

Grundwasser

Richtlinien für Beobachtung und Auswertung

Teil 3 – Grundwasserbeschaffenheit

1993

Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

Bearbeiter: ad-hoc-Arbeitskreis
„Grundwasserbeschaffenheits-Richtlinie“

Grundwasserrichtlinie 3/93

ISBN 3-88754-023-9

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 Verlag Auskunft gibt.

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und der Bundesminister für Verkehr (BMV), als Herausgeber dieses Werkes, empfehlen die im Text sowie in den Anlagen vorgestellten Muster für die Erfassung statistischer Daten zur Einführung und Verwendung in der Praxis und geben diese Muster unter Angabe der Quelle zur Wiedergabe frei.

© 1993 Woeste Druck + Verlag, 45219 Essen-Kettwig, Im Teelbruch 108
Printed in Germany by Woeste Druck + Verlag, Essen

Produktion und Kommissionsvertrieb: Woeste Druck + Verlag, Essen

Vorwort

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser hat 1983 ein Rahmenkonzept zur Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit herausgegeben. Ab 1984 erfolgte die Umsetzung durch die Bundesländer in eigenen länderspezifischen Überwachungskonzepten.

Wegen der komplexen Abhängigkeit der Grundwasserbeschaffenheit von den Untergrundverhältnissen mit ihren Auswirkungen auf die Stoffdynamik und die Transportprozesse war die Erarbeitung einer Richtlinie, an der sich die Überwachungskonzepte orientieren können, dringend geboten. Es mußten möglichst einheitliche Vorgaben entwickelt werden, die bei den Meßstellen beginnen und über die Probennahme bis hin zur Analytik und Auswertung reichen. Mit dieser Richtlinie sollen keine Vorgaben für spezielle Erkundungen und ggf. Sanierungsmaßnahmen z. B. im Zusammenhang mit der Altlastenproblematik gemacht und keine Bewertungskriterien hierfür entwickelt werden.

Der erste Teil der Richtlinie befaßt sich mit den Meßnetzen, dem Bau von Meßstellen und der Probennahme. Da weitgehend gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen gefolgt wird, ist wenig Ermessensspielraum gegeben. Der zweite Teil, der den Parameterkatalog, die Auswertung und die Art der Darstellung betrifft, mußte hingegen wegen der sehr unterschiedlichen Aufgabenstellung flexibler gehalten werden. Die Analytik und Probennahmetechnik sind raschen Entwicklungen unterworfen und ebenfalls weniger reglementierbar. Hinsichtlich der Auswertetechniken bestehen enge Verknüpfungen mit der EDV. Hier ist auf längere Sicht noch mit größeren Veränderungen zu rechnen.

Der Arbeitskreis „Grundwasserbeschaffenheitsrichtlinie“ legt hiermit die Grundwasserrichtlinie Teil 3 „Grundwasserbeschaffenheit“ vor. Sie soll helfen, die komplexe Aufgabe der Grundwasserüberwachung sachgerecht zu erfüllen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	
1 Grundlagen	
1.1 Definition der Grundwasserbeschaffenheit	7
1.2 Entstehung der Grundwasserbeschaffenheit	8
1.3 Stoffeigenschaften	8
1.4 Reaktionen im Untergrund	10
1.5 Transportvorgänge	10
1.6 Hydrogeologische Einflüsse	11
1.7 Folgerungen	12
2 Meßnetz	13
2.1 Anforderungen an das Meßnetz	13
2.2 Einrichtung von Meßnetzen	13
2.3 Grundmeßnetz	14
2.4 Sondermeßnetz	15
3 Grundwassermeßstellen	17
3.1 Bau von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen	17
3.1.1 Örtliche Anforderungen	18
3.1.2 Bohrung	18
3.1.3 Geophysikalische Messungen	20
3.1.4 Ausbauart	20
3.1.5 Ausbaumaterial	21
3.1.6 Baustelleneinrichtung und -betrieb	22
3.1.7 Klarpumpen	22
3.1.8 Übernahme	22
3.2 Eignung vorhandener Grundwasseraufschlüsse	22
3.2.1 Beobachtungsrohr (Grundwasserstandsmeßstelle)	23
3.2.2 Brunnen	23
3.2.3 Quellen	24
4 Unterhaltung und Wartung	25
4.1 Aufgaben der Unterhaltung und Wartung	25
4.2 Zustandskontrolle	25
4.2.1 Indirekte Überprüfung anhand vorliegender Stammdaten und Meßreihen	25
4.2.2 Direkte Überprüfung an der Meßstelle	25
4.3 Wiederherstellung einer Meßstelle	26
4.3.1 Regeneration	26
4.3.2 Reparatur und Ersatz	26
5 Probennahme	27
5.1 Probennahmegeräte	27
5.1.1 Unterwasserpumpen	27
5.1.2 Sauggeräte	28
5.1.3 Schöpfgeräte	29
5.2 Durchführung	29
5.2.1 Abpumpen	29
5.2.2 Schöpfen	29
5.2.3 Feldmessungen	29
5.2.4 Befüllen	30
5.2.5 Probenvorbehandlung	30
5.2.6 Probennahmeprotokoll	30
5.2.7 Gerätereinigung	32
5.2.8 Qualitätssicherung	32

