

Hydrogeologie

## **Grundwasservorratsermittlung**

Von Dipl.-Geol. Ing. Jürgen Henke  
und Dipl.-Berging. Ursula Kurth

Mit 2 Bildern



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie  
Leipzig

Herausgegeben vom VEB Hydrogeologie, Nordhausen  
Leitung und Organisation: Betriebssektion der Kammer  
der Technik im VEB Hydrogeologie

Nur für die Qualifizierung im Bereich des Ministeriums  
für Geologie bestimmt.

**Gutachter:**

Dipl.-Ing. Hans-Henning Hagen

Dipl.-Geol. Gerhard Ginzel

1. Auflage

© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1979  
VLN 152-915/61/79

LSV 1463

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: VEB Druckerei "Thomas Müntzer",  
Bad Langensalza

Redaktionsschluß: 30. 4. 1978

## Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen	5
1. Einleitung	5
2. Begriffe	6
3. Grundlagen für die Grundwasservorrats- ermittlung	8
3.1. Geographische Angaben	9
3.2. Hydrographische Angaben	10
3.3. Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes	11
3.3.1. Angaben zur Geologie	11
3.3.2. Angaben zur Grundwasserdynamik	12
3.3.3. Angaben zur Grundwasserhydraulik	13
3.3.4. Angaben zur Grundwasserbeschaffenheit	14
3.4. Wasserhaushalt	15
3.5. Bedingungen zur Grundwasserfassung	18
4. Grundwasservorratsermittlung	20
4.1. Ermittlung sich erneuernder Grundwasser- vorräte	20
4.1.1. Ermittlung aus dem Grundwasserdargebot	20
4.1.2. Auswertung mehrjähriger Betriebserfahrungen von Wasserfassungen	23
4.1.3. Nachweis mittels demonstrativen Pump- versuches	24
4.1.4. Anwendung von Identifikationsverfahren	26
4.1.4.1. Analytische Berechnung	27
4.1.4.2. Modelltechnische Simulation	28
4.2. Ermittlung zusätzlicher Grundwasser- vorräte	28
4.2.1. Nachweis zusätzlicher, durch Uferfiltration entstehender Grundwasservorräte	29
4.2.2. Nachweis zusätzlicher, durch Grundwasser- anreicherung entstehender Grundwasservorräte	32

4.3.	Ermittlung von Grundwasserlagerstätten- vorräten	34
5.	Bewertung, Klassifizierung und Bestätigung der Grundwasservorräte	35
6.	Geologisch-ökonomische Bewertung	37
	Literaturverzeichnis	38

## Vorbemerkungen

In der vorliegenden Broschüre der Reihe "Hydrogeologie" wird die Problematik der Grundwasservorratsermittlung behandelt. Dabei ist zu beachten, daß ein fundierter Nachweis von nutzbarem Grundwasser nur auf der Basis hydrogeologischer Erkundungsarbeiten, durch Analyse und Synthese der Erkundungsergebnisse und Auswertung aller verfügbaren Altunterlagen und Analogiewerte möglich ist. Dies bedeutet, daß alle Arbeiten, wie sie in den anderen Broschüren dieser Reihe beschrieben und erläutert werden, diesem Ziel untergeordnet sind.

Aus diesem Grund wurden im Abschnitt 3. der vorliegenden Broschüre die für die Vorratsermittlung wichtigsten Ausgangsdaten zusammengefaßt dargestellt, und es wird erläutert, mittels welcher Arbeiten sie zu gewinnen sind.

Die Vorratsermittlung selbst obliegt in erster Linie dem verantwortlichen Objektgeologen, der hierzu neben einer entsprechenden Ausbildung über ausreichende Erfahrungen auf dem Gebiet der hydrogeologischen Erkundungspraxis verfügen muß. Der Geologiefacharbeiter, für den die Broschürenreihe bestimmt ist, wird dagegen für die Ermittlung der Ausgangsparameter eingesetzt. Deshalb beschränkt sich die vorliegende Broschüre im Abschnitt 4. auf eine Beschreibung der Methoden zur Vorratsermittlung, die einen Überblick zum Verständnis des Gesamtprozesses ermöglichen soll.

### 1. Einleitung

Das Ziel einer hydrogeologischen Erkundung besteht primär in den meisten Fällen im Nachweis von Grundwasservorräten. Als Grundwasservorräte gelten nur die Teile der Grundwasserlagerstätten, die entsprechend den örtlichen Bedingungen nutzbar sind.

Grundlage einer jeden Vorratsermittlung und -bestätigung sind die Forderungen, die vom potentiellen Nutzer an die Menge, die Qualität und die Gewinnungsbedingungen des Grundwassers ge-

stellt werden. Diese Forderungen sind in den "Konditionen" verankert, die entsprechend der Lagerstättenwirtschaftsanordnung /10/ von den Organen der Wasserwirtschaft eigenverantwortlich erarbeitet, überprüft und bestätigt werden. Die Anforderungen an den Grundwasservorratsnachweis sind in der Grundwasservorratsklassifikation /13/ und der dazugehörigen Instruktion /14/ verbindlich festgelegt. Dementsprechend wird der Grad der Erforschtheit einer Grundwasserlagerstätte sowie die Sicherheit einer Vorratermittlung durch die Vorratsklassen A, B, C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub> (Bilanzvorräte, vgl. Abschnitt 2. und 5.) bzw. a, b, c<sub>1</sub> und c<sub>2</sub> (Außerbilanzvorräte, vgl. Abschnitte 2. und 5.) ausgedrückt. Durch erneute Erkundungsarbeiten bzw. Erkenntniszuwachs durch langjährige Nutzung können Grundwasservorräte einer niedrigen Klasse in eine höhere Klasse überführt werden. Die entsprechend den obengenannten Anforderungen nachgewiesenen Grundwasservorräte sind durch die Staatliche Vorratskommission zu bestätigen /12/.

Erst auf der Grundlage bestätigter Grundwasservorräte können die zuständigen Organe der Wasserwirtschaft wasserwirtschaftliche Entscheidungen fällen bzw. Investitionen zur Wassernutzung vorbereiten.

## 2. Begriffe

Nachfolgend werden die für die Grundwasservorratermittlung maßgebenden Begriffe genannt und erläutert.

Die exakte Definition sowie weitere Begriffserläuterungen sind in der TGL 23 989 "Terminologie unterirdisches Wasser" /15/ bzw. in den anderen Broschüren der Reihe "Hydrogeologie" enthalten.

Begriff	Erläuterung
Grundwasserneubildung	natürliche Auffüllung des Grundwassers; am wichtigsten ist die Grundwasserneubildung aus den Niederschlägen

Begriff	Erläuterung
Grundwasseranreicherung	künstliche Zuführung von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter
Uferfiltration	Obertritt von Oberflächenwasser durch das Gewässerbett in den Grundwasserleiter infolge natürlicher oder künstlich verursachter Druckunterschiede
Grundwasserdargebot	wasserwirtschaftlich nutzbarer Anteil des Grundwassers aus den Niederschlägen
Grundwasservorrat	Grundwassermenge, die gegenwärtig oder in absehbarer Zukunft mit volkswirtschaftlich vertretbarem Aufwand genutzt werden kann (gekennzeichnet durch Quantität, Qualität, Fassungs- und Aufbereitungsbedingungen)
Grundwasserlagerstättenvorrat in $m^3$	Grundwasservorrat in einer Grundwasserlagerstätte zu einem bestimmten Zeitpunkt
Grundwasservorrat, sich erneuernder in $m^3d^{-1}$	Grundwasservorrat, der sich in einem oder mehreren Grundwasserleitern in einem Zeitabschnitt aus der Grundwasserneubildung ergibt; er ist stets Bestandteil des Grundwasserdargebotes
Grundwasservorrat, zusätzlicher in $m^3d^{-1}$	durch technische Maßnahmen (z. B. künstliche Grundwasseranreicherung, Uferfiltration) entstehender Grundwasservorrat
Grundwasserliefervermögen in $m^3d^{-1}$	Grundwasservorräte, die einem oder mehreren Grundwasserleitern ständig oder während eines bestimmten) Zeitabschnittes in Abhängigkeit von den Fassungsbedingungen entnommen werden können

Begriff	Erläuterung
Grundwasserbilanzvorrat (A, B, C <sub>1</sub> und C <sub>2</sub> )	Grundwasservorrat, der den gegenwärtigen volkswirtschaftlichen Anforderungen (Konditionen) entspricht
Grundwasseraußerbilanzvorrat (a, b, c <sub>1</sub> und c <sub>2</sub> )	Grundwasservorrat, der nicht den Konditionen entspricht
Konditionen	Forderungen, die, bezogen auf eine konkrete Grundwasserlagerstätte, an die nachzuweisende Grundwassermenge gestellt werden (Menge, Qualität, Standort, Fassungsbedingungen u. a.) und bei deren Einhaltung eine Nutzung mit volkswirtschaftlich vertretbarem Aufwand möglich ist
Kontamination	Verunreinigung bzw. Verseuchung von Wasser und/oder Gestein
Kolmation	Verdichtung eines Gesteins durch Sink- und Schwebstoffe

Grundwasserbilanz- und/oder -außerbilanzvorräte werden in der Regel im Ergebnis hydrogeologischer Erkundungsarbeiten ausgewiesen. Grundwasservorräte, die durch Erkundungsarbeiten noch nicht nachgewiesen, sondern lediglich auf der Grundlage einer Analyse der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse wissenschaftlich begründet vorausgesagt wurden, werden als "prognostische Grundwasservorräte" bezeichnet.

