

4. Geräte und Verfahren

4.1. Kenntnisstandsanalyse

Zur Charakterisierung der hydrogeologischen Verhältnisse und der für eine Erkundung bedeutsamen Einflußfaktoren müssen alle für das Untersuchungsgebiet vorhandenen maßgebenden Daten gesichtet, aufbereitet und dokumentiert werden.

Wichtigste Träger hydrogeologisch relevanter (bedeutsamer) Daten bilden alle Gutachten, Studien, Berichte u. a. über lagerstättenkundliche, wasserwirtschaftliche oder Bodenuntersuchungen. Weitere Datenträger sind Karten, Schnitte, Tabellen u. ä. mit Angaben zur Hydrogeologie und Geologie.

Zur Sichtung der Dokumentation der bereits im Untersuchungsgebiet vorhandenen Aufschlüsse müssen die Archive verschiedener Institutionen, wie der Räte der Bezirke, des VEB Geologische Forschung und Erkundung, der Wasserwirtschaft u. a. m., aufgesucht werden. Dort sind die interessierenden Daten, wie z. B. Koordinaten, Höhenangaben, Schichtenverzeichnisse, Gesteins- und Wasseranalysen, Testergebnisse und Wasserstände, aus unterschiedlichen Dokumenten, d. h. mit hohem Aufwand, zu entnehmen. Durch Nutzung eines Datenspeichers der Hydrogeologie können vorhandene Daten auch über ein EDV-Rechercheprogramm bzw. mittels EDV thematische Karten und mathematisch-statistische Auswertungen bereitgestellt werden.

Die Grundwassermeßstellen des staatlichen Beobachtungsnetzes der Wasserwirtschaft sind über das gesamte Territorium der DDR in unterschiedlicher Dichte verbreitet. Es handelt sich dabei hauptsächlich um ausgewählte Grundwasserbeobachtungsrohre, Wirtschaftsbrunnen oder Feuerlöschbrunnen. In ihnen wird in 14-Tagesintervallen der Grundwasserstand gemessen. Einige dieser Meßstellen sind auch als sogenannte "Gütepegel" eingerichtet. Sie dienen der regelmäßigen Entnahme von Wasserproben, die auf ihre Hauptinhaltsstoffe, wie Eisen, Härte, Chloride, Kohlensäure u. a. m., analysiert werden. Alle genannten Daten des staatlichen Beobachtungsnetzes liegen in den Oberflußmeistereien der Wasserwirtschaftsdirektionen vor und können von dort übernommen werden. Außerdem sind von den Oberflußmeistereien sämtliche Angaben über oberirdische Gewässer (insbesondere Abflußmenge, Wasserstand, Wasserbeschaffenheit, landschaftsbedingter Mindestabfluß) und Entnahmen bzw. Einleitungen erhältlich.

Umfangreiche hydrogeologische Beschreibungen der Flußgebiete sind in den "Analysen der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse" der Wasserwirtschaft enthalten. Angaben über Wasserwerke (Lage, Ausbau, Installation der Brunnen, Meßreihen von Förderstrom, Wasserbeschaffenheit, Wasserstand u. a. m.) und Aufbereitungsanlagen sind bei den VEB Wasserversorgung und Abwasserbehandlung einzuholen. Aus dem hydrographischen Kartenwerk der DDR und der NAU-Karte können Niederschlags- und Abflußwerte sowie oberirdische Einzugsgebietsgrenzen entnommen werden. Für die Ermittlung der Grundwasserneubildung müssen die Flächen der Einzugsgebiete mit unterschiedlichen Versickerungseigenschaften berechnet werden. Dazu werden die bodengeologischen Karten sowie die geologischen Spezialkarten und die Bodennutzungskarten herangezogen. Das Vorhandensein bzw. die Begrenzung von Schutzgebieten oder Vorbehaltsflächen für Trinkwassergewinnung, bergbauliche Nutzung oder Landschaftsschutz kann aus den Unterlagen der Abt. Umweltschutz und Wasserwirtschaft beim zuständigen Rat des Kreises bzw. Rat des Bezirkes übernommen werden. Das Amt für Meteorologie stellt auf Anforderung Daten über Niederschlag, Temperatur und Windverhältnisse zur Verfügung.

4.2. Projektierung

Hydrogeologische Erkundungs- oder Erschließungsarbeiten werden nach Auftragserteilung und Übergabe der Zielstellung durch den Auftraggeber zur fundierten Objektvorbereitung, zur Präzisierung der betrieblichen Planung und des Wirtschaftsvertrages geologisch, technisch und ökonomisch projektiert. Inhalt, Gliederung und Form der hydrogeologischen Projekte sind in der TGL 25011/01 vorgeschrieben. Außerdem gelten für die Bearbeitung betriebliche Richtlinien und ein Prozeßablaufplan nach Bild 9.

Grundlage jeder Projektierung sind die Zielstellung bzw. Konditionen des Auftraggebers. Der Bearbeiter des geologischen Projektteils hat die Forderungen des Auftraggebers bezüglich der Realisierungsmöglichkeiten an Hand der natürlichen und fachlichen Gegebenheiten zu prüfen und davon eine Erkundungs- bzw. Erschließungskonzeption abzuleiten. Die Analyse des bestehenden Kenntnisstandes und gegebenenfalls eigene Messungen oder Untersuchungen zur Beurteilung der hydrogeologischen Situation im Untersuchungsgebiet bilden die Grundlage für die Projektierung der zur Erfüllung der Zielstellung erforderlichen Arbeiten. Im technischen Projektteil werden von Bohrfeldtechnologien die den erwarteten Bedingungen entsprechenden technischen Mittel ausgewählt und dargestellt (Bohrverfahren, Testtechnologie, Brunnenausbau, Materialbedarf u. a. m.).

Der gesamte Aufwand wird im ökonomischen Teil nach den geltenden Preisvorschriften bewertet und schließlich in einem sogenannten "Vertragswert" zusammengefaßt. Dem Auftraggeber werden die vorgesehenen Arbeiten und der kalkulierte Preis zur Kenntnis gegeben. In einer Projektverteidigung erfolgt dann die Bestätigung und Auftragserteilung für die Durchführung der projektierten Arbeiten durch den Auftraggeber.

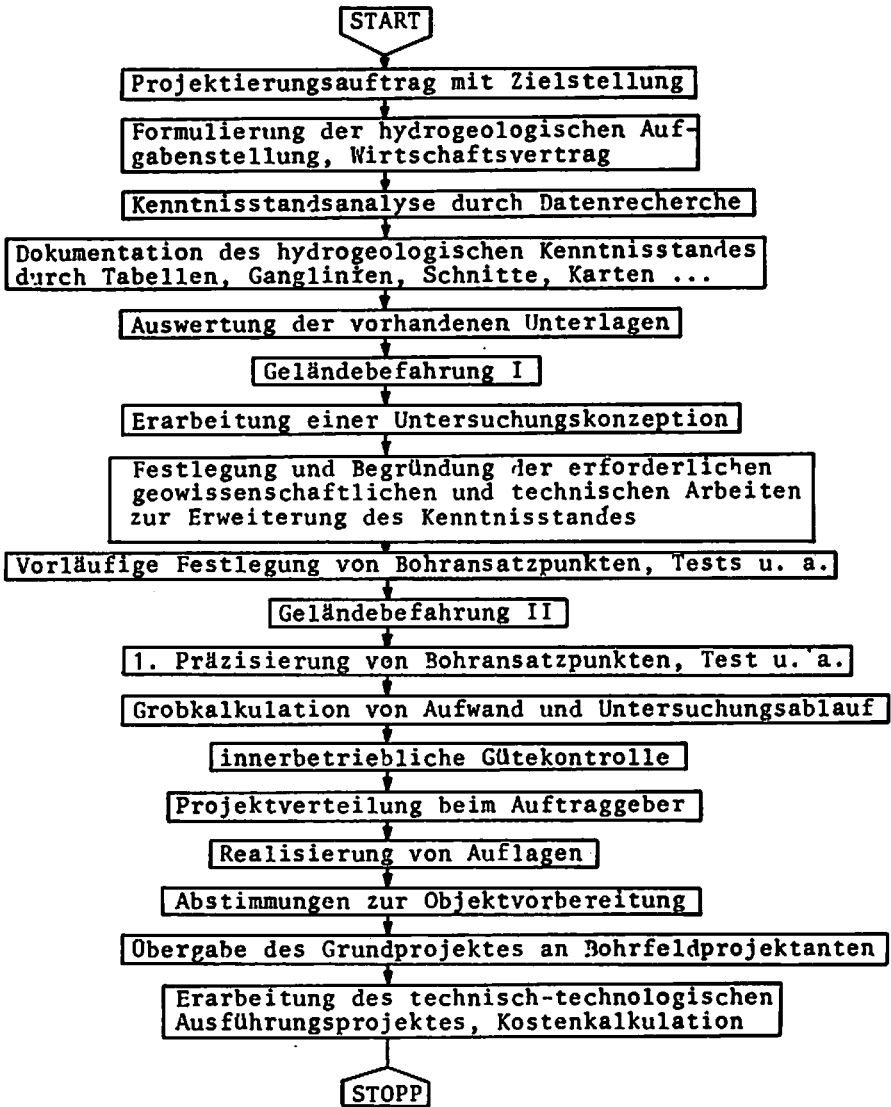


Bild 9. Prozeßablaufplan zur Projektierung hydrogeologischer Arbeiten

4.3. Vorarbeiten im Gelände

Oftmals reichen die bereits im Untersuchungsgebiet bekannten und durch die Wasserwirtschaftsorgane beobachteten bzw. in Archiven dokumentierten Aufschlüsse für eine fundierte Beurteilung der hydrogeologischen Situation nicht aus, und es werden Geländesondierungen erforderlich. So werden zur Erfassung der Grundwassergefälleverhältnisse möglichst viele und dabei innerhalb des Untersuchungsgebietes gut verteilte Grundwasseraufschlüsse, wie Quellen, Wirtschaftsbrunnen, Feuerlöschbrunnen, stehende Oberflächengewässer, Baugruben u. a. m., aufgesucht, in einer Aufschlußkarte (Bild 10) dokumentiert und die Wasserspiegel unter Gelände gemessen. Die Geländehöhe

