

3 Untersuchungsmethoden

3.1 Allgemeines

Tab. 4 enthält eine Zusammenstellung der Untersuchungsmethoden, die bei Ergiebigkeitsuntersuchungen von Grundwasservorkommen im Festgestein von Bedeutung sind. In den Zeilen sind die Untersuchungsziele bzw. Fragestellungen, in den Spalten die dafür notwendigen oder nützlichen Untersuchungsmethoden aufgeführt. Untersuchungsziele sind im wesentlichen:

- Erschließungs- und Brunnentechnik,
- Hydrochemie, Grundwasserschutz und Auswirkungen von Wasserentnahmen,
- Ergiebigkeit, hydrogeologische und hydraulische Parameter
- Hydrogeologie allgemein.

Die Untersuchungsmethoden, die für die Beantwortung obiger Fragestellungen dienlich sind, lassen sich in eine Bestandsaufnahme, in Untersuchungen im Feld, am Bohrloch bzw. Brunnen, in Laboruntersuchungen und in theoretische Ermittlungen aufspalten. In der Praxis ist es aus Zeit- und Kostengründen kaum möglich und wohl auch nicht erforderlich, alle in Frage kommenden Untersuchungsmethoden heranzuziehen. Die Tabelle soll nur einen Überblick über Fragestellungen, die bei der Grundwassererkundung und -erschließung in Festgesteinen auftreten, und über die möglicherweise einsetzbaren Untersuchungsverfahren geben.

Im folgenden werden die einzelnen Untersuchungsverfahren kurz erläutert. Dabei stellt die Anordnung der Spalten von links nach rechts, von der Bestandsaufnahme über die Felduntersuchungen zu den Untersuchungen am Bohrloch/Brunnen, in groben Zügen auch eine zeitliche Abfolge der Untersuchungsschritte dar.

3.2 Bestandsaufnahme

Die Bestandsaufnahme ist in der Regel der erste Schritt einer Grundwassererkundung. Sie umfaßt das Sammeln, Sichten und Auswerten bereits vorhandener Unterlagen, die allgemein zugänglich sind, wie z. B. topographische Karten, oder aus Archiven beschafft werden müssen (u. a. Gutachten, wasserrechtliche Bescheide, Unterlagen über Bohrungen, Betriebsdaten und ähnliches).

Die **topographische Karte** enthält Informationen über Relief, Gewässernetz, Verkehrswege und Flächennutzung. Sie dient der Abgrenzung der oberirdischen Einzugsgebiete und zeigt bereits mögliche Gefährdungsfaktoren, die sich aus der Besiedelung ergeben können. Die Dichte der Quellen und die Struktur des Gewässernetzes geben einen ersten, wichtigen Überblick über die hydrogeologischen Verhältnisse des Gebietes.

Geologische Karten, insbesondere die Spezialkarten mit Erläuterungen, liefern stratigraphische und lithologische Angaben sowie einen Überblick über Schichtlagerung und tektonische Beanspruchung des Gebietes. Daraus ergeben sich in Festgesteinsgebieten Hinweise zu den hydrogeologischen Gesteinsparametern und zur Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes sowie zur Richtung des Grundwasserstroms. Auch können Anhaltspunkte über hydraulische Kontakte mit Oberflächengewässern und die zu erwartende Grundwasserbeschaffenheit gewonnen werden. Zu Fragen der Grund- und Quellwassererschließung lassen sich bereits in einem frühen Stadium der Erkundung Aussagen machen, wenn ergänzende geologische und hydrogeologische Daten (Bohrprofile, Gutachten, Analyseergebnisse usw.) vorliegen. Die Verbreitung und Ausbildung der Deckschichten gibt Hinweise zur Grundwasserneubildung, aber auch zur Grundwassergefährdung.

Von großer Bedeutung sind die **hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Daten**, wie Niederschlag, Abfluß, Verdunstung, Wasserstände von Grund- und Oberflächengewässern sowie Angaben über Quellschüttungen. Aus diesen Daten können sich Anhaltspunkte für die mutmaßliche Ausdehnung des unterirdischen Einzugsgebietes, für die Grundwasserneubildung, den Grundwasserabstrom sowie Hinweise auf regionale Unterschiede in der Ergiebigkeit des Aquifers und auf die Stockwerksgliederung ergeben.

