

Über einige im Kriege wichtige Wasserverhältnisse des Bodens und der Gesteine

(Für Geologen, Pioniere, Truppenoffiziere
und Truppenärzte)

Von

Professor Dr. **WILHELM SALOMON**,
dem Vorstande des Geologischen Institutes der Universität Heidelberg

Mit 3 Abbildungen



München und Berlin 1916
Druck und Verlag von R. Oldenbourg

Vorwort.

Die vorliegende Schrift verdankt ihre Entstehung einem Vortrage, den ich vor den Kriegsgeologen der Armee-Abteilung von Strantz gehalten habe. Es gibt nämlich eine Anzahl von Tatsachen aus dem Gebiete der Geologie und der Hygiene des Wassers, die für die kämpfenden Heere von großer praktischer Bedeutung sind. Von diesen Tatsachen ist ein Teil den Hygienikern, ein anderer den Geologen, ein dritter den Wassertechnikern gut bekannt, und dementsprechend in den drei verschiedenen Literaturen eingehend behandelt. Ich glaube aber nicht, daß es schon eine Schrift gibt, die diese verschiedenartigen Erfahrungen in gedrängter übersichtlicher Form gemeinsam darstellt. Ich habe mich daher entschlossen, den Inhalt meines Vortrages schriftlich niederzulegen. Es war notwendig auch solche Verhältnisse zu besprechen, die einem Teil der von mir erwarteten Leser gut bekannt sind, weil sie einem anderen Teile vermutlich fremd sein werden. Vorausgesetzt sind einfache, allgemein naturwissenschaftliche Kenntnisse, wie sie in Deutschland bei den Abiturienten der Mittelschulen, Kadettenanstalten und Lehrerseminare erwartet werden können. Sollte trotzdem einer der Leser die Behandlung des Gegenstandes zu schwierig finden, so rate ich ihm, als Einführung meinen auf naturwissenschaftliche Laien berechneten vorjährigen Aufsatz über »Kriegsgeologie« zu benutzen¹).

¹) 16 Seiten. 1915 bei C. Winter in Heidelberg. 80 S. (Der Reinertrag wird zugunsten der Hinterbliebenen im Kriege gefallener Geologen dem Oberrheinischen Geologischen Verein überwiesen.)

Besonders dankbar wäre ich im Hinblick auf eine etwa notwendige Neuauflage für Ratschläge, Verbesserungen, Berichtigungen und Mitteilung von eigenen in Betracht kommenden Erfahrungen.

Für einige Literaturhinweise bin ich den Herren Professor Dr. H. Kossel und Dipl.-Ing. W. Schwaab in Heidelberg, für Durchsicht von Teilen der Urschrift Herrn Wasserwerksdirektor Kuckuck in Heidelberg und ebenfalls Herrn Prof. Dr. H. Kossel zu besonderem Danke verpflichtet.

Heidelberg, Geologisches Institut der Universität,
den 30. März 1916.

Wilhelm Salomon.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Poren, Spalten, Porenvolumen, Gesamthohlraum und Wasserkapazität	5
II. Durchlässigkeit und Undurchlässigkeit	8
III. Die Geschwindigkeit der Wasserbewegung im Boden und in den Gesteinen	13
IV. Hygienische Folgerungen	14
a) Friedhofsanlagen. Bestattungen im Felde. Abdeckereien	14
b) Abortanlagen, Versickerungsstellen von Fäkalien. Düngung mit festem Mist, Jauche, Pfluß, Schmutzwasser usw.	16
c) Abstände der Quellen und Brunnen von Verunreinigungspunkten, Schutzzonen	24
d) Quelltöpfe, Wasserlöcher und andere offene Ansammlungen von Wasser	26
V. Das Aufsuchen von Grund- und Quellwasser	27
1. Grundwasser in Aufschüttungsebenen	29
2. Schichtquellen bei flacher Lagerung der Schichten	31
3. Schichtquellen bei steiler Lagerung der Schichten und Spaltenquellen (Verwerfungs- und Klufftquellen)	35
VI. Entwässerung	39
VII. Quellfassungen und Brunnenarten	42



I. Poren, Spalten, Porenvolumen, Gesamthohlraum und Wasserkapazität.

Freies Wasser in praktisch zu berücksichtigenden Mengen kann im Boden und in den Gesteinen naturgemäß nur vorhanden sein, wenn diese eine größere Anzahl von Hohlräumen, und zwar Poren oder Spalten enthalten. Man pflegt in den üblichen Darstellungen nur die ersteren zu berücksichtigen und spricht dann vom Porenvolumen der Gesteine. Richtiger würde dafür der allgemeine Ausdruck »Gesamthohlraum« zu treten haben, während man von Porenvolumen nur bei nicht der Zerspaltung fähigen lockeren Sand- und Kiesmassen sprechen sollte. Ein trockenes Gestein kann ein so großes Volumen Wasser aufnehmen, wie der Größe seines Gesamthohlraumes entspricht. Es gibt aber nicht dieselbe Wassermenge wieder her, weil der Gesamthohlraum sich aus kapillaren und überkapillaren Hohlräumen zusammensetzt. Das in den Kapillarräumen enthaltene Wasser behält der Boden im allgemeinen wenigstens zurück. Man nennt diese im Boden dauernd verbleibende Wassermenge seine »Wasserkapazität«¹⁾. Diese ist also nicht identisch mit dem Gesamthohlraum bzw. dem Porenvolumen, sondern bei allen Gesteinen mit kapillaren und überkapillaren Hohlräumen nur gleich der Summe der Volumina der Kapillarhohlräume. Ebenso wenig besteht eine direkte Beziehung zwischen der

¹⁾ Ich folge hier der Lueger-Weyrauchschen Definition. Selbstverständlich kann die »dauernde« Wassermenge des Bodens diesem durch die Pflanzen entzogen werden. Sie fließt nur nicht von selbst wieder ab.

Größe der einzelnen Hohlräume und der Größe des Gesamthohlraumes bzw. des Porenvolumens. So hat man bei zahlreichen Bestimmungen gefunden, daß im allgemeinen der Gesamthohlraum der doch sehr feinporigen Tone und Lehme größer ist als der der Sande, und dieser wieder größer als der der Kiese. Es wäre indessen verfehlt, diese Regel ohne weiteres auf jeden Fall anwenden zu wollen, weil sich Kiesablagerungen und Sande auch bei gleicher Korngröße verschieden verhalten können. Sehr stark überlagerte und daher zusammengepreßte Schichten haben, wie leicht verständlich, kleinere Gesamthohlräume. Dennoch gelingt wohl fast stets ein Vorlesungsversuch, den ich zum Zwecke der Demonstration dieser Verhältnisse neuerdings ausführe. Ich fülle in zwei gleichgroße Glaszylinder leicht verdünnte, schwarze Tinte bis zu gleicher Höhe ein, schüttele dann behutsam in das eine Glas mittelkörnigen bis feinen Sand, in das andere feinen Kies. Die Tinte steigt dann in dem Kiesglas wesentlich höher empor als im Sandglas und zeigt durch ihre Farbe auch aus der Ferne an, daß das Porenvolumen des Kieses kleiner ist als das des Sandes. Umgekehrt pflegt die Tinte in dem Sandglas an einigen Stellen durch Kapillarwirkung in unregelmäßigen Bahnen etwas über ihr allgemeines Niveau emporzusteigen. Die Hygieniker führen das kapillare Festhalten des Wassers im feinen Sand durch einen anderen Versuch vor, dessen Kenntnis ich meinem verehrten Kollegen Prof. H. Kossel in Heidelberg verdanke. Sie nehmen zwei gleichgroße, unten durch ein feines Sieb verschlossene Blechzylinder, füllen den einen mit feinem Sand, den anderen mit Kies und tauchen sie beide so lange in Wasser ein, bis sie davon durchtränkt sind. Zieht man jetzt die Blechzylinder schnell aus dem Wasser empor, so stürzt das von dem Kies aufgenommene Wasser sehr rasch durch das Sieb heraus, während der Sand das einmal aufgenommene Wasser je nach seiner Korngröße mehr oder minder lange festzuhalten vermag. Daraus ergibt sich die ja auch ohne weiteres verständliche Schlußfolgerung, daß die Geschwindigkeit der Wasserbewegung im Boden nicht abhängig ist von der Größe des Gesamthohlraumes bzw. Porenvolumens, sondern von der Größe der Poren, und es

ergibt sich ferner die ebenfalls längst bekannte Tatsache, daß ein feinporiger Boden trotz großen Porenvolumens das Wasser viel besser filtriert als grobkörniger Boden. Die hygienisch ungünstigen Wasserverhältnisse des Rigi erklären sich einmal aus der Grobporigkeit des Nagelfluhkonglomerates, welches den größten Teil des Berges zusammensetzt, dann aber auch noch durch die weitgehende Zerspaltung des dort zu einem festen Konglomerat erhärteten alten Schotters. Die Zerspaltung erhöht natürlich die Geschwindigkeit der Wasserzirkulation in dem Gestein noch sehr stark und setzt dadurch die Filtration des im Boden versickernden Wassers auf ein Minimum herab. In der Praxis muß man sich vor dem Fehler hüten, die Gesamthohlräume eines Gesteines oder auch **nur** die Differenz zwischen Gesamthohlraum und Wasserkapazität als einen Maßstab für die aus diesem Gestein gewinnbare Menge des Wassers anzusehen. Ja, wenn es sich nur um einmalige Entnahme handelte, würde das letztere berechtigt sein. In der Praxis hat man aber fast stets mit dauernden Entnahmen zu rechnen; und da kommt es nicht darauf an, welche ruhende Wassermenge in dem Gestein vorhanden ist, sondern welche durchfließende, d. h. wieviel Wasser durchläuft in der Zeiteinheit einen bestimmten Querschnitt des Gesteins. Diese Wassermenge hängt aber bei sonst gleichen Bedingungen viel mehr von der Größe der Gesteinsporen und Spalten, als von der Größe des Gesamthohlraumes ab. Kiese mit mäßig großen Porenvolumina pflegen viel mehr Wasser zu liefern als feinkörnige Sande, deren Wasserkapazitäten und Porenvolumina wesentlich höher sind. Ferner sammeln sich in allen Mulden des wasserundurchlässigen Untergrundes im Laufe der Zeit ruhende Wassermassen an, Grundwasserseen oder -Becken¹⁾ im Gegensatz zu den Grundwasserströmen. Die ersteren stellen einen meist rasch erschöpfbaren Wasservorrat dar, der im Anfange des Pumpens über

¹⁾ Höfer (Grundwasser und Quellen, Braunschweig bei Vieweg & Sohn, 1912, S. 52 u. Fig. 8) unterscheidet die Wassermengen dieser Becken als »Stau« oder »Grundwasserstau« vom »Strom« oder »Grundwasserstrom«.

die wirklich zur Verfügung stehenden Wassermengen täuschen kann. Alle Berechnungen über die Leistungsfähigkeit eines Brunnens müssen sich also stets nur auf die durchfließenden, nicht auf die ruhenden Wassermengen stützen. Und ebenso wird man sich vor dem Fehler hüten müssen, von einem feuchten Boden ohne weiteres anzunehmen, daß er gewinnbares Wasser enthalte.

II. Durchlässigkeit und Undurchlässigkeit.

Wäre in einem Gestein überhaupt kein Hohlraum vorhanden, so würde kein Wasser hinein zu gelangen vermögen. Die Erfahrung lehrt aber, daß es solche Gesteine nicht gibt, sondern daß jedes in einem Steinbruch¹⁾ oder Bergwerk geschlagene Stück ein gewisses Maß von sog. Bergfeuchtigkeit besitzt. Immerhin handelt es sich hier um sehr kleine Mengen, die wir praktisch vernachlässigen können. Hat ein Gestein aber größere Hohlräume in merkbarer Zahl, so hängt die Durchlässigkeit davon ab, ob, wie bereits im ersten Abschnitt ausgeführt, die Hohlräume sämtlich kapillar oder zum Teil überkapillar sind.

Im ersteren Falle saugt sich das Gestein mit Wasser voll, gibt es aber nicht mehr her und bleibt somit undurchlässig. Im zweiten Falle bewegt sich das Wasser in den überkapillaren Poren und Spaltenräumen weiter und durchfließt das Gestein. Die Erfahrung lehrt, daß praktisch undurchlässig oder doch äußerst schwer und langsam durchlässig alle Tone, Lehme, Mergel, sehr feinkörnige Sande²⁾ und die aus ihnen durch Verfestigung entstehenden Felsarten sind, soweit nicht diese festen Gesteine wieder durch Spaltenbildung durchlässig werden.

Die kompakten Tiefengesteine (Granite, Syenite, Diorite usw.) sollten eigentlich undurchlässig sein, sind es aber

¹⁾ Ob das in Wüsten anders ist, darüber habe ich keine Erfahrung.

²⁾ Bei Korngrößen von etwa $\frac{1}{10}$ mm werden sie schwerdurchlässig, bei noch wesentlich feinerem Korn schließlich so gut wie undurchlässig.

praktisch wegen der stets in ausgedehntem Maße vorhandenen Spaltensysteme nicht. Dasselbe gilt in noch höherem Maße von allen festen, nicht sehr tonigen Kalksteinen, weil hier die ursprünglich vorhandenen Spaltensysteme meist schon sehr rasch durch die auflösende Tätigkeit des Wassers erweitert werden. Dagegen haben sehr tonige Kalksteine, besonders wenn sie viele Zwischenlagen von reinerem Ton oder Mergel enthalten, keine ausgesprochene Neigung zur Zerspaltung und sind daher praktisch wohl meist als undurchlässig zu bezeichnen. Undurchlässig oder doch zum mindesten schwer durchlässig pflegt auch die weiße Kreide in denjenigen Gebieten zu sein, in denen sie ziemlich tonig und nicht, oder nur schwach, zerklüftet ist¹⁾. Ist sie dagegen stark klüftig, dann leiten die Klüfte das Wasser natürlich rasch hindurch (Champagne). Tiefengesteine können in feuchtem Klima an der Oberfläche so viel lehmige Verwitterungsprodukte erzeugen, daß die Spaltensysteme sich oben verstopfen und dann ziemlich ausgedehnte, undurchlässige Flächen entstehen lassen. Aber freilich werden diese Flächen nie ganze Berghänge bedecken. Man wird also hier immer mit einem Einsickern aller Flüssigkeiten zu rechnen haben. Dasselbe gilt auch von den Gebieten, in denen Lehm oder Ton (z. B. die Lößlehme oder die Schwemmlöbe) dünne Decken über Sand- und Kiessystemen bilden, eine in allen Flußaufschüttungsebenen normale Erscheinung. Bei einer Mächtigkeit der undurchlässigen Schicht von 1 bis 2 m entstehen nämlich in Trockenperioden tiefe Spalten und Risse und lassen dann z. B. Jauche unter Umständen in die durchlässigen tieferen Bodenschichten gelangen.