	Seite
6 Parameterkatalog und Analysenverfahren	33
6.1 Parameterkatalog	33
6.2 Meßturnus	35
6.3 Analysenverfahren	35
6.4 Analytische Qualitätssicherung (AQS)	38
7 Prüfung und Aufbereitung der Daten	40
7.1 Prüfung	40
7.1.1 Problemstellung und Ziel	40
7.1.2 Formale Prüfung	40
7.1.3 Fachliche Prüfung	40
7.2 Aufbereitung	42
7.2.1 Problemstellung	42
7.2.2 Auswahl von Kenngrößen	43
8 Auswertung und Darstellung	44
8.1 Auswertung	44
8.1.1 Einfache Auswertungen	44
8.1.2 Weitergehende Auswertungen	44
8.2 Darstellung	50
8.2.1 Darstellung von Wasserinhaltsstoffen	50
8.2.2 Darstellung der zeitlichen Veränderungen	52
8.2.3 Flächenhafte Darstellungen	52
9 Aufbewahrung und Sicherung von Daten	57
10 Richtlinien und Normen	58

1 Grundlagen

1.1 Definition der Grundwasserbeschaffenheit

Unter Grundwasserbeschaffenheit versteht man den „durch physikalische, chemische und biologische Parameter sowie quantifizierende Begriffe wertneutral beschriebenen Gewässerzustand“, also die „Gesamtheit aller dem Gewässer innewohnenden Eigenschaften“ (Entwurf DIN 4049 Teil 102). Für das Verständnis der Grundwasserbeschaffenheit reicht daher die ausschließlich geohydraulische Betrachtung des Grundwassers nach DIN 4049 Teil 1 oder nach LAWA-Richtlinie „Grundwasserstand“ nicht aus. Das Grundwasser ist über die hydromechanischen Vorgänge und physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse in einem Grundwasserleiter Transportmedium und Lösemittel.

Natürliches Grundwasser ist hydrodynamisch und in seiner Beschaffenheit anthropogen unbeeinflusstes Grundwasser. Die chemischen und mineralogischen Eigenschaften und die mikrobielle Besiedlung der Feststoffphasen im Untergrund sowie das Wasser mit seinen gelösten und ungelösten Inhaltsstoffen bestimmen die natürliche Beschaffenheit des Grundwassers. Eine zunehmende Rolle spielen auch anthropogene Inhaltsstoffe, die direkt oder indirekt durch menschliche Tätigkeit punktförmig, linienhaft oder flächig in das Grundwasser eingebracht werden.

Die Grundwasserbeschaffenheit schwankt räumlich und zeitlich, da einerseits der Stoffeintrag nicht zeitkonstant und abhängig von der Struktur der Quelle ist, zum anderen die eingetragenen Stoffe im inhomogenen und anisotropen Grundwasserraum unterschiedlichen Ausbreitungsprozessen unterliegen und schließlich chemisch, physikalisch-chemisch oder biochemisch induzierte Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und seinem Leitergestein bestehen. Die Grundwasserbeschaffenheit wird auch von der Einstellung chemischer Gleichgewichte bestimmt, die wiederum von der Kontaktzeit zwischen der mobilen und stationären Phase im System Grundwasser/Feststoffe des Grundwasserleiters beeinflusst wird. Da sich Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter im Hinblick auf Gesteinsmaterial sowie auf Fließzeiten und Reaktionsoberflächen unterscheiden, ergeben sich unterschiedliche hydrochemische Grundwassertypen. Die verschiedenen Grundwasserleiter können Grundwasserregionen und diese wiederum größeren Grundwasserlandschaften zugeordnet werden. Darunter werden geologisch-morphologisch abgrenzbare Räume mit einheitlichen und typischen Grundwasserhältnissen verstanden.

