellungen, welche zugunsten eines möglichst großen Maßstabes nur den die Schaulinie

¹ Zum Beispiel das Schüttelrohr „Karat“ von D. u. H. Lieberg, Kassel.

selbst enthaltenden Streifen bringen, geben ein verzerrtes Bild und verleiten zu unrichtigen Schlüssen.

Man vereint die Schaulinien jener beobachteten Größen, zwischen welchen man Beziehungen vermutet oder deren schon festgestellte Beziehung man studieren will, in einem Graphikon.

A. Ergiebigkeitsänderungen und deren Ursachen.

Einfluß der Niederschläge. Bei der Ergiebigkeit von Mineralquellen vadosen Ursprunges läßt sich in vielen Fällen der Einfluß der Niederschlagsverhältnisse wahrnehmen. Dieser unmittelbare Einfluß auf die

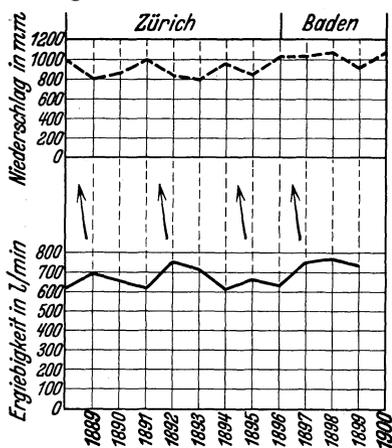


Abb. 236. Beziehung zwischen Niederschlagsmenge und Ergiebigkeit bei der Therme von Baden im Aargau.

[Nach E. Mühlberg (119).]

Dieser unmittelbare Einfluß auf die Speisung ist wohl zu unterscheiden von einem mittelbaren Einfluß auf die Schüttung, ohne daß eine Speisung erfolgt, durch Vermehrung des Bodenwassers, welches mit der Quelle durch Seitenspalten und wilde Austritte in Verbindung steht (s. nächstes Kapitel!). Während letzterer Einfluß gewöhnlich sehr rasch in Erscheinung tritt, verlaufen zwischen Niederschlag und speisender Wirkung auf die Quellergiebigkeit oft lange Zeiträume, was ja mit dem langen Wege, den das Wasser zurücklegen muß, soll es seinen Mineralgehalt und evtl. höhere Temperatur erwerben, im Einklang steht.

Joos Cadisch (119) berichtet über interessante streng gesetz-

mäßige Beziehungen zwischen den Niederschlägen im Juragebirge und den Ergiebigkeiten der Thermen in Baden im Aargau, welche von F. Mühlberg nachgewiesen wurden (Abb. 236). Hier hinken die Maxima und Minima der Quellenergiebigkeit 12 Monate hinter den Extremen der Niederschlagskurve nach. Diese Gesetzmäßigkeit ist so streng, daß es H. Peter durch seine Studien gelang, die Ergiebigkeit der Badener Thermen auf längere Zeit mit 6% Genauigkeit vorauszuberechnen. Man wird daher immer die Registrierung der Niederschläge in der Umgebung der Quelle und insbesondere in dem mutmaßlichen Einzugsgebiete in den Aufgabenkreis der Quellbeobachtungsstation einbeziehen.

Einfluß des süßen Bodenwassers. Die Bedingungen solches Einflusses wurden bereits (S. 200) besprochen. Steigt die Quellschüttung parallel dem Grundwasserstande oder Pegelstande des benachbarten Flusses, so entscheidet das Verhalten der Konzentration und bei Thermen die Temperatur über die Art des Einflusses. Bleibt die Konzentration unverändert bzw. hält sich die Temperatur normal oder steigt sie mit zunehmender Ergiebigkeit, so beruht die Zunahme der Schüttung auf der erhöhten Drosselung wilder Austritte durch das Grundwasser. Sinken Konzentration und Temperatur, so tritt Süßwasser in die Quellädem

und mischt sich dem Mineralwasser zu. In solchen Fällen ist für die nächsten Erneuerungsarbeiten an der Quelle die Abdichtung des Quellgebietes, evtl. die Regulierung des Grundwasserstandes oder eine Änderung der Spannungshöhe der Quelle in Aussicht zu nehmen.

Als Beispiel sei die Beeinflussung des Quellsystems der Arsen-säuerlinge von Val Sinestra in der Schweiz nach der Schilderung durch J. Cadisch (119) erläutert (Abb. 237). Die Quelllinie verläuft quer durch das Tal der Limmat. Das Thermalwasser tritt auf beiden Ufern und im Flußbette selbst aus. Steigt die Limmat, so gehen die Thermen im Fluß im Ertrage zurück, die an den Ufern nehmen an Ergiebigkeit zu; die konstant bleibende Temperatur von 47°C beweist aber, daß eine Durchmischung von Fluß- und Thermalwasser nicht stattfindet.

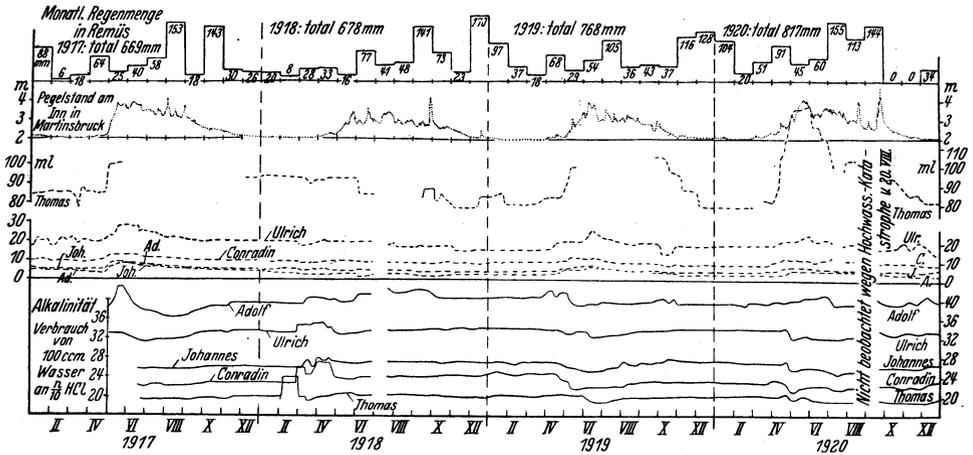


Abb. 237. Ergiebigkeit und Alkalinität in Beziehung zur Niederschlags- und Abflußmenge im umliegenden Gebirge bei der Mineralquelle von Val Sinestra. (Nach J. Cadisch.)

Die Wirkung der Bodenwasserschwankungen auf die Quellenergiebigkeit äußert sich zeitlich sehr rasch, meist momentan. Man zieht die in Betracht kommenden Pegelstände und möglichst an einigen Punkten den Grundwasserstand in den Kreis der Beobachtungen. Für letzteren Zweck können, wenn die Anlage eigener Beobachtungsrohrbrunnen nicht tunlich ist, die Spiegel wenig beanspruchter Hausbrunnen dienen. Im Graphikon bezieht man Pegel- und Grundwasserstände auf Pegelnullpunkt.

Wilde Austritte. Es gelingt nicht immer, die gesamte Schüttung einer Quelle in der Fassung zu vereinigen. Die Quellorte drängen sich an der tiefsten Stelle des Ausbisses der Quellspalte, das sind die Schnitzonen desselben mit Erosionstälern. Auf der Basis dieser Täler lagern oft mächtige Alluvionen, welche den Spaltenausbiß verdecken, ohne ihn wasser- oder gasdicht zu verschließen. Wohl bildet das Grundwasser in der Talfurche mit seinem Druck ein Austrittshindernis für ungefaßte unterirdische Mineralwasseraustritte, sog. „wilde Austritte“, indem es dieselben gleichsam bis zu seiner Spiegelhöhe spannt. Aber an den Talwänden und Hängen, wo der Ausbiß der Spalte oder von Seitenspalten,

die sich mit ihr scharen, von Schottern oder Gehängeschutt überdeckt sein kann, kommt auch diese teilweise Drosselung der ungefaßten Austritte nicht immer in Betracht.

Solche wilde Austritte können sich auf Kosten der gefaßten Quelle vermehren. Das Ergiebigkeitsbild zeigt dann einen langsamen, allmählichen Abfall der Schüttungsmenge. Diese Gefahr besteht besonders bei Quellen, deren Spannungshöhe aus kurstechnischen Gründen verhältnismäßig hoch gewählt wurde. Hieraus ergeben sich die Maßnahmen zur Abhilfe: Aufsuchen und Abdichten der Spalten und Seitenklüfte, tunlichste Herabsetzung der Quellspannung, soweit dies die anderen maßgebenden Umstände erlauben.

Einfluß des Sinterns der Quelle. Sinternde Quellen verengen den Fließquerschnitt ihrer Adern allmählich durch die abgesetzten Sedimente. Da sich die Umstände, welche die Sinterabscheidung begünstigen: Temperaturabfall, Druckabnahme, Gasentbindung, mit der Annäherung an die Oberfläche verstärken, sind die Ausgänge der Quellschote und -adern unterhalb der Fassung und diese selbst dem Sintern besonders ausgesetzt. Mit der Querschnittsverminderung ist eine Vergrößerung der Fließgeschwindigkeit, also ein Druckverlust verbunden, die Quelle wird durch den Sinter „gedrosselt“. Es hängt von dem Quellmechanismus ab, ob diese Drosselung bis zur völligen Erwürgung der Quellen führen könnte; der Sinter wächst um so rascher, je langsamer das Mineralwasser fließt; ruft die zunehmende Drosselung eine stetige Erhöhung der Geschwindigkeit hervor, so schränkt sie selbst das Sintern ein, und ein derartiger Quellmechanismus wird durch Versintern kaum zum Versiegen kommen. Anders jedoch, wenn die Möglichkeit eines Auslaufes und damit einer Druckentlastung an anderer Stelle besteht. Es kann daher vorkommen, daß durch Versintern das Verteilungsverhältnis des Mineralwassers auf die einzelnen Individuen eines Quellsystems empfindlich gestört wird, indem sich ein allmählicher Ergiebigkeitsaustausch zwischen zwei oder mehreren Schwesterquellen vollzieht. Dabei sinkt die Gesamtschüttung, weil der Gesamtquerschnitt abnimmt, noch mehr, weil sich meistens auch wilde Austritte auf Kosten der versinternden Fassung vergrößern. Doch können solche Veränderungen bei gewissenhafter Quellbeobachtung rechtzeitig erkannt werden.

Es ist schließlich auch möglich, daß durch Versinterung der Ausgänge der Druck in den Quelladern derart wächst, daß sich die Quelle an irgendeiner Stelle geringen Widerstandes explosionsartig einen Ausweg schafft. In dieser Weise erklärt man die in früheren Zeiten vorgekommenen „Sprudelausbrüche“ in Karlsbad. In Bohrquellen läßt sich der in der Verrohrung angesetzte Sinter mit dem Bohrer entfernen.

Vielfach setzt sich der Sinter zunächst in Form eines weichen Schlammes ab, der erst nach und nach zu steinartiger Masse erhärtet. Solche Schlamm- oder Ockerbeläge lösen sich leicht, wenn die Fließgeschwindigkeit stoßweise erhöht wird. Daher fließen ockernde Quellen nach plötzlicher Herabsetzung der Auslaufhöhe eine Zeit trübe. Derartige Quellen werden zur Erhaltung ihres Fassungsbestandes vorteilhaft

ein- oder zweimal jährlich durch plötzliche Verminderung ihrer Spannungshöhe „gereinigt“. (Über Sinter und Schlamme s. auch S. 156, 201.)

Einfluß des Luftdruckes auf die Ergiebigkeit. Bei zahlreichen Quellen wurde eine deutliche Beziehung zwischen Luftdruck und Quellenergiebigkeit festgestellt. Der Gegendruck der Luftsäule ist das letzte Hindernis, das die Quelle beim Auslauf zu bewältigen hat. Eine Erhöhung des Barometerstandes um n mm Quecksilbersäule müßte die Ergiebigkeit einer gewöhnlichen Quelle

ebenso vermindern wie die Höherspannung des Quellauslaufs um $13,6 \cdot n$ mm und umgekehrt. Allerdings müßte, unter Voraussetzung völligen Kontinuums des Flusses, eine gleiche Erhöhung des Luftdruckes über dem Einzugsgebiete diese Wirkung wieder aufheben. Unbedingt muß aber der Luftdruckeinfluß bei juvenilen Quellen in Erscheinung treten. Besonders stark zeigt er sich bei gasführenden Quellen, was in der eigentümlichen Druckzunahme in diesen Quellen mit der Tiefe seine Erklärung findet (s. S. 192). Die Linie, welche diese Druckzunahme abbildet, ist gekrümmt, oben am steilsten, gegen die Tiefe flacher, bis sie endlich beim „Grenzdruck“, bei völlig gelöstem Gase, in die Druckgerade gasfreien Wassers tangentiell übergeht. In Abb. 238 stelle L_0 den obersten Teil dieser Linie ab Auslauf und L_u den Teil unterhalb des Grenzdruckes dar. Steigt der Luftdruck über dem Auslauf von b zu $b + db$, so verschiebt sich die gesamte Drucklinie um die Höhe dh nach aufwärts und gelangt in die Lage $L'_0 - L'_u$. Da $db = dh \cdot \operatorname{tg} \alpha$ und $dp = dh \cdot \operatorname{tg} \beta$, gilt

$$\frac{dp}{db} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Die Neigungswinkeltangenten der Drucklinie sind aber den spezifischen Gewichten des Quellgutes proportional. Führt die Quelle z. B. am Auslaufe gleiche Volumina von Wasser und Gas, so ist $\frac{dp}{db} = 2$, d. h. eine Veränderung der Quecksilbersäule des Barometers um n m/m hat nun die gleiche Wirkung wie eine Verlegung der Spannungshöhe um zweimal $13,6 \cdot n$ m/m. Die Wirkung ist also um so größer, je gasreicher die Quelle ist.

Den Einfluß des Luftdruckes auf die Karlsbader Thermen erwähnt schon Dr. Springsfeld im Jahre 1749. Im Jahre 1860 veröffentlichte Dr. P. Cartellieri (bei Haase, Prag) seine Studie: „Die Franzensquelle in Eger-Franzensbad und der atmosphärische Luftdruck.“

Abb. 239 zeigt den Einfluß des Luftdruckes auf die gasreiche Schloßbrunnquelle in Karlsbad (s. auch Abb. 219 S. 211). Interessant ist der

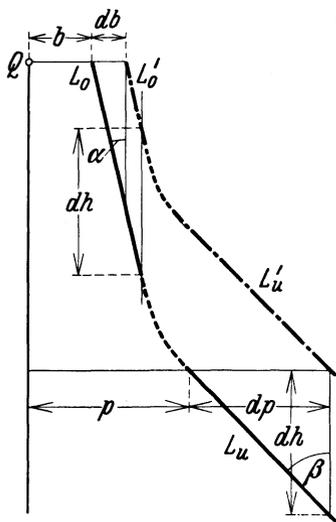


Abb. 238. Einfluß des Luftdruckes auf gasführende Quellen.

Ausbruch des Bohrloches VII in Bad Nauheim im Jahre 1846 infolge eines außerordentlich tiefen Luftdruckes (102). Dieses Bohrloch wurde 1839 begonnen und 1841 wegen zu schwacher Sole und geringen Auftriebes eingestellt. In der Nacht vom 21. zum 22. Dezember 1846, in welcher über Nauheim eine starke barometrische Depression lag, brach unverhofft aus der Bohrung ein starker Solsprudel.

Der intensive Einfluß des Luftdruckes auf viele Mineralquellen gebietet auch die Einbeziehung seiner Beobachtung in die Tätigkeit der Quellenbeobachtungsstationen. Da die zunehmende Beachtung, welche die klimatischen Verhältnisse der Kurorte in balneologischen Kreisen findet, auch noch weitere meteorologische Beobachtungen nötig macht, gliedert man zweckmäßig eine meteorologische Beobachtungs-

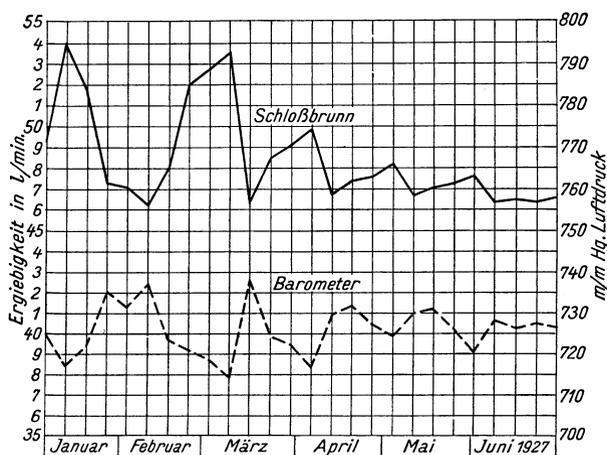


Abb. 239. Einfluß des Luftdruckes auf den Schloßbrunn zu Karlsbad.

station an. Zum mindesten sollten außer dem Luftdrucke noch die Lufttemperatur, -Feuchtigkeit und Niederschlagsmenge, womöglich mit registrierenden Instrumenten, gemessen werden.

Einfluß von Erdbeben auf die Ergiebigkeit. Tektonische Störungen, Schichtfaltungen, Verwerfer, Spalten und Klüfte bieten vielfach die Grundlage für die Bildung der Quellwege und damit für die Entstehung von Mineralquellen. Ein großer Teil der letzteren ist durch post-vulkanische Erscheinungen bedingt und liegt in den jungen Eruptionsgebieten der Erdrinde. Es ist daher zu erwarten, daß Erdbeben, die Begleiterscheinung vulkanischer Ereignisse oder tektonischer Veränderungen, Mineralquellen des Schüttergebietes beeinflussen können. Tatsächlich wird über viele Fälle solcher Beeinflussung berichtet.

R. Hoernes (143) hat Beobachtungen hierüber zusammengestellt. Der Einfluß äußert sich in Vermehrung oder Einbuße an Ergiebigkeit, selbst Versiegen, aber auch Neubildung von Quellen, Veränderung der Temperatur usw. Er ist in der Mehrzahl der Fälle vorübergehend, aber auch dauernd.

Moldenhauer beobachtete mit seinem schreibenden Schüttungs- und Druckmesser („Quellenbiograph“) einen deutlichen Einfluß der vom

Seismographen in Tiflis registrierten Erderschütterungen auf die Ekatherinenquelle in Borshom im Kaukasus. Die Quelle zeigte nicht nur während der Erschütterungen, sondern gewöhnlich schon einige Stunden vorher ein ungewöhnliches Verhalten der Intermittenz und Schüttung. Moldenhauer führt dies auf die der Entlastung vorangehende Spannung in den Erdschichten zurück. Jedenfalls macht er mit Recht darauf aufmerksam, daß derartige registrierende Quellenbeobachtungen sowohl für die Quellwirtschaft und -wissenschaft wie für die Erdbebenkunde sehr fruchtbringend sein können (Abb. 240).

E. Maurer berichtet von einer erheblichen Steigerung der Schüttung bosnischer Mineralquellen durch ein Erdbeben im Herbst 1926 usw.

Es wurden auch Wirkungen auf Mineralquellen von Erdbeben behauptet, deren Zentrum tausende Kilometer vom Quellort entfernt lag (Fernbeben). So zieht sich durch die Literatur der Bericht über die angebliche Wirkung des großen Erdbebens von Lissabon im Jahre 1755 auf den Karlsbader Sprudel und die Teplitzer Thermen. Knett verweist darauf, daß der äußerst gewissenhafte Karlsbader Historiograph Dr. Dav. Becher im Jahre 1772 ausdrücklich betont, daß sich diese Nachricht auf Teplitz beziehe und in Karlsbad von einer Störung der Quellen nichts wahrgenommen wurde. Den Einfluß auf die Teplitzer Quellen hält Laube für erwiesen; hier soll die Hauptquelle trübe gelaufen sein, einige Minuten ausgesetzt haben, worauf die Schüttung mit starkem Schwall ockerbeladenen Wassers wieder einsetzte. Diese sehr fragwürdige Überlieferung als wahr vorausgesetzt, gibt Fr. Sueß (144) die richtige Erklärung für das Phänomen: Zitternde Bewegung entbindet aus übersättigten Gaslösungen plötzlich größere Gasmengen, durch deren Wasserverdrängung die Ergiebigkeit beeinflußt wird; das Ockern ist dann eine selbstverständliche Folgerung.

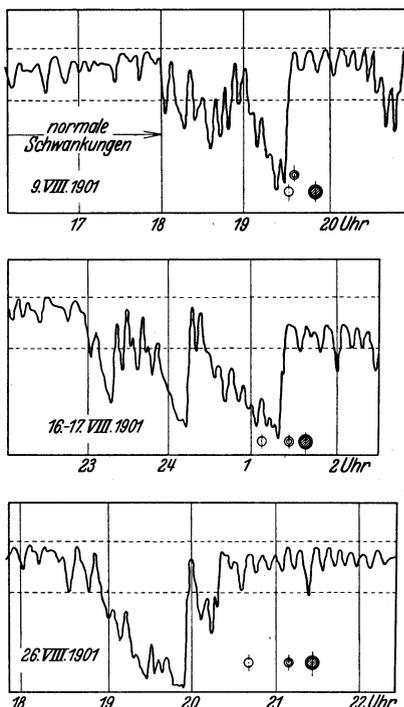


Abb. 240. Einfluß von Erdbeben auf die Ergiebigkeit der Mineralquellen. Beobachtungen an der Ekatherinenquelle zu Borshom von F. Moldenhauer.

Angaben des Seismographen in Tiflis:

- Vorbeben
- ⊙ Beginn } der Erschütterung
- Maximum }

Es ist jedoch davor zu warnen, daß dem Einfluß der Erdbeben, insbesondere der Gefahr der zerstörenden Wirkung derselben, im Kreise der Mineralquellenbesitzer eine größere Bedeutung zugemessen werde als ihm tatsächlich gebührt. Verfasser konnte aus mehrfachen Anfragen, die im Laufe seiner Tätigkeit als Quelleningenieur an ihn gerichtet wurden, eine diesbezügliche, gewiß unbegründete Angst wahrnehmen. Die Wirkungen der relativ häufigen Erschütterungen in Gegenden jüngerer Faltungen und Brüche, welche als letztes Ausklingen dieser tektonischen Vorgänge aufgefaßt werden, wie z. B. die „Schwarmbeben“ im Erzgebirge, konnten, nach Wissen des Verfassers, bei den nahegelegenen Mineralquellen bisher nicht nachgewiesen werden. Katastrophale Beben aber, die imstande wären, den Spaltenbau zu zerstören, würden gewiß, und viel eher, obertags Zerstörungen verursachen, mit denen man gewöhnlich nicht rechnet.

Das sollte aber andererseits nicht davon abhalten, in größeren Quellbeobachtungsstationen Seismographen aufzustellen. Im Gegenteil werden die Aufzeichnungen dieser Instrumente hinsichtlich der Schütterwirkungen beruhigend wirken.

B. Veränderungen der Quelltemperatur.

Auch die Temperatur der Thermen ist keine absolut unveränderliche Konstante; genaue Beobachtungen zeigen häufig eine periodische Schwankung mit der Jahreszeit. Jedenfalls nimmt — besonders in Quellorten mit kontinentalem Klima — die jährliche Temperaturdifferenz des Bodens einen wenn auch geringen Einfluß auf den Wärmeegrad der Quelle, welcher sich auch bei juvenilen Thermen zeigen kann. Bei vadosen Thermen wäre es nicht ausgeschlossen, daß sich die wechselnde Temperatur des Speisewassers im Einzugsgebiete in diesen Schwankungen bemerkbar machte.

Ist man aus Gründen des Kurbetriebes genötigt, zwischen Quellfassung und Auslauf Rohrleitungen einzuschalten, so schafft man damit eine Möglichkeit der Beeinflussung der Auslauftemperatur, die mit den natürlichen Schwankungen derselben nichts zu tun hat.

Zeigt die Temperaturkurve einer Therme abgesehen von diesen Schwankungen eine abnormale Änderungstendenz, so kann eine der folgenden Ursachen in Betracht kommen. Die Auslauftemperatur ist das Endergebnis eines Abkühlungsprozesses längs des Quellweges aufwärts; je rascher das Wasser die Quellwege durchheilt, um so weniger Zeit findet es zum Abkühlen. Man macht daher an Thermen die Beobachtung, daß sich mit ändernder Ergiebigkeit gesetzmäßig die Temperatur im gleichen Sinne ändert. Lepsius (100) erwähnt diese Beziehung mit den Worten: „Je stärker das aus einer Quelle ausfließende Wassergewicht ist, um so höher liegt die Temperatur der Quelle.“ Doch gibt er dem Gesetz eine andere Begründung.

Zeigt sich aber eine Temperaturverminderung bei gleichzeitiger Zunahme der Ergiebigkeit, so ist mit großer Wahrscheinlichkeit das Eindringen von kaltem Süßwasser zu vermuten, worüber die Kontrollanalyse allsogleich Aufklärung schaffen wird.

C. Veränderlichkeit der chemischen Zusammensetzung.

Änderungen im Fließzustand einer Mineralquelle können deren chemische Zusammensetzung beeinflussen. Wechselt bei einer Mineralquelle, welche mit süßem Bodenwasser in Kontakt steht, das gegenseitige Druckverhältnis der beiden Wässer, so hat dies insoweit keinen Einfluß auf den Chemismus der Quelle, als der Druck im Quellschloß noch überwiegt. Tritt aber der gegenteilige Fall ein, so dringt süßes Wasser in den Quellweg und verdünnt das Mineralwasser. Ursache kann einerseits eine Herabsetzung der Quellspannung bilden (z. B. bei fehlerhaften Anlagen durch Auspumpen eines Fassungs-schachtes, „Überanstrengen“ der Quelle), andererseits kann ungewöhnliches Ansteigen des

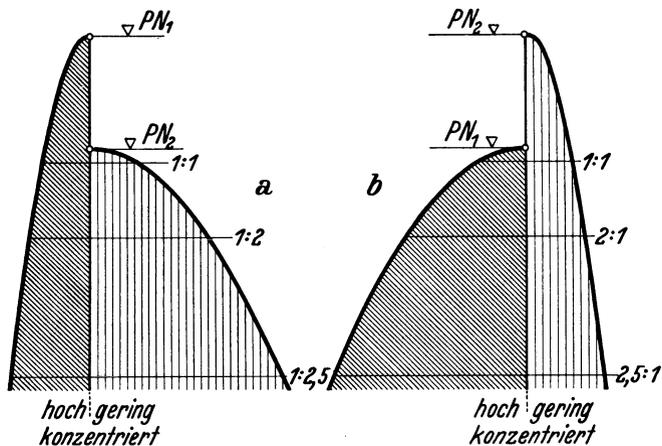


Abb. 241. Die Konzentration als Funktion der Spannungshöhe bei Quellkomponenten verschiedener Konzentration.

Bodenwasserdruckes (z. B. bei Hochwasser) die Ursache bilden. Die Veränderung betrifft dann nur die Konzentration.

In manchen Fällen bildet sich der chemische Charakter der Quelle durch Vermischen zweier oder mehrerer Komponenten von abweichender chemischer Zusammensetzung und ist deren Mischungsverhältnis gleichfalls eine Funktion der Quellspannung. Schafft man also einen geänderten Fließzustand, so wird sich im allgemeinen das Mischungsverhältnis und damit der chemische Charakter solcher Mineralquellen ändern. Die Kontrollanalyse findet jetzt neben eventueller Konzentrationsänderung auch Verschiebungen in der relativen Menge der Bestandteile.

