

Grundwasser

Richtlinien für Beobachtung und Auswertung

Teil 4 — Quellen

1995

Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

Bearbeiter: LAWA-Arbeitskreis "Grundwassermessung"

Grundwasserrichtlinie 4/95

Herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
Umweltministerium Baden-Württemberg, November 1995

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, mit Ausnahme der im Text sowie in den Anlagen vorgestellten Muster für die Erfassung statistischer Daten vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach § 54 Abs. 1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, über deren Höhe der LAWA-Vorsitz Auskunft gibt.

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) empfiehlt die im Text sowie in den Anlagen vorgestellten Muster für die Erfassung statistischer Daten zur Einführung und Verwendung in der Praxis und gibt diese Muster unter Angabe der Quelle zur Wiedergabe frei.

Die vorliegende Veröffentlichung ist gegen Kostenerstattung zu beziehen bei der:
Geschäftsstelle der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und
Umweltschutz Berlin, Salvador-Alliende-Str. 78-80e, 12559 Berlin-Köpenick

Vorwort

Erste Anweisungen zu Messungen an Quellen erarbeitete der Deutsche Grundwasserausschuß 1961. Diese Anweisungen beschränkten sich auf Untersuchungen zum Wasserhaushalt und auf die Einstufung von Quellen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Gewässerkunde oder die Wasserversorgung. Fragen der Qualität wurden noch nicht angesprochen, obwohl sich gerade Quellen als freie Grundwasseraustritte für die Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit besonders eignen.

Der Arbeitskreis "Grundwassermessung" legt hiermit die Grundwasserrichtlinie, Teil 4 - Quellen, vor. Sie gibt Hinweise auf die Eignung der verschiedenen Quelltypen für Problemlösungen im Rahmen der veränderten Anforderungen an die Wasserwirtschaft und den Umweltschutz und zeigt die Grenzen der Verwendungsmöglichkeiten auf. Quantitative und qualitative Fragestellungen werden in gleicher Weise behandelt, so daß in der vorliegenden Richtlinie Grundwasserhaushalt und Grundwasserbeschaffenheit eng miteinander verknüpft sind. Abweichend von der bei Richtlinien üblichen Vorgehensweise sind die Autoren zum besseren Verständnis der Anforderungen an den Meßstellenbau, die Messung und die Auswertung von Meßdaten auf den hydrogeologischen Hintergrund ausführlicher eingegangen; dabei wurde besonderer Wert auf einen praxisgerechten Bezug gelegt.

Erarbeitet vom Arbeitskreis "Grundwassermessung"
Stand: März 1995

Bearbeiter:

Bartels	Staatliches Amt für Umwelt und Natur Neubrandenburg
Dr. Bertsch	Bundesanstalt für Gewässerkunde
Deiglmayr	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Frings	Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
Dr. Holthusen	Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein
Dr. Kalthoff (Obmann)	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
Klost	Landesumweltamt Brandenburg
Sacher	Staatliches Umweltfachamt Chemnitz
Dr. Schultz-Wildelau, Dr. Nieß	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
Scheibner	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Dr. Toussaint	Hessische Landesanstalt für Umwelt
Willibald	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Dr. Ziegler	Thüringer Landesanstalt für Umwelt

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	
1 Grundlagen	1
1.1 Einführung und Definitionen	1
1.2 Quelltypen	3
1.2.1 Morphologische Merkmale	3
1.2.2 Hydraulische Merkmale	5
1.2.3 Hydrogeologische Merkmale	8
2 Aufgaben der Quellmessung	15
2.1 Gewässerkundliche Aufgabenstellung	16
2.2 Grundwasserüberwachung	17
2.3 Grundwassernutzung	17
3 Meßmethoden und -geräte	18
3.1 Quellschüttung	18
3.1.1 Gefäßmessung	19
3.1.2 Ermittlung der Quellschüttung durch Wasserstands- messung	20
3.1.3 Ermittlung der Quellschüttung durch Messung der Fließgeschwindigkeit	23
3.1.4 Verdünnungsmessung	25
3.2 Wasserbeschaffenheit	25
3.2.1 Beprobungsgeräte	25
3.2.2 Feldmessungen	26
3.3 Registriergeräte	26
4 Einrichten einer Quellmeßstelle	27
4.1 Vorüberlegungen, Ausbaugrundsätze	27
4.2 Ausbau von Quellen	28
4.2.1 Quellfassung	28
4.2.2 Sammelschacht	30
4.2.3 Meßeinrichtungen	30
4.3 Verwendung gefaßter Quellen	31
4.4 Verwendung ungefaßter Quellen	32
4.5 Übernahme einer Quellmeßstelle	32

	Seite
5 Messen und Probennahme	34
5.1 Meßturnus	34
5.2 Messen der Quellschüttung	35
5.3 Quellwasserbeschaffenheit	37
5.4 Meßwerterfassung	38
5.5 Einweisung und Betreuung des Beobachters und des Probennehmers	38
6 Prüfen und Aufbereiten	40
6.1 Prüfung	40
6.1.1 Stammdaten	40
6.1.2 Meßdaten	40
6.2 Aufbereitung	41
7 Auswertung, Darstellung und Archivierung	42
7.1 Quantitative Meßwerte	43
7.1.1 Analyse der Schüttungsganglinie	43
7.1.2 Korrelations- und Regressionsrechnungen	44
7.1.3 Bezugskurven	46
7.1.4 Analyse des Trockenwetterauslaufs	46
7.1.5 Dauerlinie	47
7.1.6 Statistische Maßzahlen und weitergehende statistische Berechnungen	48
7.2 Qualitative Meßwerte	49
7.3 Archivierung und Datensicherung	51
Richtlinien und Normen, Literatur	53
Anlage 1: Erfassungsbeleg für Quellmessungen: Meßgefäße - Meßbecken, Anleitung für den Beobachter	55
Anlage 2: Grundwasserbeschaffenheit - Probennahmeprotokoll (Muster)	56

1 Grundlagen

1.1 Einführung und Definitionen

In der DIN 4049, Teil 1, ist eine Quelle definiert als "Ort eines räumlich eng begrenzten Grundwasseraustritts"; ein diffuser Übertritt von Grundwasser in ein oberirdisches Gewässer ist somit keine Quelle. Unter Grundwasseraustritt wiederum wird verstanden das "natürliche Zutagetreten von Wasser, das dabei von Grundwasser zu oberirdischem Wasser wird". Die Bezeichnung Quelle bezieht auch Fassungen durch Bauwerke verschiedenster Art, wie z.B. Sickerstränge, ein.

In **Porengrundwasserleitern** erfolgt die Grundwasserströmung auf gewundenen Bahnen in engen Porenhohlräumen, die miteinander in Verbindung stehen, so daß großräumig eine einheitliche Grundwasseroberfläche in einem von verschiedenen Faktoren bestimmten Flurabstand ausgebildet ist. Wenn die Grundwasseroberfläche nicht durch die Geländeoberfläche angeschnitten wird - was bei mächtigen Lockergesteinskörpern üblicherweise der Fall ist -, kann nur der Grundwasserstand beobachtet werden; der Abfluß entzieht sich einer direkten Messung, er muß über Hilfsgrößen aus Differenzen der Standrohrspiegelhöhen ermittelt werden.

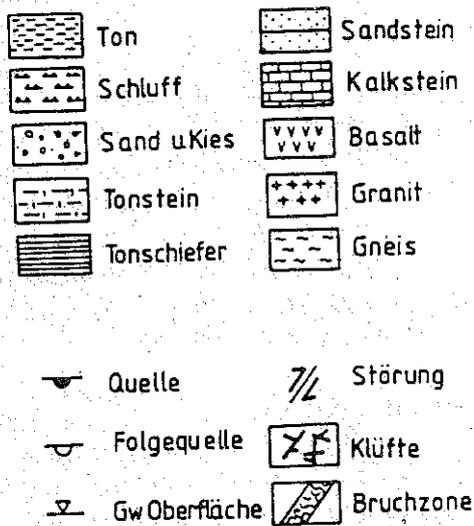
Bei **Kluftgrundwasserleitern** ist auch bei guter Wasserwegsamkeit der Klüfte und Spalten demgegenüber eine einheitliche Grundwasseroberfläche meistens nur kleinräumig entwickelt, da die Hohlräume von Ausnahmen abgesehen nur beschränkt vernetzt sind und im allgemeinen nicht weit durchziehen. Wegen des vielfach starken Reliefs eines aus Festgesteinen aufgebauten Gebiets sind außerdem die Grundwasserkörper seitlich nicht sehr ausgedehnt. Aus diesen Gründen lassen sich mit den Meßwerten der Quellschüttung die hydrologischen und geologischen Gegebenheiten eines Kluftgrundwasserleiters am besten beschreiben. Die Erfassung des Grundwasserstandes spielt eher eine untergeordnete Rolle.

Ein spezieller Fall eines Kluftgrundwasserleiters ist der **Karstgrundwasserleiter**, der durch einen raschen, meist turbulenten Abfluß oftmals sehr großer Wassermengen in Röhren, Schläuchen und Höhlen charakterisiert ist. Das Kluftnetz ist der eigentliche Wasserspeicher, der das Karströhrensystem speist.

Zwischen Poren- und Kluftgrundwasserleitern kann es im hydrologischen Verhalten Übergänge geben, was sich nicht nur im Hinblick auf das Schüttungsverhalten auswirkt (Dämpfung), sondern auch auf die Beschaffenheit des Quellwassers (z.B. Matrixdiffusion).

Im Gegensatz zum Grundwasserstand, der nur ein "punktueller" Meßwert ist bzw. sich strenggenommen auf einen sehr schmalen Stromstreifen bezieht, ist der direkt zu messende Abfluß einer Quelle ein auf eine größere Fläche bezogener Integralwert. Im Hinblick auf das Einzugsgebiet (DIN 4049, Teil 1) unterscheidet man das **oberirdische** Einzugsgebiet, das nur durch die Morphologie bestimmt wird, und das **unterirdische** Einzugsgebiet, für das die geologischen und hydrologischen Gegebenheiten maßgebend sind. Das unterirdische Einzugsgebiet ist für die Grundwasserbilanz bestimmend. In Abhängigkeit von den Hoch- und Niedrigständen des Grundwassers können die unterirdischen Wasserscheiden veränderlich sein (Abb. 1).

In der Schüttung (Dimension l/s oder m³/s) einer Quelle und deren zeitlicher Veränderung spiegelt sich nicht nur die von verschiedenen Geofaktoren abhängige Grundwasserneubildung, deren Höhe im Laufe eines Jahres stark variieren kann, wider, sondern auch das von den hydrogeologischen Verhältnissen beeinflusste Wechselspiel von Wasserspeicherung im Untergrund und unterirdischem Abfluß (Rückhaltevermögen des Grundwasserleiters). Insofern läßt sich auch mittels der statistischen Parameter der Quellschüttung eine Differenzierung der Grundwasserlandschaften und ihrer Untereinheiten vornehmen.



Legende zu den Abb. 1-13 (Gesteinssignaturen nach DIN 19711)

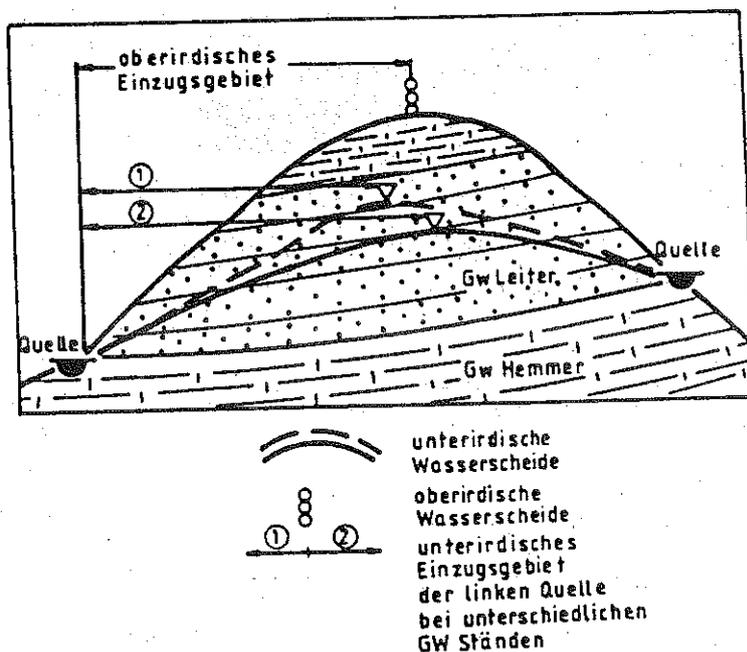


Abb. 1: Oberirdisches und unterirdisches Einzugsgebiet von Quellen

In der Temperatur des Quellwassers kommen im wesentlichen die Höhenlage und das Relief des Einzugsgebietes, der Tiefgang der unterirdischen Entwässerungswege, die Geschwindigkeit der Wasserbewegung sowie der Wärmestrom aus dem Erdinnern zum Ausdruck.

Weiterhin kommen in der natürlichen Beschaffenheit des Quellwassers die geohydrochemischen Eigenschaften der ungesättigten und gesättigten Zone einerseits und die physikalischen, chemischen und biologischen Reaktionsprozesse zwischen gasförmiger, flüssiger und fester Phase sowie die Transportmechanismen im Untergrund andererseits zum Ausdruck. Ebenso spiegeln sich in den qualitativen Meßwerten auch die Auswirkungen von Umwelteinflüssen wider.

Eine Quelle ist in grundwasserkundlicher Hinsicht ideal, wenn sie sich gleichermaßen für die Erfassung des gesamten Abflusses aus einem Bilanzgebiet und für die Gewinnung repräsentativer Wasserproben bzw. Grundwassertemperaturmeßwerte eignet. Je nach Fragestellung (Abschn. 2.1 - 2.3) kann ein Quellaustritt, der eine geschlossene Bilanzierung des Grundwasserumsatzes eines bestimmten Gebietes nicht zuläßt, doch als Meßstelle Verwendung finden. Eine Quelle ist auch brauchbar, wenn sie lediglich die Ermittlung der Kennwerte der Grundwasserbeschaffenheit und/oder die Charakterisierung einer Grundwasserlandschaft in ihren hydrogeologischen Verhältnissen gestattet.

1.2 Quelltypen

Das Zutagetreten von Grundwasser in Quellen ist geologisch und morphologisch begründet. Die wichtigsten sich auf die Grundwasserspeicherung und Grundwasserbewegung auswirkenden Geofaktoren sind die petrographische Ausbildung und Lagerung des Grundwasserleiters und die tektonischen Verhältnisse.

Die Gegebenheiten im Untergrund bestimmen die chemische und physikalische Beschaffenheit des Quellwassers.

1.2.1 Morphologische Merkmale

Im Hinblick auf das Bestreben, mittels Abflußmessungen an Quellen oder durch Gewinnung von repräsentativen Grundwasserproben quantitative und qualitative hydrologische Aussagen zu machen, werden die Quellen zunächst anhand bestimmter morphologischer Merkmale auf ihre Eignung beurteilt.

Sowohl in Festgesteinsarealen als auch ganz besonders in Lockergesteinen sind **Einzelquellen**, d.h. quasi-punktuelle Grundwasseraustritte, relativ selten. Am häufigsten kommen sie noch in Karstgebieten vor, in denen auf bevorzugten, tektonisch vorgegebenen und durch Lösungsvorgänge erweiterten Fließwegen große Wassermengen transportiert werden.

Insbesondere bei schüttungsstarken Einzelquellen sind die Voraussetzungen am besten, gleichzeitig eine einwandfreie Grundwasserbilanz für das Einzugsgebiet zu erstellen, Aussagen zur geohydraulischen Charakteristik der Leiter- und Speichergesteine zu machen und repräsentative Grundwasserproben gewinnen zu können.

Ein ganz anderer Mechanismus liegt den **Gasauftriebsquellen** zugrunde, die zu einem erheblichen Teil balneologisch genutzt werden. Darunter versteht man Quellen, in welchen aufsteigendes Wasser zu Tage tritt, dem Gasbläschen beigemischt sind. Unabhängig davon, ob das Gas bereits in großer Tiefe zutritt - zunächst wegen des großen Drucks völlig gelöst - oder erst im aufsteigenden Ast der Quelle, sind für den letzten Abschnitt des Aufstiegsweges sowohl der hydrostatische Druck maßgebend als auch Änderungen im spezifischen Gewicht, wie sie dem Prinzip der Mammutpumpe zugrunde liegen. Die Gasauftriebsquellen fließen meist kontinuierlich; treten jedoch die Treibgase diskontinuierlich in das aufsteigende Wasser über, ist auch eine intermittierende Quellschüttung möglich. Dieser Quelltyp ist vorwiegend an Kluffgesteine gebunden.

1.2.3 Hydrogeologische Merkmale

Vom gewässerkundlichen Standpunkt ist eine Beschreibung der Quellen allein nach hydraulischen Gesichtspunkten oder morphologischen Kriterien nicht befriedigend, obwohl diesbezüglich im Hinblick auf die Eignung der Quellen als Meßstellen bereits eine Vorauswahl getroffen werden kann. Da Quellen natürliche Grundwasseraustritte sind, müssen die hydrogeologischen Verhältnisse berücksichtigt werden. Daher empfiehlt sich eine Differenzierung der Quellen nach der Art der Grundwasserleiter und den unterirdischen Fließwegen in Kombination mit dem geologischen Bau des Einzugsgebietes.

Allen Quellen ist gemeinsam, daß es zu Grundwasseraustritten entweder durch Querschnittsverengung des Grundwasserleiters infolge Verringerung seiner Mächtigkeit bzw. seiner Breite oder Verringerung des Grundwassergefälles (da bei gleichem Grundwasserabfluß ein größerer Durchflußquerschnitt erforderlich ist) kommt oder durch Abnahme der Durchlässigkeit, die bei Lockergesteinen auf die Zunahme von feinkörnigem Material oder bei Festgesteinen auf die Abnahme von Zahl oder Weite der Klüfte und Spalten zurückgeht.

Wegen des in der Regel unterschiedlichen Fließverhaltens in Poren-, Kluff- und Karstgrundwasserleitern wird bei der nachfolgenden Beschreibung der hydrogeologischen Quelltypen auf diese Unterschiede besonders eingegangen.

Bei den **Porengrundwasserleitern** sind zu unterscheiden einerseits relativ homogene und in meist größerer Mächtigkeit sedimentierte Lockergesteine, wie z.B. Sande und Kiese von Terrassenablagerungen, und andererseits oftmals stark heterogene Sedimentkörper, wie Verwitterungsdecken, Block- und Gehängeschutt oder Moränen.

An Porengrundwasserleiter sind vielfach aufsteigende **Überlaufquellen** gebunden. Ihr Austritt wird durch das Abnehmen der Mächtigkeit des Grundwasserleiters oder durch Verringerung der Durchlässigkeit erzwungen (Abb. 3, 4, 5).

In Abb. 3 sind verschiedene Varianten dargestellt, wie der Querschnitt des Grundwasserleiters in der Vertikalen verringert werden kann, und zwar durch eine stärkere Reliefausbildung der Grundwassersohlschicht, Einschaltung linsenförmiger bindiger Lagen in Sande und Kiese, Abnahme der Mächtigkeit einer Lockergesteinsaufschüttung durch deren nachträgliche linienförmige Erosion und anschließende Auffüllung der Erosionsmulde durch Auenlehm oder generell Auskeilen des Quellwasserleiters. In Abb. 4 wird aufgezeigt, wie infolge einer raschen

Abnahme der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters in Grundwasserfließrichtung
Quellen entstehen können. In Abb. 5 wird veranschaulicht, wie ein Quellaustritt
durch Abnahme des Querschnitts des Grundwasserleiters erzwungen werden kann.

Typisch für die genannten Fälle ist die relativ gleichmäßige Quellschüttung und
die durch das gute Reinigungsvermögen des Untergrundes günstig beeinflusste
Grundwasserbeschaffenheit. Dagegen ist im Hinblick auf die Messung der Quell-
schüttung nachteilig, daß erstens mehrere Quellen auftreten, die außerdem in Ab-
hängigkeit von den wechselnden Grundwasserständen vielfach nicht lagestabil
sind, und zweitens nicht der gesamte Grundwasserabfluß erfaßt werden kann, da
ein unbekannter Teilstrom weiterfließt.