### 3. Grundlagen für die Grundwasservorratsermittlung

Die Grundwasservorratsermittlung erfolgt nach den im Abschnitt 4. beschriebenen Methoden auf der Grundlage einer Synthese der hydrogeologischen Angaben für eine Grundwasserlagerstätte.

Die für den Vorratsnachweis relevanten hydrogeologischen Verhältnisse, die im folgenden beschrieben werden, dienen unter Berücksichtigung der entsprechenden Konditionen der Erarbei-



tung des hydrogeologischen Modells für den Nachweis der Grundwasservorräte. Das hydrogeologische Modell beinhaltet somit die Gesamtheit der Repräsentativwerte einer Grundwasserlagerstätte, die durch Verdichtung und Aufbereitung der vorhandenen Einzeldaten gewonnen werden. Von der Genauigkeit der verwendeten Parameter hängt im entscheidenden Maße die Sicherheit der ermittelten Grundwasservorratsgröße ab.

### 3.1. Geographische Angaben

Hierzu zählen:

- Charakteristik der Morphologie des Untersuchungsgebietes
- Angaben über die Bodennutzung
- Klimatische Daten
- Abgrenzung von Schutzgebieten (Naturschutz-, Bergbau- und Trinkwasserschutzgebiete)

Die Kenntnis der obengenannten Angaben ermöglicht eine qualitative und quantitative Bewertung solch wichtiger Größen wie

- Abgrenzung der oberirdischen Einzugsgebiete
- Einschätzung der Verdunstungs- und Versickerungsbedingungen
- Beurteilung der Grundwassernutzungsbedingungen

Im Rahmen hydrogeologischer Erkundungsarbeiten werden zur Ermittlung geographischer Angaben keine besonderen Untersuchungsarbeiten durchgeführt. Sie sind aus vorhandenen Unterlagen zu entnehmen.

- Morphologische Angaben werden in erster Linie aus topographischen Karten gewonnen (Hangneigung, ebenes oder bergiges Gelände usw.). Bei Geländebefahrungen werden diese Angaben durch den visuellen Eindruck ergänzt.
- Angaben über die Bodennutzung erhält man aus agrarwirtschaftlichen Nutzungskarten /1/.
- Klimatische Daten sind von der regional zuständigen Dienststelle des Meteorologischen Dienstes einzuholen bzw. können Orientierungswerte aus dem N-A-U-Atlas /5/ übernommen werden. Dabei handelt es sich um die Größe der die Grundwas-

serneubildung entscheidenden Faktoren wie Niederschlagshöhe, Verdunstung, Globalstrahlung u. a. m.

- Vorhandene bzw. vorgesehene Schutzgebiete werden anhand der topographischen Karten abgegrenzt, bzw. ihre Grenzen werden durch Befragungen bei den entsprechenden Institutionen (VEB WAB, Bergbaubetriebe, Räte der Bezirke) ermittelt.

Die Darstellung der geographischen Angaben erfolgt in Tabellenform, teilweise auch auf Karten.

### 3.2. Hydrographische Angaben

Hierzu gehören

- die oberirdischen Abflußverhältnisse
- die Nutzung der Oberflächengewässer

Diese Angaben werden aus dem N-A-U-Atlas /5/, dem Hydrographischen Kartenwerk der DDR /6/, aus den Hydrologischen Jahrbüchern und aus hydrologischen Gutachten der Wasserwirtschaft gewonnen. In bestimmten Gebieten sind eigene Abfluß- und Quellschüttungsmessungen erforderlich. Das trifft insbesondere auf solche Gebiete zu, in denen die oberirdischen Gewässer im direkten Zusammenhang mit dem Grundwasser stehen und somit Rückschlüsse auf die unterirdischen Abflußverhältnisse ermöglichen.

Die Kenntnis der hydrographischen Angaben ist wichtig für die

- Abgrenzung der oberirdischen Einzugsgebiete
- Klärung der Grundwasserdynamik (vgl. Abschnitt 3.3.2.)
- Klärung der hydrochemischen Verhältnisse, insbesondere bei Einleitung von Abwässern (vgl. Abschnitt 3.3.4.)
- Bestimmung der Bedingungen zur Grundwasserfassung (vgl. Abschnitt 3.5.)
- Beurteilung der Möglichkeiten für die Uferfiltratgewinnung
- Bestimmung der Grundwasserneubildung, insbesondere im Berg- und Hügelland (vgl. Abschnitt 3.4.)
- Bestimmung der für eine künstliche Grundwasseranreicherung vorhandenen Qualität und Quantität von Oberflächenwasser

Die Darstellung erfolgt in Form von Tabellen oder Ganglinien, teilweise auch auf Karten.

### 3.3. Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes

#### 3.3.1. Angaben zur Geologie

Hierzu gehören

- Bodenarten
- Lagerungsverhältnisse (Struktur und Tektonik)
- Schichtenaufbau (lithologisch und stratigraphisch)

Diese Angaben werden aus vorhandenen Kartierungsunterlagen (geologischen Spezialkarten) bzw. Unterlagen geologischer Archive gewonnen. Für die speziellen Belange der Hydrogeologie werden sie ergänzt durch eine Reihe von Arbeiten, die im Rahmen hydrogeologischer Erkundungsarbeiten durchgeführt werden. Hier sind an erster Stelle die Aufschlußarbeiten zu nennen.

Aus den hydrogeologischen Erkundungsbohrungen (vgl. Broschüren "Bohrarbeiten", "Gesteinsbemusterung") werden die Schichtenfolge, die Mächtigkeit der einzelnen Schichten usw. bestimmt.

Geophysikalische Oberflächen- und Bohrlochmeßverfahren vervollständigen diese Angaben.

Bei bestimmten Aufgabenstellungen - z. B. bei Uferfiltratgewinnung, Grundwasseranreicherung - sind Spezialuntersuchungen erforderlich. Mit Hilfe von Peilstangensondierungen, Moorkartierungen und Gewässerbettuntersuchungen wird die Ausbildung der Deckschichten geklärt.

Alle obengenannten geologischen Angaben dienen der Aufstellung eines geologischen Modells der Grundwasserlagerstätte. Dazu gehören die Ausgliederung von Grundwasserleitern und -stauern mit Angaben zu deren Verbreitung und Mächtigkeit sowie die Feststellung geologischer Grenzen bzw. Randbedingungen. Ihre Darstellung erfolgt in erster Linie kartenmäßig in Form von

- geologischen Karten
- Strukturkarten
- Isopachenkarten
- geologischen Schnitten

### 3.3.2. Angaben zur Grundwasserdynamik

Hierzu gehören

- Abgrenzung der unterirdischen Einzugsgebiete
- Klärung der Grundwasserdruckverhältnisse
- Bestimmung von Grundwasserfließrichtung, -gefälle, -fließgeschwindigkeit

Die obengenannten Daten werden in erster Linie mit Hilfe hydrogeologischer Erkundungsarbeiten gewonnen.

Aus Aufschlüssen wird die Lage des Grundwasserspiegels bzw. der Grundwasserdruckfläche ermittelt. Mit Hilfe von Stichtagsmessungen, d. h. zeitgleichen Messungen des Grundwasserspiegels, wird die Veränderlichkeit der Grundwasseroberfläche bestimmt, insbesondere bei im Untersuchungsgebiet vorhandenen Grundwassernutzungen.

Zur Ermittlung hydraulischer Zusammenhänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser können Flußbettsondierungen, Abfluß- und Quellschüttungs- sowie Wasserstandsmessungen durchgeführt werden.

Unter speziellen Verhältnissen gewinnen Fließrichtungsbestimmungen mit Hilfe von Tracern besondere Bedeutung, z. B. in verkarsteten Grundwasserleitern.

Die Grundwasserdynamik wird hauptsächlich in Form einer Grundwasserisohypsenkarte dargestellt, d. h. einer Karte mit Linien gleicher Wasserstände bzw. gleichen Wasserdrucks. Diese Karten gestatten - bezogen auf jeden konkreten Grundwasserleiter der Grundwasserlagerstätte - die Bestimmung der obengenannten Angaben. Dabei wird das unterirdische Einzugsgebiet von Grundwasserscheiden begrenzt, die aus dem Verlauf der Isohypsen abgeleitet werden können. Ebenso gibt der Verlauf der Grundwasserisohypsen Auskunft über die Beziehung zwischen Grund-

und Oberflächenwasser und zwischen den einzelnen Grundwasserleitern. Werden Grundwasserisohypsenkarten für verschiedene Zeitpunkte erarbeitet, so können außerdem Angaben über die vorhandenen Nutzungen und die Belastung der Grundwasserlagerstätte gewonnen und in sogenannten Differenzenkarten dargestellt werden.

Die Grundwasserisohypsenkarte kann als eine der wichtigsten Unterlagen für alle weiteren Betrachtungen - wie z. B. hydraulische Berechnungen - bezeichnet werden.

Diese Karte wird in Abhängigkeit von der Art des Untersuchungsgebietes noch ergänzt durch Flurabstandskarten (Darstellung des Abstandes zwischen Grundwasseroberfläche und Geländeoberkante). Die Flurabstandskarten ermöglichen Aussagen über

- Schutz des Grundwassers vor oberirdischen Verunreinigungen (Mächtigkeit der Deckschicht)
- Größe der Verdunstung (bei flurnaher Grundwasseroberfläche - < 1,5 m Deckschichtmächtigkeit - kann die Verdunstung größer als der je Flächeneinheit fallende Niederschlag sein)
- Bedingungen zur künstlichen Grundwasseranreicherung (Niveauunterschied zwischen Versickerungswasserspiegel und Grundwasserspiegel)
- technische Vorbereitungen für den Einsatz verschiedener Bohrtechnologien bzw. Entscheidungskriterien für die Wahl des geeigneten Bohrverfahrens.