Winter (122) stellte im Jahre 1920 bei der alten Fassung des Ferdinandsbrunnen in Marienbad fest, daß bei Überanstrengung der Quelle durch Abpumpen aus dem Schacht eine Konzentrationsabnahme unter gleichzeitiger Verschiebung des prozentuellen Verhältnisses der Milligrammäquivalente der Anionen eintrat. Chlor und Sulfat sanken unter den Normalwert, während Hydrokarbonat auffallend stieg¹. Hier

¹ Winter hat inzwischen im Jahre 1925 die Ferdinandsquelle neu gefaßt und einen dauernden Beharrungszustand ihres Abfließens geschaffen.

bestand die eine Komponente aus einem wenig konzentrierten Mineralwasser mit hohem Hydrokarbonatgehalt. Es muß nicht immer mit der Ergiebigkeitsvermehrung eine Abnahme der Konzentration verbunden sein; man beobachtet in selteneren Fällen auch die gegenteilige Erscheinung. Die Änderung hängt von der Form der Ergiebigkeitskurven ab,

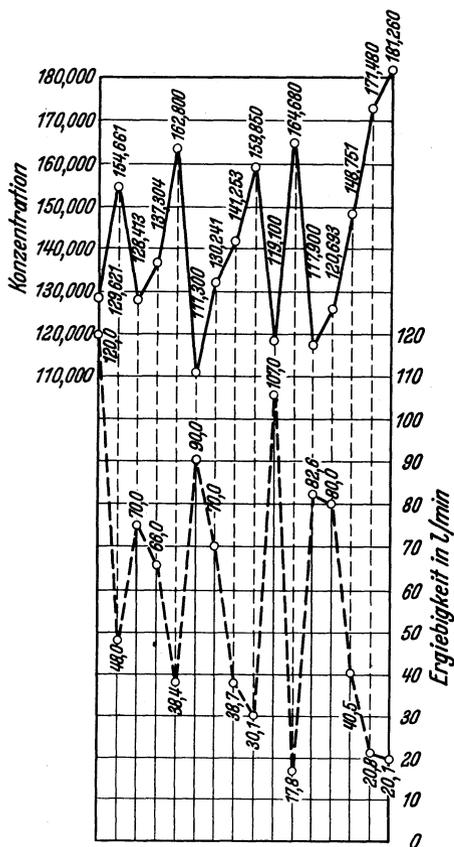


Abb. 242. Ungleich gerichtete Konzentrations- und Ergiebigkeitsschwankungen am Ferdinandsbrunnen zu Marienbad. (Nach B. Winter.)
Konzentration = Summe der Anionen der Milligrammäquivalente. Proben in Intervallen von 3 Minuten.

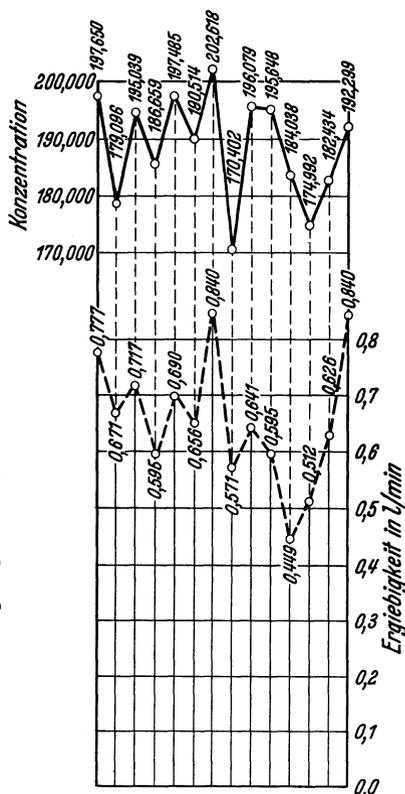


Abb. 243. Gleichsinnige Konzentrations- und Ergiebigkeitsschwankungen am Kreuzbrunnen zu Marienbad. (Nach B. Winter.)
Proben in Intervallen von 3 Minuten.

nach der die einzelnen Komponenten auf Spannungsänderungen reagieren. Abb. 241a und 241b stellt die Ergiebigkeitskurven zweier Quellen dar, die sich jede aus einer hoch konzentrierten und einer Komponente geringerer Konzentration zusammensetzen. Die beiden Adern können, wie dargestellt, verschiedenen piezometrisches Niveau besitzen. Im Falle *a* nimmt bei Ergiebigkeitsvermehrung die Konzentration ab, bei *b* steigt die Konzentration mit der Schüttung. Auch hierüber verdanken wir Winter interessante Beobachtungen. Während die Ferdinandsquelle II mit steigender Schüttung an Konzentration verliert

(Abb. 242), zeigt der Marienbader Kreuzbrunn gleichsinnige Schwankungen von beiden Werten (Abb. 243).

Daß auch selbst der Luftdruck auf die chemische Zusammensetzung Einfluß nehmen kann, zeigen die interessanten Beobachtungsergebnisse

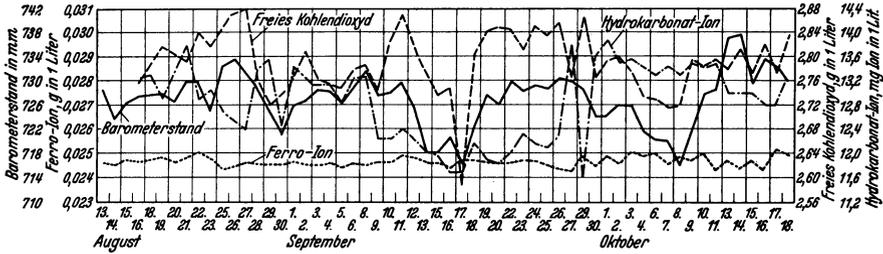


Abb. 244. Abhängigkeit des Gehaltes an freier Kohlensäure, Hydrokarbonat-Ion und Ferro-Ion vom Luftdruck. Beobachtungen am Lamscheider Stahlbrunnen i. J. 1913 (86).

am Lamscheider Stahlbrunnen (86), welche deutlichen Parallelismus zwischen Hydrokarbonat, freier Kohlensäure; aber auch Eisengehalt mit der Barometerkurve aufweisen (Abb. 244). W. Zörkendörfer (145) hat gelegentlich von Versuchen an der Brodlerquelle in Kschiha bei Marienbad im Jahre 1930 gleichfalls deutlich den Zusammenhang von Luftdruck und Kohlensäuregehalt nachweisen können (Abb. 245).

Bei den letzten Beispielen handelt es sich um Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung, welche die Quelle ohne äußeres Dazutun vollführt. Tatsächlich lassen sich derartige Schwankungen gewiß bei allen Mineralquellen nachweisen. Sie sind bei manchen sehr gering, bei anderen treten sie deutlicher in Erscheinung. Sie gehören wie alle übrigen Eigenschaften zum Charakter der Quelle und stellen an und für sich noch keinen Mangel dar. Diese Überzeugung hat sich erst spät Geltung verschafft. Man glaubte lange an die absolute Unveränderlichkeit der chemischen Zusammensetzung der Mineralquellen. Erst 1894 erklärte Fresenius (146), daß man bei allen Mineralquellen auf Gehaltsschwankungen gefaßt sein müsse. Allerdings können — insbesondere größere — Schwankungen ihre Ursache auch in mangelhafter Fassung haben, und soll dann ihre Feststellung zur möglichsten Behebung dieses Fehlers mahnen.

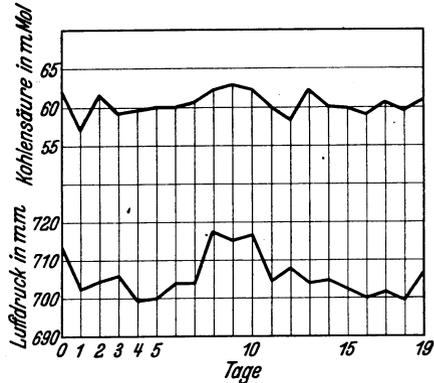


Abb. 245. Abhängigkeit des Kohlensäuregehaltes vom Luftdruck. Brodlerquelle in Kschiha bei Marienbad. (Nach W. Zörkendörfer.)

Als Beispiele von Quellen mit geringen Schwankungen diene der Karlsbader Sprudel und der Kochbrunnen zu Wiesbaden. Die

Untersuchungen des Karlsbader Sprudels im Städtischen Chemischen Laboratorium (Dir. Dr. H. Lang) ergaben in den letzten 10 Jahren:

Januar	1924	1,4019	g/1 kg SO ₄
„	1925	1,3965	„ „
„	1926	1,3913	„ „
„	1927	1,4006	„ „
„	1928	1,3935	„ „
„	1929	1,3886	„ „
„	1930	1,3966	„ „
„	1931	1,3931	„ „
„	1932	1,3960	„ „
„	1933	1,3947	„ „

Die Analysen des Kochbrunns durch Fresenius, Hintz und Grünhut (86) ergaben:

(nach F. Lade)	1847	4,678	g/1 kg Chlor + Brom + Jod-Ion
	1849	4,670	„ „ + „ + „
	1885	4,659	„ „ + „ + „
	1904	4,658	„ „ + „ + „
19. III.	1907	4,673	„ „ + „ + „
27. VI.	1907	4,642	„ „ + „ + „
2. XI.	1907	4,644	„ „ + „ + „
5. II.	1908	4,640	„ „ + „ + „
4. IV.	1908	4,678	„ „ + „ + „
6. VII.	1908	4,648	„ „ + „ + „

IV. Die Fassung der Mineralquellen.

Unter Fassung versteht man künstliche Veränderungen des natürlichen Quellenauslaufes, welche in der Hauptsache drei Zwecke verfolgen:

1. Die maximale Menge des Quellgutes zu erschließen, welche die Natur dauernd spenden kann; jeden Verlust an Mineralwasser (Gas) zu verhindern.

2. Jede vermeidbare Änderung des natürlichen chemischen und physikalischen Charakters der Quelle auf dem Wege vom natürlichen Quellschlote zur Verwendungsstelle des Mineralwassers zu verhindern.

3. Den Ausfluß des Quellgutes in einer für die Verwendung zweckdienlichen Form zu erzielen¹.

Wie diese Ziele mit bestem Erfolge und mit erschwinglichen Kosten erreicht werden, ist eine Aufgabe, deren individuelle Lösung in jedem einzelnen Falle dem berufenen Quelleningenieur obliegt; eine Aufgabe, deren richtige Durchführung neben allgemeinen Fachkenntnissen und praktischer Erfahrung die eindringende Kenntnis der zu fassenden Quelle, ihrer geologischen Verhältnisse, ihres Chemismus, kurz ihres gesamten Mechanismus im weitesten Sinne, voraussetzt. Alles, was sich im allgemeinen über Mineralquellfassungen sagen läßt, sind doch nur Grundsätze und Richtlinien. Welche davon für den Sonderfall von

¹ Wie das Schrifttum über Mineralquellen überhaupt, so ist auch das über ihre Fassung in Einzeldarstellungen in vielerlei Fachzeitschriften zerstreut. Zusammenfassend wurde das Thema zuletzt von Dr. Knett im Österreichischen Bäderbuche (140) (Ausgabe 1914) behandelt.

Bedeutung sind und wie sie hierbei praktisch zu verwerten und anzupassen sind, muß der Ingenieur nach gründlichem Studium selbst entscheiden.

Wenn also vor dem leichtfertigen Übernehmen dieser Aufgabe, ohne genügende allgemeine und besondere Kenntnisse und Erfahrungen gewarnt werden muß, so ist es doch andererseits zu verurteilen, wenn dieser Zweig des Ingenieurwesens mit dem Nimbus einer nur von wenigen Eingeweihten beherrschten Geheimwissenschaft umkleidet wird. Hinter dieser verbirgt sich manchmal eine nur zu einfache Arbeitsschablone, deren wiederholte sklavische Anwendung bei den verschiedensten Verhältnissen gerade die individuelle Lösung der Aufgaben ausschließt.

A. Fassung absteigender Mineralquellen.

Da die Mineralquellen in der Überzahl aufsteigende Quellen sind, wird der Quelleningenieur seltener in die Lage kommen, eine absteigende Mineralquelle zu fassen. Die Fassungen beider Quellformen sind grundsätzlich verschieden; dies ist auch der Hauptgrund, dieses Einteilungsprinzip aufrechtzuhalten. Während die Fassung der auf-

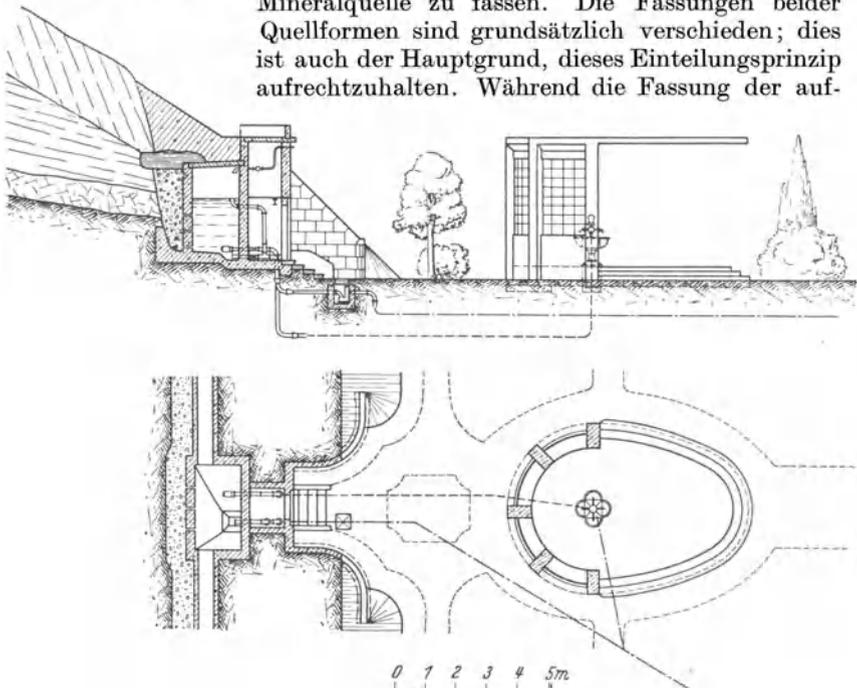


Abb. 246. Fassung einer absteigenden Mineralquelle. (Nach I. Hráský, „Balneotechnika“, Prag 1929.)

steigenden Quelle immer eine — je nach Notwendigkeit kürzere oder längere — Fortsetzung des natürlichen Quellweges unter tunlichster Vermeidung einer Störung des Druck- und Fließkontinuums darstellt, bildet die Fassung der absteigenden Quelle — abgesehen von individuellen Verschiedenheiten — stets eine Art Auffanggefäß, mit oder ohne Speichermöglichkeit, aus welchem die Quelle unter dem Drucke des Gefäßspiegels, evtl. als Überlauf, abläuft.

Das Mineralwasser kann der absteigenden Quelle in der Form von Grundwasser zuströmen, z. B. manche als absteigende „Schichtquelle“ austretende Gipswässer, oder als unterirdischer Wasserlauf (absteigende Spaltenquelle).

Die Form der Fassung wird sich im Prinzip von der bei absteigenden Süßwasserquellen angewendeten nicht unterscheiden. Um den erhöhten hygienischen Anforderungen zu genügen, wird man bei Schichtquellen die Fassungsstelle dem Mineralwasserstrom entgegen möglichst weit zurückschieben, evtl. mittels längerer, gegen das Einfallen der Schicht vorgetriebener Stollen. Das Tag- und süße Bodenwasser oberhalb der Fassung ist nötigenfalls durch Lettendichtungen oder Drainagen fernzuhalten.

Als Material wird vorwiegend Beton in Anwendung kommen, Metall nur für die Ableitungs- bzw. Überlaufrohre. Über die Wahl des Materials mit Rücksicht auf die chemische Eigenart des Mineralwassers gilt das später hierüber Gesagte (S. 250).

B. Fassung der aufsteigenden Quellen.

Im technischen Sprachgebrauch pflegt man unter „Fassung“ zu meist jene Anlagen zu verstehen, die später als „Schurffassung“ behandelt werden. Nach dem eingangs festgestellten Zweck der Fassung gehören hierzu aber auch die Schachtteufungen und Bohrarbeiten, einschließlich der Tiefbohrungen zum Erschließen von Mineralwasser.

Wahl der Fassungsmethode. Schürfen — Schachtteufen — Bohren. Es ist die erste und wichtigste Entscheidung des Ingenieurs, welche dieser Fassungsarbeiten er anwenden bzw. empfehlen soll; sie kann nur auf Grund genauer Kenntnis der geologischen und hydrologischen Verhältnisse getroffen werden.

Die Fassung ersetzt einen Teil des natürlichen Quellweges durch einen künstlichen Schlot. Die Übergangsstelle zwischen beiden, die „Fassungsbasis“, muß mindestens so tief gewählt werden, daß das Mineralwasser dortselbst noch seinen ursprünglichen, nicht durch äußere Einflüsse veränderten Charakter besitzt und womöglich noch keine Ergiebigkeitseinbuße durch abzweigende Adern erlitten hat. Die über der Fassungsbasis liegende Zone, in der solche Einflüsse — insbesondere durch den Kontakt mit süßem Bodenwasser — drohen, soll die Quelle künftig innerhalb des schützenden Mantels der Fassung durchströmen.

In manchen Fällen bietet sich in geringer Tiefe unter Ablagerungen alluvialen Charakters oder anderer Herkunft die Oberfläche eines im Untergrunde anstehenden Gesteins, auf welcher sich der Ausbiß der Quellsalten verfolgen läßt. Erscheint dasselbe genügend fest, um den Fassungskörper anschließen zu können, und wasserdicht, so daß eine „Umgehung“ der Fassung durch das Mineralwasser nicht zu befürchten ist, so kann dieses Gestein zur Fassungsbasis gewählt werden. Evtl. muß man die durch Verwitterung mürbe und durchlässig gewordene Schichte desselben abheben, um die geeignete Anschlußfläche für die Fassung und den anschließenden Dichtungskörper zu schaffen. Man bezeichnet diese vorwiegend horizontal ausgedehnte Fassungsweise mit verhältnismäßig geringer Tiefenerstreckung als Fassung durch Schürfen.

Wenn die Überlagerung tief hinabreicht oder sich das zwar seicht anstehende Gestein bis in größere Tiefen hinab als mürbe und zerklüftet erweist, wird es Gegenstand der Kostenberechnung und abhängig von den verfügbaren Mitteln, ob die Fassung noch durch Schürfung, also völlige Aufdeckung der Fassungs- und Dichtungsfläche bewerkstelligt werden soll oder besser durch Abteufen eines Fassungs-schachtes. Bei der Wahl dieser Fassungsart verzichtet man zumeist auf größere Flächendichtungen. Da die näher dem Quellauslaufe gelegenen Verlust- und Infiltrationsadern wahrscheinlich in geringerer Tiefe vom Hauptwege abzweigen, die entfernteren in größerer Tiefe, so ersetzt der Fassungs-schacht eine um so größere Dichtungsfläche, je tiefer er der Quellader entgegengeteuft wird.

Die Vorteile der Schachtfassung in vielfach erhöhtem Maße, aber in Verbindung mit gewissen Nachteilen, die man nicht übersehen darf, bietet das Bohren.

Ein in der Tiefe wasserfündiges Bohrloch ersetzt einen sehr langen Teil des natürlichen Quellweges durch die Bohrverrohrung. Der Widerstand dieses fast geradlinigen Rohres, von gleichmäßig kreisförmigem, also günstigstem, Querschnitt mit glatter Wandung ist verschwindend klein gegenüber dem der natürlichen Quellader mit ihren vielfachen Krümmungen, Querschnittsänderungen und rauhen Wänden. Auf den durch den kleineren Widerstand im Bohrloche bedingten geringeren Druckverlust antwortet die Quelle mit erhöhter Fließgeschwindigkeit, also höherer Ergiebigkeit; mit dieser Erhöhung der Schüttung ist bei Thermen fast stets eine Zunahme der Temperatur verbunden. Eine Flächendichtung kommt in Wegfall, da durch die allgemeine Herabsetzung des Druckes im Quellgebiet die Wassersäulen der wilden Austritte im Quellgebiet unter Austrittsniveau absinken. Dies kann bei Quellsystemen, die durch ein weit verzweigtes Kluftsystem mit ausgedehnten alluvialen Ablagerungen in Kommunikation stehen, und wo eine gründliche Abdichtung zu kostspielig oder überhaupt undurchführbar wäre, sehr willkommen sein.

Diesen unstreitbaren Vorteilen des Bohrverfahrens stehen leider gewichtige Nachteile gegenüber. Vor allem eine gewisse Unsicherheit, etwas „Lotteriespielmäßiges“, das an dem Entschlusse zum Bohren haftet. Das Bohrprogramm muß natürlich in den geologischen Verhältnissen begründet sein. Mit einer gewissen Sicherheit bohrt man in jenen Fällen, wo es sich um das Anfahren einer mineralwasserführenden Schichte handelt (wie z. B. bei vielen kohlen säurehaltigen Salzsohlen). Etwas geringer ist die Sicherheit auf Bohrerfolg, wenn man den Quellweg in der Tiefe auf einer Dislokation (Verwerferspalte) sucht, deren Streichen und Fallen annähernd bekannt ist. Man hat dann wohl die Gewißheit, mit der Bohrung die Dislokation zu treffen, kann auch den Bohrpunkt so wählen, daß dies in annähernd bestimmter Tiefe geschieht, aber es bleibt dem Bohrglück vorbehalten, daß man auf der Spalte einer Quellader genügend nahekommt.

Manchmal ist jedoch nur der ungefähre Verlauf des Spaltenausbisses durch eine Quelllinie markiert und das Einfallen muß durch eine —

evtl. verlorene — Bohrung konstatiert werden. Entschließt man sich daher zum Tiefbohren, so rechne man gleich mit mehreren (mindestens vier!) Bohrungen und schließlich mit eventuellem Mißerfolg.

Daß bei erfolgreicher Bohrung das Ergebnis oft ein in chemisch-physikalischer Hinsicht von den bisher gefaßten Quellen verschiedenes Mineralwasser ist, kann mitunter auch einen Nachteil bedeuten. So würde bei Thermen, die sich aus mehreren, verschieden mineralisierten Komponenten zusammensetzen, und die bei mäßiger Temperatur hohen Gehalt an gelöster Kohlensäure aufweisen, nachdem sich die Therapie auf diesen chemischen Charakter eingestellt hat, die Erbohrung einer hochtemperierten, konzentrierten Therme mit geringer Gasabsorption unerwünscht sein.

Man wählt daher insbesondere bei Thermen, die zur Trinkkur Verwendung finden und über deren therapeutischen Wert reiche Erfahrungen bestehen, bei der Neufassung besser die vorsichtige, vor Überraschungen schützende Schürfmethode.

Bohrt man in einem engeren Quellsystem, so muß man gewärtig sein, daß eine erfolgreiche Tiefenerschotung das bestehende Gleichgewicht in der Verteilung des Mineralwassers und die damit in Zusammenhang stehenden Eigenschaften der Einzelquellen (Temperatur, Chemismus, Gasführung) völlig umwirft; ja es kann die Steigfähigkeit in den alten Fassungen derart nachlassen, daß diese Quellen, läßt man die erbohrte Quelle ungedrosselt fließen, versiegen können.

Es ist ein bedeutsamer Entschluß, eine der drei Fassungsverfahren zu wählen, und kann der Ingenieur erst nach gründlicher Erwägung aller besonderen örtlichen Umstände hierüber mit gutem Gewissen Vorschläge erstatten. Die letzte Entscheidung trifft wohl zumeist der Quellenbesitzer selbst.

In besonderen Fällen kann auch eine Kombination z. B. von Schurf- und Schachtfassung oder Schurffassung mit seichten Bohrungen von Vorteil sein. Gänzlich zu verurteilen ist jedenfalls die unterschiedslose Anwendung einer bestimmten Methode bei allen vorkommenden Fällen.

Vorerhebungen und Projekte. Die zu fassende Quelle befindet sich entweder noch im unberührten Naturzustande oder es handelt sich um die „Neufassung“ einer Quelle, deren alte Fassung ihre Zwecke nicht mehr erfüllt.

Bei der ersten Fassung stellt oft das geologische Kartenblatt der Umgebung die einzige verwendbare Vorarbeit dar. Aber auch bei vorhandenen Fassungen größeren Alters mangelt es zumeist an Plänen und Aufzeichnungen. Liegt eine genauere geologische Kartierung vor — und gerade Gebiete mit Mineralquellen regen manchmal zu solcher an —, so macht man sich deren Ergebnisse zunutze. Fehlen solche Unterlagen oder sind sie unzureichend, so müssen die geologischen Verhältnisse klar gestellt werden; hierbei kann der Ingenieur des Fachgeologen nicht entbehren. Wenn auch er letzten Endes die Vorschläge über die zu wählende Fassungsverfahren und die Eigenart ihrer Durchführung zu erstatten hat, so müssen ihm hierfür sichere geologische Grundlagen zur Verfügung stehen.

Der Geologe hat den Aufbau des Untergrundes der Landschaft in großen Zügen und der engeren Umgebung der Quelle bis ins kleinste Detail zu erforschen. Er muß alle vorkommenden Gesteine und Bodenarten charakterisieren. Das Ergebnis dieser Arbeit muß er in einer geologischen Detailkarte mit zugehörigen Profilen und einer Beschreibung niederlegen. Er versäume aber auch nicht, seine Untersuchungen auf die Morphologie der Landschaft auszudehnen. Da die aufsteigenden

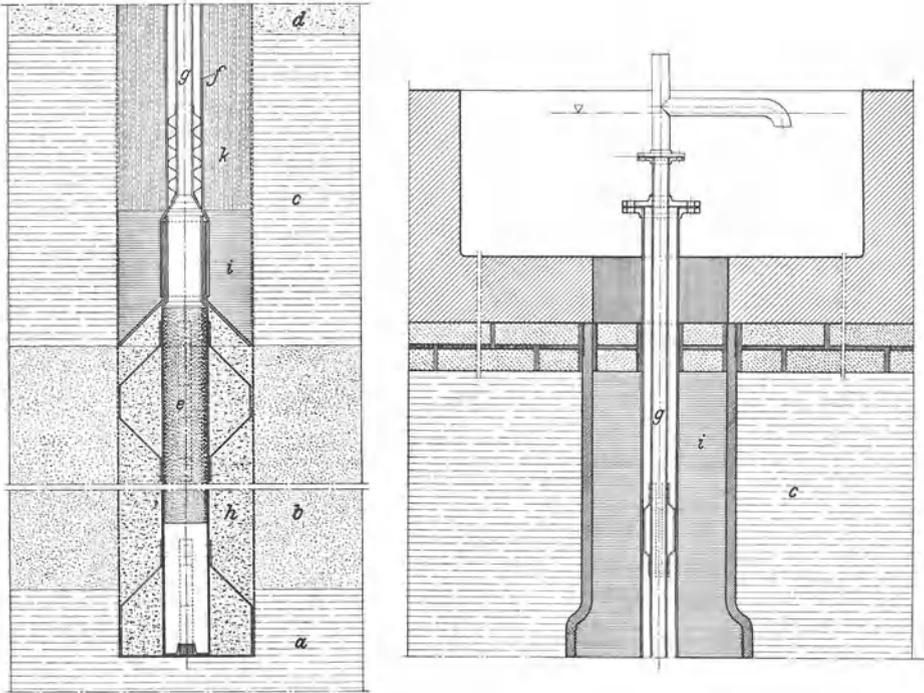


Abb. 247. Bohrfassung eines Sauerlings, erbaut i. J. 1933 in Böhmen (G. Rumpel A.-G.). Das Mineralwasser strömt in 18 m Tiefe aus feinen Quarzsanden in das Bohrloch. Der Verschlämmungsgefahr steuert ein Kiesfilter und Hermannfilter; überdies wurde das (bronzene) Steigrohr zwecks Reinigung ausziehbar eingerichtet.

a, c undurchlässige Mergel; *b* wasserführender Quarzsand; *d* Sand; *e* Filterkorb; *f* äußere Verrohrung; *g* inneres Steigrohr, ausziehbar; *h* Filterkies; *i* Dichtungsletten; *k* versteinertes Sand.

Quellen gern an der tiefsten Stelle des Spaltenausbisses zutage treten, finden wir sie in der Sohle der Erosionstäler, wo sie auch nach Verschüttung des alten Tales und Verlegung des Wasserlaufes weiterbestehen können. Durch das Aufsuchen solcher verlassener Täler und Anfahren des Schnittpunktes ihrer Achse mit dem Spaltenausbiß durch einen Schacht können namhafte Erfolge erzielt werden.