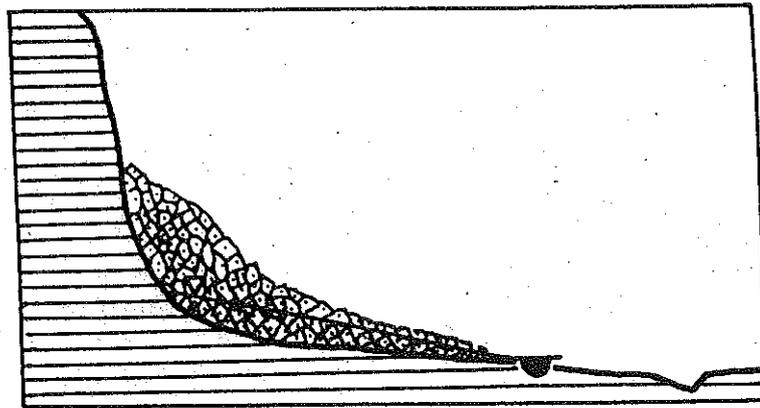


Abb. 6 a: Quellaustritt am Fuß von Schuttmassen

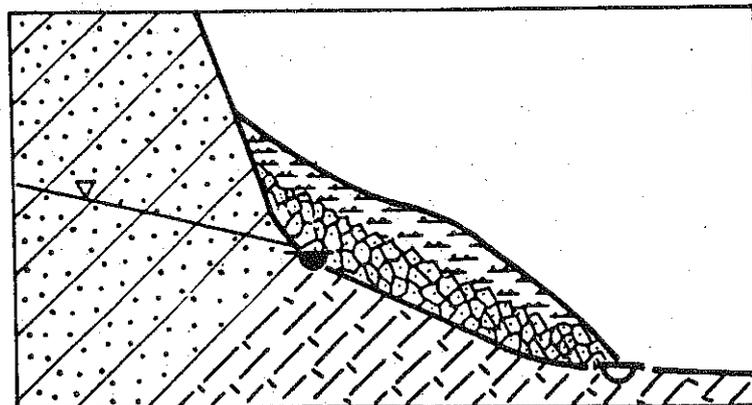


Abb. 6 b: Folgequelle einer aufsteigenden Schichtgrenzquelle

Ist ein Porengrundwasserleiter geringmächtig und stark wechselnd aufgebaut wie
z.B. bei Verwitterungsdecken, Block- und Gehängeschutt oder vielfach Moränen,
werden grobkörnige Sedimente bevorzugt entwässert; speziell bei steilem Gefälle
einer Sohlschicht mit ausgeprägtem Relief besteht dann u.U. kein großflächig zu-
sammenhängender Grundwasserspiegel. Die Schüttung der in der Regel kleinen
Quellen ist gering und stark schwankend, bei Fehlen eines Gegengefalles der
Grundwassersohlschicht kann die dann **absteigende Quelle** im Extremfall wegen
des geringen Rückhaltevermögens des Grundwasserleiters trockenfallen. Auch

Ein **Quellentopf** stellt eine Sonderform der aufsteigenden Quelle dar (Abb. 12). Der Quellmund liegt unter der Wasseroberfläche und ist durch die starke Schüttung trichterförmig erweitert.

Das **Heberprinzip** liegt bei **intermittierenden Quellen** vor, die ausschließlich an Kluftgrundwasserleiter, insbesondere an Karstgrundwasserleiter gebunden sind. In die zuleitenden Klüfte, insbesondere Karstwasserröhren, sind sowohl Sammelbekken als auch Siphone eingeschaltet (Abb. 13). Ein Wasseraustritt, dessen zeitliche Dauer u.a. von der Geometrie der Hohlräume und der Wasserzufuhr abhängt, findet nur statt, wenn der absteigende Ast des Hebers so eng ist, daß die Röhre und der mit dieser in Verbindung stehende Siphon ganz wassererfüllt sind. Wird bei nachlassendem Wasserzufluß Luft gezogen, fällt die Quelle sofort trocken.

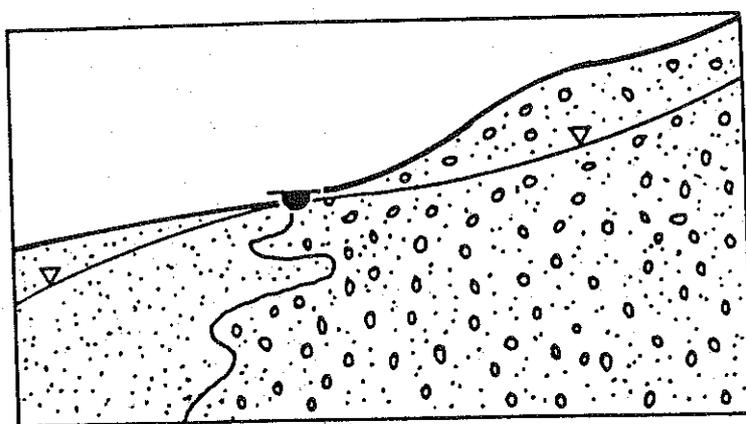


Abb. 4: Quellaustritte durch Abnahme der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters

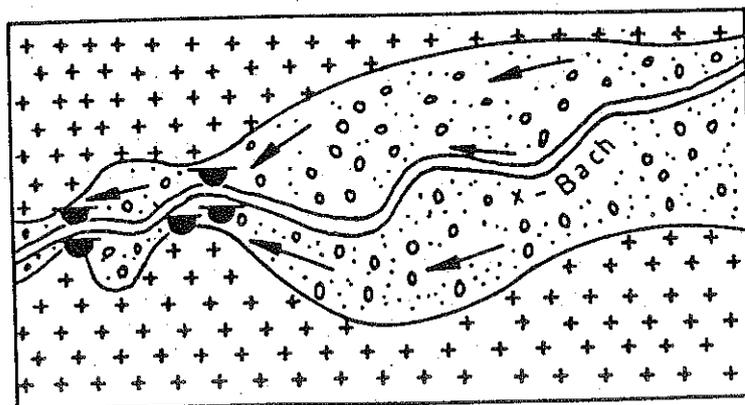


Abb. 5: Quellaustritte durch Abnahme des Durchflußquerschnitts (Draufsicht)

Aufgrund des Heberprinzips ist dieser Quellentyp durch extreme Schüttungsschwankungen gekennzeichnet. Da diese intermittierenden Quellen immer nur wenige Stunden oder Tage aktiv sind, lassen sich Meßverfahren schwer realisieren. Für eine Beprobung sind sie gut geeignet, zumal man mittels der Wasserinhaltsstoffe in diesem speziellen Fall sehr gut eine hydrochemische Extremsituation indizieren kann.

wenn der Quellaustritt üblicherweise ortsfest ist (Abb. 6 a), werden sich Messungen des Abflusses nicht lohnen, da nur sehr lokale Aussagen gemacht werden können; das gilt auch für Fragen der Beschaffenheit, wobei eine besondere Anfälligkeit gegenüber Verunreinigungen berücksichtigt werden muß.

Die Abb. 6 b ist ein Beispiel für eine **Folgequelle**, da das Grundwasser aus einem Festgestein in ein Lockergestein übertritt, wie das für Aufschüttungen in Gebirgstälern typisch ist. Geht die Quellschüttung auch auf im Bereich des Porengrundwasserleiters neu gebildetes Grundwasser zurück, spricht man von einer **kombinierten Quelle**.

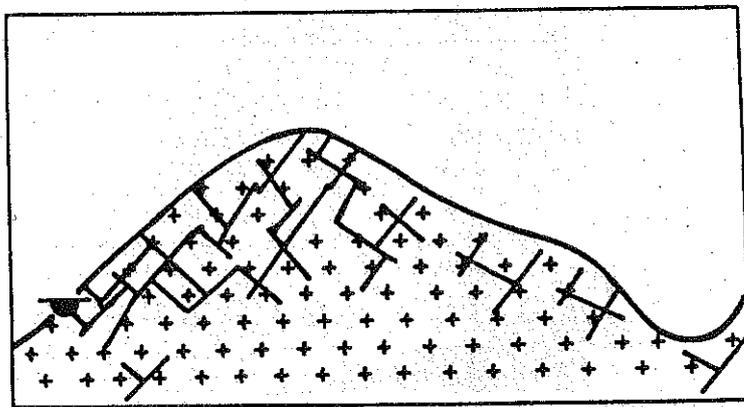


Abb. 7: Quellaustritt durch Abnahme der Durchlässigkeit in einem Kluftgrundwasserleiter

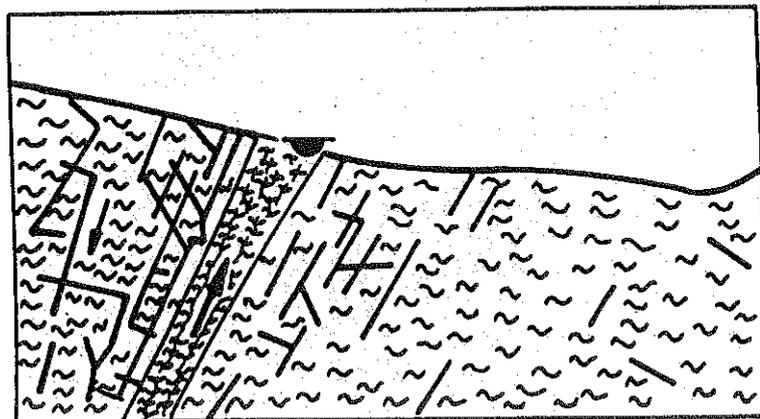


Abb. 8: Quellaustritt an einer Bruchzone mit höher durchlässiger Reibungsbreccien (Überlaufquelle, aufsteigende Quelle)

Kluftgrundwasserleiter einschließlich **Karstgrundwasserleiter** sind an Festgesteine gebunden, deren hydraulische Leitfähigkeit in der Regel durch das tektonische Inventar, wie insbesondere Klüfte, Störungen oder Zerrüttungszonen, vorgegeben wird. Bei vulkanischen Ergußgesteinen können Abkühlungsfugen eine große Rolle spielen (Gebirgsdurchlässigkeit). Die auf die primäre Porosität zurückgehende Gesteinsdurchlässigkeit hat nur in Ausnahmefällen eine gewisse Bedeutung. Die Richtung der unterirdischen Entwässerung wird nicht nur durch ein

oberirdisches Gewässer als Vorfluter für das Grundwasser vorgegeben, sondern auch durch tektonische Strukturen wie Achse einer Mulde oder eines Sattels, Einfallen der Schichten u.a. Das Grundwasser kann auf vernetzten Kluftsystemen zirkulieren. In der oberflächennahen Auflockerungszone eines Gebirges ist die Zahl der wasserführenden tektonischen Trennflächen am größten, zur Tiefe hin führen nur noch Hauptklüfte Wasser, das ihnen aus höheren Bereichen zufließt.

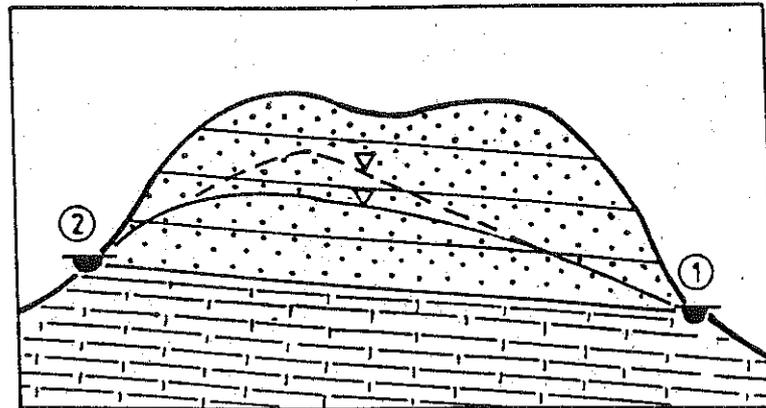


Abb. 9: Quellaustritte an einer Schichtgrenzfläche: 1 absteigend (Auslaufquelle), 2 aufsteigend (Überlaufquelle)

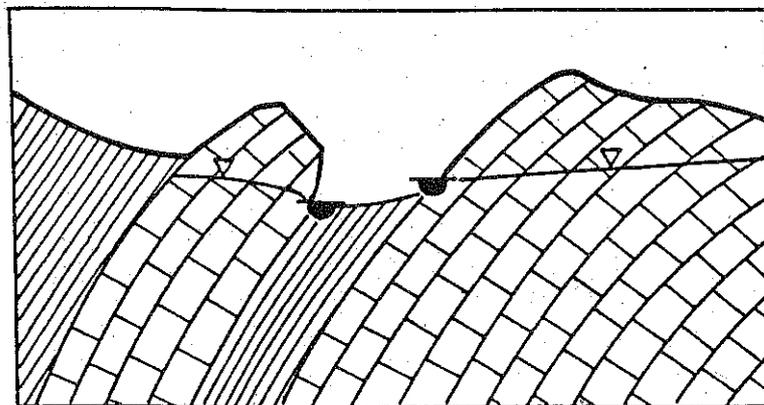


Abb. 10: Überlaufquellen in Faltensystemen

Verringert sich speziell in kristallinen Gesteinen (z.B. Granite, Gneise, metamorphe Schiefer) die Durchlässigkeit der Klüfte, kommt es zu einem Quellaustritt (Abb. 7). Dabei handelt es sich vielfach um eine absteigende Kluftquelle, in anderen Fällen kann das Grundwasser aber auch aufsteigen.

Bei in der Regel starken Schüttungsschwankungen ist dieser Quelltyp für gewässerkundliche Messungen geeignet.

Die aufsteigenden Kluftquellen sind vielfach auch an Bruchzonen gebunden, in denen die größeren Klüfte Reibungsbreccien enthalten (Abb. 8). Dieser Quelltyp eignet sich ebenfalls für Messungen, die Schüttungsschwankungen sind im allge-

meinen geringer als bei den Quellen, die nur an Klüfte gebunden sind. Wenn das Wasser aus größerer Tiefe aufsteigt, sind allerdings quantitative und qualitative Aussagen zu seiner Herkunft nicht immer möglich.

Die meisten Quellen in Festgesteinen sind jedoch an **Schichtgrenzflächen** (weniger an Schicht- oder Schieferungsflächen zwischen gleichartigen Schichten) gebunden, die das in den Klüften, Spalten oder auch Poren zirkulierende Grundwasser großräumig sammeln und ableiten. Die Schichtgrenzquellen können in hydraulischer Hinsicht aufsteigend oder absteigend sein.

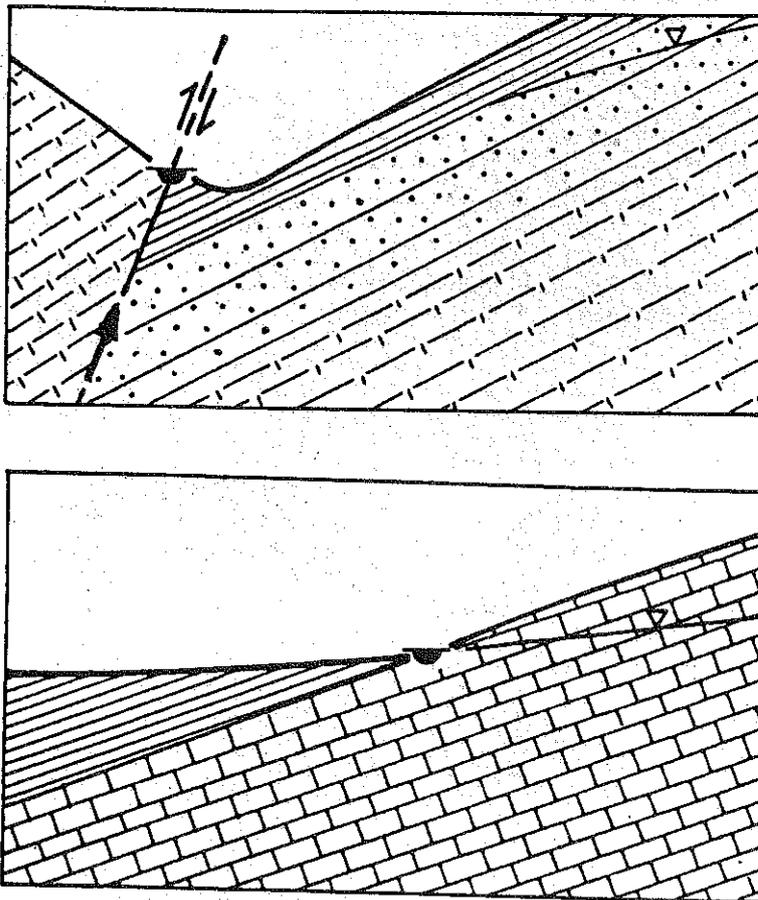


Abb. 11: Überlaufquelle an einer Verwerfung (oben) bzw. an der Grenzfläche zu einem Grundwasserhemmer (unten)

Je weniger Relief die Grundwassersohlschicht aufweist und je flacher ihr Gefälle ist, desto größer ist die Möglichkeit, daß das Grundwasser in Form von Quellenlinien austritt. Bei größerem Gefälle der Grundwassersohle und vor allem dann, wenn eine Sattel- und Muldenstruktur vorliegt, wird das Grundwasser bevorzugt in den Muldenlagen gesammelt und fließt zu Einzelquellen ab, die an der Grenze Grundwasserleiter/Grundwasserhemmer entstehen.

In Abhängigkeit von den hydrogeologischen Verhältnissen sind mehrere Quellenlinien übereinander möglich (Abb. 2).

Im Zusammenhang mit der Bilanzierung des Grundwasserhaushaltes eines Einzugsgebietes kann es vor allem bei Quellenlinien Probleme geben, da der technische Aufwand bei der Einrichtung von Abflußmeßstellen teilweise beträchtlich ist (Kap. 4). Repräsentative Grundwasserproben können dagegen ohne Schwierigkeiten gewonnen werden.

Baut sich bei ausreichendem Speichervermögen eines Grundwasserleiters und bei nicht allzu steilem Gefälle der Grundwassersohle ein mächtiger Grundwasserkörper auf, kann dieser auch entgegen dem allgemeinen Sohlgefälle entwässert werden (Abb. 9). Der Grundwasseraustritt erfolgt an der morphologisch tiefsten Stelle des bergseits an seiner Basisfläche angeschnittenen Grundwasserleiters.

Bei Schiefstellung eines Schichtenpakets können an den gleichen Grundwasserleiter sowohl absteigende (1) als auch aufsteigende (2) Quellen gebunden sein.

Auch bei stark eingemuldeten Sedimentgesteinen können beide Quelltypen nebeneinander auftreten; je steiler die Grundwasserleiter einfallen, desto mehr wird das Auftreten von Überlaufquellen begünstigt (Abb. 10, 11).

In seiner hydraulischen Funktion kann ein schräg stehender Grundwasserhemmer (Abb. 11 unten) ersetzt werden durch eine Verwerfung, an der Grundwasserleitergesteine gegen schwer durchlässige Schichten versetzt sind; auch hier treten Überlaufquellen auf (Abb. 11 oben). Auch Überlaufquellen können wie im Falle der Schichtgrenzquellen in der Form von Quellenlinien auftreten, was aus technischen Gründen die Bilanzierung des Grundwasserhaushaltes eines Einzugsgebietes erschwert.

Die Schüttungsschwankungen einer Überlaufquelle sind dann gering, wenn der Grundwasserleiter über ein großes Retentionsvermögen verfügt. Die Quelle fällt trocken, wenn der Grundwasserspiegel unter den Ausstrich des wasserstauenden Horizontes absinkt (Abb. 10, 11).

Die Gewinnung von Grundwasserproben stellt kein Problem dar. Bei Grundwasser, das aus größerer Tiefe hochsteigt, ist jedoch die Zuordnung der Kennwerte der Beschaffenheit zu einem Einzugsgebiet bzw. zu einem bestehenden Gesteinsbestand in der Regel schwierig.

In einem **Karstgrundwasserleiter** können prinzipiell alle Quelltypen vorkommen, die vorstehend für einen Kluftgrundwasserleiter diskutiert worden sind. Daher wird im folgenden nur auf zwei spezielle Arten von Quellen näher eingegangen, nämlich eine Quelle als Folge eines Karstwasseraustritts (Abb. 12) und die für ein Karstareal besonders typische Karstquelle nach dem Heberprinzip (Abb. 13).