Die nicht ganz besonders feinkörnigen Sandsteine wird man praktisch fast immer als durchlässig ansehen können, weil sie nicht bloß im nicht zerspaltenen Zustande ein großes Porenvolumen bei erheblicher Porengröße zu haben pflegen, sondern auch fast stets tiefgehend zerklüftet sind. Es will

¹⁾ Nach Keilhack (Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde, Berlin 1912, bei Bornträger, S. 104) verhält sich die tonige Kreide am Grunde des Kanals zwischen Frankreich und England völlig undurchlässig.

mir sogar scheinen, als ob diese Kluftsysteme in der Natur bei der Wasserzirkulation eine größere Rolle spielen, als die eigentlichen Porenräume des Gesteins, während unsere Literatur meist nur von den letzteren spricht. Ja nicht darf man bei solchen Sandsteinen die Tatsache übersehen, daß die Spaltensysteme oft in den Tonzwischenlagen absetzen, so daß das im Gestein versickernde Wasser trotz der Klüfte auf der ersten Tonlage gestaut werden kann. Bei der Besprechung der Schichtquellen werde ich auf die Bedeutung der Klüfte zurückkommen.

Lavaströme wird man stets als mehr oder minder durchlässig ansehen können. Sind sie nämlich wenig mächtig, so sind sie von Gasporen ganz erfüllt, werden sie aber mächtig und im Innern kompakt, dann stellen sich in den kompakten Teilen die regelmäßigen Sprungsysteme der Absonderungsklüfte ein.

Kristalline Schiefer (Gneiß, Glimmerschiefer, Phyllite usw.) sind zwar an sich eigentlich undurchlässig. Praktisch verhalten sie sich aber wohl gewöhnlich anders, weil sie in größeren Massen in den Gebirgen stark zerklüftet (Gneiß) oder wenigstens in der Nähe der Oberfläche stark blätterig (Glimmerschiefer, Phyllite) zu sein pflegen. Das ist z. B. bei Tunnelanlagen von großer Bedeutung gewesen (Gotthard, Simplon).

Echter Löß ist nach meinen Erfahrungen als durchlässig anzusehen. Er verhält sich aber natürlich anders, wenn er eine mächtige Verlehmungsdecke trägt oder von Lehmzonen durchzogen wird¹⁾. Schwemmlöß ist schwerer durchlässig als Berglöß.

Zur Erklärung der Wasserundurchlässigkeit der Tone und Lehme hat man auch Quellungserscheinungen der in ihnen auftretenden Gele heranziehen wollen. Obwohl ich zugebe,

¹⁾ Keilhack (Grundwasser- und Quellenkunde) nennt den Löß (S. 299) »schwer durchlässig«, hebt aber auf S. 90 hervor, daß »Löß-, Kies-, Gips-, Kalk- und Kreideplateaus die größten Regenmassen aufnehmen, ohne sie oberirdisch abfließen zu lassen«. Auf S. 103 sagt er, daß Löß die Hälfte seines Volumens an Wasser aufnimmt, es aber nur langsam weiter befördere.

daß solche Quellungserscheinungen dazu beitragen, die Porenräume zu verkleinern oder zu verstopfen, so sind sie doch offenbar nicht notwendig, um die Undurchlässigkeit herbeizuführen. Denn auch ganz gelfreie Gesteinsmehle, wofern sie nur fest genug gepackt sind, zeigen genau dieselbe Undurchlässigkeit wie die gelhaltigen. Daß sich der Löß anders verhält, beruht sicherlich nur auf der sehr lockeren Ablagerung der Teilchen.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich kurz darauf hinweisen, daß ich in einer eben im Druck erschienenen Arbeit¹⁾ begründet habe, daß die Benennung »Ton« sich auf Gesteine ganz verschiedener Natur und Herkunft bezieht.

»Das, was wir Ton nennen, braucht gar nichts mit dem mineralogisch-petrographischen Begriff »Ton« zu tun zu haben. Man denke z. B. an die Bändertone der glazialen Stauseen, deren Material feinste Gletschermilch-Trübe, also mechanisch fein zermahlene, aber sicher nur ganz selten chemisch verwittertes Mineralpulver ist. Es handelt sich einfach um die allerfeinsten Gesteinsmehle, und alle diese Gesteinsmehle haben bestimmte physikalische Eigenschaften gemeinsam und werden daher als Tone, nämlich als verunreinigter Kaolin oder als ein Gemenge von diesem mit den zu ihm gehörigen Gelen aufgefaßt.«

Da das nicht zutrifft, habe ich in der betreffenden Arbeit vorgeschlagen, für alle klastischen Gesteine von feinstem Korn — solange ihre besondere Beschaffenheit nicht festgestellt ist — wieder den Naumannschen Namen »Pelit« zu gebrauchen, unter den Peliten aber nach Möglichkeit zwischen den echten, durch Zersetzung entstandenen »Tonen« und den durch die mechanische Zerreißung entstandenen Gesteinsmehlen zu unterscheiden. Für diese letzteren gebrauche ich die Bezeichnung Alplitit, von *ἄλφιτον* = Mehl.

Für die Frage nach der Durchlässigkeit der Pelite ist also hervorzuheben, daß sich sowohl die echten »Tone« wie die Alplitite ganz gleich verhalten.

¹⁾ Die Definition von Grauwacke, Arkose und Ton. Geol. Rundschau 1915, Bd. 6, S. 402.

Sehr durchlässig sind, wie wohl ohne weiteres verständlich, die Kiese und Konglomerate, die groben Sande¹⁾, die Schuttmassen und im allgemeinen auch die aus ihnen hervorgehenden Breccien; aber selbst Tone, Lehme und Mergel werden durchlässig, wenn sie Steine in größerer Zahl enthalten. So ist z. B. der aus der Verwitterung der feuersteinreichen weißen Kreide hervorgehende Ton (»argile à silex« der Champagne) gewöhnlich wasserundurchlässig. (Lapparent, A. de, *Traité de géologie*, IV. Aufl., S. 200.) Werden die Feuersteine aber im Verhältnis zur Gesamtmasse sehr zahlreich, so wird das Ganze durchlässig.

Dasselbe gilt von den an dem Fuße von Felswänden aufgehäuften Schutthalden und Schuttkegeln, sowie von den an der Ausmündung von kleinen Seitentälern im Haupttal aufgehäuften Schuttkegeln unserer Mittelgebirge und Hügellandschaften²⁾.

Ganz eigentümlich verhalten sich die Torflager. Sind sie trocken, so nehmen sie riesige Wassermengen auf. Haben sie sich aber vollgesogen, so halten sie sie fest und sind dann für neue Wassermengen fast ganz undurchlässig. Man kann daher in vielen Sumpfigegenden unter der die Bildung des Sumpfes veranlassenden undurchlässigen Schicht ein tieferes, sehr häufig ganz einwandfreies Wasserstockwerk erbohren³⁾, eine

¹⁾ In feineren Sanden pflegt, was für die Praxis wichtig ist, das Wasser wenigstens im Anfang nicht gleich die ganze Masse gleichmäßig zu durchtränken, sondern es pflegt bestimmte Bahnen und Wege zu bevorzugen, so daß dadurch auch echte Wasseradern entstehen können. Für die Geologen bemerke ich, daß sich meiner Ansicht nach nur dadurch die Form der von Reis vortrefflich beschriebenen Battenberger Sandeisensteinröhren erklären läßt.

²⁾ Typhusepidemie von Lausen bei Basel 1872.

³⁾ Lueger-Weyrauch, *Die Wasserversorgung der Städte*, 1914, I, S. 105. Keilhack (a. a. O. S. 102) gibt an, daß »in frisch angelegten Torfstichen die Grube bis mehrere Meter unter dem Grundwasserspiegel trocken niedergebracht werden kann, während in einer älteren benachbarten, nur durch eine 3 dm dicke Zwischenwand getrennten Grube das Wasser bis nahe an die Oberfläche reicht«.

Tatsache, die auf dem russisch-polnischen Kriegsschauplatz von erheblicher Bedeutung sein kann. Tonschiefer sind, wenn nicht zerspalten, oft sehr undurchlässig. Als berühmtes Beispiel dafür wird in den Lehrbüchern gewöhnlich der Stollen der Grube Bottalack in Cornwall angegeben, dessen wenige Meter mächtiges Dach keinen Tropfen von dem darauf lastenden Meerwasser durchdringen läßt. Anders verhalten sich die Tonschiefer aber, wenn Gruben in ihnen senkrecht zu ihren Schichtfugen abgeteuft sind. Dann können Flüssigkeiten an diesen entlang durchsickern, was bei Abort- und Jauchegruben wohl zu beachten ist.

III. Die Geschwindigkeit der Wasserbewegung im Boden und in den Gesteinen.

Die Werte, die man für die Geschwindigkeit der Wasserbewegung bekommt, sind außerordentlich verschieden, so daß man nicht gut allgemein gültige Zahlen anführen kann. Immerhin kann man die Größenordnung der in Betracht kommenden Geschwindigkeiten angeben; und da ist festzustellen, daß das Grundwasser in Sandböden im allgemeinen $\frac{1}{4}$ bis 3 m im Tage zurücklegen dürfte. Ist das Gestein aber kiesig und besonders grobkiesig, so können diese Werte um ein Vielfaches ansteigen. Noch viel rascher bewegt sich das Wasser in Gesteinsklüften, und es ist daher eine bekannte und vielfach durch Färbungs- oder Salzungsversuche bewiesene Tatsache, daß im Kalksteingebirge viele Kilometer unterirdisch in einem Tage zurückgelegt werden können. So durchfließt Donauwasser die 11 km lange Strecke zwischen Immendingen und Aach zum Teil in 20 Stunden¹⁾.

Sehr wichtig ist in der Praxis die Tatsache, daß die Geschwindigkeit des Grundwassers in der Nähe der Brunnen stark wächst, wenn das Wasser rasch gepumpt wird. Es bildet sich dann in der Umgebung der bekannte Absenkungstrichter des Wasserspiegels (siehe Fig. 1).

¹⁾ Vgl. K nop, Neues Jahrb. f. Mineralogie 1878, S. 350 bis 363.

Je steiler die Absenkung ist, um so stärker wird das Oberflächengefälle des Wassers, um so größer seine Geschwindigkeit. Gärtner erzählt auf S. 422 seiner »Hygiene des Wassers« den folgenden Fall. Ein Brunnen befand sich 8 m von einer Mistgrube entfernt. Als der Brunnenpiegel durch Pumpen um 2 m abgesenkt wurde, sank der Spiegel der Jauche in der Grube um einige Zentimeter. Bei Zentralbrunnen, die eine

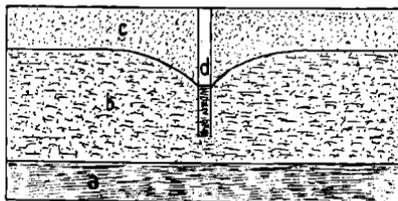


Fig. 1. Absenkungstrichter eines Brunnen.

a Undurchlässige Schicht. b Von Wasser erfüllter, c wasserfreier Grundwasserträger. d Brunnen.

große Wassermenge liefern sollen, macht sich diese Erscheinung natürlich in besonders starkem Maße geltend, bei Hausbrunnen wird sie in geringerem Maße zu befürchten sein. Dennoch empfiehlt es sich, die Wasserentnahme möglichst gleichmäßig zu verteilen, damit das Wasser Zeit zum Nachströmen und Ausgleichen des Trichters hat.

Aus diesen Feststellungen und den im vorigen Abschnitt hervorgehobenen Beobachtungen über die Durchlässigkeit und Undurchlässigkeit der Gesteine ergeben sich nun eine ganze Anzahl von wichtigen hygienischen Folgerungen.

IV. Hygienische Folgerungen.

- a) Friedhofsanlagen. Bestattungen im Felde.
Abdeckereien.

Man hat in früherer Zeit befürchtet, daß durch Erdbestattungen leicht das Grundwasser verseucht werden könne. Neuere Forschungen haben indessen ergeben, daß diese Gefahr sehr gering ist, sobald man gewisse Vorsichtsmaßregeln be-

obachtet¹⁾. Außerordentlich lehrreich sind in dieser Hinsicht die in systematischer Weise jahrzehntlang fortgesetzten Untersuchungen des Hamburger Hygienischen Institutes, die von Matthes in der Zeitschrift für Hygiene, Bd. 44, 1913, S. 439 bis 468²⁾ veröffentlicht sind. Sie wurden auf dem großen Ohlsdorfer Friedhof, dem Zentralfriedhof Hamburgs, durchgeführt und haben ebenso wie analoge Arbeiten in Dresden, Leipzig und vielen anderen Orten eigentlich immer ergeben, daß die »aus den Leichen in das Erdreich gelangenden Stoffe durch die chemischen und physikalischen Kräfte des Bodens ihrer schädigenden Eigenschaften entkleidet oder durch das Grundwasser bis zur Unmerklichkeit verdünnt werden«. Dabei handelt es sich ebensowohl um die eigentlichen Krankheitskeime wie um die Leichengifte. Obwohl auf dem Ohlsdorfer Friedhofe etwa 12000 Bestattungen im Jahre stattfinden, also erhebliche Massen von Fäulnismaterial in dem Boden angehäuft wurden, war eine Verunreinigung der Gewässer des Untergrundes nicht eingetreten. Aber allerdings muß man Sorge tragen, daß die Sohle der Gräber mindestens $\frac{1}{2}$ m über dem Grundwasserspiegel liegt, und der Boden muß geeignet sein, d. h. man wird groben Kies, wenn irgend möglich, vermeiden. Man wird sich vor allen Dingen hüten müssen, in dünnen, lockeren Bodenschichten, wenig über stark zerklüftetem Gestein (Kalkstein!) Gräber anzulegen, und man wird auch berücksichtigen müssen, daß der Grundwasserspiegel starke Schwankungen aufweisen kann. Liegen Gräber einen großen Teil des Jahres im Grundwasser, dann kann es unter Umständen vorkommen, daß die Weichteile der Leichen sich weit über das gewöhnliche Zeitmaß hinaus erhalten. So ist mir ein Fall erzählt worden, wo in einem kleinen süddeutschen Ort am Ende der Umlauffrist die Leichen aus dem angegebenen Grunde so vortrefflich erhalten waren, daß man den Friedhof nicht weiter benutzen, sondern einen neuen anlegen mußte.