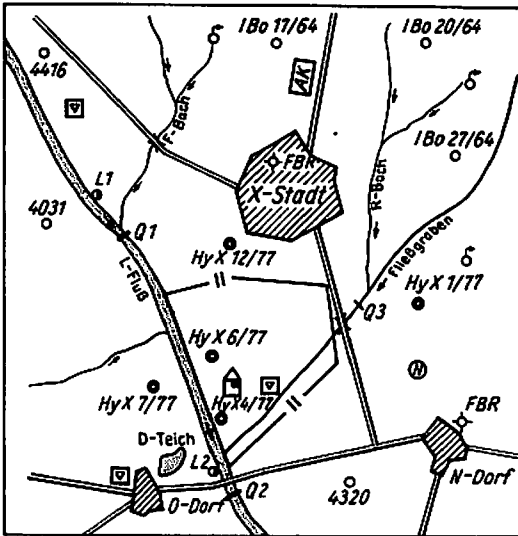










Bild 10
Aufschlußkarte

-  Wasserwerk (kommunal) mit Kapazität von 1000 bis 10 000 m³d⁻¹
-  Wasserschutzgebiet (Schutzzone II)
-  Aschekippe
-  Quelle
-  Grundwassermeßstelle (Brunnen)
-  Grundwassermeßstelle (Tagebau)
-  Hy... Hydrogeologische Bohrung mit Grundwasserbeobachtungsrohr (GWBR)
-  OI... Ingenieurgeologische Bohrung

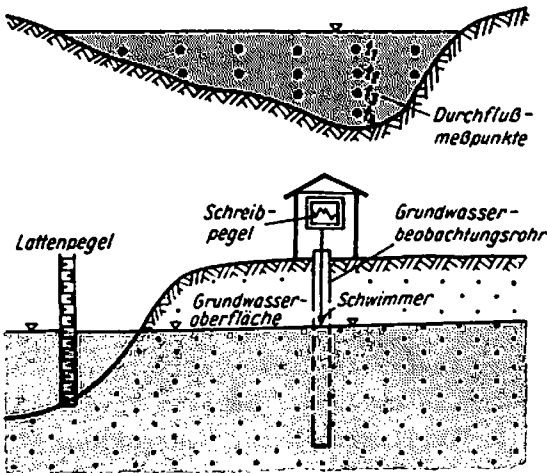
-  Lattenpegel
 -  Durchflußmeßstelle
 -  Niederschlagsmeßstelle
- } an Oberflächengewässer

wird aus topographischen Karten entnommen oder mittels Nivelliergerät vermessen.

Für eine überschlägliche Wasserhaushaltsbilanz macht sich die Ermittlung der Quellschüttungen und Oberflächenwasserabflüsse des Untersuchungsgebietes erforderlich. Die Quellschüttung wird bei Mengen $< 1 \text{ l s}^{-1}$ mit Hilfe eines Meßgefäßes und Stoppuhr bestimmt. Bei größeren Quellschüttungen muß ein Meßwehr errichtet oder ein anderes geeignetes Durchflußmeßverfahren angewendet werden. Der Durchfluß in Pächen und Flüssen muß an einem geeigneten Meßprofil (gerade, hindernisfrei, ggf. vor der Messung herzurichten) ermittelt werden (Bild 11). Die Art des ein-



Bild 11
Durchflußmeßprofil
und Wasserstandsmeß-
einrichtungen



zusetzten Meßverfahrens ist von der Durchflußgeschwindigkeit und der Beschaffenheit des Meßprofils abhängig. Bevorzugt kommen hydrometrische Meßflügel zum Einsatz, mit denen die Fließgeschwindigkeit des Wassers in verschiedenen Tiefen und über das gesamte wassererfüllte Profil verteilt gemessen wird.

Aus den Meßwerten werden mittels spezieller Umrechnungsmethoden die Durchflußmengen ermittelt. Mit diesen Meßmethoden ist in Abhängigkeit von den Abflußverhältnissen und dem Auswertungsverfahren eine Genauigkeit von etwa ± 10 bis 20% Fehler-toleranz zu erreichen. Für kontinuierliche Durchflußmessungen über einen längeren Zeitraum wird das Durchflußprofil befestigt (betoniert) und mit einem Lattenpegel versehen.

Durch Probemessungen bei unterschiedlichen Wasserständen und deren Korrelation läßt sich eine Durchflußtabelle aufstellen, aus der für den jeweiligen Wasserstand der Durchfluß direkt entnommen werden kann. Oft werden an solchen stationären Meßstellen auch Schreibpegel eingerichtet, die eine automatische Registrierung des Wasserstandes ermöglichen (s. Bild 11 und TGL 24352).

Für die Beurteilung der Durchlässigkeit von Flußbetten, die besonders für die Uferfiltratgewinnung von ausschlaggebender Bedeutung ist, werden mittels Peilstangen in der Flußsohle Sondierungen durchgeführt. Dabei wird die Kolmation, d. h. die Abdichtung des Flußbettes durch Einschwämmung (innere Kolmation) oder Ablagerung (äußere Kolmation) von anorganischen und organischen Stoffen an der Flußsohle festgestellt.

Zur Präzisierung der nach geologischen Spezialkarten zu erwartenden Sickerseigenschaften der an der Geländeoberfläche anstehenden Gesteine, die für die Einschätzung der Grundwasserneubildung entscheidende Bedeutung haben, werden gegebenenfalls Sondierungen mittels Peilstangenbohrungen durchgeführt.

Dabei werden meist 1 bis 2 m lange Stahlsonden mit einer U-förmigen Längsnut in den Boden geschlagen. Die beim Herausziehen verbleibenden Bodenbestandteile dienen zur Beurteilung der Kornzusammensetzung und Wasserdurchlässigkeit.

Zur Beurteilung der Wasserbeschaffenheit werden gegebenenfalls Wasserproben aus Grundwasseraufschlüssen oder aus Oberflächenwässern entnommen. Dabei sind je nach Aufgabenstellung Entnahmeort, Zeitpunkt und Teufe von großer Bedeutung. Deshalb müssen diese Daten unbedingt auf dem Probengefaß bzw. dem Probenbegleitschein vermerkt werden. Brunnen müssen vor der Probenahme klargepumpt werden, damit die Probe die tatsächliche

Beschaffenheit des Grundwassers repräsentiert. Zur Verdichtung und Eichung der Grundwassermeßwerte aus Unterlagen der Wasserwirtschaft führt man meist eine Stichtagsmessung durch, d. h., es werden innerhalb eines kurzen zusammenhängenden Zeitraumes alle Wasserstände der im engeren Untersuchungsgebiet auffindbaren Grundwasseraufschlüsse gemessen. Zur Messung werden Bandmaß und Brunnenpfeife bzw. bei tiefliegendem Wasserspiegel Tiefenlote mit Digitalanzeige oder Lichtsignal verwendet. Zum Auffinden bzw. Eintragen der Meßstellen dienen meist eine topographische Karte im Maßstab 1 : 25 000 (sogenanntes Meßtischblatt) und ein Planzeiger. Alle Meßwerte werden listenmäßig zusammengestellt, aus Unterlagen der Markscheiderei oder aus topographischen Karten 1 : 10 000 die NN-Höhen der Meßpunkte ermittelt und die relativen Meßwerte auf eine einheitliche Bezugshöhe umgerechnet.

4.4. Objektvorbereitung

Zur Vorbereitung technischer Arbeiten, wie Bohrungen und Pumpversuche, müssen die Untersuchungsbetriebe umfangreiche schriftliche Abstimmungen vornehmen. Über die dabei in Betracht kommenden Partner, Zuständigkeiten und erforderlichen Dokumentationen soll Tabelle 6 informieren.

Grundlage dieser Abstimmungen sind etwa 50 verschiedene gesetzliche Bestimmungen, denen zufolge eine Erlaubnis (auch als Einverständnis, Genehmigung, Unbedenklichkeitserklärung, Gestattung, Zulassung u. a. bezeichnet) einzuholen ist.

Der Verfahrensweg wird durch TGL 24408/04 geregelt. Demzufolge erhalten die Partner vordruckte "Ankündigungen" sowie gegebenenfalls "Erlaubnisscheine" oder "Bodennutzungsverträge", auf denen die geplanten Maßnahmen entsprechend erläutert sind und in Form gegenseitiger Vereinbarungen bzw. Forderungen der Partner (Auflagen) besondere Erfordernisse für deren Realisierung fixiert werden können. Das Abstimmungsverfahren ist erst dann abgeschlossen, wenn von sämtlichen in Betracht kommenden Partnern positive schriftliche Reaktionen vorliegen, wie

Tabelle 6. Abstimmungen zur Objektvorbereitung

Partner	Zuständigkeit	Dokumentation
Staatsorgane	- territoriale Einordnung - Entscheidung über Vorrang - Lagerstättenschutz	- Erlaubnisvermerk - Stellungnahme
Wasserwirtschaft	- Trinkwasserschutz	- Erlaubnisvermerk
Rechtsträger von - Leitungen (Kabel, Rohre) - Verkehrsanlagen anlagen - Bodenflächen	- Arbeits- und Gesundheitsschutz - Schutz der Leitungen - Verkehrssicherheit - Bodennutzung	- Erlaubnisschein nach ASAO 631/3 - Erlaubnisvermerk - Bodennutzungsvertrag nach GB1. II 1965 Nr. 32
Einrichtungen für Landeskultur	- Natur/Landschaftsschutz	- Erlaubnisvermerk - Kenntnisnahme

- Bestätigung der Kenntnisnahme bzw. Erlaubnisvermerk auf einem Duplikat der "Ankündigung" oder in einem formlosen Antwortschreiben
- ausgefüllter Erlaubnisschein, Bodennutzungsvertrag oder Stellungnahme ohne erhebliche Einschränkungen

Werden von einem Partner erhebliche Einschränkungen (Auflagen) oder Einsprüche angemeldet, muß entweder die Untersuchungskonzeption geändert oder das dem Partner übergeordnete Organ zum Zwecke einer Vergleichsregelung bzw. einer Entscheidung über den volkswirtschaftlichen Vorrang eingeschaltet werden.

Ober das in einer Objektakte (z. B. nach TGL 24408/03) aufzubewahrende Ergebnis sämtlicher Abstimmungen ist vom Objekt-

bearbeiter ein tabellarischer Nachweis zu führen, aus dem folgende Fakten hervorgehen:

- Partner (Name, Anschrift, Telefon)
- Art und Ausfertigungsdatum des Abstimmungsdokumentes
- Auflagen
- Bevollmächtigter Vertreter des Partners

Erst auf der Grundlage eines solchen Nachweises dürfen Aufschlußarbeiten und Tests im Gelände angesetzt werden. Dabei sind den für die technische Ausführung Beauftragten sämtliche nach ASAO 631/3 erforderlichen Erlaubnisscheine zur Kenntnisnahme und Unterschriftsleistung vorzulegen.

4.5. Durchführung von Untersuchungsarbeiten

4.5.1. Bohrungen

Grundlegenden Bestandteil hydrogeologischer Untersuchungsarbeiten bilden Bohrungen und Tests. Da sie auch den größten Teil des Kostenaufwandes verursachen, bedürfen sie mehr als andere Arbeiten einer stichhaltigen ökonomisch-technischen Begründung.