Für den Karst ist typisch, daß mehr oder weniger große, praktisch grundwasserfreie Gesteinspartien die wasserführenden Systeme in horizontaler und vertikaler Richtung voneinander trennen. Die genaue Abgrenzung von Einzugsgebieten für bestimmte Quellen ist dadurch sehr erschwert bis unmöglich.

Die Karstquellen sind die am stärksten schüttenden Quellen. Sie sind wegen der in der Regel hohen Abstandsgeschwindigkeiten meist durch auffällige Schüttungs-

schwankungen gekennzeichnet, sofern nicht größere Höhlensysteme Speicherfunktionen haben. Niederschläge und Schneeschmelzwasser lösen beachtliche tägliche Schwankungen aus, was aus technischen Gründen die exakte Erfassung des Abflusses stark erschweren kann. Ein zusätzliches Problem ist an das Phänomen einer Folgequelle im Karst gebunden, da speziell bei mächtigeren Lockergesteinsaufschüttungen das in größerer Tiefe abströmende Karstwasser nicht erfaßt werden kann; außerdem kann es wegen der puffernden Wirkung der Lockergesteine zu einer gewissen Verfälschung der Schüttungscharakteristik der primären Karstquelle kommen. Erfahrungsgemäß bleiben jedoch die qualitativen hydrologischen Merkmale des Karstwasseraustrittes davon unberührt.

Bei den Heberquellen tritt zwar das Grundwasser im Regelfall an einer einzigen Stelle aus, da die Quelle jedoch überwiegend trocken ist, sind Schüttungsmessungen problematisch.

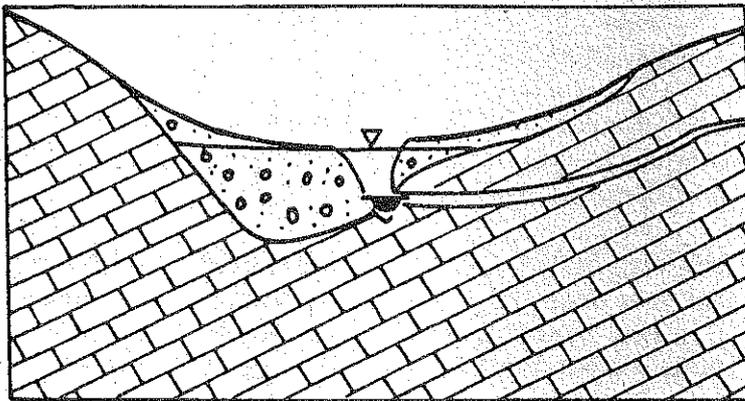


Abb. 12: Quelltopf

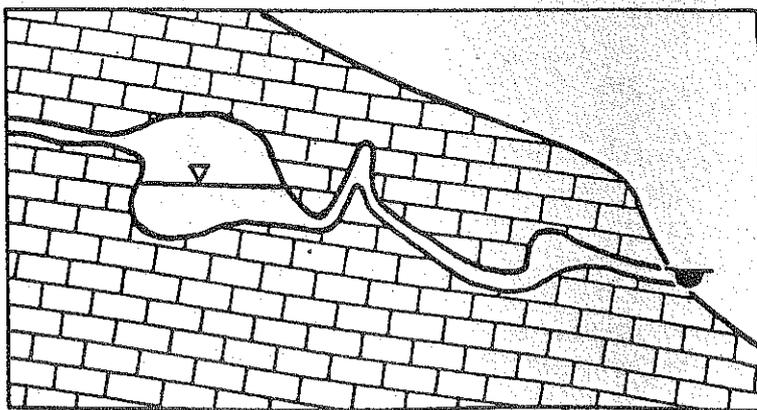


Abb. 13: Intermittierende Karstquelle nach dem Heberprinzip

2 Aufgaben der Quellmessung

Zwischen einer Quelle und dem Beobachtungsrohr oder Brunnen als Grundwassermeßstelle bestehen aus hydrologischer und hydraulischer Sicht prinzipielle Unterschiede. Die Wahl der Meßstelle, der Meßtechnik und die spätere Interpretation der Daten haben diese Tatsache zu berücksichtigen.

Tabelle 1: Eignung der Quelltypen für Schüttungs- und Beschaffenheitsmessungen

Quellentyp	Messung	
	Schüttung	Beschaffenheit
Überlaufquelle (aufsteigend): Quelle an der Schichtgrenze eines Grundwasserleiters, der zum Hang hin einfällt (Abb. 9)	geeignet	geeignet
Auslaufquelle (absteigend): Quelle an der Grenze zwischen einer wasserdurchlässigen und einer wasserstauenden Schicht (Abb. 9)	geeignet	geeignet
Schuttquelle: Grundwasseraustritte aus Hangschüttmassen, Schwemmkegeln u.dgl. (Abb. 6 a)	geeignet, wenn Austritt eng begrenzt	weniger geeignet, Gesteinsmaterial im Schüttkörper stark wechselnd
Kluftquelle: Quelle aus offener Kluft, in Karstarealen durch Lösungsprozesse erweitert (Abb. 7 und 8)	geeignet	geeignet
Springquelle: Grundwasser tritt unter Druck aus; häufig bei intermittierenden Karstquellen	weniger geeignet, Einzugsgebiet oft unklar	weniger geeignet, Chemismus wegen wechselnder Verweilzeiten schwer interpretierbar
Folgequelle: Quelle, die aus versickernden Wässern anderer, höher gelegener oder aufsteigender Quellen gespeist wird (Abb. 6 b und 12)	weniger geeignet, Einzugsgebiet unklar	weniger geeignet, Gesteinsmaterial verschiedener Grundwasserleiter beteiligt
Grundquelle (Waller): Quelle, die an der Sohle von oberirdischen Gewässern entspringt und wegen ihres subaquatischen Austrittes vielfach nur schwer erkennbar ist	nicht geeignet, Schüttung nicht direkt erfaßbar	weniger geeignet, sofern Probenahme am Quellaustritt nicht möglich
Quelltopf: teichartige Erweiterung des Quellaustrittes (Abb. 12)	geeignet	geeignet
Gasauftriebsquelle: Quelle, aus der mit Gasbläschen vermisches Wasser nach oben gefördert wird und austritt (Lufthebeprinzip)	geeignet	weniger geeignet, Entgasung verändert den Chemismus
Naßstelle: flächenhafte Grundwasseraustritte	ungeeignet, durch diffusen Grundwasseraustritt Schüttung nicht meßbar	ungeeignet, Beschaffenheit verfälscht
Quellengruppe: Anhäufung von Quellen auf engem Raum (Abb. 3 und 5)	weniger geeignet, Messung der Schüttung erschwert	geeignet
Quellenlinie: linienhafte Aufreihung von Quellen an einer Störung oder Schichtgrenze (Abb. 2)	weniger geeignet, Messung der Schüttung erschwert	geeignet

Die Größe der Quellschüttung entspricht häufig der Vorratsänderung im Grundwasserspeicher (Rückhaltevermögen) und damit der Änderung des Grundwasserstandes. Der häufig auftretende Zeitversatz zwischen Speicherfüllung und Quellschüttung ist charakteristisch für die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und spiegelt die langsame Bewegung des Grundwasserstromes in Porengrundwasserleitern einerseits und die hohe Fließgeschwindigkeit in Karstgerinnen andererseits wider. Entsprechend unterschiedlich ist der zeitliche Verlauf der Quellschüttung. Wie bei der Messung des Grundwasserstandes ist auch diesem Schüttungsverhalten Rechnung zu tragen.

Im Gegensatz zu einer Quelle kann die Anordnung der Beobachtungsrohre im Meßnetz und ihr Ausbau den jeweiligen Fragestellungen angepaßt werden. Bei einer Quelle ist der Standort und damit auch das Einzugsgebiet vorgegeben. In vielen Fällen definiert der Quellentyp auch die hydraulischen Eigenschaften. Bei der Verwendung von Quellen als Meßstellen ist zunächst zu entscheiden, ob durch ihre Lage und hydraulischen Eigenschaften die anstehenden Fragen beantwortet werden können (Tab. 1).

An Quellen tritt das Grundwasser frei aus und steht damit für Messungen unmittelbar und unverfälscht zur Verfügung. Im Gegensatz zu ihnen stellen Beobachtungsrohre einen baulichen Eingriff in den Grundwasserraum dar, durch den eine direkte Verbindung zur Geländeoberfläche hergestellt wird. Diese Verbindung kann merkliche physikalische und chemische Veränderungen des Grundwassers bewirken (Druckentlastung, Luft- und damit Sauerstoffzutritt usw.). Daher sind Beschaffenheitsmessungen an Quellen im Vergleich zu denen an Beobachtungsrohren insgesamt günstiger. Ausführliche Erläuterungen zu dieser Problematik finden sich in der Grundwasserrichtlinie, Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit. Auch die Probennahme durch Pumpen kann im Vergleich zum Wasseraustritt an einer Quelle leicht zu Verfälschungen führen. Im allgemeinen sind Beschaffenheitsmessungen an Quellen unproblematisch, da durch den freien Grundwasseraustritt Verfälschungen bei der Probennahme kaum auftreten können.

2.1 Gewässerkundliche Aufgabenstellung

Zur Beantwortung gewässerkundlicher Aufgabenstellungen, für die Quellmessungen besonders geeignet sind, gehört an erster Stelle die **Wasserbilanz**. Die Voraussetzungen hierzu sind, daß die Quellschüttung vollständig erfaßbar und das Einzugsgebiet bekannt sind. Bei kurzfristigen Schüttungsschwankungen können kontinuierliche Messungen erforderlich sein. Bei Vorliegen von ausreichenden Klimadaten ist eine Überprüfung der Bilanz möglich.

Aus der Gegenüberstellung von Niederschlag und Abflüssen kann auf die **Speicher- und Leitereigenschaften** des Untergrundes geschlossen werden.

Die **Beschaffenheit** des Quellwassers gibt Hinweise auf die Herkunft des Grundwassers (Einzugsgebiet bzw. Grundwasserleiter). Bei Kenntnis des Einzugsgebietes ermöglicht die Interpretation der qualitativen Meßdaten Rückschlüsse auf das geochemische Potential des Grundwasserleiters.

2.2 Grundwasserüberwachung

Da Quellen in der Regel ein größeres Einzugsgebiet repräsentieren, sind sie für Aufgaben der Grundwasserüberwachung sehr geeignet. Insbesondere haben sie für das Erkennen und Überwachen von **flächhaften Veränderungen** der Grundwasserbeschaffenheit, wie sie z.B. durch Überdüngung und den Einsatz von Pflanzenschutz- und -behandlungsmitteln in der Landwirtschaft zu verzeichnen sind, große Bedeutung.

Punktuelle Beeinträchtigungen der Grundwasserbeschaffenheit, wie sie häufiger nach Schadensfällen und Altlasten auftreten, sind bei Quellmessungen mit großen Einzugsgebieten oder starker Schüttung wegen der auftretenden Verdünnung nur eingeschränkt erfassbar. Unbekannte Fließwege vom Schadensort zum Quellaustritt, z.B. bei Kluft- und Karstgrundwasserleitern, machen eine Beweisführung häufig sehr problematisch.

Anthropogene Eingriffe in den Grundwasserhaushalt eines Gebietes infolge von Grundwasserförderungen, Versiegelung der Geländeoberfläche, Sumpfungsmaßnahmen oder Bergsenkungen lassen sich an der Veränderung der Quellschüttung erkennen. Allerdings bedarf es längerer Meßreihen, um natürliche und künstliche Einflüsse voneinander trennen zu können.

2.3 Grundwassernutzung

Das Erfassen der **Ergiebigkeit einer Quelle**, z.B. zur Sicherstellung der Wasserversorgung, ist nur durch Langzeitmessung möglich. Eine Meßperiode sollte sich über mehrere Jahre erstrecken und durch zusätzliche Informationen über das Klima und die Speichereigenschaften des Grundwasserleiters gestützt sein. Auch die Befragung der Bevölkerung ergibt bisweilen wichtige Hinweise.

3 Meßmethoden und -geräte

3.1 Quellschüttung

Bei der Messung der Quellschüttung finden zum Teil die gleichen Verfahren Verwendung wie bei der Messung an oberirdischen Fließgewässern. Entsprechend gelten bei der Messung von Quellen die Festlegungen der Pegelvorschrift. Bei der Messung kleiner Quellen sind zum Teil spezielle, bei der Messung der Fließgewässer weniger gebräuchliche Meßtechniken erforderlich. Bei Quellen, die sowohl sehr geringe als auch sehr starke Schüttungen aufweisen, kann es notwendig sein, für den Niedrigwasser- und den Hochwasserbereich verschiedene Meßverfahren zu verwenden. Mehrere und oft unterschiedliche Meßeinrichtungen sind dort notwendig, wo die Quelle verschiedene Ableitungen besitzt, z.B. eine Leitung für die Wasserversorgung und eine Überlaufleitung. Insbesondere sind folgende Umfeldbedingungen und Zwänge bei der Auswahl der Meßverfahren bestimmend:

- In ihrer Größe schnell wechselnde Schüttungen machen eine kontinuierliche Messung erforderlich (Abschn. 5.1).
- Geringes Gefälle unterhalb der Quellen und nicht zulässiger Rückstau ins Gebirge schließen mit Aufstau verbundene Meßverfahren aus.
- Fehlender Stromanschluß erfordert Geräte ohne oder mit nur geringem Stromverbrauch. Durch Takten der Messung kann der Stromverbrauch erheblich gesenkt werden.

Tabelle 2: Eignung von Meßverfahren und Meßgeräten

Meßverfahren, Meßgeräte	Einzelmessung	Automatische Registrierung
Wasserstandsmessung bei Meßwehren, Venturigrinnen u.ä.		
Stechpegel, Lattenpegel	x	
elektrische Stechpegel		x
Schwimmerpegel		x
Pneumatikpegel		x
Drucksonde		x
akustische Meßverfahren		x
kapazitive Wasserstandsmeßgeräte und Leitwertpegel		x
Fließgeschwindigkeitsmessung		
magnetisch-induktive Messung		x
Wasserzähler (integrierende Messung)	x	
Wasserzähler mit Zusatzeinrichtung		x
Meßflügel, Tauchstab	x	
Gefäßmessung		
Eimer, Becken	x	
Kippwaagen		x
Verdünnungsmessung	x	

Zu unterscheiden ist zwischen Geräten für Einzelmessungen und solchen mit automatischer Registrierung. Meßverfahren und -geräte sind so zu wählen, daß der Meßfehler nicht mehr als 10% des Meßwertes beträgt. Diese Genauigkeit ent-

spricht in ihrer Größenordnung dem Bestimmungsfehler, mit dem auch die anderen hydrologischen Größen im Umfeld der Quellmeßstelle behaftet sind. Grundsätzlich muß es möglich sein, automatische Registrierungen durch Einzelmessungen zu überprüfen. Diese Kalibriermessungen müssen stets eine höhere Genauigkeit besitzen als die zu überprüfende automatische Registrierung. Die erforderlichen Einrichtungen für derartige Kalibriermessungen sind bereits bei der Bauplanung vorzusehen.

Eine direkte Messung der Quellschüttung, d.h. eines Abflusses, ist physikalisch nicht möglich. Gemessen werden je nach Meßverfahren eine oder mehrere andere Meßgrößen, anhand derer dann der Abfluß ermittelt wird. Die einzelnen Meßverfahren sind im folgenden beschrieben; einen Überblick gibt die Tab. 2.

3.1.1 Gefäßmessung

Meßprinzip

Gemessen wird die Zeit, die benötigt wird, um ein Gefäß mit bekanntem Rauminhalt zu füllen, oder das Wasservolumen, das dem Gefäß während einer vorgegebenen Zeit zufließt. Die Gefäße sind so groß zu wählen, daß die Füllzeit 10 Sekunden möglichst nicht unterschreitet, wobei diese auf 1/10 Sekunden genau anzugeben ist.

Meßgeräte und -einrichtungen

Je nach Größe des Abflusses sind unterschiedliche Geräte und Einrichtungen erforderlich.

Bewegliche Gefäße sind in ihrem Fassungsvermögen eng begrenzt. Sie können daher nur zur Messung von Durchflüssen bis zu wenigen Litern pro Sekunde verwendet werden. Die Form des Quellaustrittes und des Gefäßes müssen geeignet sein, das Gefäß schlagartig unter den Quellaustritt zu schieben. Hierzu ist ein ausreichend hoher Überfall erforderlich. Wenn das Wasser im Gefäß sehr stark bewegt oder das Gefäß im Verhältnis zu seiner Höhe sehr flach ist, läßt sich der Zeitpunkt der Vollfüllung nicht exakt ermitteln. In diesem Fall muß das Volumen des aufgefangenen Wassers in einem Meßzylinder genauer bestimmt werden.

Ortsfeste Becken können auch zur Messung größerer Schüttungen verwendet werden. Um die Füllzeit genau messen zu können, muß der Zufluß schlagartig in das Becken gelenkt werden können. Hierfür haben sich schwenkbare Gerinne bewährt. Eine weitere technische Lösung stellen durchflossene Becken dar, bei denen der Ablauf verschlossen wird. Durch geeignete Einbauten kann für eine Beruhigung des Wasserspiegels gesorgt werden. Gemessen wird die Füllzeit zwischen zwei Wasserstandsmarken. Der Aufstau im Becken darf keinen Rückstau in das Gebirge verursachen. Da, bei einer Wasserstandsablesung auf Zentimeter, Becken aus Gründen der Meßgenauigkeit in der Regel eine Mindesttiefe von 0,5 m besitzen sollen, können sie nur dort angeordnet werden, wo die benötigte Gefällehöhe zur Verfügung steht. Andernfalls müßte das Becken tiefer gelegt und nach jeder Messung leergepumpt werden oder es müßte, bei flacheren Becken, die Genauigkeit der Wasserstandsmessung erhöht werden.

Kippwaagen erlauben eine automatische Registrierung; sie sind jedoch nur für sehr kleine Abflüsse geeignet und bei Quellmessungen im Routinebetrieb nicht verwendbar.

3.1.2 Ermittlung der Quellschüttung durch Wasserstandsmessung

Meßprinzip

Der Abfluß (Q) wird auf der Grundlage der Messung des Wasserstandes (W) über die W/Q-Beziehung, die sogenannte Abflußkurve, berechnet. Dieses bei der Messung oberirdischer Fließgewässer bewährte Verfahren ist insbesondere bei größeren Quellschüttungen anzuwenden. Wegen der im Vergleich zu oberirdischen Gewässern kleineren Durchflüsse und der vielfach geringeren Schwankungen der Quellschüttung und damit der Wasserstände sind diese mit einer Genauigkeit von besser als $\pm 0,5$ cm, wie dies in der Pegelvorschrift gefordert wird, zu messen. Außerdem ist für eine Abflußkurve, bei der den Durchflußänderungen möglichst große Wasserstandsänderungen entsprechen, zu sorgen.

Bauliche Voraussetzungen

Voraussetzung für eine zeitlich unveränderliche W/Q-Beziehung ist ein definierter und rückstaufreier Abflußquerschnitt, der weder durch Ablagerungen noch Verkrautung verändert werden kann. Durch Querschnittsverengungen lassen sich die im Hinblick auf die Meßgenauigkeit notwendigen ausgeprägten Wasserstandsänderungen in Abhängigkeit vom Durchfluß erreichen. Dabei ist jedoch zu beachten, daß Querschnittseinengungen bei nicht ausreichendem Gefälle einen unerwünschten Einstau der Quelle ins Gebirge verursachen können.

Meßwehre erfordern einen großen Aufstau, weil ein Fließwechsel eintreten muß. Die Meßgenauigkeit ist jedoch, insbesondere bei Dreieckwehren, auch bei geringen Abflüssen sehr hoch.

Venturigerinne rufen weniger Aufstau hervor. Die Meßgenauigkeit ist jedoch bei kleinen Abflüssen (Q kleiner $0,1 Q_{\max}$) wesentlich geringer.