¹⁾ Petri, X. Internation. Mediz. Kongreß, Berlin 1890. Zitiert nach Lueger-Weyrauch, S. 104.

²⁾ Hier auch viele Literaturangaben über dieselbe Frage.

Über die normale Dauer der Zerstörung der Weichteile gibt es natürlich keine allgemeine Regel, da das sehr von den Boden-, Klima- und biologischen Verhältnissen abhängt. Für den Ohlsdorfer Friedhof stellte es sich nach Beobachtungen von Reincke heraus, daß zuerst »ein 3 bis 4 Monate dauerndes Stadium stinkender Fäulnis und dann Verwesung eintritt, die bei Erwachsenen in 5 bis 7, bei Kindern in 4 bis 5 Jahren die Weichteile zerstört«. Dabei spielen an manchen Orten die Pflanzen eine größere Rolle als Tiere. »Man fand öfters, daß Baumwurzeln einen Weg durch die Wandungen der Särge zu den Leichen gefunden und alle Knochen derselben mit einem zierlichen Geäst feinsten Wurzelfäserchen dicht umspinnen hatten.«

Aus den angeführten Untersuchungen geht also hervor, daß man in Ohlsdorf selbst aus den Friedhofsbrunnen ganz unbedenklich das Wasser zum Trinken hätte entnehmen können. Dennoch wird man es natürlich, wenn irgend möglich, im Frieden wie im Kriege auch bei geeignetem Boden und richtiger Anlage der Gräber vermeiden, Trinkwasser in unmittelbarer Nähe von Bestattungsstätten zu entnehmen. Und man wird bei Massengräbern von Menschen wie bei Gräbern von Pferden und anderen größeren Tieren natürlich noch viel vorsichtiger sein müssen als bei Einzelgräbern. Ebenso wird man nicht gern Brunnen in unmittelbarer Nähe von Abdeckereien anlegen. Über die dabei einzuhaltenden Mindestabstände wird im Abschnitt c) gesprochen werden.

b) Abortanlagen. Versickerungsstellen von Fäkalien. Düngung mit festem Mist, Jauche, Pfuhl, Schmutzwasser usw.

Es kann natürlich nicht meine Absicht sein, an dieser Stelle die hauptsächlich von den Hygienikern und Gesundheitsingenieuren gemachten Erfahrungen darzustellen. Eine ausgezeichnete Schilderung aller hier in Betracht kommenden Verhältnisse enthält das während des Krieges erschienene umfangreiche Handbuch von A. Gärtner, Die Hygiene

des Wassers (Vieweg & Sohn, Braunschweig 1915), dessen Studium auch den Geologen warm empfohlen werden muß, und dem ich bei meinen Ausführungen vielfach folge. Ich kann hier bloß die wichtigsten geologischen Gesichtspunkte kurz zusammenstellen.

Die Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit einer Verseuchung von Grundwasser, Quellen und Brunnen und damit einer Gefährdung der Gesundheit wächst 1. mit der Durchlässigkeit des Bodens, 2. mit der Annäherung des Grundwasserspiegels an die Erdoberfläche, 3. mit abnehmender Entfernung von Wasserentnahme- und Verunreinigungsstellen, 4. mit der wachsenden Menge der Verunreinigungen.

Es ist unbestreitbar, daß die Zahl der wissenschaftlich genau festgestellten Verseuchungen des Bodenwassers durch Fäkalien und Schmutzwässer im Gegensatz zu den im vorigen Abschnitte besprochenen Verseuchungen durch menschliche oder tierische Körper ungemein groß ist.

Die früher vielfach bestrittene Annahme, daß Krankheiten durch das Wasser verbreitet werden können, ist heute Gemeingut der wissenschaftlichen Erkenntnis. Es ist Tatsache, daß besonders Typhus und Cholera oft im Wasser den Weg zur Infektion des Menschen gefunden haben. Es ist dabei aber ein gewaltiger Unterschied zwischen Oberflächenwasser und dem im Boden zirkulierenden, für den Geologen allein in Betracht kommenden Wasser. Die Wahrscheinlichkeit einer Infektion durch das letztere ist sehr viel kleiner, weil der Boden eine stark filtrierende Wirkung zu haben pflegt, weil in ihm andere Organismen enthalten sind, die den Krankheitskeimen im Kampf ums Dasein überlegen sind, und weil diesen letzteren im Boden wie im Bodenwasser vielfach ungünstige Temperatur- und Ernährungsbedingungen entgegen-treten.

Isolierte Krankheitsbakterien pflegen daher im Boden und im Wasser sehr rasch zugrunde zu gehen. Anders verhält es sich aber mit ihnen, wenn sie in Kotklümpchen, Sputum-Schleimflöckchen und ähnlichen schützenden Körpern enthalten sind. In solchen Fällen können sie sich sechs und mehr Monate lebend erhalten. In gewöhnlichen Abortgruben hat

man mit der Möglichkeit zu rechnen, daß Typhus- und Cholera-bakterien einen Monat am Leben bleiben können, in Spülgruben noch wesentlich länger. Milzbrandsporen können im Boden jahrelang lebendig bleiben.

Diese Daten können im Stellungskrieg Bedeutung gewinnen, wenn eine Truppe beim Vordringen oder Zurückgehen gezwungen ist, ihre neuen Gräben, Unterstände, Wasserentnahmestellen in der Nähe von alten, unter Umständen monatelang verschmutzten Stellungen zu wählen. Sie spielen eine sehr bedeutende Rolle bei der Auswahl von Quellen und geeigneten Punkten für neue Brunnenanlagen, sowie bei der Beurteilung der Verwendbarkeit von bereits vorgefundenen Brunnen¹⁾ und Quellen.

Es ist dabei dem im Publikum weitverbreiteten Vorurteil entgegenzutreten, als ob Quellwasser dem Grundwasser vorzuziehen sei²⁾. In chemischer Beziehung sind die Quellwässer ebenso wie die Grundwässer unter sich so verschieden, daß man überhaupt nicht allgemein voraussagen kann, welches das günstigere ist. In bakteriologischer Beziehung aber ist es bei Grundwasser jedenfalls sehr viel leichter, schon rein geologisch eine hygienisch einwandfreie Beschaffenheit vorauszusagen als bei Quellwasser. Bei diesem letzteren bleibt die Herkunft oft trotz genauester Untersuchung unsicher. Daher sagt Gärtner (S. 432) sehr richtig: »Es läßt sich gar nicht weglegen, daß im Grunde genommen die

¹⁾ Alle Kesselbrunnen und manchmal sogar Rohrbrunnen, die an der tiefsten Stelle eines Bauernhofes liegen, werden selbst bei größerem Abstand der Aborte, Mistgruben und -Haufen immer verdächtig sein, weil jeder stärkere Regen Verunreinigungen hineinspült, selbst wenn der Boden undurchlässig ist.

²⁾ Als die Stadt Heidelberg sich vor einigen Jahren entschließen sollte, nach dem ausgezeichneten Plan des Wasserwerkdirektors Kuckuck eine Neuanlage in der Rheinebene herzustellen, um die bisher bestehende Quellwasserversorgung durch eine Grundwasserversorgung zu erweitern, bekam ich eine große Anzahl von besorgten privaten Anfragen aus den gebildeten Kreisen der Stadt, weil man in diesen befürchtete, daß das Trinkwasser durch das Grundwasser wesentlich verschlechtert werden würde.

Quellen unsichere Kantonisten sind.« Hat man also die Wahl zwischen chemisch gleich gutem Grund- und Quellwasser, so werden Wassertechniker, Hygieniker, wie Geologen wohl unter sonst gleichen Bedingungen meist das Grundwasser bevorzugen. Bei den aus festem Gestein hervortretenden Quellen dient nämlich sehr häufig ein Spaltensystem als unterirdischer Quellweg, und auf diesem pflegt, wie auf S. 13 angegeben, das Wasser sich so rasch zu bewegen, daß hineingelangte Krankheitskeime noch lebend zu der Austrittsstelle des Wassers gelangen können¹). Das aber ist die Veranlassung zu einer großen Anzahl von gefährlichen Epidemien noch in der neuesten Zeit geworden. Eine zusammenfassende Darstellung von ihnen hat Gärtner 1902 in einem als Sonderabdruck aus dem klinischen Jahrbuch Bd. IX erschienenen Buch gegeben: Die Quellen in ihren Beziehungen zum Grundwasser und zum Typhus (Jena, bei Gustav Fischer, 162 Seiten). Dort ist auch ältere Literatur ausführlich angegeben. Obwohl ein Teil der von Gärtner aufgeführten Fälle nicht auf Verunreinigung von Spaltenwasser zurückgeht, und bei einem anderen Teil die Art der Verseuchung nicht ganz sicher festgestellt werden konnte²), so ist doch bei einem Teil der Zusammenhang ganz unzweifelhaft. In nenne die Epidemien Abertillery, Monmouth, zerklüfteter Sandstein; Oberhollwangen, Buntsandstein 1875; Auxerre Jura; Worthing, Sussex, spaltenreiche Kreide; Kranichfeld, Thüringen, stark zerklüfteter Muschelkalk in größerer Entfernung; wahrscheinlich Brüssel, Kohlenkalk in weiter Entfernung; Paris, Vanne-Gebiet, spalten- und dolinenreiche Kreide, Entfernung der Infektionsstellen gelegentlich bis zu 140 km!! (S. 96), sicher zwei große Epidemien; sehr wahrscheinlich Paderborn 1885, 1887, 1893, 1898, Plänerkalk, stark zerklüftet³); Beverley,

¹) Im Vanne-Gebiet bei Paris hat man experimentell gezeigt, daß Hefezellen in dem unterirdisch fließenden Wasser lebend 20 km weit transportiert wurden.

²) Soest in Westfalen 1889 und 1892.

³) Hier ist der Zusammenhang der Paderquellen mit versunkenen Bächen durch Stilles eingehende Untersuchungen ein-

England, 1889, versunkener Bach, Kalkstein; Bar-le-Duc 1889, 4 km Entfernung, Kalkstein; Besançon 1893, 3 km, 93 Stunden Durchlaufzeit! Kalkstein.

In fast all' den aufgeführten Fällen beruhte die Infektion des Wassers darauf, daß Fäkalien von Typhuskranken nicht sterilisiert in den Boden oder in laufendes Wasser gelangten und durch Versickerung von Oberflächenwasser durch Spalten des Gesteins in rasch zirkulierendes Bodenwasser gerieten.

Als Nutzenanwendung für den gegenwärtigen Krieg ist die äußerste Vorsicht in den Jurakalkstein-Gebieten Lothringens und den Kreidekalkstein-Gebieten der Champagne anzuraten. Selbst wenn die eigentlichen Typhuskranken so rasch wie möglich aus diesen Gebieten in weiter zurückliegende Etappen befördert werden, muß man doch berücksichtigen, daß unter den Gesunden und vor allen Dingen unter den als geheilt zurückkehrenden Mannschaften sich oft eine nicht unerhebliche Anzahl von sog. Bazillenträgern befindet, durch deren Abgänge mit Leichtigkeit neue Typhusepidemien erzeugt werden können¹). Es ist also dort unbedingt zu vermeiden, die Fäkalien ohne genaue Untersuchung des Bodens diesem anzuvertrauen. Insbesondere besteht die äußerste Gefahr da, wo über klüftigen Kalksteinen dünne Verwitterungslehmdecken ausgebreitet sind, die den Anschein der Undurchlässigkeit erwecken. Entstehen in ihnen bei Trockenheit Risse, oder sind in ihnen Steine in größerer Zahl vorhanden, so lassen sie, wie auf S. 9 erwähnt, Wasser sehr leicht durchsickern.

Dabei wolle man stets berücksichtigen, daß selbst in sonst undurchlässigen Böden die Wühlgänge von Tieren (z. B. Maulwürfen, Mäusen, Regenwürmern usw.) und die verwesenden Wurzeln von Pflanzen (besonders Bäumen und Sträuchern) bequeme Einsickerungswege für Verunreinigungen erzeugen können.

wandfrei bewiesen. »Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiete der Paderquellen zu Paderborn«. Abhandl. Kgl. preuß. geol. Landesanstalt, N. F., Heft 38, Berlin 1903. (Preis M 8.)

¹) Bei der Diskussion meines Vortrages erfuhr ich, daß in dieser Hinsicht bereits alle notwendigen Vorsichtsmaßregeln getroffen sind.

Starke Quellen der Kalksteingebiete sind von vornherein verdächtig, sog. »Flußquellen« (= Scheinquellen = Vauclusische Quellen) zu sein, d. h. Austrittsstellen versunkener und eine Strecke weit unterirdisch gelaufener Bäche.

Zur äußersten Vorsicht wird dabei, wie auch sonst, stets die Beobachtung führen, daß sich eine Quelle nach stärkeren Regengüssen trübt. Es wird dann stets auch die Möglichkeit einer Verunreinigung durch gesundheitsschädliche Stoffe vorliegen.