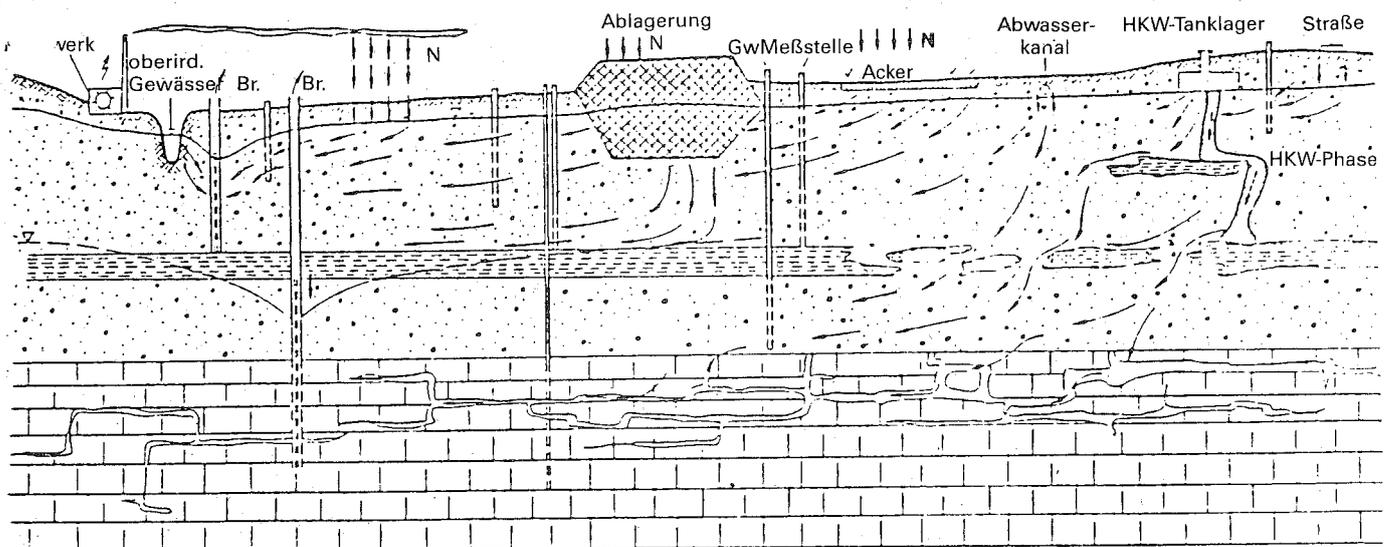


Abb. 1 Schematischer Überblick über Stoffeintrag in den Untergrund und Transportvorgänge im Grundwasserleiter

1.2 Entstehung der Grundwasserbeschaffenheit

Der im Grundwasser enthaltene geogen und biogen bedingte Stoffinhalt ist in der Regel durch Wechselbeziehungen zwischen Lösung und Feststoffphase des Sickerraumes vorgeprägt. Das von Natur aus wegen des geringen Kohlenstoffdioxidgehaltes der Luft von ca. 0,03 Vol.-% nur schwach saure Niederschlagswasser (pH-Wert ca. 5,6) gelangt durch Versickerung in den ungesättigten Bereich. Durch menschliche Tätigkeit können heute vermehrt zusätzlich Säurebildner (z.B. SO_2 , NO_x), Metalle (z.B. Cd, Pb und Zn) und organische Spurenstoffe (z.B. halogenierte Kohlenwasserstoffe) in das Grundwasser gelangen. Außer der großflächig wirkenden niederschlagsbedingten Grundwasserneubildung kann lokal auch die linienhafte Aussickerung aus oberirdischen Gewässern eine größere Rolle spielen. Wenn diese abwasserbelastet sind, können erhebliche Mengen an Schadstoffen in den Untergrund gelangen.

Das infiltrierende Niederschlagswasser ist Löse- und Transportmedium für an der Oberfläche angereicherte (z.B. Dünger, Pflanzenschutzmittel, Metallverbindungen) oder im Boden deponierte Stoffe (z.B. Ablagerungen), so lange es die physikalischen und chemischen Milieubedingungen nicht verhindern.

Im Sickerraum findet unter Einfluß der Schwerkraft und der Kapillarkräfte in Abhängigkeit von der Wassersättigung eine mehr oder weniger nach unten gerichtete komplexe Strömung statt. Die Sickergeschwindigkeit kann im ungesättigten Bereich um ein Vielfaches geringer als die Fließgeschwindigkeit im Grundwasserraum sein (z.B. 2–3 m/a in sandigen, 1 m/a in schluffigen Böden), so daß häufig mehr Zeit für Reaktionen wie Lösung – Fällung, Sorption – Desorption, Ionenaustausch und mikrobieller Abbau zur Verfügung steht (Kap. 1.4).