### 3.3.3. Angaben zur Grundwasserhydraulik

Die Bestimmung der hydraulischen Parameter des Grundwasserleiters, wie

- Durchlässigkeitskoeffizient (k-Wert) des Grundwasserleiters bzw. von halbdurchlässigen Schichten
- Speicherkoeffizient (S-Wert)
- Transmissibilität (T-Wert) als Produkt aus k-Wert und Grundwasserleitermächtigkeit
- Klärung von Speisungs- und Randbedingungen

wird in erster Linie aus den Ergebnissen hydrogeologischer Pumpversuche ermöglicht (vgl. Broschüre "Pumpversuche").

Eine bedeutende Rolle bei der Bestimmung der Durchlässigkeitskoeffizienten spielen auch die im Labor durchgeführten Siebanalysen, aus denen anhand der Kornverteilung die Durchlässigkeit der Gesteine abgeleitet werden kann. Die Angaben zur Grundwasserhydraulik bilden die Ausgangswerte für sämtliche hydraulischen Berechnungen, d. h. Berechnungen des Grundwasserströmungsfeldes für vorhandene oder geplante Nutzungen und entsprechend angenommenen Fassungsbedingungen (vgl. Abschnitt 4.).

#### 3.3.4. Angaben zur Grundwasserbeschaffenheit

Die physikalische, chemische und biologische Beschaffenheit des Grundwassers der einzelnen Grundwasserleiter bestimmt die Eignung bzw. Nichteignung des Wassers für den vorgesehenen Verwendungszweck. Große Bedeutung erlangt dabei die Einschätzung möglicher Einflußfaktoren für Qualitätsveränderungen. Bei Grundwasseranreicherungen und Uferfiltratgewinnung ist außerdem die Beschaffenheit des Oberflächenwassers und dessen qualitative Veränderung bei der Bodenpassage von Bedeutung.

Die Qualität des Wassers wird anhand der im Labor oder am Entnahmestort der Proben durchgeführten Wasseranalysen beurteilt. Diese Analysen von Wasserproben aus Erkundungsbohrungen, aus vorhandenen Wasserwerksanlagen, des Oberflächenwassers und auch von Quellen geben Auskunft über die einzelnen physikalischen, chemischen und biologischen Parameter des Wassers, deren Bewertung anhand vorgegebener Richtwerte erfolgt.

Speziell für die Einschätzung von Qualitätsveränderungen ist eine genetische Bewertung des Wassers von Bedeutung. Angaben über Herkunft und Alter ermöglichen Rückschlüsse auf Speisungsbedingungen, Strömungsverhältnisse usw. (vgl. Broschüre "Hydrochemie"). Die Darstellung erfolgt durch hydrochemische Karten, Mehrstoffdiagramme, Tabellen u. ä.

### 3.4. Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt eines Gebietes ist eine entscheidende Einflußgröße für den Grundwasservorrat einer Lagerstätte.

Für die Bestimmung der Grundwasserneubildung existieren verschiedene Methoden, die in /2, 3, 7/ beschrieben werden. Darüber hinaus bildet diese Problematik den Gegenstand von Forschungsarbeiten im VEB Hydrogeologie und im Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.

Bei den Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung muß zwischen direkten Messungen des unterirdischen Abflusses und sogenannten Übertragungs- oder Analogieverfahren unterschieden werden. Für die direkten Messungen des unterirdischen Abflusses werden im Lockergestein meist Lysimeter benutzt. Da die Errichtung von Lysimetern im Festgestein aus technischen und wirtschaftlichen Gründen (Einbau bis weit unterhalb der Versickerungszone) nicht ratsam ist, wendet man Messungen des oberirdischen Abflusses in Kleinsteinzugsgebieten an, die nach Möglichkeit mit geologischen Einheiten übereinstimmen. Zur Bestimmung des unterirdischen Abflusses aus der Abflußganglinie werden Separationsverfahren angewendet, von denen die nach dem Verfahren von NARBE gewonnenen Ergebnisse die beste Übereinstimmung mit den natürlichen Verhältnissen zeigen /3/.

Die Übertragungsverfahren, die in der DDR bekannt sind, sind nicht universell einsetzbar, sondern haben bestimmte Anwendungsgrenzen, die detailliert in /2, 3/ aufgezeigt werden.

#### Berechnungsmethode nach GLUGLA/TIEMER

Diese auf der Formel von BAGROV basierende Berechnungsmethode ist physikalisch gut fundiert. Sie ist allerdings gegenwärtig nur für Grundwasserlagerstätten mit unbedecktem Grundwasserleiter anwendbar. In diesen Fällen ist die Grundwasserneubildung gleich dem Grundwasserdargebot.

Ausgehend von

Niederschlag N

- Effektivitätsparameter n
- Globalstrahlung G

kann man aus speziell entwickelten Abflußpendenschlüsseln die Grundwasserneubildung bestimmen /7/.

#### Analogieverfahren nach SCHLINKER

Dieses Verfahren ist anwendbar für Grundwasserlagerstätten mit bedeckten/teilweise unbedeckten Grundwasserleitern zwischen Ostseeküste und Pommerischer Endmoräne. Nach diesem Verfahren wird auf der Grundlage von

- Niederschlag
- Versickerungsfaktoren, die abhängig von der Bodenart sind, das Grundwasserangebot bestimmt.

#### Analogieverfahren nach ZIESCHANG

Von ZIESCHANG wurden Abflußpendenschlüssel für den

- Lockergesteinsbereich (Grundwasserlagerstätten mit bedeckten/teilweise unbedeckten Grundwasserleitern zwischen Pommerischer Endmoräne und Randpleistozän)
- Festgesteinsbereich (Beispielsgebiet ist der Mittlere Buntsandstein des Tannrodaer Gewölbes)

entwickelt.

Bei diesem Verfahren werden die durch die unterschiedlichen Vegetationsverhältnisse hervorgerufenen Veränderungen der Wasserhaushaltsfaktoren nicht berücksichtigt.

#### Analogieverfahren nach ZIEGLER

ZIEGLER entwickelte sein Verfahren für das Thüringer Mesozoikum. Unter Berücksichtigung der anstehenden Schichten, der Bodennutzung, der Geländeneigung können die Versickerungsfaktoren bestimmt werden, die in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren Niederschlages die Grundwasserneubildungsgröße ergeben.

Neben den bereits genannten direkten Messungen und den Analogieverfahren sind noch zwei weitere Möglichkeiten zur Bestimmung des unterirdischen Abflusses zu nennen:

- Auswertung von mehrjährig betriebenen Wasserfassungen zur direkten Bestimmung der Grundwasserneubildung bzw. des



Grundwasserdargebotes. Diese gesicherte Größe kann auch auf analog aufgebaute Gebiete übertragen werden.

Für eine derartige Übertragung auf analoge Gebiete müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die hydrogeologischen Verhältnisse beider Grundwasserlagerstätten müssen bekannt und ähnlich sein.
- Für einen gesicherten mittleren Betriebszustand (bekannte Fördermenge bei bekannter mittlerer Grundwasserspiegelabsenkung) muß das hydraulisch beherrschte Einzugsgebiet bekannt sein.
- Fremde Entnahmen oder Einleitungen von Grund- und/oder Oberflächenwasser sowie ober- und unterirdische Zu- und Abflüsse im unterirdischen Einzugsgebiet müssen bekannt sein.

Unter diesen Voraussetzungen kann für das Gebiet mit der betriebenen Wasserfassung eine gebietsspezifische Grundwasserspense (unterirdischer Abfluß, bezogen auf eine Flächeneinheit) ermittelt und auf das analoge Gebiet übertragen werden.

- Durchflußberechnung nach DARCY; hierbei wird der Volumenstrom durch den jeweils betrachteten Querschnitt des Grundwasserleiters ermittelt, wobei die Durchflußmenge auf einer Berechnungslänge senkrecht zur Grundwasserfließrichtung für natürliche, ungestörte Strömungsverhältnisse bei ebener Sohle des Grundwasserleiters errechnet wird. Die Beziehung lautet:

$$Q = k I M B$$

Q Durchflußmenge in  $m^3 s^{-2}$

k Durchlässigkeitskoeffizient in  $m s^{-1}$

I Gefälle

M Mächtigkeit in m

B Breite des betrachteten Querschnittes in m

Diese Durchflußmenge ist gleich dem Grundwasserdargebot, wenn die Berechnungslinie das gesamte unterirdische Einzugsgebiet stromunterhalb erfaßt und die Ausgangsparameter ausreichend genau bestimmt sind und die wirklichen Verhältnisse repräsentieren. Dabei treten auf Grund der in der

Natur herrschenden meist anisotropen und inhomogenen Verhältnisse die größten Schwierigkeiten auf. Zur Vorratsberechnung ist auf Grund dessen dieses Verfahren nur zu Vergleichszwecken heranzuziehen.

### 3.5. Bedingungen zur Grundwasserfassung

Die Fassungsbedingungen hängen sowohl von wirtschaftlichen Aspekten, wie z. B.

