

Wissenschaftlich-Technischer Informationsdienst

UDO REICH

Hydrogeologie

Lehrmaterial

für die Ausbildung

der Geologiefacharbeiter



Sonderheft

5

Zentrales Geologisches Institut

Wissenschaftlich-Technischer Informationsdienst

herausgegeben vom

Zentralen Geologischen Institut

im Auftrag des Staatssekretariats für Geologie

Jg. 9/Sonderheft 5

1968

Berlin

Lehrmaterial für die Ausbildung der Geologiefacharbeiter

Hydrogeologie

Autor: Dipl.-Geogr. Udo REICH

VEB Geologische Forschung und Erkundung, Halle/Saale

Chefredaktion: Dr. F. STOCK unter Mitwirkung des Arbeitskreises
zur Verbesserung der Lehrlingsausbildung der Geologiefacharbeiter



I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	<u>Seite</u>
1.0. Wesen und Aufgaben der Hydrogeologie	3
1.1. Aufgaben der Hydrogeologie bei der Wasserversorgung von Bevölkerung, Industrie und Landwirtschaft	3
1.2. Aufgaben der Hydrogeologie im Bergbau	4
1.3. Grundbegriffe der Hydrogeologie	5
2.0. Bildung des unterirdischen Wassers	7
2.1. Wasserhaushalt	7
2.2. Erscheinungsformen des unterirdischen Wassers	9
3.0. Wasserführung der Gesteine	11
3.1. Durchlässigkeit der Wasserleiter	11
3.2. Grundwasserlagerstätten	13
4.0. Hydrogeologische Untersuchungen	15
4.1. Grundwasserbewegung, -abfluß und -erneuerung	17
4.1.1. Fließrichtung	17
4.1.2. Fließgeschwindigkeit	19
4.1.3. Wasserspiegelbewegungen im Bohrloch	21
4.1.4. Bestimmung des k_f -Wertes	22
4.1.5. Durchflußmenge	24
4.1.6. Grundwassererneuerung	24
4.2. Bohrarbeiten, Probenahme und Versuchsbrunnenausbau	25
4.2.1. Gebräuchliche Bohrverfahren der Grundwassererkundung	25
4.2.2. Probenahme bei hydrogeologischen Bohrungen	28
4.2.3. Versuchsbrunnenausbau	30
4.3. Pumpversuch	31
5.0. Chemische Qualität des Grundwassers	37
5.1. Entnahme von Wasserproben	37
5.2. Chemie des Grundwassers	39
6.0. Wassergewinnung	42
6.1. Schachtbrunnen	42
6.2. Bohrungen	42
6.2.1. Brunnenreihe	42
6.2.2. Heberleitung mit Sammelbrunnen	43
6.3. Horizontalfilterbrunnen	43
6.4. Quellfassungen	43
7.0. Literatur	44

1.0. Wesen und Aufgaben der Hydrogeologie

Die Hydrogeologie ist die Lagerstättenlehre des Grundwassers, da auch das Grundwasser ein Bodenschatz ist und aus Lagerstätten gewonnen wird. Von den festen Mineralen unterscheidet es sich durch seinen flüssigen Aggregatzustand, es gleicht hierin dem Erdöl, und durch seine ständige Erneuerungsfähigkeit. Diese ist allerdings von den klimatischen und geologischen Faktoren abhängig. In diesem Zusammenhang ist die Hydrogeologie ein Bestandteil der Hydrologie, der Lehre vom Wasser und seinen Erscheinungsformen, ihren Zusammenhängen und Wechselwirkungen mit umgebenden Medien über, auf und unter der Erdoberfläche (nach TGL 92 - 007).

Durch ihre Aufgabenstellung wird die Hydrogeologie, wie es auch der Name ausdrückt, als geologische Fachdisziplin charakterisiert. Sie dient der Erforschung der geologischen, stratigraphischen, petrographischen und morphologischen Beziehungen zwischen Wasser und Gestein (nach GIESZLER 1957).

1.1. Aufgaben der Hydrogeologie bei der Wasserversorgung von Bevölkerung, Industrie und Landwirtschaft

Jede topographische Karte zeigt, daß fast alle Ortschaften in unmittelbarer Nähe eines Gewässers angelegt wurden, um die Versorgung von Mensch und Vieh mit Trinkwasser zu gewährleisten. Die Verschmutzung unserer Flüsse und Seen durch industrielle und landwirtschaftliche Abwässer ist jedoch soweit fortgeschritten, daß die Bereitstellung von Trink- und Brauchwasser, vor allem in den Industriebezirken, nur noch aus dem Untergrund möglich ist. Seit Mitte des vorigen Jahrhunderts, besonders aber seit der Jahrhundertwende, wird aus diesem Grunde die Wasserversorgung vorwiegend auf Grundwasser umgestellt, das mit Hilfe von Brunnen, mitunter auch Quellen, aus den wasserleitenden Gesteinsschichten des Untergrundes gewonnen und Ortschaften, teils auch nur einzelnen Gehöften sowie Industrie- bzw. Handwerksbetrieben zugeleitet wird. Voraussetzung dafür ist natürlich die Kenntnis der geologischen Verhältnisse.

Die Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser beschränkt sich heute fast ausschließlich auf die Talsperren in den Mittelgebirgen, die an den Oberläufen der Flüsse errichtet werden, die noch keinen Verschmutzungen ausgesetzt waren.

Die Verwendung hochwertigen Trinkwassers auch für industrielle Zwecke, für die in vielen Fällen auch qualitativ geringeres Wasser (Brauchwasser) zu verwenden wäre, führt vor allem in den Städten und industriellen Ballungszentren zu ernststen Schwierigkeiten in der Wasserversorgung. Die Trennung von Trink- und Brauchwasser scheiterte bisher an den Kosten, die die Anlage eines zweiten Wasserleitungssystems für das Brauchwasser erfordern würde.

1.2. Aufgaben der Hydrogeologie im Bergbau

Die Aufgaben der Hydrogeologie beginnen bereits im Zuge der Erkundung der Lagerstätten. In den Instruktionen der "Zentralen Vorratskommission für mineralische Rohstoffe der DDR" sind die Anforderungen an die Lagerstättenhydrogeologie verankert. Die 2. Braunkohlen-Instruktion vom 29. 8. 1963 gibt z. B. folgendes wieder:

"Die hydrogeologische Einschätzung muß enthalten:

- a) hydrogeologische Verhältnisse im Deckgebirge und Flöz (Lagerungsverhältnisse, Ausbildung, Mächtigkeit, Anzahl und Durchlässigkeit der Grundwasserleiter und Grundwasserstauer, Durchlässigkeit des Flözes, Lage und Bau der das Flöz erreichenden Erosionsrinnen, Entwässerbarkeit der einzelnen Schichten oder Bereiche);
- b) hydrogeologische Verhältnisse des Liegenden [wie unter a), zusätzlich Grundwasserspannung];
- c) Hydraulik im Deckgebirge;
(Hauptrichtung des Grundwasserflusses, Ermittlung des Zuflusses in Abhängigkeit von Absenkung und Absenkungsdauer);
- d) Beziehungen der Lagerstätte zu Oberflächengewässern;
- e) Einzugsgebiet und Menge der Grundwasserhebung;
- f) hydrochemische Verhältnisse;
- g) Hinweise auf die Entwässerung der Lagerstätte in Verbindung mit der Abbauweise;
- h) Beziehungen zwischen zukünftigem Bergbau und Trinkwasserversorgung sowie deren Beeinflussung durch Entwässerungsarbeiten."

Bei Kali- und Steinsalzlagerstätten ist zusätzlich noch das Vorhandensein von Laugenansammlungen zu klären.

Wenn ein Grubengebäude oder ein Tagebau projektiert werden, müssen bereits die Wasserzuflüsse in den zu durchteufenden bzw. zu durchörternden Gebirgsschichten bekannt sein, denn Grundwasser kommt bis in

große Teufen in wasserleitfähigen Gesteinen (in offenen Klüften oder Poren) vor. Der Schacht- und der Stollenquerschnitt werden neben anderen Faktoren mit von der Wasserhaltung bestimmt.

Wenn auch oft viele Fakten, die zur Einschätzung der Hydrogeologie der Lagerstätte beitragen bzw. sehr bedeutungsvoll sind, bereits während der Erkundung anfallen, so sind doch häufig spezielle Untersuchungen, wie Bohrungen mit Pumpversuchen, Einrichtung eines Grundwasserbeobachtungsnetzes durch speziell dafür niedergebrachte Bohrungen u. a. notwendig.

Während der bergmännischen Aufschlußarbeiten geht die hydrogeologische Untersuchung der Lagerstätte weiter. Jede neue Tatsache hinsichtlich der petrographischen Beschaffenheit des Gesteins, der tektonischen Beanspruchung des Gebirges, der Wasserzuflüsse u. a. gibt neue Aufschlüsse über die Hydrogeologie der Lagerstätte. Die Wichtigkeit dieser Untersuchungen unterstreichen die Folgen ihrer Unterlassung, wie die Vielzahl der völlig oder teilweise ersoffenen Gruben in der ganzen Welt, der dadurch oft fahrlässig herbeigeführte Tod vieler Bergleute und der Verlust wichtiger Rohstoffvorräte. Denken wir dabei an die Laugeneinbrüche im Kupferschiefer- und Kalibergbau, an die Wassereinbrüche im Eisenerzbergbau, z. B. im Revier Peine - Ilsede (das Unglück von Lengede). Nicht umsonst wurde vom Volksmund der Satz geprägt: "Das Wasser ist der größte Feind des Bergmanns". Die Montanhydrogeologie gibt uns das Rüstzeug, diesem Feind zu begegnen und ihn in den meisten Fällen zu besiegen.

1.3. Grundbegriffe der Hydrogeologie

Zum besseren Verständnis des folgenden Stoffes sollen in diesem Kapitel die wichtigsten Begriffe der Hydrogeologie nach TGL 92 - 007 erläutert werden.

Zur Verdeutlichung des Gesagten im Gesamtkomplex des Grundwasservorkommens dient die Abbildung 4.

Die alphabetische Reihenfolge wird das Aufsuchen der Definitionen erleichtern:

Beharrungszustand bei der Grundwasserentnahme:

unter Berücksichtigung der natürlichen Grundwasserstandsschwankungen der Zustand, bei dem bei gleichbleibender Grundwasserentnahme die Grundwasserabsenkung nicht mehr fortschreitet.

Einzugsgebiet:

in der Horizontalprojektion gemessenes, durch eine Wasserscheide begrenztes Gebiet, dem der Abfluß in einem gewählten Abflußquerschnitt oder eine abflußlose Wasseransammlung entstammt.

Grundwasser: Wasser, das Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und nur der Schwere unterliegt.

- " - - absenkung:

Erniedrigung der Grundwasseroberfläche oder der Grundwasserdruckhöhenfläche infolge technischer Maßnahmen.

- " - - artesisches:

gespanntes Grundwasser, das über Gelände ständig oder zeitweilig unter Druck austritt.

- " - - deckfläche:

Grenzfläche zwischen einer schwer- oder undurchlässigen Schicht und einem darunter liegenden Grundwasserleiter mit gespanntem Grundwasser.

- " - - druckhöhenfläche:

Fläche, welche zueinandergehörige Standrohrspiegel miteinander verbindet.

- " - - gefälle:

Verhältnis des Höhenunterschiedes zweier Grundwasserhöhengleichen (Grundwasserisohypsen) zu deren kürzestem Abstand; bei geringem Gefälle angenähert dessen Horizontalprojektion.

- " - - gespanntes:

Grundwasser unter einer Grundwasserdeckfläche.

- " - - höhengleiche (-isohypse):

Kurve gleicher und gleichzeitiger Höhe der Grundwasserstände, bezogen auf eine festgelegte waagerechte Ausgangs- oder Bezugsfläche (Höhen-Null oder Normal-Null).

Grundwasser - leiter:

Teil der Erdrinde, der Grundwasser enthält oder aufnehmen kann.

- " - - oberfläche:

obere Begrenzung des ungespannten Grundwassers, in der der Wasserdruck gleich dem atmosphärischen Druck ist.

Grundwassersohle:

untere Grenzfläche eines Grundwasserleiters.

- " - - spende:

aus dem Grundwasser stammender Abfluß, bezogen auf die Flächeneinheit des unterirdischen Einzugsgebietes.

- " - - ungespannt (freies Grundwasser):

Grundwasser, das eine freie Grundwasseroberfläche aufweist.

Sickerwasser: in Poren und engen Hohlräumen des Erdreiches sich abwärts bewegendes Wasser, soweit es nicht als Grundwasser zu bezeichnen ist (also oberhalb der Grundwasseroberfläche; es füllt die Hohlräume nicht zusammenhängend aus).

Versickerung: Eindringen von Wasser durch Poren und enge Hohlräume in das Erdreich.

Wasserscheide: Grenzlinie zwischen Einzugsgebieten, von der aus Wasser nach verschiedenen Richtungen fließt.