Bieten die vorhandenen natürlichen und künstlichen Aufschlüsse, Lesesteine usw. für die Erforschung des Untergrundes keine ausreichenden Unterlagen, so müssen weitere solche durch Schurfschlitze und Sondierungsbohrungen gewonnen werden. Der Ingenieur legt diese im

Einvernehmen mit dem Geologen so an, daß sie ihm gleichzeitig Unterlagen für die Wahl der Fassungsverfahren, für die räumliche Ausdehnung der künftigen Fassung und Dichtungsfläche, über das Ausmaß der nötigen Massenbewegung, für die günstigsten Ansatzpunkte eventueller Tiefbohrungen usw. liefern. Diese Sonden sollen auch über das vorhandene süße Grundwasser bzw. das diesem aus wilden Austritten zu-

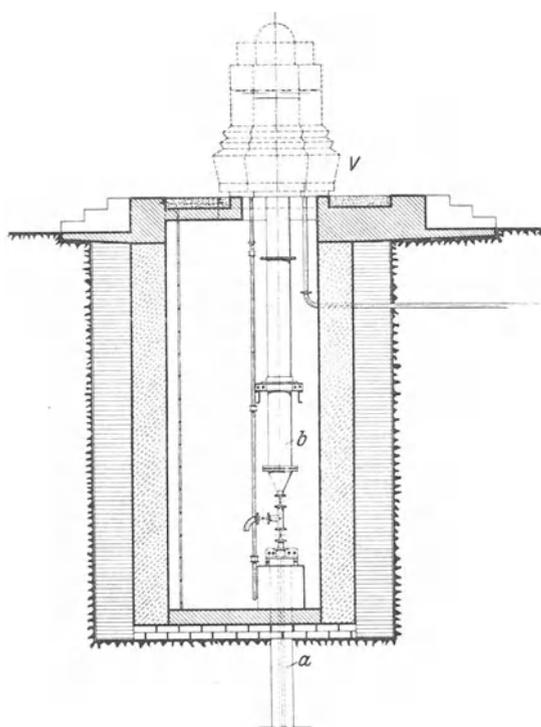


Abb. 248. Gasführende Quelle, erbohrt i. J. 1930 in der Tschechoslowakei. Verrohrungsarmatur. (G. Rumpel A.-G.)

Die Quelle schüttete in zu großen Perioden mit langen Pausen. Durch Verwendung des günstigsten Rohrquerschnittes im Bohrloche und Aufsetzen eines weiten Endigungsrohres („Wasserbremse“) wurde gleichmäßiger Ablauf erzielt.

sitzende Mineralwasser aufklären. (Beobachtung des Grundwasserspiegels, Temperaturmessungen, einfache chemische Kontrollproben.)

Wie für alle Arbeiten des Tiefbauingenieurs, so gilt auch für Fassungsarbeiten der Erfahrungssatz, daß sich ein Sparen an Vorerhebungen zumeist bei der Ausführung bitter rächt, gründliches Sondieren aber vielfach Ersparnisse zeitigt.

Liegen auf Grund dieser Vorstudien die Untergrundverhältnisse völlig klar, so kann unter Berücksichtigung der verfügbaren Geldmittel die Fassungsverfahren gewählt werden. Bei größeren Fassungsarbeiten, insbesondere bei Quellsystemen und größerer Ausdehnung des Quellgebietes, ist eine genaue topographische Aufnahme, wenigstens im Maßstabe 1:1000, besser 1:500 unentbehrlich.

Die beabsichtigten Arbeiten werden in einem schriftlichen, mit Karten und Plänen belegten Projekt dargestellt.

Dasselbe soll dem Quellenbesitzer ein ungefähres Bild der Arbeiten geben; es dient ferner zur ungefähren Kostenberechnung und zur Einreichung bei den Behörden zur Genehmigung der Arbeiten (S. 267).

Man vergesse aber nicht, daß dieses Projekt mehr oder weniger nur ein Schema für die bei der Durchführung anzuwendenden Prinzipien darstellen kann als ein im Einzelnen einzuhaltendes Vorbild. Die wirkliche Ausführung muß sich den Ergebnissen des Bodenaufschlusses anpassen. Erst der vollendete Aufschluß zeigt bei Schurffassungen die geeignetsten Fassungsstellen und die abzudichtenden Flächen. Bei Schachtfassungen kann man nur den Ansatzpunkt des Schachtes, seine Querschnitts-

dimensionen, die Art des provisorischen und definitiven Ausbaues vorher angeben; bei Tiefbohrungen den ersten Ansatzpunkt, die Bohrmethode und das Anfangskaliber.

Ein vorher festgelegtes Projekt einer Quellsfassung in seinen Einzelheiten und Maßen sklavisch auszuführen, ist Stümperarbeit. Fachtechnisch richtig beratene Behörden begnügen sich daher zunächst mit einem generellen Projekt, das die prinzipielle Methode der Arbeiten, ihr ungefähres Ausmaß, die zu verwendenden Materialien usw. zum Ausdruck bringt, und verlangen nach Durchführung des Aufschlusses eine Besichtigung zur Klarlegung der endgültigen Entschlüsse.

Teufen und Bohren. Fassungen durch Schachtteufung sind bergmännische Arbeit. Hinsichtlich ihrer Einzelheiten: Teufarbeit, provisorischer und definitiver Schachtausbau, Wasserhaltung, Fahrung, Bewetterung usw. muß auf das bezügliche Fachschrifttum verwiesen werden.

Auch die Tiefbohrtechnik hat sich längst zu einem eigenen großen technischen Sondergebiete entwickelt. Mit der Ausführung von tiefen Bohrungen beauftragt man nur Unternehmungen, deren Ingenieure auf diesem Gebiete reiche Erfahrungen gewonnen haben und den vielen bei dieser Arbeit möglichen Zwischenfällen gewachsen sind.

Manchmal kann eine seichte Bohrung mit unverhältnismäßig geringeren Kosten gleiches leisten wie eine teure Schurf- oder Schachtfassung. Abb. 247 zeigt die Ausführung einer 18 m tiefen Bohrfassung eines Säuerlings in Böhmen aus dem Jahre 1933. Das Mineralwasser zirkuliert in Quarzsanden, deren Eindringen in die Fassung durch einen Hermannschen Filterkorb verhindert werden mußte. Da das Wasser stark sedimentiert, gelangte ein doppeltes Steigrohr zur Anwendung, dessen innere Rohrtour zwecks Reinigung gezogen werden kann. Die Abdichtung zwischen der Bohrlochwandung und der äußeren Rohrtour

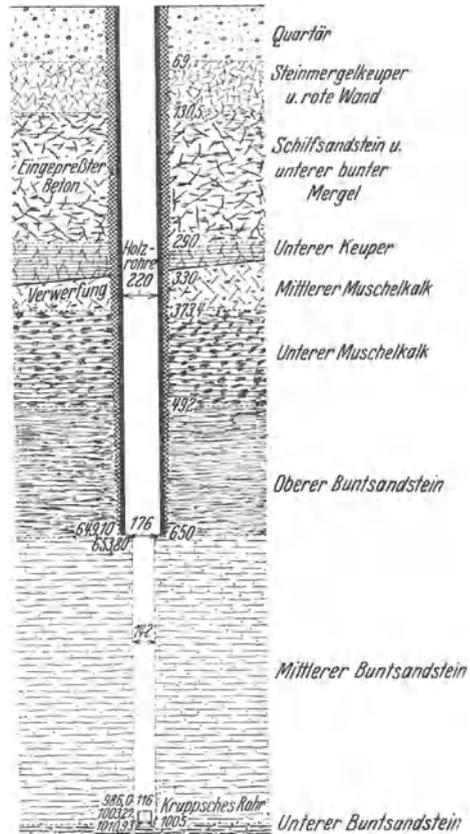


Abb. 249. Bohrprofil des II. Thermalsprudels in Bad Salzuflen. (Nach Mestwerdt.)

erfolgte durch Sand, der nach dem Joostenschen Verfahren (s. S. 254) gedichtet wurde.

Abb. 248 zeigt eine (1929) fündige Bohrung auf einen muriatisch-alkalischen Säuerling in der Tschechoslowakei, dessen periodischer Ausstoß, in längeren Pausen, durch entsprechende Querschnittsbemessung



Abb. 250. Der zweite Thermalsprudel in Bad Salzuflen, erbohrt am 28. II. 1927. (Nach Mestwerdt.)

und Anordnung einer „Wasserbremse“ in kontinuierlichen Auslauf verwandelt wurde.

Die Tiefbohrung II in Bad Salzuflen (147) sollte neben dem im Jahre 1905/06 im unteren Muschelkalk erbohrten Leopoldsprudel im Falle von Betriebsstörungen eine Reserve an kohlen-säurereicher Sole bieten. Um die Schüttung des Leopoldsprudels nicht zu beeinträchtigen, mußte man mit dem Bohrpunkte mindestens 1 km von diesem entfernt bleiben; hierdurch und auf Grund der damaligen Kenntnis der geologischen Verhältnisse ergab sich ein Bohrpunkt im Salztal oberhalb der ersten Bohrung.

Da aber hier der Muschelkalk in geringerer Tiefe liegen mußte als beim Leopoldsprudel, beabsichtigte man von vornherein bis in den Buntsandstein zu bohren, um wärmere Quellhorizonte zu erschließen.

Die Bohrung wurde 1919 begonnen und 1927 bei 1023 m Tiefe im unteren Buntsandstein beendet. Abb. 249 zeigt ihr Profil. Man begann mit 675 mm Anfangsdurchmesser; innerhalb der Keupermergel wird der Durchmesser bis auf 390 mm herabgesetzt. Bei 370 m wird im unteren Muschelkalk eine starke Quelle erbohrt, welche aber wegen ihrer niederen Temperatur nicht befriedigte; um die aus dem Buntsandstein erhofften Quellen von dieser Erschötung zu trennen, wird von da ab mit 142 mm weitergebohrt, bei 633 m Tiefe auf 120 mm verringert. Ab 720 m muß mit der Diamantkrone gearbeitet werden. Bei 803,6 m wurden 1000 l/min mit 3,5% Salzgehalt erschoten, die vor Ort 40° C Temperatur zeigten. Um noch höhere Temperatur zu erzielen, bohrte man mit 91 mm weiter und erschloß 1921 die Quellen in 1003–1023 m Tiefe, aus welchen man

nach dem Abdichten der anderen Horizonte und endgültigem Nachbohren 1500 l/min bei 37° C am Auslauf erreichte.

Die kühleren Muschelkalkquellen wurden durch Einpressen von Zementmörtel abgesperrt. Zur möglichsten Wärmeisolierung der Buntsandsteinwässer wurde eine 650 m lange Holzrohrfahrt von 220 mm innerem und 380 mm äußerem Durchmesser eingebaut und der äußere Zwischenraum mit Zement gedichtet. Die Strecke ober- und unterhalb 1000 m wurde durch ein von der Firma Krupp, Essen, geliefertes geschlitztes Rohr aus nichtrostendem Stahl von 25 m Länge und 92 mm Durchmesser geschützt. Die Sole wird heute durch eine 1500 m lange, gegen Wärmeverluste isolierte Rohrleitung den Bädern zugeführt, woselbst eine Sole von 36° C verfügbar ist. Die Bohrarbeiten wurden von der Preußischen Bergwerks- und Hütten A.-G. Schönebeck durchgeführt; die Beratung in geologischen Fragen leistete Prof. A. Mestwerdt.

Schurffassungen.

Der Aufschluß. Der Aufschluß setzt, wenn nicht besondere Gründe fallweise dagegen sprechen, am besten bei der Quelle selbst ein. Er benötigt also gleich eine dem Zuflusse entsprechende Wasserhaltung.



Abb. 251. Fassung der Reissacher-Quelle in Bad Gastein. Beispiel einer Quellaufschlußarbeit.
(Ausgef. von der G. Rumpel A.-G.)

Die Schwierigkeiten, welche die Wasserhaltung ehemals bereiten konnte, fallen heute weg, da dem Ingenieur nicht nur Pumpen für die verschiedensten Aufgaben und Leistungen zur Verfügung stehen, sondern auch fast überall Starkstrom für den Anschluß der Motore vor-

handen ist. Sollte er doch fehlen, so bilden die modernen Explosionsmotore guten Ersatz.

Die besten Dienste leisten aber Wasserstrahlpumpen (Ejektore), welche allerdings das Vorhandensein einer genügend leistungsfähigen Hochdruckwasserleitung voraussetzen. Sie sind sehr betriebssicher und bedürfen fast keiner Wartung. Sie können rasch von Ort zu Ort versetzt werden; auch kann bei genügender Leistung der Hochdruckleitung eine ziemliche Zahl derselben angeschlossen werden, wodurch die Durchführung der Dichtungsarbeiten sehr erleichtert wird.



Abb. 252. Elisabeth-Quelle in Bad Borsec, Rumänien, nach vollendetem Aufschluß.
(Ausgef. von der G. Rumpel A.-G.)

An Pumpen und Motoren für die Wasserhaltung muß wenigstens eine einfache Reserve vorhanden sein, so daß ein Ersaufen der Baugrube während der Arbeiten infolge einer Störung völlig ausgeschlossen ist. Arbeitet man mit elektrischer Energie, so wählt man Explosionsmotore als Reserveantrieb, um gegen Stromunterbrechungen gesichert zu sein. Ein Versagen der Wasserhaltung kann den Erfolg der ganzen Arbeit bedrohen. Für die fallweise Trockenhaltung kleiner Gruben muß eine übertragbare, von Hand zu bedienende Pumpe vorhanden sein.

Der Aufschluß hat die zur Fassungs- und Dichtungsbasis gewählte Fläche bloßzulegen. Stehen einzelne Baulichkeiten (Häuser) im Wege, so können dieselben bei größeren Arbeiten „unterfangen“ und auf Substruktionen gestellt werden, welche die Dichtung darunter nicht behindern. Da dies in engbesiedeltem Gebiet zu große Kosten verursachen würde, muß man hier auf direkte Abdichtung verzichten. Man kann in derartigen Fällen den Versuch machen, durch Regelung (Erhöhung)

des Grundwasserstandes mittels unterirdischer Staubarrieren wilde Austritte zu drosseln.

Die Oberfläche des als Fassungsbasis gewählten Gesteins ist meist nicht zum unmittelbaren Anschluß des Dichtungsmateriales geeignet; man entfernt möglichst die mürbe, bröckelige Schichte und trachtet gesunde Anschlußflächen zu schaffen. Es ist aber durchaus nicht notwendig, diese horizontal abzurichten; im Gegenteil sichert eine unebene Gesteinsfläche besseren Anschluß der Dichtung.

Die fortschreitende Tieferlegung der Sohle bewirkt oft Verschiebungen der einzelnen Quellaustritte und Veränderungen ihrer Schüttung, Temperatur und Konzentration. Auch verringert sich häufig deren Zahl mit der Tiefe. Es ist für die Beurteilung der wechselseitigen Zusammenhänge vorteilhaft, diese stufenweisen Änderungen zu beobachten.

Beurteilung der Mineralwasserzflüsse. Die auf der Aufschlußsohle sichtbaren Spalten- und Kluftausbisse sowie die Wasseraustritte werden eingemessen und in einen Plan (mindestens 1:100) eingetragen. Man trachtet dann die einzelnen Wasseraustritte nach Temperatur, Konzentration und eventuellem Zusammenhang zu gruppieren und trennt die einzelnen Gruppen durch kleine Lettendämme mit Überlaufrohren zur weiteren Beobachtung. Vor allem scheidet man die Süßwasseraustritte von dem Mineralwasser ab.

Infolge der durch Aufschluß und Wasserhaltung im Quellsystem geschaffenen Depression setzt das Mineralwasser dem süßen Wasser an den Kontaktstellen verminderten Druck entgegen. Dies äußert sich in einer Schüttungszunahme und Konzentrationsverminderung, bei Thermen in einer Temperaturabnahme, Änderungen, welche bei dem späteren Aufstau wieder allmählich verschwinden. Durch wechselndes Aufstauen einzelner Austrittsgruppen unter Beobachtung der anderen lassen sich weitere Zusammenhänge feststellen und die Zahl der voneinander unabhängigen oder nur in geringem Zusammenhang stehenden Gruppen vermindern. Schließlich werden alle untereinander in Zusammenhang stehenden und nach ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften zusammengehörenden Austritte in einer Fassung vereinigt.

Insbesondere ist anzustreben, nur solche Quelladern zusammenzufassen, welche gleiche Steigfähigkeit, d. h. gleiches piezometrisches Niveau besitzen; anderenfalls liefe man Gefahr, beim Höherspannen der Quelle über das piezometrische Niveau der einen Komponente zu spannen, d. h. in den Bereich, in welchem ihre Ergiebigkeit negativ wird, wo sie also nicht nur kein Wasser mehr schüttet, sondern Wasser der anderen Komponenten verschluckt. Diese Gefahr besteht besonders bei Austritten, welche den gleichen chemischen Charakter wie die anderen, aber in starker Verdünnung aufweisen, die sich also aus einer schwachen Mineralwasserader und ergiebigerem Süßwasserzstrom zusammensetzen, welcher letzterer meist niederes piezometrisches Niveau besitzt. Dieser Fall ist in Abb. 253 schematisch dargestellt. Austritt Q_1 spendet konzentriertes Mineralwasser mit dem piez. Niveau PN_m . Auf Fassungssohle schüttet er die Menge E_1 . Austritt Q_2 setzt sich

aus dem schwachen Mineralwasserzulauf M und der Süßwasserader W zusammen; ersterer hat natürlich dasselbe piezometrische Niveau wie Q_1 , W aber habe die geringere maximale Steighöhe PNw . Auf Fassungssohle schütte Q_2 die Ergiebigkeit $E_2 = m + w$. Die Ergiebigkeitslinien sind als Parabeln angenommen. Spannt man Q_1 und Q_2 vereinigt bis zur Höhe N' , so schüttet Q_1 die Menge E'_1 , bei Q_2 überwiegt der Verlust, er schluckt die Menge E'_2 , so daß im ganzen nur die Menge e geschüttet wird. Bei N_0 , dem piezometrischen Niveau der vereinigten Austritte, wäre die Gesamtschüttung Null. Aus diesem Grunde ist die Sonderung in Gruppen nach der Konzentration wichtig. Ergibt sich später bei den Stauversuchen genügende positive Schüttung, so

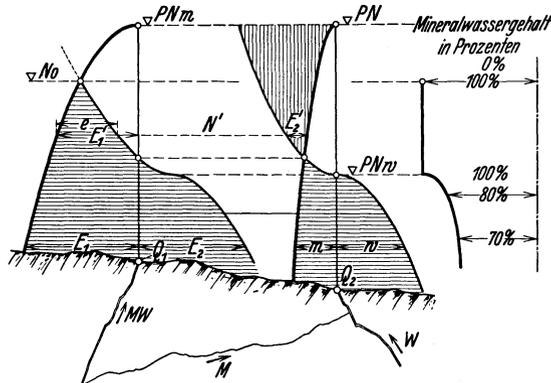


Abb. 253. Koppelung von Quellzuflüssen verschiedener Steigfähigkeit und Konzentration.

kann man, wenn die resultierende Konzentration balneologisch entspricht, die Schüttungen vor dem Auslauf, z. B. in einem Stoßkasten, zusammenführen.

Man soll das Einfassen nicht zu weit treiben — Verfasser sah eine Fassungskammer, die durch die zahlreichen schwachen Zulaufzweige an eine Telefonzentrale erinnert

—, soll aber auch nicht in den gegenteiligen (schlimmeren) Fehler verfallen; auch hier ist der Mittelweg der beste.

Die Fassung. Ist die Einreihung in Gruppen zu je einer Fassung getroffen, so empfiehlt es sich, die Sohle jeder Gruppe noch gesondert zu vertiefen, mit Gefälle zur Hauptader, wo man das Saugrohr der Wasserhaltung (Ejektor) montiert. Hat man es mit einer stark gasführenden Quelle zu tun und zeigen die natürlichen Quellwege so großen Querschnitt (selten!), daß sie das Voreilen der Gasblasen sichtlich begünstigen (s. S. 193), so wird mit jeder Tieferlegung der Fassungsbasis an Steigfähigkeit bzw. Ergiebigkeit der künftigen Fassung gewonnen; es empfiehlt sich in solchen Fällen, dem Quellstrom entgegen einen Fassungsschacht zu teufen. Den Blick für die Beurteilung des Aderquerschnittes in diesem Sinne kann nur die Erfahrung geben. Voraussetzung für den günstigen Erfolg einer derartigen Tieferlegung der Fassungsbasis ist natürlich die Ermittlung und Anwendung des günstigsten Querschnittes (S. 195) für den Steigschlot der Fassung. Die Fassung besteht im wesentlichen aus vier Teilen:

1. Dem Fassungskörper,
2. dem Steigschlot (Steigrohr) der Fassung,
3. dem Quellauslauf mit allem Zubehör,
4. den Dichtungsanlagen.

Der vom Fassungskörper umschlossene Hohlraum vermittelt den Übergang aus dem natürlichen Quellwege in den Steigschlot.

Handelt es sich nur um einen einzigen Quellaustritt oder nebeneinander auf einem Spaltenausbiß liegende Austritte, deren gute Kommunikation die Fassung an einer einzigen Stelle erlaubt, so bedient man sich der Rohrfassung, d. h. man setzt ein entsprechend bemessenes Rohr (es muß das Saugrohr der Wasserhaltung ohne Berührung hindurchführen!) in die Austrittsstelle und umschließt es mit dichtem Beton oder



Abb. 254. Der Karlsbader Sprudel um das Jahr 1600.
Das Bild zeigt die Lochsteinfassungen. Im Vordergrund liegen ein Lochstein und eine hölzerne Steiglutte.

(Aus *Balneologie und Balneotherapie* Bd. 3. Jena 1922.)

Klinkerziegelmauerwerk in Zement. Setzt man das Rohr in eine durchbohrte Steinplatte mit anschließender und überdeckender Abdichtung (wie oben), so stellt dies das Prinzip der uralten „Lochsteinfassungen“ dar, wie sie z. B. die alten Karlsbader bei der Fassung des Sprudels und anderer Thermen anwandten (s. Abb. 254).

Handelt es sich um die Zusammenfassung einer Gruppe von Austritten, so muß sich der vom Fassungskörper umschlossene Hohlraum einerseits über die auf der Basis zerstreut liegenden Austritte verbreiten, andererseits, sich verengend, deren Wasser dem Steigschlotte zuführen. Hieraus ergeben sich die Trichter-, Glocken-, Kasten- und Flaschenformen des Fassungskörpers, die ebenfalls uralter Herkunft sind. Auch die Lochsteinfassungen wurden diesem Zwecke dienstbar gemacht, indem man den Hohlraum in der Fassungsbasis schuf und mit der Platte abdeckte.

Nur des historischen Interesses wegen seien hier die „Brunnen“-fassungen im engeren Sinne erwähnt, die in Übertragung der Form der gewöhnlichen Süßwasserbrunnen früher vielfach in Anwendung kamen, und welche, auf die Verengung verzichtend, den Hohlraum des Fassungskörpers zylindrisch bis an die Oberfläche fortsetzten. Die langsame Erneuerung ihres Inhaltes birgt die Gefahr chemischer Veränderung des Mineralwassers (Entgasung, Eisenausfällung); wurden sie, wie dies häufig geschah, gleichzeitig als Mineralwasserspeicher benutzt, so erlitt die Quelle beim Entleeren und Wiederauffüllen beständige Spannungsänderungen mit ihren nachteiligen Folgen. Am nachteiligsten sind sie für gasführende Quellen; der weite Brunnenschacht begünstigt das Voreilen des Gases, die gewichtsvermindernde Wirkung desselben fällt weg, und der Brunneninhalt lastet wie ein schweres Gewicht auf der austretenden Quelle. Die gleichen Nachteile besitzen die zu Badezwecken erweiterten Fassungen von Thermen, welche in einigen Ländern noch sehr beliebt sind.

Aber selbst der Hohlraum der Trichter und Glocken wirkt bei gasführenden Quellen in diesem Sinne als schädlicher Raum und ist daher tunlichst klein zu halten. Abgesehen davon, daß manchmal in völliger Verkennung des eigentlichen Zweckes der konischen Form des Fassungskörpers über einem einzigen Quelladermund eine mächtige Fassungs-glocke gestülpt wird, ist die Glockengestalt wegen ihres unnötig großen Raumes überhaupt zu verwerfen; ist ein Verjüngungskörper nötig, so kommt nur die Trichterform in Betracht; darunter ist nicht unbedingt ein Kreiskegel zu verstehen, sondern eine konische Fläche mit einer durch die Lage der einbezogenen Austritte bestimmten, evtl. ganz unregelmäßigen Leitlinie und geraden Erzeugenden. Der Übergang zum Steigrohr sei aber nicht scharfkantig, sondern abgerundet. Man gestaltet, um jeden schädlichen Raum zu vermeiden, den Kegel möglichst flach; eine Steigung der Erzeugenden von 1:10 genügt vollkommen. Es ist unrichtig, daß solche flache Trichter bei gasführenden Quellen Fließstörungen hervorrufen.

Um aber den schädlichen Raum der Trichter noch zu verringern und bei gasführenden Quellen das Voreilen des Gases möglichst zu verhindern, füllt man den Hohlraum des Trichters mit Steingrus von Erbsen- bis Haselnußgröße aus; hierfür eignet sich am besten Quarz oder ein anderes indifferentes Material.

Die Trichter werden entweder aus einem Stück in Steinzeug oder Metall hergestellt oder — bei größerer Erstreckung der Mantelfläche — aus einem Mittelstück mit anschließendem Mantel aus Beton, Klinkerziegel oder Platten in Zement oder Gußasphalt (bei kalten Quellen) usw. Man kann schließlich den Trichter auch in einem kleinen Zentralkonus und strahlenförmige Dräne auflösen; doch müssen diese Zuführungsdräne durchwegs, wenn auch geringe Steigung zum Zentrum besitzen.

Bei der Wahl des Materials für Fassungskörper und Steigrohre ist der chemische Charakter des Mineralwassers ausschlaggebend; aus Gründen der Hygiene und der Bestandsfähigkeit der Fassung darf kein Material verwendet werden, das vom Wasser oder Gas angegriffen werden

könnte. Besondere Vorsicht erheischen in dieser Hinsicht Quellen mit Schwefelwasserstoff. Vollkommen indifferent sind Glas, Porzellan und

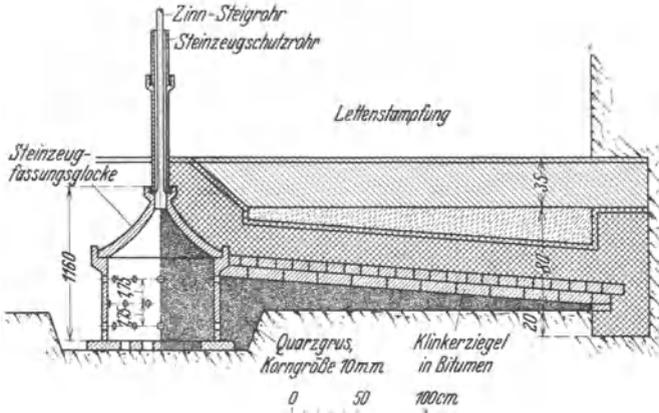


Abb. 255. Fassung der gasführenden Mineralquellen in Konstantinsbad, Böhmen, i. J. 1934. (G. Rumpel A.-G.)

glasiertes Steinzeug. Ihre Verwendung ist nur durch die Schwierigkeit der dichten Verbindung an den Stoßstellen beeinträchtigt, und zwar besonders bei Thermen. Bei kalten Quellen leistet Gußasphalt vortreff-

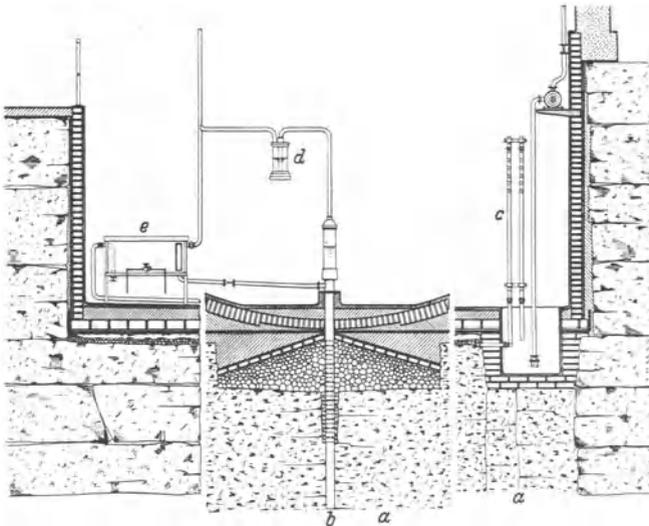


Abb. 256. Fassung einer gasführenden Quelle in Böhmen. (G. Rumpel A.-G.)
a Muttergestein der Quelle (Granit); *b* Bohrung; *c* Vorrichtung zur Regelung des süßen Grundwasserstandes; *d* Syphon zur Beruhigung der Gasentbindung; *e* Fülltisch für Flaschenfüllung.

liche Dienste. Man nimmt daher für die Trichter und Steigrohre der Thermen gern Metall. Ist große Sparsamkeit geboten, so kann man, besonders für Badequellen, in vielen Fällen Gußeisen verwenden. Es ist, wenn die Gußhaut nicht durch Nachbearbeiten verletzt wurde, z. B.

gegen kohlenstoffführendes Mineralwasser, widerstandsfähig. Gußeiserne Fassungsrohre des Karlsbader Sprudels haben ein halbes Jahrhundert gut überdauert.