Ist der Sickerraum geringmächtig oder liegen emittierende Stoffquellen unmittelbar im Grundwasser (z.B. mit Abfall verfüllte Kiesgruben), entfällt die hydrogeologisch puffernde und hydrochemisch prägende Wirkung des Sickerraumes. Die Beschaffenheit des Grundwassers wird dann nur noch durch die Wechselbeziehungen zwischen Grundwasser und Gestein bestimmt oder im Falle von Schadstoffen auch durch deren stoffliche Eigenschaften.

Da die gasförmigen Stoffe durch Diffusion entsprechend dem vertikalen Konzentrationsgefälle entweder nach oben (z.B. CO_2 , CH_4) oder nach unten (z.B. O_2) transportiert werden, gelangt Luftsauerstoff mit dem Infiltrat in den Grundwasserkörper. Hier bestimmt die Redoxspannung ganz wesentlich die Wasserbeschaffenheit. Durch die chemischen und mikrobiellen Vorgänge im Sickerraum und im obersten Abschnitt des Grundwasserraums (Kap. 1.4) wird Sauerstoff verbraucht, so daß mit zunehmender Tiefe bzw. größerer Verweilzeit im Grundwasserleiter ein Sauerstoffdefizit auftreten kann. Bei gut durchlässigen Grundwasserleitern (sandigkiesiges Lockergestein, stark und tiefgeklüftetes Festgestein) tritt die Sauerstoffverarmung langsamer auf als bei weniger durchlässigen Schichten. Ist der organische Anteil im Grundwasserleiter beträchtlich (z.B. bei eingelagertem Torf oder bei Schadensfällen mit versickertem Mineralöl), herrscht häufig ein reduzierendes Milieu, das gekennzeichnet ist z.B. durch niedrigen bis fehlenden Sauerstoff, erhöhte Gehalte an gelöstem Eisen und Mangan. Im Extremfall können z.B. Sulfate in Schwefelwasserstoff umgewandelt werden.

1.3 Stoffeigenschaften

Für den Ausbau von Grundwassermeßstellen, deren Anordnung in Meßnetzen, die Art der Probennahme sowie für die Interpretation der Meßwerte sind Kenntnisse über die hydrodynamischen Eigenschaften der Stoffe wichtig.

Man unterscheidet im Grundwasser

- gelöste Stoffe
- suspendierte Stoffe
- emulgierte Stoffe
- Stoffe in Phase

Gelöste Stoffe (iondispers, molekulardispers, kolloiddispers) verhalten sich bei niedrigen Konzentrationen hydrodynamisch neutral, verursachen also keine merkliche Änderung der Dichte und der Zähigkeit des Grundwassers. Bei höheren Konzentrationen beeinflussen sie das Strömungsfeld durch Dichteströmungen. Beispiele hierfür sind sehr hohe Salzkonzentrationen oder Temperaturunterschiede bei Warm- oder Kaltwassereinleitungen.

Suspendierte Stoffe verhalten sich in der Regel ähnlich wie gelöste, sie sind ebenso wie diese mit Wasser mischbar. Bei entsprechend grobem bzw. schwerem Suspensionsmaterial führt allerdings die Schwerkraft zu Ablagerungen im Korngerüst.

Emulgierte Stoffe sind mit Wasser nicht mischbar. Den chemischen und biologischen Reaktionen in den Übergangsbereichen zwischen Wasser und Emulsion bzw. Emulsion und Phase kommt besondere Bedeutung zu. Die Emulsionen leiten somit zu den eigentlichen, zusammenhängenden flüssigen Phasen über, die gegenüber Grundwasser u. a. eine deutlich unterschiedliche Zähigkeit aufweisen.

Flüssige Phasen sind z. B. die spezifisch leichteren Mineralöle, die sich bei nur geringer Eintauchtiefe im Grundwasser in Bereichen des geschlossenen Kapillarsaumes bzw. der Grundwasseroberfläche horizontal ausbreiten, und die spezifisch schwereren halogenierten Kohlenwasserstoffe (HKW), die überwiegend lotrecht im Grundwasserleiter absinken, dessen Sohle erreichen und sich dort anreichern können, sofern mehr Phase nachfließt, als der Restsättigung des Gesteins entspricht (Abb. 2).

Im Hinblick auf die Reaktionen im Untergrund unterscheidet man

- perseverante Stoffe
- persistente Stoffe
- abbaubare Stoffe

Perseverante Stoffe sind solche, die weder durch chemische und biologische Prozesse eliminiert noch durch Filtrations- oder Fällungsvorgänge dem Grundwasser entzogen werden können. Ein Beispiel hierfür ist Chlorid.