2.0. Bildung des unterirdischen Wassers

2.1. Wasserhaushalt

Im Gegensatz zu anderen Bodenschätzen, die sich in der Erdrinde ortsveränderlich befinden und sich in historischer Zeit kaum oder auch gar nicht verändern, unterliegt das Grundwasser im allgemeinen fortwährender Bewegung, so wie sich auch das Wasser an der Erdoberfläche in ständigem Fließen befindet.

Selbst das in Ruhe scheinende Meereswasser wird durch die Meeresströmungen dauernd in Bewegung gehalten. Das Grundwasser steht weithin

mit den oberirdischen Gewässern und dem Meereswasser in direkter und ständiger Verbindung. Die letzte Ursache aller Bewegungen, auch der des Wassers, ist die Sonnenenergie. Sie ist es auch, die einen Teil des Wassers im Meer und auf dem Festland zum Verdunsten bringt. So tritt auch der Wasserdampf in der Atmosphäre in den Kreis der Betrachtung.

Seit dem Paläozoikum ist die Menge des Wassers auf unserem Planeten, unabhängig von seinen verschiedenen Erscheinungsformen, wie Wasserdampf, Niederschlag oder Kristallwasser usw., von geringen Veränderungen abgesehen, wahrscheinlich gleich geblieben.

Daraus ergibt sich, daß die Bewegungen und Veränderungen des Wassers auf der Erde letzten Endes einem Kreislauf unterliegen müssen.

Die Erwärmung der Meeresoberfläche durch die Sonneneinstrahlung führt zur Verdunstung eines Teiles des Meereswassers. Die Menge des Meereswassers nimmt aber dadurch trotz der beachtlichen Verluste nicht ab; denn das von der Atmosphäre aufgenommene Wasser bildet bei Sättigung der Luft mit Wasserdampf Wolken, die den Windrichtungen folgend wandern und sich entweder bei Übersättigung bereits über dem Meere oder später über dem Festland auflösen und als Niederschlag jeglicher Art niedergehen (Abb. 1). Das Abregnen geschieht besonders dann, wenn die Wolken wegen vorgelagerter Gebirge in größere Höhen aufsteigen müssen und sich das Gleichgewicht zwischen dem mit der Höhe abnehmendem Sättigungsvermögen und dem Wasserdampfgehalt der Luft verschiebt und Übersättigung eintritt. Alle Gewässer an der Erdoberfläche und das Grundwasser erhalten ihre Erneuerung vom Niederschlag. Auf Grund der Geländeneigung und der Wirkung der Schwerkraft haben alle Wässer das Bestreben, nach dem tiefsten Niveau, dem Meeresspiegel, zu fließen. Nicht nur das Oberflächenwasser zeigt in Bächen und Flüssen dieses Bestreben, sondern auch das Grundwasser, sofern nicht die örtlichen geologischen Verhältnisse den Abfluß hemmen und Stauungen bewirken, die jedoch insgesamt den Abfluß nicht verhindern können. Die Auffüllung der Grundwasserleiter erfolgt in der Regel über die Versickerung oder die Uferfiltration der Wasserläufe.

Mit dem Zufluß zum Meer ist der Wasserkreislauf wieder geschlossen. Man muß dabei beachten, daß der geschilderte große Kreislauf zwischen Meer und Festland außerdem in wesentlich geringer dimensionierte, kleine Kreisläufe zerfällt; denn auch auf den Binnenwasserflächen und auf dem Festland tritt Verdunstung auf. Genauso verzeichnet man ja auch Niederschläge auf dem Meer.

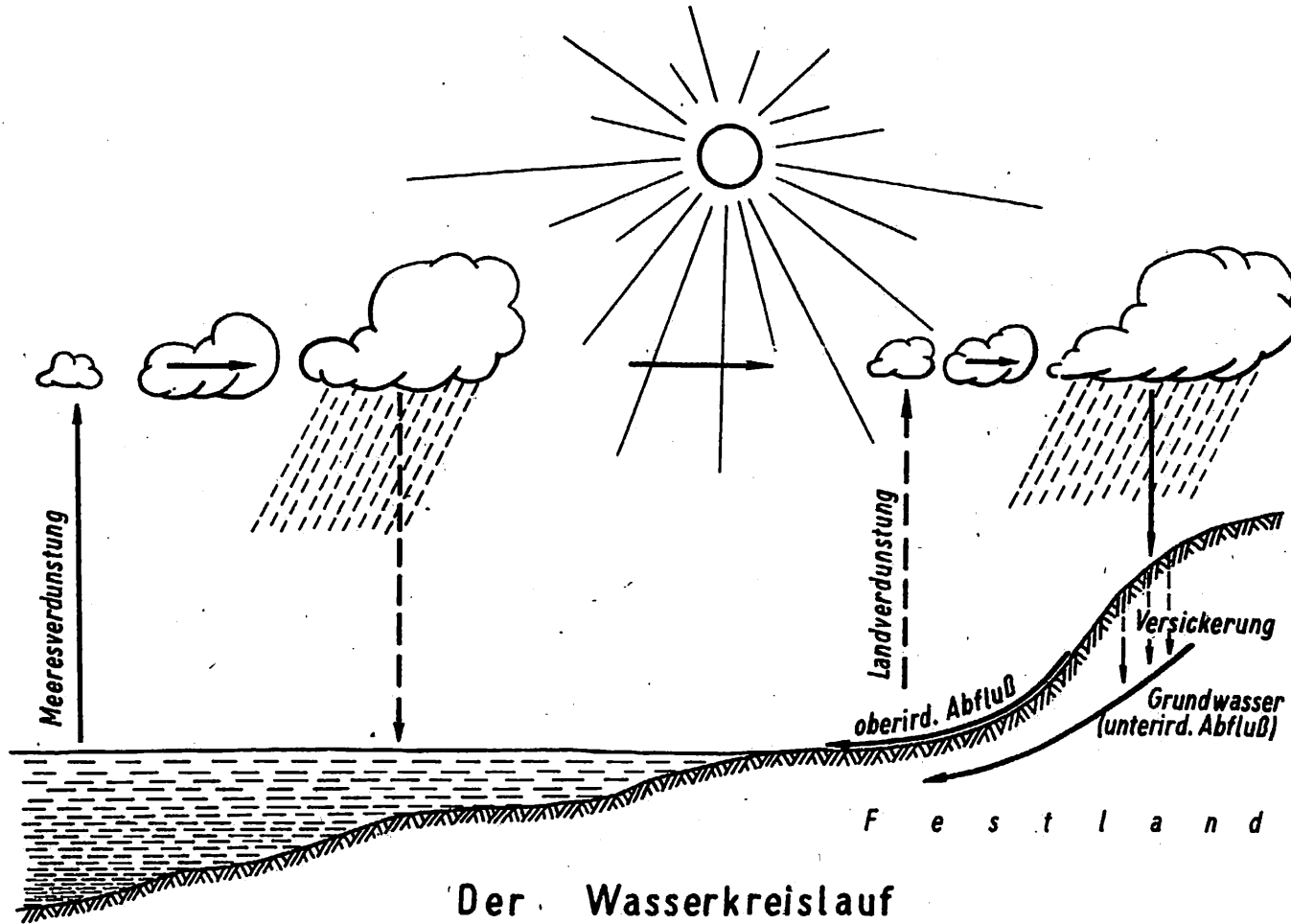
Der Teil des Niederschlages, der in den Boden gelangt, der versickert, ist in den einzelnen Jahren von sehr unterschiedlicher Größe. Das Hauptproblem der Wasserhaushaltsforschung ist die Ermittlung dieses Anteils, denn nur die Menge Grundwasser kann über längere Zeit aus einem Einzugsgebiet gefördert werden, die sich durch Versickerung ständig neu bildet. Die sogenannte Grundwassererneuerung ist nur in einigen wenigen mit Grundwasserscheiden begrenzten Gebieten durch Wasserwerksbetrieb bekannt geworden.

2.2. Erscheinungsformen des unterirdischen Wassers

Fast in jeder Baugrube, die nicht künstlich trocken gehalten wird, kann man eine Wasseransammlung beobachten. Der Wasserstand stellt sich auf die Grundwasseroberfläche im umgebenden Gestein ein. Das bedeutet, daß alle zusammenhängenden Hohlräume, die tiefer liegen als diese Fläche, mit Wasser, dem Grundwasser, gefüllt sind. Diese sogenannte Grundwasserzone setzt sich nicht bis in die ewige Tiefe fort, sondern ist in ihrer Ausdehnung von den geologischen Verhältnissen, der Lage von Wasserleitern und -stauern bzw. der Klüftigkeit des Gebirges abhängig.

Von hydrogeologischem Interesse sind in starkem Maße die sogenannte Bodenwasserzone (oberhalb der Grundwasseroberfläche) und die Schwankungen des Grundwasserstandes. Der Grundwasserstand wird in Bohrungen oder Brunnen bestimmt und in "Meter unter Gelände" oder "Meter über NN" angegeben. Es unterliegt langjährigen, jahreszeitlichen und mitunter auch witterungsbedingten Schwankungen, die von der Periodizität der Niederschläge abhängen.

Die Bodenwasserzone enthält wassergefüllte (Bodenwasser), wie auch luftgefüllte (Bodenluft) Hohlräume und solche, die groß genug sind, um neben dem Luftgehalt Sickerwasser hindurchfließen zu lassen, welches das Auffüllen des Grundwasserleiters bewirkt. Damit ist schon gesagt, daß nicht alles Wasser, das in die Erdrinde gelangt, zu Grundwasser wird. Das Bodenwasser besitzt besondere Bedeutung für das Pflanzenwachstum. Die trockenen Bodenteilchen umgeben sich mit einer Wasserhülle, die auf Grund freier Oberflächenenergien an ihnen haftet. An den Berührungsstellen der Bodenteilchen verschmelzen die Wasserhäutchen teilweise und bilden in den Winkeln konkave Verdickungen. Die durchgängigen dünnen Kapillarröhrchen zwischen den Bodenteilchen sind aus diesem Grund voll mit Haftwasser ausgefüllt. Überschreitet das Gewicht des Wassers im Kapillarröhrchen die Haftkraft, tritt der freie Durchfluß (Sickerwasser) zum Grundwasser hin



Der Wasserkreislauf

Abbildung 1

ein und der nicht durch Wasser gefüllte Raum füllt sich mit Luft. Auch von der Grundwasserzone her steigt in den Kapillarröhrchen in Abhängigkeit von deren Durchmesser Haftwasser auf, so daß die Grundwasserzone nicht von einem "Grundwasserspiegel", sondern von einem Saugraum mit stark bewegter Oberfläche, der "Grundwasseroberfläche", begrenzt wird.

3.0. Wasserführung der Gesteine

3.1. Durchlässigkeit der Wasserleiter

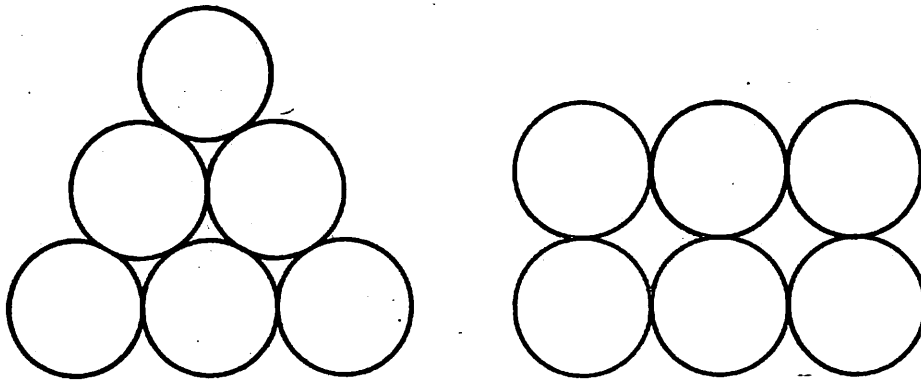
Die Grundwassergewinnung hängt in starkem Maße von der Durchlässigkeit des Wasserleiters und den an der Oberfläche anstehenden Gesteinsschichten ab.

Die Wasserführung der Gesteine steht in unmittelbarer Abhängigkeit von deren nutzbarem Hohlraumgehalt, dem effektiven Porenvolumen. Es wurde bereits erwähnt, daß ein Teil des Gesamtraumes durch Haftwasser in Anspruch genommen wird. Das gilt in gleichem Maße für die Grundwasser- und die Bodenwasserzone. Das effektive Porenvolumen ist der um den mit Haftwasser gefüllten Porenanteil verringerte Porenraum, in dem das Wasser frei fließen kann. Der Hohlraumgehalt ist bei lockeren und porösen Gesteinen abhängig von der Korngröße und dem Ungleichförmigkeitsgrad (s. Lehrbrief "Ingenieurgeologie"), der durch die Steigung der Kornverteilungskurve ausgedrückt wird. Die Adsorptionskraft (Haftkraft) spielt in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle. Sie ist direkt proportional der abnehmenden Teilchengröße bis 0,002 mm Durchmesser. Je feinkörniger das Lockergestein, desto größer ist der Hohlraumanteil, der durch Haftwasser in Anspruch genommen wird. Die Beweglichkeit des Wassers nimmt entsprechend ab (z. B. ist Ton ein Wasserstauer).