Bei aggressiven Wässern und insbesondere für Trinkquellen, hat sich bleifreies Zinn als besonders haltbar bewährt. Es hat aber, abgesehen von seinem Preise, den Nachteil, daß es bei höherer Temperatur „fließt“. Freitragende Teile biegen sich mit der Zeit unter dem Einflusse ihres Gewichtes durch. Thermalwasserführende Zinnleitungen müssen daher ihrer ganzen Länge nach unterstützt werden. Ein Bleigehalt im Zinn ist nicht nur aus hygienischen Gründen auszuschließen; solches Zinn ist auch weniger widerstandsfähig.

In vielen Mineralwässern hat sich Bronze (sog. „Phosphorbronze“) bewährt. Feuerverzinnetes Kupfer eignet sich wegen der leichten Formgebung, insbesondere für verwickelte Rohrtauren. Der beste Lehrmeister für die Materialwahl bleibt die Erfahrung; hat man solche bei einer Quelle noch nicht sammeln können, so wende man sich an Verwaltungen von Quellen gleichen oder ähnlichen chemischen Charakters. Sinternde Quellen überziehen die frischen Oberflächen der Fassungshohlräume bald mit einer schützenden Sinterschicht, so daß sie nicht mehr vom Mineralwasser gespült werden. Das ist — gegenüber den vielen Nachteilen des Sinterns — ein nicht zu unterschätzender Vorteil.

Für die Dichtungskörper an der Fassung und im Umkreise derselben kommen an Materialien in Betracht: Sandbeton, hartgebrannte Ziegel oder Platten in Zementmörtel oder mit Asphaltverguß, Ton- und Lettenstampfung. Eingemauerte Metallbleche für größere Flächendichtungen sind zwar fallweise in Anwendung gekommen, doch ist ihre Bewährung fraglich.

Beton ist nach Ansicht des Verfassers auf unnachgiebiger, anbindungsfähiger Unterlage in allen Fällen der beste Stoff für Fassungs- und Dichtungskörper. Man verwendet Sandbeton im Mischungsverhältnis 1:2 bis 1:4 je nach dem Wasserdruck und der Dicke der Betonschicht. Zementbrei ohne Sand bildet Schwindrisse und ist zum Dichten nicht geeignet. Es ist immer besser, eine nur wenige Zentimeter dicke sorgfältig ausgeführte Dichtungsschicht mit magerem nicht wasserdichtem Beton zu beschweren, als nur dicke Schichten Beton von mittlerer Mischung aufzutragen. Sandbeton ist an und für sich weder wasserdicht noch gegen den chemischen Einfluß z. B. kohlenstoffführender Wässer widerstandsfähig. Er erhält diese Eigenschaften aber durch gewisse Zusätze. Von solchen wird eine ganze Anzahl empfohlen. Verfasser hat in seiner Praxis mit den Zusätzen Ceresit, Tricosal und Sika sehr befriedigende Resultate erzielt. Über Zusätze zum raschen Abbinden des Zementes in besonderen Fällen s. S. 254.

Ton, Letten werden von manchen Fachleuten mit Vorliebe zur Dichtung angewendet und bei kohlenstoffreichen Mineralwässern dem Beton vorgezogen. Auf nachgebender weicher Unterlage, an die der Beton nicht anbinden kann, dürfte eine Lettenstampfung die besten Dienste leisten; auf harter Gesteinsfläche zieht der Verfasser immer einen wasserdichten Beton vor. Bei größerer Dichtungsfläche sprechen

da natürlich auch die Kosten mit. Man verwende nur fetten Ton mit nicht zuviel Sandgehalt. Das Eindrücken von hartgebrannten Ziegeln in die Tonschicht erhöht deren Güte und vermindert die Rißbildung. Vorteilhaft wird Letten zum Beschweren der Betondichtung und Ausfüllen verwendet. Das Ausfüllen von Hohlräumen mittels flüssigem, aufgeschwemmtem Ton führt nicht zum Ziele, da sich der Ton hierbei sehr langsam setzt und große Räume unausgefüllt bleiben. Betonschichten über einer Lettenstampfung, wie sie der Verfasser bei einer Fassung vorfand, sind ein Unding. In der Tiefbohrpraxis findet Ton als Absperrungsmaterial vielfach Verwendung. Endlich leistet Ton gute Dienste zur provisorischen Isolierung von Quellaustritten zur Messung, Probenentnahme usw.

Die Ausführung der Beton- und Mauerwerksteile der Fassung sowie von Lettendichtungen hat in der Regel im Trockenem zu geschehen, d. h. während dieser Arbeiten und so lange, bis der Zement abgebunden und genügend erhärtet ist, muß der Quellspiegel durchwegs unter Fassungs- und Dichtungsbasis gehalten werden. „Ersäuft“ die Baugrube während dieser Arbeiten, so kann das Ergebnis arg gefährdet werden, da das Mineralwasser oder Gas den halbfesten Beton von der Unterlage abhebt; überdies beeinträchtigen viele Mineralwässer das Abbinden und Erhärten des Zementes. Deshalb ist eine störungslos arbeitende Wasserhaltung eine Hauptbedingung des Gelingens der Arbeiten.

Wo die Fassungsstellen gleichzeitig Pumpsümpfe bilden, führt man die Pumpsaugrohre durch die Rohranschlußstutzen der Fassungs-trichter; sie müssen an zwei Stellen gut befestigt sein und dürfen den Trichter nicht berühren; ihr Vibrieren würde sonst den dichten Anschluß des Betons an den Trichter verhindern. Bei den Pumpsümpfen, welche nicht Fassungsstellen sind, führt man einfache Rohrfassungen aus, welche später verschlossen werden; hierzu dienen am besten weite gußeiserne Flanschrohre.

Derartige Rohrfassungen legt man auch bei allen Süßwasser-Erschrotungsstellen an; bei den folgenden Stauversuchen wird ermittelt, ob dieselben zu verschließen sind oder ob man sie besser dauernd ablaufen läßt.

Bei gasführenden Quellen müssen die einzelnen trockenen Gasaustritte in — später zu verschließenden — Rohren gefaßt werden. Sie sind oft nur durch Bedeckung der Dichtungsbasis mit einem seichten Wasserstau oder Übergießen mit Wasser zu erkennen. Bei großer Zahl benachbarter Gasaustritte kann man zunächst durch Verstopfen mit sehr rasch bindendem Zementmörtel ihre Zahl vermindern. Die Gasaustritte werden zu diesem Zwecke vorher schwalbenschwanzförmig ausgebohrt. Übersieht man solche Gasausströmungen, so schaffen sie später im abbindenden Beton Austrittskanäle, die man nach der Erhärtung in gleicher Weise verschließen muß.

Sehr rasch bindenden Zement erhält man durch Zusatz von Kalium-Wasserglas (kieselsaures Kalium) zum Anmachwasser des Zementes oder Verwendung von Spezialzusätzen, z. B. von „Sika“ (Erzeuger:

Kaspar Winkler & Co., Altstetten-Zürich), „Tricosal“ (Landshoff & Meyer, A.-G., Berlin) u. a. m. Von sehr befriedigenden Ergebnissen bei der Verwendung von „Sika“ im Tunnelbau, bei schwierigen Fundierungen, Abdichtungen von Druckwässern selbst aggressiven Charakters wird aus allen Ländern Europas berichtet. Nach Hilgard (148) wurden bis 1928 innerhalb von 11 Jahren bei der Elektrifizierung der Schweizer Bundesbahnen 110 Tunnel mit Sikazement gedichtet. Auch bei Quellfassungen und -dichtungen wurde Sika verwendet (Bad Kissingen, Bad Steben, Vöslau, Baile Borsec, Rumänien usw.).

Kleinlogel (149) anerkennt in dem Präparat „Tricosal“ einen entschiedenen Fortschritt auf dem Gebiete der Dichtungsmittel und hebt den Umstand hervor, daß dieser Zusatz auch die Festigkeit des Betons erhöht. Tricosal hat sich bei Mineralwasserdichtungen in Karlsbad, Marienbad, Franzensbad u. a. gut bewährt. Das Isoliermittel „Alytol“ (Erka-Werke, Teplitz-Schönau) wird häufig zu Abdichtungszwecken in Anwendung gebracht. Nach Mitteilungen der Tiefbau-Unternehmung Pittel & Brausewetter, Prag, hat sich dasselbe in zahlreichen Fällen, selbst gegen hohen Wasserdruck, bewährt. Arch. Szalatnai verwendete Alytol mit Erfolg als Dichtungsmittel gegen aggressives Thermalwasser beim Bau des neuen Sina-Bades in Trentschin-Teplitz.

Man schützt die Fassungs- und Dichtungskörper mit aufgetragenem Beton, doch hält man diesen nicht stärker, als man zur Beschwerung und Verspannung nötig erachtet („Kontragewölbe“ gegen den aufwärtswirkenden Wasserdruck). Betonkörper von mehreren Metern Dicke sind unzweckmäßig; man schafft an deren Stelle vorteilhafter zugängliche Hohlräume, welche die dauernde Kontrolle der Fassungen auf ihre Wasser- und Gasdichtheit gestatten. Bei entsprechender Geräumigkeit lassen sich hier Meßstationen u. dgl. unterbringen. Diese „Fassungskammern“ versieht man, wenn Vorflut vorhanden, mit Entwässerungskanälen; sonst müssen Maßnahmen zur Entwässerung (am besten eingebaute Ejektore) vorgesehen werden.

Nach Fertigstellung der Fassungen und Dichtungen muß die Wasserhaltung noch so lange in ununterbrochenem Betrieb gehalten werden, bis der Beton genügend erhärtet ist; besonders bei aggressiven Wässern schiebe man den ersten Aufstau möglichst hinaus. 10 Tage sind wohl das äußerste Minimum an Erhärtungszeit. Die äußeren Betonflächen sind während dieser Zeit dauernd feucht zu halten; hernach ist ein Schutzanstrich gegen den Angriff kohlenensäurehaltigen Wassers sehr empfehlenswert (Siderosthen, Inertol usw.).

Bodendichtung mittels des Verfestigungsverfahrens von Dr. Joosten. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, wasserdurchlässige Bodengebiete durch Injektion wasserdicht zu machen, und zwar auch gegen aggressive Mineralwässer. Die Verfestigung beruht auf der Ausscheidung von kolloidaler Kieselsäure durch eine chemische Umsetzung. Das Verfahren ist der Firma Tiefbau- und Kälteindustrie A.-G. vorm. Gebhard und Koenig, Nordhausen, geschützt. Es wurde schon vielfach bei Mineralwasserdichtungen in Anwendung gebracht; die Berichte über die hierbei erzielten Ergebnisse lauten günstig.

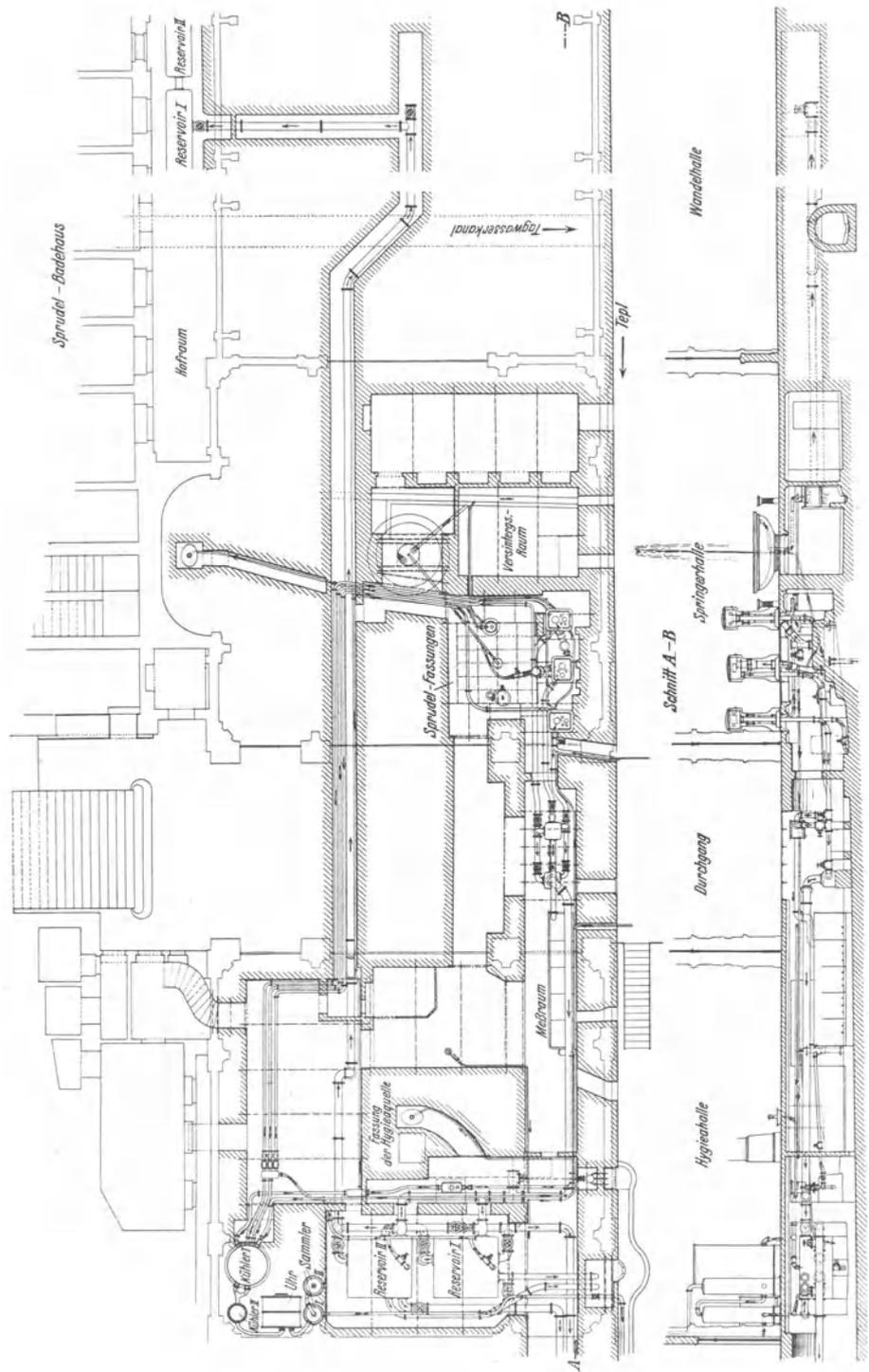




Abb. 258. Versteinerungsverfahren von Dr. Joosten. Durchführung der Versteinerung unter der neuen Quellenhalle in Franzensbad. (Ausgef. i. J. 1929 von der G. Rumpel A.-G.)

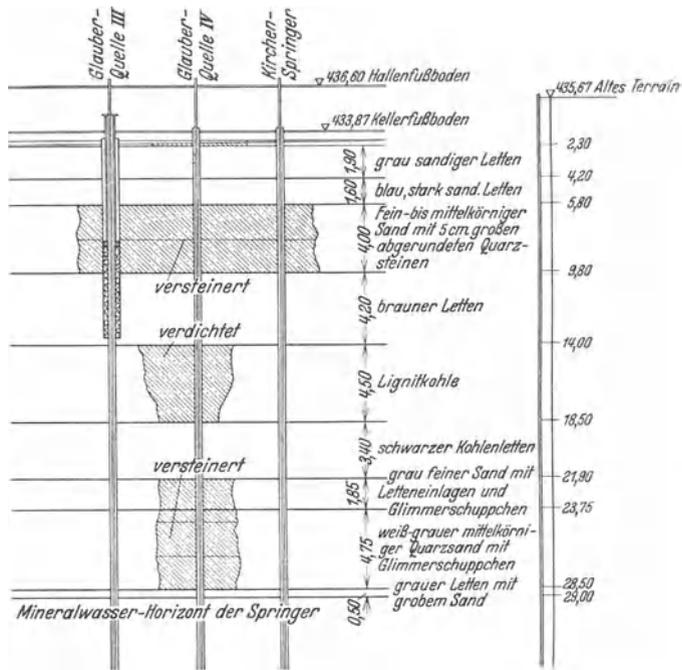


Abb. 259. Joostensches Verfahren. Profil der in Franzensbad durchgeführten Versteinerungen.

Über die Verwendung bei der Abdichtung eines Mineralwasser- ausbruches im Kurorte Franzensbad in Böhmen entnehmen wir einem Zeugnis des dortigen Stadtrates: Nach Beendigung des Rohbaues der neuen Quellnhalle im Juli 1929 zeigte sich ein starker Wasser- ausbruch an den Umfassungswänden; es handelte sich um stark kohlen- säurehaltiges Mineralwasser, gleich dem der in den letzten 10 Jahren erschlossenen Springquellen. Untersuchungen ergaben, daß es sich um ein Mineralwasser handelte, das ein zerstörtes Bohrrohr in 11,8—19,3 m Tiefe verließ. Sondierungsbohrungen stellten große Hohlräume in der Lignitkohlschicht daselbst fest. Mit Hilfe des Verfestigungsverfahrens wurde eine Sandschicht zwischen 24,55—29,30 m und eine zweite solche zwischen 6,60 und 10,60 m Teufe versteinert. Während der Verfestigung wurde das Mineralwasser durch ein Entlastungsbohrloch aus der Lignit- kohlschicht abgeleitet. Die Hohlräume wurden durch Einspritzung von Zement, der mit Schwerspatpulver beschwert worden war, aus- gefüllt und nach dem Versteinungsverfahren versteinert. Die ab- fließenden Wassermengen ließen bald nach und versiegten gänzlich. Auf diese Weise wurde die sowohl den Quellen als auch dem Gebäude drohende Gefahr behoben (150).

Die endgültige Quellspannung. Grundsätzlich ist jede größere Span- nungserhöhung einer Mineralquelle allmählich, stufenweise durchzu- führen. Will man in den einzelnen Stufen die Wirkung der Auslauf- erhöhung auf die Schüttung, Temperatur und Qualität beobachten, so ist in jeder Stufe der Beharrungszustand hinsichtlich dieser Eigenschaften abzuwarten. Der eingetretene Beharrungszustand zeigt sich in den Beobachtungen durch Verschwinden der Änderungstendenz und auf- tretende \pm -Schwankungen. Die Ermittlung der vorteilhaftesten Quell- spannung wird bei Einhaltung dieser Grundsätze erhebliche Zeit in Anspruch nehmen. Dies ist wohl auch der Grund dafür, daß diesem wichtigen Teil der Fassungsarbeit oft nicht die gebührende Sorgfalt gewidmet wird. Langt die Zeit für eine gründliche Durchführung von Spannungsversuchen nicht mehr, so gebe man der Quelle zunächst einen einstweiligen Auslauf und benutze die nächste Saisonpause zur Ermittlung der günstigsten Spannungshöhe der Quelle.

Es sei zunächst vorausgesetzt, daß die Quelle überhaupt eine bleibende konstante Spannungshöhe erhält. Eine Quellwirtschaft, bei welcher der Quellspiegel vorübergehend zwecks Erzielung größerer Schüttung abgesenkt oder in der Saisonpause zur Gewinnung von Vor- flut hochgestaut wird, wo also der Beharrungszustand der Quelle unausgesetzte Störungen erfährt, ist — insbesondere für Trinkquellen — bedenklich. Bei Mineralwasser, das vorwiegend zu Badezwecken dient, bei welchem kleine Qualitätsschwankungen keine Rolle spielen und dessen Fassungszustand eine ernste Schädigung des Quellmechanismus durch die Änderungen des Beharrungszustandes nicht befürchten läßt — z. B. Mineralwässer, die durch Tiefbohrung erschlossen wurden —, können triftige Gründe solche Spannungsänderungen entschuldigen.

Der für die Wahl der Spannungshöhe verfügbare Bereich besitzt zwei äußerste Grenzen: einerseits jener tiefste Auslauf, welcher unter

zentration der Mineralquelle beginnt in dieser Höhe un stetig abzunehmen; die Konzentrationskurve, welche im Bereiche $S-O$ als Gerade $K-KO$ parallel zur Bezugsachse $S-O$ verläuft, besitzt im Niveau O einen Knick und nähert sich unterhalb desselben in konvexer Krümmung der Achse. Man wird also in diesem Falle nicht ohne sehr triftige Gründe mit der Spannung unter das Niveau O herabgehen.

In der Natur ist die Sachlage häufig noch verwickelter. Viele Mineralquellen setzen sich ursprünglich aus zwei oder mehreren Komponenten verschiedenen chemischen Charakters zusammen. Jede dieser Komponenten besitzt ihre eigene Ergiebigkeits-Höhenkurve, so daß sich bei Änderungen der Spannungshöhe das Mischungsverhältnis verschieben kann. In einem solchen Falle werden bei der Wahl der Spannungshöhe auch therapeutische Rücksichten mitzusprechen haben (siehe das Beispiel Marienbad S. 234).

Für die Stauversuche bedient man sich provisorischer Steigrohre mit leiterartig angeordneten Auslaufstutzen, welche nach und nach von unten gegen oben verschlossen werden. Bei gasführenden Quellen ist mit dem Stauversuche auch die Ermittlung des optimalen Querschnittes zu verbinden (s. S. 195).

Hatte man sich wegen der Lage der einzelnen Quellaustritte oder der Unterschiede in der Konzentration usw. zur Anlage mehrerer Fassungen entschieden, so muß der Anstau bei diesen gleichzeitig erfolgen; dies gilt auch für evtl. mitgefaßte Süßwasseraustritte. Man unterwirft zunächst alle Fassungen gleichzeitig und parallel den gleichen stufenweisen Hebungen und beobachtet die Verteilung von Ergiebigkeit und Konzentration. Hat man hierüber ein Bild gewonnen, so kann man durch Niveauänderungen an einzelnen Fassungen Verschiebungen zwischen den Fassungsstellen bewirken. Hierbei wird sich auch herausstellen, ob sich bei den Süßwasserfassungen ein verbleibender Ablauf günstig erweist und in welchem Niveau oder ob sie vorteilhafter gesperrt werden.

Wurde auf diese Weise die bleibende Stauhöhe ermittelt, so ersetzt man die einstweiligen Steigrohre durch endgültige.

Der Quellauslauf. Der Auslauf einer aufsteigenden Quelle beendet das aus der Tiefe heraufführende Druckkontinuum derselben; er ist insbesondere dadurch charakterisiert, daß Änderungen des Fließ- oder Druckzustandes des Quellwassers hinter dem Auslaufe keinerlei Einfluß auf den Quellmechanismus ausüben können; geschieht dies, so ist der Auslauf nur ein scheinbarer.

Der Quellauslauf kann im Spannungsniveau der Quelle liegen; dann besitzt die Quelle „freien Überlauf“. Oder er ist unterhalb der Spannungshöhe angebracht, so daß das Mineralwasser unter Druck ausläuft, man spricht dann von einem „gedrosselten“ Auslauf. Die Quelle kann auch neben dem freien Überlauf noch gedrosselte Ausläufe speisen („Anzapfungen“). Doch ist die Summe aller Auslaufmengen immer gleich und auch gleich der Menge, welche die Quelle am Überlauf allein schütten würde. Für den Quellmechanismus und seine Schüttungsmenge ist also nur die Spannungshöhe von Bedeutung, nicht die Auslauf-

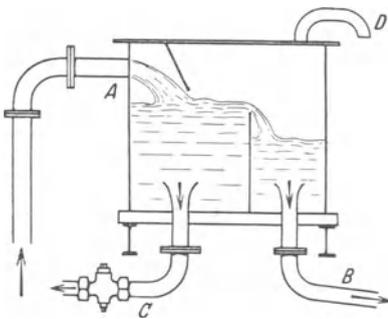


Abb. 261. Stoßkasten.

A Einlauf von der Fassung; B Ablauf zum Brunnen usw.; C Meßleitung; D Gasableitung und Notüberlauf.

Fälle das Druckkontinuum beim Quelleinstoß nicht unterbrochen wäre; die Steigleitung zum Stoßkasten und die Falleitung zum Auslauf könnten dann wie Schenkel eines Hebers wirken (scheinbarer Auslauf). Der Stoßkasten muß also ein Entlüftungsrohr, bei gasführenden Quellen ein Gasableitungsrohr besitzen (s. Abb. 261).

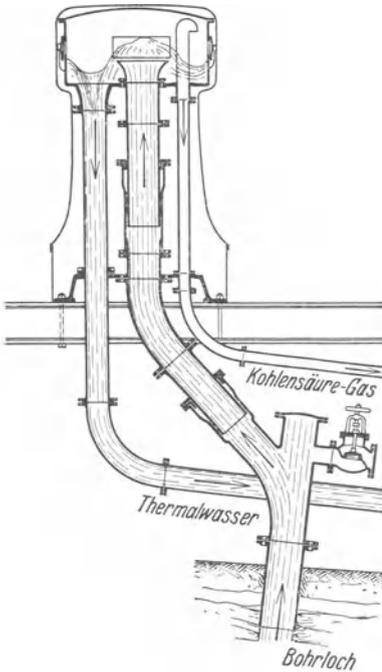


Abb. 262. Überlaufurm einer der großen Sprudelquellen in Karlsbad.

höhe. Die Spannungshöhe bedingt die Schüttungsmenge. Nur bei sehr gasreichen Quellen kann durch Anzapfungen mit ungleicher Gasverteilung bei gleichzeitigem Überlauf die Gesamtschüttung verändert werden. Der Auslauf im quellentech-nischen Sinne muß mit dem „offiziellen“ Auslauf für Trink- und Füllzwecke nicht übereinstimmend sein. Es bietet gewisse Vorteile, dieselben hintereinanderzuschalten. Die Quelle fließt dann zunächst in einen Behälter („Stoßkasten“, Auslauf im quellentech-nischen Sinne) und unter dem Druck des freien Spiegels in diesem zum offiziellen Auslauf.

Der Stoßkasten darf nicht luftdicht verschlossen sein, da in diesem Falle das Druckkontinuum beim Quelleinstoß nicht unterbrochen wäre; die Steigleitung zum Stoßkasten und die Falleitung zum Auslauf könnten dann wie Schenkel eines Hebers wirken (scheinbarer Auslauf). Der Stoßkasten muß also ein Entlüftungsrohr, bei gasführenden Quellen ein Gasableitungsrohr besitzen (s. Abb. 261).

Die Überlaufürme der großen Sprudelquellen in Karlsbad stellen im Prinzip solche Stoßkästen dar. Durch Anbringung von Fenstern und Innenbeleuchtung konnten diese mächtigen Thermen sichtbar gemacht werden, ohne daß Wasser und Gas mit der Luft in Berührung kommt.

Die Zwischenschaltung eines Stoßkastens kann aus folgenden Gründen erfolgen und von Nutzen sein:

1. Bei stark intermittierenden Quellen bildet er ein kleines Puffergefäß und bewirkt ein gleichmäßigeres Fließen am offiziellen Auslauf.

2. Er kann zum Vereinigen mehrerer separat gefaßter Quelladern dienen.

3. Bei gasreichen Quellen dient der Stoßkasten zur Abscheidung des mechanisch beigemengten Gases zwecks Gewinnung desselben.

4. Bringt man am Stoßkasten einen abscherrbaren Meßabzweiger an, so kann man das Mineralwasser von hier zu einer Meßstation leiten,

die dem Publikum beim offiziellen Auslaufe entrückt ist, und deren Bedienung keine Spannungsänderung bedeutet.