3.3 Felduntersuchungen

3.3.1 Kartierungen

Nach Sichtung des vorhandenen Materials aus der Bestandsaufnahme sind weitere Untersuchungen im Erkundungsgebiet erforderlich. Ihr Umfang richtet sich nach dem Kenntnisstand, nach den hydrogeologischen Gegebenheiten und nach den Anforderungen an das zu erschließende Grundwasser.

Neben der flächenhaften Erkundung (Kartierungen verschiedener Art) werden gezielt hydrologische und meteorologische Daten an Einzelpunkten oder an einem Meßstellennetz erhoben sowie Spezialuntersuchungen an ausgewählten Stellen durchgeführt.

Wo keine **hydrogeologische Karte** vorliegt, müssen entsprechende Einzelbefunde im Gelände erhoben werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Ermittlung des Trennflächensystems in Aufschlüssen und die Erkundung der Lagerungs- und Faziesverhältnisse der Gesteine. Hieraus lassen sich Hinweise zur Abgrenzung unterirdischer Einzugsgebiete sowie Bereiche stärkerer tektonischer Beanspruchung ableiten. Aus der Beschaffenheit der Gesteine sowie der Verteilung und Ausbildung der Klüfte in Aufschlüssen kann auf die generellen hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet, d. h. auf bevorzugt grundwasserleitende Zonen oder Kluftrichtungen, geschlossen werden. Ebenso ergeben sich erste Anhaltspunkte zur regionalen Ergiebigkeit des Aquifers und über das zu erwartende Speichervolumen. Anders als in Lockergesteinen ist es in Festgesteinen möglich, aus den durch Kartierungen an der Erdoberfläche gewonnenen Erkenntnissen aufgrund geologischer Gesetzmäßigkeiten auf den hydrogeologischen Stockwerksbau, auf Aquiferränder und auf mögliche Randeinflüsse zu schließen.

Eine **Deckschichtenkartierung** erfaßt die oberflächennahen, im allgemeinen aus Verwitterungsprodukten der anstehenden Festgesteine oder aus jungen Ablagerungen gebildeten Lockergesteine und Böden. Sie vermittelt wichtige Aussagen zur Grundwasserneubildung sowie zur Wirksamkeit der Deckschichten hinsichtlich des Grundwasserschutzes, was für die Wahl des Brunnenstandortes maßgebend sein kann. Neben dem Grundwasserflurabstand sind Mächtigkeit und Wasserhaltevermögen der Deckschichten für die Vegetation maßgebend. Sind aufgrund des Flurabstandes und der Deckschichtenkartierung nachteilige Auswirkungen einer Grundwasserentnahme auf die Vegetation nicht auszuschließen, so ist zusätzlich eine **pflanzensoziologische Kartierung** erforderlich.

3.3.2 Erhebung hydrologischer und meteorologischer Daten

Quellschüttungs- und Abflußdaten haben deshalb in Festgesteinsgebieten so große Bedeutung,

weil sie oft die einzige direkte Information über die Ergiebigkeit des betrachteten Aquifers liefern. Durch eine überschlägige Wasserhaushaltsbilanz kann die Größe des unterirdischen Einzugsgebietes, des Grundwasserabstroms und/oder der Grundwasserneubildung abgeschätzt werden (vgl. Kap. 4). Auch hydrogeologische Parameter des Aquifers lassen sich unter Umständen aus Abflußmessungen ableiten und erlauben Abschätzungen zu möglichen Dauerentnahmen. Aus der Reaktion von Quellschüttungen auf Niederschlagsereignisse kann man auf die Wirksamkeit der Deckschichten und auf die Speichereigenschaften des Aquifers schließen sowie Anhaltspunkte für Verweilzeiten des Grundwassers erhalten.

Die **Grundwasserganglinien** charakterisieren durch ihren Verlauf und ihre Schwankungsbreite das hydrologische Verhalten des Grundwasserkörpers. Sie liefern Anhaltspunkte zur Grundwasserneubildung, zum Retentionsvermögen der Deckschichten und zu den hydrogeologischen Parametern des erfaßten Aquifers. Tiefenlage und Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels beeinflussen maßgeblich den Ausbau eines geplanten Entnahmebrunnens und sind bei der Festlegung der Dauerentnahme zu berücksichtigen. In vielen Fällen sind zur Erfassung der Beeinflussung von Oberflächenwasser und Grundwasser vergleichende Wasserstandsmessungen nötig.