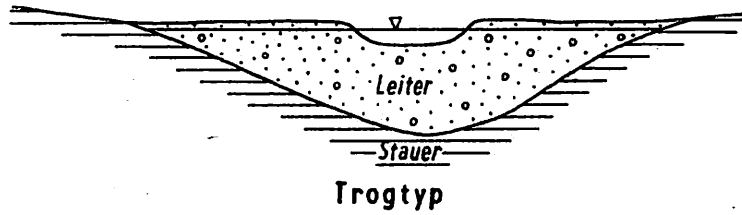
Kornbeschaffenheit, Kornlagerung und Ungleichförmigkeit beeinflussen neben der Korngröße ebenfalls den Hohlraumgehalt und damit die Durchlässigkeit. Je kugelförmiger die Körner sind, desto kompakter können sie gelagert sein. Sie können stabil (mit kleinem Porenvolumen) oder labil (mit großem Porenvolumen) lagern (Abb. 2).

Bei der üblichen Probenahme wird die natürliche Lagerung gestört.

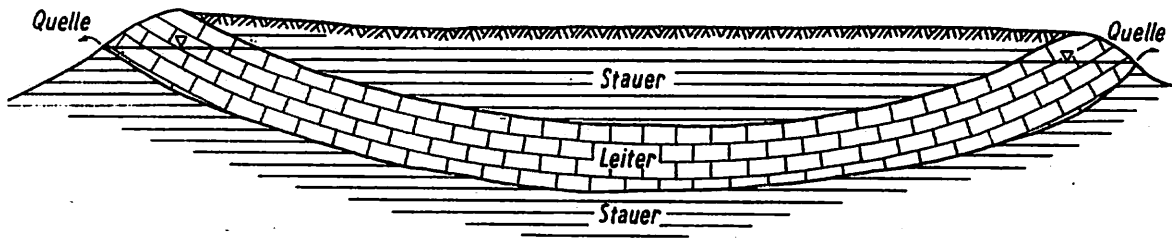
Hemmend wirken sich auf den Wasserdurchfluß außerdem noch die Flüssigkeitsreibung in sich und am Gestein, die dauernde Richtungsänderung im Kleinen, die durch die Lage der Einzelkörner zueinander bedingt ist, und die ständige Querschnittsveränderung aus. Letztere



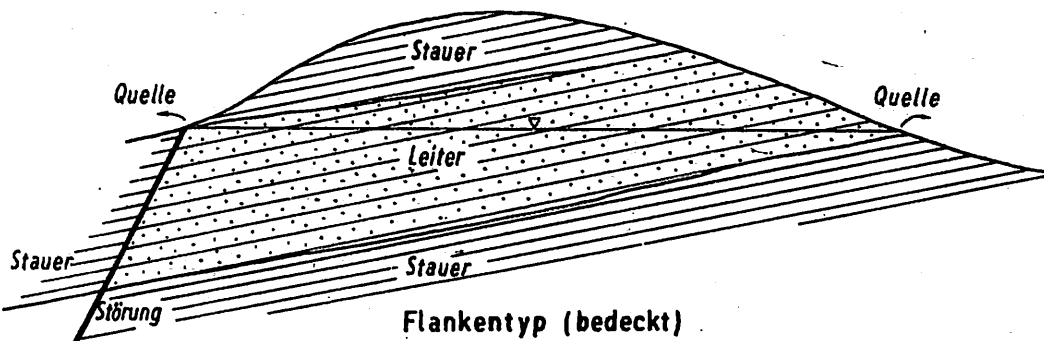
stabil Kernlagerungsarten labil
Abbildung 2



Trogtyp



Muldentyp



Flankentyp (bedeckt)

Grundwasserlagerstätten
Abbildung 3

stehen wiederum in Abhängigkeit von Korngröße und -lagerung.

Durchlässigkeitsuntersuchungen sind demzufolge Bestandteil jeder hydrogeologischen Erkundungsaufgabe. Sie entfallen für solche Festgesteine, in denen sich die Wasserführung vorwiegend oder ausschließlich auf die Klüfte und Spalten beschränkt.

3.2. Grundwasserlagerstätten

Die Grundwasserlagerstätten besitzen als Gesteinskörper gesehen die vielfältigsten Formen, lassen sich aber dennoch in mehrere Typen zusammenfassen.

Die Lagerstätten vom Trogtyp (Abb. 3) sind die bekanntesten. Es handelt sich um die Schotterkörper vorwiegend pleistozäner Entstehung, in denen die Flüsse der Gegenwart entlangfließen, bzw. Vorzeitflüsse entlangflossen.

Viele Städte, die an Flüssen liegen, entnehmen das Trinkwasser diesem Grundwasserstrom, der den Fluß begleitet und in direkter Verbindung mit ihm steht. Der Fluß füllt bei Hochwasser die Schotter auf. In geringerem Maße wird bei Niedrigwasser vom Grundwasserstrom Wasser an den Fluß abgegeben.

Diese Erscheinung der Uferfiltration nutzt man für die Wassergewinnung durch die Anlage einer Brunnenreihe parallel zum Flußufer. Durch Absenken des Grundwasserstandes infolge der Wasserentnahme wird der Fluß gezwungen, dem Brunnen Wasser zuzuliefern, weil sich das Grundwassergefälle vom Fluß weg zur Brunnenreihe hin einstellt. Beim Durchfließen der Schotter findet zugleich eine Vorreinigung des Flußwassers statt.

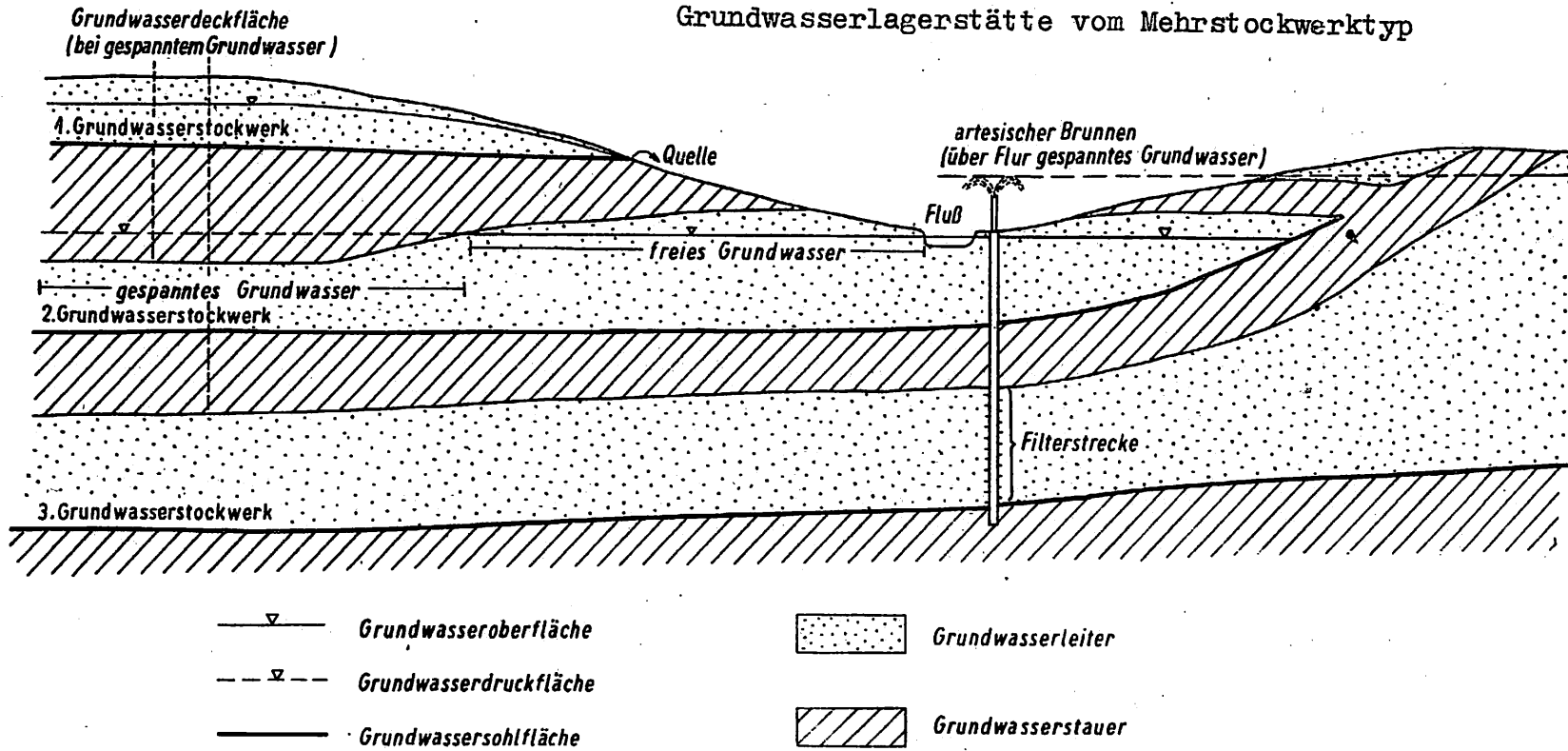
Die Lagerstätten vom Flächentyp besitzen im Gebiet der ehemaligen Vereisung im Norden der DDR ebenfalls eine weite Verbreitung. Es handelt sich vorwiegend um Sanderflächen, die praktisch nur nach unten begrenzt sind. Das Wasser kann nach allen Seiten dem natürlichen Gefälle folgend abfließen.

Auch im Festgesteinsbereich tritt dieser Typ z. B. in den morphologisch oft als Platten bezeichneten Muschelkalkflächen des Thüringer Beckens und dessen Randgebieten auf.

Die Lagerstätten vom Muldentyp (Abb. 3) zeichnen sich durch allseitige Abgeschlossenheit aus. Im Festgestein sind dafür tektonische Einheiten mit umlaufendem Streichen, also geschlossene Mulden von Bedeutung. Im Lockergestein können derartige muldenförmige Lagerungs-

Abbildung 4

Grundwasserlagerstätte vom Mehrstockwerktyp



verhältnisse auch auftreten.

Ist der muldenförmig gelagerte Wasserleiter von einem Stauer bedeckt, spricht man von einer bedeckten Lagerstätte, im anderen Fall von einer offenen. Im ersten Fall steht das Wasser im Muldeninneren unter Spannung.

In tektonisch beanspruchten Gebieten kommt der Flankentyp (Abb. 3) bei Grundwasserlagerstätten vor. Es kann sich dabei um Flächentyp oder Muldentyp handeln, der mit abgesunkener Flanke einseitig abgeschlossen ist, weil an einer Störung ein Wasserstauer angrenzt. Auch hier kann die Lagerstätte offen oder bedeckt sein.

In der Natur treten die Lagerstättentypen des Grundwassers häufig nicht in reiner Form auf. Meistens kommen mehrere Grundwasserleiter übereinander vor, von denen jeder einzelne einem besonderen Typ angehören kann. Häufig stehen diese Grundwasserstockwerke miteinander in hydraulischer Verbindung. Diesen Mischtyp nennt man Mehrstockwerkstyp (Abb. 4).

Eine Typisierung unter anderen Gesichtspunkten ist gleichfalls möglich. Geht man nach der petrographischen Beschaffenheit, so kann man im Festgestein unter anderem den Kalksteintyp, der durch Kluftwasserführung charakterisiert ist, und den Sandsteintyp mit Kluft- und Porenwasserführung ausscheiden.

Im Lockergestein verwendet man bei der hydrogeologischen Übersichtskartierung der DDR aus praktischen Gründen eine Gliederung folgender Art:

unbedeckte oder nur geringmächtig bedeckte Lockergesteinsgrundwasserleiter und

bedeckte oder tiefliegende Lockergesteinsgrundwasserleiter.

4.0. Hydrogeologische Untersuchungen

Ziel der hydrogeologischen Untersuchungen ist es, mit Hilfe von Versuchsbrunnen die Ergiebigkeit eines Wasserleiters und die Qualität des Wassers zu testen und dadurch die Grundlage für die Wahl der günstigsten Brunnenstandorte zu bekommen.

Es müssen demzufolge die Ergiebigkeit der Brunnen, das Einzugsgebiet des Grundwassers, seine Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit und die Durchflußmenge bzw. der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f) bestimmt sowie die Möglichkeit der Grundwassererneuerung eingeschätzt werden.

4.1. Grundwasserbewegung, -abfluß und -erneuerung

4.1.1. Fließrichtung

Das Grundwasser unterliegt der Schwerkraft bzw. dem hydrostatischen Druck. Die Schwerkraft bewirkt das Fließen des Grundwassers entsprechend der Neigung der Grundwasser Oberfläche. Der hydrostatische Druck hat den Ausgleich der Differenz des Wasserstandes in miteinander in Verbindung stehenden Hohlräumen nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren zur Folge.

Zur Bestimmung der Grundwasserfließrichtung ist die Kenntnis der Höhenlage und des Reliefs der Grundwasser Oberfläche erforderlich. Bei gespannten Wässern ist die Grundwasserdruckfläche ausschlaggebend.