Persistente Stoffe werden nicht oder nur in sehr langen Zeiträumen abgebaut, können aber durch physikalischchemische Vorgänge am Korngerüst angelagert und somit vom Grundwasser getrennt werden. Zu dieser Stoffgruppe gehören z. B. eine Reihe von halogenierten Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen.

Abbaubare Stoffe können durch biochemische Prozesse teilweise oder vollständig umgewandelt oder abgebaut werden. Die hierbei entstehenden Abbauprodukte können ihrerseits schädlich oder gar toxisch sein. Beispiele hierfür sind bestimmte chlorierte Kohlenwasserstoffe, deren Abbauprodukte ebenfalls zu den chlorierten Kohlenwasserstoffen zu rechnen sind (z. B. Tetrachlorkohlenstoff als Abbauprodukt). Dagegen gehören Mineralöle und Nitrat zu den Stoffen, die unter bestimmten Voraussetzungen mikrobiell in ihre gasförmigen Ausgangsstoffe zerlegt werden.

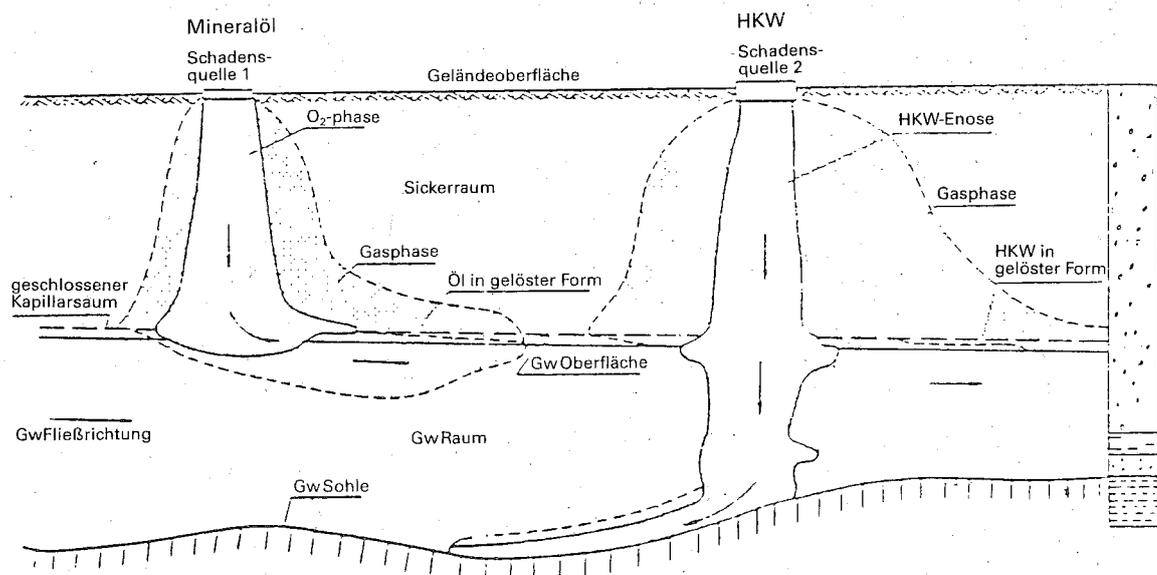


Abb. 2 Unterschiedliches hydrodynamisches Verhalten von Stoffen, die mit Wasser nicht mischbar sind.

1.4 Reaktionen im Untergrund

Die stoffliche Zusammensetzung des Wassers im ungesättigten und gesättigten Bereich bleibt räumlich und zeitlich nicht konstant. Folgende Prozesse, die zusammengefaßt eine Veränderung der Stoffkonzentrationen im Grundwasser bewirken können, lassen sich physikalischen, chemischen und biologischen Reaktionsmechanismen zuordnen, die jedoch nicht scharf voneinander zu trennen sind

- Verdünnung
- Elimination und Anreicherung
 - Filtration
 - Adsorption – Desorption
 - Ionenaustausch
 - Fällung und Mitfällung
 - Lösung
 - Komplexbildung
 - Oxidation – Reduktion
 - Hydrolyse
 - Ausgasung
 - radioaktiver Zerfall
 - biologische Akkumulation
- Abbau
 - biochemischer Abbau
 - Absterben pathogener Keime

Die **Verdünnung** ist kein Dekontaminationsprozeß; es handelt sich bei gleicher Fracht lediglich um eine Konzentrationsabnahme von Inhaltsstoffen, wie z. B. im Zusammenhang mit der Grundwasserneubildung aus Niederschlag oder bei der hydrodynamischen Dispersion auf dem Fließweg. Die Verdünnung hat jedoch ihre Bedeutung, wenn dadurch Schadstoffkonzentrationen unter die toxische Grenze fallen, so daß ein mikrobieller Abbau möglich wird.