5. Böswillige Veränderungen am Auslaufe, z. B. Verstopfen desselben, können der Quelle keinen Schaden zufügen; das Entlüftungsrohr dient dann mit geringer Spannungserhöhung als Auslauf.

Bei gasfreien oder gasarmen Quellen kann man die Verbindungsleitung vom Stoßkasten zum offiziellen Auslauf im Gefälle verlegen. Bei gasreichen Quellen führt man die Leitung vom Stoßkasten vertikal abwärts und dann durchwegs ansteigend zum Auslauf und erzeugt so einen Wasserverschluß für den Gasraum im Stoßkasten. Der vertikale Schenkel wird genügend weit gehalten, damit die hier entbundenen Gasblasen, ohne den Abfluß zu behindern, in den Stoßkasten zurücksteigen können; das im aufsteigenden Schenkel entbundene Gas steigt in der Fließrichtung.

Der den Augen des Publikums entrückte Stoßkasten braucht nur nach Forderungen der Zweckmäßigkeit konstruiert zu werden. Man gibt ihm die Gestalt eines viereckigen Kastens oder runden Topfes. Als Material dient bei Trinkquellen am besten Zinn. Die Größe richtet sich nach der Quellergie-



Abb. 263. Brunnenvase der Glauberquelle III zu Franzensbad.
(Ausgef. von der G. Rumpel A.-G.)



Abb. 264. Der Schloßbrunn zu Karlsbad. Beispiel eines vom Stoßkasten getrennten Auslaufs.

bigkeit und der evtl. verlangten Pufferwirkung bei Ergiebigkeitsschwankungen. Gasreiche Quellen benötigen einen entsprechenden Gasraum im Stoßkasten; die durch stoßweises Einströmen des Gases hervorgerufenen Druckschwankungen dürfen nur wenige Millimeter Wassersäule betragen. Auf diese Forderung ist auch bei der Querschnittsbemessung der Gasableitungsrohre Rücksicht zu nehmen.

Neuerdings vereinigt man vielfach das Stoßkastenprinzip mit dem offiziellen Auslauf (Brunnenvasen usw.). Dann spricht bei der Gestaltung auch der Künstler ein wichtiges Wort und der Architekt sucht die Formgebung mit den umgebenden Baulichkeiten, Kolonnaden usw. in Einklang zu bringen. Einen solchen Quellauslauf zeigt die Abb. 263. Einen vom Stoßkasten getrennten offiziellen Auslauf zeigt Abb. 264 vom Schloßbrunn zu Karlsbad.

C. Rohrleitungen.

Für die Wahl des Materials der Rohre zur Leitung von Mineralwasser gelten dieselben Grundsätze wie für die Fassungskörper. Chemische Umsetzungen zwischen dem Mineralwasser und dem Rohrmaterial müssen aus hygienischen Gründen, aber auch der Haltbarkeit der Leitungen wegen ausgeschlossen sein. Hierüber sammelt jeder Quelleningenieur im Laufe der Zeit bezüglich der Eigenart der von ihm betreuten Mineralwässer besondere Erfahrungen.

Bei stark sinternden Quellen kann man das Zuwachsen der Rohre durch möglichste Erhöhung der Fließgeschwindigkeit verzögern.

In Thermalwasserleitungen sind Dilatationsvorrichtungen in genügender Zahl einzubauen, um die Längenänderungen durch Temperaturwechsel (insbesondere bei Entleerung!) unschädlich zu machen. Der Wärmeverlust in solchen Leitungen läßt sich durch die heute erzeugten Isoliermassen auf einen verschwindenden Betrag herabdrücken.

Die Zuleitung der „Rosenquelle“ (kochsalzhaltige Schwefelquelle) in Aachen zu den Bädern erfolgt durch eine 850 m lange Leitung aus Stahlrohren, von 104 mm lichter Weite bei 5 m Rohrlängen. Die Rohre besitzen einen Bleimantel von 4,5 mm Dicke; Verbindung durch Börtel und Flansche, der Bleimantel greift über die Börtel, Flanschdichtung durch Scheiben aus Riffelblei. Die Wärmeisolierung geschieht durch 50 mm dicke Korksteinplatten, verkittet mit Zementasbest. Die Längendehnung wird durch Rollenlagerung ermöglicht. Der Wärmeverlust der Leitung soll sehr gering sein.

Besonderes Augenmerk beanspruchen Leitungen mit gashaltigem Wasser (Kohlensäure, Emanation usw.). Das mit Kohlenoxyd übersättigte Wasser erleidet bei jeder Erschütterung, wie sie z. B. durch Geschwindigkeitswechsel, Richtungsänderungen, Kontraktion beim Passieren von Schiebern u. dgl. hervorgerufen wird, Gasverluste. Daß sich solche aber bei zweckmäßig durchgeführten Anlagen sehr herabdrücken lassen, beweist die 7 km lange, mäßig ansteigend verlegte Leitung, durch welche das Wasser des Luitpoldsprudels nach Kissingen gepumpt wird. Nach Untersuchungen des Laboratoriums Dr. Fresenius, Wiesbaden, verliert das Wasser in dieser Leitung nur 0,1 g Kohlensäure pro 1 kg Wasser.

Interessant sind die bezüglichen Versuche von Dr. Karl und Wolfgang Zörkendörfer in Marienbad in Böhmen (145). Hier galt es, die günstigste Lösung für eine Leitung kohlenstoffhaltigen Wassers aus dem Quellgebiete von Kschiha nach dem 40 m tiefer gelegenen Marienbad zu ermitteln, wobei die Leitung erst 160 m steigt, hernach 200 m fällt. K. Zörkendörfer und Dietl hatten schon früher (151) erkannt, daß Falleitungen wesentlich höhere Kohlensäureverluste bedingen als Steigleitungen. Zur Klarstellung der Ursache dieser Erscheinung und Erprobung von Mitteln, sie zu vermeiden, wurde eine eigene Versuchsanlage gebaut (Abb. 265), in welcher das Wasser der Quellen von Kschiha auf eine 95 m höher gelegene Bergkuppe gepumpt wurde, von welcher es in einer Falleitung zum Tiefbehälter zurückströmte. Steig- und Falleitung waren je 2800 m lang.

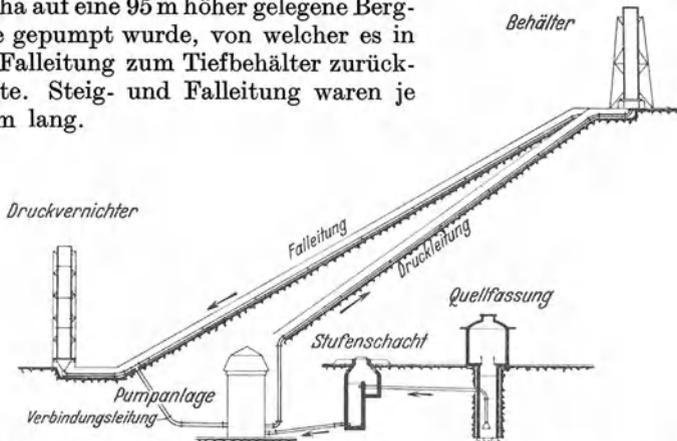


Abb. 265. Versuchsanlage zur Bestimmung der Kohlensäureverluste beim Überpumpen und Fernleiten von Mineralwasser.
(Nach W. Zörkendörfer. Ausgef. von G. Rumpel A.-G.)

Es zeigte sich, daß die größten Gasverluste bei der plötzlichen Druckentlastung am Ende der Falleitung eintreten. Um zur Vermeidung dieses Hauptverlustes das Wasser den Entlastungsprozeß allmählich durchlaufen zu lassen, konstruierte die Firma G. Rumpel einen „Druckvernichter“ in Gestalt eines Eisenturmes von 14 m Höhe und 1 m Durchmesser, welchen das Wasser von unten nach oben langsam durchfließt; es braucht zum Durchfließen des Zylinders 20 Minuten. Dieser Druckvernichter hat sich gut bewährt.

Die Zuführung des gasreichen Mineralwassers von den Quellen zum Sammelbehälter, aus welchem die Pumpe schöpfte, erfolgte über sog. „Stufenschächte“ ebenfalls mit nur geringen Gasverlusten. Das Wasser fließt hierbei abwechselnd in sanft ansteigenden Rohrleitungen und senkt sich langsam in vertikalen Kammern; in letzteren liegt über dem Wasserspiegel eine Schichte von Kohlensäuregas (Abb. 266).

Die Versuche mit dieser Anlage ergaben die folgenden geringen Gasverluste:

Durch den Stufenschacht	ca. 2 %,
in der Steigleitung	„ 1,6%,
in der Falleitung	„ 2,2%.

Hierbei arbeitete eine Kolbenpumpe älterer Bauart; Versuche mit einer Kreiselpumpe ergaben einen Verlust von 7%. Zörkendörfer

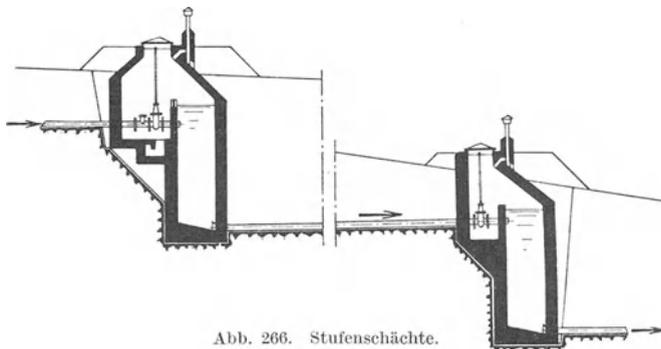


Abb. 266. Stufenschächte.

kommt zu dem Schluß, daß „die Überlandleitung kohlensäurehaltiger Wasser auch über größere Entfernungen und bei Überwindung eines

zwischen Ursprungs- und Verbrauchsort zwischengelagerten Höhenrückens bergwärts und talwärts durchaus möglich ist; daß die Kohlensäureverluste hierbei sehr wohl innerhalb mäßiger Grenzen gehalten werden können“.

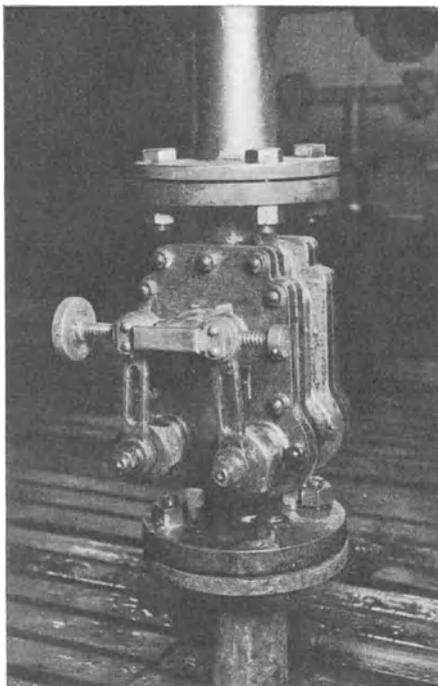


Abb. 267. Drosselschieber nach Winter.
(G. Rumpel A.-G.)

Muß der Durchfluß eines kohlensäureführenden Mineralwassers im Steigrohre gedrosselt werden, so eignen sich hierfür nicht die gewöhnlichen Sperrschieber, weil die plötzliche Kontraktion des Stromes in solchen zu heftigen Wirbelbewegungen und in deren Folge zu Entgasungen führt. Auch stört im gleichen Sinne die exzentrische Lage der Durchflußöffnung bei teilweise geöffnetem Schieber. Einen Drosselschieber (System Winter) mit allmählicher Verengung des Querschnittes und immer zentraler Lage des Durchganges, welcher die ge-

nannten Übelstände vermeidet, zeigen Abb. 267 und 268.

Noch empfindlicher als der Kohlensäuregehalt ist der Gehalt an Emanation. Sind längere Leitungen radioaktiven Wassers nicht zu

vermeiden, so führe man sie mit besonderer Sorgfalt aus. Als Beispiel einer mustergültigen Leitung radioaktiven Thermalwassers sei die von der Firma G. Rumpel ausgeführte 8 km lange Leitung von Bad Gastein nach Hofgastein erwähnt, deren Verluste pro 100 m Länge $0,027^{\circ}\text{C}$ an Temperatur und 1,34 ME. der Aktivität betragen (140) (s. Abb. 269).

Über die Verlegung von Quellgasleitungen wurde schon S. 218 gesprochen. Kohlensäure im feuchten Zustande wirkt sehr aggressiv und zerstört Eisenrohre (insbesondere Schmiedeeisen) binnen kurzer Zeit. Ist sie jedoch durch Abkühlung genügend getrocknet, so können selbst schmiedeiserne Rohre zur Weiterleitung in Verwendung kommen. In Karlsbad dient eine Leitung aus Mannesmannrohren von 1560 m Länge seit dem Jahre 1911 zur Ableitung des Sprudelgases zum Sprudelsalzwerk und Kohlensäurewerk, von welcher innerhalb dieser Zeit nur die ersten 150 m erneuert werden mußten.

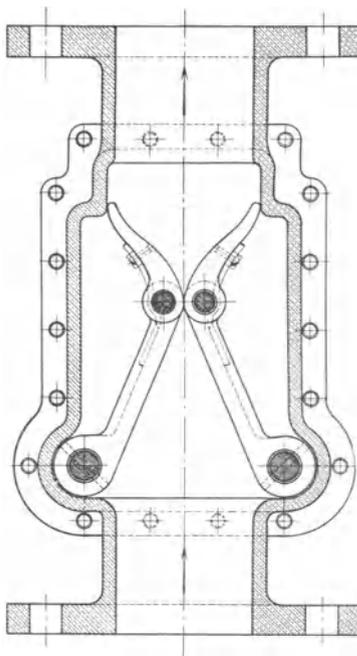


Abb. 268. Drosselschieber nach Winter. Achsenschnitt.

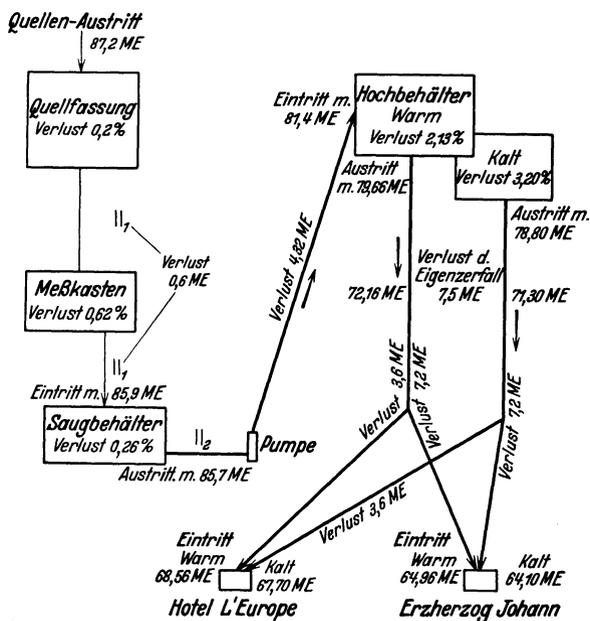


Abb. 269. Thermalwasserleitung in Bad Gastein. (Ausgef. G. Rumpel A.-G.) Emanationsverluste.

V. Quellenschutz.

Viele Mineralquellen stellen in ihrer Eigenart als bewährte Heilmittel so große Werte dar, daß es im allgemeinen öffentlichen Interesse begründet ist, wenn ihnen gesetzlich ein vorbeugender Schutz gewährt wird, der über den normalen gesetzlichen Schutz des Eigentums hinausgeht. Dieser Schutz ist um so mehr begründet, da heute den Mineralquellen durch Veränderungen an der Erdoberfläche sowohl wie durch Eingriffe in den Boden vielseitig Störungen ihres natürlichen Mechanismus und Schädigung ihres Quellgutes in quantitativer und qualitativer Beziehung drohen.

A. Rechtliche Grundlagen.

Die Notwendigkeit und Berechtigung des Heilquellenschutzes ist heute in allen europäischen Staaten anerkannt. In einigen Staaten stützt sich seine Handhabung auf allgemeine Rechtsgrundsätze, eine Reihe anderer hat eigene „Quellenschutzgesetze“ geschaffen.

Schon im Jahre 1661 (am 21. Januar) hat der Kurfürst von Sachsen mittels eines Reskriptes im Umkreise von 150 Lachter (gleich 300 m) um das Bad Wolkenstein Schürfung und Bergbau verboten. Ein Prager Gubernialerlaß von 1761 verbietet die Kohलगewinnung in der Nähe von Karlsbad. In Frankreich wird mit Beschluß des Staatsrates vom 5. Mai 1781 den mit der Aufsicht über die Heilquellen betrauten Personen empfohlen, um die Erhaltung derselben besorgt zu sein; 1856 wird das erste französische Quellenschutzgesetz ausgegeben usw.

Einige Staaten besitzen eigene Fachämter zur Überwachung des Heilquellenschutzes¹.

In der Quellenschutzgesetzgebung machen insbesondere zwei Probleme große Schwierigkeiten. Zur Durchführung des Quellenschutzes wäre vor allem eine genaue Definition des Begriffes „Heilquelle“ notwendig, um die Objekte des Schutzes einwandfrei klarzustellen. Da einerseits eine sehr große Zahl von Mineralquellen Anspruch darauf erheben kann, ein Heilmittel zu sein, andererseits Schutzbestimmungen, welche die Eigentumsrechte dritter Personen und das Volksvermögen schädigen, nur mit dem außerordentlichen unersetzlichen Wert der geschützten Quelle für die Allgemeinheit begründet werden können, bereitet eine Begriffsbestimmung, welche hier die richtige Grenze zieht, Schwierigkeiten.

Die Gesetze weichen dieser Frage aus, indem sie die Definition ganz allgemein halten, jedoch vor die Bestimmung von Schutzmaßnahmen ein Verfahren der „Erklärung zur Heilquelle“ einschieben, bei welchem den Behörden eine Siebung möglich ist.

Die erwähnte Schwierigkeit war wohl auch der Grund dafür, daß man in dem neuen Entwurf für ein Gesetz über den Schutz der Natur-

¹ So z. B. die Tschechoslowakei in dem von der Österreich-Ungarischen Monarchie übernommenen „Staatlichen Quelleninspektorat für Böhmen“ mit dem Sitze in Karlsbad; auch das französische Gesetz sieht staatlich bestellte „Quellentechner“ vor.

heilschätze¹ in der Tschechoslowakischen Republik eine Zweiteilung der Heilschätze Platz greifen ließ: Er behandelt den Schutz jener „Naturheilschätze, deren Erhaltung vom Standpunkte der öffentlichen Interessen wegen der ihnen infolge ihrer chemischen Zusammensetzung oder ihrer physikalischen Eigenschaften oder nach der Erfahrung inwohnenden Heilkraft notwendig (Naturheilschätze 1. Ordnung) oder nützlich (Naturheilschätze 2. Ordnung) erscheint“. Für die Heilschätze 1. Ordnung ist die Bestimmung von Schutzmaßnahmen und deren Wirkungsbereiche obligatorisch, für diejenigen 2. Ordnung kann die Landesbehörde über Verlangen den gleichen Schutz zuerkennen.

Eine zweite Schwierigkeit liegt in der Frage der Entschädigung der durch die Schutzbestimmungen geschädigten Personen. Der über den normalen Eigentumsschutz hinausgehende außerordentliche Schutz erscheint nur im allgemeinen öffentlichen Interesse begründet. Belastet man den Quellenbesitzer mit der Entschädigungspflicht, wie dies in einigen Gesetzen geschieht, so macht man den Schutz und damit evtl. den Bestand von Objekten, welche für die Allgemeinheit großen Wert besitzen, von dem guten Willen bzw. der finanziellen Kraft eines einzelnen abhängig. Übrigens ist der Eigentümer der Quellen meist durchaus nicht der alleinige Nutznießer derselben. Andererseits besteht seitens der gesetzgebenden Stellen wenig Geneigtheit, den Schadenersatz aus staatlichen Mitteln zu leisten. Die Entschädigungsfrage bildet daher für die Schutzgesetzgebung ein schwer zu lösendes Problem.

Der oft weitgehende Schutz, der den Heilquellen gesetzlich gewährt wird, schließt die selbstverständliche Folge ein, daß die Staatsbehörden auf die Bewirtschaftung und Erhaltung derselben durch den Eigentümer Einfluß nehmen. Einige Gesetze schreiben daher für jede beabsichtigte wesentliche Änderung an den Quellen (Neufassung!) die Einholung der behördlichen Genehmigung unter Einhaltung bestimmter Verfahren vor (Vorlage von Projekten, amtliche Begehungen, Konsentierung). Es ist daher notwendig, daß sich der Ingenieur vor Inangriffnahme irgendeiner Vorarbeit mit den Spezialgesetzen des betreffenden Landes genau bekannt macht.

B. Schutzmaßnahmen. Schutzrayon.

Die Maßnahmen des Quellenschutzes kommen in Verboten, seltener in Vorschriften, zum Ausdruck, mit welchen bestimmte Gebiete, die Schutzrayone, belegt werden.

Verbot und Geltungsbereich desselben sind zwei gegenseitig voneinander abhängige Begriffe, und es ist nicht gerechtfertigt, an einen Bereich (Schutzrayon) Verbote zu knüpfen, die vor den verschiedensten Gefahren schützen sollen. Der Bereich z. B., innerhalb dessen eine Felsprengung mutmaßlich der Quelle Schaden zufügen könnte, wird im allgemeinen nicht mit dem Gebiete zusammenfallen, in welchem tiefere

¹ Dieser Entwurf sieht nicht nur den Schutz von Mineralquellen vor, sondern bezieht in den Begriff „Heilschätze“ auch Gas- und Dampfquellen, Emanationen, Schlamm, Moore und Torfe.

Grabungen eine Gefährdung der Quelle befürchten lassen müssen. Es müßte daher — theoretisch — für jedes Verbot ein eigener Geltungsbezirk geschaffen werden. Dies würde jedoch die Einsetzung der Schutzrayone und Handhabung des Quellenschutzes äußerst erschweren, um so mehr, als für gewisse Verbote und deren Geltungsbereiche noch gewisse Abstufungen am Platze sind; z. B. Grabungen überhaupt — Grabungen über eine bestimmte Tiefe —, Grabungen über diese Tiefe in bestimmten Gesteinen u. a.

Gegen eine zu weit gehende Anpassung von Schutzmaßnahme und Geltungsbereich spricht der Umstand, daß die Ermittlung der Grenzen der Bereiche nicht durch mathematisch genaue Verfahren erfolgt. Wohl müssen die zur Lösung dieser Aufgabe herangezogenen Fachleute die Bestimmung der Schutzgebietsgrenzen auf die geologischen und hydrologischen Verhältnisse und die fallweisen Besonderheiten des Quellmechanismus stützen; doch bleibt die Beurteilung der verschiedenen Gefährdungsmöglichkeiten und ihrer Wahrscheinlichkeit immer das Resultat einer Schätzung und des auf Wissen und Erfahrung beruhenden persönlichen Ermessens. Deshalb auch die oft widerstreitenden Ansichten der Fachleute bei der Bemessung der Schutzbezirke und die großen Unterschiede zwischen den bestehenden Schutzrayonen; endlich die Tatsache, daß die bisher ermittelten Schädigungsursachen meist außerhalb der Schutzbezirke lagen.

Angesichts dieser Unsicherheit wäre die detaillierte Formgebung und Bemessung von Schutzgebieten für jedes einzelne Verbot übertrieben; bei den heute bestehenden Schutzbezirken mangelt es allerdings häufig an der nötigen Übereinstimmung zwischen Schutzmaßnahme und Rayon. Eine bezügliche Richtigstellung mit dem Ziele der Einführung mehrerer, den Verboten angepaßter Schutzräume und einer Abstufung der Strenge dieser Verbote wäre wohl fast überall am Platze; auch wäre das Anlegen eines einheitlicheren Maßstabes bei der Schätzung der Gefährdungsmöglichkeiten wünschenswert.

Die Gefahren. Der zur Bestimmung der Schutzmaßnahmen berufene Quellentechniker muß sich zunächst über die Möglichkeiten der Gefährdung der Quelle Rechenschaft geben. Die abzuwendenden Gefahren können sowohl die Quantität als auch die Qualität des Quellgutes bedrohen.

Die Ergiebigkeit einer Quelle kann vermindert werden: durch Veränderungen am Einzugsgebiet; Herabsetzung des Grundwasserstandes dortselbst, unmittelbar durch Entnahme und Ableitung, mittelbar durch Abholzung, Verlegung von Wasserläufen, Auflassen von Teichen und Wehren usw.; durch Störungen der Quellwege, z. B. infolge Anzapfung des Quellweges selbst oder seiner Seitenspalten durch Grabungen aller Art, Unterkellerungen, Steinbrüche, Tagbaue, Tiefbaue, Bohrungen usw., mittelbar durch Spiegelsenkung des Bodenwassers, mit welchem mineralwasserführende Seitenspalten in Kontakt stehen, oder Veränderungen des Quellweges durch heftige Bodenerschütterungen bei Felsprengungen, Torpedieren von Bohrungen usw.

In Quellsystemen engeren Sinnes kann durch Erhöhung der Ergiebigkeit eines Individuums, z. B. bei Neufassungen, ein schädlicher

Einfluß auf die Schwesterquellen geübt werden. Da dies — insbesondere wenn die Quellen verschiedene Besitzer haben — zu schwierigen Rechtsstritten führen kann, enthalten einzelne Quellenschutzgesetze bezugnehmende Bestimmungen.

Bei gasführenden Quellen bedeutet jede Gaserschotung im Umkreise eine ernstliche Gefährdungsmöglichkeit, da das Quellgut durch Gasverlust an Steigfähigkeit, die Quelle also an Ergiebigkeit einbüßt. Im Umkreise der gasführenden Quellen stehen alle Spalten und Klüfte unter Gasdruck; dieser pflanzt sich infolge des geringen Gewichtes des Gases bis hoch über das Spannungsniveau der Quelle fort. Daher kann das Anschlagen von Klüften oder das Absenken von Grundwasser, welches gasführende Spalten verschlossen hielt, hoch über dem Auslauf der Quelle noch schädlichen Einfluß üben. Da der Strömungswiderstand bei Gasen sehr gering ist, und verhältnismäßig sehr kleine Querschnitte große Gasmengen fördern können, reicht die Gefährdungsmöglichkeit und -wahrscheinlichkeit bei gasführenden Quellen viel weiter als bei gasfreien und verlangt dieser Umstand ausgedehntere Schutzbezirke.

Die Qualität des Quellgutes kann durch die vorgenannten Störungen ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen werden, wenn sich die Quelle aus zwei oder mehreren im chemischen Charakter nicht identischen Komponenten zusammensetzt und die Störung nur eine dieser Adern schädigt. Sie ist ferner bedroht durch Veränderungen an der Oberfläche oder im Boden, welche das Eindringen von Fremdstoffen in die Quellwege zur Folge haben. Die Immission solcher Stoffe kann nur in flüssiger Gestalt geschehen. Sieht man von außergewöhnlichen Fällen ab (z. B. Eindringen von Benzin in den Boden infolge eines undichten Behälters), so bildet meist das Bodenwasser den Träger dieser Fremdstoffe. Es kann sich um Abfallstoffe aller Art, Dungstoffe, Industrieabfälle usw. handeln, welche mit dem Niederschlagswasser, insbesondere bei Hochwasser, in den Boden eindringen und bei mangelnder Filterwirkung desselben, z. B. durch Spaltenwasser, in die Quellwege gelangen. Wo dies ehemals nicht möglich war, kann eine Veränderung an den Oberflächengewässern, eine Erhöhung des Grundwasserspiegels, das Eindringen hervorrufen.