Mit Hilfe der Brunnenwasserspiegel in Grundwasserbeobachtungsrohren und anderen Brunnen läßt sich punktweise die Höhenlage der Grundwasser Oberfläche feststellen. Die Meßdaten müssen alle auf NN oder HN (Mittelwasser des Kronstädter Pegels) bezogen sein. Danach lassen sich Isohypsen der Grundwasser Oberfläche konstruieren (Abb. 5). Das Wasser hat, wie auch an der Erdoberfläche, immer das Bestreben, auf dem kürzesten Weg dem tiefsten Punkt zuzueilen. Die kürzeste Entfernung zwischen zwei Höhenlinien von einem beliebigen Punkt aus ist immer auf einer Linie gegeben, die die Isohypsen senkrecht kreuzt. Das heißt:

Wasser fließt immer senkrecht zum Verlauf der Isohypsen.

(Abb. 5)

Die Konstruktion von Grundwasserisohypsen ist selbstverständlich nur bei Grundwasserleitern mit lockerem oder porösem Gestein möglich. Im Kluftgestein folgt das Wasser dem Verlauf der Klüfte und Spalten und fließt ebenfalls vom höheren zum tiefsten Punkt. Die unterschiedliche Höhenlage der Grundwasser Oberfläche und ihr bewegtes Relief, das häufig in enger Beziehung zur Form der Erdoberfläche steht, verursachen einerseits das Zusammenfließen des Grundwassers in einzelnen Zentren oder an Tiefenlinien (Vorfluter), die in der Regel von Flüssen gebildet werden, und andererseits das Abfließen von morphologischen Rückenlinien, den Wasserscheiden, die es sowohl oberirdisch als auch unterirdisch gibt (Abb. 5).

Die Grundwasserscheiden umgrenzen das Grundwassereinzugsgebiet, an dessen tiefster Stelle, hydraulisch gesehen, die besten Grundwassergewinnungsmöglichkeiten bestehen.

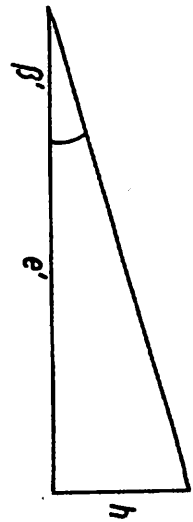
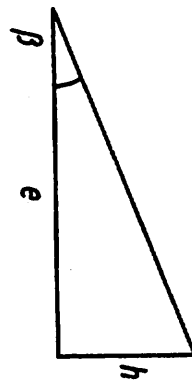
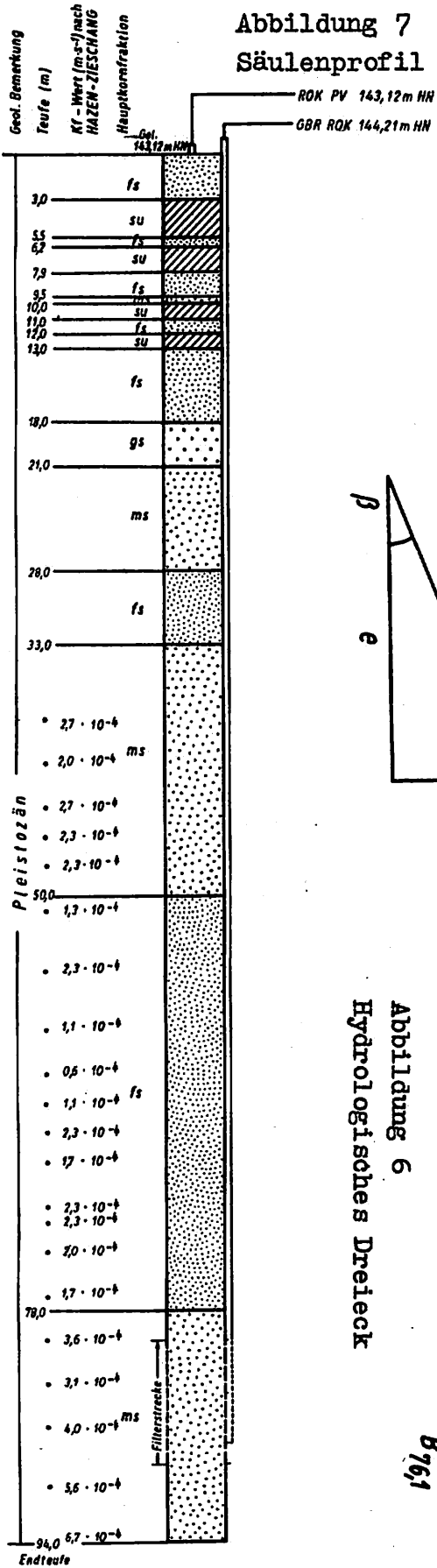
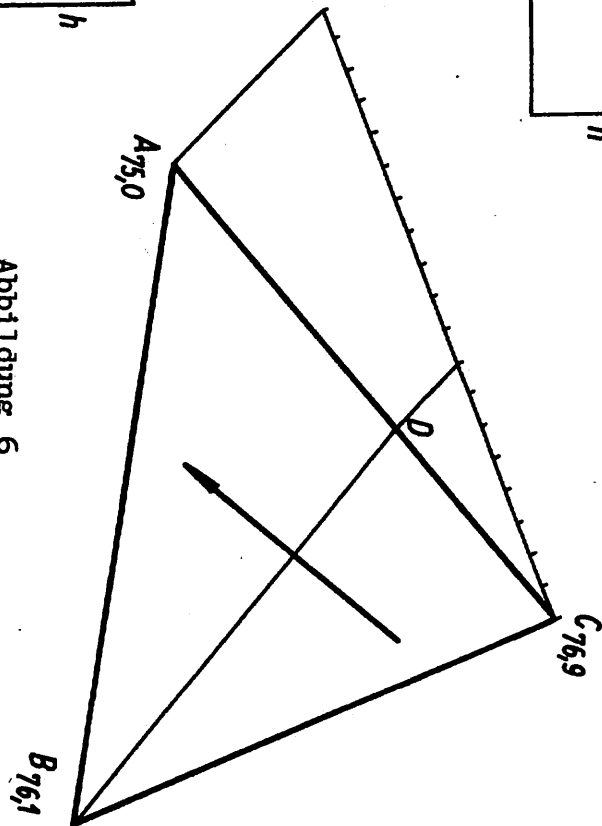


Abbildung 6
Hydrologisches Dreieck



Häufig steht für lokale Untersuchungen kein ausreichendes Beobachtungsnetz zur Verfügung, um einen Isohypsenplan konstruieren zu können. Dann bedient man sich zur Bestimmung der Fließrichtung in unmittelbarer Brunnennähe des "hydrologischen Dreiecks" (Abb. 6). Das heißt, drei Beobachtungsrohre werden zu einem Dreieck angeordnet. Eine der Bohrungen kann auch bereits als Versuchsbrunnen angelegt werden. Dabei sind einige Bedingungen zu beachten:

- möglichst gleichlange Seiten (20 - 50 m, maximal 100 m),
- ungefähr gleiche Bohrteufe, auf jeden Fall müssen die Bohrungen im gleichen Wasserleiter stehen,
- relativ ebenes Gelände und ungestörte Lagerungsverhältnisse,
- die Wasserspiegel sind gleichzeitig zu messen und auf NN oder HN zu beziehen,
- das Wasser darf nicht unter Spannung stehen.

Die geradlinige Verbindung (AC) - Bezeichnung in Abb. 6 - zwischen dem höchsten (C) und dem tiefsten Wert (A) muß nun in solche Abstände geteilt werden, daß der dritte Wert (B), der ja größenmäßig zwischen den beiden liegt, auf dieser Linie (AC) eingetragen werden kann (D). Man erreicht es am besten durch die Konstruktion einer Teilungshilfslinie mit beliebigen aber gleichlangen Teilungsabständen und die Parallelverschiebung der Teilungsgeraden.

Die Verbindungslinie (DB), deren Endpunkte gleiche Höhenlage der Grundwasseroberfläche angeben, ist demnach eine Grundwasserisohypse. Senkrecht zu ihr verläuft die Fließrichtung.

4.1.2. Fließgeschwindigkeit

Eine relative Einschätzung der Fließgeschwindigkeit läßt sich bei einheitlicher Ausbildung des Wasserleiters aus der Scharung der Isohypsen ableiten. Die Abb. 6 zeigt, daß die Neigung der Grundwasseroberfläche (vgl. β und β') umso größer ist, je geringer der Abstand der Isohypsen (vgl. e und e') in der Horizontalen voneinander ist. Die Fließgeschwindigkeit steht bekanntlich in direkter Abhängigkeit von der Neigung der Grundwasseroberfläche. Am Höhenlinienbild (Abb. 5) kann die unterschiedliche Scharung der Isohypsen beobachtet werden.

Am häufigsten bedient man sich zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit der Färbemethode. Die dem Wasser an einer Stelle oberhalb zugegebenen Farbstoffe, die in Abhängigkeit von den Gesteinseigenschaften gewählt werden müssen, versucht man, am Beobachtungsort wieder nach-

zuweisen. Das Verhältnis aus Entfernung und Zeitdifferenz zwischen Zugabe und erstem Auftreten des Farbstoffes ergibt die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers.

Auf gleiche Weise läßt sie sich auch durch die Zugabe von Salz, das auf elektrolytischem Wege nachgewiesen wird oder durch Zusatz von radioaktiven Isotopen bestimmen, wenn der Weg ungefähr bekannt ist, den das unterirdische Wasser nimmt. Bei völliger Unkenntnis der Verhältnisse können die Untersuchungen sehr aufwendig werden.

4.1.3. Wasserspiegelbewegungen im Bohrloch

Im Kapitel 3.2. kam bereits zum Ausdruck, daß meist mehrere Grundwasserstockwerke angetroffen werden. Stehen die Wässer der einzelnen Stockwerke nicht miteinander in Verbindung, so hat jedes Stockwerk spezifische Druckverhältnisse bzw. einen vom anderen verschiedenen Grundwasserstand.

Diese Verhältnisse beeinflussen auch den Stand des Wasserspiegels in Bohrungen. Bei jedem Anbohren einer Grundwasser Oberfläche oder -deckfläche verändert sich der Wasserspiegel im Bohrloch entsprechend den jeweils angetroffenen Druckverhältnissen. Steht das Wasser im angebohrten Stockwerk höher als im vorhergehenden (bzw. unter entsprechendem Druck), steigt der Wasserspiegel an und umgekehrt. War nur ein lokal engbegrenztes Vorkommen angeschnitten worden, und ist im tiefer liegenden Stockwerk ein wesentlich niedrigerer Wasserstand zu verzeichnen, kann sich das Wasser zeitweise vollständig verlaufen und die Bohrung trocken fallen.

Da die Bewegung des Wasserspiegels einen ausgezeichneten Aufschluß über die Druckverhältnisse in der Grundwasserlagerstätte gibt und außerdem das Antreffen von Wasserleitern erkennen läßt, ist es erforderlich, den Wasserstand im Bohrloch regelmäßig morgens und abends sowie beim Wechsel der geologischen Schichten zu messen. Man benutzt dazu gelegentlich optische, elektrische zumeist aber akustische Lote wie z.B. die Brunnenpfeife. Solche Messungen führen allerdings nur in den Bohrungen zu sicheren Ergebnissen, die nicht mit Spülung niedergebracht werden, also beim Trockenbohren. Bei Spülbohrungen können die Wasserleiter im wesentlichen nur nach der Schichtenfolge ausgemacht werden, abgesehen von den Hinweisen über Wasserzufluß, die sich aus der Veränderung der Spülungskonzentration ergeben.

4.1.4. Bestimmung des k_f -Wertes

Die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f) geschieht, um eine Größe zu erhalten, die es ermöglicht, wenigstens die wichtigsten besonderen Bedingungen, denen der Fließvorgang des Grundwassers im Lockergestein (bzw. im porösen) unterliegt, in die Berechnungen eingehen zu lassen.

k_f -Wert-Bestimmung nach HAZEN:

HAZEN hat herausgefunden, daß für die Durchlässigkeit eines Wasserleiters nur die Korngröße von Bedeutung ist, die in der Kornverteilungskurve bei 10 % liegt. Er bezeichnet das als die wirksame Korngröße und nennt sie d_w .

Nur für Sande, deren Ungleichförmigkeitsgrad

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 5 \text{ beträgt, gilt die Formel}$$

$$k_f = 0,0116 \cdot d_w^2 \text{ bei } d_w = d_{10} \text{ der Kornverteilungskurve in mm.}$$

Der Ungleichförmigkeitsgrad (U) ist der Quotient aus den Korngrößen bei 60 % und bei 10 % der Kornverteilungskurve.

Wenn in einer Bohrprobe einzelne gröbere Gerölle auftreten, die den Wert für den Ungleichförmigkeitsgrad U auf >5 erhöhen, wird ggf. die grobe Komponente unter Beachtung des Gesamtcharakters der Schicht bei der Entnahme der Untersuchungsprobe nicht berücksichtigt.

k_f -Wert-Bestimmung durch die Siebanalyse

Um die relativ hohen Kosten eines Feldversuches mit mehreren Bohrungen möglichst zu umgehen, ist man dazu übergegangen, die Formel von HAZEN zu verbessern, um auch aus Siebanalysen Durchlässigkeitsbeiwerte mit ausreichender Genauigkeit zu erhalten. J. ZIESCHANG beschreibt dieses Verfahren in der Zeitschrift für Angewandte Geologie, Bd. 10, 1964, (Heft 7), S. 364 ff.

