

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.