Unter **Elimination** versteht man die Entfernung von Stoffen und Organismen aus der wäßrigen Phase. Die physikalischen oder (bio)chemischen Vorgänge können teilweise mit einer **Anreicherung** im Korngerüst verbunden sein. Die meisten Prozesse sind reversibel.

Der **Abbau** ist ein Ergebnis biochemischer Reaktionen, die von hochmolekularen Verbindungen in Richtung einfacherer Strukturen und niedrigen Molekulargewichten verlaufen. Sie werden weitgehend von Mikroorganismen beeinflusst, die aus der Oxidation organischer Stoffe einen Energiegewinn erzielen.

Die Intensität von Elimination, Anreicherung und Abbau ist im Untergrund sehr unterschiedlich. Im Sickerraum ist sie im allgemeinen größer als im Grundwasserraum. Die höchste Intensität findet man in der belebten Bodenzone.

1.5 Transportvorgänge

Im Gegensatz zum Sickerraum werden im Grundwasserraum gelöste, suspendierte und emulgierte Stoffe vorwiegend in horizontaler Richtung transportiert. Dagegen sinkt die schwere Phase nach unten ab, Gase diffundieren in Abhängigkeit von Dichte, Temperatur und Druck.

Im Grundwasser sind aus hydromechanischer Sicht zu unterscheiden

- Konvektion
- hydrodynamische Dispersion
 - Dispersion
 - Diffusion

Diese Mechanismen führen zu einer mehr oder weniger starken Durchmischung der Wasserinhaltsstoffe auch im Vertikalprofil des Grundwasserleiters, die auch wesentlich von den hydrogeologischen Bedingungen im Grundwasserraum (Kap. 1.6) sowie von den Eigenschaften der Wasserinhaltsstoffe beeinflusst wird. In hydromechanischer Hinsicht verhalten sich aerobe und anaerobe Bereiche, d. h. Bereiche mit und ohne Sauerstoff, gleich.

Als **Konvektion** wird der Transport von Wasserinhaltsstoffen in Fließrichtung mit der Abstandsgeschwindigkeit des strömenden Grundwassers bezeichnet. Bei der üblichen

Betrachtung der Grundwasserströmung und somit des konvektiven Transportes wird die Gültigkeit der Gesetze nach DARCY und der Massenerhaltung zugrundegelegt. Eine ausschließlich konvektive Betrachtung des Stofftransportes ist somit identisch mit einer rein quantitativen Betrachtung des Grundwasserstroms.

Unter **hydrodynamischer Dispersion** versteht man die Summe aus korngerüstbedingter Dispersion und Diffusion.

Die **Dispersion** bewirkt – zusätzlich zum Stofftransport durch Konvektion – die räumliche Ausbreitung und damit die Verdünnung von Wasserinhaltsstoffen im fließenden Grundwasser. Dabei ist die Dispersion in Fließrichtung wesentlich größer als quer dazu. Die Dispersion ist ganz wesentlich von der Abstandsgeschwindigkeit abhängig und wird auch durch andere Faktoren beeinflusst wie Korndurchmesser, Porosität, Rundungsgrad, Rauigkeit, Kornverteilung, Temperatur, Dichte und Viskosität. Es besteht in der Regel keine Übereinstimmung zwischen den Dispersionskoeffizienten, die im Labormaßstab ermittelt wurden, und solchen, die aus Feldversuchen abgeleitet worden sind. Mit zunehmender Fließstrecke werden die Unterschiede größer.

Die **Diffusion** findet immer dann statt, wenn Konzentrationsunterschiede vorliegen. Es handelt sich um einen physikalisch-chemischen Prozeß, der auch in ruhendem Wasser und sogar gegen den Druckgradienten stattfindet. Im oberstromigen Nahbereich einer Kontaminationsquelle ist somit eine Verunreinigung möglich. Der Ausbreitungsprozess wird durch den Diffusionskoeffizienten beschrieben. Da die molekulare Diffusion äußerst langsam erfolgt, wird ihr Einfluß auf die hydrodynamische Dispersion erst bei kleinen Abstandsgeschwindigkeiten deutlich ($< 10^{-9}$ m/s).

Die hydrodynamische Dispersion bedingt eine unregelmäßige Stoffausbreitung und den Ausgleich von Konzentrationsunterschieden im Grundwasser. Die Konvektion spielt jedoch im allgemeinen die bedeutendere Rolle, das heißt, daß Stoff- und Altersschichtungen im Grundwasserkörper weitgehend erhalten bleiben.