Es wird nun versucht, den mit "c" bezeichneten "konstanten" Beiwert, auch für Ungleichförmigkeitsgrade zu erhalten, die nicht den oben genannten Bedingungen gehorchen. Diese k_f -Wert-Bestimmung gilt dennoch generell nur für grundwasserleitende Sande und Kiessande ohne wesentlichen Schluffgehalt (unter 1 %) im Bereich $d_{10} = 0,1$ bis $0,4$ mm und $U = 1$ bis 25 .

Die Probenahme hat nach jedem Schichtenwechsel, jedoch wenigstens alle 2 m im Grundwasserleiter zu erfolgen. Dabei ist ein Eimer Probenmaterial zu entnehmen, von dem kleinere Einzelproben (Mischproben von 500 g und mehr je nach Verschiedenheit des Korngrößengemisches) entnommen werden. Die durch das Ausschütten des Bohrgutes veranlaßte Entmischung ist zu berücksichtigen.

Abschließend sei bemerkt, daß Veränderungen der Temperatur, des Salzgehaltes des Wassers und des Gefälles den k_f -Wert verändern, wobei besonders die Temperatur eine Rolle spielt. Zu Vergleichszwecken müßten eigentlich alle verwendeten k_f -Werte auf einen bestimmten Temperaturwert (plus 10° C) bezogen werden. Dies ist rechnerisch möglich. Aus diesem Grund ist die Bestimmung der Wassertemperatur bei Pumpversuchen von größter Wichtigkeit und darf nicht unterlassen werden.

k_f -Wert-Bestimmung durch den Feldversuch

Die wirklichkeitsnächsten k_f -Werte ergibt naturgemäß der Feldversuch, weil dabei die natürlichen Lagerungsverhältnisse der Einzelkörner nicht verändert werden, abgesehen davon, daß die durch das Pumpen verstärkte Strömung in unmittelbarer Brunnennähe Lagerungsveränderungen in geringem Umfange hervorruft.

Man ordnet einem Pumpbrunnen senkrecht zur Grundwasserfließrichtung nach beiden Seiten je 2 Beobachtungsbrunnen zu, deren Abstand rechnerisch bestimmt wird, wobei eine überschlägige k_f -Wert-Bestimmung auf Grund von Korngrößenanalysen oder anderen Verfahren vorausgehen muß. Das natürliche Grundwassergefälle muß vor der Beanspruchung durch das Pumpen ebenfalls ermittelt werden.

Bei diesen Pumpversuchen wird jedes Beobachtungsbohrloch mit mehreren Beobachtungsrohren besetzt, um die Durchlässigkeitsbeobachtungen entsprechend dem unterschiedlichen Schichtenaufbau auseinanderhalten zu können.

Alle zur Versuchsanordnung gehörenden Brunnen, die oben genannt wurden, müssen in dem Bereich stehen, in dem das Grundwasser bei künstlicher Beanspruchung, also beim Pumpen, von allen Seiten gleichmäßig auf den Pumpbrunnen zufließt. Das heißt, die Beobachtungsbrunnen müssen innerhalb des Absenkungstrichters stehen.

J. ZIESCHANG hat diese Versuchsanordnung in der Zeitschrift für Angewandte Geologie, Bd. 8, 1962 (Heft 5), S. 226 ff erläutert.

4.1.5. Durchflußmenge

Das Grundwassereinzugsgebiet wird, wie bereits erwähnt, von Grundwasserscheiden begrenzt. Dort, wo die Grundwasseroberfläche am tiefsten liegt, erfolgt der Abfluß aus dem Einzugsgebiet.

Für die abfließende Grundwassermenge gilt nach DARCY die Beziehung:

$$Q = k_f \cdot i \cdot F \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Q Durchflußmenge

k_f Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

i Grundwassergefälle im Durchflußbereich (ohne Dimension)

F Durchflußquerschnitt (m²)

Der Durchflußquerschnitt ist die Fläche des Wasserleiters im geologischen Schnitt im Durchflußbereich senkrecht zur Fließrichtung.

Der Abfluß aus einem Grundwassereinzugsgebiet ist natürlich gleichzeitig der Zufluß zu dem in der Fließrichtung unterhalb liegenden Einzugsgebiet. Ein Teil des Grundwassers kann auch durch Quellaustritt in den oberirdischen Abfluß, in das Gewässernetz, übergehen.

4.1.6. Grundwassererneuerung

An anderer Stelle wurde festgestellt, daß dem Grundwasserleiter im allgemeinen nur soviel Wasser entnommen werden darf, wie sich von selbst über die Versickerung wieder bildet.

Damit ist schon gesagt, daß neben dem Niederschlag und dem Aufnahmevermögen des Wasserleiters in erster Linie die Wasseraufnahmefähigkeit und die Wasserdurchlässigkeit der Bodenschichten die Grundwassererneuerung beeinflussen. Vegetation und Hangneigung wirken sich ebenfalls auf das Ergebnis aus.

Es ist verständlich, daß ein lehmiger Boden weniger Wasser versickern läßt als ein sandiger. An steilen Hängen fließt das Niederschlagswasser schnell ab und hat wenig Gelegenheit zum Versickern. Die Vegetation kann je nach Pflanzenart hemmend auf die Versickerung wirken oder auch fördernd.

Die Wirkung von Boden und Vegetation auf die Wasserbilanz des Bodens wird durch Lysimeterversuche festgestellt. Boden mit bestimmtem Bewuchs wird unverändert aus dem Bodenverband gelöst und eine Spezialwaage untergebaut. Die Bodenprobe ist ringsum und unten abzudichten. Die Wasserzugabe kann genau dosiert werden. Die Waage mißt die durch das Wasser bewirkte Gewichtszunahme. Am Boden befindet sich ein Ablasshahn, durch den das durchgesickerte Wasser in ein Meßgefäß ab-

fließen kann. Die Dauer des Durchsickerns wird mit der Uhr festgestellt.

Diese Methode ist zwar relativ aussagekräftig, aber zu teuer um umfassende Anwendung finden zu können. Es gibt nur wenige Lysimeterstationen, deren Ergebnisse als grobe Schätzwerte stark verallgemeinert werden. Die Wasserwerke mit langjährigem, gleichmäßigem Betrieb und eindeutig feststellbaren Grundwasserscheiden liefern die sichersten Werte. Leider sind sie von so geringer Zahl, daß sie nur zur Stützung der Lysimeterwerte verwendet werden können.

Auf der Basis von Lysimeterversuchen und Wasserwerkserfahrungen wurden mehrere Verfahren zur Bestimmung der Grundwassererneuerung entwickelt, die alle jedoch nur Näherungswerte mit hohem Unsicherheitskoeffizienten bringen. Für Berechnung der gewinnbaren Grundwassermenge ist aber die Kenntnis des Grundwassereinzugsgebietes erforderlich. Dies ist jedoch oft nicht der Fall, vor allem dann, wenn es sich um größere Gebiete mit geringem geologischem Erforschungsgrad und wenig Grundwasserbeobachtungsstellen handelt.

4.2. Bohrarbeiten, Probenahme und Versuchsbrunnenausbau

4.2.1. Gebräuchliche Bohrverfahren der Grundwassererkundung

In der DDR wird erst seit wenigen Jahren eine systematische Erkundung der Grundwasserlagerstätten betrieben. Das im Brunnenbau übliche Trockenbohrverfahren findet aus diesem Grunde auch bei der Grundwassererkundung noch eine breite Anwendung, im Lockergestein mit Schappe, Spirale, Kiesbüchse usw. und im Festgestein beim "Freifallmeißeln" mit zum Teil mehrere Dezitonnen schweren Blattmeißeln zum Zerkleinern des Gebirges und mit der Ventilbüchse zur Bohrkleinförderung.

Die Vorteile des Verfahrens liegen im relativ großen Bohrlochdurchmesser, der durch den Bohrlochausbau mit Filter und den Pumpeneinbau erforderlich ist, und im Fehlen der Spülung, deren mitunter verwendete chemische Zusätze die Qualität des Grundwassers beeinträchtigen und damit die Untersuchungsergebnisse verfälschen. Außerdem verursacht die tonige Spülung ein Verkleistern der Poren und Klüfte des anstehenden Gesteins, so daß beim Pumpversuch kein objektives Bild der Ergiebigkeit des Grundwasserleiters gewonnen werden kann. Klares Wasser muß selbstverständlich vorhanden sein, um bohren zu können.

Von Nachteil sind die hohen Kosten der so abgeteuften Bohrungen, die einem normalen Brunnenbau, also bereits einer Wassererschließung gleichkommen. Langwierige Abteufarbeiten und hoher Materialaufwand, bedingt durch den großen Bohrlochdurchmesser und den häufigen Gestängeausbau, verursachen die hohen Kosten, insbesondere beim Freifallmeißelbohrverfahren.

In dem Bestreben, diese Nachteile zu beseitigen, wurde versucht, die bei der Mineralerkundung üblichen Bohrverfahren mit Spülung auch für die hydrogeologische Erkundung nutzbar zu machen. Man stellte zunächst beide Verfahren, Kernbohrung mit Spülung und Trockenbohrung nebeneinander. Eine gekernete Vorbohrung gibt (u.a. auch mit Hilfe der geophysikalischen Bohrlochmessung) Aufschluß über die Schichtenfolge und ermöglicht an Hand petrographischer Merkmale das Ausgliedern von Wasserleitern und Wasserstauern. Der Wasserzutritt kann nur durch die dadurch verursachte Verdünnung der Spülung beobachtet werden.

Anschließend muß die Bohrung aus den bereits genannten Gründen bis unter den infolge seiner Kornzusammensetzung und seiner Mächtigkeit als günstigen Wasserleiter ausgeschiedenen Horizont auf den für den Versuchsbrunnenausbau erforderlichen Durchmesser erweitert werden. Das geschieht im Bereich der Wasserstauer mit dem Rollenmeißel bis ca. 5 m über den nächsttieferen Wasserleiter, um die Spülung nicht in diesen hineinlaufen zu lassen. Der Bereich der Wasserleiter muß im Trockenbohrverfahren erweitert werden. Die Erweiterungsbohrung kann man auf dem Kernbohrloch oder, wie es in der Regel geschieht, nahe daneben ansetzen. Damit werden ein rationelleres Bohren mit großem Durchmesser und eine rationellere Verrohrung ermöglicht, weil ja die Erweiterungsbohrung aus petrographischen Gründen häufig wesentlich geringere Teufe hat als die testende Kernvorbohrung. Wird bei Suchbohrungen kein Wasserleiter angetroffen, beschränken sich die Kosten auf die relativ billige Kernbohrung. Der Zeitaufwand ist hierbei wegen des zweimaligen Bohrens noch relativ groß, wenn auch hinsichtlich des Bohrlochdurchmessers eine Verbesserung erzielt wurde.

Durch den Einsatz der Mammutpumpe beim späteren Pumpversuch kann man bei standfestem Gebirge, also im Festgestein, auf den Kiesschüttungsfilter (s. Versuchsbrunnenausbau) und den platzraubenden Pumpeneinbau in das Bohrloch und somit auf den großen Enddurchmesser verzichten. Da die Mammutpumpe, bei der das Wasser durch Vermischung mit Druckluft zum Aufsteigen im Steigrohr bis über Tage veranlaßt wird, auch

in der Lage ist, mit Hilfe ihres starken Sogs die Spülungskruste hinwegzuspülen, setzt man bei uns neuerdings auch im Festgestein Kernbohrungen an und pumpt die Wasserleiter im unverrohrten oder teilweise verrohrten Bohrloch ab. - Unverrohrte Bohrstrecken im Lockergestein müssen immer wassergefüllt sein, um einen Bohrlochzusammenbruch zu vermeiden.

Für den späteren Einbau von mitunter mehreren Grundwasserbeobachtungsrohren, getrennt nach den verschiedenen Grundwasserstockwerken ist unter Umständen eine teilweise Erweiterung des Bohrloches erforderlich.

Das schnelle Kernbohrverfahren und der geringe Bohrllochdurchmesser machen das Verfahren besonders vorteilhaft, wenn auch die durch die Methodik der Pumpversuche geforderte getrennte Untersuchung der einzelnen Grundwasserstockwerke häufig erst künstlich durch den Einbau von Gummisperren, den sogenannten Packern, erreicht wird.

Ferner ist bekannt, daß das Bohren mit laufendem Spülungsstrom wegen des Wegfallens des häufigen Gestängeausbaus am schnellsten die geplante Endteufe erreichen läßt.

Zum schnellen Aufsuchen von Wasserleitern benutzt man auch das Counterflush-Verfahren, bei dem im Linksspülverfahren mit kleinem Bohrdurchmesser (1" bis 3") ein rascher Vortrieb erreicht wird.