Mit den **Klimadaten** eines Gebietes (Niederschlag, Temperaturverlauf, Luftfeuchtigkeit usw.) kann man über die nutzbare Feldkapazität der Deckschichten auf die Verdunstung des betrachteten Gebietes schließen, so daß bei Kenntnis der oberirdischen Abflußverhältnisse eine Berechnung der Grundwasserneubildung möglich ist, vgl. KELLER et al.(1979). Mit Lysimetern wird die Sickerrate in den Deckschichten gemessen. Die Übertragung der Punktmessungen auf die Fläche und die Ableitung von Gebietswerten der Grundwasserneubildung ist in Festgesteinsgebieten jedoch oft problematisch.

3.3.3 Spezialuntersuchungen im Gelände

Die **geophysikalischen Verfahren** haben bei der Grundwassererkundung eine große Bedeutung, da mit vergleichsweise geringem Aufwand flächendeckende Informationen über den Aufbau des Untergrundes gewonnen werden können. Die Interpretation der geophysikalischen Meßdaten setzt jedoch

stets eine Modellvorstellung über den Aufbau des Untergrundes voraus. Häufig werden Bohrungen mit geologischem Schichtenverzeichnis zur Eichung herangezogen.

Mit geoelektrischen Verfahren wird der spezifische elektrische Widerstand der Gesteine gemessen. Daraus lassen sich unter günstigen Voraussetzungen Mächtigkeit und Verbreitung von Deckschichten, Schichtaufbau, Schichtlagerung, Störungen und eventuell sogar der Verlauf hochmineralisierter Verschmutzungsfahnen feststellen. Mit seismischen Verfahren (Refraktions- und Reflexionsseismik), die auf der Fortpflanzungsgeschwindigkeit elastischer Wellen im Untergrund basieren, können vor allem die Mächtigkeit und das Relief von Rinnen oder Becken in Festgesteinen festgestellt werden, die mit Lockersedimenten ausgefüllt sind. Bei der Ermittlung von Kluft- und Störungszonen werden darüber hinaus z. B. magnetometrische bzw. elektromagnetische Verfahren eingesetzt (BENDER 1984). Die geophysikalischen Feldaufnahmen können zur Festlegung eines Brunnenstandortes beitragen. Die Interpretation der geophysikalischen Meßergebnisse bereitet jedoch in Festgesteinsaquiferen besondere Schwierigkeiten, da die Auswertungsverfahren auf idealisierenden Annahmen beruhen.

Die **Aufschlußbohrungen** – entweder als Kernbohrung oder als Meißelbohrung ausgeführt und zweckmäßigerweise durch Bohrlochmessungen ergänzt (vgl. Kap. 10) – dienen der Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse. Insbesondere werden Mächtigkeit, Klüftigkeit, petrographische Ausbildung und hydraulisches Potential des Aquifers erfaßt. Daraus können i. allg. zutreffende Schlüsse auf die regionale Ergiebigkeit gezogen werden. Aus dem Bohrprofil können Grundwasserstockwerke erkannt werden, insbesondere wenn sie durch Bohrlochmessungen bestätigt werden. Die Aufschlußbohrung liefert die wichtigsten hydrogeologischen und geohydraulischen Informationen. Sie ist gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Stockwerksgliederung zur Grundwassermeßstelle auszubauen. Oft entscheidet das Ergebnis einer oder mehrerer Aufschlußbohrungen über die Wahl des Brunnenstandortes und den späteren Brunnenausbau.

Grundwassermarkierungsversuche werden zur Abgrenzung von Grundwassereinzugsgebieten und zur Beantwortung spezieller Fragen des Grundwasserschutzes herangezogen. Bei den Versuchen wird ein Markierungsstoff (Tracer) zur Versickerung gebracht oder dem Grundwasser direkt zugegeben und sein Abdriften von der Eingabestelle im Grundwas-

ser durch regelmäßige Kontrollen ausgesuchter Grundwasserbeobachtungsstellen verfolgt. Die Versuchsergebnisse geben Hinweise auf Richtung und Fließgeschwindigkeit des Grundwasserabstroms, auf die Stockwerksgliederung und den Zusammenhang zwischen Grundwasser und Oberflächenwässern. Bei der Tracereingabe an der Oberfläche oder in oberflächennahen Bereichen ist der Sickerweg bis zur Grundwasseroberfläche zu berücksichtigen. Aus Markierungsversuchen können zahlreiche Aquiferparameter ermittelt werden (vgl. Kap. 5).