- Größe der zu fassenden Wassermenge
- Entfernung zum Bedarfsträger
- territorial-spezifische Bedingungen
- Nutzungskonzeptionen

ab, die in den Konditionen (vgl. Abschnitt 2.) vorgegeben werden, als auch von den Lagerstättenverhältnissen selbst.

Als Synthese der unter Abschnitt 3.3.1. bis 3.3.4. genannten Angaben wird ein Grundwasserströmungsmodell entwickelt, das mit Hilfe von Identifikationsmethoden unter Annahme verschiedener Fassungsbedingungen (Varianten) berechnet wird. Dies bedeutet, daß unter Berücksichtigung der nachzuweisenden Wassermenge an hydrogeologisch geeigneten Standorten - entsprechend ausgebildete Grundwasserleiter, Vorhandensein eines hydraulisch beherrschbaren Einzugsgebietes, Möglichkeiten des Absenkens des Grundwasserspiegels usw. - eine Fassungsanlage mit einer bestimmten Brunnenanzahl, vorgegebenen Brunnenabständen und Fördermengen je Brunnen angeordnet wird.

Das Wesen der Identifikationsverfahren besteht in einem Vergleich und einer schrittweisen Annäherung der Berechnungsergebnisse und der in der Natur gemessenen Werte. Erst die Realisierbarkeit der angenommenen Fassungsbedingungen, d. h. zum Beispiel Einhaltung bestimmter maximaler Absenkungsbeträge, bildet die Voraussetzung für die weiteren Vorratsbetrachtungen.

Diese Identifikationsmethoden basieren auf den neuesten Erkenntnissen der Grundwasserhydraulik. Hierzu gehören:

### Analytische Berechnung des Grundwasserströmungsfeldes

Voraussetzung zur Anwendung dieser Methode ist die Möglichkeit der Übertragung des natürlichen Grundwasserströmungsfeldes in ein mathematisches Modell, für das die entsprechenden Gleichungssysteme vorhanden sind.

Um komplizierte Gleichungssysteme, wie sie z. B. für die Brunnenbemessung im WAPRO-Standard 1.42 /16/ enthalten sind, lösen zu können, wird in steigendem Maße die EDV eingesetzt.

### Modelltechnische Simulation (Nachbildung) des Grundwasserströmungsfeldes

Bei dieser Methode werden die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Verhältnisse im verkleinerten Maßstab und mittels entsprechender Analoggrößen nachgebildet. Am gebräuchlichsten sind Elektroanalogiemodelle, die wegen der Übereinstimmung der physikalischen Bewegungsgesetze des Wassers und des elektrischen Stromes eine Simulation mittels Leitsilberdarstellungen auf leitfähigem Papier (sog. Papiermodelle) oder eines elektrischen Widerstandsnetzes ermöglichen, wobei beide Modellarten auch kombiniert werden können.

Da die Identifikationsmethoden für den Vorratsnachweis grundlegende Verfahren darstellen, wird über die Anwendung dieser Methoden unter dem Aspekt der Grundwasservorratsberechnung im Abschnitt 4.1.4. näher eingegangen.

### Zusammenfassung

Die im Abschnitt 3. beschriebenen Daten und Parameter werden im hydrogeologischen Prozeß sowohl in Auswertung vorhandener Archivunterlagen, Angaben und Gutachten anderer Institutionen als auch im Ergebnis der eigentlichen hydrogeologischen Feldarbeiten gewonnen.

Das daraus abgeleitete hydrogeologische Modell der konkreten Grundwasserlagerstätte bildet die Grundlage für den Nachweis der Grundwasservorräte, wobei Art und Sicherheit des Modells entscheidenden Einfluß auf die zu wählende Nachweismethode und die Sicherheit der gewonnenen Vorratsgröße haben.

#### 4. Grundwasservorratsermittlung

Sämtliche Untersuchungen und Arbeiten der Grundwassererkundung dienen letztlich dem Zweck, die den Anforderungen des Nutzers (Konditionen) entsprechende gewinnbare Wassermenge nachzuweisen. Dazu dienen verschiedene Ermittlungsverfahren, die unabhängig voneinander oder kombiniert angewandt werden können und aus Bild 1 ersichtlich sind.

Die Anwendung dieser Verfahren hängt ab von den

- hydrogeologischen Verhältnissen der Grundwasserlagerstätte
- vorhandenen Daten und Parametern
- erforderlichen Genauigkeitsgrad der Grundwasservorratsermittlung, d. h. dem Erkundungsstadium

Der Ablauf einer Vorratsberechnung ist im Bild 2 dargestellt, wobei die für die einzelnen Vorratsarten spezifischen Schritte in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

##### 4.1. Ermittlung sich erneuernder Grundwasservorräte

Die sich erneuernden Grundwasservorräte sind diejenigen Grundwasservorräte, deren Nutzung in den meisten Grundwasserlagerstätten die Basis für die Trinkwasserversorgung bildet. Ihre Größe hängt von den hydrogeologischen Verhältnissen, d. h., der Art der Grundwasserlagerstätte, und im entscheidenden Maße von der Größe der Grundwasserneubildung ab. Deshalb nimmt diese Wasserhaushaltsgröße bei allen möglichen Verfahren zur Ermittlung der sich erneuernden Grundwasservorräte eine Schlüsselstellung ein.

##### 4.1.1. Ermittlung aus dem Grundwasserdargebot

Im Abschnitt 3.4. wurden verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes beschrieben. Um die Größe der sich erneuernden Grundwasservorräte zu ermitteln, müssen folgende Bearbeitungsschritte durchgeführt werden:

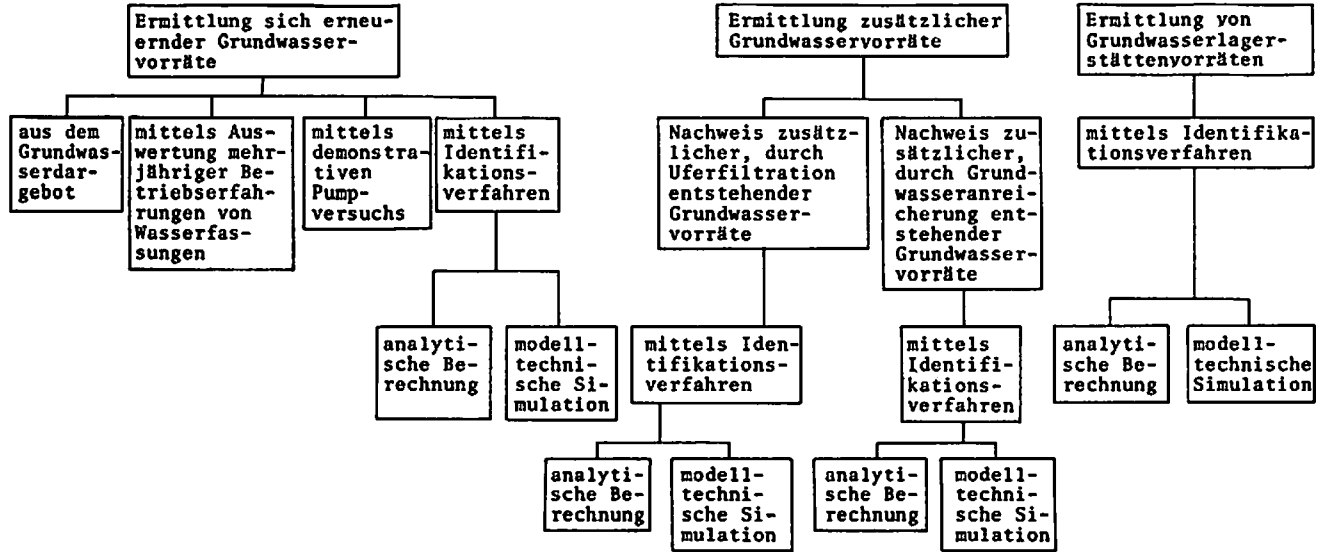


Bild 1. Methoden der Grundwasservorratsermittlung

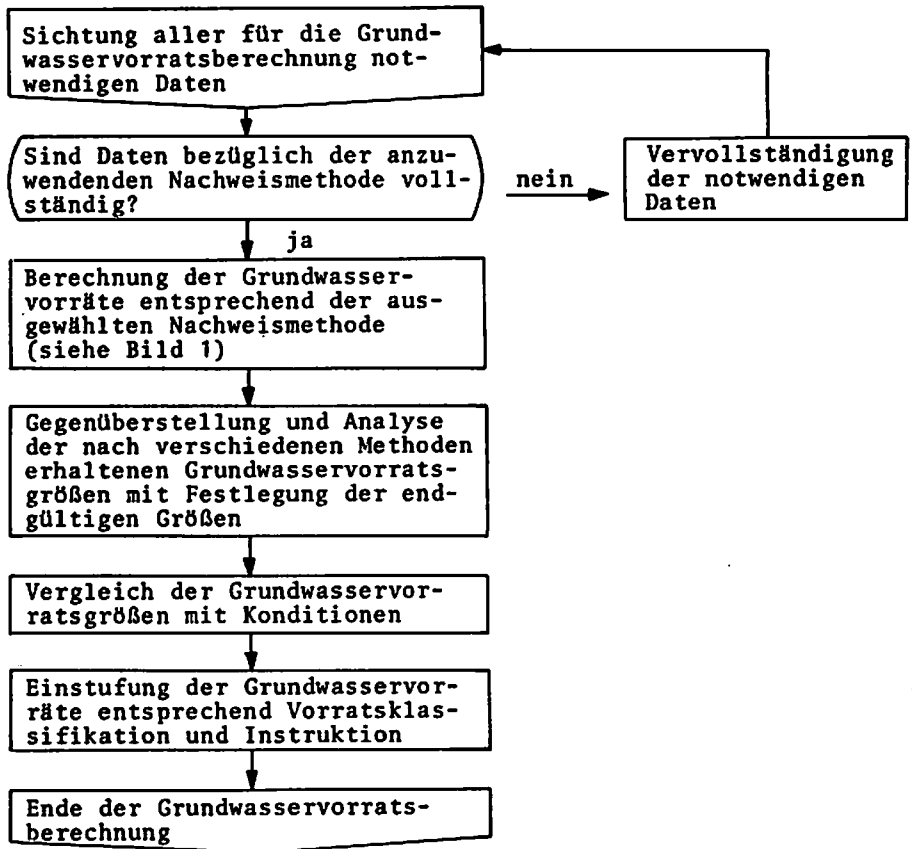


Bild 2. Grobablauf einer Grundwasservorratsberechnung

- Das Grundwasserdargebot ist für ein von einer angenommenen Wasserfassung hydraulisch beherrschtes unterirdisches Einzugsgebiet zu berechnen. Die Abgrenzung dieses Einzugsgebietes kann am exaktesten mit Hilfe der unter Abschnitt 4.1.4. beschriebenen Identifikationsverfahren vorgenommen werden. Bei überschläglichen Betrachtungen bzw. für derartige Berechnungen nicht ausreichendem Kenntnisstand ist es möglich, die Abgrenzung in Analogie zu anderen Gebieten bzw. empirisch unter Beachtung der vorhandenen spezifischen Bedingungen vorzunehmen.
- Von dieser Dargebotsgröße sind die in diesem Einzugsgebiet vorhandenen Grundwassernutzungen und der von der Wasser-

wirtschaft vorgegebene landschaftlich notwendige Mindestabfluß abzusetzen.

Bei Anwendung des Analogieverfahrens nach SCHLINKER ist die Dargebotsgröße zusätzlich um die Grundwasserzehrung für Gebiete mit flurnahen Grundwasserspiegel ( $< 1,5$  m unter Gelände) zu verringern, die als Differenz aus potentieller Verdunstung und Niederschlag bestimmt wird.

Im Festgestein ist es üblich, die Größe des sich erneuernden Grundwasservorrates über einen sogenannten "Ausnutzungsfaktor" zu bestimmen. Dieser Faktor, der im allgemeinen zwischen 0,5 und 0,9 liegt, ist abhängig von der Gesamtheit der die Spezifik einer Grundwasserlagerstätte bestimmenden Eigenschaften, von denen die wichtigsten sind:

- Dichte des Gewässernetzes einschließlich Quellenaustritte
- Form des Einzugsgebietes
- Ausbildung des Grundwasserströmungsfeldes
- hydraulische Verhältnisse, insbesondere geogene und antropogene Kontaminationen
- Fassungsbedingungen

Die Festlegung des Ausnutzungsfaktors ist stets bis zu einem gewissen Grad subjektiv und bedarf großer Erfahrungen in der hydrogeologischen Erkundungspraxis.

#### 4.1.2. Auswertung mehrjähriger Betriebserfahrungen von Wasserfassungen

Dieser Fall wird in der Zukunft seltener anzutreffen sein. Es handelt sich hierbei um mehrjährig genutzte Grundwasserfassungen im Untersuchungsgebiet, für die noch keine bestätigten Grundwasservorräte vorliegen. Mit zunehmendem Erkundungsgrad auf dem Territorium der DDR sind solche Verhältnisse immer weniger typisch. Gegenwärtig spielen sie jedoch noch eine große Rolle, zumal speziell bei steigendem Wasserbedarf die "alten" Wasserwerke zu überprüfen sind, um eventuelle Erweiterungen bzw. Rekonstruktionen fundiert vornehmen zu können.

Beim Nachweis von Grundwasservorräten für solche Wasserfassungen muß von einer umfangreichen Analyse der Fassung ausgegangen werden, die folgende wichtige Punkte beinhalten muß /2, 3/:

- Lage und Fassung der Brunnen
- geologische Profile der Brunnen und Angaben zum Ausbau; günstig sind geologische Schnitte durch die Fassungstrasse
- langzeitliche Dokumentationen der Fördermengen, komplettiert durch entsprechende Dokumentationen von Niederschlägen, Grundwasserständen in den Brunnen und Grundwasserbeobachtungsrohren sowie der hydrochemischen Entwicklung der Grundwasserqualität
- Auswertung der Ganglinien für repräsentative Beobachtungsrohre

$$s = f(Q)$$

$$f(t) = \frac{Q}{s}$$

s Grundwasserspiegelabsenkung in m

Q Fördermengen in  $m^3s^{-1}$

t Zeit in s

Speziell die Auswertung der Ganglinien gestattet Aussagen über die Beanspruchung der Grundwasserlagerstätte durch die Wasserfassung. Sind aus den obengenannten Unterlagen keine negativen Tendenzen (ständiges Absinken des Grundwasserspiegels in der Fassung und der Umgebung, negative qualitative Entwicklung) festzustellen, kann die mittlere Tagesfördermenge als Grundwasservorrat ausgewiesen werden.

#### 4.1.3. Nachweis mittels demonstrativen Pumpversuches

Die demonstrativen Pumpversuche der Vergangenheit waren auf Grund der meist nicht eindeutigen Ergebnisse und der verursachten enorm hohen Kosten Gegenstand von Forschungsarbeiten, die im VEB Hydrogeologie durchgeführt wurden. Im Ergebnis dieser Forschungsarbeiten wurde das Blatt 10 der TGL 23 864



- Hydrogeologische Pumpversuche - (vgl. Broschüre "Pumpversuche") als Fachbereichsstandard ausgearbeitet.

Nach den durchgeführten Untersuchungen kann von folgendem ausgegangen werden /4/:

Der demonstrative Nachweis wurde mittels eines Demonstrativpumpversuches durchgeführt, d. h., eines Pumpversuches zum direkten Nachweis des am Standort für eine längere Zeit gewinnbaren Grundwassers nach Menge und/oder Beschaffenheit /15/.

Im allgemeinen wiesen diese Pumpversuche Pumpzeiten von 300 bis 500 Stunden, seltener 1000 Stunden und mehr auf. Ziel war in jedem Fall das Erreichen eines stationären Endzustandes über einen längeren Zeitraum im Sinne eines Probebetriebes, d. h., gleichbleibender Grundwasserspiegel bei konstanter Förderleistung bzw. unveränderlicher Chemismus. Dies ist auf Grund der vielfältigen Einflüsse, denen speziell der Grundwasserspiegel ausgesetzt ist (Schwankungen der Förderleistungen, Beeinflussung durch Niederschläge, unkontrollierbare Nutzungen im Fassungsgebiet u. ä.), kaum erreichbar.

Aus der Analyse der in der Vergangenheit durchgeführten Pumpversuche kam man auf Grund der obengenannten Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß die Dauer demonstrativer Pumpversuche entsprechend den hydrogeologischen Verhältnissen bemessen werden muß. Das Ziel eines solchen Pumpversuches besteht nicht im Erreichen eines stationären Endzustandes, sondern einer eindeutigen Absenkungscharakteristik unter Berücksichtigung eventuell auftretender Randbedingungen. Dazu wird parallel zum Pumpversuch auf halblogarithmischen Papier eine Darstellung der Absenkung als Funktion der Zeit vorgenommen. Diese im allgemeinen geradlinige Absenkungscharakteristik wird durch den Einfluß verschiedener Randbedingungen in verschiedene Abschnitte mit unterschiedlicher Steigung unterteilt. Die über eine bestimmte Zeit nachgewiesene Absenkungscharakteristik eines solchen Pumpversuches läßt sich ohne Schwierigkeit bis zu einem Zeitpunkt extrapolieren, der dem Amortisationszeitraum für die Wasserfassung entspricht. Das Ziel besteht darin, die Möglichkeit der Ge-

winnung eines bestimmten Grundwasservorrates mit Sicherheit für einen Amortisationszeitraum vorauszusagen /3/.

Auf Grund dessen, daß

- längere Pumpzeiten sehr kostenaufwendig sind
- in den genannten Verfahren Unsicherheiten durch nicht bekannte Einflüsse von Randbedingungen enthalten sind

muß die Anwendung dieser Nachweismethode auf folgende Lagerstättenverhältnisse beschränkt werden:

- Die hydrogeologischen Verhältnisse sind kompliziert, die Anwendung von anderen Nachweisverfahren ist nicht möglich.
- Die hydrogeologischen Verhältnisse sind weitestgehend unbekannt, eine weiträumige hydrogeologische Erkundung ist auf Grund geringer Wasserbedarfsmengen ökonomisch nicht vertretbar. Das im Nachweisverfahren enthaltene Risiko ist - gemessen am Investitionsaufwand - vertretbar.
- Die Beschaffenheit des Grundwassers, insbesondere ihre Entwicklung, kann nur über einen demonstrativen Pumpversuch eingeschätzt werden.

Es ist zu beachten, daß bei Anwendung der Nachweismethode mittels demonstrativen Pumpversuches in jedem Fall versucht werden muß, die ermittelte Grundwasservorratsgröße durch Berechnung des Wasserhaushalts zu kontrollieren. In Einzelfällen werden auch Nachrechnungen des demonstrativen Pumpversuches mittels analytischer Berechnung (vgl. Abschnitt 4.1.4.1.) möglich sein, die zur Bestätigung der Ergebnisse nach Maßgabe durchzuführen sind.