Adsorptions- und Desorptionsvorgänge sowie sonstige Eliminationsprozesse führen zu einer Verzögerung der Stoffausbreitung im Untergrund (Retardation). Dadurch werden Wasserinhaltsstoffe mit Ausnahme der perseveranten mit z.T. wesentlich kleinerer Geschwindigkeit transportiert, als sich aus einer ausschließlich geohydraulischen Sicht errechnen läßt.

1.6 Hydrogeologische Einflüsse

Die Strömung des Grundwassers wird durch die hydrogeologischen Verhältnisse, und zwar insbesondere Durchlässigkeit, Druckgefälle, Inhomogenität und Anisotropie, bestimmt. Maßgebend für die Beschaffenheit sind mineralogische Besonderheiten und Austauschvorgänge zwischen Feststoffphasen und Grundwasser.

Da im Grundwasserraum die vertikale Durchlässigkeit in der Regel wesentlich geringer ist als die horizontale, finden Transportvorgänge vorwiegend im oberflächennahen Bereich statt. Tatsächlich ist jedoch mit vielen Ausnahmen zu rechnen. Finden Grundwassernutzungen im tieferen Bereich eines Grundwasserleiters statt, können außerdem durch damit verbundene Druckentlastungen Stofftransporte von oben nach unten und umgekehrt begünstigt werden.

Da der Untergrund in Bezug auf die hydraulischen Parameter in der Regel mehr oder weniger inhomogen und anisotrop ist (starke Variabilität der k_f -Werte im Nahbereich von tektonischen Gefügeflächen oder aufgrund ausgeprägten Schichtwechsels), können Wasserinhaltsstoffe in horizontaler wie vertikaler Richtung unterschiedlich weit und unterschiedlich schnell verfrachtet werden.

Bei diesen Betrachtungen ist zu unterscheiden zwischen

- Porengrundwasserleiter
- Kluftgrundwasserleiter
- Karstgrundwasserleiter

In **Porengrundwasserleitern** erfolgt die Strömung des Grundwassers in gewundenen, engen Porenkanälen, wobei infolge der intensiven Umströmung des Porengerüsts und somit wegen des Vorhandenseins großer Oberflächen günstige Voraussetzungen für Reaktionen wie Abbau durch Mikroorganismen, Adsorption – Desorption oder Ionenaustausch bestehen. Die mehr oder weniger zusammenhängenden Hohlräume im Lockergestein begünstigen darüber hinaus Gasaustausch, Filtration und Verdünnung. Außerdem steht wegen der normalerweise geringen Fließgeschwindigkeiten in Porengrundwasserleitern genügend Zeit für die vorgenannten Prozesse zur Verfügung.

Bei **Kluftgrundwasserleitern** können je nach Art und Ausbildung der Klüfte alle Übergänge zwischen den Strömungsverhältnissen in einem Poren- und Karstgrundwasserleiter auftreten. Im Regelfall ist die Gesamtdurchlässigkeit im Festgestein etwa zehnbis hundertfach kleiner als im Lockergestein. Bei gleichem Grundwasserdurchfluß pro Zeiteinheit sind im wasserleitenden Kluftnetz die Abstandsgeschwindigkeiten höher als in Porengrundwasserleitern. Die Dispersion quer zur Fließrichtung hängt im Kluftgrundwasserleiter im hohen Maße von der Zerklüftung ab. Das Verdünnungs- und Reaktionsvermögen ist in Kluftgrundwasserleitern deutlich geringer als in Porengrundwasserleitern, die Reaktionen finden z. T. nur in eng begrenzten Kluftzonen statt, während angrenzende Gesteinspartien an den Vorgängen kaum beteiligt sind.

Im **Karstgrundwasserleiter** findet meist ein schneller Transport großer Wassermengen in wenigen unterirdischen Hohlräumen großen Querschnitts statt, wodurch eine weitgehend ungehinderte Verfrachtung von Inhaltsstoffen über größere Strecken möglich ist.

Bedeutung haben auch schwerdurchlässige Deckschichten, da sie das Eindringen von Stoffen in den Untergrund erschweren oder sogar verhindern können. Eine ähnliche Funktion haben im Regelfall auch stockwerkstrennende Schichten, wenn nicht sog. „hydraulische Fenster“ vorhanden sind. Veränderungen der natürlichen hydrostatischen Gegebenheiten, z. B. infolge von Grundwasserförderung, können die hydraulisch trennende Wirkung ebenfalls abschwächen oder sogar aufheben (Leakage Effekt).