Auch bei derartigen Einrichtungen ist darauf zu achten, daß sich keine Ablagerungen und kein Bewuchs bilden, da diese die Abflußkurven verändern würden (Abschn. 5.2). Der Platzbedarf beider Meßeinrichtungen ist erheblich. Meßwehre benötigen einen Wehrkasten im Zulauf und Venturigerinne eine Vorlauflänge. Können die vorgeschriebenen Maße für Wehrkasten und Vorlauflänge nicht eingehalten werden, kann bei höheren Durchflüssen die Abflußkurve deutlich von der Sollkurve abweichen. Durch Modelluntersuchungen ist es möglich, die Systematik und die Größenordnung der Abweichung zu bestimmen. Diese Modellversuche können die Kontrollen der Abflußkurven der eingebauten Meßeinrichtungen nicht ersetzen. Die Meßeinrichtungen können bei beengten Platzverhältnissen auch zu einer Behinderung anderer Arbeiten im Quellschacht, z.B. der Reinigung der Quelle, führen. Sie müssen daher entsprechend angeordnet werden und erforderlichenfalls ausbaubar sein.

Meßgeräte

Aus dem Verlauf der Abflußkurve kann abgeleitet werden, mit welcher Genauigkeit der Wasserstand gemessen werden muß, damit der Durchfluß auf 10 % genau bestimmt werden kann. Dabei sind die möglichen Fehler der Abflußkurve zu berücksichtigen. Die sich daraus ergebenden hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Wasserstandsmessungen machen besondere Meßtechniken erforderlich.

Stechpegel erlauben eine Ablesegenauigkeit von $\pm 0,1$ mm und bei ruhigem Wasserspiegel eine Meßgenauigkeit von etwa 1 mm. Sie sind daher als Präzisionsmeßeinrichtung speziell für Kalibriermessungen geeignet und sollten zur Kontrolle automatischer Wasserstandsmessungen grundsätzlich vorgesehen werden. Wenn Stechpegel ambulant eingesetzt werden, ist durch eine präzise Montageeinrichtung sicherzustellen, daß der Stechpegel in der Höhe exakt ausgerichtet werden kann.

Elektrische Stechpegel mit Grenzkontaktgeber und Nachführeinrichtungen besitzen eine geringere Genauigkeit als Stechpegel mit Handbedienung für Einzelmessungen. Als Meßsignal für die automatische Registrierung steht ein elektrisches, analoges Signal an.

Lattenpegel haben eine Ablesegenauigkeit von 1 cm, was bei Quellmessungen in der Regel nicht ausreichend ist.

Schwimmerpegel übertragen den Wasserstand ausreichend genau, sofern der Durchmesser des Schwimmers groß genug ist, um die für die Anzeige und automatische Registrierung notwendigen Stellkräfte hervorzurufen. Wenn Wasserstände mit hoher Genauigkeit auf Pegelbogen registriert werden sollen, können Laborpegel mit Aufzeichnungsmaßstab 1:1 oder 1:2 verwendet werden. Um die Meßwerte digital erfassen zu können, muß die Drehung der Schreiberachse in ein elektrisches Signal umgesetzt werden. Hierfür haben sich Winkelcodierer als digitale Meßwertgeber bewährt. Bei der Auswahl der Schwimmer sind die Reibungskräfte dieser Winkelcodierer zu berücksichtigen. Schwimmerpegelgeräte besitzen in der Regel serienmäßig eine Einrichtung zur analogen Aufzeichnung der Wasserstandswerte.

Die Höhenlage von Schwimmern kann auch mit Hilfe von Magnetfeldern gemessen werden. Bei derartigen Geräten wird die Bewegung des Schwimmers durch keine Reibungskräfte behindert. Damit sind Meßgenauigkeiten von $\pm 0,1$ mm möglich. Die Meßwerte können als analoge oder digitale Signale ausgegeben werden.

Pneumatische Meßgeräte arbeiten nach dem Lufteinperlverfahren. Sie entsprechen in ihren Eigenschaften weitgehend den Schwimmermeßgeräten mit großen Schwimmern. Dabei kann jedoch die Genauigkeit von Laborpegeln nicht erreicht werden. Pneumatische Meßgeräte werden dort eingesetzt, wo aus Platzgründen der Einbau eines Schwimmers nicht möglich ist.

Drucksonden wandeln den Druck, eine mechanische Größe, in eine elektrische Größe um. Sie können Temperatureinflüssen und einer zeitlichen Drift unterliegen. Die zum Einsatz vorgesehenen Sonden sind daher hinsichtlich dieser Eigen-

schaften auf ihre Verwendbarkeit zu prüfen. Da bei der Druckmessung auch die Änderung des Luftdruckes miterfaßt wird, sind luftdruckkompensierende Drucksonden (Differenzdruckmessung) zu verwenden. Drucksonden liefern ein analoges, elektrisches Ausgangssignal.

Akustische Wasserstandsmeßgeräte sind vergleichsweise aufwendig und haben einen hohen Strombedarf. Ihre Meßgenauigkeit ist gut. Gemessen wird die Laufzeit eines Ultraschallsignals zwischen Sender/Wandler und Wasseroberfläche. Als Meßwert wird ein elektrisches Signal geliefert.

Die **kapazitive Wasserstandsmessung** beruht auf der Tatsache, daß das Wasser gegenüber der Luft wesentlich andere elektrische Eigenschaften besitzt. Der kapazitive Sensor besteht aus zwei parallel geführten Metallbändern, die wie eine Pegellatte im Wasser stehen und je nach Wasserstand unterschiedlich hoch eingestaut werden. Diese Metallbänder wirken als Kondensator. Die Kapazität dieses Kondensators ändert sich mit der Größe des Raumes zwischen den Bändern, der durch Wasser ausgefüllt ist. Gemessen wird die Kapazität. Eine Zusatzelektronik rechnet diesen Meßwert in einen Wasserstandswert um und gibt diesen als analoges oder digitales Signal aus. Bei geeigneter Ausführung ist eine hohe Meßgenauigkeit zu erzielen.

Leitwertpegel nutzen die Eigenschaft des Wassers, gegenüber der Luft eine höhere elektrische Leitfähigkeit zu besitzen. Sie bestehen aus einem Stab oder Band, das in kurzen, definierten Abständen elektrische Kontakte besitzt. Wird der Pegel in das Wasser eingebaut, werden die Kontakte bis zur Höhe des Wasserstandes eingestaut und damit elektrisch leitend. Die Höhe des jeweils obersten, elektrisch leitenden Kontaktes entspricht dem Wasserstand. Der Leitwertpegel liefert somit ein digitales elektrisches Signal. Die Meßgenauigkeit ist abhängig vom Abstand der Kontakte, wobei sichergestellt sein muß, daß sich nicht durch Verschmutzung oder Verroosung zwischen den Kontakten elektrisch leitende Brücken bilden, welche die Messung verfälschen.

Ermittlung der Abflußkurve

Zur Ermittlung der Abflußkurve wird bei unterschiedlichen Wasserständen der jeweilige Durchfluß bestimmt. Dies geschieht in der Regel durch Gefäßmessungen (Abschn. 3.1.1) oder durch Flügelmessungen (Abschn. 3.1.3).

Die ermittelten Durchflußwerte werden gegen die zugehörigen Wasserstandswerte graphisch aufgetragen. Durch eine Vielzahl von Messungen bei unterschiedlichen Wasserständen und Durchflüssen erhält man eine Punkteschar. Die gesuchte Abflußkurve findet man als Ausgleichskurve durch diese Punkteschar (Pegelvorschrift, Anlage D).

Nach Einrichtung einer neuen Meßstelle sind Durchflußmessungen häufig zu wiederholen. Zeigen die Meßergebnisse, daß die Einzelmessungen nur geringfügig um die Abflußkurve streuen und die Beziehung zwischen Wasserstand und Durchfluß keinen zeitlichen Änderungen unterworfen ist (stabile Abflußkurve), können die Durchflußmessungen auf Kontrollen in mehrmonatlichem oder jährlichem Abstand beschränkt werden. Zur Absicherung der Abflußkurve im Bereich der hohen und niedrigen Durchflüsse sind in Zeiten von Hoch- und Niedrigwasser zusätzliche Messungen erforderlich.

Mit Hilfe von Durchflußmessungen sind auch die W/Q-Beziehungen von Venturigerinnen und Meßwehren zu überprüfen, weil selbst bei strenger Einhaltung der Einbauvorschriften die örtlichen Strömungsverhältnisse Abweichungen von der Sollbeziehung hervorrufen können (Abschn. 5.2).

3.1.3 Ermittlung der Quellschüttung durch Messung der Fließgeschwindigkeit

Meßprinzip

Der Durchfluß ist das Produkt aus mittlerer Fließgeschwindigkeit und Durchflußquerschnitt. Bei vollgefüllten Rohren ist der Durchfluß linear abhängig von der mittleren Fließgeschwindigkeit. Wegen möglicher Verfälschung der Messungen der Fließgeschwindigkeit durch Turbulenzen und ähnliche Störungen der Strömung sind die Einbauvorschriften für die Meßgeräte einzuhalten.

Messungen in Rohren

Für Messungen in gefüllten Rohrleitungen mit kleinerem Durchmesser haben sich magnetisch-induktive Durchflußmessungen und Wasserzähler bewährt. Die erstgenannten können auch bei größeren Abflüssen verwendet werden, die Wasserzähler dagegen sind nur zur Messung kleinerer Durchflüsse geeignet. Bei beiden Meßverfahren ist sicherzustellen, daß das Rohr bei allen Durchflüssen vollgefüllt ist; die Einbauvorschriften, z.B. hinsichtlich der Vorlaufstrecken, sind einzuhalten.

Magnetisch-induktive Durchflußmessungen nutzen die physikalische Gesetzmäßigkeit, daß durch die Bewegung eines elektrischen Leiters in einem Magnetfeld eine Spannung induziert wird (Faraday'sches Induktionsgesetz). Da das Meßverfahren im Rohr keine oder nur sehr geringe Einbauten erforderlich macht, verursacht es keinen Rückstau. Die Messung der Fließgeschwindigkeit erfolgt mit hoher Genauigkeit. Als Meßausgang steht ein elektrisches Signal an. Nachteilig ist der Stromverbrauch, der in der Regel einen Anschluß an die Stromversorgung notwendig macht.

Wasserzähler bestimmen die über den Zeitraum zwischen zwei Ablesungen gemittelte Fließgeschwindigkeit, indem die Zahl der Umdrehungen des Meßflügels während dieses Zeitraumes gezählt wird. Sie dienen daher in erster Linie zur Bestimmung des zwischen zwei Ablesungszeitpunkten durchgeflossenen Wasservolumens (integrierende Einzelmessung). Zur Bestimmung der augenblicklichen Schüttung wird, analog zur Gefäßmessung (Abschn. 3.1.1), die Zeit ermittelt, in der eine vorgegebene Wassermenge durchgeflossen ist, oder die Wassermenge abgelesen, die während einer vorgegebenen Zeitspanne den Wasserzähler durchgeflossen hat. Wasserzähler verursachen wegen der für den Antrieb des Meßflügels benötigten Energie stets einen Rückstau.

Wasserzähler mit Zusatzeinrichtungen und Turbinendurchflußmesser können die augenblickliche Fließgeschwindigkeit bzw. den augenblicklichen Durchfluß als elektrisches Signal ausgeben und sind somit für automatische Registrierungen geeignet.

Weitere Meßverfahren sind aus anderen Anwendungsgebieten, wie z.B. der Verfahrenstechnik, bekannt. Grundsätzlich sind diese auch zur Messung von Quellabflüssen verwendbar. Zum Teil erlauben sie eine hohe Meßgenauigkeit, andererseits erfordert der Betrieb derartiger Geräte teilweise eine höhere fachkundige Betreuung. Beispiele für derartige Meßverfahren sind:

- Verfahren, die wie der Wasserzähler die Strömungskräfte des fließenden Wassers messen und dadurch oft erhebliche Energieverluste und damit Rückstau verursachen (z.B. Rotor- und Turbinendurchfluß, Paddelströmungsmesser, Wirbeldurchflußmesser).
- Verfahren, die wie die magnetisch-induktive Durchflußmessung keine Einbauten im Rohr erfordern (z.B. Massen-Durchflußmessung nach dem Coriolis-Prinzip).
- Verfahren, welche auch bei der Fließgeschwindigkeitsmessung in offenen Gewässern verwendet werden können (z.B. Staurohr, Ultraschallmessung).

Die Anwendung derartiger Verfahren sollte auf begründete Einzelfälle beschränkt bleiben.

Meßgeräte, insbesondere Wasserzähler, sind regelmäßig auf ihre Meßgenauigkeit zu überprüfen. Zweckmäßigerweise ist diese Prüfung zuerst in kürzeren Zeitabständen zu wiederholen. Aufgrund der Erfahrung aus den ersten Kontrollen kann der Prüfungsturnus dann gegebenenfalls größer gewählt werden (Abschn. 5.2). Zur Prüfung werden die Geräte ausgebaut. Sie müssen daher gut zugänglich und leicht ausbaubar sein.

Messungen in offenen Gerinnen

Die Messung der Fließgeschwindigkeit in offenen Gerinnen ist in der Pegelvorschrift, Anlage D, eingehend beschrieben; diese ist auch bei Quellmessungen anzuwenden.

Flügelmessungen in den bei Quellen oft sehr kleinen Gerinnen erfordern besondere Sorgfalt sowohl hinsichtlich der Ausgestaltung des Meßquerschnitts als auch der Durchführung der Messung, wenn die angestrebte hohe Genauigkeit des Meßwertes erreicht werden soll. Durch geeignete Ausbaumaßnahmen ist sicherzustellen, daß ein in seinem Querschnitt klar definiertes, möglichst regelmäßiges, durch Verkrautung oder Ablagerungen nicht belastetes Profil geschaffen wird, das den gesamten Durchfluß erfaßt. Der Meßquerschnitt für die Flügelmessung und der Ort der Wasserstandsmessung müssen nicht zusammenfallen; jedoch muß sichergestellt sein, daß zwischen diesen Meßstellen kein Wasser zu- oder abfließt.

Der **Tauchstab nach Jens** ermittelt im Gegensatz zu der Punktmessung des Meßflügels die Fließgeschwindigkeit als Mittelwert über eine Meßlotrechte. Außerdem gibt er die momentane Fließgeschwindigkeit an, während der Meßflügel einen über den Meßzeitraum integrierten Mittelwert liefert. Bei pulsierenden Abflüssen ist daher der Tauchstab nicht zu verwenden; auch geringe Wassertiefen führen zu ungenauen Meßergebnissen.

Staurohre und induktive Meßsonden liefern Punktmessungen wie ein Meßflügel und Momentanwerte wie der Tauchstab. Sie werden im gewässerkundlichen Meßdienst wenig verwendet.

3.1.4 Verdünnungsmessung

Verdünnungsmessungen dienen der Abflußermittlung an Stellen, an denen die beschriebenen Meßverfahren nicht angewandt werden können. Voraussetzung sind jedoch hohe Turbulenzen im Gewässer. Zur Messung wird eine bestimmte Menge eines gut nachweisbaren, für die Gewässerbeschaffenheit unbedenklichen Tracers dem Quellaustritt über einen begrenzten Zeitraum in gleichmäßiger Dosierung zugegeben. Gewässerabwärts, erst nach völliger Durchmischung, wird die Konzentration des Tracers im Wasser bestimmt. Wegen des großen Aufwandes bei der Tracereingabe, der Probennahme, der Analytik und der Auswertung ist dieses Verfahren für regelmäßige Messungen ungeeignet.

3.2 Wasserbeschaffenheit

Für die Untersuchung der Wasserbeschaffenheit ist i.a. die Entnahme von Einzelproben ausreichend. Hierbei sind die gleichen Probengefäße zu verwenden wie bei der Beprobung von Grundwassermeßstellen. Wenn sich die Wasserbeschaffenheit schnell ändern kann, ist es erforderlich, mit Hilfe automatischer Wasserprobennehmer repräsentative Mischproben zu gewinnen (Abschn. 5.3).

3.2.1 Beprobungsgeräte

Zur automatischen Entnahme von Wasserproben können grundsätzlich die gleichen Geräte Verwendung finden wie bei der Überwachung von oberirdischen Gewässern, von Gewässereinleitern oder von Kläranlagen, wobei jedoch die speziellen Umfeldbedingungen von Quellmeßstellen zu beachten sind.

Wasserprobennehmer haben die Aufgabe, zeitproportional, mengenproportional oder ereignisabhängig Wasser zu entnehmen und in Probengefäßen zu sammeln. Material und Volumen der Probengefäße sind entsprechend den zu untersuchenden Parametern zu wählen. Auch die Materialien der Leitungen und Verteilungssysteme des Probensammlers sind im Hinblick auf mögliche Beeinflussungen der Probe zu prüfen. Je nach Größe der Gefäße und Gerätetyp können Probennehmer ein oder mehrere Probengefäße beschicken.

Die Art der Probennahme ist programmierbar. Zur Steuerung der mengenproportionalen Entnahme dienen die Ausgangssignale der oben beschriebenen Abflußmeßgeräte. Sofern das Meßgerät nicht selbst in der Lage ist, Abflußwerte oder Wassermengenwerte zu liefern, müssen diese aus den Meßwerten, z.B. aus Wasserstandswerten, an der Meßstelle von einem Rechner ermittelt werden. Es werden Probensammelgeräte angeboten, bei denen der notwendige Rechner integriert ist.

Ereignisabhängige Entnahmen, z.B. Entnahmen bei Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes der Trübung, werden gleichfalls durch externe Startsignale des

entsprechenden Meßgerätes oder des Meßwerterfassungsgerätes ausgelöst. In gleicher Weise kann ein zeit- oder mengenproportionales Entnahmeprogramm ereignisabhängig geändert werden.

Sofern kein Stromanschluß an der Quellmeßstelle vorhanden ist, können batteriebetriebene Probensammler verwendet werden. Da diese keine Kühleinrichtung besitzen, sind sie möglichst im kühlen Quellschacht aufzustellen.

Zur Untersuchung leichtflüchtiger Wasserinhaltsstoffe ist es erforderlich, daß Probennahme, -aufbewahrung und -transport unter Luftabschluß erfolgen. Bei den hierzu entwickelten Geräten wird das Probengefäß unter Wasser gefüllt. Zeit- und mengenproportionale sowie ereignisabhängige Entnahmen können wie bei den oben beschriebenen Wasserprobennehmern gesteuert werden.

3.2.2 Feldmessungen

Die elektrische Leitfähigkeit, die Trübung, die Wasser- und Lufttemperatur, der pH-Wert und der Sauerstoffgehalt des Wassers sind grundsätzlich direkt im Gewässer zu bestimmen (Anlg. 2). Vielfach werden hierbei Einzelmessungen ausreichen.

Sofern kontinuierliche Messungen notwendig sind, können die gleichen Meßgeräte wie bei der Überwachung oberirdischer Gewässer Verwendung finden, wobei jedoch das Quellwasser u.U. andere Meßbereiche erfordert.

3.3 Registriergeräte

Bei kontinuierlichen Messungen werden die Meßwerte in der Regel analog auf Schreibstreifen aufgezeichnet. Die üblichen Schwimmer- und Druckluft-Pegelgeräte sind hierzu mit Trommel- oder Bandschreibeinrichtungen ausgestattet. Die übrigen Meßwertgeber besitzen elektrische, in der Regel analoge Ausgangssignale (z.B. 0 - 20 mA, 4 - 20 mA, 0 - 10 V). Diese standardisierten Signale können von Schreibgeräten verarbeitet werden.

Im Hinblick auf die weitere Bearbeitung der Daten ist es zweckmäßig, die Meßwerte bereits an der Meßstelle auf EDV-Datenträger abzuspeichern. Hierzu dienen Datensammler. Es sollten Gerätetypen verwendet werden, die sich bewährt haben und über standardisierte Meßwerteingänge verfügen.

Die Datensammler können auch die Aufgabe der Meßdatenvorverarbeitung, der Umrechnung in dimensionsechte Daten, der Meßwertverdichtung durch Mittelwertbildung und der Ermittlung von Extremwerten übernehmen. Außerdem können Grenzwerte überwacht und durch entsprechende Ausgangssignale externe Geräte, wie z.B. Probensammler, gesteuert werden. Darüber hinaus kann der Datensammler für eine Selbstüberwachung sowie eine Überwachung und Kalibrierung von Meßgeräten sorgen sowie Meßdaten und Meldungen über Systemstörungen fernübertragen.