#### 4.1.4. Anwendung von Identifikationsverfahren

Die Anwendung von Identifikationsverfahren, die auf den Ergebnissen der modernen Grundwasserhydraulik beruhen, ist, wie bereits im Abschnitt 3.5. beschrieben, nur dann möglich, wenn

- einerseits die natürlichen hydrogeologischen Verhältnisse einschließlich der hydraulischen Parameter (Durchlässigkeit

keit, Speisungsverhältnisse, Wirkung von Randbedingungen) bekannt sind

und

- andererseits sich die natürlichen Verhältnisse so schematisieren lassen, daß sie in einem entsprechenden Berechnungsmodell ihren Ausdruck finden.

Von der Erfüllung dieser Voraussetzungen hängt ab, ob bzw. welche der Verfahren angewandt werden können. Allen Verfahren ist gemeinsam, daß in Abhängigkeit von den Grundwasserlagerstättenverhältnissen und den Konditionen Grundwasserfassungen simuliert werden und durch angenommene Fassungsbedingungen neu entstehende Grundwasserströmungsverhältnisse berechnet werden.

#### 4.1.4.1. Analytische Berechnung

Am weitesten verbreitet ist gegenwärtig die Berechnung nach WAPRO 1.42 /16/. Hierbei ist allerdings eine relativ große Schematisierung der natürlichen Verhältnisse notwendig.

Nach der Berechnung verschiedener Varianten, z. B.

- verschiedene Fassungsstandorte
- unterschiedliche Ausbildung der Fassung
- verschiedene Fördermengen
- Berechnung verschiedener Zeiträume

mittels EDVA werden die Ergebnisse in entsprechenden Grundwasserisohypsenplänen dargestellt. Diese werden einer Analyse unterzogen, d. h., die Richtigkeit der angenommenen Bedingungen muß auf

- Widerspruchsfreiheit der Eingangsparameter
- Paßfähigkeit der hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Verhältnisse
- Kontrolle der berechneten Grundwasserentnahme im Vergleich mit dem Wasserhaushalt des von der Fassung hydraulisch beherrschten Einzugsgebietes

überprüft werden. Erst bei Erfüllung dieser Bedingungen kann die berechnete Grundwasserentnahme als Grundwasservorrat ausgewiesen werden.

Gegenwärtig werden national und international numerische Verfahren angewendet und weiterentwickelt, die auf den Gesetzen der Grundwasserhydraulik basieren und eine höhere Genauigkeit aufweisen /3/. Dabei ist natürlich zu beachten, daß die Genauigkeit eines Verfahrens und somit die Zuverlässigkeit der erhaltenen Ergebnisse im entscheidenden Maße von der Quantität und Qualität der Eingangsparameter abhängt. Das stellt wiederum an die hydrogeologische Erkundung erhöhte Anforderungen.

#### 4.1.4.2. Modelltechnische Simulation

Die modelltechnische Simulation (elektroanaloge Untersuchungen mittels Papiermodellen und Netzwerken sind in der DDR am gebräuchlichsten) geht im wesentlichen von denselben Voraussetzungen aus wie die analytische Berechnung. Ihr Vorteil besteht darin, daß die Vielfalt der hydrogeologischen Bedingungen (ungleichförmige Randbedingungen, Inhomogenitäten des Grundwasserleiters usw.) besser berücksichtigt werden kann. Die Kontrolle der Ergebnisse wird, wie im Abschnitt 4.1.4.1. beschrieben, vorgenommen. Erst danach kann der Grundwasservorrat ausgewiesen werden.

#### 4.2. Ermittlung zusätzlicher Grundwasservorräte

Wie aus der Definition des Begriffes "Zusätzlicher Grundwasservorrat" hervorgeht /15/, entsteht diese Art von Grundwasservorräten durch technische Maßnahmen, insbesondere durch künstliche Grundwasseranreicherung und Uferfiltration. Sowohl bei der Grundwasseranreicherung als auch bei der Uferfiltration tritt durch eine von der Grundwasserfassung hervorgerufene Absenkung des Grundwasserspiegels Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter ein. Es erfolgt also eine zusätzliche Speisung des Grundwassers. Dies bedeutet, daß das Oberflächengewässer als Speisungsquelle und der Grundwasserleiter

einschließlich des darüberliegenden luftgefüllten Raumes als Speisungsobjekt Gegenstand der hydrogeologischen Untersuchungen sind.

#### 4.2.1. Nachweis zusätzlicher, durch Uferfiltration entstehender Grundwasservorräte

Voraussetzung für die Durchführung einer Uferfiltration zum Zweck der Wassergewinnung sind das Vorhandensein eines Oberflächengewässers als Speisungsquelle, eines aufnahmefähigen Grundwasserleiters und dessen hydraulische Verbindung mit den Gewässern. Durch die Absenkung des Grundwasserspiegels in ufernahen Fassungsanlagen wird gegenüber dem Wasserspiegel des Oberflächengewässers ein Potentialunterschied erzeugt, der das Oberflächenwasser zwingt, in den Grundwasserleiter zu infiltrieren und als Uferfiltrat den Fassungen zuzuströmen. Da der Grundwasserleiter auch landseitig eine mehr oder weniger große Ausdehnung besitzt, gelangt neben dem Uferfiltrat auch das in landseitigen unterirdischen Einzugsgebieten neu gebildete Grundwasser in die Wasserfassungen. Damit ist das dort geförderte Rohwasser mengen- und qualitätsmäßig generell ein Mischwasser aus Uferfiltrat und dem sich aus Niederschlägen erneuernden Grundwasser /8/.

Die hydrogeologischen Zusammenhänge bei der Uferfiltration umfassen somit sowohl die Vorgänge zwischen den Fassungen und dem Gewässer als auch die Vorgänge landseitig der Fassungen einschließlich ihrer Wechselbeziehungen. Diesem Umstand muß auch beim Vorratsnachweis Rechnung getragen werden. Dabei ist zu beachten, daß bei einem Verhältnis

landseitiger Zufluß  $Q_L < 0,1$  Uferfiltrat  $Q_{UF}$

der landseitige Zufluß vernachlässigt werden kann /8/.

Der Nachweis der gewinnbaren Wassermenge erfolgt generell mittels analytischer und/oder modelltechnischer Verfahren. Grundlagen dieses Nachweises sind:

- das auf den Ergebnissen der Erkundung basierende hydrogeologische Modell
- eine Analyse der Abflußbilanz des Gewässers

Letztere muß von den Organen der Wasserwirtschaft angefertigt werden. Für die Uferfiltratberechnung ist dabei die Größe des Abflußlimits im Gewässer, das der Uferfiltration uneingeschränkt zur Verfügung steht, entscheidend.

Die hydrogeologische Erkundung für eine Uferfiltratanlage unterscheidet sich im wesentlichen nicht von der üblichen Erkundung zum Zweck des Nachweises sich erneuernder Grundwasservorräte (vgl. Abschnitt 3.). Dabei haben jedoch neben der Erkundung des hydrogeologischen Aufbaus der Grundwasserlagerstätte sowie den Wasserhaushaltsbetrachtungen folgende Probleme eine große Bedeutung:

- Kommunikation Gewässer/Grundwasserleiter
- Kolmation der Randfläche Gewässer/Grundwasserleiter
- Qualitätsveränderungen des Oberflächenwassers, insbesondere bei der Bodenpassage

Beim Mengennachweis sind folgende Größe zu bestimmen, die sich gegenseitig beeinflussen:

- Vorratsgröße als Summe von Uferfiltrat und landseitigem Zufluß
- Absenkungen des Wasserspiegels in den Brunnen der Fassungs-trasse als optimale Absenkungshöchstgrenze, bei denen die Kontinuität der Filterströmung erhalten bleibt (d. h., keine freie Versickerung unter dem speisenden Gewässer durch Abreißen der Wassersäule)
- Absenkungen im gesamten beeinflussten Grundwasserströmungsfeld zwecks Abgrenzung des Einzugsgebietes und der Gewässerentzugsstrecke

Dabei bedient man sich

- der analytischen Berechnungsverfahren (Fragmentmethode) WAPRO 1.42 und
- modelltechnischer Verfahren (z. B. Modelle aus elektrisch leitenden Papier- und Netzwerkmodellen) /14/

Die Vorteile der modelltechnischen Verfahren liegen dabei in der Möglichkeit der indirekten Erkundung, d. h. Bestimmung fehlender Parameter durch Analyse des im Modell aufgemessenen Strömungszustandes. Diese Analyse beinhaltet im wesentlichen einen Vergleich der natürlichen Verhältnisse und der im Modell erhaltenen Ergebnisse.

Als wichtiger Einflußfaktor wirkt bei allen Verfahren die Größe der Kolmation, d. h. die Verdichtung der Randfläche zwischen Gewässer und Grundwasserleiter durch Ablagerung von Sink- und Schwebstoffen und Ausfallprodukten des Wassers.

Jedes Gewässer besitzt bereits eine gewisse natürliche Kolmationsschicht, die Anfangskolmation. Durch die Uferfiltration entwickelt sich aus diesem Zustand als Funktion der Zeit und der Kolmationsfaktoren eine quasi stabiler Endzustand der Kolmation, der für den langfristigen Uferfiltratbetrieb ausschlaggebend ist. Beide Größen gehen in die Berechnungen als repräsentative Kolmationsparameter ein. Sie sind aus den Erkundungsergebnissen, der Gewässerspezifik und in Analogie zu langjährig betriebenen Wasserfassungen zu bestimmen.