Aus den aufgezählten und fallweise noch anderen Gefährdungsmöglichkeiten geht hervor, welche Verbote und eventuelle Vorschriften im Umkreise der Quelle, in ihrem Einzugsgebiete und in der Nähe des mutmaßlichen Quellweges zum Schutze in Betracht kommen. Die Verbote können auch bedingte Form haben, d. h. ihre Wirksamkeit kann an das Eintreten gewisser Erscheinungen geknüpft werden, wie höhere Bodentemperatur, Auftreten von Kohlensäure usw. in Tiefbaubetrieben. Im Einklange hiermit können die Schutzmaßnahmen auch die Gestalt positiver Vorschriften besitzen, z. B. die Pflicht, in Grubenbetrieben oder bei sonstigen Eingriffen in den Boden das Auftreten derartiger Erscheinungen den Behörden zu melden, Beobachtungen darüber anzustellen. Durch Vorbohren beim Streckenvortrieb und Sicherungsbohrungen in der Bausohle kann den Wassereintrüben von oft katastrophaler Wirkung vorgebeugt werden. Wird durch das Vor-

bohren Wasser erschroten, dessen Ablauf schädlich wäre, so kann die Bohrung wieder verdrämmt werden.

Gestalt und Größe der Schutzgebiete. Die Form und Größe des Schutzgebietes muß mit den innerhalb seiner Grenzen geltenden Schutzmaßnahmen im Einklang stehen und in den geologischen und hydrologischen Verhältnissen begründet sein. Nur von diesen Gesichtspunkten soll sich der Fachmann bei seinen bezüglichen Vorschlägen leiten lassen; können seine Anträge aus irgendwelchen Gründen nicht wirklich durchgesetzt werden — wie dies manchmal in bebauten und an Bodenschätzen reichen Industriegebieten vorkommt —, so ist es sehr zu empfehlen im Hinblick auf mögliche künftige Ereignisse die ursprünglichen Vorschläge protokollarisch festzulegen.

Ist das Einzugsgebiet der Quelle bekannt, so ist es in seiner Gänze als Schutzgebiet zu erklären; hier kommen Verbote in Anwendung, welche Änderungen des hydrologischen Zustandes verhindern und qualitative Schädigungen des Quellgutes vermeiden sollen. Hier (und nur hier!) ist es einigermaßen begründet, die Größe des Schutzraumes mit der Schüttungsmenge in Einklang zu bringen in der Annahme, daß jedem Minutensliter der Quellergiebigkeit eine bestimmte Niederschlagsfläche zukommt.

Kennt man den Quellweg, z. B. als Spaltenausbiß, so wird man das Gebirge beiderseits gegen Bodeneingriffe und Erschütterungen, den Ausbiß selbst auch gegen qualitative Schädigungen der Quelle schützen. Spalten und Verwürfe, die sich mit der Hauptdislokation scharen, werden womöglich in den Schutz einbezogen. Der einziehende Schichtausbiß einer Schichtquelle sowie ein entsprechendes Gebiet oberhalb desselben ist zu schützen.

Endlich verlangt die Umgebung des Quellortes selbst einen Schutz. Besäße man keinerlei Kenntnis von dem Quellmechanismus, so müßte man, da dann die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung mit der Entfernung in jeder Richtung gleichmäßig abnimmt, dem Schutzgebiete Kreisform, mit der Quelle als Zentrum, geben. Tatsächlich war dies bei den ältesten Schutzgebieten der Fall, und die Bezeichnung „Schutzkreis“ für Schutzgebiet geht hierauf zurück. Je genauer die Kenntnis des Quellmechanismus und der geologischen Verhältnisse, um so individueller wird sich das Schutzgebiet gestalten lassen. Das Verbot von Sprengungen hat außerhalb des festen Muttergesteins der Quelle, in Bodenschichten, deren Gefüge eine heftige Stoßfortpflanzung verhindert, keinen Sinn; vielenorts werden Grabungen zu gestatten sein, wenn sie an den Bodenwasserverhältnissen nichts ändern. Wo die Erosion eines Flußtales eine gewisse Tiefe erreicht hat, ist es unwahrscheinlich, daß ein gleicher Tiefeneingriff jenseits des Flusses schaden könnte (Achtung bei gasführenden Quellen!).

Dies soll nur einige Fingerzeige geben; im bestimmten Falle wird das genaue Studium der Geologie, Morphologie und Hydrologie der Umgebung der Quelle und die Vorstellung aller Schädigungsmöglichkeiten für die Bestimmung der nötigen Maßnahmen und ihrer Geltungsbereiche richtunggebend sein.

Im Hinblick darauf, daß die Schädigungsgefahr im allgemeinen mit der Entfernung von der Quelle und ihrem Wege abnimmt, ist die Abstufung der Strenge der Verbote mit der Entfernung und entsprechend die Schaffung engerer und weiterer bzw. erster, zweiter, dritter usw. Schutzgebiete, welche einander konzentrisch umlagern, berechtigt. Man wird z. B. im ersten Rayon Grabungen (evtl. mit Ausnahme von Hausgründungen, Pflanzungen) überhaupt verbieten, im zweiten dieselben bis zu gewisser Tiefe gestatten, die sich aus den geologischen oder den Grundwasserverhältnissen ergibt, im dritten bedingungsweise gestatten, unter Vorschreibung von Anzeigepflichten und Vorbehalt nachträglicher Verbote. Ähnlich lassen sich auch andere Verbote und Vorschreibungen abtufen, z. B. bei Wasserhebungen hinsichtlich der Menge oder der Absenkungstiefe des Spiegels, bei Sprengungen: gänzlich Verbot — Zulassung bestimmter Sprengstoffe und Ladungen — usw. Hierdurch wird die Härte des Quellenschutzes gemildert und die Lösung der Schadenersatzfrage erleichtert, andererseits aber der Schutz durch Ausdehnung seiner Gebiete vergrößert. Es ist jedenfalls sehr zu empfehlen, einen letzten Rayon in großer Ausdehnung nur mit der Anzeigepflicht für größere Wassererschütungen, Gasausströmungen und (beim Schutze von Thermen) außergewöhnlich hoher Bodentemperatur zu belasten und hier die nachträgliche Vorschreibung weitergehender Maßnahmen im Falle der Notwendigkeit vorzubehalten.

Es sei nochmals betont, daß im besonderen Falle die Eigenart der Verhältnisse für die Wahl der Schutzmaßnahmen von großer Bedeutung werden kann, und daß sich die Schutzmaßnahmen nicht immer von einem Fall auf den anderen übertragen lassen. So können die oben erwähnten Vorbohrungen im Bergbau in festem Gestein ziemliche Sicherheit bieten; dies gilt jedoch nicht für Tiefbaue in halbweichem, mürbem Gestein, in welchem sich das Bohrloch, ehe Verdämmungsmaßnahmen getroffen werden können unter der Wirkung des austretenden Druckwassers erweitert und die Erschötung binnen kurzem zum schweren Wassereinbruch anwächst. In solchem Gestein wird auch die vielfach angewendete Abteilung der Grubenräume durch Dämme mit verschließbaren wasserdichten Dammtüren unnütz.

Es ist zu empfehlen, die Grenzen der Schutzbereiche an Linien zu knüpfen, die in der Natur leicht feststellbar sind, wie Wege, Besitzgrenzen, Wasserläufe usw., nicht aber ideelle Linien (Gerade, Kreisbogenstücke usw.) auf der Karte festzulegen, die in der Natur durch Vermessung bestimmt und bezeichnet werden müssen.

Beispiele von Schutzgebieten. Der Schutzrayon der Karlsbader Thermen war das erste in der früheren österreichisch-ungarischen Monarchie geschaffene Schutzgebiet (1859). Im Jahre 1882 wurde er erweitert und besteht heute aus einem engeren und weiteren Rayon. Im engeren Schutzrayon von durchschnittlich 7 km Durchmesser steht das Muttergestein der Quellen, der Granit, unmittelbar oder in mäßiger Tiefe an. In diesem Gebiet ist jeder Schurf- und Bergbaubetrieb untersagt. Im weiteren Schutzgebiete, mit einem Durchmesser von ungefähr 15 km, ist der Abbau der tertiären Sedimente, also insbesondere der

Braunkohle, gestattet, die Verritzung des Grundgebirges (Granit, Kaolin, auch Basalt) aber nur bis zur Tiefe des Egerflußspiegels erlaubt. (Eine Verfügung der politischen als Gewerbebehörde [1891] trifft mit einer ähnlichen Beschränkung den gewerbsmäßigen, der Bergbehörde

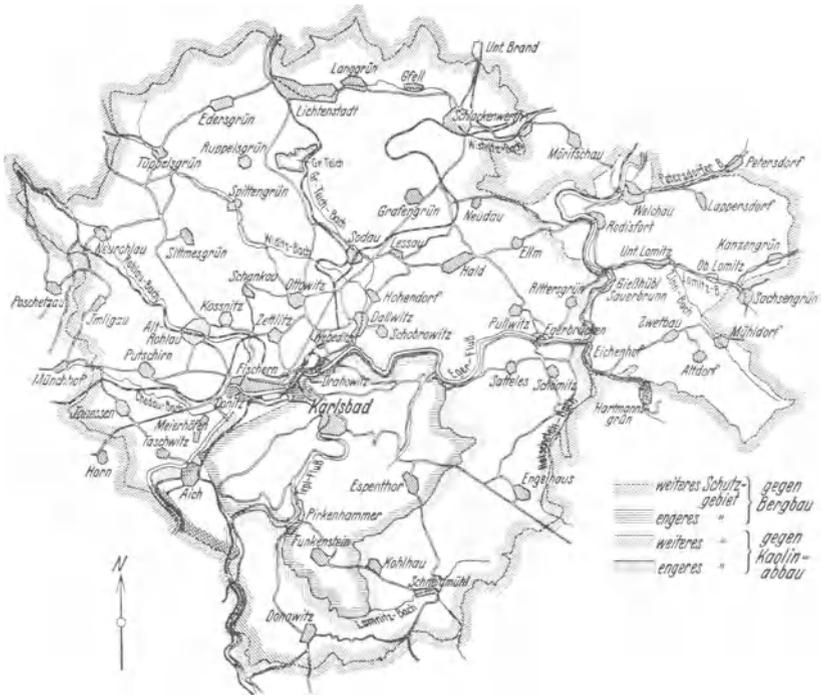


Abb. 270. Schutzgebiet der Karlsbader Thermen.

nicht unterstehenden Abbau des Kaolins und der Tonlager.) Hier wäre noch ein dritter Rayon mit bedingtem Schutz und Anzeigepflichten am Platze.

Der alte berggesetzliche Schutzbereich von Marienbad vom Jahre 1866 wurde im Jahre 1920 mit den benachbarten Schutzgebieten von Königswart, Neudorf und Grün vereint und auf einen durchschnittlichen Durchmesser von 15 km erweitert. Innerhalb seiner Grenzen ist der Schurf- und Bergbaubetrieb untersagt. Im äußeren Schutzgebiete, welches einen Gürtel von ca. 3–5 km um das innere bildet, ist der Schurf- und Bergbaubetrieb wohl gestattet, doch sind die Unternehmer verpflichtet, jede Kohlensäuregaserschließung oder Mineralwassererschrotung von mehr als 10 Minutenliter sowie anhaltende Wasserbrüche von 1000 l/min und darüber dem zuständigen Revierbergamte anzuzeigen.

Einem Vorschlage zum Schutze der Siebener Sprudel und der Städtischen Mineralquelle von Brückenau, von H. Krauss, entnehmen wir auszugsweise:

Die zwei Siebener Sprudel wurden 1896 in 316 bzw. 408 m Tiefe im Zechstein erbohrt. Die Erbohrung der Mineralquelle in Brückenau erfolgte 1905—1907 ebendasselbst in 400 m Tiefe. Sie zeichnen sich durch erhebliche Kohlensäureführung aus, welche als postvulkanisches Produkt der Röhnbasalte angesprochen wird. Die beiden Quellgruppen zeigen sich trotz ihres geringen Abstandes (700 m) voneinander unabhängig, was durch eine zwischen ihnen verlaufende Doppelverwerfung Erklärung findet; diese dürfte auch ihre Einzugsgebiete bis zu einem gewissen Grade scheiden. Der Einzugsbereich ist für die drei Quellen nach der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes im Norden derselben zu suchen, da die Zechsteinschichten, das mutmaßliche Sammelreservoir,

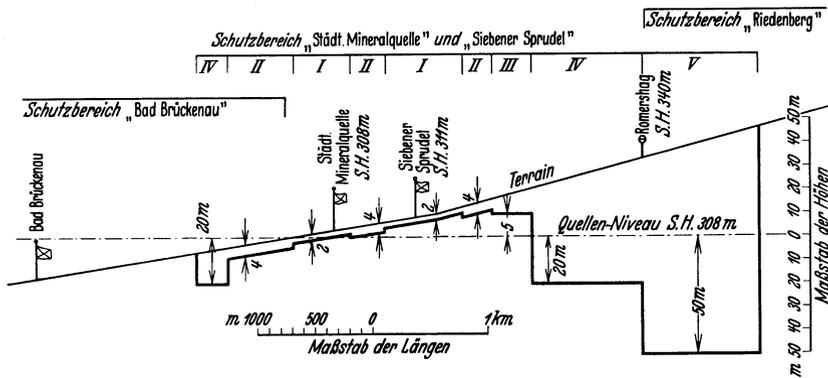


Abb. 271. Schutzbereich für den Siebener Sprudel. Beispiel für Staffelung der Verbote.

gegen Süden einfallen. Aus demselben Grunde ist der Herd der Kohlensäure im Süden der Bohrungen anzunehmen; auf beides nimmt die Formgebung des Schutzgebietes Rücksicht.

Das Gutachten schlägt vor, die Erlaubnis zu Eingriffen in den Erdboden in folgender Weise zu staffeln (Abb. 271):

Staffel I (Eingriffe bis zu 2 m unter Oberfläche gestattet) umfaßt den Talgrund in der näheren Umgebung der Quellen. Hier wird auf die Unverletzlichkeit des Grundwasserspiegels und einen geschlossenen Talboden besonderer Wert gelegt.

Staffel II gestattet Eingriffe bis zu 4 m unter die Oberfläche. In I und II sind bedeutende Grundwasserentnahmen der Genehmigung der Behörde unterstellt. Die weiteren Staffeln sind auf das Quellniveau der Städtischen Mineralquelle bezogen (S.H. 308 m).

Staffel III erlaubt Eingriffe bis zu 2 m unter dieses Niveau. (In einem Teilgebiete IIIa nur bis 5 m über S.H. 308 m.) Staffel IV gestattet Eingriffe bis zu 20 m, Staffel V bis 50 m unter das Quellniveau. Der vorgeschlagene Schutzbereich grenzt an die Bereiche des Bades Brückenau und den vorgeschlagenen Bereich der Heilquelle Rhönperle bei Riedenberg.

C. Der reparative Quellenschutz.

Ist trotz der Maßnahmen des vorbeugenden Quellenschutzes wegen deren Unzulänglichkeit eine Störung der Mineralquelle von außen her erfolgt, so setzt der reparative Quellenschutz ein. Seine Hauptaufgaben sind:

1. Die eheste und einwandfreie Feststellung der schädlichen Wirkung an der Quelle.

2. Die Erforschung der schädigenden Ursache und der klare Nachweis des ursächlichen Zusammenhanges.

3. Die bestmögliche Behebung des Schadens und Herbeiführung des früheren Zustandes.

1. Nur selten ist die Wirkung einer Schädigung des Quellmechanismus binnen kurzer Zeit so erheblich, daß sie sich schon bei der Nutzung der Quelle bemerkbar macht; die Abnahme der Ergiebigkeit erfolgt vielmehr zumeist ganz allmählich, so daß viel kostbare Zeit verstreichen kann, ehe sie auf diesem Wege erkannt wird. Deshalb ist die gewissenhafte Quellenbeobachtung ein wichtiges Instrument des Quellenschutzes und eine der wichtigsten Pflichten, die der Schutz gegen äußere Störungen dem Quellenbesitzer selbst auferlegt. Wird die Ergiebigkeit einer Quelle regelmäßig und richtig beobachtet, so muß sich ein störender Einfluß sehr bald kenntlich machen. Der Beobachter kennt das Bild der normalen Schwankungen und ist ihren Ursachen, soweit dies möglich war, nachgegangen; eine von diesem vertrauten Bild abweichende Verminderungstendenz, für welche keine der bekannten Ursachen verantwortlich gemacht werden kann, muß ihm ein Warnungssignal bedeuten und die Aufforderung, der Ursache nachzuforschen bzw. die Aufmerksamkeit der zuständigen Behörden auf die Gefahr zu lenken.

2. Die Aufdeckung der Schädigungsursache und die Führung überzeugender Beweise für deren Schuld kann insbesondere bei indirekten Störungen eine schwierig zu lösende Aufgabe bilden; ja es kann jahrelangen Studiums der hydrologischen Verhältnisse und Ereignisse in der Umgebung bedürfen, ehe man die schädigende Ursache nachgewiesen hat; Studien, bei welchen man der Natur der Sache nach oft auf die Unterstützung derjenigen verzichten muß, welche vielleicht wertvolle Auskünfte geben könnten.

Hegt man endlich hinsichtlich der schädigenden Ursache einen bestimmten Verdacht, so trachtet man unter Anrufung der Unterstützung der Behörden, den Zusammenhang einwandfrei zu beweisen. Dies läuft zumeist auf den Nachweis des Zusammenhanges eines Wasseraustrittes oder eines in größerer Menge gehobenen Bodenwassers mit der Quelle hinaus. Solche Konnexen können durch abwechselndes Aufstauen und Herabspannen des verdächtigten Wassers unter gleichzeitiger genauer Beobachtung der Quellergiebigkeit erkannt werden. Doch kann zwischen Ursache und Wirkung oft ein langer Zeitraum verstreichen. Auch chemische Untersuchungen und Färbeversuche können bei der Identifizierung Dienste leisten.

Ein Fall, bei welchem die Erkennung der Ursache und der Nachweis des Zusammenhanges sehr große Schwierigkeiten bereitete, ist die Beeinflussung der Karlsbader Thermen durch einen Braunkohlenbergbau im Anfange dieses Jahrhunderts. Vom Jahre 1901 an (152) zeigten die Karlsbader Thermen einen geringen, aber stetigen Ergiebigkeitsrückgang. Der Ursache nachforschend, stellte man einen Einbruch warmen Wassers in eine 15 km entfernt gelegene Braunkohlengrube fest. Die von den Oberbehörden zum Studium der Frage eingesetzte Fachkommission erkannte durch Vergleich der Ergiebigkeitsmessungen der Quellen mit den Sumpfungsmengen der Grube einen bestehenden Parallelismus und beantragte die Verdämmung des Wassereinbruches. Allerdings zeigte sich dieser Parallelismus nur unter Zugrundelegung einer Zeitspanne von 3 Monaten zwischen Ursache und Wirkung. Über die Frage, ob ein solcher Zusammenhang tatsächlich besteht, entbrannte nun zwischen den Fachleuten ein heftiger Widerstreit der Meinungen. Es sprachen nicht nur die chemischen Analysen gegen den Zusammenhang, sondern auch hydrodynamische Untersuchungen und Berechnungen, welche geradezu die Unmöglichkeit des Abfließens von Mineralwasser gegen die Einbruchsstelle bewiesen. Verfasser erklärte die Beeinflussung der Quellen durch Gasabströmen infolge der Druckentlastung durch den Wassereinbruch und seine Sumpfung. Der Wassereinbruch selbst aber wird durch eine selbständige, dem Quellsystem „weiteren Sinnes“ der „böhmischen Thermalspalte“ (s. S. 181) angehörende Therme gespeist. Tatsächlich wurden auch heftige Kohlensäuregas-Ausbrüche in der Grube wahrgenommen. Die über bergbehördliche Anordnung durchgeführte Verdämmung des Einbruchwassers wurde vom Wasserdruck zerstört. Nun wurde ein Beweisversuch durch Aufstau des Einbruchwassers („Ersäufen“ der Grube) gemacht, der den Zusammenhang einwandfrei bewies (Abb. 272). Die Ergiebigkeit der Karlsbader Thermen begann nach 3 Monaten zu steigen und erreichte bald die frühere Ziffer. Der Schacht blieb seither inundiert.

War der Nachweis der schädigenden Ursache in diesem Falle schwierig, so stellte die Wiedergutmachung keinerlei Probleme. Umgekehrt war bei der bekannten Schädigung der Teplitzer Mineralquellen durch den Wassereinbruch im Döllingerschacht im Jahre 1879 die Ursache sogleich bekannt, während hier die Wiedergutmachung große Anforderungen an die Techniker stellte.

Die Teplitzer Thermen (153), (154), (155) ergossen sich aus einem Porphyrostock mit Basaltdurchbrüchen, der vom identischen Porphyrgestein im nahen Erzgebirge durch eine in der Tertiärzeit abgesunkene Mulde getrennt ist. In der Mulde liegen tertiäre Sedimente mit Braunkohle. Als man im Jahre 1879 im Braunkohlenschachte „Döllinger“ mit einer Strecke dem Hauptverwurfe, in dem die Kohle unmittelbar am Porphyr abstößt, nahe kam, erfolgte ein katastrophaler Wassereinbruch (Abb. 273). Er inundierte binnen 5 Tagen die gesamte Grube. 64 Stunden nach dem Einbruch versiegten die 6 km entfernt liegenden Teplitzer Thermen.

Über den ursächlichen Zusammenhang bestand hier kein Zweifel; die Schwierigkeit lag in der Wiedergutmachung des Schadens; dies

um so mehr, als man nicht nur die Teplitzer Quellen schützen, sondern auch einen möglichst großen Teil des großen Kohlenvermögens der Mulde retten wollte. Man beginnt im März 1881 einen Schacht auf die Einbruchsstelle zu teufen und legt diese im Juni desselben Jahres frei. Gleichzeitig geht man in Teplitz durch Schächte im Porphyry dem abgesunkenen Quellspiegel nach und findet diesen ca. 50 m unter der

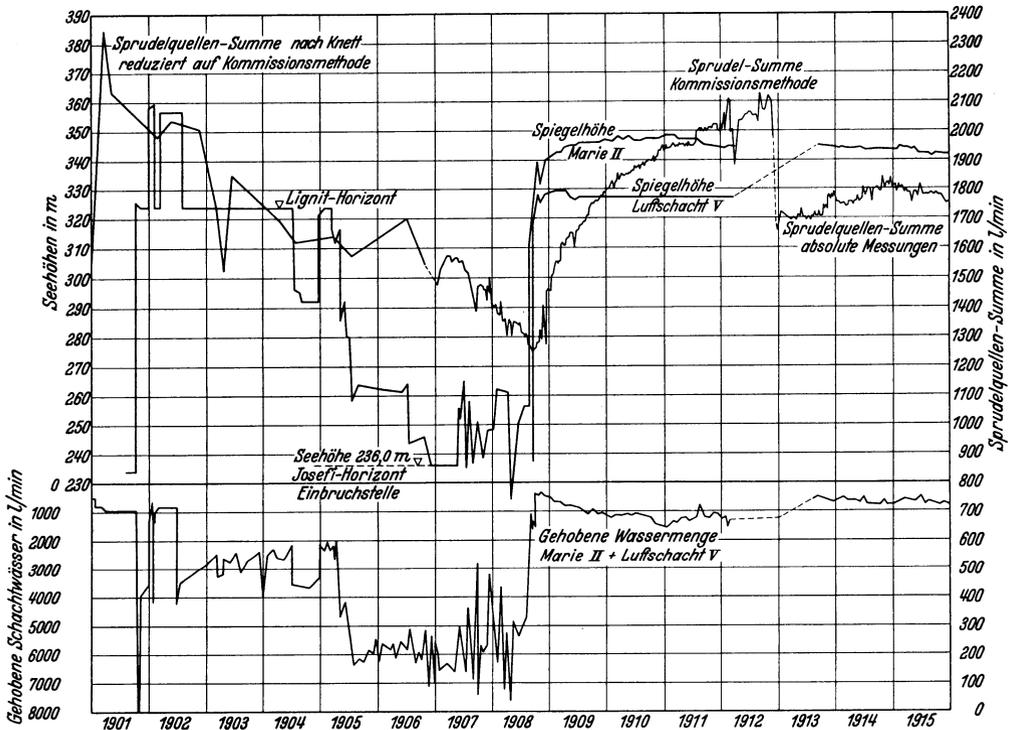


Abb. 272. Reparatur einer durch Grubenwassereinbruch hervorgerufenen Quellstörung. Karlsbad 1908.

früheren Auslaufhöhe. Die Einbruchsstelle wird mittels eines gemauerten Kugeldammes gesichert, der im Mai 1882 geschlossen wird (Abb. 274). Die Teplitzer Quellen steigen hierauf bis 1,60 m unter früheres Niveau. In der Voraussetzung, daß sich die Teplitzer Quellspalte mit dem Döllinger Hauptverwurf schare, schützt man letzteren durch einen unverritzbaren Kohlenpfeiler; das Döllingerwerk wird ganz stillgelegt.

Im November 1887 erfolgt aber ein zweiter Wassereinbruch im benachbarten Viktorinschacht, und zwar in Gestalt eines Sohlenaufbruches; seine Menge wurde mit 1000 l/s geschätzt. Dieser zweite Einbruch bewies, daß sich der Wasserdruck über den Hauptverwurf hinaus auch in den Spalten des Liegenden des Flözes fortpflanzt. Wieder reagierten die Quellen empfindlich. Die Verdämmung des Ausbruches

erfolgte subaquatisch durch Verfüllen der Einbruchkammer von Tage aus mit Beton durch vier Bohrlöcher von je 600 mm Durchmesser und

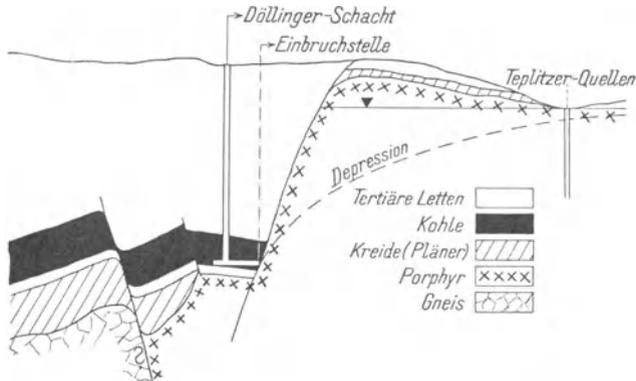


Abb. 273. Schädigung der Tepplitzer Thermen durch den Wassereinbruch im Döllinger-Schacht.

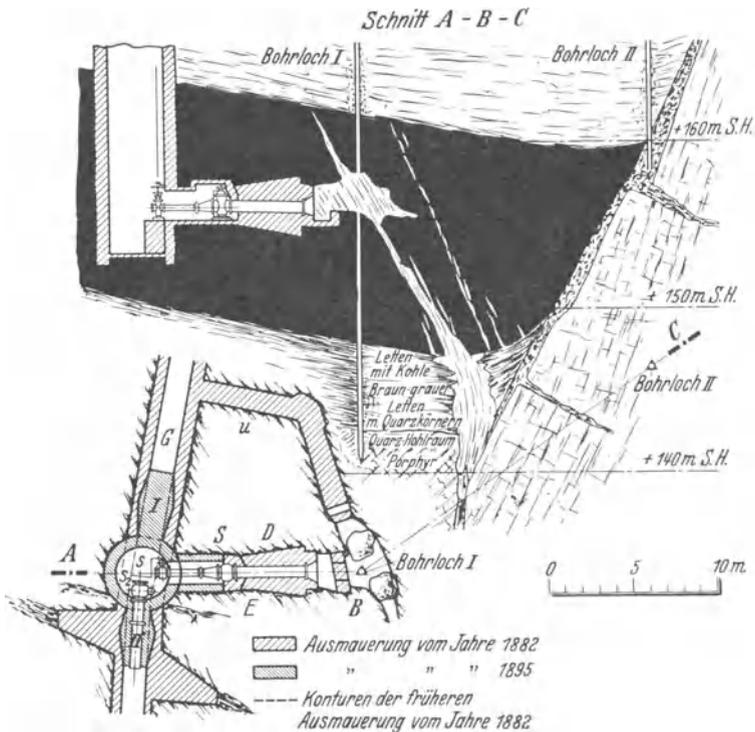


Abb. 274. Die Einbruchstelle im Döllinger-Schacht. (Nach H. Löcker.)

wurde meisterhaft gelöst. Die Behörde erließ nun weitere Schutzvorschriften. Die Einbruchstelle erhielt einen Schutzpfeiler; zur Ver-

meidung von Sohlenaufbrüchen muß in neuen Abbauen durch Sohlenbohrlöcher nachgewiesen werden, daß kein Auftrieb vorhanden ist. Trotzdem ereignete sich noch ein dritter Wassereinbruch im Jahre 1892 im Viktorin- und ein vierter 1897 im nahen Giselaschacht.