4 EINRICHTEN EINER QUELLMESSSTELLE

4.1 Vorüberlegungen, Ausbaugrundsätze

Nach der Vorentscheidung, eine Quelle als Meßstelle zu nutzen, ist zu prüfen, ob und ggf. welche baulichen Maßnahmen erforderlich sind. Außerdem ist auf Belange des Natur- und Denkmalschutzes Rücksicht zu nehmen. Sind nur Einzeluntersuchungen der Grundwasserbeschaffenheit vorgesehen, bedarf es keiner oder nur geringfügiger Einrichtungen, um die Probennahme und die lage- und höhenmäßige Zuordnung der Messung zu ermöglichen.

Bei kontinuierlicher Messung der Beschaffenheit und bei Schüttungsmessungen, die in den meisten Fällen vorzusehen sind, werden in Abhängigkeit von den hydrologischen und morphologischen Verhältnissen umfangreiche Baumaßnahmen erforderlich. Art und Umfang richten sich nach

- Quelltyp (Kap. 1)
- Meßaufgabe (Kap. 2)
- Meßverfahren (Kap. 3)
- Zustand der Quelle (genutzt/ungenutzt)

Die bei Planung und Bau einer Meßstelle zu beachtenden Forderungen sind gem. Tab. 3 den jeweiligen Aufgabenstellungen zugeordnet.

Tabelle 3: Bauliche Anforderungen

Anforderung	Bilanz- unter- suchung	Meßaufgabe					
		Untersuchung des GW-Ler- ters		Überwachung der GW- Beschaffenheit	Beweis- sicherung		Planung Wasser- versorgung
		S	B		S	B	
kein Fremdwasserzutritt	x	x	x	x	x	x	x
keine Verunreinigung			x	x		x	x
keine hydraulische Veränderung (Rückstau o.a.)	x	x			x (1)	x (1)	
keine Umläufigkeit	x	x			x		
keine Änderung im Chemismus (Baumaterial, Ausgasung)			x	x		x	x
Meßgenauigkeit	x	x			x		
Langzeitmessung (> 3 Jahre)	x			x (2)	x (3)	x (3)	x
kontinuierliche Messung (4)	x	x			x	x	x

Erläuterungen

S = Schüttung als Hauptuntersuchungskriterium

B = Beschaffenheit als Hauptuntersuchungskriterium

(1) Änderung möglich, wenn genügend Beobachtungszeit bis zum Eintritt wasserwirtschaftlicher Wirkungen der Maßnahme, deretwegen die Beweissicherung durchgeführt wird.

(2) Forderung gilt primär für Meßstellen im Grundnetz der landesweiten Überwachung.

(3) Für Beweissicherung häufig auch Beobachtungszeit unter 3 Jahren ausreichend.

(4) Forderung gilt nur bei kurzfristigen Schüttungsschwankungen und bei erforderlicher Korrelation mit zeitabhängigen Faktoren.

Neben den in Tab. 3 genannten Anforderungen, die sich aus dem Meß- und Untersuchungszweck ergeben, sind bezüglich des Meßstellenbetriebes und der baulichen Gestaltung noch folgende Kriterien zu beachten:

- Unfallsicherheit
- leichte Zugänglichkeit (auch bei ungünstiger Witterung)
- einfache Bedienbarkeit von Armaturen und Meßeinrichtungen
- gute Ablesbarkeit von Anzeigegeräten
- Wirtschaftlichkeit aller Baumaßnahmen
- geringer Betriebs- und Unterhaltungsaufwand
- landschaftsgerechte Gestaltung
- Schutz vor Fremdeinwirkung

Bei provisorischen Meßstellen genügen im Normalfall weniger dauerhafte Baustoffe (Holz, Kunststoffolien) und einfache Bauweisen.

Weiterhin ist zu beachten, daß durch die eingesetzten Baustoffe die Wasserbeschaffenheit nicht verändert wird.

Wegen der Vielfältigkeit der Quelltypen wie auch der Meßaufgaben können nur allgemeingültige Ausbauregeln gegeben werden. Bei Planung und Bau einer Meßstelle muß daher eine auf den jeweiligen Fall zugeschnittene Auswahl der hier genannten Anforderungen getroffen werden.

4.2 Ausbau von Quellen

Die Hauptbestandteile einer Quellmeßstelle sind gemäß Abb. 14:

- Fassung (Sickerleitungen, Quellstube)
- Sammelschacht
- Meßeinrichtungen

Je nach Quelltyp und Meßaufgabe können die Fassung und ggf. auch der Sammelschacht entfallen (z.B., wenn an einer frei auslaufenden Kluftquelle nur der Abfluß zu messen ist).

An allen Quellmeßstellen ist die Höhenlage auf NN bezogen festzulegen und eine dauerhafte Kennzeichnung (z.B. Meßstellenummer) anzubringen.

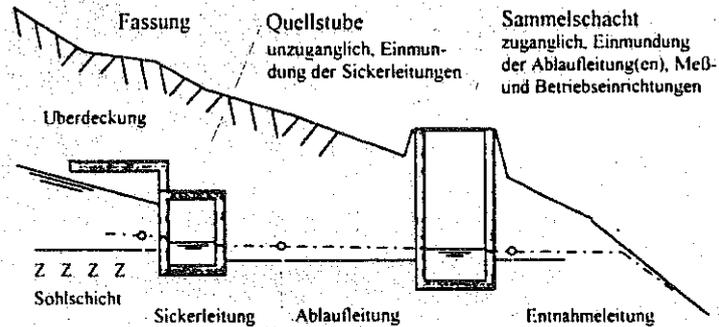
4.2.1 Quellfassung

Bei Planung und Bau von Fassungen sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

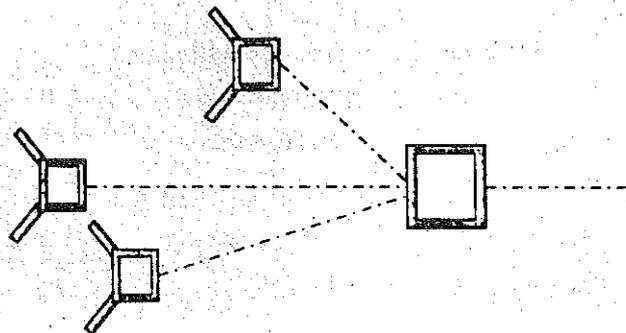
- mehrjährige Schüttungsmessungen vor Ausbau der Anlage zur ausreichenden Dimensionierung
- ausreichende Dimensionierung von Ab- und Überlaufleitungen
- genaue Ermittlung von Einzugsgebiet und hydrogeologischen Verhältnissen
- Berücksichtigung der Quellwasserbeschaffenheit bei der Wahl der Baustoffe
- Vermeiden anhaltender Verunreinigung des Quellwassers
- Vermeiden von Eingriffen mit Auswirkungen auf die hydraulischen Verhältnisse

1. Meßstelle mit Quellstube(n) und Sammelschacht

Schnitt



Draufsicht



2. Meßstelle ohne Quellstube

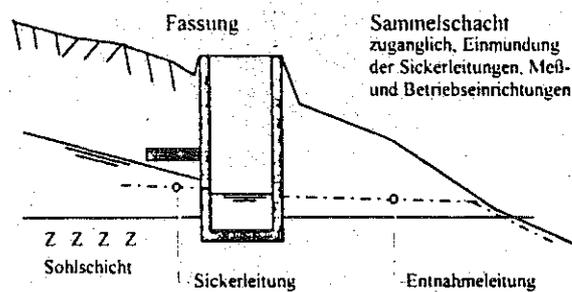


Abb. 14: Meßstellenausbau, ohne Überlauf- und Entleerungsleitungen (schematische Darstellung)

Nähere Hinweise gibt das DVGW-Arbeitsblatt W 351. Bei Meßstellen für ausschließlich gewässerkundliche Zwecke kann von den Regeln des Arbeitsblattes abgewichen werden, insbesondere sind die hygienischen Anforderungen geringer.

Quellen können häufig nicht an der natürlichen Austrittsstelle gefaßt werden. Sie sind dann aufzuschürfen. Ziel ist dabei das Freilegen eines ungehinderten Wasser-austrittes in ausreichender Tiefe. Der fachgerechten Ausführung dieser Arbeiten kommt entscheidende Bedeutung zu. Insbesondere dürfen grundwasserhemmende

Sohl- oder Deckschichten nicht in einer Weise durchstoßen werden, daß sich die Quellabflußverhältnisse wesentlich ändern.

Ist der Abfluß eines Einzugsgebiets vollständig zu messen, müssen auch alle Nebenquellen gefaßt werden. Natürliche Verbindungskanäle dieser Nebenquellen zur Geländeoberfläche müssen zum Schutz vor Verunreinigungen sorgfältig abgedichtet werden. Ob Nebenquellen und Hauptquelle bzw. Einzelquellen einer Quellgruppe dasselbe Einzugsgebiet haben, kann durch chemische Untersuchungen an den Einzelquellen, durch Tracerversuche und durch Mengenbilanzierung geprüft werden.

4.2.2 Sammelschacht

Für Funktion und konstruktive Ausbildung von Sammelschächten sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Dichtheit und Frostsicherheit des Bauwerkes
- Entleerbarkeit und Rückstausicherheit
- Baustoffwahl unter Berücksichtigung der Wasserbeschaffenheit
- ausreichende Dimensionierung aller Leitungen
- gute Bedienbarkeit und Auswechselbarkeit von Armaturen
- Korrosionsbeständigkeit metallischer Bauteile

Nähere Hinweise gibt das DVGW-Arbeitsblatt W 351. Die hydraulische Installation der Sammelschächte von Meßstellen kann einfacher ausgeführt werden.

Aus Kostengründen sollte der Sammelschacht nach Möglichkeit mit der Quellfassung verbunden werden (Wegfall der Quellstube).

Zum Schutz des Meßpersonals vor austretenden Gasen ist für eine ausreichende Be- und Entlüftung des Sammelschachtes zu sorgen. Sie ist durch fest eingebaute Lüftungsleitungen oder durch Zwangsbelüftung möglich.

4.2.3 Meßeinrichtungen

Wenn die Meßstelle mit einem Sammelschacht ausgerüstet wird, sind die Einrichtungen für die Probennahme und die Schüttungsmessung möglichst dort unterzubringen. Elektrische Registriergeräte und Schalteinrichtungen müssen zum Schutz vor Feuchtigkeit und Frost in einem von der Schachtluft abgetrennten Gehäuse oder in einem handelsüblichen oberirdischen Schaltkasten installiert werden. Meßstellen sind hinsichtlich der Installationen grundsätzlich als Feuchträume anzusehen.

Für ausreichenden Blitzschutz in der Meßstelle fest installierter Geräte ist zu sorgen, auch wenn diese in einem Schacht untergebracht sind. Als hauptsächliche Maßnahme kommen die leitende Verbindung und Erdung aller metallischen Teile (Potentialausgleich) sowie der Einbau von Überspannungsschutzgeräten an allen zu- und abgehenden Kabeln und deren Abschirmung in Frage.

Weitere Informationen zu Meßeinrichtungen liefert das DVWK-Merkblatt "Meßeinrichtungen an Quellen" E 1995.

Meßeinrichtungen für die Schüttungsmessung

Die Meßeinrichtungen für Schüttungen bis ca. 10 l/s (Meßwehre oder Überläufe für Gefäßmessungen) können häufig im Sammelschacht untergebracht werden; ebenso auch Wasserzähler und induktive Durchflußmesser (IDM), die für noch wesentlich größere Durchflüsse geeignet sind. Für Meßgefäße ist im Sammelschacht eine ausreichend große waagerechte Aufstellfläche vorzusehen. Zum Anbringen von Stechpegeln in Verbindung mit Meßwehren ist der Einbau einer dauerhaften Haltevorrichtung zweckmäßig.

Bei Fehlen eines Sammelschachtes oder bei zu großen Dimensionen der Meßeinrichtungen müssen die erforderlichen Anlagen im Quellablauf eingebaut werden. Das können auf Schienen fahrbare oder ortsfeste Behälter (ab 30 l/s Abfluß), Meßwehre oder Venturigerinne sein.

Ortsfeste Behälter werden am günstigsten mit senkrechten Wänden in Verbindung mit einem Absturz erstellt. An der Behälterwand wird eine Pegellatte angebracht. Der Unfallschutz ist durch Umzäunung oder Abdeckung sicherzustellen. Weitere Hinweise zur baulichen Gestaltung sind in Abschn. 3.3.2 der Anlage A zur Pegelvorschrift enthalten.

Für Bemessung und Bau von Venturigerinnen und Meßwehren enthält Anlage D der Pegelvorschrift Angaben, für Venturigerinne außerdem DIN 19559, Teil 2. Beide Einrichtungen haben einen erheblichen Platzbedarf und sind im Sammelschacht nicht immer unterzubringen. Dem Veralgen der Meßeinrichtungen kann durch geeignete Baustoffe (z.B. Kupfer) oder durch Lichtentzug mittels Abdeckung begegnet werden.

Sehr große Schüttungen können mit dem Meßflügel im offenen Gerinne gemessen werden. Für die Standortwahl und den evtl. Ausbau des Meßprofils gelten Abschn. 2.1.2 und Anlage D (Abschn. 1.2) der Pegelvorschrift.

Sonstige Meßeinrichtungen

Druck- und Temperatursonden oder Sonden zur Erfassung chemischer Parameter sind gut zugänglich und einfach auswechselbar nach Möglichkeit im Sammelschacht unterzubringen. Die Sonden zur Erfassung chemischer Parameter sind möglichst nahe an der natürlichen Austrittsstelle anzuordnen, damit Ausgasungen oder Absetzungen die Meßergebnisse nicht verfälschen.

4.3 Verwendung gefaßter Quellen

Aus Kostengründen, aber auch wegen der hier meist vorliegenden langjährigen Messungen sollten soweit möglich vorhandene Fassungen von Wasserversorgungsanlagen als Quellmeßstellen verwendet werden. Sie müssen den für eine Meßstelle geltenden Anforderungen gemäß Abschn. 4.1 und 4.2 genügen und sind, soweit erforderlich, entsprechend umzubauen.

Dabei ist besonders darauf zu achten, daß alle Abläufe und Überläufe erfaßt werden (genaue Vor-Ort-Kontrolle, Sichten von Bestandsplänen). Im Hinblick auf Beschaffenheitsuntersuchungen ist auch zu prüfen, ob den Ausläufen, an welchen gemessen werden soll, Behälter (Stollen, Schächte) vorgeschaltet sind, die Änderungen der chemischen oder physikalischen Wasserbeschaffenheit durch Ausgasen, Absetzen oder Vermischen verschiedenartiger Zuläufe verursachen können.

Werden Quellen von Trinkwasserversorgungsanlagen genutzt, sind die besonderen hygienischen Anforderungen zu beachten, d.h. beim Einrichten der Meßstelle und bei den Messungen dürfen keinerlei Verunreinigungen eintreten.

Für sonstige gefaßte Quellen, z.B. für Wasserkraftnutzungen, den Betrieb von Zierbrunnen oder die Versorgung von Bädern gelten die vorstehenden Ausführungen sinngemäß. Längere Beobachtungsreihen liegen hier meist nicht vor; dagegen entfällt das Problem einer evtl. hygienischen Beeinträchtigung.

4.4 Verwendung ungefaßter Quellen

Je nach Meßaufgabe und Zustand der Quelle ist es auch möglich, hydrologische Untersuchungen an ungefaßten Quellen vorzunehmen. Auch zur Vorbereitung des Baues einer Quelfassung sind Schüttungsmessungen angebracht (Abschn. 4.2.1).

Um die Messungen zu ermöglichen, sind provisorische Einrichtungen ausreichend, wie z.B. Abdämmungen mit Überlaufrohr für Schüttungsmessungen und Probenahme.

Abhängig vom Ziel der Untersuchungen ist es auch erforderlich, das Einzugsgebiet der Quelle, eventuelle Umläufigkeiten oder Nebenquellen zu ermitteln.

4.5 Übernahme einer Quellmeßstelle

Nach der Fertigstellung einer neuen Quellmeßstelle oder nach der Eignungsprüfung einer bestehenden Meßeinrichtung können diese in den regelmäßigen Beobachtungsdienst übernommen werden.

Dazu sind die Stammdaten zu erheben bzw. festzulegen. Der Mindestumfang an Stammdaten ist nachstehend aufgeführt.

Bei Aufnahme des Meßbetriebes ist eine Beschaffenheitsanalyse nach der Grundwasserrichtlinie, Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit, vorzunehmen.

Empfohlener Umfang der Stammdaten für eine Quellmeßstelle

Identifizierung

Meßstellenummer

Meßstellenbezeichnung

Eigentümer

Betreiber

Verwaltungszugehörigkeit

Reg.-Bezirk
Kreis
Gemeinde
Gewässerkundliche Dienststelle

Geographische Lage

Topographische Karte
Rechtswert
Hochwert
Geodätische Höhe des Quellaustrittes
Flußgebiet

Hydrologie

Grundwasserlandschaft/Grundwasserregion
Grundwasserleiter
Einzugsgebietsgröße
Flächennutzung im Einzugsgebiet
Quellentyp (bei Quellgruppe und -linie sind weitere Informationen erforderlich)

Ausbau und Ausstattung

Nutzungsart
Fassung
Meßeinrichtungen
Meßstellenumbau
Störfaktoren

Meßprogramm

Beobachtungsbeginn Schüttung
Meßturnus Schüttung
Beobachtungsbeginn Beschaffenheit
Meßturnus Beschaffenheit

Weitere Informationen können in Ausbauplänen und Meßstellenbeschreibungen niedergelegt werden.

5 Messen und Probennahme

Je nach Art der Quelle werden Schüttung und Stoffkonzentrationen mehr oder weniger schwanken (Kap. 1 und 2). Zur Erfassung der quantitativen und qualitativen hydrologischen Vorgänge kommt es darauf an, den Meßturnus entsprechend dieser spezifischen Dynamik festzulegen.

5.1 Meßturnus

Bei der Ersterkundung einer Grundwasserregion sollten zunächst ein- oder mehrmalige Untersuchungen an möglichst vielen Quellen vorgenommen werden. Danach können geeignete Meßstellen für eine langfristige Beobachtung ausgewählt werden. Um die hydrologischen Eigenschaften an diesen Quellen anfangs genau kennenzulernen, sollten die Messungen in den ersten 2 bis 3 Jahren kontinuierlich oder in einem möglichst engen Turnus ausgeführt werden. Später kann der Zeitabstand zwischen den Untersuchungen erweitert werden. Wegen des mit kontinuierlichen Messungen verbundenen Aufwandes muß aus Gründen der Verhältnismäßigkeit teilweise auf turnusmäßige (gleiche Zeitabstände, z.B. Wochen, Monate) oder sporadische Messungen (unregelmäßig) ausgewichen werden. Außerdem können Stichtagsmessungen (mehrere Meßstellen zum gleichen Termin) durchgeführt werden. Stichtagsmessungen können auch bei besonderen Anlässen, z.B. als Reaktion der Schüttung und der Beschaffenheit auf Witterungsereignisse, vorgenommen werden.

Quellschüttung

Quellschüttungsdaten werden bei Erschließungsmaßnahmen als kontinuierliche Ganglinie benötigt. Auch für andere Zwecke ist eine Registrierung zu empfehlen; turnusmäßige Schüttungsmessungen genügen in der Regel nicht, um die hydrologischen Vorgänge genau genug zu erfassen.

Sporadische Durchflußmessungen werden im allgemeinen nur im Rahmen von Sonderprogrammen durchgeführt, bei denen spezielle Fragestellungen zur Wasserbeschaffenheit im Vordergrund stehen. Bei Meßstellen ohne kontinuierliche Schüttungsmessung ist grundsätzlich bei jeder Probennahme eine Durchflußmessung durchzuführen.

Beschaffenheit

In vielen Fällen werden turnusmäßige Messungen durchgeführt und durch sporadische ergänzt - etwa nach Starkregenereignissen.

Einige Parameter, für die entsprechende Meßsysteme entwickelt wurden, können auch kontinuierlich aufgezeichnet werden. Die Untersuchungsdichte richtet sich bei Beschaffenheitsmessungen nach den Konzentrationsschwankungen. Diese sind vielfach abhängig von der Art der Grundwasserleiter, der Grundwasserbelastung und dem Schüttungsgang.

Außer diesen fachlichen Aspekten spielt auch der Grad der Beschaffenheitsgefährdung oder der Verschmutzung bei der Festlegung des Meßturnus eine Rolle.