3.4 Untersuchungen im Bohrloch oder Brunnen

3.4.1 Hydraulische Verfahren

Die Untersuchungen im Bohrloch bzw. im Brunnen können in hydraulische und geophysikalische Verfahren eingeteilt werden. Mit beiden Verfahren werden – abgesehen von der Kontrolle des Bohrlochausbaus – das Gebirge und seine hydrogeologischen Eigenschaften untersucht.

Neben Untersuchungsmöglichkeiten mit mehr qualitativer Aussagemöglichkeit gibt es auch solche, aus denen exakte quantitative Angaben zur hydraulischen Leit- und Speicherfähigkeit des Gebirges erhalten werden können. Dabei ist es i. allg. durch den Einsatz von Packern im Bohrloch möglich, einzelne Gebirgsabschnitte hydraulisch getrennt zu testen und dort Wasserproben für chemische Untersuchungen zu entnehmen. Ausblasversuche und WD-Teste (Wasserdruckversuche) liefern eher qualitative Aussagen über das Leitvermögen des Gebirges. Demgegenüber lassen sich aus Einschwingversuchen unter günstigen Bedingungen die Transmissivität des Gebirges und aus Slug-Testen und Pumpversuchen zusätzlich der Speicherkoeffizient ermitteln. Eine ausführliche Beschreibung der jeweiligen Versuchsdurchführung mit den entsprechenden Auswertungsverfahren wird in den Kapiteln 6 und 7 gegeben.

3.4.2 Geophysikalische Verfahren

Die geophysikalischen Verfahren werden einerseits eingesetzt, um die physikalischen Eigenschaften des Gesteins einschließlich des in ihm zirkulierenden Wassers zu bestimmen. Andererseits werden sie eingesetzt, um Auskunft über die Geometrie des

Bohrlochs oder den Zustand des Brunnens zu erhalten. Nicht alle geophysikalischen Verfahren lassen sich in dieses Schema einordnen, da sich ihre Anwendungsbereiche oft überschneiden. Dennoch wird auf Basis dieser Gliederung ein kurzer Überblick über die geophysikalischen Untersuchungsverfahren gegeben (DVWK-Schriften 61, 1983, DVGW-Merkblatt W 110, 1990).

Vorwiegend hydrologisch orientierte Verfahren

Durch das sogenannte **Einbohrlochverfahren** können Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung des Grundwassers im Bohrloch bestimmt werden. Dabei wird entweder die Driftrichtung und -geschwindigkeit eines in das Bohrloch eingebrachten Schwimmkörpers gemessen oder die Verdünnung und Abdrift eines radioaktiven Markierungsstoffes ermittelt, vgl. DROST et al. (1968). Nur in homogenen, isotropen Lockergesteinsaquiferen kann damit die Durchlässigkeit ermittelt werden. Dieses Verfahren ist bisher für Klufftaquifere nicht anwendbar.

Mit dem **Flowmeter** (FLOW) wird die Geschwindigkeit des im Bohrloch auf- oder absteigenden Wasserstroms gemessen. Flowmeter-Messungen sind vor allem geeignet, Wasserzutritte im Bohrloch und später im Brunnen zu lokalisieren, wodurch u. U. der Brunnenausbau kontrolliert werden kann. Nach einer Korrektur der Flowmeter-Messung (Fahrgeschwindigkeit, Zeit, Kaliber-Log) können Anteile einzelner wasserführender Horizonte an der Gesamtförderrate ermittelt werden. Flowmeter-Messungen sollten in Verbindung mit Temperatur- und Salinometer-Logs durchgeführt werden, weil diese wichtige Ergänzungen liefern können.

Temperaturprofilmessungen (Temperatur-Log, TEMP) im Bohrloch bzw. Brunnen zeigen Anomalien im vertikalen Temperaturfeld auf. Diese Anomalien lassen sich i. allg. nach Abzug saisonal bedingter Schwankungen durch natürliche geothermische oder durch hydraulische Ursachen erklären. Bei den hydraulischen Ursachen kann es sich um vertikale Wasserströme handeln, die entweder in oder außen an der Verrohrung entlang strömen, oder aber es sind großräumige, vertikale Wasserbewegungen. Aus Temperatur-Logs, die während und kurz nach einer Förderung aus dem Bohrloch gemessen wurden, können Tiefe und Größe der Wasserzutritte bestimmt werden.