Neben dem Mengennachweis ist der Beschaffenheitsnachweis des in der Fassungsanlage gewonnenen Mischwassers notwendig. Die Beschaffenheit des landseitigen Grundwassers wird wie bei den sich erneuernden Grundwasservorräten bestimmt. Die Beschaffenheit des Uferfiltrats ist veränderlich, da das Oberflächenwasser in seiner Qualität meist großen Schwankungen unterworfen ist. Außerdem ist die Güteänderung bei der Bodenpassage einzuschätzen. Hierzu sind neben empirischen Erkenntnissen und Analogiebetrachtungen zu bestehenden Wasserwerken auch die Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse (Aufbau des Grundwasserleiters) und der Strömungsverhältnisse (Filtrationsgeschwindigkeit) heranzuziehen. Für bestimmte Fälle ist ein demonstrativer Nachweis zu empfehlen. Dieser in Form eines Probetriebes über mehrere Jahre durchzuführende Nachweis (Teilkapazität der geplanten Wasserfassung mit Nutzung des geförderten Wassers) ermöglicht gesicherte Aussagen über die Kolmationsentwicklung und gestattet eine Überprüfung der

Richtigkeit der beim Vorratsnachweis im Stadium der Erkundung angewendeten Parameter.

#### 4.2.2. Nachweis zusätzlicher, durch Grundwasseranreicherung entstehender Grundwasservorräte

Die künstliche Grundwasseranreicherung wird in den meisten Fällen mit Hilfe von Infiltrationsbecken durchgeführt, d. h. Becken, in die Oberflächenwasser angeleitet wird. Seltener kommen Schluckbrunnen zur Anwendung. Die Art der Anreicherungsanlage ist aus Mächtigkeits- und Teufenverhältnissen des Grundwasserleiters und der Qualität des zur Verfügung stehenden Oberflächenwassers abzuleiten.

Der Mechanismus der Grundwasseranreicherung ist ähnlich dem der Uferfiltration. Das durch den durchlässigen Boden der Infiltrationsbecken (bzw. die Filterstrecken bei Schluckbrunnen) versickernde Oberflächenwasser wird durch entsprechend angeordnete Fassungsanlagen gefaßt. Dabei kann die anfangs freie Versickerung in eine gesättigte Filterströmung zwischen Becken und Fassungsanlagen übergehen. Der wesentliche Unterschied zur Uferfiltration besteht darin, daß der Wasserspiegel in den Becken, d. h. die Druckhöhe, durch die gesteuerte Einleitung des Oberflächenwassers reguliert werden kann. Weiterhin hat die Kolmationsentwicklung, insbesondere der Endzustand der Kolmation, keine so entscheidende Bedeutung, da durch Regenerierung der Anreicherungsanlagen die Kolmationsschicht beseitigt werden kann.

Wie bei der Uferfiltration besitzt der Grundwasserleiter auch hier einen natürlichen Zufluß, so daß neben dem Infiltrat auch natürliches Grundwasser aus den Fassungsanlagen gefördert wird. Auch hier kann man davon ausgehen, daß bei einem Verhältnis landseitiger Zufluß  $Q_L < 0,1$  Infiltrat  $Q_{IF}$

der natürliche Zufluß vernachlässigt werden kann.

Unter bestimmten Voraussetzungen ist es sinnvoll, eine Grundwasseranreicherungsanlage mit einer Anlage zur Uferfiltration zu kombinieren, d. h. Anordnung der Fassung in Gewässernähe.



Die Nachweisführung zur Bestimmung der Grundwasservorräte basiert bei der künstlichen Grundwasseranreicherung folglich auf

- dem hydrogeologischen Modell als Ergebnis der Erkundung
- der für die Anreicherung zur Verfügung stehenden Oberflächenwassermenge einschließlich der zeitlichen Veränderungen, die durch das hydrologische Geschehen im Gewässer bestimmt sein können

Letztere Angaben müssen als Zuarbeit von den Organen der Wasserwirtschaft geliefert werden.

Wichtigste Voraussetzungen für die Durchführung einer Grundwasseranreicherung sind somit

- das Vorhandensein eines Grundwasserleiters bzw. unterirdischen Speichers
- das Vorhandensein von Oberflächenwasser in entsprechender Menge und Qualität
- Möglichkeiten zur Fassung des angereicherten Wassers

Deshalb werden bei der hydrogeologischen Erkundung die Gebiete ausgegliedert, in denen Anreicherungsanlagen errichtet werden können, und in diesen die Versickerungsparameter durch Spezialuntersuchungen bestimmt.

Zum Einsatz kommen beim Mengennachweis

- analytische Berechnungsverfahren (insbesondere WAPRO 1.42)
- modelltechnische Verfahren

Dabei werden durch Variantenbetrachtungen die optimale Anordnung der Anreicherungs- und Fassungsanlagen und das günstigste Bewirtschaftungsregime bestimmt. Eine große Rolle bei der endgültigen Festlegung der Vorratsgröße spielen auch hier Analogiebetrachtungen zu bestehenden, unter ähnlichen Bedingungen bewirtschafteten Fassungsanlagen.

Bezüglich des Beschaffenheitsnachweises gelten dieselben Aussagen wie für die Uferfiltration.

#### 4.3. Ermittlung von Grundwasserlagerstättenvorräten

Entsprechend der Definition des Grundwasserlagerstättenvorrates beinhaltet dieser den sich erneuernden Grundwasservorrat. Da der Lagerstättenvorrat in der Volumeneinheit  $m^3$  angegeben wird, der in diesem enthaltene, sich erneuernde Grundwasservorrat aber in Volumeneinheit je Zeiteinheit  $m^3d^{-1}$ , erfordert die Berechnung des Grundwasserlagerstättenvorrates in jedem Fall den Ausweis des diesem Vorrat zuzuordnenden Grundwasserliefervermögens /3/.

Daraus kann abgeleitet werden, daß die Nutzung des Grundwasserlagerstättenvorrates in jedem Fall die Gewinnung des sich erneuernden Grundwasservorrates beinhaltet und nicht losgelöst von diesem erfolgen kann.

Bei der Berechnung des dem Grundwasserlagerstättenvorrat zuzuordnenden Grundwasserliefervermögens gilt es, folgendes zu beachten:

- Der stationäre Endzustand bei der Förderung der sich erneuernden Grundwasservorräte stellt erst den Beginn des Abbaus der Grundwasserlagerstättenvorräte dar.
- Durch den Abbau der Grundwasserlagerstättenvorräte kann der oberirdische Abfluß beeinflußt bzw. völlig eliminiert werden.
- Insbesondere bei oberflächennahem Grundwasserspiegel (höher als 3 m unter Gelände) kann die Vegetation beeinflußt werden.
- Durch das Absinken des Grundwasserspiegels kann weiterhin eine Beeinflussung von Bauwerken eintreten.

Deshalb ist bei der Berechnung dieses Grundwasserliefervermögens von speziell mit den Organen der Wasserwirtschaft vorgegebenen und abgestimmten Nutzungsbedingungen auszugehen.

In der bisherigen Erkundungspraxis stand noch nicht die Aufgabe, Grundwasserlagerstättenvorräte nachzuweisen. Die zunehmende Beanspruchung des Wasserkreislaufes - insbesondere in Ballungsgebieten - wird in der Zukunft dazu führen, Grundwasserlagerstättenvorräte abzubauen. Aber auch aus Gründen der Kontamination und der Zivilverteidigung kann ein solcher Abbau notwendig werden. Deshalb ist die Notwendigkeit des Nachweises von Lagerstättenvorräten - speziell bei Grundwasser-

lagerstätten mit entsprechenden hydrogeologischen Verhältnissen (mächtige Grundwasserleiter, große Ausdehnung der Grundwasserleiter, oberflächenferne Grundwasserstände u. a. m.) - durchaus gegeben.

Für den Nachweis bedient man sich der Identifikationsverfahren, d. h.

- analytischer Berechnungsmethoden
- modelltechnischer Verfahren
- numerischer Verfahren

die für diese Bedingungen besonders entwickelt werden. Unter besonderer Beachtung der speziellen Nutzungsbedingungen sind hierbei die Daten für eine Nutzung vorzugeben (Anordnung und Lage der Fassungen, maximal mögliche Absenkungsbeträge u. a.), und auf der Grundlage der Berechnungen ist das dem Grundwasserlagerstättenvorrat zuzuordnende Grundwasservermögen auszuweisen.

#### Zusammenfassung

Die im Abschnitt 4. beschriebenen Verfahren zur Grundwasservorratsermittlung sind die gegenwärtig in der DDR in der hydrogeologischen Erkundungspraxis gebräuchlichsten Verfahren. Die Voraussetzungen zur Anwendung verschiedener Verfahren sowie die Nachweisergebnisse sind bezüglich der Sicherheit der Ergebnisse unterschiedlich zu bewerten. Der Entwicklungstrend zeigt eindeutig eine immer breitere Anwendung der Identifikationsverfahren, wobei diese auch ständig weiterentwickelt und vervollkommen werden.