Belastungs- und Emittentenmeßstellen werden zum Erkennen von möglichen Schadstoffeinträgen in Gebieten mit hohem Gefährdungspotential eingesetzt. Sie verlangen im allgemeinen eine größere Meßdichte als Basis- und Trendmeßstellen, die zur Grundwassererkundung eingesetzt werden.

Nach den orientierenden Messungen der ersten Jahre sollte für jede Quelle ein geeigneter Meßturnus gewählt werden, der die natürlichen Konzentrationsschwankungen ausreichend erfaßt. Es empfiehlt sich, die Festlegung des Meßturnus in geeigneten Zeitabständen - etwa alle 5 bis 10 Jahre - zu überprüfen.

Bei hydrologisch "träge" reagierenden Quellen ist eine halbjährliche oder jährliche Beprobung als ausreichend zu betrachten. Bei größeren Schwankungen sind bis zu vier routinemäßige Untersuchungen pro Jahr zu empfehlen. Falls geogen bedingte Jahregänge in den Beschaffenheitsganglinien erkennbar sind, sollten die Meßtermine so gelegt werden, daß diese Zyklen erfaßt werden (z.B. Frühjahr, Herbst).

Insbesondere bei Untersuchungen an Belastungs- oder Emittentenmeßstellen mit großen Beschaffenheitsschwankungen ist ein besonders enger Meßturnus zu wählen. Oft empfiehlt sich der Einsatz ortsfester automatischer Meßsysteme mit wählbarem Probennahmerhythmus. Es kann ein regelmäßiger Meßturnus oder auch eine selbsttätige Probennahme bei Über- oder Unterschreiten vorgegebener Grenzwerte vorgesehen werden. Im übrigen können Mischproben verschiedener Dauer gewonnen werden (Hoch- oder Niedrigwasserereignisse, Wochen- oder Monatsmischproben). Bei manueller Probennahme sollten bei Quellen mit starken Konzentrationsschwankungen bis zu 12 Untersuchungen pro Jahr durchgeführt werden.

5.2 Messen der Quellschüttung

Für Quellschüttungsmessungen werden im allgemeinen folgende Meßverfahren eingesetzt (Tab. 2):

- Durchflußmessung
- Gefäßmessungen mit mobilen oder ortsfesten Meßgeräten (Einzelmessungen)
- Flügelmessungen (Einzelmessungen)
- Registrierung mit Wasserzählern oder mit induktivem Durchflußmesser
- Wasserstandsmessung an Pegeln
- Registrierung an Meßwehren oder Venturigerinnen

Zur Erfassung der Daten kann ein Beleg nach Anlg. 1 Verwendung finden.

Bei Einsatz von Pegeln werden die Wasserstandswerte über Wasserstand-Abfluß-Beziehungen (W/Q-Beziehungen) zu Abflüssen umgerechnet. W/Q-Beziehungen sind Linien, die die Ergebnisse von Durchflußmessungen bei verschiedenen Wasserständen im Diagramm ausgleichen (Kap. 3).

Pegelbeobachtung

In der Anlage B der Pegelvorschrift werden konkrete Anweisungen zur Beobachtung der Pegel festgelegt. Dort wird vorgeschrieben, daß Pegel von ausgewiesenen Personen (Pegelbeobachtern) beobachtet werden müssen. Bei Registrierpegeln sind je nach Art der ergänzenden Einrichtungen unterschiedliche Hinweise beim Meßstellenbetrieb zu beachten. Zur Wartung der Pegelanlagen gibt es Vorschriften für den Pegelbeobachter und auch für den Anlagenbetreiber, der die Wasserstandserfassung zu überwachen hat. Die Wartung der Geräte richtet sich nach den Betriebsanleitungen der Herstellerfirmen.

Zur Unterhaltung der Meßanlagen wird in der Pegelvorschrift festgelegt, daß ein Pegel (einschließlich seiner Festpunkte) und das Gewässerbett im Meßstellenbereich regelmäßig kontrolliert werden müssen.

Durchführung von Durchflußmessungen

Anlage D der Pegelvorschrift enthält Anweisungen für die Durchführung von Abflußmessungen und -ermittlungen. Die Vorschriften beziehen sich u.a. auf die Durchführung von Messungen mit Meßflügeln, Meßgefäßen, Schwimmern, Markierungsstoffen und Ultraschallmeßanlagen. Abflußermittlungen können mittels hydraulischer Verfahren an Meßbauwerken und an Staustufen durchgeführt werden. Dazu werden Festlegungen zum Betrieb dieser Meßanlagen gegeben. Auf sonstige Meßverfahren, darunter auch Durchflußmessungen in Rohrleitungen (z.B. Wasserzähler, induktive Durchflußmesser) wird kurz eingegangen. Die Aufstellung von Wasserstand-Abfluß-Beziehungen (Abflußkurve, W/Q-Beziehung) wird eingehend erläutert. Es werden Anweisungen zur Anwendung der Beziehung bei der Ermittlung von Abflüssen aus gemessenen Wasserständen gegeben.

Gefäßmessungen mit kurzen Füllzeiten (< 1 min) sind mindestens dreimal hintereinander durchzuführen. Als Meßwert gilt das arithmetische Mittel der Messungen, dieser Wert ist in den Erfassungsbeleg einzutragen. Damit bei der Zeitmessung keine in der Person des Messenden liegenden systematischen Fehler auftreten, sind gelegentlich Kontrollen durch eine zweite Person erforderlich.

Bei Quellfassungen der Wasserversorgung werden Teilabflüsse manchmal in oberirdische Gewässer abgeleitet. Wenn derartige Quellen für hydrologische Untersuchungen herangezogen werden, sind die Teilabflüsse ebenfalls zu messen.

Kontrolle der Meßeinrichtungen

Die Meßeinrichtungen, insbesondere die Überfallkanten von Meßwehren mit geringen Abmessungen, können von Algen und Moosen überwachsen werden. Dadurch ändern sich die Wasserstands-/Abflußbeziehungen. Die Meßeinrichtungen sind vom Pegelbeobachter bei jedem Kontrollgang auf Störungen zu untersuchen, ggf. zu säubern. Die Entfernung von Hindernissen ist im Erfassungsbeleg zu vermerken. Dazu gehört auch das Entfernen von Auflandungen z.B. in den Wehrkästen. Weitere Ursachen für Veränderungen der W/Q-Beziehungen können z.B. in einer Verformung des Meßblechs oder in einer Änderung der Oberflächenrauigkeit der Wandungen begründet sein. Eine aufmerksame Sichtkontrolle der Meßeinrichtungen ist daher erforderlich.

Die vom Hersteller gelieferten W/Q-Beziehungen für Meßwehre oder Venturigerinne sind nach Einrichtung der Meßstelle sowie während des nachfolgenden Meßbetriebs in geeigneten Zeitabständen zu überprüfen. Dabei sind die Ergebnisse von Abflußmessungen bei verschiedenen Wasserständen mit den bis dahin benutzten Abflußkurven zu vergleichen, evtl. sind die Wasserstand-Abflußkurven zu verbessern. Meßeinrichtungen, bei denen relativ oft Abweichungen bei Überprüfungen der Abflußbeziehungen festgestellt werden, sind häufiger zu kontrollieren (Abschn. 3.1.2).

Kalibrierung der Meßgeräte

Zur hydrometrischen Kalibrierung von Meßeinrichtungen, von Registriergeräten und Meßgefäßen sind Meßverfahren einzusetzen, die eine höhere Genauigkeit als die zur Routinemessung verwendeten Methoden aufweisen. Stechpegel sind wegen ihrer hohen Meßgenauigkeit bei Wasserstandsmessungen besonders für diesen Zweck geeignet. Es wird jedoch eine Einrichtung benötigt, die eine präzise Einhängung des Stechpegels ermöglicht, so daß der Aufhängepunkt immer exakt auf einer festgelegten Höhe liegt.

Die Schüttung von Quellen, die zur Wasserversorgung genutzt werden, wird im allgemeinen in Rohrleitungen gemessen (Wasserzähler, magnetisch-induktive Durchflußmesser). Wasserzähler können in ihrer Meßgenauigkeit von der Wasserbeschaffenheit (z.B. Kalk, Eisen- und Manganausfällungen, Feststoffe) stark beeinflusst werden; Sie sind nach ihrer Installation zunächst jährlich zu kontrollieren. Danach ist ein Kontrollturnus zu wählen, der die bisherige Störanfälligkeit ausreichend berücksichtigt.

5.3 Quellwasserbeschaffenheit

Entnahme von Proben

Da die Quelluntersuchung im Rahmen der Grundwassererkundung und -überwachung durchgeführt wird, werden das Meßprogramm, die Parameterliste und die Analysenverfahren gemäß Grundwasserrichtlinie, Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit, angewendet (Anlg. 2). Für die Qualitätssicherung der Proben gelten ebenfalls die in dieser Richtlinie festgelegten Maßnahmen bei Probennahme, Befüllen der Probenflaschen, Probenkonservierung, Probentransport, Probenvorbehandlung und Feldmessung (DVWK 1992).

Die Wasserprobe muß möglichst nahe am Austritt gewonnen werden. Beim Verschließen der Flasche ist darauf zu achten, daß sich unter dem Verschuß keine Luftblasen bilden.

Bei nichtgefaßten natürlichen Quellen mit starker Schüttung wird die Probennahme nach den bei oberirdischen Gewässern angewendeten Regeln durchgeführt. Bei Grundquellen bietet der Ruttner-Schöpfer eine gute Möglichkeit für eine fachgerechte Probennahme.

Kontrolle und Wartung der Meßgeräte

Vor dem Einsatz von Probennahmegeräten sind alle mit Wasser in Berührung kommenden Teile auf Verschmutzung zu kontrollieren und bei Bedarf auszuwechseln oder mit dem zu untersuchenden Wasser zu reinigen.

Bei nicht netzversorgten Meß- und Probennahmegeräten ist darauf zu achten, daß die zum Betrieb notwendigen Akkus und Preßluftflaschen rechtzeitig ersetzt werden.

Beim Einsatz tragbarer oder stationärer Meßsonden (z.B. zur Erfassung von gelöstem Sauerstoff, pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit, Wassertemperatur) ist die Reinigung der Elektroden und die Kalibrierung der Meßgeräte in den vom Hersteller vorgegebenen Abständen durchzuführen.

Kalibrierung der Meßgeräte

Die Meßgeräte werden in der Regel nach den Angaben der Hersteller kalibriert. Bei der Sauerstoffmessung ist auf die Einhaltung der Regenerierintervalle und bei der pH-Messung auf die Lebensdauer der Elektrode zu achten. Die Elektroden sollten vor Ablauf dieser Zeiten regeneriert bzw. ersetzt werden (DVWK 1992). Die Kalibrierung der Meßgeräte ist zu protokollieren.

5.4 Meßwerterfassung

Bei Durchflußmessungen mit dem Meßflügel sind Protokolle gemäß den in der Pegelvorschrift vorgeschriebenen Formblättern zu führen. Bei Gefäßmessungen und Wasserzählern kann das Formblatt in der Anlg. 1 verwendet werden.

Das Protokoll für die Probennahme in der Anlg. 2 entspricht dem Formblatt für die Grundwasserbeschaffenheit (Grundwasserrichtlinie, Teil 3 - Beschaffenheit).

5.5 Einweisung und Betreuung des Beobachters und des Probennehmers

Die Probennahme wird im Rahmen des gewässerkundlichen Landesdienstes vom Personal der staatlichen Fachbehörden, zur Rohwasserüberwachung von dem Wasserversorgungsunternehmen oder bei anderen Zweckbestimmungen (z.B. Beweissicherung, Deponieüberwachung) von den dafür zuständigen Behörden/Stellen durchgeführt.

Die einzusetzenden Probennehmer sind sorgfältig in ihre Aufgaben einzuweisen. Die vor Ort angewendeten Meßpraktiken sind seitens der Behörden der gewässerkundlichen Landesdienste laufend zu kontrollieren. Die Verwendung neuer Meßgeräte und Untersuchungsmethoden verlangt routinemäßig zu wiederholende Schulungen.

Bei der Prüfung und Aufbereitung der Meßwerte sind alle Informationen, die protokollgemäß vor Ort oder im Labor festgehalten wurden, zu berücksichtigen. Für einen reibungslosen und zügigen Informationsfluß ist zu sorgen. Es empfiehlt sich,

die Prüfung und Aufbereitung der Meßdaten möglichst zeitnah im Anschluß an die Messungen durchzuführen, damit ggf. auftretende Ungereimtheiten unter Umständen noch über zusätzliche Informationen aus der Erinnerung der Probennehmer geklärt werden können.

6 Prüfen und Aufbereiten

6.1 Prüfung

Die Stamm- und Meßdaten sind auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu prüfen, bevor mit der Aufbereitung begonnen wird. Für die Prüfung kann eine teilweise Aufbereitung der Rohdaten, z.B. das Erstellen von Ganglinien, zweckmäßig sein.

Prüfung und Aufbereitung müssen zeitnah zur Messung erfolgen, damit Meßfehler, Analysenfehler oder Veränderungen an der Meßstelle möglichst früh erkannt werden. Dadurch ist zum einen die Korrektur zurückliegender Messungen erleichtert, zum andern die weitgehende Fehlerfreiheit künftiger Messungen gewährleistet. Den Ursachen der festgestellten Fehler und Lücken ist nachzugehen und für umgehende Beseitigung zu sorgen.

6.1.1 Stammdaten

Die beim Einrichten der Meßstelle erhobenen Stammdaten (Abschn. 4.5) sind bei Änderungen an der Meßstelle unverzüglich zu ergänzen. Sie sind routinemäßig auf Vollständigkeit und sachliche Richtigkeit zu prüfen.

6.1.2 Meßdaten

An Quellmeßstellen werden Schüttungswerte und die Werte von chemischen und physikalischen Beschaffenheitsparametern erfaßt. Die Werte werden in Erfassungsbelege bzw. Analysenformularen eingetragen, bei automatischer Meßwertfassung auf Diagrammbögen aufgezeichnet oder als digitale Werte gespeichert (Datensammler). Sie werden als Listen oder Ganglinien ausgedruckt bzw. am Bildschirm dargestellt. Die Meßwertprüfung erstreckt sich auf diese Erfassungsbelege, Listen und EDV-Darstellungen.

Anleitungen zum Prüfen von Meßbelegen und Daten enthalten die Teile 1 bis 3 der Grundwasserrichtlinie, die sinngemäß oder unmittelbar angewandt werden können. Nachfolgend werden die einschlägigen Kapitel der Richtlinie genannt und, soweit erforderlich, für Quellmeßstellen ergänzt.

Prüfung der Schüttungsdaten

Bei der Prüfung der Schüttungsdaten kann Abschn. 7.1 der Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand, sinngemäß angewandt werden. Die Pegelvorschrift gibt keine Hinweise zur Prüfung von Abflußdaten. Bei vergleichbaren hydrogeologischen Voraussetzungen können die Schüttungsdaten mit Hilfe der Aufzeichnungen benachbarter Quellen ergänzt oder korrigiert werden. Dazu werden Bezugskurven (Kap. 7) in sinngemäßer Anwendung von Abschn. 8.1 der Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand, aufgestellt.

Prüfung der Beschaffenheitsdaten

Die Prüfung der Temperaturdaten ist in Abschn. 6.1 der Grundwasserrichtlinie, Teil 2 - Grundwassertemperatur, beschrieben, die Prüfung der übrigen Beschaffenheitsdaten in Abschn. 7.1 der Grundwasserrichtlinie, Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit.

Bei Quellen, die aus oberflächennahem Grundwasser gespeist werden, ist mit größeren Schwankungen der Temperatur- und anderer Beschaffenheitswerte zu rechnen. Konzentrationsspannen als Hilfsmittel der Einzelwertprüfung können nur bei geogenen Inhaltsstoffen und erst nach mehrjähriger Untersuchung einer Quelle festgelegt werden, sofern nicht aus anderen Beobachtungen desselben Grundwasserleiters typische Konzentrationsspannen bekannt sind.

Die Temperatur- und sonstigen Beschaffenheitsdaten sollten stets anhand der Ganglinien auf Plausibilität geprüft werden.

6.2 Aufbereitung

Durch Aufbereitung werden die geprüften Daten jeder Meßstelle in eine zur unmittelbaren oder weitergehenden Auswertung geeignete Form gebracht.

Kontinuierlich oder turnusmäßig gemessene Quellschüttungswerte (Abschn. 5.1) werden in Form von Quellschüttungslisten, Haupttabellen und Ganglinien aufbereitet. Beim Erstellen dieser Auswertungen kann Abschn. 7.2 der Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand, sinngemäß angewandt werden. Sporadische Schüttungsmessungen werden nur in Listen aufgezeichnet.

Die Schüttungen in m^3/s oder l/s werden der Pegelvorschrift gemäß mit drei gültigen Ziffern angegeben (z.B. 2,53 m^3/s); bei Werten unter 1 m^3/s werden drei Stellen nach dem Komma angegeben.

Wenn die kontinuierliche Quellschüttungsmessung indirekt über den Wasserstand an Wehren, Überfällen oder Gerinnen erfolgt, sind für die Aufbereitung Abflußkurven nach Abschn. 4.2 des Stammtextes der Pegelvorschrift festzulegen.

Die Aufbereitung der Beschaffenheitsdaten von Quellen richtet sich nach Abschn. 7.2 der Grundwasserrichtlinie, Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit.

7 Auswertung, Darstellung und Archivierung

Die Auswertung der Meßdaten hat zu berücksichtigen, daß einer Quelle ein mehr oder weniger großes Einzugsgebiet zugeordnet ist (Kap. 1). Das bedeutet u.a. auch, daß eine Interpolation von Meßdaten zwischen einzelnen Quellen im allgemeinen unzulässig ist.

Tabelle 4: Übersicht über die wichtigsten Verfahren zur Auswertung von Schüttungs- und Beschaffenheitsdaten

Fragestellung		Verfahren
1	Gewässerkunde	
1.1	Gewässerkundliche Charakteristik der Quellschüttung	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse der Schüttungsganglinie (7.1.1) und physikalisch-chemischer Parameter - Erstellung von Bezugskurven (7.1.3) - Ermittlung statistischer Größen (7.1.6) - Ermittlung von Schüttungsquotienten (7.1.6) - Wahrscheinlichkeitsverteilungen (7.1.6)
1.2	Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse der Schüttungsganglinie (7.1.1) in Verbindung mit - Auswertung des Temperaturverhaltens - Auswertung der Beschaffenheit des Grundwassers (7.2)
1.3	Ermittlung der Höhe der Grundwasserneubildung	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse der Schüttungsganglinie bei abgrenzbarem Einzugsgebiet (7.1.1)
1.4	Ermittlung hydrogeologischer/geo-hydraulischer Zusammenhänge zwischen verschiedenen Grundwasserleitern	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse der Schüttungsganglinie (7.1.1) in Verbindung mit - Verfahren von MAILLET (7.1.4) - Auswertung der Beschaffenheit des Quellwassers (7.2)
1.5	Ermittlung geohydraulischer Kennwerte des Grundwasserleiters	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse der Schüttungsganglinie (7.1.1) - Korrelation der Schüttungsganglinie (7.1.1) - Verfahren von MAILLET (7.1.4) - Ermittlung von Schüttungsquotienten bzw. -schwankungsziffern (7.1.6)
2	Überwachung	
2.1	Wasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> - Vergleich von Schüttungsganglinien (7.1.1) - Vergleich von standardisierten Schüttungsganglinien (7.1.1) - Erstellung von Bezugskurven (7.1.3)
2.2	Grundwasserbeschaffenheit	<ul style="list-style-type: none"> - Vergleich statistischer Maßzahlen (7.1.6) - Auswertung von Konzentrationsganglinien (7.2) - Häufigkeitsverteilung (7.2) - statistische Maßzahlen (7.2) - Darstellung als Balken- und Kreis-Diagramm (7.2) - Darstellung als PIPER-Diagramm (7.2) - Anwendung der Faktorenanalyse (7.2) - Krigeage (7.2) - Cluster-Analyse (7.2)
3	Grundwassernutzung	
3.1	Ermittlung der Ergiebigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse der Schüttungsganglinie (7.1.1) - Verfahren von MAILLET (7.1.4) - Erstellung einer Dauerlinie (7.1.5) - Ermittlung von Schüttungsquotienten (7.1.6) - Ermittlung statistischer Größen (7.1.6) - Wahrscheinlichkeitsverteilung (7.1.6)
3.2	Beurteilung der Beschaffenheit im Hinblick auf geplante Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Auswertung von Konzentrationsganglinien (7.2) - Darstellung als Balken- und Kreisdiagramm (7.2)

Da Quellen natürliche Grundwasseraustritte sind, müssen die Meßdaten mit den geologischen Verhältnissen und den daraus abzuleitenden hydrogeologischen Gegebenheiten verknüpft sein. Die Auswertung der Meßdaten erfordert daher in einem hohen Maße geowissenschaftliche Kenntnisse. Das gilt speziell für die heterogenen und anisotropen Kluft- bzw. Karstgrundwasserleiter.