Aus Messungen der **elektrischen Leitfähigkeit** (Salinometer-Log, SAL) des Wassers können sich

wesentliche Aussagen über die Grundwasserbeschaffenheit ergeben, da die Leitfähigkeit eine Funktion der im Wasser gelösten Stoffe ist. Erhöhte Leitfähigkeiten können daher z. B. Anhaltspunkte für Grundwasserverunreinigungen, Einflüsse anderer Grundwasserstockwerke oder von Oberflächengewässern liefern. Ferner können sie auf eine im Gebirge verbliebene Bohrspülung hinweisen.

Vorwiegend geologisch orientierte Verfahren

Bohrlochmessungen haben sich bei der Erschließung und Gewinnung von Grundwasser insbesondere im Festgesteinsbereich als außerordentlich hilfreich und z. T. als unentbehrlich erwiesen. Spezialisierte Servicefirmen stellen eine Vielzahl von Meßsonden oder Kombinationen von Meßsonden zur Verfügung, mit denen in unterschiedlichen Teufbereichen kontinuierlich Meßwertaufzeichnungen, die sogenannten Logs, vorgenommen werden können. Die **geoelektrischen Verfahren** können herangezogen werden, um anhand der unterschiedlichen Leitfähigkeit der Gesteine und des Grundwassers Schichtgrenzen zu erkennen. Man unterscheidet zwischen der elektrischen Widerstandsmessung, bei der durch Stromzufuhr ein elektrisches Feld aufgebaut wird, und der elektrischen Eigenpotentialmessung, bei der das elektrische Potential zwischen Gestein und einer Referenzelektrode gemessen wird. Das Ziel der **elektrischen Widerstandsmessung** (ES) besteht darin, über den Gesteinswiderstand, der von der Gesteinsporosität und dem Elektrolytgehalt des Wassers abhängt, auf die Schichten zu schließen. Bei der Messung des **elektrischen Eigenpotentials** (SP), das zwischen Spülung im Bohrloch (Referenzelektrode) und Gebirge (Bohrlochelektrode) gemessen wird, können z. B. Tonsteine, die praktisch kein Eigenpotential bilden, gegen Kalksteine (hohes Eigenpotential) abgegrenzt werden. Schichten mit erhöhtem Tongehalt können anhand eines **Gamma-Ray-Logs** (GR) festgestellt werden; auch Tonabdichtungen in Brunnen oder Pegelbohrungen können damit überprüft werden. Aus **Gamma-Gamma-Log** (GG) und **Formation-Density-Log** (FD) sind Rückschlüsse auf die Gesteinsdichte möglich.

Demgegenüber kann aus dem **Neutron-Gamma-Log** (NG) auf die Wasserstoffkonzentration und damit auf den wassergefüllten Porenraum des Gebirges geschlossen werden. Mit ihm lassen sich daher wasserführende und weniger durchlässige Bereiche unterscheiden. In den DVWK-Schriften 61 (1983) sind geeignete Verfahren zur Klufferkennung zu-

sammengestellt und beschrieben. Neben den hier erwähnten Messungen wird dort u. a. das Sonic-Log (SV) in Waveform-Präsentation (BHC-WF), das Fracture-Identification-Log (FI) und die Natural-Gamma-Ray-Spectrometry (NGS) empfohlen.

Verfahren zur Brunnen- oder Bohrlochuntersuchung

Beim **Kaliber-Log** (CAL) wird durch Fühlerspangen kontinuierlich die Bohrlochwand abgetastet und der Bohrlochdurchmesser aufgezeichnet, so daß z. B. Auskolkungen in der Bohrlochwand erkannt und Hinweise auf klüftige oder wenig verfestigte Gesteinsabschnitte erhalten werden können. Mit Hilfe des **Dip-Meters** (DIP) werden Abweichungen des Bohrlochs von der Lotrechten gemessen. Der Einsatz von **Fernsehsonden** oder von **Televiewern** im unverrohrten Bohrloch ermöglicht, das Gebirge und seine Klüftigkeit und Verkarstung direkt zu beobachten. Daher können diese Verfahren bei der Wassererschließung teilweise Kernbohrungen ersetzen. Daneben wird heute in großem Umfang die Inspektion und Kontrolle des baulichen Zustandes von Förderbrunnen (Anordnung und Zustand der Filterstrecken, Dichtigkeit der Verrohrung, Brunnenalterung usw.) mit einer Fernsehkamera ausgeführt, soweit dies möglich ist. Undichtigkeiten der Zementation hinter Verrohrungen können z. B. mit dem **Cement-Bond-Log** (CBL) lokalisiert werden.