Verdächtig und oft wirklich gefährlich ist für Brunnen und Quellen die Nachbarschaft von Steinbrüchen, weil in ihnen nicht bloß der meist stark zerspaltene Felsuntergrund mit seinen Klüften völlig bloßgelegt ist, sondern auch die Fäkalien der Arbeiter vielfach ohne jede Vorsichtsmaßregel über den Boden zerstreut werden.

Läßt es sich also nicht vermeiden, daß große Mengen von Fäkalien an gefährlichen Stellen dem Boden anvertraut werden, so Sorge man für gutschließende, tragbare Behälter und entleere sie nur an Stellen, die von Geologen vorher sorgfältig ausgewählt sind. Wenn irgend möglich wird in solchen Gegenden natürlich der zu Rate gezogene Geologe mit dem Hygieniker zusammenarbeiten.

Für alle Gebiete, in denen es infolge der Bodenbeschaffenheit leicht möglich ist, raschfließendes Bodenwasser zu unreinigen, empfiehlt es sich, die Fäkalien an ausgewählten ungefährlichen Stellen zu zentralisieren, sie aber nicht in zahlreichen Einzelaborten in den Boden gelangen zu lassen. In dieser Hinsicht bitte ich das Folgende zu beachten.

Die Amerikaner haben bei Truppenansammlungen in Texas ein eigentümliches Verfahren angewandt, das unter Umständen auch bei uns anwendbar wäre. Sie ziehen 5 m lange, 0,60 bis 0,75 m breite, 1,80 bis 2 m tiefe Gräben, und bedecken sie mit dichtschießenden Deckeln. In diese Gräben werden die Entleerungen und sonstigen Abfälle hineingeworfen. Jeden Morgen werden 3 l »Öl« (Petroleum?) und 15 Pfund Stroh darin verbrannt, um Insekten (Fliegen!) und ihre Larven abzutöten. Wo das Grundwasser aber hoch steht, werden oberirdische Anlagen geschaffen, in denen ebenfalls durch

Verbrennen wenigstens die Gefahr der Übertragung der Keime durch Insekten ausgeschlossen wird¹⁾. Selbstverständlich müßte man aber die Gräben in ganz undurchlässigem Boden anlegen.

Ich gehe auf diese Fragen, die ja eigentlich keine geologische Bedeutung mehr haben, deshalb ein, weil eben oft genug der Geologe im Kriege gezwungen sein wird, in Ermangelung der Anwesenheit eines Hygienikers, anzugeben, wo und wie solche Anlagen gemacht werden sollen.

Die Düngung von Feldern mit festem Mist scheint nach den Erfahrungen der Hygieniker meist ungefährlich zu sein, sei es, daß in dem Mist die Krankheitskeime schon abgestorben sind, sei es, daß sie im Freien nach der Ausstreuerung sehr rasch absterben²⁾. Eine gewisse Vorsicht ist aber doch empfehlenswert, insbesondere wird man das Ausstreuen des Mistes in der unmittelbaren Umgebung von Quellen und Brunnen zu verbieten haben.

Durch flächenhafte Düngung von Feldern mit Jauche und Pfuhl (dem durch Wasser verdünnten Inhalt von Abortgruben), sowie durch Schmutzwasser von Ortschaften und Städten sind nachweislich wiederholt Infektionen entstanden, indem die Flüssigkeiten durch den durchlässigen Boden in das Grundwasser gelangten. Fließt dies sehr langsam und wird es gut filtriert, dann ist eine Gefahr für hinreichend entfernte Brunnenanlagen nicht vorhanden. Ist der Boden aber sehr durchlässig oder rissig, so können schwere Epidemien entstehen³⁾.

¹⁾ Sanitäre Maßnahmen im Felde. Siehe d. Zeitschrift: Gesundheit, Jahrg. 40, 1915, Nr. 22, S. 345 bis 347.

²⁾ Eine Ausnahme machen die sehr dauerhaften Milzbrandsporen.

³⁾ Lesenswert ist für den, der sich für solche Fragen interessiert, auch die schöne, wenn auch in den hygienischen Fragen mittlerweile zum Teil überholte Arbeit von O. v. Linstow: Die Grundwasserverhältnisse zwischen Mulde und Elbe südlich Dessau und die praktische Bedeutung derartiger Untersuchungen. Zeitschr. f. prakt. Geologie 1905, Jahrg. 13, S. 121 bis 135.

An manchen Orten der Aufschüttungsebenen mit tiefem Stande des Grundwassers benutzt man alte Kiesgruben als Versickerungsstellen für Fäkalien und Schmutzwässer¹⁾. Hier ist zu berücksichtigen, daß selbst die groben Poren der Kiese und erst recht die feineren der Sande sich nach nicht sehr langer Zeit verstopfen, so daß die Geschwindigkeit der Versickerung rasch abnimmt. Je rascher sie aber ist, um so mehr ist eine Gefahr der Infektion für die im Sinne des Grundwasserstromes abwärts gelegene Wasserentnahmestelle da. Man wird also unbedingt wenigstens die Richtung des Grundwasserstromes festzustellen haben, was ja keine technischen Schwierigkeiten macht, und bei unbekannter Größe der Geschwindigkeit des Grundwassers lieber einen zu weiten als einen zu geringen Abstand einhalten.

Um die Richtung des Grundwasserstromes zu bestimmen, braucht man, wenn Karten mit Grundwasserkurven vorliegen, nur die Lote auf diesen letzteren, und zwar natürlich in der Richtung von der höheren zu der tieferen Kurve zu ziehen. Stehen solche Karten nicht zur Verfügung, so muß man theoretisch an drei, praktisch besser an zahlreicheren Stellen die Höhe des Grundwasserspiegels messen. Man wird dazu selbstverständlich erstens einmal die bereits bestehenden Brunnen benutzen, in Ermangelung solcher aber den Grundwasserspiegel, sei es in Gruben, sei es in rasch herstellbaren Schlagbrunnen (= Abessinierbrunnen = Nortonbrunnen) freilegen und messen. Da das Gefälle des Spiegels meist sehr gering ist, wird man die Abstände der Beobachtungsstellen nicht zu klein, jedenfalls nicht unter 10 m wählen dürfen, damit etwaige Messungsfehler keinen zu großen Einfluß ausüben. Wenn irgend möglich, sollten solche Messungen aber von bereits darin geübten Wassertechnikern (also Brunnenbauern usw.) ausgeführt werden²⁾.

¹⁾ Z. B. in Kirchheim bei Heidelberg, früher auch in Friedrichsfeld bei Heidelberg.

²⁾ Die Methoden dieser Messungen sind genau bei Lueger-Weyrauch beschrieben. S. 467, 483 bis 486, 509 bis 511.

c) Abstände der Quellen und Brunnen von Verunreinigungspunkten, Schutzzonen.

Früher ging man in der Anlage von Brunnen ebenso wie in der Bebauung und Benutzung von Quellgebieten außerordentlich unvorsichtig vor. Eine Tatsache, auf die Albert Heim in seinem lesenswerten Vortrage über Quellen¹⁾ und Gärtner besonders hinweisen, ist z. B. die, daß man Siedelungen gewöhnlich nicht unterhalb der Quellen, sondern unmittelbar oberhalb von ihnen anzulegen pflegte. Einerseits wollte man nahe an dem Wasser sein, andererseits die oft nassen Stellen unter den Austrittspunkten vermeiden. Wurde die Zahl der Häuser größer, so baute man rund um die Quellen herum und tat also auf diese Weise wirklich alles, was man tun konnte, um Verunreinigungen des Wassers herbeizuführen. Noch heute kann man auf dem Lande oft mitten in einem Bauernhof an der tiefsten Stelle des Geländes in friedlicher Eintracht nebeneinander Brunnen, Mistgrube und Abortgrube antreffen. In einem belgischen Badeorte habe ich vor einer Reihe von Jahren in einem großen Hotel festgestellt, daß der Brunnen des Hotels unmittelbar neben der Grube lag, die die stark verdünnten Fäkalien der Wasseraborte aufnahm. Dabei bestand der Boden aus dem sehr durchlässigen Dünensande!

Fragt man nun nach den Abständen, die eingehalten werden müssen, um Gefahr zu beseitigen, so läßt sich eine allgemein gültige Antwort natürlich nicht geben, da das von der Durchlässigkeit des Bodens, von der Art der Verunreinigung und von anderen örtlichen Verhältnissen abhängt. Immerhin wird man beherzigen, was Gärtner (Hygiene des Wassers, S. 479) darüber sagt:

»Gelingen verunreinigende oder infizierende Stoffe in die Depressionszone²⁾, so sind sie um so gefährlicher, je näher zum Brunnen sie deponiert werden. Die nächste Nähe der Brunnen bedarf daher des intensivsten Schutzes; daher sollen die Brunnen in einem Umkreis von mehreren

¹⁾ Basel 1885, Schweighauserische Verlagsbuchhandlung, S. 19.

²⁾ Also den beim Pumpen entstehenden Absenkungstrichter.

Metern umzäunt oder gepflastert, mit einer starken Zementschicht oder mit Tonschlag umgeben werden, entsprechend den Verhältnissen.

Die »Schutzzone« der Hausschachtbrunnen kann an sich klein sein, da bei der gewöhnlich geringen Menge des entnommenen Wassers das Depressionsgebiet klein ist. Im allgemeinen muß man sich schon zufrieden geben, wenn die Umgebung des Brunnens sauber ist und wenn sich Schmutzanhäufungen nicht in seiner unmittelbaren Nähe befinden. Abortgruben, Jauchegruben, Miststätten, Stallungen mit durchlässigen Böden sollen mehr als 10 m von dem Brunnen entfernt sein, ausgehend von der Idee, daß die Depressionszone meistens nicht weiter reicht, die Krankheitskeime also nicht lebend diesen Weg passieren. Das Waschen am Brunnen darf nicht gestattet werden. Gut ist es, wenn der Brunnen nicht auf dem Hofe zu stehen braucht, wenn er in den Garten gebracht und mit einem Fleck Rasen umgeben werden kann, ohne den eigenen und den nachbarlichen Dungstätten usw. zu nahe zu kommen. Auf die Notwendigkeit der Dichtigkeit aller Schmutzstätten ist schon hingewiesen. Schmutzwasserrinnen irgendwelcher Art dürfen nicht an dem Brunnen vorbeiführen.«

Weyrauch (a. a. O. S. 101) hebt hervor:

»Solche Erfahrungen lassen es berechtigt erscheinen, wenn Kabrhel (Arch. f. Hygiene Bd. 68, Heft 3) die Ansicht ausspricht, sobald der natürliche Grundwasserspiegel längs einer Fassung von 2 bis 3 m Boden bedeckt sei, könne die normale Bodenbearbeitung mit Düngung¹⁾ keine Schädigung des Grundwassers hervorrufen. Jedenfalls reicht 1 m starker Lehmboden für die Keimfreiheit des Grundwassers aus, wenn nicht Überschwemmungen zu befürchten sind. Ausschlaggebend sind jedoch die nach längeren Trockenperioden sich im Boden bildenden Risse, durch die bei Regenfällen die Bakterien tief in den Boden hineingespült werden können. Aus diesen Gründen wird

¹⁾ Zweckmäßiger verwendet man nur die hygienisch unschädlichen »künstlichen Düngemittel«.

man stets zu beiden Seiten der Fassung einen Schutzstreifen von mindestens je etwa 8 bis 10 (manchmal bis zu 25 und mehr) m Breite stehen lassen (vgl. Kabrhel a. a. O.). Der Schutzstreifen darf jedoch wohl angepflanzt werden; Preiß empfiehlt dies sogar, da die Wurzeln eingedrungene Verunreinigungen ansaugten und die Grundluft verbesserten. «

Hierzu und überhaupt zu den vorhergehenden Erörterungen habe ich folgendes zu bemerken: Anpflanzungen halte ich für gut, wenn keine tiefwurzelnden Bäume, Sträucher und Kräuter gewählt werden, die, wie schon auf S. 20 angegeben, oft Infiltrationskanäle erzeugen, sobald die Wurzeln absterben. Wie tief Wurzeln selbst von Kräutern im Boden hinunterwachsen, dafür habe ich einmal ein bemerkenswertes Beispiel in Brötzingen bei Pforzheim in einem Tripelbergwerk gesehen. In einem wesentlich nur mit Klee, aber auch mit Unkräutern bestandenen Felde war ein Schacht bis zu einer Tiefe von 7 bis 8 m abgeteuft, von dessen Sohle ein Stollen wagerecht abging. An einer Stelle wuchs durch das Dach des Stollens eine lebende Pflanzenwurzel herunter. Dabei war an der Erdoberfläche nur ganz wenig mächtiger lockerer Boden vorhanden. Mehrere Meter des Stollendaches bestanden sicher aus festen, flachliegenden Gesteinsschichten des mittleren Muschelkalkes.