#### 5. Bewertung, Klassifizierung und Bestätigung der Grundwasservorräte

Entsprechend den im Abschnitt 4. dargelegten Verfahren zur Grundwasservorratsermittlung sind laut erster Grundwasservorratsklassifikation /13/ die Grundwasservorräte nach mindestens 2 methodisch unabhängige Verfahren zu bestimmen, z. B. aus dem Grundwasserdargebot und nach mehrjährigen Betriebserfahrungen von Wasserfassungen.

Der Bearbeiter ist verpflichtet, einen Vergleich der erhaltenen Ergebnisse für die konkreten hydrogeologischen Bedingungen der vorliegenden Grundwasserlagerstätte unter Beachtung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse einschließlich der Konditionen vorzunehmen und sich dann für die zutreffende Grundwasservorratsgröße zu entscheiden.

Die Festlegung der repräsentativen Grundwasservorratsgröße muß durch die begründete Klassifizierung der Grundwasservorräte entsprechend der ersten Grundwasservorratsklassifikation /13/ und der ersten Grundwasserinstruktion /14/ ergänzt werden.

Nach diesen Dokumenten werden die Vorratsklassen A, B, C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub> (a, b, c<sub>1</sub> und c<sub>2</sub>) und die Gruppe der prognostischen Vorräte  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  unterschieden.

Entscheidend für die Festlegung der zutreffenden Vorratsklassen ist der Grad der Sicherheit der Vorratermittlung einschließlich der zugrunde gelegten Parameter und Randbedingungen. Dabei ist die Art der Primärdatengewinnung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Vorratsklasse A drückt eine nahezu hundertprozentige Nachweisführung - beispielsweise durch mehrjährige Förderung bei lückenloser Dokumentation aller Lagerstättenparameter - aus. Entsprechend abgestuft sind die anderen Vorratsklassen B, C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub>. Das bedeutet, daß z. B. ein Grundwasservorrat der Klasse C<sub>2</sub> eine geringere Zuverlässigkeit aufweist, da die hydrogeologischen Parameter nur indirekt ermittelt wurden.

Die Gruppe der prognostischen Grundwasservorräte sind dagegen noch nicht nachgewiesene Vorräte, die nur wissenschaftlich begründet vorhergesagt wurden. Sie beinhalten die größten Unsicherheiten.

Zur exakteren Einschätzung der Sicherheit der gewonnenen Ergebnisse sind diese mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsberechnungen zu überprüfen und zu bewerten. Zu dieser Problematik laufen im VEB Hydrogeologie gegenwärtig Forschungsarbeiten, nach deren Abschluß praktikable Verfahren zur Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsbewertung der Ergebnisse zur Verfügung stehen werden.

Weiter geben die Vorratsklassen an, ob es sich um Bilanz- (A, B, C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub>) oder Außerbilanzvorräte (a, b, c<sub>1</sub> und c<sub>2</sub>) handelt. Die Untergliederung erfolgt im Vergleich mit den Konditionen. Entsprechen die nachgewiesenen Grundwasservorräte nicht den Konditionen - z. B. infolge mangelhafter Qualität -, so sind es Außerbilanzvorräte. Die Unterteilung kann auch in Abhängigkeit von der spezifischen Lagerstättensituation für Teilmengen erforderlich sein. Das betrifft z. B. Grundwasservorräte, die für den vorgesehenen Verwendungszweck nicht geeignet, aber durchaus für andere Zwecke gewinnbar und nutzbar sind.

Die so klassifizierten Grundwasservorräte sind gemäß Lagerstättenwirtschaftsanordnung /10/ und Berggesetz /16/ beim Ministerium für Geologie zur Bestätigung durch die Staatliche Vorratskommission einzureichen. Die Staatliche Vorratskommission der DDR prüft die Grundlagen der Vorratsermittlung, die Vorratsermittlung selbst, die Einhaltung der Konditionen sowie die vorgenommene Klassifizierung und entscheidet nach der Verteidigung und Beratung durch eine Expertengruppe über die Anerkennung und staatliche Bestätigung der Grundwasservorräte.

Erst auf der Grundlage der Beschlüsse der Staatlichen Vorratskommission können die Dokumentationen zur Vorbereitung der Grundsatzentscheidung für Investitionsvorhaben zur Gewinnung der Grundwasservorräte ausgearbeitet werden.

Des weiteren ist die Bestätigung der Vorräte Voraussetzung für die vertragsrechtliche Abnahme der in den Wirtschaftsverträgen vereinbarten Erkundungsleistungen.

## 6. Geologisch-ökonomische Bewertung

Die Einschätzung, Ermittlung und Nutzung der Grundwasservorräte ist in Abhängigkeit von den vorliegenden hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Verhältnissen mit mehr oder weniger großem Aufwand an lebendiger oder vergegenständlichter Arbeit verbunden. Dazu wurde in der 1. Grundwasserinstruktion /14/ festgelegt:

"Im volkswirtschaftlichen Interesse ist der Umfang der jeweils durchzuführenden Arbeiten dem gestellten Erkundungsauftrag anzupassen und auf ein Minimum zu beschränken, das für die Entscheidungsfindung des Auftraggebers notwendig, jedoch auch ausreichend ist."

Das überträgt dem Bearbeiter einer Erkundungsmaßnahme eine große Verantwortung. Er muß ständig das Aufwand-Nutzen-Verhältnis analysieren und gemeinsam mit dem Auftraggeber die geologisch-ökonomisch günstigste Variante suchen.

Der Erkundungsprozeß wird dann am effektivsten sein, wenn am Ende jeder Prozeßstufe - Prognose, Suche, Vor- und Detailerkundung, nötigenfalls auch im Verlauf aufwendiger technischer Arbeiten - eine ökonomische Einschätzung erfolgt, vorgenommen und daraus entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden. Dabei hat die geologisch-ökonomische Bewertung am Ende einzelner Zwischenetappen eine besondere Bedeutung. Zum Beispiel gilt es, in der Projektierungsphase die einzelnen Varianten der Erkundungsmethodik, d. h. speziell die Varianten für den Vorratsnachweis zu bewerten, (einer entsprechenden Bewertung zu unterziehen) um Reihenfolge und Umfang der einzelnen Varianten zu begründen. Dabei ist der Erkundungsgrad der Grundwasserlagerstätte ausschlaggebend für die Art der abzuleitenden Entscheidungen. Stets muß der bereits realisierte und der noch zu erwartende Erkundungsaufwand zusammen mit den Nachfolgeinvestitionen für die unterschiedlichen Erkundungs- und Versorgungsvarianten verglichen und damit die Grundwasservorratsgröße bewertet werden. Auf dieser Basis können die erforderlichen Entscheidungen durch den Nutzer sachkundig getroffen werden.

### Literaturverzeichnis

- /1/ Autorenkollektiv: Agraratlas der DDR. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Gotha 1956
- /2/ Autorenkollektiv: Erste Methodik der hydrogeologischen Erkundung von Grundwasserlagerstätten im Festgestein. VEB Hydrogeologie, 1974

- /3/ Autorenkollektiv: 1. Methodik der hydrogeologischen Erkundung von Grundwasserlagerstätten im Lockergestein (Entwurf, unveröffentlicht). VEB Hydrogeologie, 1976
- /4/ BAMBERG, H. F. u. a.: Studie "Demonstrativer Pumpversuch". VEB Hydrogeologie, 1976
- /5/ Autorenkollektiv: N-A-U-Atlas der DDR. Institut für Wasserwirtschaft, 1958
- /6/ Autorenkollektiv: Hydrographisches Kartenwerk der DDR. Meteorologischer Dienst, 1966
- /7/ GRUNSKE, K. A., und J. ESCHNER: Zur Methodik der Grundwasserneubildung bzw. des Grundwasserdargebotes. Zentrales Geologisches Institut, WTI, 16, (1975) Sonderheft 5
- /8/ HEEGER, KRUG, EMSHOFF: Richtlinie "Methodik zur Erkundung von Uferfiltratvorräten". VEB Hydrogeologie, 1975
- /9/ Berggesetz der Deutschen Demokratischen Republik vom 12. 05. 1969. GBl. I Nr. 5, S. 29-33
- /10/ Anordnung über die Berechnung und Erfassung von Lagerstättenvorräten und Bestätigung von Speichervolumina - Lagerstättenwirtschaftsanordnung - vom 15. 03. 1971. GBl. II Nr. 34, S. 279-284
- /11/ Grundsatzvereinbarung zwischen dem Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft und dem Staatssekretariat für Geologie auf dem Gebiet der hydrogeologischen Forschung, Erkundung und Erschließung vom 15. 08. 1973. Verfügungen und Mitteilungen des Ministeriums für Umweltschutz und Wasserwirtschaft (1973) Nr. 4, vom 20. 11. 1973
- /12/ Verordnung über die Staatliche Vorratskommission für mineralische Rohstoffe vom 18. 12. 1974. GBl. I Nr. 6, S. 126-128
- /13/ Klassifikation der Grundwasservorräte der DDR. 1. Grundwasserklassifikation vom 15. 04. 1966. Zeitschrift für angewandte Geologie (1967) H. 8
- /14/ Instruktion zur Anwendung der "Klassifikation der Grundwasservorräte der Deutschen Demokratischen Republik". 1. Grundwasserinstruktion vom 01. 07. 1967. Zeitschrift für angewandte Geologie, Bd. 14 (1968) H. 1

- /15/ TGL 23 989 "Terminologie unterirdisches Wasser",  
Bl. 1-8
- /16/ Werkstandard WAPRO 1.42: Bemessungsgrundlagen für Brun-  
nen von Grundwassergewinnungsanlagen. VEB Projektierung  
Wasserwirtschaft