Wasser wird mit Druck in den Ringraum zwischen Verrohrung und Hohlgestänge hineingepreßt. Eine Bohrkronen am rotierenden Gestänge zerkleinert das Gebirge. Der Spülstrom steigt durch den Wasserüberdruck im Gestängehohlraum aufwärts und nimmt das Bohrklein mit. Infolge des geringen Durchmessers tritt das Bohrklein relativ kompakt, fast wie ein Bohrkern aus dem Gestänge aus und muß laufend abgenommen werden. Es entsteht je nach Gebirgsart nur geringer 'Kernverlust', weil es sich um einen fortlaufenden Vorgang unter Druck handelt. Das Bohrklein gestattet eine für hydrogeologische Zwecke völlig ausreichende Gesteinsaufnahme.

Das Verfahren dient nur zum Nachweis der Wasserleiter und -stauer bis in 300 m Tiefe.

Für Leistungspumpversuche taugen diese Bohrungen nicht. Sie dienen der Erhöhung der Aufschlußdichte. Für Pumpversuche müssen stets Versuchsbrunnen gebohrt werden.

Immer stärker setzt sich die Notwendigkeit durch, hydrogeologische Erkundung und Grundwassererschließung zu vereinigen, um schnell und rationell zu arbeiten.

Alle bisher genannten Verfahren erfordern außerdem Brunnenbohrungen, die der Wassererschließung bzw. -förderung dienen. Dadurch ist der mehrjährige Zeitraum bedingt, der im allgemeinen zwischen dem Beginn der Erkundungsarbeiten und der Wasserförderung liegt.

Der Forderung nach Verkürzung des Erkundungszeitraumes, d.h. der Vereinigung von Erkundung und Erschließung trägt das Saugspülverfahren Rechnung.

Für dieses Verfahren müssen große Wassermengen für Spülungszwecke zur Verfügung stehen. Der Klarwasserspülstrom läuft aus dem Schlammteich in das Bohrloch, das immer voll Wasser stehen muß, um es auch unverrohrt standsicher zu halten.

In der Regel benutzt man einen Spezialrollenmeißel zum Zerkleinern des Gebirges. Durch das hohle Gestänge wird die Spülung und mit ihr das Bohrklein mittels Vakuumpumpe aus dem Bohrloch herausgesogen, daher die Bezeichnung "Saugspülverfahren". Das Bohrklein wird aufgefangen und zur Gesteinsaufnahme verwendet, die sofort und demzufolge dreischichtig durchgehend erfolgen muß. Die Spülung, durch Schlammteilchen getrübt Wasser, läuft in den Schlammteich zurück, der als Absetzbecken zur Wasserreinigung dient; von da läuft sie als Klarwasser wieder in das Bohrloch.

Das Bohrloch kann während des Spülungsumlaufes, also während des Bohrens im allgemeinen, unverrohrt bleiben, muß jedoch häufig in Abhängigkeit vom Gebirge sofort nach Einstellung des Spülungsumlaufes verrohrt werden. Mit einer Rohrtour kann eine verhältnismäßige große Teufe (150 m) erreicht werden.

Der große Bohrlochdurchmesser fällt nicht ins Gewicht. Die Bohrung wird mit großer Geschwindigkeit niedergebracht. Die einfache Verrohrung ist relativ billig gegenüber einer Teleskopverrohrung, wie sie mitunter bei anderen Verfahren erforderlich ist. Der große Durchmesser führt außerdem zu einer großen Wassereintrittsfläche und damit zu sicheren hydrogeologischen Aussagen.

Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß auf rationelle Art und Weise ein Bohrloch abgeteuft wird, das zum Produktionsbrunnen ausgebaut werden kann, falls der Leistungspumpversuch gezeigt hat, daß an dieser Stelle entsprechende Voraussetzungen bestehen.

4.2.2. Probenahme bei hydrogeologischen Bohrungen

Im Hinblick auf die im Kapitel 5.1. erwähnten Wasserproben sei vorausgeschickt, daß hier nur die Gesteinsprobenentnahme behandelt wird.

Die Probenahme richtet sich auch bei den hydrogeologischen Bohrungen nach dem Bohrregime, das wiederum von der Untersuchungsmethodik bestimmt wird.

Die Gesteinsproben benötigt man, wie auch bei anderen Bohrungen, zur Klärung der Stratigraphie und zur Bestimmung technischer Parameter, in diesem Falle des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f).

Für das "Trockenbohren" gilt die bekannte Regel, daß je Meter Teufe und bei Schichtenwechsel eine Haufenprobe (Eimer) und parallel dazu eine Probe in die Fächerkiste genommen werden. Bei der Förderung von Bohrschmand im Festgestein (Freifallmeißeln) verzichtet man auf die Haufenprobe. Die Fächer in den Kisten müssen in jedem Falle mindestens 0,10 m Seitenlänge haben. Sämtliche Haufen und Fächer müssen mit der Teufenangabe und die Kisten mit dem Namen der Bohrung versehen sein.

Für die Bestimmung der Durchlässigkeit nimmt man beim Lockergestein in der Regel innerhalb der Wasserleiter aus jedem Haufen eine Probe von 1,0 bis 1,5 kg, dies entspricht etwa einem Frühstücksbeutel voll, um den durchschnittlichen k_f -Wert des Wasserleiters laborativ bestimmen zu können. Der Wasserstauer wird nur mit wenigen charakteristischen Proben untersucht.

Da bei der Haufenablage eine Entmischung des Materials erfolgt, muß bei der Probenahme die ursprüngliche Mischung nach Möglichkeit wieder hergestellt werden, indem man vom Kegelfuß und von der Kegelspitze gleichermaßen Probenmaterial entnimmt.

Beim kombinierten Bohrverfahren entstammen die Proben für die Durchlässigkeitsuntersuchungen aus den trocken gebohrten Abschnitten. Bei Kernbohrungen im Festgestein geschieht die Probenahme für die stratigraphischen Bestimmungen wie bei den Kartierungsbohrungen in Handstücken aus dem Kern.

Durchlässigkeitsuntersuchungen werden mitunter bei Sandstein durchgeführt, indem an 0,10 bis 0,15 m langen Kernstücken Wasserdruckmessungen vorgenommen werden, weil die normalen Durchlässigkeitsuntersuchungen an der geringen Sickergeschwindigkeit scheitern würden.

Beim Saugspülverfahren wird das Bohrklein in einem Sieb aufgefangen und zur Gesteinsaufnahme verwendet, während das Wasser in den Schlammteich zurückfließt.

4.2.3. Versuchsbrunnenausbau

Bei Erkundungsbohrungen, die gegenwärtig meistens mit geringerem Durchmesser niedergebracht werden, als er für Förderbrunnen erforderlich ist, wird nur ein provisorischer, den Untersuchungszwecken dienender Brunnenausbau vorgenommen, der jedoch im Prinzip, wenn auch nicht in den Ausmaßen dem des Förderbrunnens entspricht.

Am Rande sei vermerkt, daß in einer Bohrung, entsprechend dem getrennten Abpumpen der einzelnen Grundwasserstockwerke nacheinander, mehrere Brunnenausbauten vorgenommen werden können.

In das Bohrloch wird das Brunnenrohr mit geringerem Durchmesser eingelassen, so daß zwischen Bohrlochwand und Brunnenrohr ein sogenannter Ringraum entsteht. Im nicht standfesten Gebirge muß natürlich das Bohrloch verrohrt werden. Diese Hilfsverrohrung ist nach dem Filtereinbau und dem Kiesschütten wieder zu ziehen. Das Brunnenrohr ist im allgemeinen vollwandig, nur im Bereich der Wasserleiter wird es entweder über die ganze Strecke oder wenn sie mehr als 10 m mächtig ist, in den unteren 10 m durch Filterrohre ersetzt. Diese sind entweder mit wenigen Millimeter breiten Schlitzten oder mit Löchern durchsetzt, um dem Wasser den Zutritt in den Brunnen zu ermöglichen. Am Fuß des Brunnens, unterhalb der letzten Filterstrecke, folgen einige Dezimeter vollwandiges Rohr, der Schlammfang. Hier setzen sich die Sand- und Schlammteilchen ab, die in das Filterrohr gelangt sind.

Als Baumaterial für die Filterrohre finden Stahl und Porzellan Verwendung. Kupfer wird heute kaum noch in Brunnen eingebaut.

Wurde der gesamte Wasserleiter ausgebaut, spricht man vom vollkommenen, wurde nur sein oberer Abschnitt ausgebaut, vom unvollkommenen Brunnen.

Um klares Wasser fördern zu können, muß das Eindringen von Sand und Schluff in den Brunnen während des Pumpversuchs verhindert werden. Der Wasserleiter in unmittelbarer Umgebung des Brunnens wird durch "Klarpumpen" oder "Entsanden" von Sand und Schluff befreit. In den Ringraum wird eine Filterkiesschüttung eingebracht, deren Korngröße mindestens das Zweifache der Korngröße des erbohrten Gesteins betragen muß.

So verändert sich durch das Entsanden die Korngrößenverteilung in unmittelbarer Nähe des Brunnens derart, daß die Korngröße mit zunehmender Entfernung vom Brunnen abnimmt, weil das feine Material entfernt wurde. Fährt man den Pumpversuch oder die spätere Förderung mit ge-

ringerer Kapazität (Wassermenge pro Zeiteinheit) als das Entsandten, kann kaum noch feines Material zufließen, weil auch die Zuflußgeschwindigkeit geringer ist und damit die Transportkraft im Grundwasserstrom nachläßt.

Macht es sich mitunter erforderlich, die Kiesschüttung nach Korngrößen gestaffelt einzubringen, wird, um die Korngrößenabstufung zu garantieren, die erste Kiesschicht häufig mit Hilfe eines "Gewebekorbes", d.h. mit einer Filtergazewicklung am Filterrohr befestigt. Beides wird dann gemeinsam eingebaut. In den noch verbleibenden Ringraum wird die zweite Kornstufe eingebracht. Die Gaze, auch als Tresse bezeichnet, besteht aus Perlon- oder Kupferdrahtgewebe.

Zur Erhöhung der Ergiebigkeit des Brunnens kann man auch die Kiesschüttung in der vertikalen Richtung entsprechend dem aufgenommenen Schichtenprofil differenzieren, indem jeder Teilschicht des Wasserleiters, der im allgemeinen nicht gleichförmig aufgebaut ist, die ihr am günstigsten entsprechende Kiesschüttung zugeordnet wird.

Im klüftigen Festgestein dient die Kiesschüttung nur als Stützgerüst für das Brunnenrohr. Die Kluftverhältnisse sind im einzelnen nicht bekannt. Ein Filtergerüst im Sinne des Lockergesteins kann sich im kompakten Festgestein sowieso nicht ausbilden.

Dem Brunnenausbau folgt der Pumpeneinbau.

Beim Entsandten wird häufig eine Tiefkolbenpumpe benutzt, deren Saugkorb zwar im Brunnen hängt, während das Aggregat jedoch über Tage steht.

Für den Pumpversuch benutzt man bei größerem Brunnendurchmesser (Enddurchmesser 273 mm) wegen der besseren Förderbedingungen eine Unterwasserpumpe. Sie kann hinsichtlich der Förderhöhe sehr variabel eingesetzt werden.

Häufig, vor allem bei den geringer dimensionierten Kernbohrlöchern (im Festgestein) arbeitet man mit der Mammutpumpe, bei der nur zwei Rohre mit wenigen Zentimetern Durchmesser in das Bohrloch eingebaut werden. Durch das eine wird Luft mit einem Kompressor unter hohem Druck in das Brunnenwasser gepumpt. In dem anderen Rohr steigt das so entstandene Luft-Wasser-Gemisch zu Tage auf, weil es leichter als Wasser ist. Dabei muß das Brunnenrohr oben gut abgedichtet sein.

4.3. Pumpversuch

Beim Pumpversuch werden die meisten und die wichtigsten Ergebnisse gewonnen, die für die Beurteilung der hydrogeologischen Verhältnisse von

Bedeutung sind. In der Regel wird jedes Grundwasserstockwerk getrennt abgepumpt, weil im allgemeinen jedes Stockwerk andere Wasserdruck- und Wasserfließverhältnisse und damit auch andere Grundwassermengen bzw. -gewinnungsverhältnisse hat.

In der Praxis ergibt es sich aus technischen und ökonomischen Gründen, daß mehrere Wasserleiter, die nur durch geringmächtige Zwischenmittel getrennt sind, gemeinsam abgepumpt werden, so daß in der Regel je Bohrung 1 bis höchstens 3 Pumpversuche durchzuführen sind.

Aufgabe des Pumpversuches ist es, das Leistungsvermögen eines Brunnens zu bestimmen, wobei sich ein Gleichgewicht zwischen Entnahme und natürlichem Zufluß einstellen muß. Der Pumpversuch ist bei Untersuchungsarbeiten ein sehr wichtiges Verfahren, um angenäherte Werte über die zulässige Entnahmemenge zu erhalten.

Für bestimmte Berechnungen ist es erforderlich, an zwei Bohrungen im gleichen Wasserleiter gleichzeitig zu pumpen, d.h. einen Doppelpumpversuch durchzuführen.