Ferner möchte ich betonen, daß die von Weyrauch und Gärtner angegebenen Zahlen von 8 bis 10 m Abstand jedenfalls als Minimalzahlen angesehen werden müssen. Wenn möglich, sollte man wenigstens 15 m wählen. Sobald der Boden aber aus kiesigen oder anderen grobporigen Gesteinen besteht oder gar nur eine dünne Decke von undurchlässigem Material über klüftige Gesteine ausgebreitet ist, wird man unbedingt viel größere Abstände zu wählen haben.

d) Quelltöpfe, Wasserlöcher und andere offene Ansammlungen von Wasser

sehen dem Durstenden oft verlockend aus. Es ist natürlich nur dem Hygieniker möglich, zu entscheiden, ob das Wasser einwandfrei ist oder nicht. Der Geologe wird gut tun, bis zur

Untersuchung durch den Hygieniker vor der Benutzung zu warnen, weil die Gefahr und Wahrscheinlichkeit einer Verunreinigung außerordentlich groß ist. Die nicht naturwissenschaftlich gebildeten Bewohner wasserarmer Gegenden pflegen klare Wasseransammlungen ohne weiteres zu benutzen und lassen sich selbst durch ein makroskopisch nachweisbares reiches Tierleben in dem Wasser nicht im mindesten davon abhalten. Ein ergötzliches Erlebnis dieser Art erzählte mir vor Jahren Herr Privatdozent Dr. Wurm, Heidelberg. In Aragonien wurde er auf seine Frage nach Wasser von einem Hirten zu einem von Krebschen und anderen kleinen Tieren wimmelnden Tümpel geführt. Als er sagte, daß das Wasser doch nicht gesund sein könne, erwiderte der Führer erstaunt: »Sehen Sie denn nicht, daß viele kleine Tiere darin leben? Wenn es ungesund wäre, würden sie es nicht darin aushalten.« Bei dieser Gelegenheit möchte ich auch darauf hinweisen, daß selbst geschlossene Brunnen und Quellstuben, wie übrigens auch Gärtner drastisch schildert, sehr oft stark verschmutzt sind. Ich selbst habe einmal in einem zum Trinken benutzten laufenden Brunnen einer berühmten Gastwirtschaft einer deutschen Stadt zahlreiche weiße Würmer gefunden. Als ich den Wirt daraufhin fragte: »Kommen denn in dem Wasser nicht kleine weiße Tierchen vor?« antwortete er mir harmlos: »Ja, so Fisch' hat's viele.«

Ich habe dann die Quellstube untersucht und festgestellt, daß sie sehr stark verschmutzt war. Sogar die Granitspalten, aus denen das Wasser hervordrang, waren durch Schmutz so verstopft, daß die Wassermenge nach ihrer Reinigung stark zunahm. Es ist also im Stellungskrieg wie im Frieden bei Untersuchungen von Quellen stets sowohl für den Geologen wie für den Hygieniker notwendig, trotz aller Versicherungen der Besitzer und Benutzer sich persönlich von dem Zustande der Fassungen zu überzeugen.

V. Das Aufsuchen von Grund- und Quellwasser.

Ich kann an dieser Stelle natürlich nicht die in allen Lehrbüchern der Geologie und besonders all den Lehr- und Handbüchern der Quellenkunde ausführlich dargestellten

Einteilungsarten der Bodengewässer eingehend behandeln, sondern verweise den Leser, der sich ausführlich unterrichten will, in erster Linie auf die schon wiederholt erwähnten Bücher: Keilhack, Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde, Berlin 1912 bei Bornträger; Höfer, Grundwasser und Quellen, Braunschweig 1912 bei Vieweg & Sohn; Lueger-Weyrauch, Die Wasserversorgung der Städte, 2. Aufl., Leipzig 1914 bei Kröner. Lesenswert ist ferner in der Schrift von A. Steuer: Die Entstehung des Grundwassers im hessischen Ried (Sonderabdruck aus der Festschrift zum 70. Geburtstag von A. v. Koenen, Stuttgart 1907 bei Schweizerbart) der allgemeine Abschnitt über das Grundwasser auf S. 142 bis 153¹⁾. — Etwas veraltet, aber in mancher Hinsicht doch noch brauchbar, ist auch das Büchlein von H. Haas, Quellenkunde, Leipzig 1895 bei J. J. Weber. Ich sehe hier auch ganz von allen Fragen ab, die nur eine wissenschaftliche, aber keine unmittelbar praktische Bedeutung haben wie die, ob und welcher Anteil des

¹⁾ Bedauerlicherweise definieren zwei unserer besten Wasserkenner, Keilhack und Steuer, den Begriff Grundwasser verschieden. Steuer versteht darunter nur »das in lockeren und losen, im wesentlichen in diluvialen Ablagerungen auftretende Bodenwasser« (S. 147). Keilhack versteht darunter »im Gegensatz zum Oberflächenwasser alles unter der Erdoberfläche befindliche, auf natürlichem Wege dorthin gelangte flüssige Wasser« (S. 67). Es ist also Steuers Bodenwasser = Keilhacks Grundwasser. Höfer folgt Steuers, Weyrauch mehr Keilhacks Definition, spricht aber auch im Steuerschen Sinne von Bodenwasser und versteht unter »Grundwasser im speziellen« dasselbe wie Steuer unter Grundwasser im allgemeinen. Ich will daher, bis eine Einigung erfolgt ist, in dieser hauptsächlich für geologische Laien bestimmten Schrift auch Grund- und Bodenwasser im Steuerschen Sinne trennen, weil die Laienwelt wohl unter Grundwasser meist das Wasser der lockeren Ablagerungen versteht.

Eine Fülle von wichtigen Angaben allgemeiner und örtlicher Art enthalten vier Arbeiten von L. van Werveke, die im ersten Heft des zehnten Bandes der Mitteilungen der geologischen Landesanstalt von Elsaß-Lothringen 1916 erschienen sind. Leider habe ich sie erst während der Korrektur meines Vortrages genauer gelesen und konnte sie daher im Text nicht mehr verwenden.

Bodenwassers als juvenil im Gegensatz zu dem vadosen Sickerwasser anzusehen ist, ob es Kondensationswasser im Sinne von Aristoteles-Volger oder im Sinne von Mezger im Boden gibt oder nicht.

1. Grundwasser in Aufschüttungsebenen

(z. B. Oberrheinische Ebene, Flandern, große Teile von Polen und Westrußland).

Grundwasserströme sind stets an die Oberfläche von undurchlässigen Schichten gebunden, über denen durchlässige Schichten ein Ansammeln und Durchfließen des Wassers gestatten. Sie stauen sich auf der undurchlässigen Schicht, sammeln sich in den Mulden so lange an, bis sie sie ausgefüllt haben und fließen dann weiter. In all' den für uns in Betracht kommenden Gebieten, in denen die undurchlässigen Schichten nicht ungewöhnlich mächtig werden, kann man daher im allgemeinen mit größter Wahrscheinlichkeit darauf rechnen, überall in nicht sehr großen Tiefen auf Grundwasserströme zu stoßen. Das Auffinden des Wassers ist also ohne weiteres für jeden möglich. Fraglich kann nur die Tiefe des Grundwasserspiegels und die Menge des verfügbaren Wassers sein. Da es sich im jetzigen Kriege überall um Gegenden handelt, in denen Ansiedelungen mit Brunnen vorhanden sind, wird man aus der Tiefe der Spiegel in nicht unmittelbar vor der Beobachtung stark benutzten Brunnen ohne weiteres wenigstens ungefähr auf die Tiefe des Grundwasserspiegels schließen dürfen. Man muß aber dabei berücksichtigen, daß der Spiegel in nassen Zeiten stark steigen kann, was auch bei der Anlage von Unterständen und Gräben schon in Betracht kommt. Ferner ist es wichtig, sich klar zu machen, daß in den genannten Ebenen, in denen die lockeren Aufschüttungen größere Mächtigkeit erreichen, meist mehrere »Grundwasserstockwerke« übereinander vorhanden sind, getrennt durch undurchlässige, tonige, lehmige oder feinsandige Schichten. In solchen Fällen kann man unter Umständen unter einem verseuchten oder chemisch ungeeigneten Grundwasserstrom in geringer Tiefe ein zweites brauchbares Stock-

werk erreichen und ausnutzen. Insbesondere in Festungen, in denen man sich auf längere Zeit einrichtet, wird das oft in Frage kommen. Kranz führt in seiner Schrift über Militärgeologie¹⁾ einen solchen Fall an. Sehr wichtig ist es für die Praxis, daß an manchen Orten das Wasser der tieferen Stockwerke in weiterer Entfernung in Bezug auf den hydrostatischen Druck in Verbindung mit den höheren Stockwerken steht, und daher im Brunnen bis ungefähr zur Höhe des oberen Grundwasserspiegels steigt, obwohl es chemisch und bakteriologisch von dem oberen Wasser völlig verschieden sein kann. Es ist also in solchen Fällen nur darauf zu achten, daß das Brunnenrohr gegenüber dem oberen Stockwerk genügend abgedichtet ist, damit keine Vermischung der beiden Wasserarten stattfinden kann. Eine wissenschaftlich genaue Feststellung des Wasservorrates wird im Stellungskriege kaum je in Frage kommen. Man wird sich da durch Beobachtung der Absenkung beim Pumpen sehr rasch und für die zu beachtenden Zwecke genügend über die verfügbaren Mengen unterrichten können. Bei dauernden Anlagen würde man dagegen sorgfältiger vorgehen müssen, um nicht schwere Enttäuschungen zu erfahren; denn die in Laienkreisen, z. B. in manchen Gemeindeverwaltungen, noch immer verbreitete Anschauung, daß Grundwasser unerschöpflich sei, trifft natürlich nicht zu.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse in erheblichen Teilen des östlichen Kriegsschauplatzes, wo in dem lockeren Boden mächtige Grundmoränenmassen, der sog. Geschiebemergel Norddeutschlands, stecken. Diese Bildungen, die Moränen der diluvialen skandinavischen Gletscher, sind für Wasser im allgemeinen ganz undurchlässig. Sie können so mächtig werden, daß man sie mit den gewöhnlichen Brunnen nicht mehr durchteufen kann. Hier kommt es darauf an, durch geologische Untersuchung des Bodens, auch in weiterer Umgebung, festzustellen, wo entweder die Grundmoränen ganz fehlen oder erst in solcher Tiefe vorhanden sind, daß sie als Wasserstauer für die höheren Bodenmassen dienen, oder

¹⁾ Kriegstechn. Zeitschrift, 1913, Heft 10, S. 5.

endlich so gering mächtig sind, daß sie noch mit nicht zu großem Zeitaufwand durchteuft werden können. Es ist wohl als ausgeschlossen zu bezeichnen, daß diese Aufgaben von anderen als fachmännisch geschulten Geologen gelöst werden können. Von großer Bedeutung wird es für solche Gebiete sein, schon vor dem Kriege möglichst viel Material an Karten und Profilen gesammelt zu haben. Denn im Kriege läßt sich das vielfach nicht improvisieren. Selbst die großen geologischen Institute und Büchereien der Hochschulen und die Landesanstalten haben meist nur einen oder im besten Falle wenige Abzüge der geologischen Karten aus Feindesland zur Verfügung und sind meist nicht in der Lage, diese den kämpfenden Truppen mitzugeben, weil sie ja auch zu Hause oft genug Anfragen über solche Gebiete auf Grund der Karten beantworten müssen.

2. Schichtquellen bei flacher Lagerung der Schichten (z. B. Nordost-Frankreich, Côtes Lorraines, Champagne).

Im Gebirge oder Hügellande ist das Vorhandensein von Wasser am leichtesten bei flacher Lagerung der Schichten vorauszusagen. Man hat dabei hauptsächlich zwei Fälle zu unterscheiden, nämlich a) den, daß durchlässige Gesteine in großer Mächtigkeit über undurchlässigen liegen, und b) den, daß die durchlässigen Gesteine nur verhältnismäßig unbedeutende Zwischenlagen innerhalb der durchlässigen Bildungen darstellen. Betrachten wir zunächst den ersteren Fall.

a) Die durchlässigen Gesteine überlagern in größerer Mächtigkeit die undurchlässigen.

Der ganze obere Teil eines Berges oder Hügels bestehe aus durchlässigem Sandstein, Kalkstein usw. In der Tiefe streicht rings um den Berg eine undurchlässige Schicht (Ton, Mergel oder ähnliches) aus. Sind zahlreiche Aufschlüsse vorhanden, so ist die obere Grenzlinie der quellstauenden Schicht leicht festzustellen. Es ist aber irrig, nun anzunehmen, daß rings um den Berg herum Quellen in dieser Linie zu erschürfen wären. Denn so gut wie alle durchlässigen festen Gesteine sind von Spaltensystemen durchsetzt. Und zwar scheinen in

den meisten Gebieten der Welt zwei annähernd senkrecht zur Schichtung und annähernd senkrecht aufeinanderstehende Kluftgruppen entwickelt zu sein. Diese Klüfte leiten je nach ihrer Stärke und Häufigkeit das Wasser in bestimmte Richtungen, und es werden daher die Quellaustrittsstellen ungleichmäßig verteilt sein. Ebenso wird eine Neigung der quellstauenden Schicht das Wasser in höherem Maße nach der Seite der Fallrichtung als nach der entgegengesetzten Seite leiten. Doch ist es nicht richtig, es nur auf der tieferen Seite zu erwarten. Denn das Wasser fließt im Innern des

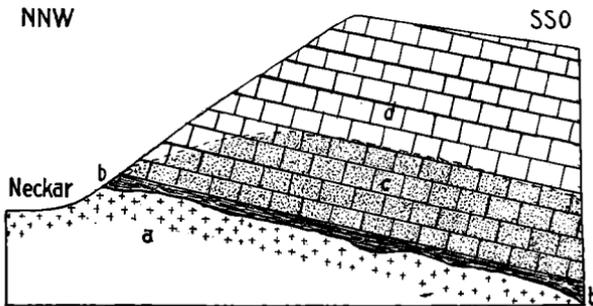


Fig. 2. Schematisches Profil des Königstuhls bei Heidelberg.
a Granit. b Rotliegendes, Zechstein' und undurchlässige Tone des untersten Buntsandsteins. c Wasserkuppe innerhalb des Buntsandsteins (schematisch). d wasserfreier Buntsandstein.

Berges, wie übrigens auch in den Grundwassergebieten der Ebene nicht etwa in der Richtung des Gefälles seines Untergrundes, sondern in der Gefällsrichtung seiner eigenen Oberfläche ab. Diese aber ist im Innern von Bergen gewölbt. (Siehe Fig. 2.) So fließt z. B. das Buntsandsteinwasser des Königstuhles bei Heidelberg trotz der etwa nach SSO gerichteten Neigung der Schichten auch auf dem Nordhange des Berges heraus.