Art und Durchmesser der Bohrungen richten sich nach der jeweiligen Aufgabenstellung und den hydrogeologischen Bedingungen. In der hydrogeologischen Erkundung kommen Trocken- oder Spülbohrungen zum Einsatz. Beim sogenannten Spülbohren findet zwischen Bohrlochmund und Sohle ein ständiger Spülungskreislauf statt. Als Spülmittel kommen Klarwasser oder Gemische von Wasser mit Luft in Betracht. Sie haben die ständige Reinigung der Bohrlochsohle bzw. den Bohrgutaustrag, die Kühlung des Bohrwerkzeuges sowie die Stabilisierung der unverrohrten Bohrlochwand zu gewährleisten. Nach der Richtung des Spülungskreislaufes unterscheidet man Rechts- und Linksspülbohren.

Beim Rechtsspülbohren wird die neue bzw. gereinigte Spülung von übertage durch das Bohrgestänge gedrückt und steigt im Ringraum zwischen Bohrgestänge und Anstehendem bzw. Futterrohren wieder nach oben. Dieses Verfahren wird in der Grundwassererkundung kaum eingesetzt, da die Gefahr der Abdichtung

des natürlichen Bodenfilters und somit eine Verminderung der Wasserdurchlässigkeit besteht. Beim Linksspülbohren wird die Spülung im Ringraum nach unten gedrückt und strömt durch das Gestänge nach oben. Beide Verfahren können im Fest- und Lockergestein zur Durchführung kommen. Im Festgestein können mit Hilfe von Bohrkronen Bohrkerne oder aber mit Hilfe von Meißeln Bohrklein gewonnen werden, die zur Ermittlung der hydrogeologischen Gesteinsparameter dienen. Im Lockergestein wird das sogenannte Trockenbohren bevorzugt, bei dem jedoch auch Wasser für den Bohrprozeß erforderlich ist.

Nach dem Einsatz von Seil bzw. Gestänge in Kombination mit speziellen Bohrwerkzeugen unterscheidet man Freifall-, Kraftdrehkopf-, Schlag- und Schneckenbohren. Besonders in der Vorerkundung wird für Teufen von 80 bis 200 m das ökonomisch günstige und schnelle Counterflushbohren angewendet. Dieses Verfahren arbeitet überwiegend mit links-, teilweise auch mit rechtsläufigem Spülungsumlauf und mit sehr kleinem Bohrdurchmesser (133 mm).

Bei der Projektierung von Bohransatzpunkten und der Wahl der Bohrverfahren sind die hydrogeologische Situation und die Geländeverhältnisse zu berücksichtigen. Beim Spülbohren ist das Vorhandensein einer ausreichenden Versorgung mit Spülwasser Voraussetzung. Außerdem ist die Tiefe der Grundwasseroberfläche unter Geländeoberkante von großer Bedeutung, da bei flurnahem und tiefliegendem Grundwasser besondere gerätetechnische Vorkehrungen getroffen werden müssen. Ebenso ist der Druckzustand des Grundwassers zu beachten.

4.5.2. Gesteinsprobennahme

Beim Bohren bzw. Schachten werden als Belegstücke der durchteuften Gesteine Proben zutage gefördert. Diese Proben repräsentieren das zu untersuchende Gestein, abhängig von dessen Beschaffenheit und dem gewählten Aufschlußverfahren, mit unterschiedlicher Genauigkeit. Generell unterscheidet man zwischen gestörten und ungestörten Proben, wobei es jedoch auch hier noch starke Differenzierungen gibt.

Bei den routinemäßigen hydrogeologischen Untersuchungen größerer Gesteinskomplexe gewinnt man fast ausschließlich gestörte Proben. Nachstehend können hierzu nur einige orientierende Hinweise gegeben werden.

So fallen beim "Trockenbohren" von wassererfüllten Sanden und Kiesen mit Ventilbüchse klassierte Mischproben an. Durch den Klassiereffekt reichert sich das größere Korn im Bohrwerkzeug unten an. Bei der Entleerung des Bohrgutes aus dem Bohrwerkzeug auf einen Haufen (Haufwerksprobe) liegt dann das Feingut oben bzw. wird durch das abfließende Wasser sogar ausgespült.

Das primäre Probenmaterial ist allgemein sehr umfangreich und auch bezüglich seiner Beschaffenheit für Feld- und Laboruntersuchungen ungeeignet. Um die zu untersuchenden Merkmale bzw. Parameter möglichst genau zu ermitteln, sind zunächst entsprechende Bohrintervalle und technische Maßnahmen zur repräsentativen Bohrgutablage (z. B. Anwendung von Ablageblechen, Auffangkästen) erforderlich. Das primäre Probenmaterial muß dann exakt, z. B. durch Viertelung, in repräsentative Teilproben verjüngt werden. Außerdem darf das Probenmaterial auch durch Lagerung und Transport keine nachteiligen Veränderungen erfahren. Unsachgemäße Probennahme bzw. -behandlung sind zwangsläufig Ursache für falsche Untersuchungsergebnisse, daraus abgeleitete Fehleinschätzungen und volkswirtschaftliche Schäden.

In der Praxis kann aus ökonomischen Gründen selbst die Gewinnung repräsentativer gestörter Proben nur untergeordnet in Betracht kommen. Zur Lösung vieler Aufgabenstellungen genügt es durchaus, wenn an Hand stark gestörter Proben nur eine grobe Gesteinsansprache erfolgt, die eine Korrelation mit bekannten geologischen Einheiten zuläßt. Durch indirekte Methoden, wie Messungen der Bohrgeschwindigkeit, Registrierung von Grundwasseranschnitten und Wasserstandsschwankungen beim Bohren, bohrlochgeophysikalische Tests, Pumpversuche u. a., sind sogar sehr präzise Aussagen über die Gesteine möglich. In diesem Zusammenhang sei noch auf die zunehmende Bedeutung des Spülbohrens hingewiesen, für dessen großen Bohrfortschritt auch durch Ausschwemmen und Verunreinigung mit Spülung sehr stark veränderte Proben in Kauf genommen werden.

Die Gewinnung ungestörter Proben in Form kompletter Bohrkern-
bleibt im wesentlichen auf Kartierungsbohrungen im Festgestein
beschränkt. Daneben sei noch auf das sogenannte Linksspülkern-
bohren aufmerksam gemacht, bei dem in einem kontinuierlichen
Bohrprozeß neben dem mit Spülung vermischten Bohrklein auch
Kernstücke von etwa 50 mm Durchmesser und Längen bis über
100 mm anfallen. Weiterhin kommt noch der Gewinnung ungestör-
ter Proben aus Bohrungen und Schurfgräben mittels Schlagstut-
zen Bedeutung zu, z. B. für laborative Infiltrationsuntersu-
chungen. Bei Stutzenproben ist darauf zu achten, daß diese un-
mittelbar nach der Entnahme durch Vergießen (z. B. mit Wachs)-
abgedichtet werden, damit die primäre Gesteinsfeuchte erhal-
ten bleibt.

4.5.3. Technische Dokumentation von Bohrungen

Im Rahmen der Durchführung von Bohrungen fallen eine Reihe
von technischen Daten an, die für hydrogeologische und auch
andere Auswertungen von Bedeutung sind. Für ihre ordnungsge-
mäßige Dokumentation, die allgemein auf Formblättern erfolgt,
sind die jeweiligen Anlagenleiter bzw. Objektbearbeiter zu-
ständig. Bei Bohrarbeiten müssen insbesondere folgende Sach-
verhalte eindeutig und gegebenenfalls auch teufenabhängig
fixiert werden (Formular, Bild 12):

- Aufschlußverfahren/Bohrgerätetyp
 - beim Spülbohren Art der Spülung und ggf. Spülungsverluste
- Bohrwerkzeuge
- Bohrdurchmesser, bei Kernbohrungen ggf. Kerndurchmesser
- Verrohrungsdurchmesser (Hilfsverrohrung)
- Grundwasseranschnitte
- Havarien, Sprengungen
- Hinweis auf Tests im Aufschluß (z. B. geophysikalische
Bohrlochvermessung, Pumpversuch)
- Ziel und Ergebnis der Bohrung
- Test-/Endausbau einschließlich Verfüllung/Hinterfüllung
- Nutzung des Bohrloches (z. B. als Brunnen)

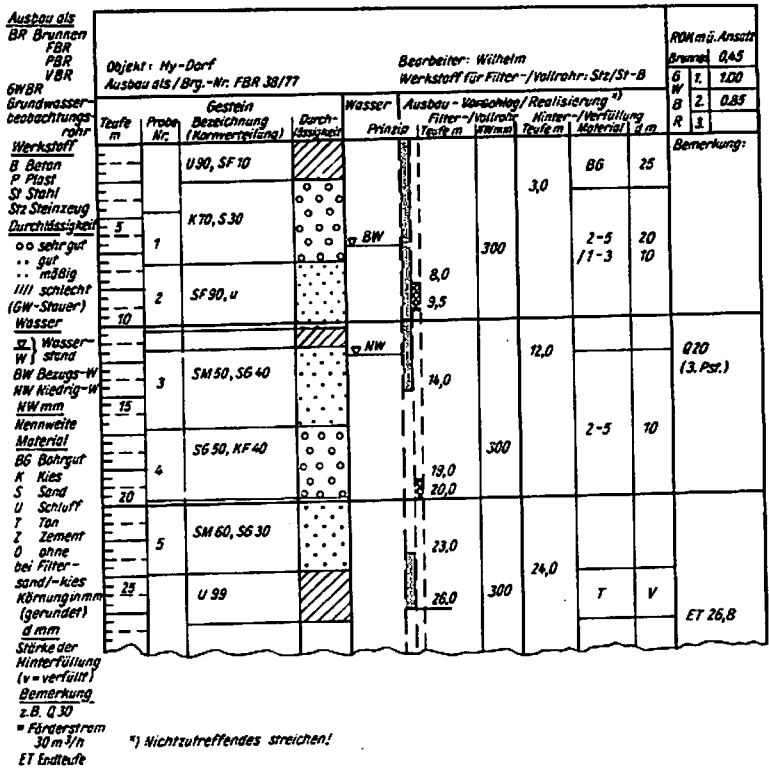


Bild 12. Bohrprofil mit Ausbau

4.5.4. Geologische Dokumentation von Bohrungen

Von sämtlichen geologischen Bohrungen, unabhängig von der speziellen Aufgabenstellung, sind grundsätzlich Schichtenverzeichnisse anzufertigen. In diesen Schichtenverzeichnissen müssen die jeweils erbohrten Gesteine gleicher Ausbildung nach Dokumentationseinheiten (z. B. Schichten) eindeutig und umfassend beschrieben werden. Bei der Felddaufnahme wird zunächst ein vorläufiges Schichtenverzeichnis angefertigt. Durch Einarbeitung der Ergebnisse von geophysikalischen Tests, Laborarbeiten und Korrelation mit benachbarten Bohrungen entsteht dann das endgültige Schichtenverzeichnis. Für fachspezifische Aufgaben können zusätzliche Kurzsichtenverzeichnisse dienen.