3.5 Chemische und isotopenphysikalische Wasseruntersuchungen

Zur Beurteilung der Qualität eines Grundwasservorkommens sind chemische Analysen des Grundwassers und hygienisch-bakteriologische Untersuchungen unerlässlich. Sie werden ergänzt durch die Messung stabiler und instabiler Isotope (^{18}O , Deuterium, Tritium, ^{14}C).

Einen Teil seiner Eigenschaften erhält das Grundwasser bereits während der Neubildung, einen anderen Teil erhält es beim Durchströmen des Gebirges. Geringe Stoffmengen, z. B. Sauerstoff, radioaktive Aerosole, werden bereits in der Atmosphäre aufgenommen und können über den Niederschlag und das Sickerwasser ins Grundwasser gelangen. Die chemische Beschaffenheit ist darüber hinaus auch von der Vegetation, den Oberflächengewässern und

anthropogenen Einflüssen abhängig. Isotopenphysikalische Wasseruntersuchungen erlauben Aussagen über Neubildungsbedingungen, Herkunft, Alter und Verweilzeit des Grundwassers. Dabei muß besonders beachtet werden, daß sich durch Anteile sehr jungen Wassers Mischalter ergeben können.

Die Kombination von chemischen und isotopenphysikalischen Untersuchungsverfahren erlaubt zusätzliche Aussagen zur Lage und Abgrenzung des ober- und unterirdischen Einzugsgebietes, zum Ausmaß des Grundwasserumsatzes, zur Grundwasserneubildung oder zur Grundwasserfließrichtung. Außerdem lassen sich Zusickerungen aus über- oder unterlagernden Grundwasserstockwerken in der Änderung der Grundwasserbeschaffenheit zeitlich verfolgen.

3.6 Erstellung von Grundwassermodellen

Bei komplexen hydraulischen und hydrogeologischen Problemen gewinnt die numerische Modellierung zunehmend an Bedeutung. Voraussetzung für ein Grundwassermodell ist die Kenntnis der hydrogeologischen Situation, der Aquiferparameter (Durchlässigkeit bzw. Transmissivität, Speichereigenschaft, Mächtigkeit, Leakage), der Potentialverteilung, der Entnahmen, der Grundwasserneubildungen sowie der für das Modellgebiet maßgeblichen Randbedingungen (Zu- und Abflüsse oder Potentiale).

Da die Aufschlußdichte von hydrogeologisch gleichwertigen Grundwassermeßstellen im Festgestein meist um ein Vielfaches geringer ist als in Porengrundwasserleitern, ist die Erstellung detaillierter **Grundwassergleichenpläne** auf dieser Basis oft schwierig oder unmöglich. Für die Konstruktion eines Gleichenplanes müssen daher zusätzliche Informationen, wie z. B. die Abflußrichtung aus Markierungsversuchen oder die Höhenlage von Quellwasseraustritten herangezogen werden. Bei der Bewertung eines Grundwassergleichenplanes sind die Ergebnisse von Markierungsversuchen in Festgesteins- und insbesondere in Karstgrundwasserleitern zu berücksichtigen, da die generelle Grundwasserfließrichtung nicht zwangsläufig senkrecht zu den lokalen Grundwassergleichen verläuft, weil Kluffgrundwasserleiter hinsichtlich der hydraulischen Leitfähigkeit in der Regel stark anisotrop sind (vgl. Kap. 2.2.2). Ergeben sich aus Meßstellen, die in verschiedenen Teufen verfiltert sind, deutlich unter-

schiedliche Gefälle und Strömungsrichtungen, dann ist dies ein Hinweis für Stockwerksgliederung.

Die wichtigsten **hydraulischen Untersuchungsverfahren** im Gelände sind Pump- und Markierungsversuche. Darüber hinaus gibt es zahlreiche andere Verfahren (vgl. Kap. 7). Sind die Meßdaten von Pump- oder Markierungsversuchen ausreichend (vgl. Kap. 5.2, 6.2), so erhält man bei Anwendung entsprechender Auswerteverfahren zusätzliche In-

formationen für die Beurteilung der hydrogeologischen Verhältnisse eines Gebietes.

Das Modell muß auf seine Plausibilität überprüft und geeicht werden, bevor es eingesetzt werden kann. Allerdings ist es gerade in Festgesteinsgebieten oft schwierig, den hydrogeologischen Aufbau und seine Inhomogenitäten, die hydraulischen Kennwerte des Aquifers und die hydrogeologischen Werte hinreichend genau für ein aussagekräftiges Modell vorzugeben.