Meist werden aber im mitteleuropäischen Klima und im Hügellande, ja auch noch in den niedrigeren Mittelgebirgen, die Aufschlüsse gar nicht so zahlreich vorhanden sein, daß man aus ihnen ohne weiteres die obere Grenze der quellstauenden Schicht festlegen kann. Hier ist der Geologe vielmehr gezwungen, mit den Lesesteinen des Gehängeschuttes

zu arbeiten. Und es gilt die selbstverständliche Regel, die Grenze über den obersten Lesesteinen der unteren Schicht, ja nicht aber unter den untersten Steinen der oberen Schicht zu ziehen. Denn es steht fest, daß der Gehängeschutt nicht dauernd stillliegt, sondern eine Neigung hat, langsam an den Gehängen herunter zu kriechen (Götzingers »Gekriech«). Immerhin ist diese Bewegung so gering, daß sie nach meinen Erfahrungen meist keine sehr bedeutenden Fehler hervorrufen würde. Eine viel wichtigere und bisher noch wenig in ihrer Ausdehnung und ihrem quantitativen Betrage festgestellte Erscheinung ist aber die, daß in der Diluvialzeit sehr viel größere und raschere Bewegungen des lockeren Verwitterungsbodens stattgefunden haben als in der Gegenwart. Ich meine das sog. Bodenfließen, I. G. Anderssons »Solifluktion«. Ich habe dieser in der Gegenwart in den polaren und subpolaren Gebieten allgemein verbreiteten, aber auch in unseren Hochgebirgen beobachteten Erscheinung eben eine kurze Darstellung in der Geologischen Rundschau, Bd. VII, Heft 1 gewidmet und darin gezeigt, daß offenbar eine erhebliche Zahl der Bodenformen unserer deutschen und wohl auch der französischen Mittelgebirge nur unter Annahme weitgehenden Bodenfließens in der Diluvialzeit erklärbar ist. Die Felsenmeere unserer Mittelgebirge, ausgedehnte Bodenrutschungen in den Mergel- und Tongebieten, ein Teil des Hakenschlagens der Schichtköpfe und viele ähnliche Erscheinungen sind wohl meist nicht auf das Gekriech der Gegenwart, sondern auf diluviales Bodenfließen zurückzuführen. Und dies hat an vielen Stellen die tieferen Hänge unserer Hügel und Berge bis weit hinunter mit Schuttmassen der höheren Gehänge überschüttet. So findet man z. B. bei Heidelberg die widerstandsfähigen Gesteine der obersten Abteilung des mittleren Buntsandsteins an einzelnen Stellen tief an den unteren Hängen der Berge über den älteren Bildungen abgelagert. Wollte man also hier nach den Lesesteinen allein kartieren und gar nach ihnen Schichtquellen aufsuchen, so würde man zu sehr groben Fehlern kommen. Ich halte es für ausgeschlossen, daß Nichtfachgeologen imstande sein sollten, die sich daraus ergebenden Schwierigkeiten zu überwinden; und

selbst dem Fachmann wird es oft große Mühe und Zeitverlust verursachen, ehe er in solchen Gebieten zu einwandfreien Ergebnissen kommt. Er wird sich daher auch all der Wasseranzeichen bedienen, die uns die Natur in anderer Weise bietet. Er wird aus dem Auftreten von feuchtigkeitsliebenden Pflanzen, im Winter aus dem Grünbleiben des Rasens und anderer Kräuter, aus dem raschen Abschmelzen des Schnees an bestimmten Punkten, aus der Bildung von Eisansammlungen Stellen erkennen, an denen Wasser zu erwarten ist. Er wird Terrainmulden und Trockentäler vor den Rücken bevorzugen und all die ähnlichen Methoden und Kniffe anwenden, die den Wassersuchern bekannt sind¹⁾.

b) Die durchlässigen Schichten sind in geringer Mächtigkeit den undurchlässigen eingelagert.

Hier kommt alles darauf an, ob die durchlässigen Schichten überhaupt Wasser von irgendwoher in größerer Menge aufnehmen können. Das wird im allgemeinen nur bei geneigter Lagerung der Schichten der Fall sein (z. B. Pariser Becken). Wenn der Ausstrich der durchlässigen Schicht dann eine größere Fläche bedeckt, so können sich sehr erhebliche Massen von Wasser in der Schicht ansammeln, und man wird dies Wasser überall, wo die Schicht durch Brunnen oder Bohrungen erreichbar ist, antreffen. Ja, sehr häufig wird dieses Wasser artesischen Auftrieb haben und damit in erheblichen Mengen bequem gewonnen werden können. Bekanntlich beruht auf dieser Tatsache die Erbohrung des sehr leistungsfähigen artesischen Brunnens von La Grenelle bei Paris. Da man bei dieser Art der Wassergewinnung im allgemeinen mit größerer Tiefe zu rechnen hat und eine genaue Kenntnis des geologischen Baues auch der weiteren Umgebung Voraussetzung ist, so wird auch hier wohl nur der Fachgeologe als Berater in Betracht kommen. Dringend notwendig ist es aber auch hier, schon im Frieden das notwendige Karten- und Profil-

¹⁾ Sie sind zusammengestellt und ausführlich beschrieben bei Lueger-Weyrauch, a. a. O. S. 453 bis 466 und bei Keilhack, a. a. O. S. 421 bis 432.

material gesammelt zu haben. Im gegenwärtigen Kriege kommt diese Art der Wassergewinnung für manche Gebiete von Nordost-Frankreich in Frage.

3. Schichtquellen bei steiler Lagerung der Schichten und Spaltenquellen (Verwerfungs- und Kluftquellen).

So sehr sich auch in theoretischer Hinsicht die beiden hier zusammengefaßten Quellgruppen unterscheiden, so ähnlich gestaltet sich vielfach ihre praktische Behandlung. Beiden ist es im Gegensatz zu den im vorhergehenden behandelten Wassergruppen gemeinsam, daß sie nicht flächenhaft unter der Oberfläche verbreitet sind, sondern schmale Adern bilden. Es ist daher viel schwerer, ihr unterirdisches Vorhandensein genau örtlich zu begrenzen. Dabei sind wieder unter den Spaltenquellen diejenigen zu unterscheiden, welche größeren Verwerfungen folgen (Verwerfungsquellen) und die, welche den tektonischen Spaltensystemen der Sedimente oder den Schrumpfungsspalten der Erstarrungsgesteine folgen (Kluftquellen). Bei den hier in Betracht kommenden Schichtquellen und den Verwerfungsquellen hat der Geologe nach Untersuchung des Geländes noch ein verhältnismäßig leichtes Spiel. Er kann das Ausstreichen der zwischen undurchlässigen Bildungen eingelagerten wasserdurchlässigen Schichten, ihre tektonischen Mulden und die größeren Verwerfungen leicht verfolgen, und wird besonders unter Benutzung der auf S. 34 besprochenen Wasseranzeichen wohl in vielen Fällen mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit passende Stellen für Wasserschürfung angeben können. Im Kalksteingebirge ist hier sogar noch ein anderes sehr gutes Kennzeichen unterirdischer Wasserläufe und -Adern in Gestalt reihenförmig angeordneter Erdfälle (Dolinen) vorhanden, wie ich sie z. B. ganz typisch auf dem Weißenstein im Schweizer Jura gesehen habe, und wie sie Stille bei seiner zitierten Untersuchung der Paderquellen beschrieben hat (a. a. O. S. 124)¹).

Ungleich schwieriger gestalten sich die Verhältnisse bei den auf Gebirgsdruck beruhenden Fugensystemen der Sedi-

¹) Siehe auch Lueger-Weyrauch, S. 462.

mente und den Schrumpfungsfugen der Erstarrungsgesteine. Sie pflegen in sehr großer Zahl vorhanden zu sein und ziemlich regelmäßig über das Gelände verstreut zu liegen. Welche von ihnen Wasser führen werden, das kann man im allgemeinen nicht voraussagen; und man wird dalier fast ganz auf die äußeren Kennzeichen des Vorhandenseins von Wasser angewiesen sein, wie sie schon auf S. 34 beschrieben wurden. Es ist in der Tat nicht einzusehen, wie man es einem Granitgebiet ansehen soll, an welchen Stellen im Innern des Gesteins die Klüfte weit genug sind, um Wasser zu führen, an welchen nicht. Hier versagt die Geologie im allgemeinen und es wird daher der Laie sofort an die Wünschelrute denken. Ich kann daher nicht umhin, meine persönliche Stellung zu dieser vielumstrittenen Frage zu kennzeichnen¹⁾. Ich nehme in ihr einen Standpunkt ein, der wohl stark von dem von der Mehrheit meiner Fachgenossen vertretenen abweicht. Ich kann ihn freilich an dieser Stelle nur ganz kurz begründen, möchte das aber doch im Hinblick auf die allgemeine Bedeutung der Frage nicht versäumen. Vor allen Dingen stelle ich fest, daß jetzt wohl die Mehrheit der wissenschaftlich gebildeten Anhänger der Wünschelrute zugeben wird, daß es nicht die Wünschelrute selbst ist, die — immer vorausgesetzt, daß die Angaben der Rutengänger auch nur zu einem Teile zutreffen — den Ausschlag gibt. Finden solche Ausschläge wirklich in einwandfreier Weise statt, so ist es das Nervensystem des Rutengängers, das reagiert, und die von diesen Nerven regierte Muskulatur, die die Rute zum Ausschlag bringt. Denn der

¹⁾ Dieser Abschnitt ist zwischen dem 16. und dem 20. Dez. 1915 in Heidelberg niedergeschrieben, also, wie ich hier ausdrücklich hervorhebe, vor der Kriegsgeologentagung in Frankfurt a. M. vom 7. Jan. 1916. Ich habe absichtlich kein Wort daran geändert, obwohl dort manches gesagt wurde, was dazu Veranlassung geben konnte. Auch erhielt ich mittlerweile die für die Beurteilung der Wünschelrute wichtige Schrift von O. v. Linstow: »Ergebnisse von Grundwasserfeststellungen mittels der Wünschelrute« usw. Naturw. Wochenschrift 1916. Nr. 11, S. 161—164. Auch die schon auf S. 28 zitierten Arbeiten von L. van Werveke enthalten auf S. 13—16 wichtige neue Angaben.

eine Rutengänger benutzt eine Rute aus gebogenem Metalldraht, der andere nimmt einen Haselnuß-Gabelzweig, der dritte wieder ein anderes Holz; und es besteht also weder in der Form der Rute noch in ihrem Material irgend eine Übereinstimmung. Das läßt mich ausschließen, daß eine physikalische Einwirkung von unterirdisch verborgenem Wasser oder anderen festen Substanzen die Wünschelrute unmittelbar zum Ausschlag bringen könne. Es bleibt aber die Möglichkeit bestehen, daß das Nervensystem einzelner, für solche Zwecke besonders geeigneter Menschen durch, sei es Strahlungen, sei es Emanationen, sei es irgendwelche elektrische oder magnetische, vielleicht überhaupt noch unbekannte Vorgänge erregt werden kann. Trägt nun der reagierende Mensch irgend einen Gegenstand in so unbequemer, labiler Stellung, daß seine ganze Aufmerksamkeit notwendig ist, um diese Stellung nicht zu verändern, dann kann in der Tat eine Reaktion seines Nervensystems durch Vermittelung der Muskulatur einen Ausschlag hervorbringen. Ob das möglich ist oder nicht, ist keine geologische, sondern eine physiologische Frage; und Physiologen, die ich danach befragt habe, haben mir darauf in ganz verschiedener Weise geantwortet. Die einen schließen die Möglichkeit einer Beeinflussung aus oder hielten sie wenigstens für sehr unwahrscheinlich, die andern hielten sie für sehr leicht möglich. Wir sind also gezwungen, zur Entscheidung dieser Frage die Erfahrungen, die man mit Rutengängern gemacht hat, heranzuziehen. Leider ist der allergrößte Teil dieser Erfahrungen nicht in wissenschaftlich einwandfreier Weise festgelegt worden, und es scheint mir ganz unzweifelhaft, daß sich unter den Rutengängern der Vergangenheit eine recht erhebliche Anzahl von Leuten befunden hat, die entweder bewußt die anderen getäuscht haben oder unbewußt sich selbst und die anderen täuschten. Es liegt mir aber ganz fern, den guten Glauben und die Ehrenhaftigkeit aller Rutengänger anzweifeln zu wollen. Viele von ihnen sind unbestritten Ehrenmänner, die von der Richtigkeit dessen, was sie tun, fest überzeugt sind. Der Hauptpunkt aber ist der, daß es mir trotz aller Skepsis der meisten meiner Fachgenossen denn doch scheinen

will, als ob zum mindesten in einem kleinen Teil der Fälle die Wünschelrute an den richtigen Stellen einen Ausschlag gegeben hat. So scheinen mir die Versuche, die Herr Bergassessor Behrend in dem mir persönlich bekannten Kalibergwerk Hänigsen bei Hannover hat vornehmen lassen, ganz einwandfrei zu zeigen, daß einzelne einwandfreie Rutengänger beim Übergang von einem Gestein zu bestimmten anderen Ausschläge ihrer Rute erhielten. Ich halte es daher für dringend wünschenswert, daß unter Aufsicht von Geologen an hierzu geeigneter Stelle systematische wissenschaftliche Versuche über die Anwendbarkeit der Wünschelrute vorgenommen werden. **Ich möchte aber gleich davor warnen, aus meinen Ausführungen zu schließen, daß ich die Wünschelrute bei dem jetzigen Kenntnisstande als ein Mittel zur Auffindung von Wasser empfehle.** Denn wenn die Versuche von Behrend richtig sind, wie ich glaube, so zeigen bereits sie, daß die Rutengänger nicht bloß auf Wasser, sondern auch auf Gesteinswechsel reagieren. Ja, wenn die Aussagen der Rutengänger richtig sind, so gibt es solche, deren Rute bei Vorhandensein von Gold Ausschläge gibt; bei andern zeigt die Rute Kohle an, wieder bei anderen Petroleum oder Salz usw. Gehe ich also mit einem Rutengänger über einem unbekanntem Untergrunde und schlägt seine Rute aus, so weiß ich ja gar nicht, was die Rute anzeigt, ob Wasser, Erz, Kohle oder Petroleum; und es scheint mir also zweifellos festzustehen, daß beim gegenwärtigen Stande unserer Erkenntnis des Wünschelrutenproblems die Wünschelrute wenigstens nicht ohne Mitwirkung und Kontrolle von Geologen zum Aufsuchen von Wasser verwendet werden darf. Ich halte es aber für möglich, daß es in der Zukunft gelingt, eine Einwirkung unterirdischer Substanzen auf die menschlichen Nerven und ev. auch auf feine physikalische Instrumente so nachzuweisen, daß die Rutengänger oder Instrumente in den Dienst praktischer Forschungen über unterirdische Substanzen gestellt werden können.