Auf der Grundlage der Schichtenverzeichnisse muß gewährleistet sein, daß sowohl die jeweiligen Aufgabenstellungen gelöst werden können als auch eine optimale Nachnutzung durch andere Fachbereiche möglich ist. Zur Beschreibung einer Dokumentationseinheit sind in erster Linie nachstehende Sachverhalte bzw. daraus abgeleitete Deutungen wichtig:

- Liegendgrenze in m unter Ansatz (Gelände)
- Mächtigkeit in m,
 - beim Kernbohren Kerngewinn in m oder %
- Bohrgutzustand durch Kennzeichnung der Aussagekraft des Bohrgutes mit Ziff. 1 bis 5 (nach TGL 24408/05);
Verunreinigungen durch Nachfall aus dem Hangenden bzw. Spülung sowie unklare Orientierung sind gesondert zu registrieren
- Stratigraphie durch Symbole (Deutung nach TGL 25234)
- aufgabenspezifische Bewertung der Nuttschicht (z. B. Grundwasserleiter, Durchlässigkeitsbeiwert für Wasser ...)
- Gesteinsbezeichnung: petrographische bzw. geologisch-genetische Nomenklatur, grundsätzlich abgekürzt (nach TGL 24408/05)

Treten in einem Gesteinsverband mehrere maßgebliche Komponenten auf, für die es auch selbständige Gesteinsbezeichnungen gibt, so ist eine Sammelbezeichnung zu prägen. Auch Wechsellagerungen und/oder Einlagerungen müssen besonders vermerkt werden. Maßgebliche Beimengungen sind der Hauptgesteinsbezeichnung anzufügen. Bezüglich der Kornverteilung ist die Tabelle 7 zu beachten.

Tabelle 7. Kornverteilung

Sedimente und Zersetzungsprodukte		Kristalline Gesteine	
Bezeichnung	in mm	Bezeichnung	in mm
T Ton	<0,002	GL glasig	
U Schluff	0,002...0,063	DT dicht	<0,1
S Sand	0,063...2,0	FK feinkörnig	0,1...0,3
K Kies	2,0 ...63	KK feinkörnig	0,3...1,0
G Steine	63 ...2000		
B Blöcke	>2000		

Tabelle 7 (Fortsetzung)

Sedimente und Zersetzungsprodukte	Kristalline Gesteine
Bezeichnung in mm	Bezeichnung in mm
<ul style="list-style-type: none"> • F Fein-(klein) • M Mittel- • G Grob-(groß) 	<ul style="list-style-type: none"> MK mittelkörnig 1,0...3,0 GK grobkörnig 3,0...10 RK riesenkörnig >10
Unterteilung nach TGL 23984	

In Abhängigkeit von speziellen Aufgabenstellungen können neben den obengenannten auch noch folgende Merkmale von Bedeutung sein:

- Minerale bzw. Gerölle (Art und Anteil)
- Bindemittel (Zement)
- Kalkgehalt (HCl-Test)
- Gefüge
- Gesteinsfestigkeit
- Bindigkeit bzw. Konsistenz (bei bindigen Lockergesteinen)
- Farbe
- Tektonik (Einfallwinkel und Häufigkeit der Schichtung, Schieferung und Bruchdeformationen)
- Bestandteile (wie Fossilien, Konkretionen u. a. m.)
- Eigenschaften (wie Quellvermögen u. a. m.)
- Zersetzung (von Festgesteinen)
- Verfestigung (von Lockergesteinen, z. B. silifiziert)
- Genese (z. B. äolisch, limnisch, vulkanogen)
- Feuchte (z. B. trocken, frisch, feucht, naß)
- Auftrieb von der Bohrlochsohle

Besonders aussagekräftige Bohrlochprofile und wichtige Brunnen sind außerdem graphisch zu dokumentieren, z. B. gemäß Bild 12.

4.5.5. Vorbereitung und Durchführung von Pumpversuchen

Pumpversuche werden in analoger Weise zur Grundwassererkundung (in Versuchsbrunnen) sowie zur Grundwassererschließung (in Produktionsbrunnen) durchgeführt. Sie dienen insbesondere zur Lösung folgender Aufgaben:

- direkter Nachweis der Brunneneigiebigkeit (durch Demonstrativpumpversuch)
- Ermittlung hydrogeologischer Parameter (z. B. Durchlässigkeitsbeiwert k , Speicherkoeffizient S , Transmissibilität T)
- Ermittlung hydraulischer Beeinflussungen (z. B. Reichweite einer Grundwasserabsenkung, Form eines Absenkungstrichters in Abhängigkeit von Menge und Dauer einer Grundwasserförderung, Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen bzw. -aufhöhungen auf benachbarte Grundwasserfassungen)
- Gewinnung von Grundwasserproben für Laboruntersuchungen.

Für die Vorbereitung und Durchführung von Pumpversuchen ist der DDR-Standard TGL 23864/02 verbindlich. Entsprechend der jeweiligen Aufgabenstellung können Pumpversuche an einem einzelnen Brunnen (Einzelpumpversuch) oder gleichzeitig an mehreren Brunnen (Gruppenpumpversuch) ausgeführt werden. Außerdem werden neben dem Brunnen häufig noch besondere Meßstellen (Grundwasserbeobachtungsrohre) eingerichtet. Die zu einem PV gehörigen Brunnen und weiteren Meßstellen werden als Pumpversuchsgruppe bezeichnet (Bilder 13 und 14). Brunnen werden vorwiegend durch Bohrungen hergestellt. Für Versuchsbrunnen genügen dabei Bohrlochdurchmesser zwischen etwa 200 und 500 mm.

Auf Grund der geringen Nutzungsdauer (Kurzumpumpversuche < 50 h, Dauerpumpversuche durchschnittlich 200 h) ist allgemein nur ein vorläufiger Brunnenausbau erforderlich. Der Versuchsbrunnenausbau erfolgt grundsätzlich mit Filter- und Vollrohren aus Stahl. Dabei ist möglichst der gesamte wassererfüllte Bereich des Grundwasserleiters zu verfiltern. Als Filterrohre werden meist Schlitzfilter mit 5 mm Schlitzweite verwendet. Zur Verhinderung von unzulässig großen Ausspülungen ausschlämbarer Anteile sind die Filterrohre in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Grundwasserleiters entweder mit Filtergewebe zu

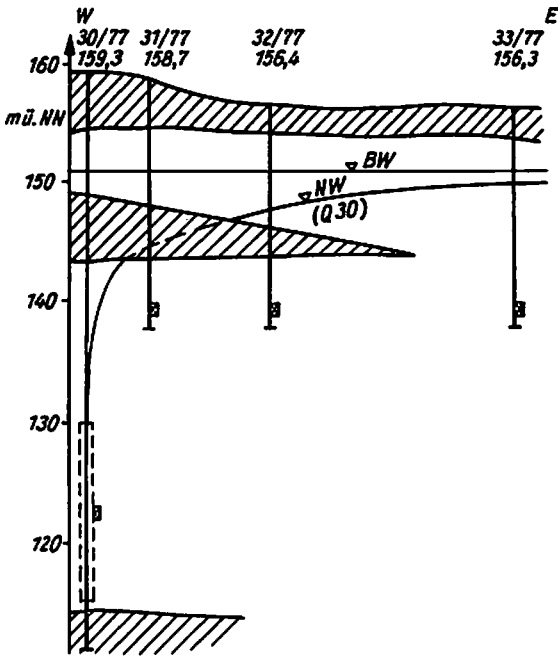








Bild 13
Schnitt durch
Pumpversuchsgruppe

-  GW-Leiter
-  GW-Stauer
-  Brunnenfilter
-  GWBR-filter
-  ∇ RW
Bezugswasserstand
-  ∇ NW
(Q 30)
Niedrigwasserstand
bei $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ Förderstrom

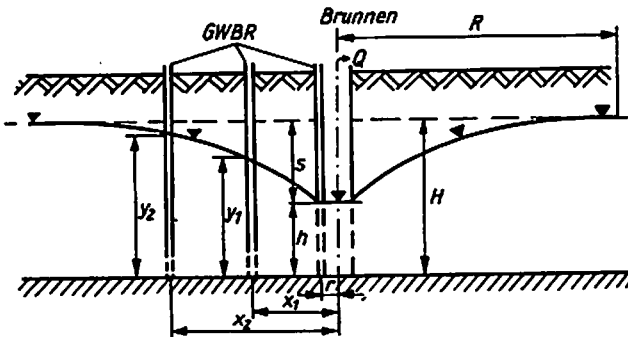


Bild 14. Pumpversuchsanordnung

- | | | | |
|------|---------------------|---|--|
| BW | Bezugswasserstand | Q | Förderstrom in $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ |
| GW | Grundwasser | R | Reichweite von s in m |
| GWBR | GW-Beobachtungsrohr | r | Brunnenradius in m |
| H | GW-Mächtigkeit in m | s | GW-Absenkung in m |
| h | $h - s$ in m | | |

umwickeln oder mit einer Hinterfüllung aus Filtersand/-kies zu umgeben. In standfestem Gebirge (Festgestein) kann das Filtergewebe oder gegebenenfalls sogar der gesamte Ausbau entfallen. Versuchsbrunnen sind so auszubauen und auszurüsten, daß ordnungsgemäße Wasserstands- und Förderstrommessungen sowie die Ent-

nahme repräsentativer Wasserproben ermöglicht werden. Hierzu gehört auch eine exakte Fixierung der Lage und Höhen aller Meßpunkte.

Nach erfolgtem Brunnenausbau ist klarzupumpen, um eine Kol-
mation (Verdichtung) der Bohrlochwand, der Filterkiesschüttung
bzw. des Filtergewebes durch Bohrtrübe zu verhindern und eine
trübefreie (sandarme) Förderung beim Pumpversuch zu gewähr-
leisten. Beim Klarzupumpen, meist mittels Preßluft, läßt sich
auch eine grobe Einschätzung der Brunnenergiebigkeit und der
zu erwartenden Grundwasserabsenkung gewinnen.

Die Auswahl des Pumpentyps richtet sich nach der vorgesehenen
Förderung, nach der zu erwartenden Tiefe des abgesenkten Was-
serspiegels und der erforderlichen Druckhöhe. Die Pumpe soll
eine gleichmäßige Förderung garantieren und darf keine Belüf-
tung und dadurch bedingte Veränderung der Wasserbeschaffenheit
bewirken.

Zur Pumpversuchsdurchführung werden allgemein elektrisch be-
triebene Unterwassermotorpumpen (URM-Pumpen) eingebaut, und
zwar ober- oder unterhalb des Brunnenfilters.