Je nach Art des Wasserleiters führt man die Pumpversuche mit unterschiedlicher Dauer durch. 80 bis 100 Stunden reichen im allgemeinen in lockeren und porösen Gesteinen aus, um den kontinuierlichen Zufluß hinreichend genau zu ermitteln. Im klüftigen und kompakten Festgestein, wo die Gefahr besteht, daß relativ engbegrenzte Kluftsysteme leergepumpt werden, muß man längere Zeiten ansetzen (150 bis 250 Stunden), ehe man sicher ist, nicht nur ein kleines, lokales Grundwasservorkommen angebohrt zu haben.

In einzelnen Fällen werden zur Sicherung der Ergebnisse und u.a. zur Bestimmung der Reichweite der Grundwasserbeeinflussung Spezialpumpversuche bis zu 500 Stunden Dauer durchgeführt.

Jedem Pumpversuch muß ein sogenanntes Klarpumpen oder Entsandn vorausgehen, weil das Wasser durch die Bohr- und Ausbauarbeiten verschmutzt wird. Das Klarpumpen dient zugleich der Stabilisierung des Filters in dem unmittelbar der Bohrlochwand benachbarten Gestein. Dabei mißt man nach je 30 Minuten den Wasserstand im Bohrloch mit der Brunnenpfeife oder einem anderen akustischen Lot oder einem elektrischen Lot (s.a. Kapitel 4.2.3. Versuchsbrunnenausbau).

Auch das Ansteigen des Wasserspiegels im Bohrloch wird nach Aussetzen des Pumpens gemessen. Die Pumpenleistung muß höher liegen als beim späteren Pumpversuch, damit nicht ein noch höherer Sog erzeugt wird als beim Klarpumpen, denn damit käme erneut feines Material in den Brunnen.

Nach dem Erreichen des Ruhewasserspiegels erfolgt der Einbau einer Uta-Pumpe (Unterwasserpumpe), die nur sauberes Wasser verträgt. Die benötigte Pumpenkapazität kann auf Grund des Ergebnisses der Entsandung geschätzt oder berechnet werden.

Vorwiegend im Festgestein benutzt man zum Reinigen des Bohrloches und zur Erzielung hoher Leistungen die Mammutpumpe.

Während des Pumpens ist der Bohrlochwasserstand nach folgendem Zeitplan regelmäßig zu messen:

in der ersten halben Stunde alle 5 Minuten,
bis zur ersten vollen Stunde alle 10 Minuten,
bis zur vollen dritten Stunde alle 30 Minuten und
danach genügen stündliche Messungen.

Der Pumpversuch darf nicht unterbrochen werden. Alle Fördermengen und die dazugehörigen Wasserstände in Meter u. Gel. sind samt Uhrzeit einwandfrei und übersichtlich zu dokumentieren.

Der Meßkasten nach Poncelet dient der indirekten Messung der Fördermenge. Das geförderte Wasser fließt durch einen Kasten, in dem durch überflossene und durchbrochene Trennwände die Turbulenz des Wassers völlig zum Erliegen kommt. Ein genormtes Überlaufwehr ermöglicht durch Ablesung der Wasserspiegelhöhe in mm an einem Stab im Kasten die ziemlich genaue Feststellung der Überlaufmenge, die ja gleich dem aus dem Bohrloch geförderten Zulauf sein muß. Der Kasten muß genau waagrecht stehen. Das ist ab und zu zu prüfen.

Das überlaufende Wasser darf nicht wieder über die Versickerung in den Absenkungstrichter gelangen, sonst wird der natürliche Zulauf künstlich beeinflusst und das Förderergebnis verfälscht. Das Wasser wird durch eine Rohrleitung aus dem unmittelbaren Einzugsgebiet abgeleitet und einem Vorfluter zugeführt.

Die Absenkung des Bohrlochwasserspiegels richtet sich entweder nach der beabsichtigten und auf Grund des Klarpumpens abgeschätzten oder berechneten Fördermenge, oder die Fördermenge richtet sich nach der beabsichtigten Absenkung, die meist in zwei oder drei Etappen mit je einem Beharrungszustand durchgeführt wird.

Der Beharrungszustand tritt dann ein, wenn die Fördermenge gleich dem Zulauf ist und demzufolge der Bohrlochwasserspiegel relativ konstant bleibt. Dieser Zustand ist charakteristisch und muß eine bestimmte Zeit beibehalten werden. Jeder Fördermenge entspricht ein bestimmter Beharrungszustand.

Durch die Absenkung des Bohrlochwasserspiegels bildet sich in lockerem und porösem Gestein durch allseitigen Zufluß zum Bohrloch eine fast kegelförmige Einbuchtung der Grundwasseroberfläche aus, in deren Spitze der im Bohrloch abgesenkte Wasserspiegel liegt, der Absenkungsrichter. Seine Größe läßt sich durch Beobachtung des Wasserspiegels an weiteren Bohrlöchern verfolgen, die eigens zu diesem Zweck im vermuteten Trichterbereich gebohrt werden. Sie werden mit Grundwasserbeobachtungsrohren versehen.

Nach dem Abstellen der Pumpe muß in umgekehrter Folge wie beim Absenken der Wiederanstieg des Bohrlochwasserspiegels bis zum Ruhewasserstand genau beobachtet werden. Beobachtet man auch die Grundwasserbeobachtungsrohre, kann das natürliche Wiederauffüllen des Absenkungstrichters genau verfolgt werden. Die Abb. 7 und 8 geben einen Pumpversuch in graphischer Darstellung wieder.

In einem Säulenprofil (Abb. 7) ist die Schichtenfolge mit Teufenangaben dargestellt. In Abb. 8 trägt man nach rechts die Zeitdauer des Pumpversuchs auf, nach oben die Förderleistung und vom Ruhewasserspiegel aus nach unten die zu den eingangs genannten Zeiten gemessenen Teufenlagen des Bohrlochwasserspiegels. Die verbindende Kurve ist die Absenkungskurve, an der man deutlich die Absenkung, die Beharrungszustände und den Wiederanstieg des Bohrlochwasserspiegels ablesen kann. (Säulenprofil und Pumpversuchsergebnisse sind nur in der Abbildung aus drucktechnischen Gründen nicht nebeneinandergestellt).

Die gemeinsame Benutzung der Ordinate für Leistung und Absenkung erlaubt es, die Veränderung der Pumpenleistung, die sich ja auf die kontinuierliche Absenkung des Bohrlochwasserspiegels auswirken muß, senkrecht über der Leistungskurve an der Absenkungskurve abzulesen.

Im oberen Abschnitt des Diagramms ist noch die sogenannte "Leistungscharakteristik des Brunnens" oder das "Absenkungs-Leistungsdiagramm" eingezeichnet worden.

Die Wassermenge wird nach rechts, die Absenkung nach unten eingetragen. Die Kurve, die die einzelnen Punkte verbindet, die jeweils eine spezifische Ergiebigkeit repräsentieren, ist die Leistungscharakteristik des Brunnens.

Die "spezifische Ergiebigkeit" oder auch "Einheitsergiebigkeit" ermittelt man für jeden Beharrungszustand wie folgt:

bei gespanntem Wasser $E = \frac{Q}{s}$

bei ungespanntem Wasser $E = \frac{(2H-1) Q}{(2H-s) s}$

E spezifische Ergiebigkeit in l/sm (Liter pro Sekunde und Meter Absenkung)

H Mächtigkeit der wassergefüllten Schicht in m

s Absenkung des Ruhewasserspiegels in m

Q geförderte Wassermenge in l/s

Der Vergleich verschiedener Brunnencharakteristiken läßt Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit der Brunnen zu. Der Pumpversuch dient nicht nur der quantitativen, sondern auch der qualitativen Beurteilung des Grundwasservorkommens (s. Kapitel 5.0. Qualität des Grundwassers).

Pumpversuche können in Abhängigkeit von der Pumpenkapazität in der Regel nur bei Wassermengen von ca. 5 m³/h und darüber hinaus durchgeführt werden. Bei geringeren Mengen, wie sie für bergbauliche Maßnahmen mitunter interessieren, begnügt man sich mit einem Schöpfversuch. Dabei wird das Wasser mit einem Behälter nach oben geholt, und mit einer Stoppuhr wird die Zeitdauer des einzelnen Schöpfvorganges festgestellt.

Mit Hilfe von Schöpfversuchen kann man sich auch während des Abteufens der Bohrung über die Veränderung der Wasserqualität durch Analysieren der Schöpfproben auf die kritischen Bestandteile, wie z.B. Chloridgehalt oder Härte informieren.

5.0. Chemische Qualität des Grundwassers

Die in Gebieten hohen Wasserbedarfs an sich schon ungenügenden Wassermengen erfahren hinsichtlich ihrer Verwendungsfähigkeit noch Einschränkungen wegen der chemischen und der bakteriologischen Qualität des Wassers. Das ist ja überhaupt der Grund, warum das Flußwasser außer im Gebirge nicht mehr unmittelbar als Trinkwasser verwendet werden kann und auch vielen Ansprüchen der Brauchwassernutzer nicht mehr genügt.

Mit jedem Pumpversuch sind deshalb auch chemische Wasseruntersuchungen zu verbinden.

5.1. Entnahme von Wasserproben

In der Regel werden drei Wasserproben von je 1 000 ml für chemische Vollanalysen und eine Wasserprobe von 250 ml zur Bestimmung der ag-

gressiven Kohlensäure genommen.

Vor der Probenahme müssen die mit destilliertem Wasser gesäuberten Flaschen mit eingeschliffenem Stopfen bis zu viermal mit dem Brunnenwasser ausgespült werden, die Kohlensäureprobenflasche nicht. Sie enthält eine Prise Marmorpulver, dem das Wasser zugegeben wird.

Die Probenahme erfolgt dreimal, und zwar nach Beginn des Pumpversuches, nach Erreichen des zweiten Beharrungszustandes und gegen Ende des Pumpversuches. Die Probe zur Bestimmung der aggressiven Kohlensäure ist zusammen mit der zweiten Wasserprobe zu nehmen.

Die Flaschen sind unter Vermeidung von Wirbelbildung randvoll zu füllen und beim Verschließen nicht zu erschüttern. Während der Wasserprobenentnahme werden die Wassertemperatur (am Ausfluß des Pumpenrohres) und die Lufttemperatur gemessen.

Jede Wasserflasche muß etikettiert werden. Folgende Angaben sind zu vermerken:

Bohrung (Name und Nummer)
Datum und Uhrzeit der Probennahme
Luft- und Wassertemperatur
Probenehmer
Einsendender Betrieb

Die Proben dürfen nicht dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt werden und müssen innerhalb von 48 Stunden analysiert werden. Die Untersuchung erfolgt im Labor. Zeigt sich in der Probe Gas, ist die Untersuchung an Ort und Stelle notwendig (Feldlabor).

Eine Verletzung dieser genannten Bedingungen macht die Probe wertlos. Unter Umständen muß deshalb der ganze Pumpversuch wiederholt werden.

Bei Standorterkundungen für Wasserwerksbrunnen macht sich noch eine bakteriologische Untersuchung erforderlich, die sich bei den relativ kurzen Pumpversuchen der anderen Erkundungsstadien wegen der Möglichkeit zeitweilig bedingter Verunreinigungen erübrigt.

Diese Probenahme erfordert Spezialkenntnisse und -werkzeuge und wird zweckmäßigerweise von geschultem Personal der staatlichen Hygieneinspektionen durchgeführt.

Wie schon oben angeführt, kann man zur Verfolgung der zunehmenden Versalzung oder zur Beobachtung der Härte des Grundwassers bei nicht mit Spülung arbeitenden Bohrverfahren auch während des Vortriebs der Bohrung in bestimmten Abständen Wasserproben entnehmen und analysieren lassen. Dabei empfiehlt sich aus ökonomischen und sachlichen

Gründen die Beschränkung auf eine Hauptkomponente, denn das Wasser im Bohrloch weist während der Bohrarbeiten immer anorganische und unter Umständen organische Verunreinigungen auf.

5.2. Chemie des Grundwassers

Chemisch reines Wasser kommt in der Natur nicht vor und ist außerdem in größeren Mengen ungenießbar.

Die Wässer, ob Grund- oder Oberflächenwasser, führen Stoffe in verschiedener Art und unterschiedlicher Konzentration.

Nach ihrem Verwendungszweck können folgende Grundwasserarten unterschieden werden:

- Trinkwasser,
- Betriebswasser mit besonderen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften,
- Bewässerungswasser für die Landwirtschaft,
- Mineral- und Thermalwasser für medizinische Zwecke,
- Mineralwasser (Solen) für die Gewinnung von volkswirtschaftlich wertvollen gelösten Bestandteilen.

Die Qualitätseigenschaften des Grundwassers können eine Verwendung für einen oder mehrere Verwendungszwecke zulassen.

(Nach: Instruktion zur Anwendung der "Klassifikation der Grundwasservorräte der DDR", 2. Entwurf, Dez. 1966)

Anstelle des Begriffs "Betriebswasser" wird häufig der Ausdruck "Brauchwasser" angewandt.