Die nachfolgenden Auswerteverfahren beziehen sich nur auf die üblichen Meßdaten (Schüttung, Temperatur, Beschaffenheit). Die Beantwortung spezieller Fragestellungen, wie z.B. die Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes einer Quelle, erfordert in der Regel weitergehende Untersuchungen, wie u.a. Markierungsversuche.

Die Auswertung der Meßdaten und die Art ihrer Darstellung sind im wesentlichen abhängig von wasserwirtschaftlichen Fragestellungen; sie können vor allem folgende Bereiche betreffen:

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Gewässerkunde | Ermittlung des Grundwasserhaushaltes, Abgrenzung von unterirdischen Einzugsgebieten, Beschreibung der Speicher- und Leitereigenschaften der Gesteine |
| 2. Grundwasserüberwachung | Nachweis der Veränderung der Quellschüttung und der Grundwasserbeschaffenheit durch anthropogene Eingriffe |
| 3. Grundwassernutzung | Ergiebigkeit von Quellen, Langzeitverhalten der Schüttung, Beschaffenheit |

Die jeweils geeigneten Auswerteverfahren sind in Tab. 4 zusammengestellt.

7.1 Quantitative Meßwerte

Die Analyse der Schüttungsganglinie einer Quelle ist das häufigste Auswertungsverfahren (Tab. 4). Von Bedeutung sind auch die Erstellung von Bezugskurven, die Auswertung des Auslaufs eines Grundwasserspeichers während Zeiträumen ohne Grundwasserneubildung und die Darstellung der Abflüsse in Form einer Dauerlinie. Im Gegensatz zu statistischen Hauptzahlen kommen weitergehende statistische Verfahren im allgemeinen nur untergeordnet zur Anwendung.

7.1.1 Analyse der Schüttungsganglinie

Das Schüttungsverhalten von Quellen läßt sich am einfachsten in Form von Ganglinien nachvollziehen (Abb. 15). Um die Schwankung der Schüttung in Abhängigkeit von Grundwasserneubildungsprozessen deutlich erkennbar zu machen, sollte die Darstellung durch Meßwerte des Niederschlags und anderer meteorologischer Größen ergänzt werden; auch Hinweise auf die Schneeschmelze sind notwendig.

Die Gangliniendarstellung gestattet weiterhin das rasche Erkennen von anthropogenen Eingriffen in das Abflußgeschehen. Die Störeinflüsse werden besonders auffällig, wenn die Ganglinien mehrerer Quellen der gleichen hydrogeologischen Einheit miteinander verglichen werden, von denen wenigstens eine von keiner Veränderung betroffen ist. Der Vergleich kann entweder direkt erfolgen oder in Form von Differenzganglinien. Wenn die Schwankungen der Einzelwerte um den Mittelwert sehr unterschiedlich sind, werden **standardisierte Ganglinien**, die aus der Differenz dimensionsloser Ganglinien (Streuung $s = 1$) abgeleitet werden, empfohlen (Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand).

7.1.2 Korrelations- und Regressionsrechnungen

Wenn davon ausgegangen wird, daß ein enger Zusammenhang zwischen der Schüttung einer Quelle und Größen besteht, die entweder Einfluß auf das Schüttungsverhalten haben (z.B. Grundwasserstand/Quellschüttung) oder umgekehrt ihrerseits von der Schüttung einer Quelle beeinflußt werden (z.B. Quellschüttung bzw. Abfluß in einem Fließgewässer), wird wegen der bestehenden Linearität der hydrologischen Abhängigkeit ein einfaches Korrelationsverfahren empfohlen (Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand).

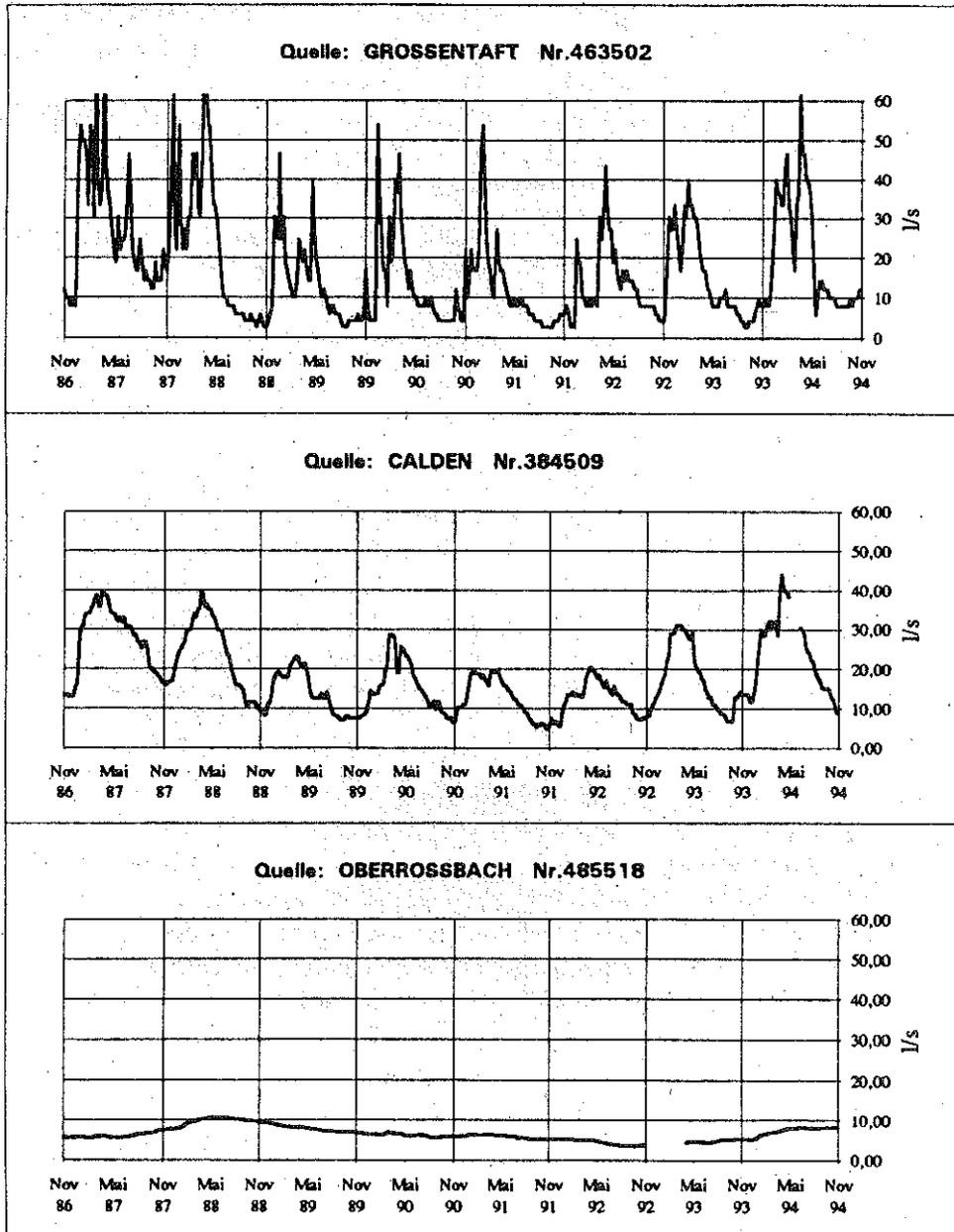


Abb. 15: Schüttungsverhalten in Abhängigkeit vom Grundwasserleiter (wöchentlicher Meßturnus); Quelle Großentaft: Kalkstein, stark verkarstet Calden: Kalkstein, wenig verkarstet; Oberrossbach: Lockergestein

Wenn sich eine hydrologische Größe auf eine andere verzögert auswirkt, wie z.B. Niederschlag auf eine Quellschüttung, kann das Ausmaß dieser zeitlichen Verschiebung mittels Kreuzkorrelation bestimmt werden; darunter wird die Korrelation der Eingangsgröße mit der jeweils um ein konstantes Zeitintervall versetzten Ausgangsgröße verstanden. Insbesondere die Lage des Maximums gibt eine gebietsspezifische Auskunft über das Speichervermögen des Untergrundes. Es wird jedoch darauf hingewiesen, daß die beiden hydrologischen Größen auch überlagert sein können durch Einflüsse, wie z.B. Prozesse der Grundwasserneubildung oder speicherwirksame Vorgänge, so daß der Kreuzkorrelationskoeffizient unter 0,7 absinkt.

Eine Quellschüttung kann auch autokorreliert werden, z.B. durch Vergleich aufeinanderfolgender Wochenmittel (Abb. 16). Das Autokorrelogramm vermittelt einen Einblick in die Retentionskapazität des Untergrundes (EBHARDT 1980). Je flacher die Kurve ist, desto größer ist die Retentionskapazität.

Liegt ein linearer Trend in einer Zeitreihe vor, läßt sich eine Regressionsrechnung durchführen (Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand). Der Zusammenhang muß durch eine Korrelationsrechnung nachgewiesen werden. Trenduntersuchungen liefern nur Aussagen über den durch Meßwerte belegten Zeitraum; dieser Zeitraum darf nicht zu kurz sein. Wenn die Meßwerte durch Einzelereignisse verändert wurden, besteht die Gefahr einer Fehlinterpretation; daher werden andere Verfahren empfohlen (Bezugskurven).

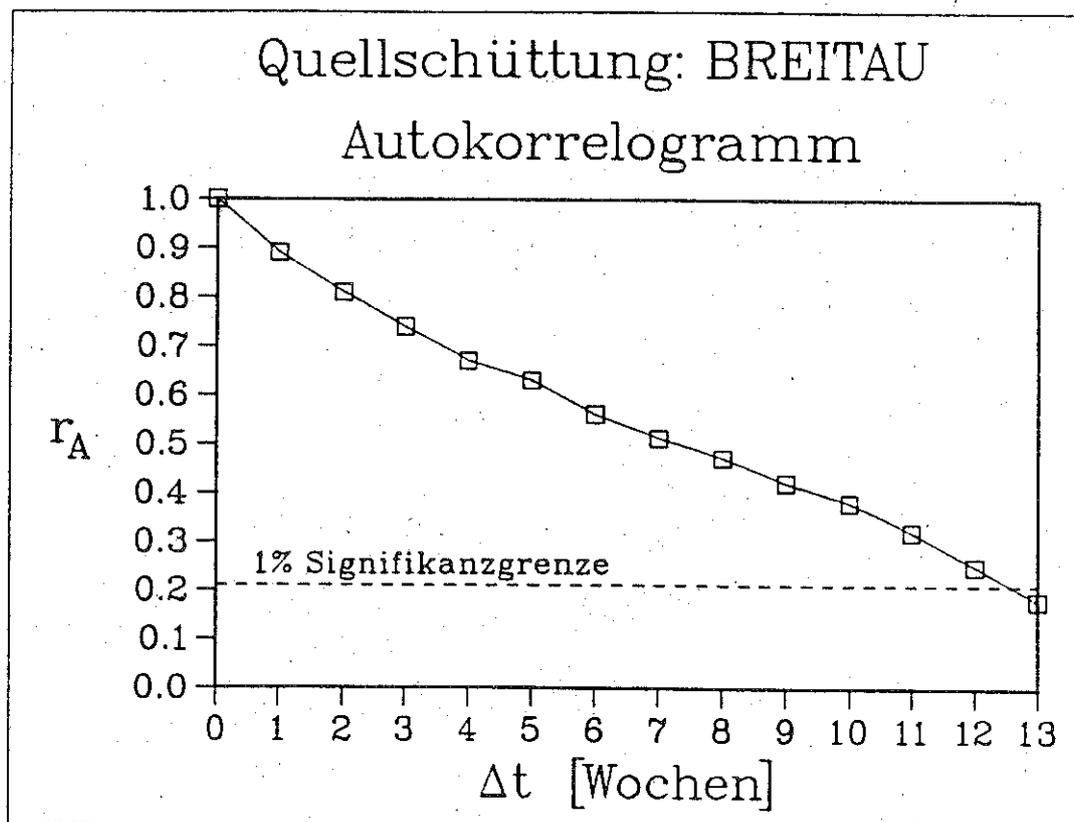


Abb. 16: Autokorrelation; Verschiebung der Schüttung der Karstquelle Kressenteich/Breittau um jeweils eine Woche (Korrelationskoeffizient in Abhängigkeit von der Zeitverschiebung)

7.1.3 Bezugskurven

Mittels Auftragen von Werten unterschiedlicher Datenkollektive gegeneinander lassen sich durch das graphische Verfahren der Bezugskurven vielfach hydrologische Zusammenhänge besser erkennen als durch eine Rechnung, zumal diese aufwendig sein kann und u.U. viele Annahmen voraussetzt.

Um eine Bezugskurve zu erhalten, können entweder zeitgleiche oder bei entsprechender Zeitspanne zwischen Ursache und Wirkung (z.B. Einfluß von Niederschlagsereignissen auf die Schüttung) auch zeitverschiedene Meßgrößen in einem Koordinatensystem gegeneinander aufgetragen werden.

Eine große Bedeutung hat auch das Verfahren der Doppelsummenkurve (Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand), das den Zeitpunkt und den Umfang einer allmählichen oder sprunghaften Veränderung in der Beziehung zweier hydrologischer Größen besonders gut erkennen läßt.

7.1.4 Analyse des Trockenwetterauslaufs

Das Verfahren von MAILLET ist geeignet, graphisch aus einer Schüttungsganglinie die Entleerung eines (quasi-)homogenen Gesteinskörpers während einer längeren Trockenwetterperiode zu bestimmen. Es beruht darauf, daß sich diese Entleerung als e-Funktion beschreiben läßt, wenn der Speicherraum nicht durch zuzukerndes Wasser ergänzt wird. Die MAILLET-Beziehung lautet:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Die Quellschüttung Q_0 zum Zeitpunkt $t = 0$ ergibt sich bei semilogarithmischer Auftragung der Quellschüttung gegen die Zeitachse (x-Achse) aus dem Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden durch die Einzelwerte mit der y-Achse. Die zusammengehörenden Werte für Q_t und t (Abfluß Q_t zum Zeitpunkt t in Tagen) lassen sich ebenfalls aus der Ausgleichsgeraden ermitteln. Der Leerlaufkoeffizient α errechnet sich aus:

$$\alpha = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_t}{t} \quad \text{bzw.} \quad \alpha = 2,303 \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{t} \quad [d^{-1}]$$

Der Koeffizient α ist um so größer, je geringer das nutzbare Hohlraumvolumen ist und je größer die Querschnitte der entwässerbaren Klüfte sind (Abb. 17). Einflußfaktoren sind weiterhin die Größe des Einzugsgebietes und das hydraulische Gefälle. Die Trockenwetterauslauflinie kann bei stärkerer Heterogenität des Kluftnetzes mehrere Knickpunkte aufweisen.

Ist das Volumen (V) des Grundwasserraums zum Zeitpunkt t_0 im Einzugsgebiet bekannt, läßt sich das nutzbare Hohlraumvolumen n_e aus

$$n_e = \frac{Q_0}{\alpha \cdot V}$$

ermitteln.

Verteilung vor, die Voraussetzung für die Anwendung vieler statistischer Verfahren ist. Am ehesten brauchbar sind WEIBULL-, PEARSON- und LOG PEARSON III-Verteilungen (Abb. 19); dabei sollte die auf Wahrscheinlichkeitspapier aufgetragene Meßwertfolge zusätzlich visuell beurteilt werden.

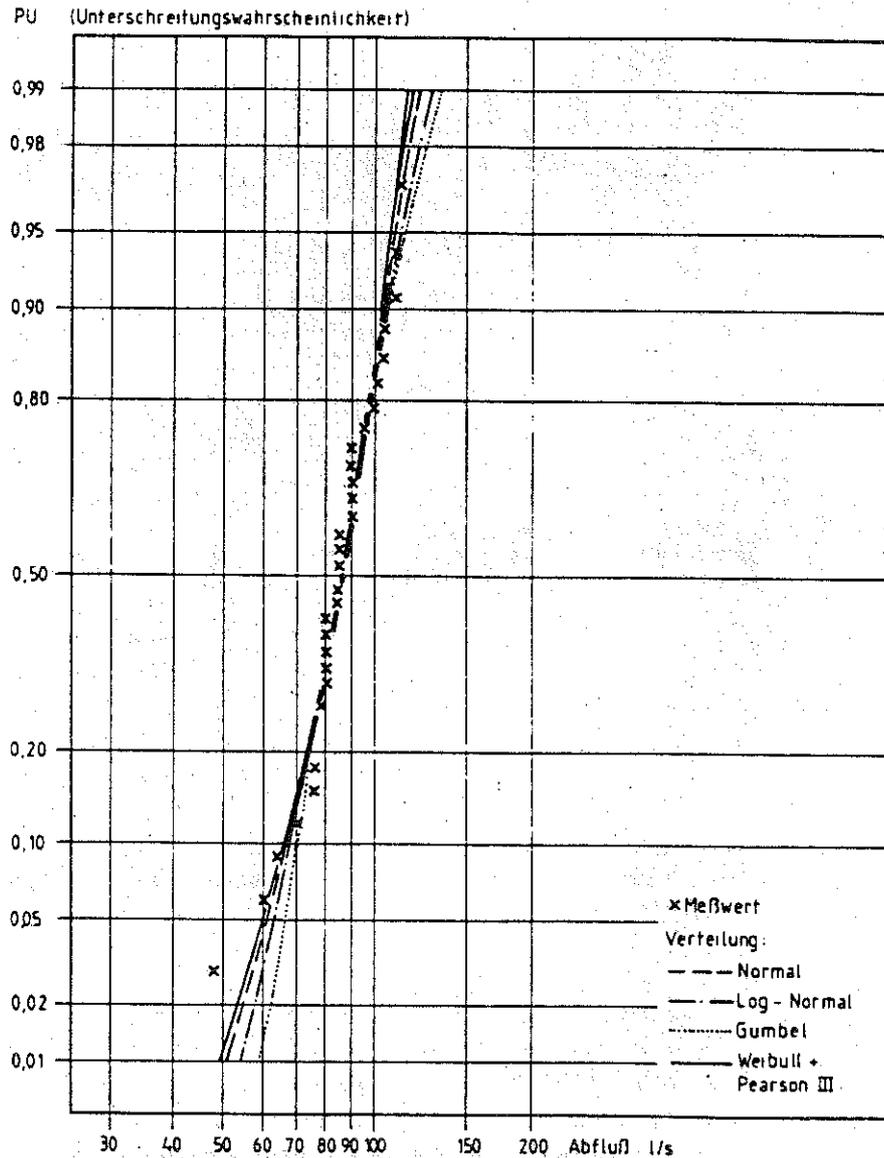


Abb. 19: Niedrigwasserwahrscheinlichkeit der Schüttung der Quelle Kressenteich/Breitau (Jahres-NQ der Jahre 1961 - 1992)

7.2 Qualitative Meßwerte

Die wichtigsten Zielvorgaben der Auswertung qualitativer Meßwerte sind die allgemeine Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit (Monitoring), die geohydrochemische Typisierung des Grundwassers und daraus folgend die Abgrenzung der Grundwasserregionen und die Abklärung geohydraulischer Fragestellungen.

gen (Tab. 4). Im Falle punktförmiger Grundwasserkontaminationen (Kap. 2) ist die Beweisführung mittels Quellen schwierig.