Horizontalkreiselpumpen gestatten nur eine Grundwasserabsen-
kung bis etwa 6 m unter Gelände. Von der Pumpe wird das Was-
ser durch einen Saugkorb angesaugt und in eine Rohrleitung ge-
drückt, deren Querschnitt von der geplanten Förderung abhängt.
Die Verlegung dieser Leitung zu einem Vorfluter ist hinsicht-
lich Länge und Ausflußöffnung so vorzunehmen, daß eine Infil-
tration des geförderten Grundwassers im Bereich des Absenkungs-
trichters und damit ein Zurückfließen zum Versuchsbrunnen ver-
mieden wird.

Unmittelbar vor Versuchsbeginn ist als Grundlage für die hydrau-
lischen Berechnungen an allen Meßstellen der Bezugswasserstand
zu ermitteln. Zur Erfassung des natürlichen Grundwasserganges
wird mindestens eine Meßstelle im gleichen Grundwasserleiter
einbezogen, die mit Sicherheit vom Pumpversuch nicht beeinflußt
werden kann.

Der Pumpversuch beginnt mit dem Einschalten der Pumpe. Von
diesem Zeitpunkt an sind in regelmäßigen Zeitintervallen Was-
serstands- und Förderstrommessungen erforderlich. Die Wasser-

stände werden entweder manuell, z. B. mit Brunnenpfeife bzw. Lichtlot und Bandmaß, oder automatisch erfaßt. Zur Ermittlung des Förderstromes finden meist sogenannte Oberfallmeßkästen Verwendung, in denen der Durchfluß als Wasserhöhe bestimmt wird (der Einsatz von Wasseruhren kommt wegen möglicher Sandführung nur ausnahmsweise in Betracht). In Abhängigkeit von der Größe des Förderstromes kommen Meßkästen mit Dreieck-Oberfall (THOMPSON-Wehr) bzw. mit Rechteck-Oberfall (PONCELET-Wehr) zur Anwendung. Während des Pumpversuches sind außerdem die Grundwassertemperatur sowie die Witterungsverhältnisse (insbesondere Niederschlag) zu registrieren.

Zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit werden aus der Abflußleitung Proben entnommen. Hierzu dient allgemein ein Wasserhahn in unmittelbarer Brunnennähe. Für eine repräsentative Probenahme sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Mindestpumpdauer, bis sämtliches stagnierendes Wasser sowie Bohrtrübe und Spülungsrückstände aus dem Brunnenfilterbereich beseitigt und durch Grundwasser ersetzt sind
- die Abflußleitung muß im vollen Querschnitt wassererfüllt sein, damit eine Belüftung ausgeschlossen ist
- geeignete Probenbehältnisse, Zapfhahn, ggf. Chemikalien zur Stabilisierung, ordnungsgemäße Aufbewahrung, kurzfristiger Transport ins Labor.

Bei Auftreten von mehreren durch Grundwasserstauer getrennten Grundwasserleitern übereinander (Grundwasserstockwerken) erfolgen parallel zum Bohrregime vorzugsweise getrennte Pumpversuche von oben nach unten, d. h. im Vorwärtsmarsch. Sollen die Grundwasserstockwerke von unten nach oben, d. h. im Rückwärtsmarsch, getestet werden, ist eine wirksame Abdichtung derselben, z. B. mittels Packer, vorzunehmen.

Die Pumpversuchsdurchführung erfolgt allgemein so, daß entweder ein konstanter Förderstrom bzw. eine konstante Absenkung oder aber konstanter Förderstrom und annähernd konstante Absenkung (sogenannte Beharrung) angestrebt werden. Letzteres Ziel läßt sich meist nur mit sehr geringer Absenkung im Verhältnis zur Grundwassermächtigkeit bzw. außerordentlich

langen Pumpzeiten (beim sogenannten Demonstrativpumpversuch bzw. Wasserwerksbetrieb) und unter Berücksichtigung des natürlichen Grundwasserganges erreichen. Pumpversuche werden häufig mit zwei bis drei verschiedenen Förderströmen bzw. Absenkungen gefahren und danach in sogenannte "Pumpstufen" gegliedert. Entsprechend der vorgesehenen Art der Auswertung wird zwischen intermittierender und kontinuierlicher Durchführung unterschieden.

Bei intermittierenden Pumpversuchen wird nach jeder Pumpstufe die Pumpe abgeschaltet und der Wiederanstieg des Grundwassers (möglichst bis zum Bezugswasserstand) gemessen. Bei kontinuierlichen Pumpversuchen wird von Pumpstufe zu Pumpstufe lediglich der Förderstrom ohne Unterbrechung stufenweise verändert (meist erhöht), und erst nach der letzten Pumpstufe erfolgen Wiederanstiegsmessungen.

Die Pumpdauer der einzelnen Pumpstufen richtet sich nach der Aufgabenstellung, dem Auswertungsverfahren, der Art des Grundwasserleiters und dem Abstand der Meßstellen neben dem Versuchsbrunnen. Aus ökonomischen Gründen werden Pumpversuche vorzugsweise ohne Beharrung, d. h. instationär, gefahren. Im Lockergestein und im porösen Festgestein mit Meßstellen von 2 bis 10 m neben dem Versuchsbrunnen genügt dabei eine Pumpdauer zwischen 5 und 50 h (sogenannte Kurzpumpversuche). Besonders kurz kann die Pumpdauer bei gespanntem Grundwasser gewählt werden.

4.5.6. Geophysikalische Untersuchungen

Aus technischen, gesteinsbedingten bzw. ökonomischen Gründen lassen sich durch Bohrarbeiten die geologischen Einheiten nicht immer hinreichend genau abgrenzen oder charakterisieren. So werden z. B. im Lockergestein allgemein nur gestörte Proben gewonnen, und bei Vollmeißelbohrungen im Festgestein ist das mit der Spülung ausgetragene Bohrklein mitunter nicht einmal eindeutig identifizierbar. Da die Bohrlöcher infolge ihres geringen Durchmessers nicht direkt zugänglich sind, bedient man sich zur Gewinnung bzw. Präzisierung der erforderlichen Informationen zusätzlich geophysikalischer Methoden. Diese

geophysikalischen Untersuchungen in Bohrlöchern werden auch kurz als "Bohrlochmessungen" bezeichnet.

Für Bohrlochmessungen werden aufgabenspezifische Sonden (Meßfühler) eingesetzt, die an einem Kabel befestigt sind. Durch Herablassen dieser Sonden ins Bohrloch bzw. beim Hochziehen lassen sich teufenabhängig als Signale Informationen über die jeweilige Gesteinsfolge sowie über die in Gesteinshohlräumen (Poren, Klüften) befindlichen Medien (z. B. Wasser) gewinnen und allgemein auch automatisch aufzeichnen. Die gemessenen Werte, dargestellt als Bohrlochmeßkurve, müssen vor ihrer Interpretation (Auswertung) grundsätzlich erst durch entsprechende Korrelationsmessungen an einem petrographisch eindeutig bekannten Profil "geeicht" sein. Tabelle 8 soll einen großen Überblick über einige der für hydrogeologische Bohrungen in Betracht kommenden geophysikalischen Verfahren, damit zu ermittelnde Kennwerte und wesentliche jeweils abzuleitende Interpretationen geben.

Zur Ermittlung von Abstandsgeschwindigkeiten (fiktive Geschwindigkeit der Grundwasserteilchen) sowie für Untersuchungen zum Umweltschutz (z. B. zur Beurteilung des Sorptionsverhaltens des Untergrundes für bestimmte Kontaminationen) haben Tracerversuche eine besondere Bedeutung. Als Tracer werden Farbstoffe (z. B. Natriumfluoreszin, Eosin), Salze (insbesondere NaCl) sowie kurzlebige Radionuklide (z. B. Jod, Brom, Tritium, Schwermetallkomplexe) eingesetzt. Vor Verwendung radioaktiver Tracer ist es aus Sicherheitsgründen erforderlich, von der Wasserwirtschaft und vom Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz spezielle Genehmigungen einzuholen. Tracerversuche werden in Verbindung mit Pumpversuchen, z. T. auch bei unbeeinflussten Grundwasserfließbedingungen durchgeführt. Man gibt die Tracer in konzentrierter Form und an einer oder mehreren definierten Stellen (z. B. über Brunnen) in das Grundwasser ein. An einer Beobachtungsstelle (z. B. Versuchsbrunnen) werden dann regelmäßig Wasserproben entnommen und analysiert bzw. Sondenmessungen durchgeführt, um den Haupttracerdurchgang (PEAK) sowie die Minimal- und Maximalfließgeschwindigkeiten zu bestimmen.

Tabelle 8. Bohrlochgeophysik

Verfahren	Kennwerte	Interpretation
elektrisch	Eigenpotential, spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit	Gesteinsart, (Lithologie) /-grenzen, Porosität, Wassersättigung, Grundwasserversalzung
akustisch/ seismisch	Laufzeit, Dämpfung	Gesteinsart/-grenzen, Hohlräume, Qualität von Zementsperren
radiometrisch	natürliche und Streuung der künstlichen Radioaktivität	Gesteinsart/-grenzen Porosität, Dichte
optisch (Kamera)	visuelles Abbild der Bohrlochwand	Klüftung, Auskolkung
Temperaturmessung	Abbindewärme von Zement, Grundwassertemperatur	Qualität von Zementsperren, Grundwasserzufluß
geometrische und technische Messungen	Bohrlochabweichung Bohrlochdurchmesser (Kaliber) Schichtneigung Grundwasserfließgeschwindigkeit Tracerverdünnung	Gesteinsgrenzen Gesteinshärte Einfallen Grundwasserdynamik Grundwasserzufluß

Für regionale Untersuchungen werden sogenannte geophysikalische Oberflächenverfahren angewendet. In der Grundwassererkundung spielt dabei die geoelektrische Widerstandskartierung eine dominierende Rolle. Untergeordnete Bedeutung kommt den nahseismischen Messungen zu. Bei diesen Untersuchungen werden in der Regel Schichtmächtigkeiten und Teufenlagen bzw. der Umfang der Mineralisation (Inhaltsstoffe) des Wassers ermittelt.

4.5.7. Topographische Vermessung

Die hydrogeologischen Meßstellen werden generell marksscheidend- risch lage- und höhenmäßig vermessen. Als Grundlage zur Festlegung und Vermessung dienen vorwiegend topographische Karten in den Maßstäben 1 : 25 000 (Meßtischblatt) und 1 : 10 000 (Einheitsblatt, Volkswirtschaftskarte). Für diese Karten gibt es spezielle Bezeichnungen (Ortsnamen und Nummern), die aus Übersichtsblättern zu entnehmen sind (s. z. B. WTI des Zentralen Geologischen Instituts Berlin, 9 (1968) S. H. 6).