Kehren wir nach diesen Erörterungen über die Wünschelrute zu der Frage zurück, wie sich der Geologe in den Gebieten der eigentlichen Kluftquellen zu verhalten hat,

so bemerke ich, daß er trotz aller Schwierigkeiten immerhin die Hände nicht ganz in den Schoß legen wird, denn in allen solchen Gebieten kommen doch auch größere Verwerfungen im festen Gestein vor, die selbst in Tiefengesteinen wie Granit durch Zerrüttungszonen, Reibungsbreccien, Ruschelzonen und ähnliches nachweisbar sind. In den Tälern sind Schotter und Sandmassen abgelagert, die Wasser führen können. Die allgemeine Morphologie des Geländes, die Vegetation und die schon wiederholt erwähnten oberflächlichen Wasserkennzeichen werden hier und dort helfen. Er wird daher auch ohne Wünschelrute oft genug Wasser finden oder vor unnützem Suchen nach Wasser warnen können.

VI. Entwässerung.

Im Stellungskrieg hat es sich in nassen Zeiten oft genug gezeigt, daß für die Gesundheit der Truppen Entwässerung nicht weniger wichtig ist als Wasserversorgung. Es sind daher von den Kriegsgeologen, von Pionieren und anderen zahlreiche Vorschläge gemacht und oft genug mit Erfolg ausgeführt worden, um Schützengräben und Unterstände vom Wasser zu befreien.

Ich unterlasse es an dieser Stelle, auf alle rein technischen Dinge (Pumpen und ähnliches) einzugehen¹⁾, sondern behandle nur ganz kurz die geologischen Verhältnisse, die für solche Fragen eine Rolle spielen.

In meinem Vortrage über Kriegsgeologie²⁾ habe ich auf S. 11 bis 12 erläutert, daß man Oberflächenwasser mit Erfolg beseitigen kann, wenn es gelingt, es durch Schächte oder Ablaufrohre in tiefere für Wasser durchlässige Schichten ein-

¹⁾ Eine ausgezeichnete, warm zu empfehlende Schrift über Erbauung und Entwässerung von Schützengräben bekomme ich soeben nach Abschluß meiner Urschrift zugesandt. Sie stammt von dem vortrefflichen Kenner der Wasserfragen, Dr.-Ing. G. Thiem, Leipzig, Plagwitzerstr. 9, und kann von Heeresangehörigen von dem Verfasser bezogen werden. Thiem behandelt gerade die technischen Fragen ganz eingehend.

²⁾ Heidelberg 1915 bei C. Winters' Universitätsbuchhandlung.

sickern zu lassen. Selbstverständlich ist Voraussetzung dafür, daß diese tieferen Schichten einen genügenden Gesamthohlraum (Porenvolumen und Spalten) haben und nicht bereits von ruhendem Wasser erfüllt sind. Unsere Kriegsgeologen haben auf diesem Gebiete schon während des jetzigen Krieges mit Erfolg gearbeitet und viele Erfahrungen gesammelt, die sie selbst nach dem Kriege veröffentlichen werden, und auf die ich schon deswegen, wie aus anderen naheliegenden Gründen hier nicht eingehen kann. Ich will hier nur kurz auf ein paar einfache Verhältnisse hinweisen, deren Beachtung unter Umständen nützen kann.

Zeigt es sich bei der Anlage von Schützengräben oder Unterständen an geneigten Hängen, daß die eindringende Feuchtigkeit parallel zu der Hangoberfläche heruntersickert, was in Verwitterungsböden oft genug der Fall sein wird, so reicht zur Trockenlegung oft ein dreieckig oder gebogen ausgeführter Entwässerungsgraben aus. Die beistehende Skizze (Fig. 3) veranschaulicht das. Herr Leutnant der Reserve Dr. Frantz erzählte

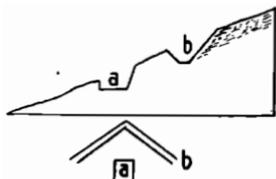


Fig. 3. Oben Profil (Aufriß), unten Grundriß. a Unterstand, b Entwässerungsgraben.

mir, daß er auf diese Weise im jetzigen Kriege einen Unterstand völlig trockenlegen konnte. Ebenso möchte ich noch einmal besonders darauf hinweisen, daß im Löß und Schwemmlöß die Verwitterungslehme der Oberfläche leicht einen undurchlässigen nassen Boden vortäuschen können. Die Verwitterungslehme werden aber gewöhnlich so wenig mächtig sein, daß man Unterstände und Gräben nur wenig zu vertiefen braucht, um das Wasser von selbst im Boden verschwinden zu sehen.

Das Anlegen von Senkschächten zur Entwässerung kann unter besonderen, allerdings seltenen Umständen auch einmal schädlich werden. Liegt nämlich unter der oberen Schicht gespanntes Wasser oder wassererfüllter Schwimmsand, dann können diese rasch durch den Senkschacht emporquellen und recht große Schwierigkeiten verursachen. Es wird ohne

genaue geologische Kenntnis einer Gegend im allgemeinen nicht möglich sein, diese Gefahr vorauszusagen.

Eine sehr wichtige und gerade in Nordostfrankreich anwendbare Methode zur Wasserbeseitigung habe ich in der kriegsgeologischen Literatur noch nicht erwähnt gefunden. Das ist die Anlage von Saugbrunnen. Sie sind eingehend geschildert bei Daubrée, *Les eaux souterraines I*, Paris 1887, bei Dunod, S. 161 bis 163, kürzer bei Keilhack (a. a. O. S. 273 bis 274) und Höfer (a. a. O. S. 102 und Fig. 43)¹⁾. Daubrée, der sich seinerseits wieder auf Delaunays *Cours élémentaire de mécanique*, 1851, S. 454 stützt, geht von artesischen Brunnen aus. Dabei pflegt man meist an die Verhältnisse im Gebirge zu denken. Indessen hebe ich hervor, daß wir in den Aufschüttungsebenen, wenn mehrere Grundwasserstockwerke übereinanderliegen, ebenfalls sehr oft die tieferen Stockwerke unter artesischem Druck finden. Zum Begriff des artesischen Wassers gehört eben nicht eine bestimmte Lagerungsform oder auch, wie Laien vielfach glauben, das oberflächliche Ausfließen des Wassers. Weyrauch sagt darüber sehr richtig S. 351: »Der Begriff artesisches Wasser bedingt bekanntlich nur, daß das Wasser in gespanntem Zustand sei, nicht daß es über Terrain ausfließe« und (S. 352): »Allgemein tritt also artesisches Wasser auf, wenn der wasserführende Querschnitt zwischen zwei undurchlässigen Schichten zur Fortführung der anfallenden Wassermenge nicht ausreicht.« Sobald wir also mit einem Bohrloch eine artesische Wassermenge erreichen, stellt das Bohrloch den einen, die in den Boden einsickernde Wassermenge den zweiten Teil eines kommunizierenden Röhrensystems dar. Die Steighöhe im Bohrloch entspricht dem hydrostatischen Druck minus Reibungsverlust. Liegt nun die Öffnung eines Bohrloches unterhalb der Steighöhe (Daubrées piezometrischem Niveau), so dringt das gespannte Wasser oben heraus, liegt sie aber oberhalb der Steighöhe, so steht das Wasser im Bohrloch in einer gewissen Tiefe. Und dies Niveau entspricht einem Gleich-

¹⁾ Lueger-Weyrauch erwähnen die »negativen artesischen Brunnen« nur ganz kurz auf S. 783.

gewichtszustand. Entnimmt man Wasser durch Pumpen, so dringt es von unten nach, schüttet man aber von oben Wasser ein, so versinkt die zugeführte Menge spurlos im Boden, und man kann riesenhafte Wassermassen auf diese Weise zum Verschwinden bringen. Daher die französische Bezeichnung »Boit-tout« oder »Puits absorbant«. Daubrée gebraucht den Ausdruck *boit-tout* allerdings auf S. 314 des ersten Bandes seines Werkes auch für gewöhnliche Löcher im Kalksteingebirge von Hérault, die große Mengen von Wasser aufnehmen.

Man benutzt die Saugbrunnen vielfach, um den Boden in der Nähe von wichtigen Geländen trockenzulegen, um Sumpfgebiete zu entwässern oder Industrieabwässer zu beseitigen. Und es ist gar kein Grund einzusehen, warum man sie nicht auch im Stellungskriege mit Erfolg anwenden könnte, wenn man die Bodenverhältnisse genau genug kennt, um voraussagen zu können, bis zu welcher Tiefe ungefähr gebohrt werden mußte.

Einen besonders interessanten Fall der Anwendung der Saugbrunnen erzählt Daubrée (S. 162) von St.-Denis bei Paris. Man traf dort zuerst bei einer Bohrung ein absorbierendes Wasserniveau an, weiter unten zwei artesisch bis zur Erdoberfläche emporsteigende, von denen das tiefere besseres Wasser lieferte. Man baute nun drei konzentrisch ineinander steckende Rohrsysteme ein, von denen das innerste den tieferen artesischen Horizont emporbeförderte, während der Zwischenraum zwischen dem innersten und dem mittleren Rohre das zweite artesische Niveau hinaufführte. Das weit äußerste Rohr wurde nur bis zur Tiefe der absorbierenden Schicht hinunter gebracht. Der Raum zwischen ihm und dem mittleren Rohr diente dazu, den Wasserüberschuß wieder im Boden zum Verschwinden zu bringen.

VII. Quellfassungen und Brunnenarten.

Das Fassen von Quellen und das Anlegen von Brunnen ist Sache der Techniker und nicht der Geologen, wird also beim Heere entweder von Pionieren oder von Mannschaften

ausgeführt werden, die in ihrem bürgerlichen Berufe Erfahrung auf diesem Gebiete gesammelt haben. Immerhin wird es nicht selten vorkommen, daß die im Heeresdienst stehenden Geologen oder in Ermangelung solcher beliebige Offiziere, wenigstens vorläufige oder vorbereitende Arbeiten dieser Art vorzunehmen haben. Da nun der Geologe auf den Universitäten von diesen technischen Dingen in der Regel leider fast nichts erfährt, der Laie aber solchen Fragen ganz hilflos gegenüberzustehen pflegt, so will ich vor allen Dingen auf eine Anzahl von Schriften hinweisen, in denen man sich gründlich über den Gegenstand unterrichten kann und will selbst wenigstens ein paar kurze Bemerkungen hinzufügen. Ich nenne:

Lueger-Weyrauch (a. a. O.), Über Quellfassungen, S. 679 bis 725. Über Brunnensysteme S. 762 bis 805.

A. Scherrer, »Über die Fassung von Mineralquellen«. Deutsches Bäderbuch, Leipzig 1907 bei J. J. Weber. S. XXVIII bis XXXI.

I. Knett, »Grundzüge der Mineralquellentechnik, insbesondere Fassung der Mineralquellen«. Österreichisches Bäderbuch, Berlin-Wien 1914, bei Urban & Schwarzenberg, S. 122 bis 141.

Keilhack (a. a. O.) S. 434 bis 440 zitiert die Scherrerschen Ausführungen wörtlich.

Im Kriege wird es sich in der Regel nicht darum handeln, tadellose, nach allen Regeln der Kunst ausgeführte Quellfassungen zu schaffen. Man wird zwar von diesen verlangen, daß sie allen hygienischen Anforderungen genügen, wird sich aber auf provisorische, nur auf Monate, allenfalls 1 bis 2 Jahre berechnete Fassungen beschränken. Man wird darum und der Not gehorchend, wenn auch ungerne, selbst von Materialien wie Holz¹⁾ Gebrauch machen, welche bei längerer Dauer der Benutzung sowohl aus hygienischen wie aus technischen Gründen zu verwerfen wären. Der einfachste, sehr häufig in Betracht kommende Fall ist der, daß man im Gebirge an irgend einer Stelle eines Hanges einen oder mehrere

¹⁾ Nur dauernd unter Wasser befindliches Holz hält sich gut.

Quellfäden aus dem Gehängeschutt austreten sieht (Hangquelle). Da man zunächst gar nicht wissen kann, woher das Wasser kommt, ob es nicht irgendwo im Boden Verunreinigungen aufnimmt, und da man auch den Wunsch haben wird es bequemer schöpfen zu können, so muß man zu einer Fassung schreiten. Dabei wird man nach der Natur der Örtlichkeit ganz verschieden vorgehen müssen. Aber zwei Verfahren werden sich in vielen Fällen mit Erfolg durchführen lassen. Vermutet man auf Grund der geologischen Verhältnisse, daß die Quellen auf einer bestimmten Linie (Schichtfläche, Verwerfung usw.) des Gehänges austreten, so wird man wenig unterhalb dieser Linie einen Schlitz im Gehänge ziehen, um die Wasserfäden näher an ihrer Austrittsstelle wiederzufinden. Hat man keine derartigen Anhaltspunkte, so wird man den Boden am oberen sichtbaren Ende des Wasserfadens, bei Torfmooren an der oberen Seite des Moores abgraben lassen und wird mit der Grabung stets dem Wasserfaden aufwärts folgen, bis man ihn hier wie im ersten Falle, wenn möglich aus dem festen Fels austreten sieht. Es kann das eine sehr langwierige Arbeit sein, da die Quellen in den mächtigen, in unserem Klima gewöhnlich auftretenden Schuttdecken ganz verwickelte Wege benutzen. Ja, es kann bei sehr tiefgehender Zerrüttung des Gesteins unmöglich werden wirklich festen Fels zu erreichen. Auf alle Fälle wird man so tief gehen, bis man Grund zu der Annahme hat, daß nun eine Verunreinigung des Quellfadens von oben oder von den Seiten her unmöglich ist. Die Austrittsstelle der Quelle aus dem Boden ist dann bei längerdauernden Anlagen durch Beton oder Mauerwerk, bei kürzerer Dauer wenigstens durch Holz so zu überbauen, daß weder eine absichtliche, noch eine unabsichtliche Verunreinigung zu fürchten ist. Insbesondere wird die Fassung mit einem wasserdichten Dach zu versehen sein. Im Kriege wird man dafür den im Frieden gern zur Abdichtung verwendeten Asphalt kaum nehmen können. Es empfiehlt sich dann der Gebrauch von Dachpappe, Blech, unter Umständen auch von Ton oder Lehm zusammen mit ihnen.