Die Zusätze nimmt das Wasser beim Wandern durch das Gestein auf. Sie stehen in unmittelbarer Abhängigkeit von der Wasserlöslichkeit der Gesteinssubstanzen.

Es gibt keine Normen für die chemische Qualität des Trinkwassers, weil man es meist in seinem natürlichen Zustande nehmen muß. Eine Aufbereitung, die nicht zu aufwendig sein darf, verändert die Qualität des Wassers in gewissem Rahmen. Die Grenzen für "ungenießbar" und "schädlich" sind sehr fließend.

Richtwerte für eine gute Trinkwasserqualität werden im folgenden angeführt:

Temperatur	6 - 12° C
pH-Wert	6,5 - 8
Gesamthärte	9 - 30° DH (Deutsche Härte)

Karbonathärte	13 - 20° DH
Nichtkarbonathärte	4 - 17° DH
Chlorid-Ionen	30 - 100 mg/l
Sulfat-Ionen	< 60 mg/l
CO ₂ - aggressiv	darf nicht vorkommen
KMnO ₄ -Verbrauch	< 12 mg/l
Phosphat-Ionen	dürfen nicht vorkommen
Ammonium-Ionen	dürfen nicht vorkommen
Nitrat-Ionen	< 30 mg/l
Nitrit-Ionen	dürfen nicht vorkommen
Fe (III)-Ionen	0,1 - 0,2 mg/l
Mn-Ionen	< 0,1 mg/l

Trinkwasser darf außerdem keine geschmacklichen Abnormitäten aufweisen, muß geruch- und farblos sowie klar durchsichtig sein.

Bei der Zirkulation des Grundwassers in Salz-, Gips- und Kalkgesteinen und deren damit verbundener Aus- und Ablaugung reichern sich die gelösten Stoffe im Wasser an. In solchen Gebieten werden die angegebenen Werte des Cl-Gehaltes und der Härte wesentlich überschritten. Dennoch muß man auch diese Wässer mangels anderer als Trink- und Brauchwasser verwenden. Es treten dabei keine gesundheitsschädigenden Wirkungen auf. Der überhöhte Cl-Gehalt führt zu geschmacklichen Beeinträchtigungen. Die Härte steht oft den industriellen Anforderungen entgegen. Hohe Karbonathärte z.B. führt zu verstärkter Kesselsteinbildung.

Unter Härte versteht man im wesentlichen den Gesamtgehalt an Kalzium- und Magnesiumsalzen. Man faßt sie in der Regel zusammen. Treten sie als Bikarbonate auf, spricht man von Karbonathärte, handelt es sich um Sulfate (CaSO₄ - Gips), Chloride oder Nitrate, so spricht man von der Nichtkarbonathärte oder der bleibenden (permanenten) Härte.

1° DH (Deutscher Härte) entspricht	10 mg/l CaO
"	7,14 mg/l MgO
"	24,3 mg/l CaSO ₄
"	21,4 mg/l MgSO ₄

Die Bikarbonate sind löslich und spalten sich bei Erwärmung in Kohlensäure und kohlensaure Salze auf, die bei Wiederabkühlung ausfallen (Kesselsteinbildung).

Die aggressive Kohlensäure führt in besonderem Maße zur Schädigung von Bauwerken und Rohrleitungen.

Aus der Höhe des KMnO_4 -Verbrauches läßt sich auf die organischen Verunreinigungen schließen. Sie werden mit KMnO_4 oxydiert und sind damit indirekt nachweisbar.

Die Industrie stellt recht oft besondere Anforderungen an die Qualität des Wassers. Gutes Trinkwasser reicht in den meisten Fällen für industrielle Zwecke aus.

Für bestimmte Zwecke, wie Gerätewaschanlagen, Kühlanlagen oder andere braucht nicht einmal Trinkwasserqualität vorzuliegen.

Die Lebensmittelindustrie braucht selbstverständlich einwandfreies Trinkwasser. Häufig wird kalkarmes Wasser, wie z.B. bei Brauereien und Konservenfabriken bevorzugt. Hoher Chloridgehalt wirkt ebenso wie Nitrite gleichfalls störend auf die Brauerzeugnisse.

Kühlwasser muß frei von Algen und Eisenverbindungen sein, die zur Verstopfung der Rohrleitungen führen können. Es muß geringe Härte aufweisen und karbonatarm sein. Aggressive Kohlensäure würde die Rohrleitungen korrodieren.

Die Textilindustrie verlangt im allgemeinen eisen- und manganfreies sowie weiches Wasser. Die Härte stört die Farbwirkung und beeinflusst die Stoffqualität ungünstig. Eisen- und Mangangehalt erschweren den Bleichprozeß und führen beim Waschen zum Fleckigwerden der Wäsche. Organische Verunreinigungen dürfen nicht auftreten.

Besonderen Anforderungen unterliegt das Wasser im Dampfkesselbetrieb (Lokomotiven). Freie Säuren, Sauerstoff, Verbindungen der Salpetersäure sowie Magnesium- und Calciumchlorid greifen den Kessel direkt an. Kalzium- und Magnesiumverbindungen sowie Kieselsäure stören den Betrieb durch Kesselsteinbildung, wohingegen Natriumchlorid und Natriumsulfat zwar unschädlich, aber lästig für den Dampfkesselbetrieb sind, weil sie unter anderem die Siedetemperatur des Wassers erhöhen.

Es ist weithin möglich, mit Hilfe technischer Aufbereitungsverfahren (Enteisenung, Entmanganung, Entkarbonatisierung usw.) die Qualität des Wassers entsprechend den Anforderungen zu verändern. Der Chloridgehalt läßt sich jedoch leider nicht beeinflussen, zumindest gibt es kein ökonomisch vertretbares, produktionsreifes Verfahren.

Mineralwässer haben selbstverständlich Abweichungen im Geschmack und in der chemischen Zusammensetzung von den oben genannten Werten. Thermalwässer unterscheiden sich, wie der Name sagt, durch erhöhte Temperatur. Es gibt auch heiße Mineralwässer.

Die Grundwasserqualität wird bei oberflächennahem Grundwasservorkommen in starkem Maße durch die Tätigkeit des Menschen beeinträchtigt,

sei es durch die Düngung, das Ablassen von Öl oder durch anderes mehr. Aus diesem Grunde werden die Wassergewinnungsanlagen mit sogenannten Schutzzonen umgeben, innerhalb deren z.B. das Aufbringen natürlichen Düngs verboten ist und Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung oder des Betretens des Geländes bestehen.

6.0. Wassergewinnung

In Abhängigkeit von den örtlichen hydrogeologischen Verhältnissen, vom Wasserbedarf und von den ökonomischen Möglichkeiten des Auftraggebers steht die Art der zu projektierenden Wassergewinnungsanlage. Die verschiedenen Möglichkeiten werden im folgenden kurz angedeutet.

6.1. Schachtbrunnen

Die Brunnen werden höchstens bis zu 10 m Tiefe vorgetrieben und dienen kleinen Bedarfsträgern. Es kann nur ein sehr oberflächennaher Grundwasserleiter erfaßt werden. Besondere Geräte sind nicht nötig. Der Brunnen wird ausgeschachtet. Die durch den relativ großen Durchmesser verursachte große Wassereintrittsfläche läßt auch bei ungünstigen Korngrößen relativ viel Wasser zufließen.

6.2. Bohrungen

Der Bohrbrunnen ist der gebräuchlichste Brunnentyp. Die Dimensionen sind technisch durch die Gerätekapazität beschränkt. In der DDR gibt es nur wenige Brunnen von mehr als 200 m Tiefe. Im Bereich des Wasserleiters wird die Brunnenwand durch Filterrohre ersetzt. Die Brunnen Durchmesser sind verschieden, bis zu 2 m und darüber. Sie werden mit zunehmender Tiefe gewöhnlich immer geringer.

6.2.1. Brunnenreihe

Reicht ein Brunnen zur Deckung des Bedarfs nicht aus, und erlauben es die hydrogeologischen Verhältnisse, erhöht man die Wasserentnahme aus dem Wasserleiter durch die Anlage mehrerer Brunnen, die in einer Reihe normalerweise quer zur Hauptfließrichtung angeordnet sind. Die Entnahmetrichter der einzelnen Brunnen sollen sich in bestimmten Grenzen überschneiden. Die Brunnenabstände schwanken in weiten Grenzen in Abhängigkeit von der natürlichen Zuflußmenge, der Größe des nutzbaren Porenvolumens und der Mächtigkeit des Wasserleiters.

6.2.2. Heberleitung mit Sammelbrunnen

Die rationellste Nutzung einer Brunnenreihe kann man durch den Anschluß aller Brunnen an eine Saugleitung erreichen, die nach dem Heberprinzip arbeitet. Alle Brunnen werden durch eine einzige Pumpe angesaugt und laufen dann von allein. Die Saugleitung mündet in einen Sammelbrunnen, der zugleich als Schlammfang dient und aus dem eine gleichmäßige Entnahme möglich ist. Es muß nur darauf geachtet werden, daß der Wasserstand nicht zu tief abgesenkt wird, damit der Wasserzufluß nicht abreißt, sonst fällt schlagartig das ganze System aus.

6.3. Horizontalfilterbrunnen

Vom groß dimensionierten Schacht (7 - 10 m \emptyset) aus treibt man Horizontalbohrungen (bis 80 m) in den Wasserleiter hinein und baut sie mit Filtern aus. In dem Schachtbrunnen, der allseitig und am Boden dicht ist, läuft das Wasser aus den Horizontalfiltern zusammen. Es bildet sich ein flacherer Absenkungstrichter als bei Vertikalbrunnen. Die mögliche Entnahmemenge ist entsprechend relativ hoch. Das Verfahren eignet sich natürlich auch nur für oberflächennahe Wasserleiter z.B. in Urstromtälern.

6.4. Quellfassungen

Quellhorizonte deuten im Gelände Grundwassersammelzonen an. Es bestehen häufig günstige Gewinnungsmöglichkeiten. Im Quellhorizont werden Sickerleitungen (durchlöcherte Rohre) verlegt, die das Wasser aufnehmen und zu einem Sammelbehälter führen.

Bei Einzelquellen gibt es die verschiedensten Ausführungen vom einfachen Wasserrohr, das man in die Erde steckt, bis zur technisch vollkommenen Quellstube mit Kiesfüllung in der Quellkammer und einer daneben liegenden Speicherkammer, aus der dann das Wasser abgeleitet wird.

Man kann Quellen auch anbohren, um die höchstmögliche Ergiebigkeit zu erreichen. Diese Bohrungen geringer Teufe wirken wie artesische Brunnen.

Als bergmännische Auffahrungen von Quellhorizonten werden Stollen zur Ergiebigkeitserhöhung vorgetrieben, bzw. es werden verschiedene aufgelassene Stollen für die Wasserversorgung genutzt.

7.0. Literatur

GIESZLER, A.: Das unterirdische Wasser. - Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1957

(Das Buch eignet sich gut als Ergänzung für diesen Lehrbrief wegen der einfachen und leicht faßlichen Darstellung des Sachverhaltes.)

PFALZ, R.: Grundgewässerkunde. - W. Knapp Verlag, Halle 1951

(Durch reichliche Bebilderung und relativ einfache Darstellung des Sachverhaltes wird das Buch für den, der sich in die Materie einarbeiten will, eine gute Hilfe sein. Es wird ergänzt durch Hinweise auf einfache Feldverfahren der Hydrochemie.)

WECHMANN, A.: Hydrologie. - Verlag für Bauwesen, Berlin 1964

(Bei der Behandlung des Gesamtgebietes der Hydrologie nehmen die Ausführungen über das unterirdische Wasser einen bedeutenden Platz ein. Sie sind auch dem Geologiefacharbeiter verständlich. Die starke thematische Gliederung dieses Kapitels ermöglicht ein schnelles Auffinden des gewünschten Sachverhaltes.)

TGL 92 - 007 , Fachbereichsstandard: Gewässerkunde - quantitativ, Fachausdrücke und Begriffserklärungen. - 1966

- : Klassifikation der Grundwasservorräte der Deutschen Demokratischen Republik. - 1. Grundwasservorratsklassifikation vom 15.4.1966. - Z. angew. Geol., 12, H. 8, S. 421 - 423, Berlin 1966
 - : Instruktion zur Anwendung der "Klassifikation der Grundwasservorräte der Deutschen Demokratischen Republik", 4. Entwurf vom 8. 4. 1967 - (unveröffentlicht)
 - : Instruktion zur Anwendung der "Klassifikation der Lagerstättenvorräte fester mineralischer Rohstoffe" auf Braunkohlenlagerstätten der DDR, 2. Braunkohleninstruktion vom 29.8.1963. - Z. angew. Geol., 9, H. 11, S. 598 - 603, Berlin 1963
-

Herausgeber:
Staatssekretariat für Geologie
ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT
104 Berlin, Invalidenstraße 44
Telefon: 2206 2587, Telex: 011 247
Direktor: Dipl.-Geol. K. SCHMIDT
verantwortl. Redakteur:
Dipl. oec. R. WOERSCHING