Beim Umgang mit Karten müssen - abgesehen von eventuellen großen Fehlern - zunächst gewisse Grundabweichungen hinsichtlich Lage und Höhe zur Natur einkalkuliert werden, die sich aus der topographischen Vermessung und dem Herstellungsverfahren (Schematisierung, Strichdicke, Drucktechnik, Vervielfältigung, Papierqualität) ergeben. Man muß etwa mit Kartendifferenzen bis zu 5 mm rechnen, d. h., beim Maßstab 1 : 25 000 können durchaus Lagedifferenzen von über 100 m auftreten. Die Genauigkeit der Höhen ist stark morphologieabhängig und schwankt zwischen einigen Metern und Dezimetern. Unter Berücksichtigung der Grundabweichungen ist es allgemein vertretbar, daß Ansatzpunkte hydrogeologischer Bohrungen nach Karten 1 : 25 000 bzw. 1 : 10 000 mit Schritt- bzw. Bandmaß verpflockt werden. Als Bezugsbasis sollte grundsätzlich von Straßen-/Wegkreuzungen oder anderen eindeutigen Punkten ausgegangen werden und die Absteckung rechtwinklig von der nächstgelegenen linearen Darstellung erfolgen.

Die erforderliche Genauigkeit von Lage- bzw. Höhenbestimmungen hängt von der Aufschlußdicke bzw. der jeweiligen Aufgabenstellung ab. Für großräumige Untersuchungen mit Bohrabständen von einigen 100 bis 1000 m genügen allgemein graphische Lagebestimmungen nach 10 000er Karten mit mittleren Fehlern von etwa ± 10 bis 20 m.

Sofern das Grundwassergefälle nicht zu flach ist, können, zumindest für Übersichtszwecke, auch die Höhenbestimmungen mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 0,2$ bis 1 m nach solchen Karten erfolgen. Zur Auswertung eng benachbarter Aufschlüsse werden größere Genauigkeiten gefordert. So müssen bei Pumpversuchs-

gruppen nach TGL 23864/02 die Standorte der Meßstellen mit relativen Genauigkeiten von 1% ihrer Entfernung vom Versuchsbrunnen und die Höhen der Meßpunkte auf ± 1 cm eingemessen und berechnet werden.

4.5.8. Laborarbeiten

Gesteinsuntersuchungen beschränken sich meist auf Siebanalysen von Sanden und Kiesen aus dem Bereich wassererfüllter Grundwasserleiter. Sie dienen der Ermittlung der Kornverteilung als Grundlage zur Bestimmung von Gesteinskennwerten (insbesondere Durchlässigkeitsbeiwert k) sowie zur Festlegung der optimalen Kiesschüttung für Brunnen. Hierzu werden Siebe mit von grob nach fein abgestuften Maschenweiten übereinander angeordnet und nach der Siebgutaufgabe so lange geschüttelt, bis die Aufteilung in die entsprechenden Kornklassen (Klassierung) beendet ist. Die Ergebnisse der Siebanalysen lassen sich über ein EDV-Programm zur schichtbezogenen k -Wert-Ermittlung verarbeiten.

Korngrößenbestimmungen an Festgesteinen haben nur untergeordnete Bedeutung, da sich das Grundwasser hier in erster Linie auf Klüften bewegt. Bei mäßig verfestigten Sandsteinen wird mitunter eine vorsichtige Zerkleinerung und anschließende Siebung, wie beim Lockergestein beschrieben, vorgenommen. Außerdem besteht die Möglichkeit, an Dünn- oder Anschliffen mit Hilfe eines Mikroskopes mit Integriertisch und Meßlupe entsprechende Ausmessungen durchzuführen. An definierten Probenkörpern von Festgesteinen (z. B. zylinderförmiges Kernstück, Würfel) oder Lockergesteinen (z. B. gestörte Probe in einem Zylinderglas) lassen sich verschiedene Gesteinskennwerte direkt bestimmen, wie z. B. der Porenanteil n , der entwässerbare Porenanteil n_e , der Durchlässigkeitsbeiwert k . Gelegentlich sind auch chemische Gesteinsuntersuchungen erforderlich. Hierzu müssen die Proben sorgfältig entnommen sowie meist zerkleinert und gemischt (homogenisiert) werden. Im Zusammenhang mit Untersuchungen zum Umweltschutz kann auch die Ermittlung spezieller Gesteinseigenschaften von Interesse sein, wie z. B. das Sorptionsverhalten.

Art und Umfang von Wasseruntersuchungen sind abhängig von der speziellen Aufgabenstellung und von der Beschaffenheit des jeweiligen Wassers. Hinsichtlich der zu bestimmenden chemisch-physikalischen Parameter unterscheidet man zwischen

- Einzelbestimmung (z. B. eines Elementes)
- kleine Analyse
- große Analyse } (Komponenten in TGL 23979/03 festgelegt)
- Spurenelementanalyse (z. B. Cu, Zn, Pb)

Außerdem werden bakteriologische (biologische) Untersuchungen ausgeführt. Auf Grund der Veränderlichkeit von Wasserproben müssen einige Untersuchungsbefunde, wie Wassertemperatur, Aussehen, Farbe, Geruch, Geschmack, freie Kohlensäure gleich am Entnahmeort festgestellt werden. Gelegentlich macht sich eine Stabilisierung der Proben an Ort und Stelle erforderlich, um bestimmte Parameter (z. B. Fe^{++}) unverändert im Labor nachweisen zu können. Zur Probennahme müssen saubere Gefäße aus widerstandsfähigem Material mit passenden Verschlüssen (z. B. eingeschliffenen Glasstopfen) Verwendung finden. Die Entnahme bei Pumpversuchen hat aus einem Wasserhahn der Abflußleitung zu erfolgen. Dabei ist die Bildung von Luftblasen zu vermeiden. Vor endgültiger Füllung ist die Flasche, sofern sie nicht besonders vorbereitet worden ist (z. B. mit Stabilisator), mit dem zu untersuchenden Wasser auszuspülen (s. auch TGL 23979/03). Für chemisch-physikalische Untersuchungen sind die Flaschen randvoll, für bakteriologische Untersuchungen zwecks Vermeidung nachteiliger Veränderungen nur etwa 90% zu füllen. Im letzterem Fall sind sterilisierte Flaschen zu verwenden und die Stopfen abzuflammen. Bei Entnahme aus Oberflächengewässern ist darauf zu achten, daß keine Bestandteile der Gewässersohle aufgewirbelt werden und in die Probe gelangen. Außerdem ist in Abhängigkeit von der Gewässertiefe möglichst die Entnahme von mehreren horizontalen Proben vorzunehmen, um durch Mittelwertbildung zu einem repräsentativen Wert zu gelangen.

Nach den Ergebnissen der großen Analysen (Vollanalyse), für deren Durchführung die TGL 28400 bzw. die vom ehemaligen Amt für Wasserwirtschaft herausgegebenen "Ausgewählten Methoden

der Wasseruntersuchung" maßgebend sind, kann im wesentlichen die Verwendbarkeit des Wassers in chemisch-physikalischer Hinsicht für die meisten Nutzer beurteilt werden. Nach der Beschaffenheit wird generell unterschieden:

Trinkwasser nach TGL 22433, für menschlichen Genuß und als Waschwasser

Tränkwasser für Tiere

Betriebswasser für spezifische Nutzungen, z. B. für

- chemische Industrie nach TGL 21134
- Kessel-Speisewasser nach TGL 190-99
- Kühlwasser nach TGL 190-74
- Margarineindustrie nach TGL 85-017/02

Trinkwasser muß klar, farb- und geruchlos, chemisch neutral und von frischem Geschmack sein. Seine Temperatur soll möglichst zwischen 7 und 12 °C liegen. Bezüglich der Gesamthärte ist mittel- bis ziemlich hartes Trinkwasser erwünscht. Tabelle 9 zeigt einige Analysenwerte von Rohwässern sowie Mindestanforderungen an Trinkwasser nach /13/. An dieser Stelle sei noch auf den besonders großen Gehalt an Inhaltsstoffen (Mineralisation) von Salz- bzw. Mineralwässern hingewiesen, worauf hier jedoch nicht eingegangen werden kann.

Das aus dem Grund- oder Oberflächenwasser gewonnene Rohwasser wird vor der Nutzung meist mehr oder weniger umfangreichen Aufbereitungen unterzogen. Da anhand der Analyseergebnisse besonders bei geplanter Mischung von Wasser unterschiedlicher Beschaffenheit nicht in jedem Fall Aussagen über das optimale Aufbereitungsverfahren möglich sind, gehören zu den hydrogeologischen Untersuchungen auch sogenannte "Wasseraufbereitungsversuche". Hierzu werden meist größere Wasserproben (etwa 10 bis 50 l) entnommen, durch Chemikalienzusatz, Belüftung u. a. "geschönt" und anschließend analysiert.

Weiterhin sei noch auf modelltechnische Laboruntersuchungen hingewiesen, die im allgemeinen der Klärung hydraulischer Probleme dienen. Sie lassen sich z. B. mit Hilfe der Elektroanalogie anhand eines hydrogeologischen Modells ausführen. Hierfür werden die Grenzen des zu untersuchenden geologischen

Tabelle 9. Analyse von Rohwässern und Anforderungen an Trinkwasser

Merkmal	Dresden		Niederlausitz	TGL 22433	
	Elbwasser	Talsperrenwasser	Grundwasser	Richtwert	Grenzwert
Gesamthärte ¹⁾	9 ... 11	2...3	5	2 ... 25	40
Abdampfrückstand ²⁾	200 ... 500	120	270	≤ 1000	1500
kalkaggr. Kohlensäure	6 ... 8	2 ... 6	60	0 ... 4 ⁴⁾	-
Sauerstoff	0,5... 13	6 ... 12	-	6 ... 10	4 ... 14
KMnO ₄ -Verbrauch	40 ... 300	4 ... 8	13	≤ 12	20
Kalzium(oxid)		(23)		≤ 100	280
Eisen	0,5... 1	<0,02... 0,1	12	< 0,1	0,3
Mangan		<0,02... 0,1	0,2	< 0,05	0,1
Ammonium	0,5... 10	<0,05... 0,1	0,3	n. n.	0,1
Nitrit		<0,02... 0,04	n. n.	n. n.	0,2
Nitrat	5 ... 25	5 ... 8	n. n.	≤ 20	40
Chlorid	20 ... 100	11	29	≤ 250	350
Sulfat	30 ... 120	35	74	≤ 250	400
Phenol, löslich	<0,01 ... 0,2			n. n.	0,003
Gesamtkeimzahl ³⁾	0,1 ... 100·10 ⁴			< 50	100
Koliformentiter	0,1 ... 0,0001			>100	>100

Körpers und die hydraulischen Berandungen (z. B. Fluß, Grundwasserscheide) idealisiert und repräsentative Mittel der hydrogeologischen Kennwerte (z. B. Durchlässigkeitsbeiwert, Grundwassergefälle) zugrundegelegt. Mit Hilfe der Modellversuche können z. B. für vorgegebene Grundwasserentnahmen die zugehörigen Grundwasserabsenkungen (Formen künftiger Absenkungstrichter), gegenseitige Beeinflussung von Fassungen bzw. für maximal zulässige Grundwasserabsenkungen das zugehörige Grundwasserliefervermögen (sich erneuernder Grundwasservorrat) bestimmt werden.