Ein erfahrener Quellkenner kann unter Umständen durch Reinigung der Gesteinsspalten, durch Aufstauung oder Sen-

kung des Abflusses die Wassermenge vermehren. Staut man freilich zu hoch, so kann das Wasser, das ja stets der Richtung des geringsten Widerstandes folgt, zu einem Abfluß in anderer Richtung gezwungen werden und verloren gehen. Durch unvorsichtiges Arbeiten (Zerstörung eines natürlichen Staudammes des Wassers) kann die Wassermenge erheblich verringert werden¹⁾. Tritt eine Quelle auf dem flachen Boden einer Aufschüttungsebene (z. B. Talaue) in Form eines Quelltümpels aus (Sprudelquelle), so wird man diesen wegen der stets darin enthaltenen Verunreinigungen nicht unmittelbar benutzen dürfen. Man muß dann die natürliche Bodengrenzung durch ein gemauertes oder betoniertes Becken ersetzen und wird dies gegen Verunreinigung von der Seite und von oben schützen. Es wäre nun am bequemsten, das Becken so hoch über sein ursprüngliches Niveau aufzumauern, daß eine seitliche Entnahme durch ein Rohr möglich ist. Und das wird auch in vielen Fällen gehen. Es kann aber durch die Aufstauung des Wassers und die dadurch bewirkte Vermehrung des hydrostatischen Druckes der Quelfaden gezwungen werden, sich ganz oder teilweise einen anderen Weg zu suchen. Will man also sicher sein, daß die Ergiebigkeit der Quelle nicht verringert wird, so darf man den Spiegel nicht erhöhen und muß unter Umständen durch Entfernung des umgebenden Erdreichs Platz schaffen. Umgekehrt kann man oft genug durch seine Absenkung eine Vermehrung des Wasserzuflusses erreichen. Die Anbringung eines seitlichen Ausflußrohres kann übrigens umgangen werden, wenn man das Wasser durch ein Heberrohr von oben entnimmt. Lueger-Weyrauch (S. 688) empfehlen dafür das selbstentlüftende Heberrohr D.R.P. von C. G. Dachsel in Wachwitz bei Dresden.

Eine Methode primitiver Quelfassung, die schon die Römer angewandt haben, und die sowohl bei Sprudel-, wie bei Hangquellen unter Umständen heute noch verwertet werden kann, ist von Scherrer a. a. O. S. XXIX beschrieben worden. Über die Quellaustrittsstelle des Felsens oder die gemauerte

¹⁾ Man vgl. in dieser Hinsicht die ausführlichen Darlegungen bei Lueger-Weyrauch, S. 681 bis 683.

Fassung einer Sprudelquelle wird eine große Steinplatte auf die vorher entsprechend gerichtete Fläche gelegt. »In die Steinplatte wurde ein rundes Loch gemeißelt, und am Rande der Steinplatte wurden zwischen diese und die Felsoberfläche genau eingepaßte Holzkeilchen, eines dicht an das andere getrieben, bis das Wasser zwischen Felsen und Platte nicht mehr austreten, sondern durch das Loch über der Platte aufsteigen mußte. In dieses Loch sind nachher metallene oder hölzerne Steigrohre eingeschlagen worden, um das Wasser nach oben zu führen.«

Brunnenarten.

Wie schon gesagt, kann es nicht meine Aufgabe sein, hier die Brunnenarten wirklich zu beschreiben. Wer sich eine eingehende Kenntniss von ihnen erwerben will, der findet in dem zitierten Abschnitt von Lueger-Weyrauch und ebenso in anderen technischen Handbüchern ausgezeichnete ausführliche Darstellungen. Aber gewisse einfache Tatsachen sollten auch dem Kriegsgeologen, dem Truppenoffizier und natürlich auch dem Truppenarzt bekannt sein. Ich schließe mich im folgenden im wesentlichen der Darstellung von Lueger-Weyrauch an.

Es gibt eine sehr große Anzahl verschiedener Brunnenkonstruktionen, die man aber im wesentlichen in die beiden Gruppen der Rohrbrunnen und der Kesselbrunnen zerlegen kann. Die ersteren bestehen aus engen, in den Boden eingesetzten, unten mit Schlitzten oder Löchern versehenen Rohren von einem Durchmesser von gewöhnlich etwa 0,1 bis 0,6, seltener bis zu 1,2 m. Die Kesselbrunnen sind in ihrer primitivsten Form einfache, bis in das Grundwasser vertiefte und gegen Einsturz der Wände geschützte Gruben von 1½ bis 3 und mehr m Durchmesser. Die Rohrbrunnen haben neben anderen Vorzügen vor allem den im Kriege in Betracht kommenden, daß sie in allen nicht zu harten Bodenarten, also in Sand und Kies mit zwischengelagerten Tonschichten sehr leicht auch von ungeschulten Mannschaften bis zu über 30 m Tiefe hinuntergetrieben werden können. Daher sind sie

von den Amerikanern im Sezessionskrieg, von den Engländern im Abessinischen Krieg 1867 bis 1868 mit großem Vorteil verwendet worden, und tragen so in der damals angewandten, noch heute zweckmäßigen Form vielfach den Namen »Abessinierbrunnen« (= Nortonbrunnen). Man nimmt dazu eiserne Rohre, die entweder unten spitz oder in eine Schraube mit schmaler horizontaler Endschneide auslaufen, und rammt, schlägt (»Schlagbrunnen«) oder bohrt sie in den Boden bis zur gewünschten Tiefe ein. Oberhalb der Spitze bzw. des Schraubengewindes sind die Rohre geschlitzt. Bei feinsandigem oder tonig-sandigem Boden müssen sie mit Filtern (Drahtsieb) oder sog. »Tressengewebe« versehen werden, damit das Rohr nicht rasch verschlammt. Unangenehm ist es nur, wenn in dem sonst weichen Boden große Steine liegen, da die Rohre sich beim Aufstoßen auf diese verbiegen. Sonst aber gewähren sie die Möglichkeit, in sehr kurzer Zeit das unberührte, und daher meist hygienisch einwandfreie Bodenwasser in oft erheblichen Massen zu gewinnen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß »die Ergiebigkeit von Brunnen bei weitem nicht proportional zu ihrem Durchmesser, sondern langsamer als dieser wächst« (Lueger-Weyrauch, S. 764), so daß man also schon mit ziemlich engen Rohren gute Ergebnisse erzielen kann. Ferner kann man bei Fehlen des Wassers oder ungenügenden Wassermengen, oder bei Aufgabe der Stellung die Rohre gewöhnlich wieder ziehen und an einer anderen Stelle von neuem verwenden. Das Hauptgebiet der Anwendung dieser Abessinierbrunnen werden Aufschüttungsebenen und im Gebirge Talauen sein. In sumpfigen Gebieten haben sie den Vorteil, daß die Rohre dem umgebenden Boden so dicht anzuliegen pflegen, daß man mit ihrer Hilfe oft ein tieferes Stockwerk, unvermischt durch schlechteres höheres Wasser, gewinnen kann. Nur unmittelbar nach dem Rammen und Schlagen liegt der Boden infolge der Vibrationen der Rohre nicht ganz dicht an. Man hilft sich dann dadurch, daß man das Rohr mit aufgeschwemmtem Ton, dem feiner Sand beigemischt ist, umgießt, um eine völlige Abdichtung zu erzielen (Gärtner, S. 480).

Die Kesselbrunnen sind in ihrer primitivsten oben geschilderten Form schon vor undenklichen Zeiten verwendet worden und werden in solchen Formen noch jetzt vielfach auf dem Lande und in den technisch zurückgebliebenen Gegenden angewandt. In technisch entwickelteren Formen sind sie auch jetzt noch sehr brauchbar und werden an vielen Stellen Deutschlands von Fabriken, Gemeinden und Städten gebaut. Die vorher zitierte Form einer einfachen Grube wird ja natürlich schon bei einer auf wenige Wochen berechneten Benutzung zu vermeiden sein. Man mauert dann eben die Grube mit Steinen aus, deren Fugen dem Grundwasser von den Seiten her den Zutritt gestatten. Im Kriege kann man aber, wenn es sich um rasche Herstellung und nur kurz währende Benutzung handelt, in der Not natürlich auch die Wände mit Holz verschalen. Beim Mauerwerk ist ein alter Bauernkniff der, die Zwischenräume der Steine mit Moos auszustopfen, was indessen aus hygienischen Gründen zu verwerfen ist. Selbstverständlich müssen auch solche Kesselbrunnen gegen Verunreinigungen von den Seiten und von oben her geschützt, also gedeckt werden. Ist der Wasserstand nicht sehr tief unter der Oberfläche, so kann das Wasser zwar einfach geschöpft werden, indessen pflegen die mit dem Schöpfen betrauten Personen dabei meist sehr unhygienisch vorzugehen. Liegt daher der Grundwasserspiegel nicht gar zu tief, so wird es sich empfehlen, Pumpen anzubringen, die ja bis zu Saughöhen von 6 m gut arbeiten. Bei noch größerer Tiefe wird man sich auf kurze Zeit mit Zieheimern behelfen können. Noch heute sind derartige, mit einem Göpelwerk versehene Schöpfbrunnen in Ägypten genau in der alten Form in Betrieb, wie in der Zeit der ältesten hiéroglyphischen Darstellungen. Und in Babylon soll sich ein ähnlicher, 3000 Jahre alter, 30 m tiefer, kreisförmiger Brunnen von 1,7 bis 1,8 m Durchmesser befinden, der oben auf 10 m Höhe mit Ringsektorziegeln ausgemauert ist. (Lueger-Weyrauch, S. 737.) Es ist nun gar keine Frage, daß man im Kriege vielfach gerade auf solche primitive technische Methoden der Urzeit der Menschheit mit Vorteil zurückgreifen wird.

Es empfiehlt sich alle Brunnen, deren Herstellungsart das gestattet, außen mit Kies und noch weiter außen mit allmählich feiner werdendem Sand zu umschütten. Dadurch wird eine gute Filtration des Wassers vor dem Eintritt in den Brunnen bewirkt.

Von den hygienischen Gesichtspunkten, die man beim Anlegen von Brunnen zu beachten hat, ist im wesentlichen schon auf S. 14 u. f. die Rede gewesen. Eine sehr gute Darstellung einiger ergänzender technischer Maßnahmen gibt Gärtner (Hygiene des Wassers, S. 480 bis 483). Sehr nützlich ist in dieser Hinsicht auch die von Gärtner mitgeteilte Brunnenordnung des Regierungsbezirkes Schleswig vom 27. Dezember 1906, Amtsbl. S. 16¹⁾. Da wird z. B. sehr mit Recht verlangt, daß Brunnen nur in Entfernungen von mindestens 10 m von Aborten, Senkgruben und Sammelgruben, Dungstätten, Küchenausflüssen, Kanälen und sonstigen zur Aufnahme oder Abführung von Abfallstoffen, Schmutzwässern usw. dienenden Einrichtungen hergestellt werden. »Ablauf- und Niederschlagswässer dürfen weder gegen den Brunnen hinfließen, noch in seiner Umgebung sich stauen. Bei Röhrenbrunnen muß das Rohr mindestens so tief in das Erdreich eingetrieben werden, daß das obere Ende des Saugfilters 3 m unter Terrain liegt.« Bei Kesselbrunnen sind die »Umfassungswände bis zu einer Tiefe von mindestens 2 m wasserdicht herzustellen, die äußere Fläche ist bis zu einer Tiefe von mindestens 2 m mit einer 0,5 m dicken Schicht aus gestampftem Ton oder Lehm gegen das umgebende Erdreich abzudichten.« Endlich hebe ich noch hervor, was dem Hygieniker ohne weiteres klar ist, aber auch von seiten der Pioniere, Kriegsgeologen und Truppenoffiziere zu beachten ist, daß man infizierte oder verdächtige Rohrbrunnen ziemlich leicht und rasch, Kesselbrunnen schwieriger, aber bei längerem Aufenthalt in der Stellung doch auch mit Sicherheit des-

¹⁾ Eine Reihe von gesetzlichen Bestimmungen bez. Vorschriften über Brunnenanlagen, Quellenschutz und ähnliches findet man auch bei Keilhack (a. a. O. S. 487 u. f.) und bei Werveke (a. a. O. S. 41).

infizieren kann. Wo also diese Möglichkeit vorliegt, wird man dadurch immer noch rascher zum Ziele kommen als mit der Anlage neuer Brunnen. (Vgl. Gärtner a. a. O. S. 512 bis 517.) Selbstverständlich muß die Desinfektion nach genauer Anweisung eines Hygienikers stattfinden¹⁾.

¹⁾ Über die Desinfektion des bereits geschöpften Wassers im Kriege gibt es eine sehr umfangreiche Literatur. Dies Thema, für das natürlich der Hygieniker zuständig ist, habe ich an dieser Stelle absichtlich nicht behandelt. Wer sich darüber unterrichten will, findet genaue Schilderungen in den Schriften von 1. Dr. Haupt, Die Beschaffung von keimfreiem Oberflächenwasser im Felde (Zeitschr. »Das Wasser«, Jahrg. 11, Nr. 6, 25. Febr. 1915, S. 91 bis 95). 2. Dr.-Ing. G. Thiem, Keimfreies Wasser fürs Heer (1916, Verlag d. internationalen Zeitschr. für Wasserversorgung, Leipzig 64 S. u. 9 Abbild.). 3. Stabsarzt a. D. Dr. Christian, Trinkwasserversorgung im Felde (»Das Wasser«, 25. März 1915, Jahrg. 11, Nr. 9, S. 135 bis 140) usw.

Die Entnahme von Wasser im Kriege zur chemischen oder bakteriologischen Prüfung wird, wenn irgend möglich, ebenfalls durch Hygieniker stattfinden. Steht kein Hygieniker zur Verfügung, so findet der Laie eingehende Schilderungen der Methoden in H. Kluts Buch: Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle. (Berlin 1916, III. Auflage bei J. Springer.)