3. Mit den beschriebenen Fällen wurden auch schon Beispiele der Wiedergutmachung gebracht. Sie zeigen, daß sich diese Arbeit den jeweiligen Verhältnissen anpassen muß; allgemeine Grundsätze lassen sich darüber kaum aufstellen. Erschwert wird die Wiedergutmachungsarbeit gewöhnlich durch die Forderung, daß während derselben keine erhöhte Störung der Quelle erfolgen soll oder diese wenigstens in eine Saisonpause fallen muß. Jedenfalls muß die völlige Wiederherstellung des früheren Zustandes angestrebt werden.

Schrifttum.

A. Selbständige Werke über Hydrologie und Quellen.

- Friedrich, A.: Kulturtechnischer Wasserbau. Berlin 1907.
Gross, E.: Handb. der Wasserversorgung. Berlin u. München 1928.
Haas, Hippolyt J.: Quellenkunde. Leipzig 1895.
Koehne, W.: Grundwasserkunde. Stuttgart 1928.
Handbuch der Ingenieurwissenschaften: Die Wasserversorgung der Städte, III. T.
Bd. 3. Leipzig-Berlin 1914.
Höfer v. Heimhalt, H.: Grundwasser und Quellen. Braunschweig 1920.
Keilhack, K.: Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin 1917.
Lersch, H.: Hydrophysik. Bonn 1870.
Lueger-Weyrauch, R.: Die Wasserversorgung der Städte. Der städt. Tiefbau. Bd. 2. Stuttgart 1914/16.
Prinz, E.: Handb. der Hydrologie. Berlin 1923.
Stiny, J.: Die Quellen. Wien 1933.
Mead, Daniel W.: Hydrology. New York und London 1919.
Auscher, E. S.: L'art de découvrir les sources. Paris 1905.
Chalon, P. F.: Eaux souterraines. Paris-Liège 1913.
Daubrée, A.: Les eaux souterraines. Paris 1887.
Debauve, A., et Ed. Imbeaux: Distributions d'eau. Paris 1905/06.
Diéner, F.: Hydrologie agricole. Paris 1907.
Imbeaux, Ed.: Essai d'Hydrologie. Paris 1930.
Mager, H.: Hydrologie souterraine. Paris 1915.
Martel, E. A.: Nouveau traité des eaux souterraines. Paris 1921.
Paramelle, Abbé: Quellenkunde. Leipzig 1865.
Grossi, M.: Ricerca delle acque sotterranee. Milano 1912.
Spataro, D.: Igiene delle abitazioni. Milano 1882.
Garcia, G.: El Agua. Barcelona 1905.
Launay, L. de: Recherche, captage des sources Thermo-Minérales, Paris et Liège 1899.
Winckler, A.: Mineralquellentechnik, Leipzig 1916.

Laufende Auskunft über das neueste Schrifttum enthält:

Wasser und Abwasser, Sammelblatt für Wasservers. usw., Berlin.

B. Veröffentlichungen, die im Text mit Angabe der betreffenden Nummer erwähnt sind.

1. Gärtner, A.: Hygiene des Wassers. Braunschweig 1915.
2. Ditzel, H.: Quellenstudien aus der Umgebung von Marburg. Marburg 1905.
3. Poschinger, V.: Schneegrenzbilder. Z. Dtsch.-Öster. Alpen-V. 1918.
4. Schlagintweit, H.: Petermanns Mitt. 1865.
5. Martel, E. A.: Nouveau traité des eaux souterraines. Paris 1921.
6. Beyer: Über Quellen in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz. Dresden 1913.
7. Lersch, B. M.: Hydro-Physik. Bonn 1870.
8. Lehmann, H.: Die Gesteinsklüfte des östl. Harzvorlandes. Jb. d. Halleschen Verb. f. d. Erforschung d. mitteldtsch. Bodenschätze usw. 7. Bd., Neue Folge. Halle a. d. S. 1928.
9. Keilhack, K.: Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin 1917.

10. Knebel, W. von: Höhlenkunde. Die Wissenschaft. Heft 15. Braunschweig 1906.
11. Meinzer, O. E.: The occurrence of groundwater in the U. S. U. S. Geol. Survey. Water-Supply Paper 489. Washington 1923.
12. Rinne, F.: Gesteinskunde. Leipzig 1914.
13. Winkel: Ermittlung von Spaltweiten usw. Bautechnik Jg. 9.
14. Huber, U.: Über die Klüftigkeit des Jeschkengebirges (Böhmen). Internat. Z. f. Wasservers. 1916.
15. Huber, U.: Wasserführende Gesteine. Internat. Z. f. Wasservers. 1916.
16. Reuter, L.: Gesch. Ber. d. K. B. Wasservers. Bureaus f. d. J. 1914. München 1915.
17. Meinzer, O. E.: Plants as indicators of groundwater. U. S. Geol. Survey. Water-Supply Paper 577. Washington 1927.
18. Paramelle: Quellenkunde. Leipzig 1865.
19. Hocheder, F.: Projektionsstätigkeit d. Wasservers.-Ing. K. B. Wasservers. Bureau, Gesch. Ber. 1915.
20. Röhrer, F.: Über Quellenuntersuchungsmethoden. Gas- u. Wasserfach 1929.
21. Memorie illustr. della carta idrogr. d'Italia. Roma 1900.
22. Gravelius: Die Beziehungen zw. Niederschlag und Quellergiebigkeit. Z. Gew.kunde Bd. 4.
23. Maillet, Edm.: Essais d'Hydraulique souterr. el fluv. Paris 1905.
24. Huber, U.: Über das Messen von Quellen. Öst. Wschr. f. d. öst. Baudienst. Wien 1917.
25. Heim, A.: Quellerträge in Schächten und deren Bestimmung. Vjschr. Naturf. Ges. Zürich 1897.
26. Zimpell: Die Wasserversorgung der Stadt Würzburg. J. Gasbel. u. Wasservers. 1915.
27. Holler, H.: Quellschüttungsschwankungen im Jahre 1911 usw. J. Gasbel. u. Wasservers. 1913.
28. Huber, U.: Hydrol. Vorarbeiten zwecks Wasservers. d. Stadt Teschen. Öst. Wschr. f. d. öff. Baudienst 1911.
29. Huber, U.: Die kleinste Ergiebigkeit einiger Quellbäche. Mitt. Dtsch. Ing. in Mähren usw. 1922.
30. Koehne, W.: Grundwasserkunde. Stuttgart 1928.
31. Schirmer: Vorläufige Richtlinien des D. Ausschusses f. Kulturwesen usw. Kulturtechniker 1930.
32. Hug, T.: Die wichtigsten Typen der ausnutzbaren Grundwassergebiete der Schweiz. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. Monatsbull. 1928.
33. Hug, T.: Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz. Ann. Schweiz. Landeshydrographie Bd. 3 (1918).
34. Reuter, L.: Geol. Ausführungen ü. d. Grund- u. Quellwasservorräte Südbayerns. Gas- u. Wasserfach 1924.
35. Holler-Reuter: Die Gewinnung von Trink- und Nutzwasser in Bayern. Gesundh.-Ing. 1912.
36. Goebel: Der Wasserkursus. Zwickau 1926.
37. Rolland, G.: Géologie et Hydrologie du Sahara Algérien. Paris 1890.
38. Tarnuzzer: Beiträge z. geol. Karte d. Schweiz. Neue Folge, Lief. 23, 1911.
39. Broeck, R. van den, Martel, E. A., et Ed. Rahir: Les cavernes et les rivières souterr. de la Belgique. Bruxelles 1910.
40. Wiebel: Die Insel Kephalaria u. d. Meermühlen v. Argostoli. Hamburg 1873.
41. Lehmann, O.: Die Hydrographie d. Karstes. Enz. d. Erdkunde. Leipzig u. Wien 1932.
42. Imbeaux, Ed.: Int. Z. Wasservers. 1916.
43. Busse, W.: Die Wasservers. d. Achal-Teke-Oase in Turkestan. Int. Z. Wasservers. 1916.
44. Endriss, K.: Die Versinkung der oberen Donau zum rhein. Flußgebiet. Stuttgart 1900.
45. Boegan, E.: Le Sorgenti d'Aurisina. Trieste 1906.
46. Huber, U.: Über das Fassen von Quellen. Manuskript.

47. Hug, T.: Verunreinigung von Quellen durch andauernd trockenes Wetter. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. Monatsbull. 1927.
48. Schweiz. Wirtschaftsverband: Ber. d. Kom. f. Abdichtungen. Zürich 1927.
49. Haller, K.: Die Landeswasservers. Apuliens. Z. Gasbel. u. Wasservers. 1920.
50. Fattorini, G.: Die apulische Wasserleitung. Z. Gasbel. u. Wasservers. 1913.
51. Bechmann et Babinet: Notice s. l. Dérivation des Sources etc. Ann. Ponts Chauss. 1905.
52. Michels, F.: Z. dtsch. geol. Ges. 1933.
53. Halbertsma-Spieser: Die Wasserversorgung Wiesbadens. Wiesbaden 1909.
54. Imbeaux, Ed.: Essai d'Hydrologie. Paris 1930.
55. Staus, A.: Maschinenuntersuchungen. Erster Band, Hydraulik. Berlin 1926.
56. Weyrauch, R.: Die Wasserversorgung der Städte. 1. Bd. Leipzig 1914.
57. Huber, U.: Das Wasserwerk der kgl. Freistadt Hermannstadt. Öst. Wschr. f. d. öff. Baudienst 1916.
58. Kuhn, F.: Das Wasserleitungskraftwerk Gaming der Stadt Wien. Wasserwirtsch. 1926.
59. Roßkothén: Die Wasserversorgung der Stadt Salzburg usw. Gas- u. Wasserfach 1932.
60. Drennig, A.: Wassertrübungen usw. Z. öst. Ver. Gas- u. Wasserfachm. 1932.
61. Stille, H.: Geol.-hydr. Verhältnisse der Paderquellen. Abh. d. kgl. preuß. Landesanst. d. Bergakademie. Neue Folge, Heft 38. Berlin 1923.
62. Katzer: Karst und Karsthydrographie. Sarojewo 1909.
63. Launay et Martel: Notes sur quelques questions relatives à la géologie etc. Bull. Soc. chim. France 1891.
64. Thiem, A.: Bericht über die hydrol. Untersuchung der Umgebung von Naunhof. München 1881.
65. Mezger, Chr.: Über Grundwasser- und Quelltemperaturen. Gesundh.-Ing. 1914.
66. Mezger, Chr.: Die Quelltemperatur in ihren Beziehungen zur Seehöhe usw. Gesundh.-Ing. 1916.
67. Kolkwitz, R.: Zur Biologie der Wasserwerke. Kl. Mitt. d. Preuß. Landesanstalt f. Wasserhygiene usw. Jg. 7.
68. Eugling, M.: Über die Biologie des Wiener Hochquellwassers. Abh. a. d. Gesamtgebiete der Hygiene. Leipzig u. Wien 1931.
69. Beger, H., u. E.: Biologie der Trink- und Brauchwasseranlagen. Jena 1928.
70. Kabrhel, G.: Studien üb. d. Filtrationseffekt usw. Arch. f. Hyg. Bd. 58.
71. Schulze, B.: Wurzelatlas, II. Teil. Berlin 1914.
72. Lüdecke: Über die Wasserbewegung im Boden. Kulturtechniker 1909.
73. Stuttgart, Die Neugestaltung der Wasserversorgung der Stadt — — —. Stuttgart 1909.
74. Gärtner, A.: Die Quellen in ihren Beziehungen zum Grundwasser und zum Typhus. Jena 1902.
75. Lehmann, H., u. Reichle: Über das Absterben von Bakterien usw. Gas- u. Wasserfach 1929.
76. Mosny, E., et E. A. Martel: Les eaux d'alimentation de Toulon etc. Rev. d'Hygiène. Paris 1912.
77. Daubrée, A.: Les eaux souter. à l'époque actuelle. Paris 1887.
78. Daur, E., u. F. Röhrer: Die Pforzheimer Typhusepidemie vom Jahre 1919. Gas- u. Wasserfach 1921.
79. Schönbrunner, F.: Die Sicherungsmaßnahmen im Quellgebiete der I. Wiener Hochquellleitung. Z. öst. Ing. u. Arch.-Ver. 1926.
80. München, Die Versorgung der kgl. Haupt- und Residenzstadt M. usw. Festschrift 1912.
81. Müller, R.: Wasserversorgung. Wien 1913.
82. Huber, U.: Zur Frage des Abverkaufs von Waldquellen usw. HDI-Mitt. 1925.
83. Deutsches Bäderbuch. Leipzig 1907.
84. Grünhut: Z. Balneol. Berlin 1911/1912.
85. Bad und Kurort. Berlin 1925.

86. Handb. der Balneologie I. Leipzig 1916.
87. Österreichisches Bäderbuch. Wien 1928.
88. Fresenius, L., A. Eichler u. H. Lederer: Über die katalytischen Eigenschaften der Mineralwässer. Z. anorg. Chem. Leipzig 1927.
89. Schneider, K.: Beiträge zur Theorie der heißen Quellen. Geol. Rdsch. IV/2, 1913.
90. Ludewig, P.: Die Vereinheitlichung der Meßweise radioaktiver Quellen. Jb. f. Berg- u. Hüttenwesen in Sachsen. 1921.
91. Z. anorg. Chem. 1911.
92. Waagen, L.: Die Thermalquellen der Stadt Baden in Niederösterreich. Z. prakt. Geol. 1914.
93. Hynie, O., u. J. Koutek: Geologie der wichtigsten Schlammarten Europas. Prag 1933.
94. Pospelny: Über die Genesis der Erzlagerstätten. Berg- u. Hüttenmännisches Jb. Bd. 43. Wien 1895.
95. Berg, G.: Über die Begriffe vados und juvenil. Z. prakt. Geol. 1918.
96. Weithofer, K. A.: Die Karlsbader Thermen und der Bergbau. Neues Jb. f. Mineralogie usw. Beil.-Bd. 70, Abt. B. Stuttgart 1933.
97. Sueß, E.: Über heiße Quellen. Verh. Ges. dtsh. Naturforscher u. Ärzte in Karlsbad 1902. Leipzig 1903.
98. Sueß, E.: Das Antlitz der Erde III. Wien 1909.
99. Brun, L.: Recherches sur l'exhalaison volcanique. Genf 1911.
100. Lepsius, R.: Notizblatt des Vereins für Erdkunde. Darmstadt 1908.
101. Wagner, B.: Z. Balneol. II, Nr. 15 und IV, Nr. 9.
102. Steuer, A.: Die Nauheimer Quellen und die Geologie der Wetterau. Verh. dtsh. Naturforscher u. Ärzte 1920.
103. Behrend, F., u. G. Berg: Chemische Geologie. Stuttgart 1927.
104. Lacroix: La montagne Pelée et ses eruptions. Paris 1904.
105. Griggs, R. F.: Das Tal der zehntausend Dämpfe. Leipzig 1928.
106. Adams, L. A.: A physical source of heat in springs. J. of Geol. 1923.
107. Gutenberg, B.: Der Aufbau der Erde. Berlin 1925.
108. Schoklitsch, A.: Der Wasserbau I. Wien 1930.
109. Wiedemann, E.: Poggendorfs Ann. 1876.
110. Winkelmann, A.: Handb. der Physik III. Leipzig 1908.
111. Sosman: On hot springs. J. of Geol. 1923.
112. J. of Franklin Inst. Bd. 193. 1922.
113. Hummel, K.: Beziehungen der Mineralquellen Deutschlands zum jüngeren Vulkanismus. Z. prakt. Geol. Bd. 1. 1930.
114. Miholić, St.: Das Vorkommen von Schwermetallen in Mineralwässern. Chemie der Erde. Jena 1933.
115. Kessler, P.: Die Beziehungen von Erzgängen, Tektonik, Vulkanismus und Schwere zu den bekannteren Heilbädern in Südwestdeutschland. Z. prakt. Geol. 1927/3.
116. Gintl, W. v.: Die Mineralquellen von Bilin in Böhmen. Z. prakt. Geol. 1899.
117. Witte, W.: Sind alle kohlenensäurehaltigen Quellen juvenil? Z. prakt. Geol. 1927/9.
118. Höfer v. Heimhalt, H.: Grundwasser und Quellen II. Braunschweig 1920.
119. Cadisch, J.: Zur Geologie der Schweizer Mineral- und Thermalquellen. Verh. naturforsch. Ges. in Basel. Bd. 42. 1931.
120. Delkeskamp, R.: Die Genesis der Kohlensäure der Mineralquellen und Thermen. Internat. Mineralqu.-Ztg. 1904.
121. Beissel, J.: Der Aachener Sattel und die aus demselben vordringenden Thermalquellen. Aachen 1886.
122. Winter, B.: Die Heilquellen Marienbads. Marienbad 1932.
123. Gillitzer, G.: Geologie der alpinen Salzlager, mit besonderer Berücksichtigung der Reichenhaller Solquellen. Z. prakt. Geol. 1914/7.
124. Kegel: Über aufsteigende Quellen. Z. prakt. Geol. 1923/7.
125. Altfeld, E.: Die physikalischen Grundlagen des intermittierenden Kohlen-säuresprudels zu Namedy bei Andernach am Rhein. Z. prakt. Geol. 1914/4, 5.
126. Redlich-Terzaghi-Kampe: Ingenieur-Geologie. Berlin 1929.

127. Kampe, R.: Zur Mechanik gasführender Quellen. Ing.-Z. Teplitz-Schönau 1922.
128. Allen: The motion of a sphere in a viscous fluid. Philosophical magazine. Bd. 50, Nr. 304. 1900.
129. Bischof, G.: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie I. Bonn 1863.
130. Henrich, F.: Theorie der Kohlensäure führenden Quellen, begründet durch Versuche. Z. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen im Preuß. Staate. 1902/3.
131. Darapsky: Berechnung der Preßluftpumpen. Dinglers polytechn. J. 1913.
132. Höfer, K.: Untersuchungen über die Strömungsvorgänge im Steigrohr eines Druckluft-Wasserhebers. Mitt. über Forschungsarb. H. 138. Berlin 1913.
133. Exner, F.: Über die Aufstiegs geschwindigkeit von Luftblasen in Wasser. Physik. Z. 1927.
134. Kampe, R.: Irrtümer im Gebiete der Quellenkunde. Balneologie u. Balneotherapie. Jena 1923.
135. Lepsius, R.: Festschrift zur Weihe des neuen Solsprudels zu Bad Nauheim. Darmstadt 1900.
136. Brauer, E.: Neues Verfahren zur Wassermessung. Z. Ver. dtsch. Ing. 1892.
137. Steiner, F.: Sitzgsber. dtsch. naturwiss. Ver. f. Böhmen, „Lotos“. 1900/48.
138. Müller, W.: Hydrometrie. Hannover 1903.
139. Dankwerts: Zbl. d. Bauverwaltung. S. 90. 1909.
140. Österreichisches Bäderbuch. Berlin-Wien 1914.
141. Kionka, H.: Untersuchung und Wertbestimmung von Mineralwässern und Mineralquellen. In Abderhalden, Handb. d. biol. Arbeitsmethoden. Liefg. 252. Berlin-Wien 1928.
142. Dietl, A.: Veröff. d. Zentralst. f. Balneol. III. Nr. 24; V. Nr. 7 u. 23.
143. Hoernes, R.: Z. Balneol. III. 1910—11.
144. Sueß, F.: Verh. d. Wien. geol. Reichsanstalt. 1900.
145. Zörkendörfer, W.: Zur Frage der Fernleitung kohlenensäurehaltigen Mineralwassers. Internat. Mineralqu.-Ztg. 1932.
146. Fresenius, R.: Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde. 1894.
147. Mestwerdt, A.: Die Tiefbohrung II in Bad Salzuflen. Jb. d. dtsch. nat. Komitees f. d. internat. Bohrkongresse. Berlin 1929.
148. Hilgard, K.: Studienberichte über die Abdichtung von wasserdurchlässigem Fels und Mauerwerk in Eisenbahntunneln. Berlin 1928.
149. Kleinlogel, A.: Wasserdichter Mörtel. „Zement“. Jg. 15. 1926.
150. Indra: Über die Abdichtung einer wild ausgebrochenen Mineralquelle im Glaubergquellengebiet von Franzensbad. Internat. Mineralqu.-Ztg. 1930.
151. Zörkendörfer, K., u. A. Dietl: Veröff. d. Zentralst. f. Balneol. Bd. 2, H. 6.
152. Kampe, R.: Heilquellen und Bergbau. Balneologie u. Balneotherapie. Jena 1924.
153. Löcker, H.: Festschrift zum Allgemeinen Bergmannstag. Teplitz 1899.
154. Sueß, F.: Studien über unterirdische Wasserbewegung I. Jb. d. geolog. Reichsanstalt. Wien 1893.
155. Stur, D.: Der zweite Wassereinbruch in Teplitz-Osseg. Jb. d. geolog. Reichsanstalt. Wien 1888.

Ortsverzeichnis.

- Aachen 180, 262.
 Aachquelle 35, 70.
 Aare 11.
 Adelsberg 15.
 Ahusquy 11.
 Ain-Zeboudja 29.
 Albula 99.
 Alcara 48, 49.
 Altmühltal 52, 53.
 Altötting 91.
 Algier 29.
 Alpen 10.
 Altona 122.
 Anden 10.
 Andria 108.
 Antarktis 10.
 Apulien 94.
 Aragwa 74.
 Argostoli 64.
 Arlberg 99.
 Aterno 26.
 Aurisinaquelle 64, 71, 72.
 Aveyron 59.
 Avignon 69.

 Baden (Aargau) 226.
 Baden b. Wien 159.
 Baden-Baden 35, 97.
 Balatschauri 74.
 Bari 108.
 Bar le Duc 130.
 Barletta 108.
 Basel 3, 126.
 Belleveaux 69.
 Battaglia 160.
 Bellegarde 71.
 Berka 110.
 Bern 35, 45, 46, 123.
 Besançon 130.
 Bildfichtenbach 66.
 Biskra 125.
 Blautopfquelle 35, 126.
 Bober 11.
 Bodensee 129.
 Bougie 29.
 Boulet 58.
 Boundoulaou 59.
 Brahe 11.
 Boračova (Jugoslawien)
 173.
 Borsec (Rumänien) 246.
 Borshom (Kaukasus) 231.
 Bourboule (Frankreich)
 199.
 Brooklyn 115.

 Brunnengrabenquelle 54.
 Brückenaus 272.
 Brüssel 101.
 Buchbrunnen 126.
 Bura 111.
 Burainquelle 123.
 Burgdorf 43.
 Burtscheid 180.
 Caposelle 93, 94.
 Castelli 108.
 Chiesaccia 26.
 Chria Ayata 55.
 Col de Tende 99.
 Coquille 65.
 Courgenay 97.
 Crupet 62.
 Curé 64.

 Dettenberg 34.
 Diessenhofen 45, 137.
 Don 29.
 Donau 70.
 Donkaquellen 84, 103, 104.
 Dreznica 111.

 East Medon 115.
 Elbe 11.
 Emmenmatt 116.
 Emmental 43.
 Entfelden 45.

 Fichtelgebirge 118.
 Flächloch 116.
 Fläming 18.
 Font Filiole 11.
 Fonsanche 58.
 Fontana Jon 58.
 Franzensbad 257, 261.
 Frauenfeld 129.
 Freiburg 3.
 Friedenfels 138.
 Fuchsstadt 37.
 Fürth in Bayern 115.

 Gaming 107.
 Gasten, Bad 158, 245,
 265.
 Geisenheim 124.
 Genfer See 129.
 Genua 13.
 Gießhübl-Sauerbrunn 181.
 Glaneggquelle 137.
 Goldberg-Hößbach 138.
 Goßweil 138.
 Goetzenbachtal 112.
 Gothenburg 115.

 Gotzinger Quelle 35, 52,
 116.
 Gradicciole 3.
 Grösseltal 23, 24, 132.
 Grottaglie 108.
 Haarlem 115.
 Harz 36, 74.
 Havel 11.
 Heidelberg 35.
 Hermannstadt 30, 40, 107.
 Héviz 161.
 Himalaja 10.
 Höllentalquelle 135.
 Homburg 99.
 Houderville 126.
 Hydrussa 13.
 Impflingen 138.
 Immendingen 70.
 Ingolstadt 65.
 Innerberg 98.
 Inselwiese 78.
 Isergebirge 138.
 Jacobsbrunnen 39.
 Jena 126.
 Jeschkengebirge 16.
 Jesenica 111.
 Johannisque 58.
 Jura 18, 130.
 Kaiserbrunnen 35, 84, 92,
 116.
 Káraný 115.
 Karlsbad 30, 40, 145, 157,
 159, 160, 165, 171, 173,
 182, 228, 236, 249, 260,
 271, 275.
 Karst 58, 64, 111.
 Kaschmir 58.
 Katmai 169.
 Kaufbeuren 35, 138.
 Kaukasus 74.
 Kephalaria 64.
 Kiel 115.
 Kissingen 173, 262.
 Kläfferbrunnen 55, 56.
 Kopytnabach 40.
 Kranichfeld 110.
 Konstantinsbad (Böhmen)
 251.
 Kreuznach 173.
 Krondorfer Sauerbrunn
 181.
 Krynica 184.
 Kschihha 235.
 Kundolfingen 45, 68, 137.

- Lahr 35.
 Lamscheid 235.
 Leinleiterbach 116.
 Lesse 69.
 Levico 173.
 Lippe 11.
 Loing-Lunain 94.
 Longi 48, 49.
 Lorzequelle 123.
 Lugano 3.
 Lunz 107.
 Luzern 3.
 Luhatschowitz 184.
 Main 11.
 Mangfall 51, 52, 53, 112, 135.
 Mannheim 115.
 Marktheiderfeld 35.
 Marienbad 179, 183, 233, 263, 272.
 Meißner 53, 56.
 Memel 127.
 Merrick 115.
 Moldau 11.
 Mörseheim 138.
 Mosel 11.
 Mostar 111.
 Mühlthaler Quelle 35, 52, 112, 116.
 München 35, 52, 95, 135.
 Nagold 112.
 Namedy-Geiser bei Andernach 188.
 Nancy 84, 101.
 Nauheim 165, 168, 197, 230.
 Naunhof 115.
 Neisse 11.
 Nîmes 58.
 Noire aige 130.
 Nürnberg 18, 35, 84, 89.
 Oise 74.
 Pader 18, 50.
 Paderborn 3, 110, 115, 118, 130.
 Paderquellen 111, 117, 131, 132.
 Padirac 111.
 Paris 3, 35, 130.
 Pegnitz 18.
 Persien 66.
 Pfaffenborn 35.
 Pforzheim 23, 39, 131, 132.
 Pistyan, Schlamm 160.
 Pilatusquelle 126.
 Poik 15.
 Pont St. Maxence 73.
 Potsdam 122.
 Prag 122.
 Puis de Dôme 65.
 Puisgros 58.
 Pymont 173.
 Quimper 116.
 Radabolja 111.
 Ragas 129.
 Ramseique 35, 36, 45, 123.
 Ranna 35, 84, 89, 90, 116, 126.
 Raškagora 111.
 Reichenberg in Böhmen 17, 30, 40, 66, 78, 137.
 Reichstal 138.
 Reichenhall 183.
 Reisach 95.
 Reuß, Stille — 46.
 Reutbachtal 24.
 Riedenburg 53.
 Riemke 126.
 Rietheim 44, 45.
 Rhein 11, 44, 71.
 Rhône 71.
 Rhumequelle 36, 74.
 Rohr 45.
 Roncegno (Italien) 173.
 Ronneby (Schweden) 173.
 Rothoborn 118.
 Rüdeseheim 99.
 Rzekabach 40.
 Saale 11.
 Sächsisch-Regen 84, 103, 104.
 Sahara 55.
 Saint Thomas 94, 95.
 Salso-Maggiore 177.
 Salzbrunn 184.
 Salzburg 108, 137.
 Salzkotten 187.
 Salzuflen 244.
 Santa Barbara 101.
 Senatello 54.
 Send-Brary 58.
 Sihlquelle 123.
 Sizilien 49.
 Soest 110, 126.
 Sohl sprung 116.
 Sieben 272.
 Sommershausen 35, 37.
 Sorgue 69.
 Spree 11.
 Spül pader 50.
 Suhr 45, 46.
 Schaffhausen 123, 126.
 Scheibenkuppe 74.
 Schneeberg, Hoher 12.
 Schwarzwasser 130.
 Schweiz, Böhm. 12, 49.
 Schweiz, Sächs. 49, 74.
 St. Gotthard 99.
 St. Nicolas de Campagne 58.
 St. Sulpice 116.
 Staßfurt 127.
 Stedt bach 35.
 Stixensteinquelle 84.
 Straßburg 115.
 Tamaro 3.
 Tartarat 65.
 Tarasp (Schweiz) 189.
 Taunus 99.
 Teplitz-Schönau 231, 275.
 Teschen 30, 40.
 Thur 68.
 Tiber 26, 54.
 Tiberquelle 53.
 Tibet 10.
 Timo 13.
 Toudja 29.
 Tournai 126.
 Trani 108.
 Trentschin-Teplitz (Slovakien) 254.
 Transkaukasien 66.
 Trauchgau 87.
 Triest 64, 71.
 Trippstadt 90.
 Tuppa 108.
 Turchino 99.
 Val d'Asta 58, 59.
 Vallée des Ponts 130.
 Val Sinestra (Schweiz) 227.
 Vannequelle 35.
 Vauchusequelle 29, 71, 72, 116, 118.
 Vedeggio 3.
 Ventoux 11.
 Vichy (Frankreich) 173.
 Vilstal 48.
 Vrdnik (Jugoslawien) 173.
 Waldflössel 65, 66.
 Waldrennach 132.
 Warthe 11.
 Weberschlucht 49.
 Weichsel 11.
 Weimar 110, 130.
 Weyarn 35.
 Wien 35, 54, 56, 84, 92, 105, 106, 107, 110, 119, 121, 126, 135.
 Wiesbaden 3, 16, 35, 100, 167, 184, 236.
 Winkel mattquelle 46.
 Winterberg, Großer 11.
 Würzburg 37.
 Wynetal 45.
 Zechenwasser 40.
 Zeller Quellen 37.