Außerdem besteht die Möglichkeit der numerischen Modellierung von Grundwasserlagerstätten. Dazu muß das geologische in ein mathematisches Modell übertragen werden. Der Lösungsalgorithmus wird durch geeignete EDV-Anlagen abgearbeitet. Voraussetzung für alle Modelluntersuchungen ist eine sichere Erfassung der Randbedingungen und eine natürlichkeitsnahe Modellgestaltung. Für einen ständigen Vergleich der in der Natur gemessenen und der modellmäßig ermittelten Werte und entsprechende Anpassung des analogen bzw. numerischen Modells läßt sich die erforderliche Sicherheit der Modellergebnisse gewährleisten.

4.6. Datenaufbereitung

4.6.1. Tabellen

Die Erfassung und Auswertung von Meßdaten erfolgt allgemein in tabellarischer Form, und zwar auf vorgeprägten Formblättern. Hier sind die Eintragungen unter bevorzugter Verwendung von Zahlen sowie standardisierten Termini, Abkürzungen bzw. Symbolen in eindeutig vorgegebene Zeilen und Spalten vorzunehmen. Auf diese Weise wird eine entsprechend der jeweiligen Aufgabenstellung umfassende und repräsentative Dokumentation gewährleistet. Dabei ist es im Prinzip gleichgültig, ob es sich um eine Erfassung neu gemessener Daten (Primärdokumentation) oder aber um Datenzusammenstellungen oder statistische Auswertungen vorliegender Dokumente (Sekundärdokumentation) handelt. Über die im Rahmen hydrogeologischer Untersuchungen wesentlichen tabellarischen Primärdokumentationen gibt Tabelle 10 Auskunft.

Tabelle 10. Primärdokumentation in der Hydrogeologie

<u>Gegenstand</u> - Inhalt	zeit- unab- hängig	zeitabhängig unregel- mäßig	regel- mäßig	Formblatt- beispiele
<u>Bohrung</u> - technisch- geologische Grunddaten	x			TGL 24408/05
- Schichten- verzeichnis	x			TGL 24408/05
<u>Gestein</u> - Kornverteilung - k-Wert - Porenanteil	x			TGL 25011/03
<u>Wasser</u> - Niederschlag			x	Niederschlags- höhen für gleiche Zeitintervalle (z. B. Tage)
- Wasserstand (Grund-/Ober- flächenwasser)		x		TGL 25011/03 (Stichtags- messung)
			x	lang- und kurz- zeitige Meßreihen
- Wassermenge		(x)	x	TGI 23864/02
- Wasserbeschaf- fenheit	x	x	x	TGL 25011/03 (mehrere Kompo- nenten)

4.6.2. Graphische Darstellungen

In den Primärdokumenten ist eine Vielzahl von Einzelwerten enthalten, die bereits bei kleineren Objekten kaum noch überschaubar sind. Zur Erleichterung der Auswertung müssen deshalb die Einzelwerte so aufbereitet werden, daß man die Berechnungsparameter leicht erfassen kann und sich wesentliche Aussagen möglichst unmittelbar erkennen lassen. Man bedient sich hierbei verschiedener Formen der sogenannten "Sammeldokumentation", für die Tabelle 11 sowie Bilder 12, 15 und 16 einige Beispiele zeigen.

Tabelle 11. Sammeldokumentation in der Hydrogeologie

<u>Gegenstand</u> - Inhalt	Art der Dokumentation	Remerkung, Beispiel
<u>Bohrung</u> - Ansatz	Bohrpunkt - Karte nach Koordinaten (z. B. 1 : 10 000, 1 : 25 000)	bevorzugt Ausdruck über EDV, ggf. nach Aufgabenstellung, mit Schnittspuren
- Ausbau	Säulenprofil (schemat.)	TGL 25011/03, Bild 12
- Schichtenverzeichnis	Säulenprofil (Einzelb.) horizontierte Säulenprofile thematischer Schnitt (bevorzugt W-E- bzw. N-S-orientiert) isometrische Darstellung thematische Karte	/4/, TGL 25011/03 z. B. Bodenbedeckung (Versickerungseinheiten), Grundwasserleiter)

Tabelle 11 (Fortsetzung)

<u>Gegenstand</u> - Inhalt	Art der Dokumentation	Bemerkung, Beispiel
<u>Gestein</u> - Kornverteilung - k-Wert - Porenanteil	(von sämtl. Proben hydrogeologischer Einheiten): Summenlinien übereinander statistische Häufigkeit, Strichliste und graphisch Mittel- und Extremwerte, tabellarisch	TGL 25011/03 Korrelation mit PV-Ergebnissen
<u>Wasser</u> - Niederschlag	Ganglinie, Summenlinie (für jede Meßstelle)	zur zeitlichen Korrelation mit Grundwassergang, Bild 15
- Wasserstand	GW-Isohypsenplan Ganglinien allg. GW-Absenkung/-Wiederanstieg, halblog.	Umrechnung der Stichtagemessungen auf NN und Dok. an Bohrpunkten zur Ermittlung von - natürlichen GW-Standsschwankungen - Durchfluß in Vorflutern in Verbindung mit Pumpversuchen nach TGL 23864
- Wassermenge	Q-s-Kurve, Pumpversuchsdiagramm	TGL 25011/03
- Wasserbeschaffenheit	Mittel- und Extremwerte, tabellarisch Ganglinien von Einzelwerten Summendarstellungen von mehreren Komponenten (als Dreieck, Viereck,	TGL 25011/02 Trenddarstellung Typisierung, Bild 16

Tabelle 11. (Fortsetzung)

Gegenstand - Inhalt	Art der Dokumentation	Bemerkung, Beispiel
- Wasser- beschaffenheit	Mittel- und Extremwerte, tabellarisch Ganglinien von Einzel- werten Summendarstellung von mehreren Komponenten (als Dreieck, Viereck, Kreis) auf Diagramm- papier, in thematischen Schnitt oder Karte	TGL 25011/02 Trenddarstellung Typisierung, Bild 16

Bild 15
Ganglinien

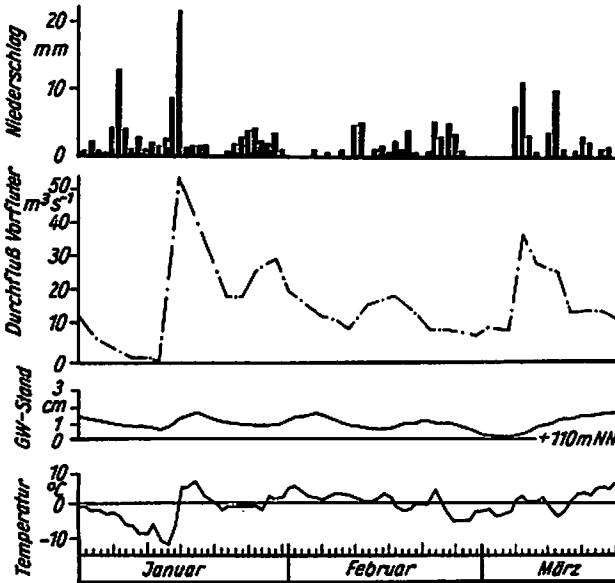
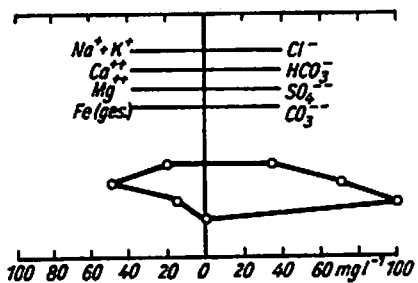
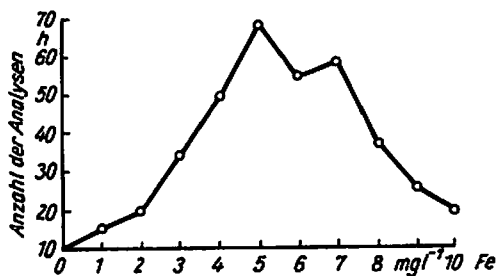


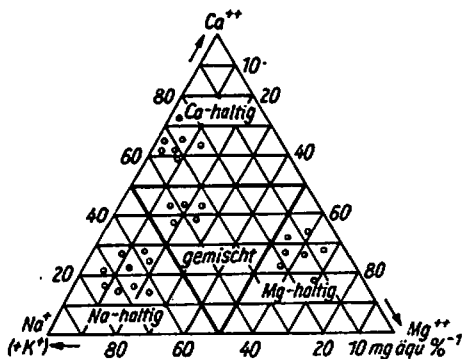
Bild 16. Diagramme zur Charakterisierung der Wasserbeschaffenheit



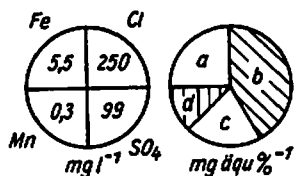
a) eindimensionales Diagramm nach MAKSIMOW /15/



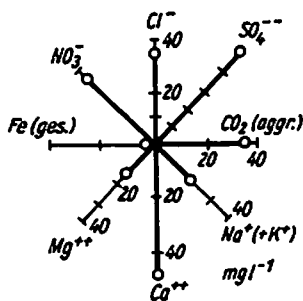
b) zweidimensionales Diagramm (statistische Verteilung)



c) Dreiecksdiagramm (zur GW-Klassifizierung) nach BOGOMOLOV /8/



d) Kreisdiagramme (für thematische Karten)



e) Strahlendiagramm

4.7. Datenbewertung

4.7.1. Auswahl maßgeblicher Daten

Die ermittelten und aufbereiteten Daten bedürfen im Hinblick auf ihren Hauptverwendungszweck, die Vorratsberechnung, einer Bewertung. So müssen insbesondere für die Grundwassermächtigkeit (H) und den Durchlässigkeitsbeiwert (k) bzw. die Transmissibilität ($T = k \cdot H$) repräsentative Mittelwerte für hydrogeologische Einheiten bestimmt werden. Das gleiche gilt für die Güteparameter des Wassers und die Wasserhaushaltsgrößen bzw. Grundwasserneubildung. Grundlage der Datenbewertung ist eine kritische Beurteilung der Datengewinnung und ein Vergleich der nach unterschiedlichen Verfahren ermittelten Daten. Zum Beispiel haben sogenannte Bohrmeisterschichtenverzeichnisse oft nur eine geringe Aussagekraft, während Werten geologischer Erkundungsarbeiten, die mittels aussagekräftiger Verfahren (Trockenbohrungen, Kernbohrungen, Bohrlochmessungen) gewonnen wurden, eine bedeutend größere Wahrscheinlichkeit zuzuordnen ist.