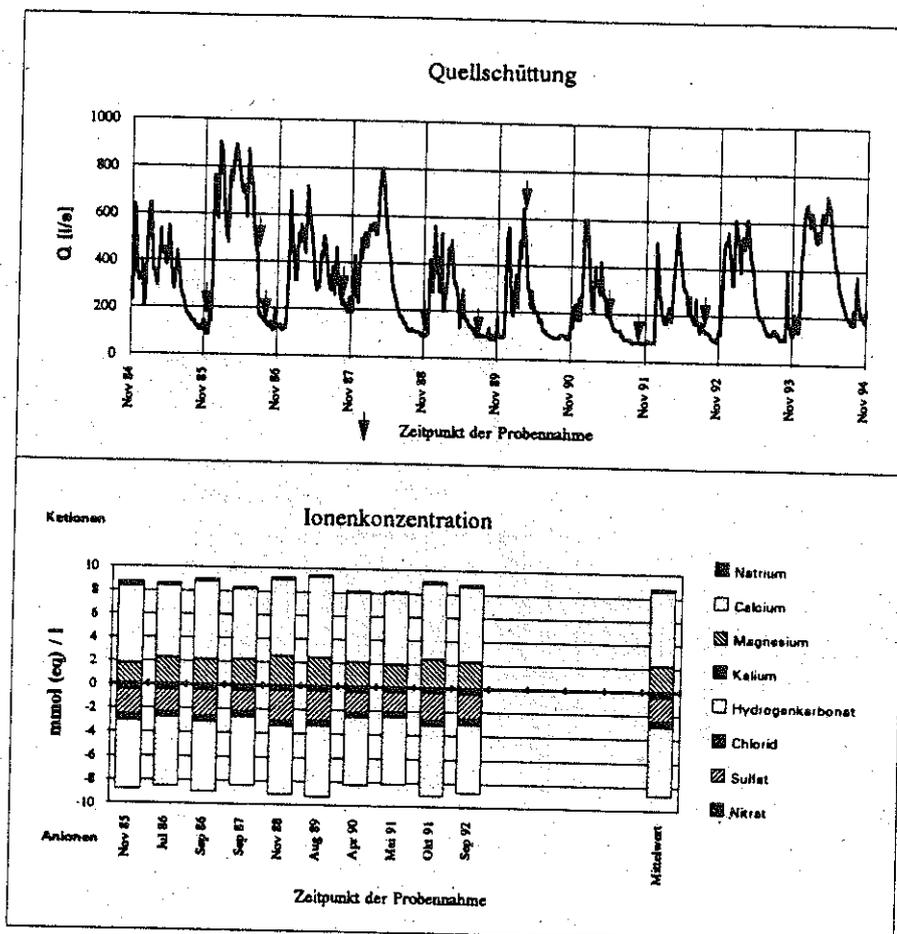


Abb. 20: Kressenteichquelle/Breitau: Schüttungsganglinie in Verbindung mit Ionenäquivalenten in Säulenform

Prinzipiell können die meisten der in der Grundwasserrichtlinie, Teil 3 - Beschaffenheit, und in den DVWK-Schriften Heft 89 (1990) zusammenfassend behandelten Auswerteverfahren auch für Quellwässer angewendet werden. Allerdings ist zu bedenken, daß wegen des hydraulischen Anschlusses einer mehr oder weniger großen Fläche an einen Quellaustritt die Meßwerte nicht punktuell interpretiert werden können und außerdem auch keine Aussagen zur vertikalen Verteilung von Inhaltsstoffen im Grundwasserraum möglich sind. Diese Einschränkungen betreffen letztlich auch die graphische Darstellung der Meßwerte; so ist z.B. eine in sich wieder differenzierte Flächendarstellung wie im Falle von Grundwassermeßstellen nicht sinnvoll.

Um Häufigkeitsverteilungen zu erkennen, können die Meßwerte in Form von Histogrammen dargestellt werden. Wesentlich seltener sind die den Einsatz der EDV voraussetzenden Cluster- oder Faktorenanalysen sowie Krigeage; diese Verfahren bieten sich u.a. an, um Quellwässer zusammenzufassen, die einen Bezug zu einem bestimmten Grundwasserleiter haben.

Anwendung findet in der Praxis auch die geohydrochemische Typisierung von Quellwässern als einfache oder doppelte Säulendarstellung (Abb. 20), Kreisdarstellung (Abb. 21) oder Sammeldiagramm wie Dreieck- oder PIPER-Diagramm.

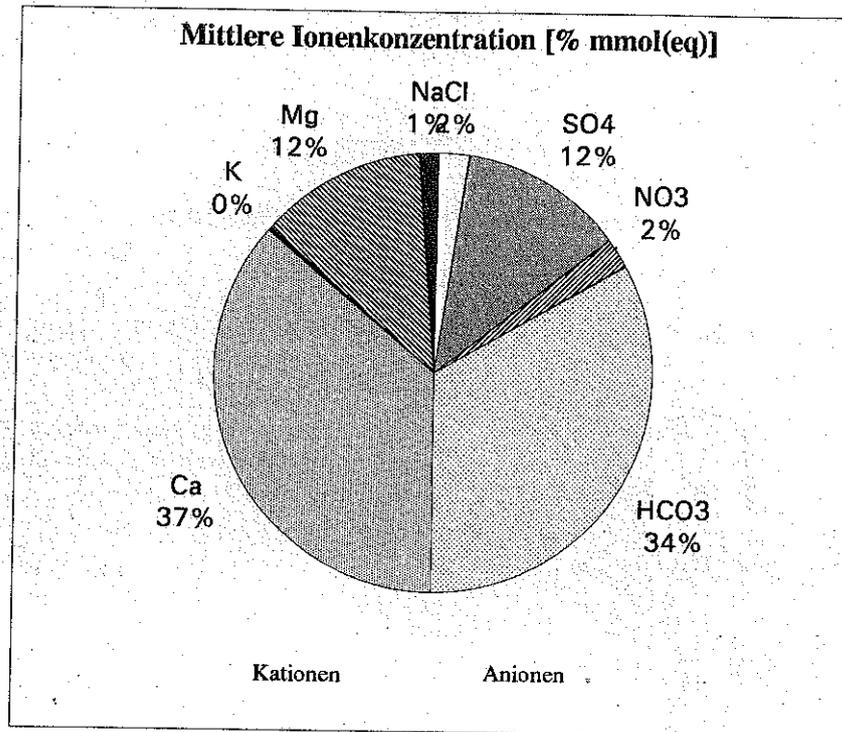


Abb. 21: Kressenteichquelle/Breitau: Darstellung der Ionenäquivalente als Kreis

Eine häufige Form der Darstellung von Meßwerten sind Zeitreihen von Ionenkonzentrationen. Ganglinien mehrerer Parameter können in einer Darstellung gebracht werden, wobei immer zu prüfen ist, ob eine Verbindung der Meßpunkte durch eine durchgehende Linie fachlich zu vertreten ist. Oft werden Schüttungsganglinien und die Darstellung von Wasserinhaltsstoffen miteinander kombiniert, um z.B. die Veränderung des Musters von Inhaltsstoffen im Zusammenhang mit Niederschlags- bzw. Grundwasserneubildungsereignissen (Kap. 1) zu dokumentieren (Abb. 22).

Die geringe Zahl von Quellen, die sich in der Beschaffenheit der Quellwässer widerspiegelnde Komplexität der geochemischen und hydraulischen Eigenschaften der Gesteine und die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Probengewinnung lassen eine Darstellung von Wasserinhaltsstoffen in Form von Linien gleicher Konzentration (Isokonzen) nicht zu.

7.3 Archivierung und Datensicherung

Für spätere Überprüfungen sind neben den korrigierten bzw. geprüften Daten auch die Originaldaten zu archivieren.

Für die Sicherung der Daten sind EDV-gerechte Rahmenbedingungen ausschlaggebend. Der Zugriff auf Daten ist besonders abzusichern.

Weitergehende Hinweise zur Datensicherung können der Grundwasserrichtlinie, Teil 1 - Grundwasserstand, entnommen werden.

Für die Aufbewahrung und Sicherung von Daten der Quellschüttung und der Beschaffenheit sind datenschutzrechtliche Bestimmungen des Bundes und der Länder zu beachten.

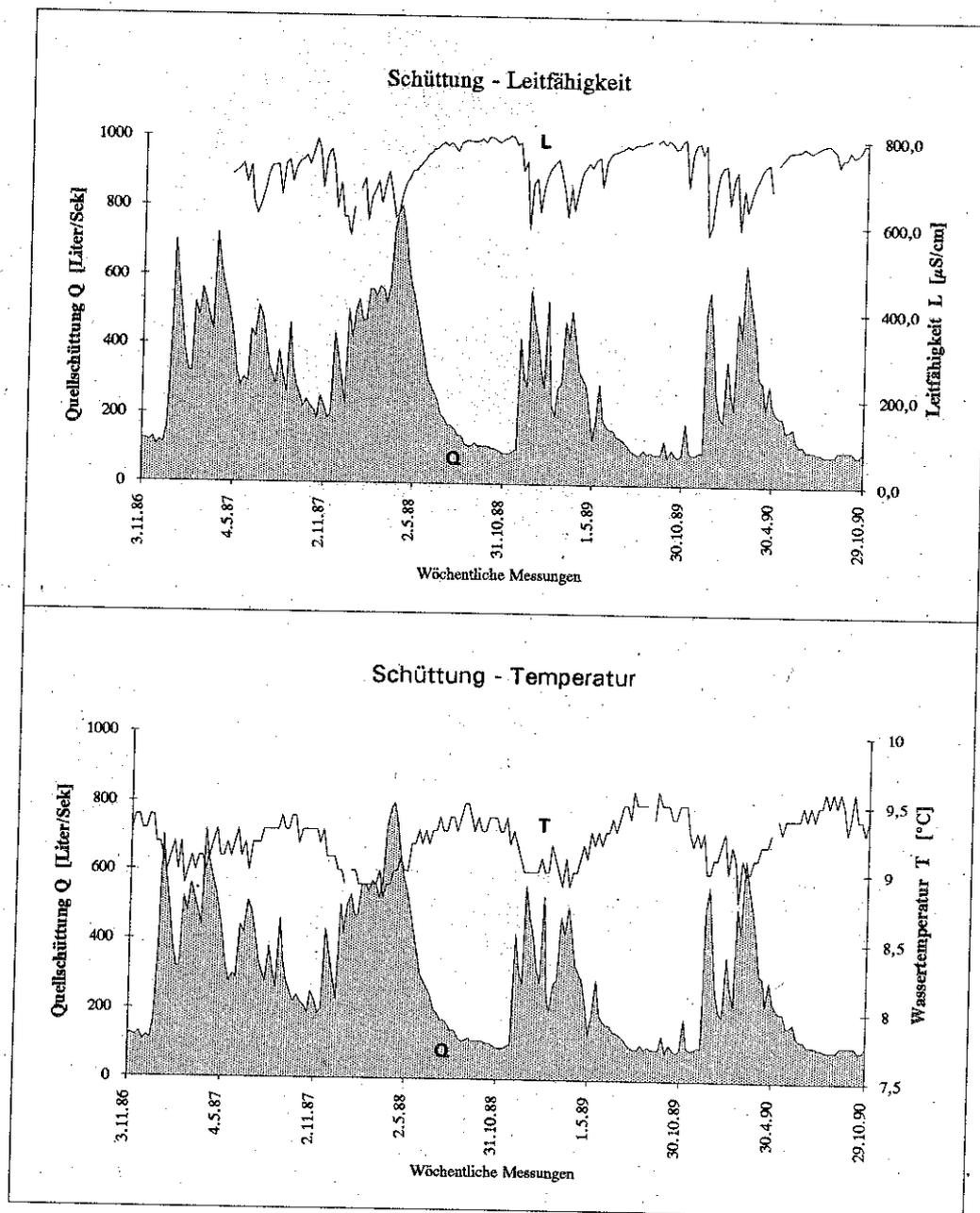


Abb. 22: Kressenteichquelle/Breitau: Schüttungsganglinie kombiniert mit Ganglinien der Leitfähigkeit und der Wassertemperatur

Richtlinien und Normen

- Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung 1961, Herausgeber: Deutscher Grundwasserausschuß
- Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung;
 Teil 1 - Grundwasserstand 1982
 Teil 2 - Grundwassertemperatur 1987
 Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit 1993
 Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
- Pegelvorschrift, Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Bundesminister für Verkehr
- Quellfassungen, Sammelschächte, Druckunterbrecherschächte, DVGW-Arbeitsblatt W 351, 1979
- Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben, DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft Heft 128, 1992
- AQS-Merkblätter für Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen, Ergänz-
 bare Sammlung von Merkblättern zu den AQS-Rahmenempfehlungen der LAWA,
 E. Schmidt Verlag, 1991
- Bedeutung biologischer Vorgänge für die Beschaffenheit des Grundwassers,
 DVWK-Schriften Heft 80, 1988
- Stofftransport im Grundwasser, DVWK-Schriften Heft 83, 1989
- Grundwasser - Redoxpotentialmessung und Probennahmegeräte, DVWK-Schriften
 Heft 84, 1989
- Methodensammlung zur Auswertung und Darstellung von Grundwasserbeschaf-
 fenheitsdaten, DVWK-Schriften Heft 89, 1990
- Meßeinrichtungen an Quellen, DVWK-Merkblätter E 1995
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung,
 Herausgeber: Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker,
 Verlag Chemie, Weinheim
- Trinkwasser-Verordnung (TrinkwV), Verordnung über Trinkwasser und über
 Wasser für Lebensmittelbetriebe vom 05.12.1990 - BGBI. I S. 2613
- DIN 4021 Baugrund, Aufschluß durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme
 von Proben, 10/90
- DIN 4049, Hydrologie
- | | | |
|--------|-------|---------------------------------------|
| Teil 1 | 12/92 | Grundbegriffe |
| Teil 2 | 4/90 | Begriffe der Gewässerbeschaffenheit |
| Teil 3 | 10/94 | Begriffe zur quantitativen Hydrologie |

DIN 19711 Hydrogeologische Zeichen 4/75

Sonstige Normen und Literaturstellen

Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen (TGL)

TGL 23989 Unterirdisches Wasser, 11/83

TGL 24352 Meßstation für Wasserstand und Durchflußmessung 12/82

TGL 26566/01 Wassermessung, Durchfluß und Volumenmessung 3/82

TGL 26566/03 Messung mit Blenden und Venturidüsen 12/74

TGL 35818 Grundwasserbeobachtung

Blatt 1	12/79	Begriffe und allgemeine Forderungen
Blatt 2	12/81	Basisnetz
Blatt 3	3/79	Kontroll- und Steuerungsnetze
Blatt 4	3/79	Sondernetze
Blatt 5	12/79	Grundwassermeßstelle und -meßtechnik
Blatt 6	12/79	Datenerfassung, Speicherung und Auswertung

BAMBERG, H.F., DITTRICH, J. und GARLING, F.: Tabellen zur Grundwassererkundung, VEB Hydrologie Nordhausen, 1984

EBHARDT, G. (1980): Häufigkeitsverteilung, Autokorrelation und Jahresgang der Abflüsse badischer Quellen.- Z.dt.geol. Ges., 131, S. 255-268, 6 Abb., 2 Tab.; Hannover

Handbuch für den Techniker, Praktische Hydrologie, Teil 3: Grundwasser, Amt für Wasserwirtschaft Berlin, 1965

TRAINER, F.W. & WATKINS jr., F.A. (1974): Use of base-runoff recession curves to determine areal transmissivities in the upper Potomac river basin.- Jour. Research U.S. Geol. Survey, 2, S. 125-131, 2 Abb., 1 Tab.; Denver, Colorado

Anlage 1

Erfassungsbeleg für Quellmessungen: Meßgefäße/Meßbecken

Dienststellenummer 01				Meßstellenummer 02										
Jahr 03			Monat 04			Meßstellenbezeichnung:								
	Datum	Oberfall- höhe Wasser- stand mm	Wasser- anstieg mm	Füllraum Gefäßinhalt l		Füllzeit s		Durchfluß l/s			Wasser- temp. °C		Vermerke des Beobachters	
				volle	1/10	volle	1/10	volle	1/10	1/100	volle Grade	1/10		
05	06	07	08	09		10		11			12	13	14	15
1														
2														
3														
4														
5														
Weitere Vermerke:														
														Unterschrift des Beobachters

Anweisung für den Beobachter von Quellmeßstellen

Durchführung der Messung

Meßgefäße

Das Wasser der Quelle wird in einem Meßgefäß aufgefangen und die Zeit bis zur völligen Füllung (Füllzeit) des Meßbehälters mit bekanntem Inhalt $J = \dots \text{ l}$ (Füllraum) mit einer Stoppuhr gemessen.

Die Größe des Meßgefäßes ist so zu wählen, daß eine Meßzeit von 10 s möglichst nicht unterschritten wird. Die Messung ist mindestens 2mal zu wiederholen. Der gewählte Füllraum ist in Spalte 09 des Beobachterbeleges, der gefundene Durchschnittswert in Spalte 10 einzutragen.

Meßbecken

a) Das Wasser der Quelle wird in ein Meßbecken eingeleitet und die Zeit bis zur völligen Füllung (Füllzeit) des Meßbeckens mit bekanntem Inhalt $J = \dots \text{ l}$ (Füllraum) mit einer Stoppuhr gemessen. Der Füllraum ist in Spalte 09, die ermittelte Füllzeit in Spalte 10 des Beobachterbeleges einzutragen.

b) In das vorhandene Meßbecken mit bekannter Grundfläche $A = \dots \text{ m}^2$ wird der zu messende Zulauf eingeleitet. An der vorhandenen Pegellatte (oder mit Hilfe einer Meßlatte) ist ein geeigneter Wasserstand abzulesen und gleichzeitig die Stoppuhr in Gang zu setzen. Nach genügendem Wasseranstieg (mindestens 10 cm) bzw. nach ausreichender Beobachtungszeit (mindestens 10 s) wird der nunmehrige Wasserstand bei gleichzeitigem Abstoppen der Uhr festgestellt.

Der ermittelte Wasseranstieg (Unterschied beider Ablesungen) wird in Spalte 08 und die entsprechende Füllzeit in Spalte 10 des Beobachterbeleges eingetragen.

Bei hier nicht aufgeführten Meßverfahren sind die jeweiligen Anweisungen zu befolgen.

Ausfüllen des Beobachterbeleges

Feld 01, 02:

Soweit die Felder 01 und 02 noch nicht vorgedruckt sind, müssen die Dienststellen- und Meßstellenummer aus der Liste der zu beobachtenden Meßstellen übertragen werden.

Grundwasserbeschaffenheit - Probennahmeprotokoll
(Muster)

Dienststelle Dienstst.-Nr.
 Meßt.-Bezeichnung Meßt.-Nr.
 Betreiber Proben-Nr.
 Probennehmende Stelle Datum
 T T M M J J
 Uhrzeit h | min

Bauart der Meßstelle: Meßprogramm

- 1 Grundwassermeßstelle
- 2 Förderbrunnen
- 3 Sammelbrunnen
- 4 Quelle / Stollen

Meßpunkt (NN + m) Grundwasserspiegel unter Meßpunkt (m)

Filterstrecken von bis m unter Meßpunkt

Einhängtiefe der Pumpe m unter Meßpunkt

Beprobter Tiefenbereich

- Mischwasser aus dem gesamten Grundwasserraum
- Oberer Bereich
- Mittlerer Bereich
- Unterer Bereich
- Tiefenspezifisch beprobter Bereich von bis m unter Grundwasserspiegel

Art der Probennahme Mindestmenge beim Abpumpen 3 x Rohrvolumen Schlauchmaterial
 1 Pumpen (Drücken) 1 PVC
 2 Saugen 2 Teflon
 3 Schöpfen 3 Edelstahl

Förderstrom/Schüttung bei der Probennahme (l/s) Abpumpdauer min.

Organoleptische Prüfung

Färbung 1 farblos, 2 weiß, 3 grau, 4 gelb, 5 braun Trübung 1 keine, 2 schwach, 3 stark
 Geruch 1 ohne, 2 aromatisch, 3 faulig (H₂S), 4 jauchig (NH₂), 5 chemisch, 6 nach Chlor, 7 nach Mineralöl Ausgasung 1 nein, 2 ja

Messung

Grundwassertemperatur (im Förderstrom) (°C) Lufttemperatur -/+ (°C)
 Elektrische Leitfähigkeit (bez. auf 25°C) (µS/cm) pH-Wert
 Sauerstoff (mg/l)

Bemerkungen

Datum/Unterschrift
 Probennehmer