Sachverzeichnis.

- Abfluß (kleinster) je km² 40, 41.
Abfluß und Gesteinsart 40.
Abholzung 41.
Ableitung mit natürl. Gefälle 104—106.
Absteigende Quellen 56.
Absterben von Bakterien 129.
Absterben von Quellen 41.
Anstrich (Schutz-) 82.
Akratothermen 148.
Alkalische Quellen 148.
Analyse, chemische, des Mineralwassers 142.
Anthropogeogr. Bedeutung der Quellen 4.
Anzeichen von Quellen 19.
Äquivalentgewichte 144.
Arsenquellen 149.
Artesische Quellen 64, 65.
Aufspeicherungsanlagen 99—101.
Aufspeicherungsvermögen 14, 36.
Aufsteigende Quellen 56.
Aufsuchung von Quellen (geohydrolog. Gesichtspunkte) 19.
Aufsuchung von Quellen (nach Parallele) 20.
Ausscheidungen 112.
- Bakterien im Quellwasser 121.**
Barrierequellen 49.
Baukosten einer Fassung 138.
Baustoffe 80, 82, 83.
Bau von Quellfassungen 75—84.
Beharrungszustand, Wichtigkeit des — bei Quellenmessungen 212.
—, Störung des — bei aufsteigenden Quellen 212.
—, Störung des — bei absteigenden Quellen 215.
Beiwerke 101.
Beobachtung von Mineralquellen 201.
Beobachtungsergebnisse, Aufarbeitung derselben 225.
Bergquellen 41.
Bergsturz 67.
Bildung von Quellen 17.
Bitterquellen 148.
Bodenreinigung, natürliche 8.
Bodenwasserstand, Einfluß des — auf die Ergiebigkeit von Mineralquellen 226.
Böhmische Thermalspalte 181.
Bohren, Fassung durch — 98, 243.
- Bohrquellen 195.
Born 1.
Brackwasserquellen 64.
Bruchfugen 17.
Brunnenfassung 250.
- Chlorverfahren 132.
Curie 152.
- Danaiden 102, 207.
Dichtungsmittel für Mineralquellfassungen 253.
Dissoziation des Wassers bei hoher Temperatur 163.
Drosselschieber für gashaltiges Mineralwasser 264.
Druckmessungen 221.
Druckschreiber 222.
Duanescher Korrekturfaktor 153.
Dücker 15.
Durchlässigkeit 8, 33, 36.
— als Maß der Hohlräume 13.
Durchlässigkeitsbeiwert 13.
- Einzugsgebiet 24, 135.
—, Zerstörung des — 41.
Eisenquellen 149.
Eman 152.
Emanation, Radio-, Thorium- 150.
Entleerung von Fassungen 82.
Entleerungsgesetz 38.
Entnahme aus Fassungen 81.
Entsäuerungsanlage 102, 103.
Epidemien 1, 129.
Erbstein, Karlsbader 157.
Erdbeben, Einfluß des — auf die Ergiebigkeit von Mineralquellen 230.
Ergiebigkeit als Funktion der Spannungshöhe 185.
— und Gesteinsart 40.
Ergiebigkeitsänderungen, Ursachen derselben 226.
Ergiebigkeitsgesetz 31.
Ergiebigkeitsmessung von Mineralquellen 203.
Erwerb der Quellen 76.
— des Schutzgebietes 135.
- Fassung von Mineralquellen, Allgemeines 236.
— absteigender Mineralquellen 237.

- Fassung aufsteigender Mineralquellen 238.
 — von Quellen 75.
 Fassungen (Beispiele) 84.
 —, einfache nicht begehbare 84—92.
 —, große, zum Teil begehbare 92—95.
 — Stollen- 95—98.
 — durch Tunnel und Stollenbauten 99.
 — (Überdeckung von —) 82.
 Filtration 2.
 Filtrationsgesetz 13.
 Filtrationswirkung 8, 114.
 Flußkimmen 70.
 Flußquellen 11.
 Flußschwinden 70.
 Fontoskop 152.
 —, Normalverlust des — 154.
 Frühlingsbrunnen 58.
 Fugen 17.
 Füllkurven 33.

 Galerie 67.
 Gasführende Quellen 189.
 Gasmesser, trockene und nasse 219.
 Gedrosselte Quellen, Messung derselben 215.
 Geeichte Gefäße 30.
 Gefällsbruch 44.
 Gefällsvernichtung 109.
 Gefrierpunktserniedrigung 144.
 Geiser, Mechanismus der — 188.
 Geo- und Hydrologe (Zusammenarbeit) 24.
 Geothermische Tiefenstufe 167.
 Geschwindigkeit im Untergrunde 115.
 Gleichgewicht, radioaktives 150.
 Glockenfassungen 249.
 Grabtiefe 77.
 Grundwasseraufstoß 17, 42, 44.
 Grundwasserersatz für Quellen 3.
 Grundwassersumpf 42.
 Grundwasser und Quellen 115.
 — und unterird. Wasserläufe (Grenze zwischen) 9.
 — und unterird. Wasserläufe (Unterschied) 2, 6, 7.

 Heberwirkung 33, 60.
 Heterotherme Quellen 148.
 Hochmoore 65.
 Hochquelleitung 3.
 Höhennebel 11.
 Hohlräume des Untergrundes 13.
 Holz als Baustoff 83.
 Hungerquellen 51, 58.
 Hydro- und Geologe (Zusammenarbeit) 24.
 Hygiene des Quellwassers 113.
 Hypertonische Mineralwässer 148.
 Hypotonische Mineralwässer 148.

 Infektionsgefahr 4.
 Ionen 143.
 Isotonische Mineralwässer 148.

 Jodquellen 149.
 Joostensches Verfahren 254.
 Juvenile Quellen 163.
 Juveniles Wasser 5.

 Kalktuff 20, 112, 113.
 Käris 67.
 Karstquellen 69.
 Katalytische Wirkung der Mineralwässer 145.
 Kimmen 70.
 Kipp-(Schütt-)Apparat 210.
 Klarheit 109.
 Klüfte (tektonische) 14.
 — (Verwitterungs-) 14.
 Klüftigkeit 33, 36.
 — als Maß der Hohlräume 14.
 — (Formel für —) 16.
 Kluffnetz 14.
 Kluffquellen 41.
 Kluffscharen 14.
 Kochsalzquellen 148.
 Kontrollanalysen 224.
 Korngröße 13.
 Körner (Gestalt) 13.
 — (Mischungsverhältnis) 13.
 Kosten einer Quelle 137.
 — einer Fassung 138.
 Künstliche Quellen 66.

 Lagerungsverhältnisse der Körner 13.
 Landregen 25.
 Landschaften, quellenlose 75.
 Lebewesen (große) im Quellwasser 119.
 — (kleine) im Quellwasser 121.
 Leerlauf 81.
 Leitfähigkeit, elektrische, des Mineralwassers 144.
 Leitungsgefälle (Ausnutzung von —) 107, 108.
 Lochsteinfassungen 249.
 Lösung, chemische 14.
 Luftdruck, Einfluß d. — auf die Er giebigkeit von Mineralquellen 229.
 —, Einfluß des — auf die chem. Zusammensetzung der Mineralquellen 235.

 Macheeinheit 152.
 Maibrunnen 51, 58.
 Mammutpumpe 189.
 Material für Mineralquellfassungen 250.
 Maximumthermometer 224.
 Meerschwinden 64.
 Mengenkurven 33.
 Mengenschwankungen 7.

- Meßflansch 208.
 Meßvorrichtung 82, 102.
 Messung der Quellgase 217.
 — der Radioaktivität 151.
 Mineralgehalt der Quellen 171.
 Mineralquelle, Definition des Begriffs
 — 140.
 Mineralquellensysteme 179.
 Mineralwässer, hypertonische 148.
 —, hypotonische 148.
 —, isotonische 148.
 Momentergiebigkeit, Messung derselben
 206.
 Momentgasmesser 220.
 Moor 20, 40.
 Moorquellen 65.
 Muriatische Quellen 148.
- Nachttau 11.
 Nachweis der Wassermenge durch Mes-
 sung 30.
 — der Quellwassermenge (im allgem.)
 22.
 — der Wassermenge nach Sbroshok
 und Maillet 27.
 — der Wassermenge durch Rechnung
 aus Niederschlag und Abfluß 25.
 — der Wassermenge (Unbrauchbarkeit
 des —) 27.
 Naßgallen 17.
 Neue Quellen 67.
 Niederschläge, Einfluß der — auf die Er-
 giebigkeit von Mineralquellen 226.
 Normblende 208.
- O**cker, Quell- 156.
 Osmotische Konzentration 144.
 Optimum des Querschnittes bei gas-
 führenden Quellen, Gesetz vom 195.
 Ozonanlage 132.
- P**ackung der Fassung 78.
 Paderquellen 50.
 Pflanzen, die Quellen anzeigen 19.
 Piezometrisches Niveau 185.
 Pitot'sche Röhre 209.
 Poiseuille-Darcy-DuPuitsches Gesetz
 13.
 Polderland 42.
 Portale 80.
- Q**ualmwasser 42.
 Quellaufsuchung nach Paramelle 20.
 Quellauslaufbrunnen bei Mineralquellen
 259.
 Quellen, absteigende 56.
 —, artesische 58, 64, 65.
 —, aufsteigende 11, 56.
 — Barriere- 49.
 — Berg- 41.
- Quellen, besondere 58.
 — Brackwasser- 64.
 —, gasführende 189.
 —, gedrosselte, Messung derselben 215.
 —, heterotherme 148.
 —, homotherme 148.
 —, intermittierende 51.
 —, juvenile 163.
 — Hunger- 51.
 — Karst- 69.
 — Kluft- 41.
 —, künstliche 58.
 —, Mineralgehalt 171.
 — Moor- 65.
 —, Neue 58, 67.
 — Riesen- 69.
 —, scheinbare 68.
 — Schicht- 42, 48, 52.
 — Schutt- 46.
 — Sommer- 58.
 — Spalt- 42, 54.
 — Sprudel- 65.
 — Stau- 49.
 —, submarine 58, 64.
 — Überfall- 42, 50, 52.
 — Überlauf- 42, 50, 51, 52.
 — Vaocluse- 69.
 — Verwerfungs- 55.
 —, zeitweilige 51, 58.
 —, Absterben der — 41.
 —, Anzeichen 19.
 — auf Bergkuppen 11.
 — auf Inseln 13.
 —, Aufsuchung von — 19.
 —, die durch Grundwasser gespeist wer-
 den 42.
 —, höchst liegende 10.
 —, radioaktive 149.
 —, Schwächung der — 41.
 —, Verbreitung 10.
 —, von unterirdischen Wasserläufen ge-
 speist 48.
 — von Flüssen (Höhenlage) 11.
 — und Grundwasser 115.
 — und unterirdische Wasserläufe 115.
 —, Was sind — 4.
 —, Zusammenleiten von — 103.
- Quellbecken 44.
 Quellbildung 17.
 Quelleinteilung 41.
 Quellfassung 75.
 Quellfassungsbauwerke 101.
 Quellfassungsschutz 133.
 Quellfassungstechnik 5.
 Quellgase, Messung der 217.
 Quellgebiete 18.
 —, zusammenhängende 40.
 Quellgruppen 10, 18, 72.
 Quellhorizonte 10, 42, 74.
 Quellkanal 18.

- Quellskosten (Bau-) 138.
 — (Erwerb) 137.
 Quellschüttung (kleinste) 37.
 Quellschutz, rechtliche Grundlagen 266.
 Quellseen 44.
 Quellschlucht 18.
 Quellschüttung 20.
 — (Überspannen der —) 77.
 —, Verschiedenheit der — 116.
 — (Erhöhung durch Spiegelsenkung) 31.
 — (Erhöhung durch zweckmäßige Fassung) 84.
 Quellspannung, Ermittlung der endgültigen 257.
 Quellspiegel (Hebung und Senkung) 32.
 Quellwassermenge (Nachweis im allgemeinen) 22.
 — (Schwankungen) 34.
 Quellwasserherkunft 5.
 Quellwasserwege 6, 114.
 Querriegel 77.

Radioaktive Quellen 149.
 Radizieren der Angaben von Momentmeßapparaten 208.
 Reduktion von Gasvolumina auf Normaldruck und Nulltemperatur 221.
 Regenwurmrohren 124.
 Reinigende Wirkung des Bodens 8, 113.
 — von Stauwerken 122, 123.
 Reinigung (bedingte) in klüftigem Gebirge 126.
 — (unvollkommene) in klüftigem Gebirge 124.
 Riesenquellen 69.
 Reissacherit 158.
 Reparativer Quellschutz 274.
 Restaktivität 151.
 Ringwaage für Druckmessungen 223.
 Rohrfassungen 249.
 Rohrleitungen für Mineralwasser 262.
 Rotamesser 220.
 Rotary, Flügelradmesser 219.
 Rückhaltungsvermögen 36.
 Rummel 18.

Salzsole 24.
 Salzversuch 132.
 Sammeltopf 103.
 Säuerlinge 148.
 Sickerschlitz 77.
 Schachtteufen, Fassung durch — 243.
 Schadenersatz für Wasserentzug 138.
 Schädigungen von Mineralquellen, Beispiele 275.
 Schaulinien der Veränderlichkeit 225.
 Scheinbare Quellen 68.
 Schichtfugen 17.
 Schichtgrenzflächen 24.

 Schichten, undurchlässige 17.
 Schichtquellen 48, 52.
 Schichtwechsel 17.
 Schlitzfassung 78.
 Schlamm, Quell- 160.
 Schneegrenze 10.
 Schuttquellen 20, 46.
 Schüttungskurven 38.
 Schutz der Quellsfassungen 139.
 Schutzanstrich 82.
 Schutzbezirk 3, 133.
 Schutzgebiet (Erwerb des —) 135.
 Schwinden 70.
 Schwinde (Verbauung einer —) 136.
 Schürfen, Fassung durch — 245.
 Schüttelrohr zur Kohlensäurebestimmung 225.
 Schutzgebiete, Beispiele 133, 134, 271.
 Schutzrayon 267.
 Schwefelquellen 149.
 Schwermetalle in Quellen 173.
 Sinter, Quell- 156.
 Sinterausscheidung 15.
 Sintern der Quellen, Einfluß auf die Ergiebigkeit 228.
 Sommerbrunnen 58.
 Sommerdürre 30, 37, 39.
 Sommerquellen 58.
 Spaltenweite 16.
 Spaltquellen 54.
 Spannungshöhe einer aufsteigenden Quelle 185.
 Spitzenbedarf 3.
 Spring 1.
 Sprudelausbrüche in Karlsbad 228.
 Sprudelquellen 65.
 Sprudelschale, Karlsbader 159.
 Sprudelstein, Karlsbader 157.
 Staffelung (Abstufung) der Quellschutz-Maßnahmen 271, 273.
 Stagnieren einer aufsteigenden Quelle 185.
 Stalagmite 113.
 Stalaktite 113.
 Stauquellen 49.
 Staurost 208.
 Stockwerke 24.
 Stollenbauten 66, 99.
 Stoßkästen 260.
 Strandverschiebung 64.
 Streichlinien 24.
 Stufenschächte 264.
 Submarine Quellen 64.
 Sumpfflächen 42.

Temperatur der Quellen 117.
 Temperaturschwankungen 7, 132.
 Temperaturumkehr 117.
 Temperaturmessung 223.
 Thermalschale in Baden b. Wien 159.

- Thermen 147, 166.
 Trichterfassungen 249.
 Trommelzähler 204.
 Trübung 44, 109, 114.
 Trübungsmesser 111.
 Tunnelbauten 99.
 Türschlösser 80.
- Überanstrengung von Mineralquellen,**
 Einfluß der — auf die chem. Zusammen-
 setzung 233.
 Überdeckung der Fassung 83.
 Überfälle 30.
 Überfallquellen 42, 50, 52.
 Überlauf in Fassungen 81.
 Überlaufquellen 42, 50, 51, 52.
 Undurchlässige Schichten 17.
- Vadose Quellen 162.**
 Vadoses Wasser 5.
 Vaclusequellen 69.
 Venturi-Kanalmesser 209.
 Venturimesser 208.
 Veränderlichkeit der chemischen Zu-
 sammensetzung von Mineralquellen
 233.
 — der Temperatur 232.
 Verdämmung der Fassung 83.
 Verdichtungstheorie 5.
 Versickerungstheorie 5.
 Versuchsgraben 32.
 Versuchsschacht 32.
 Versuchsschlitz 32.
 Verwerfungsquellen 55.
- Vorarbeiten 75.
 Vikariieren von Quellen 179.
 Volumetrische Messung 203.
 Voreilen des Gases in gasführenden
 Quellen 193.
- Wasser, juveniles 5.**
 —, vadoses 5.
 Wasserabscheider in Quellgas-Leitungen
 218.
 Wasserarten 6, 41.
 Wasserarmut 10.
 Wasserentzug 138.
 Wasserepidemie 1, 129.
 Wassergebinne 6.
 Wasserkraftgewinnung 107.
 Wasserläufe, unterird. und Quellen 115.
 Wasserscheide 26, 52.
 Wasserschwall 159.
 Wasserstauer 6, 17.
 Wasserstoffionenkonzentration 145.
 Wassertragende Sohle 6.
 Wege des Quellwassers 6, 114.
 Wildbäder 148.
 Wilde Austritte 227.
 — —, Einfluß solcher auf die Ergiebig-
 keitskurve 168.
 Wolkenbruch 25.
 Woltmannflügel 30.
- Zudecken von gasführenden Quellen**
 195.
 Zugang, hyg. einwandfreier 136.
 Zusammenleiten von Quellen 103.

Handbuch der Hydrologie. Erster Band. Wesen, Nachweis, Untersuchung und Gewinnung unterirdischer Wasser: Quellen, Grundwasser, unterirdische Wasserläufe, Grundwasserfassungen. Von Zivilingenieur **E. Prinz**. Zweite, ergänzte Auflage. Mit 334 Textabbildungen. XIII, 422 Seiten. 1923. Gebunden RM 18.— (abzügl. 10% Notnachlaß)

Das unterirdische Wasser: Unterscheidung des unterirdischen Wassers in Grundwasser und unterirdische Wasserläufe. Begriffsbestimmung von Grundwasser und unterirdischen Wasserläufen. Die Entstehung des unterirdischen Wassers. Unterirdisches Wasser und Flußdichte. Der Einfluß des Waldes auf die Entstehung des unterirdischen Wassers. Bedeutung der Entstehungstheorie für die Praxis. Mutmaßliche Menge und Beständigkeit des unterirdischen Wassers. Die unterirdische Wassermenge und der Kreislauf des Wassers. — **Quellen im allgemeinen.** — **Grundwasser:** Der geohydrologische Aufbau des grundwasserführenden Untergrundes. Aufsuchung von Grundwasser. Nachweis von Grundwasser durch Messung natürlicher Grundwasser- austritte. Vorrichtungen zur Messung von Wassermengen. Feststellung von fließendem und ruhendem Grundwasser. Bestimmung der Grundwassermenge. Mittelbare Bestimmung der Grundwassermenge. Unmittelbare Bestimmung der Grundwassermenge. Mer ungefaßte, abziehende Grundwasserstrom. Theorie der Grundwasserbewegung. Rechnerische Behandlung der Brunnenwirkung. Das Thiemsche „e“-Verfahren. Das Lummertsche Verfahren. Andere Brunnentheorien, unabhängig von Darcy. — **Unterirdische Wasserläufe:** Der geohydrologische Aufbau des von unterirdischen Wasserläufen durchzogenen Untergrundes. Aufsuchung unterirdischer Wasserläufe. Nachweis unterirdischer Wasserläufe durch Messung sichtbarer Quellaustritte. Bestimmung der Wassermenge unterirdischer Wasserläufe. Rückschlüsse aus der Ergiebigkeit auf die Klüftigkeit des Gebirges. Die Ergiebigkeitsgesetze unterirdischer Wasserläufe. Das Löwy-Leimbachsche Verfahren zur Auffindung von unterirdischem Wasser. — **Physikalische, chemische, bakteriologische und biologisch-mikroskopische Untersuchung des Wassers:** Allgemeines. Entnahme von Wasserproben. Desinfektion von Fassungsanlagen vor der Entnahme der Wasserproben. Anweisung zur Entnahme von Wasserproben. Untersuchung der physikalischen Eigenschaften des Wassers. Untersuchung der chemischen Eigenschaften des Wassers. Metalle und Mörtel angreifende Wässer. Untersuchung des Wassers für gewerbliche Zwecke. Veränderlichkeit der Wasserbeschaffenheit. Bedeutung der physikalisch-chemischen Untersuchung des Wassers für die hygienische Beurteilung. Bakteriologische Untersuchung des Wassers. Mikroskopisch-biologische Untersuchung des Wassers. Reinigende Wirkung des natürlich gewachsenen Bodens. — **Fassung von Grundwasser:** Technische Vorarbeiten. Der Versuchsbrunnen. Allgemeine Gesichtspunkte bei Anlage von Grundwasserfassungsanlagen. Allgemeines über Fassungskörper. Rohrbrunnen. Schachtbrunnen. Gekuppelte Schacht- und Rohrbrunnen. Artesische Brunnen. Verwilderte artesische Brunnen. Wagerichte Fassungskörper. Fassung in feinen Sanden. Gegenseitige Entfernung und Tiefe von Fassungsbrunnen. Fassungswiderstände. Zusammenleitung des gefaßten Wassers. Fassung in Nachbarschaft von Oberflächenwasser. Die Absenkung des Grundwasserspiegels und ihre Wirkungen. Lebensdauer von Fassungsanlagen. Hydrologische Untersuchung unergiebig gewordener Fassungsanlagen. Mittel zur Verlängerung der Lebensdauer von Fassungsanlagen. Künstliche Erzeugung von Grundwasser. Schutz der Fassungsanlagen. Überwachung von Fassungsanlagen. — **Wasserwirtschaft.** — **Umrechnungstafel.** — **Zahlentafeln.**

Die Quellen. Die geologischen Grundlagen der Quellenkunde für Ingenieure aller Fachrichtungen sowie für Studierende der Naturwissenschaften. Von Professor Ing. Dr. phil. **Josef Stiny**, Wien. Mit 154 Abbildungen im Text. VIII, 255 Seiten. 1933. RM 16.—; gebunden RM 17.50

Grundriß der Wildbachverbauung. Von Hofrat Ingenieur **Georg Strele**. Mit 150 Textabbildungen. XI, 279 Seiten. 1934. RM 24.50; gebunden RM 26.—

Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle. Von Professor Dr. **Hartwig Klut**, Abteilungsleiter an der Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem. Sechste Auflage. Mit 40 Abbildungen. IV, 180 Seiten. 1931. RM 7.80 (abzügl. 10% Notnachlaß)

Ohlmüller-Spitta, Untersuchung und Beurteilung des Wassers und des Abwassers. Ein Handbuch für die Praxis und zum Gebrauch im Laboratorium. Fünfte Auflage. Neu bearbeitet von Stadtmratsrat **Wo. Olszewski**, Dresden, und Geh. Regierungsrat Professor Dr. med. **O. Spitta**, Berlin. Mit 201 Textabbildungen und 7 zum Teil farbigen Tafeln. XI, 566 Seiten. 1931. RM 48.—; gebunden RM 49.60 (abzügl. 10% Notnachlaß)

Verlag von Julius Springer in Berlin und Wien

Kulturtechnischer Wasserbau. Von Geh. Reg.-Rat Prof. E. Krüger, Berlin. (Handbibliothek für Bauingenieure, III. Teil, Bd. 7.) Mit 197 Textabbildungen. X, 290 Seiten. 1921.

Gebunden RM 9.50 (abzügl. 10% Notnachlaß)

Der Wasserbau. Ein Handbuch für Studium und Praxis. Von Prof. Ing. Dr. techn. Armin Schoklitsch, Brünn.

Erster Band: Mit 708 Abbildungen und 74 Tabellen. XI, 484 Seiten. 1930. Gebunden RM 52.—

Zweiter Band: Mit 1349 Abbildungen und 45 Tabellen. VI, 715 Seiten. 1930. Gebunden RM 78.—

Geschiebebewegung in Flüssen und an Stauwerken.

Von Prof. Ing. Dr. techn. Armin Schoklitsch, Brünn. Mit 124 Abbildungen im Text. IV, 108 Seiten. 1926. RM 8.70

Die Wasserkraftnutzung in Österreich und deren geographische Grundlagen. Von Bartel Granigg, Leoben. Mit 17 Abbildungen im Text, vier zum Teil farbigen Tafeln und einer geographischen Übersichtskarte. IV, 123 Seiten. 1925. RM 13.30; gebunden RM 15.—

Geologische Voraussetzungen für Wasserkraftanlagen. Von Prof. Dr. J. L. Wilser, Freiburg i. Br. 58 Seiten. 1925.

RM 3.60 (abzügl. 10% Notnachlaß)

Ingenieurgeologie. Herausgegeben von Professor Dr. K. A. Redlich, Prag, Professor Dr. K. v. Terzaghi, Cambridge, Mass., U.S.A., und Privatdozent Dr. R. Kampe, Prag/Karlsbad. Mit 417 Abbildungen im Text. X, 708 Seiten. 1929. Gebunden RM 57.—

Technische Gesteinkunde für Bauingenieure, Kulturtechniker, Land- und Forstwirte, sowie für Steinbruchbesitzer und Steinbruchtechniker. Von Ing. Prof. Dr. phil. Josef Stiny, Wien. Zweite, vermehrte und vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 422 Abbildungen im Text und einer mehrfarbigen Tafel, sowie einem Beiheft: „Kurze Anleitung zum Bestimmen der technisch wichtigsten Mineralien und Felsarten“ (mit 11 Abbildungen im Text, 23 Seiten). VII, 550 Seiten. 1929.

Gebunden RM 45.—

Geologie und Bauwesen. Zeitschrift für die Pflege der Wechselbeziehungen zwischen Geologie, Gesteinkunde, Bodenkunde usw. und sämtlichen Zweigen des Bauwesens. Herausgegeben von J. Stiny, o. ö. Professor an der Technischen Hochschule in Wien. Erscheint vierteljährlich.

Jährlich RM 16.—; Einzelheft RM 4.80