Dort, wo die Aufschlußdicke es ermöglicht, wird man zur Veranschaulichung der mittleren Grundwasserleitermächtigkeit ein Blockbild, d. h. eine dreidimensionale Darstellung des geologischen Baus heranziehen. Repräsentative k-Werte werden aus Pumpversuchen ermittelt. Vergleichsweise sind die aus Siebanalysen der Lockergesteinsproben berechneten k-Werte heranzuziehen. Auf Grund der Bedeutung von Laborergebnissen (Gesteins- und Wasseranalysen) für Berechnungen und die Entscheidung über die Einhaltung von Grenzwerten (Konditionen) ist die Genauigkeit durch Kontrolluntersuchungen nachzuweisen. Zu diesem Zweck müssen gleiche Proben in einem Labor (innere Kontrolle) oder in verschiedenen Laboratorien (äußere Kontrolle) untersucht werden. Die Ergebnisse sind einer Fehlerbetrachtung zu unterziehen und gegebenenfalls mathematisch-statistisch auszuwerten.

4.7.2. Idealisierung

In Abhängigkeit vom Auswertungsverfahren müssen die Aufschlußdaten so miteinander verknüpft und korreliert werden, daß ein repräsentatives hydrogeologisches Modell der untersuchten geologischen Einheit (z. B. Grundwasserlagerstätte) entsteht. Das hydrogeologische Modell muß eine Übertragung in ein mathematisches Modell ermöglichen. Es werden daher eine Reihe von Idealisierungen erforderlich, die aber nicht zu falschen Ergebnissen führen dürfen (s. Bild 17).

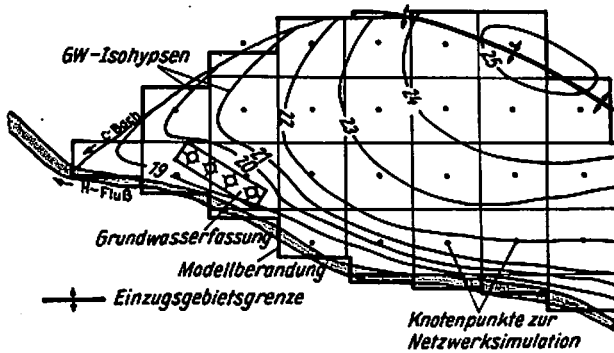
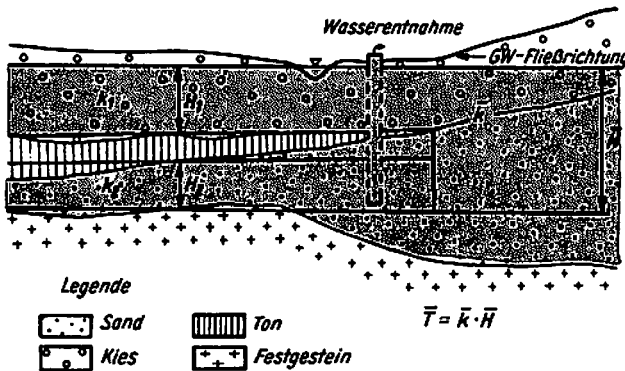


Bild 17
 Idealisierung
 hydrogeologi-
 scher Modelle
 für elektrische
 Netzwerkunter-
 suchungen



4.7.3. Grundwasservorratsberechnung

Für die Nutzung, d. h. Wasserentnahme aus einer Grundwasserlagerstätte, muß insbesondere ermittelt werden, wie groß die Menge der sich ständig erneuernden Grundwasservorräte ist. Grundsätzlich kann für einen längeren Zeitraum nur so viel Wasser gewonnen werden, wie sich neu bildet. Durch künstliche Maßnahmen, wie Uferfiltration und Anreicherung, sind außerdem zusätzliche Vorräte zu gewinnen.

Weiterhin ist der Grundwasserlagerstättenvorrat zu berücksichtigen, der dem entwässerbaren Porenvolumen der Grundwasserlagerstätte entspricht. Er hat für die Bewirtschaftung die Bedeutung eines Ausgleichsspeichers, der zeitlich befristete Oberbeanspruchungen der Lagerstätte (Entnahme > Grundwasserneubildung) ermöglicht. Ein vollständiger Abbau kommt nur im Ausnahmefall in Betracht, z. B. im Zusammenhang mit der Vorfeldentwässerung für den Braunkohlenbergbau. Der Grundwasservorratsnachweis ist nach folgenden Methoden möglich:

- Ermittlung der Grundwasserneubildung aus der Niederschlagsversickerung
- Ermittlung der Versickerung von Oberflächenwasser
- Wasserhaushaltsbilanz
- Vergleich der Fördermengen vorhandener Grundwasserfassungen in hydrogeologisch analogen Lagerstätten mit dem Untersuchungsgebiet
- Berechnung des unterirdischen Durchflusses auf einem Querschnitt durch das hydraulisch beherrschbare Einzugsgebiet nach der Gleichung von DARCY (Durchfluß (Q) = Durchlässigkeitsbeiwert (k) · Grundwassergefälle (I) · Querschnittsfläche (F))
- Berechnung des Grundwasserströmungsfeldes nach den Vorschriften des Fachbereichsstandards "Projektierung Wasserwirtschaft 1.42".
- numerische Berechnung des Grundwasserströmungsfeldes
- Modellierung des Grundwasserströmungsfeldes
- Demonstrativpumpversuch nach TGL 23864/10

In der Regel werden mindestens zwei der genannten Methoden parallel angewendet und die Ergebnisse miteinander verglichen. Aus Gründen der für Wasserversorgungsanlagen erforderlichen Sicherheit sollte das geringere Dargebot zugrunde gelegt werden (bei der Projektierung von Grundwasserabsenkungen für das Bauwesen oder den Bergbau ist aus Sicherheitsgründen die maximal mögliche Wassermenge zu berücksichtigen).

Unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Nutzungen aus der Grundwasserlagerstätte und dem landschaftsnotwendigen Mindestabfluß oberirdischer Gewässer sowie der Gegenüberstellung vom Auftraggeber erteilter Konditionen (Forderungen an Menge, Güte, Entnahmestandort, Entnahmezeit u. a. m. des Wassers) werden die Grundwasservorräte nach ihrem Untersuchungsgrad klassifiziert und die Berechnungsgrundlagen bei der Staatlichen Vorratskommission des Ministeriums für Geologie zur Bestätigung eingereicht.

4.7.4. Geologisch-ökonomische Bewertung

Grundanliegen der angewandten Geologie ist die optimale Lösung volkswirtschaftlicher Aufgaben mit möglichst geringem Aufwand, d. h. unter Berücksichtigung des Risikos. Zur Erfüllung dieser Zielstellung ist eine detaillierte Analyse des Einflusses der geologischen Arbeiten auf die Volkswirtschaft erforderlich. Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Wasserbereitstellung gemäß Konditionen des Auftraggebers müssen kostenmäßig kalkuliert und gegenübergestellt werden, um dem Nutzer eine sachkundig begründete Auswahl der günstigsten Variante zu ermöglichen.

Hauptaufgabe der Hydrogeologie ist die Erkundung und Erschließung von Grundwasser für die Wasserwirtschaft. Die Bewertung muß also in erster Linie vom wasserwirtschaftlichen Reproduktionsprozeß ausgehen, den man wie folgt gliedern kann:

1. Vorbereitung, der Wassernutzung (geologische Erkundung, Projektierung wasserwirtschaftlicher Anlagen)
2. Bau wasserwirtschaftlicher Anlagen (einschließlich Folge-
maßnahmen)
3. Wasserwerksbetrieb (einschließlich Instandhaltung)

Die Hydrogeologie ist zwar direkt nur für die Realisierung eines Teiles der ersten Etappe dieses Prozesses zuständig, sie trifft jedoch hierbei durch die Erkundungskonzeption und durch Festlegung von Fassungsstandorten unabänderliche Entscheidungen mit außerordentlich großen ökonomischen Auswirkungen auf sämtliche Etappen. Zur Vorbereitung optimaler Entscheidungen sind deshalb wiederholt ökonomische Analysen über mögliche Varianten für alle Etappen des Reproduktionsprozesses und darauf basierende Bewertungen erforderlich. Als Grundlage hierfür müssen aktualisierte Informationen über das Gesamtsystem von der Auftragserteilung für eine Erkundung bis zur Konzeption der künftigen Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung sowie eventuelle Auswirkungen auf die Umwelt Verwendung finden. Als Beispiel dafür, welche Kostenrelationen bei hydrogeologischen Arbeiten durchschnittlich auftreten, sollen die Verhältniszahlen in Tabelle 12 dienen.

Tabelle 12. Kostenrelationen zur wasserwirtschaftlichen Reproduktion

Komplex/Maßnahme	Kleine Objekte	Große Objekte
hydrogeologische Arbeiten		
- Projektierung	1 ... 5	10 ... 25
- Erkundung	5 ... 15	100 ... 1000
Wasserwerksbau	50 ... 100	1000 ... 25000
Wasseraufbereitung jährlich		100 ... 3000

Bei komplizierten hydrogeologischen Verhältnissen sind noch wesentlich ungünstigere Kostenrelationen als nach Tabelle 12 zu verzeichnen. Die Investkosten wasserwirtschaftlicher Anlagen betragen sogar etwa das 20fache der Erkundungskosten. Hier sind insbesondere Art und Tiefe der Wasserfassungen, Umfang der Aufbereitungsanlagen, Größe der Behälter, Länge der Wasserleitungen, Art und Umfang der Bodennutzung (Bodennutzungsgebühr) sowie nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt (erforderliche Sanierungen) maßgebend. Noch gravierender wirken sich die Kosten für Betrieb und Instandhaltung von Was-

serwerken unter Berücksichtigung von deren Lebensdauer aus. Nicht unerheblich sind auch die Elektroenergiekosten für die Wasserförderung.

Auf Grund der unterschiedlichen Vorbedingungen liegen die Selbstkosten für die Bereitstellung von einem Kubikmeter Trinkwasser vorwiegend zwischen 0,25 und 0,50 M, maximal über 1 M, während der gesetzliche Abgabepreis einheitlich 0,45 M beträgt. Auf Grund der angespannten Versorgungslage muß die Wasserversorgung also teilweise subventioniert werden. Trotzdem ist es natürlich Aufgabe jeder Erkundung, durch entsprechende Variantenuntersuchungen anhand konkreter Kennzahlen eine Wasserabgabe mit minimalen Selbstkosten zu garantieren.