1.7 Folgerungen

Die Beschaffenheit des Grundwassers ist ein in räumlicher und zeitlicher Hinsicht veränderliches Merkmal, da sie von zahlreichen Faktoren abhängig ist. Grundlage für die Festlegung von Meßnetz und Meßturnus sowie Ausbau von Grundwassermeßstellen muß die Auswertung aller Kenntnisse über die hydrogeologische Situation und des u. U. durch die Wasserinhaltsstoffe beeinflussten Grundwasserströmungsfeldes sein. Dies hat Einfluß auf die Anordnung des Meßnetzes, den Ausbau der Meßstellen, die Probennahme und die Bewertung der Meßergebnisse.

Es kann nicht erwartet werden, daß man aus einer einmaligen Entnahme eines Teilvolumens eines Grundwasserkörpers Anspruch auf ein repräsentatives Beschaffenheitsmuster ableiten kann. Die Meßwerte einer Grundwasseruntersuchung haben nur dann einen ausreichenden Informationswert, wenn bei Anpassung der Probennahme an die örtlichen hydromechanischen Verhältnisse entweder mehrere tiefenspezifische Teilmengen oder eine Mischwasserprobe aus dem gesamten Grundwasserraum entnommen werden. Die Ergebnisse sind jedoch nicht ohne weiteres vergleichbar.

Um einen zusammenfassenden Überblick über die Beschaffenheit des Grundwassers im grundwassererfüllten Raum zu erhalten, sollte aus dessen gesamter Mächtigkeit eine Mischprobe entnommen werden. Für bestimmte Fragestellungen, z. B. bei der Erfassung der räumlichen Ausdehnung einer Kontaminationsfahne oder einer differenzierten stofflichen Schichtung auch im anthropogen nicht belasteten Grundwasser, ist eine tiefenspezifische Beprobung des Grundwassers zu empfehlen z. B. mit Hilfe eines Multilevelbrunnens.

Von dem Stoffpotential des Untergrundes ist im Grundwasser nur der Anteil nachzuweisen, der unter den gegebenen chemischen bzw. physikalisch-chemischen Milieubedingungen gelöst vorliegt bzw. suspendiert und nicht an oder in den Feststoffphasen des Grundwasserleiters gebunden ist. Da die Feststoffe des Grundwasserleiters das „chemische Langzeitgedächtnis“ darstellen, sollten sie auf die Auswirkung von evtl. vorhandener anthropogener Stoffeinbringung untersucht werden. Die hierzu erforderlichen Verfahren befinden sich z. T. noch in der Entwicklung.

2 Meßnetz

2.1 Anforderungen an das Meßnetz

Grundwasser fließt im allgemeinen in ausgedehnten Grundwasserräumen. Ein Meßnetz muß daher dreidimensional angelegt sein, da die Inhaltsstoffe nicht nur an der Grundwasser Oberfläche erfaßt werden sollen, sondern auch in ihrer vertikalen Verteilung innerhalb eines Grundwasserleiters oder mehrerer Grundwasserstockwerke.

Das Meßnetz muß darüber hinaus so angelegt sein, daß einmalige sowie sich wiederholende kurzzeitige oder langfristige Belastungen erfaßt und natürliche Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit beobachtet werden können. Im Gegensatz zum Grundwasserstand ist es bei der Grundwasserbeschaffenheit wesentlich schwieriger, Untersuchungsergebnisse einzelner Meßstellen auf einen größeren Grundwasserkörper zu übertragen. Das gilt umso mehr, als Veränderungen in der vertikalen und horizontalen Richtung und im zeitlichen Ablauf verknüpft werden müssen. In Grundwasserkörpern mit relativ großer Abstandsgeschwindigkeit erreichen evtl. aus einem Schadstoffeintrag resultierende Kontaminationsfahnen bei rein konvektivem Transport Kontrollmeßstellen in relativ kurzen Zeiträumen, bei kleineren Geschwindigkeiten dagegen ist die Zeitspanne wesentlich größer. Der Meßstellenabstand muß daher der Transportgeschwindigkeit angepaßt werden.

2.2 Einrichtung von Meßnetzen

Nach der Aufgabenstellung lassen sich generell zwei Gruppen von Meßnetzen unterscheiden (Tab. 1). Eine allgemeine Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit und eine objektbezogene Grundwasserüberwachung legt die Einteilung in ein Grundnetz und in anlagen- bzw. nutzungsspezifische Sondernetze nahe. Dabei ist die Abgrenzung der verschiedenen Meßnetze nicht scharf, d. h. einzelne Meßstellen können zumindest zeitweise verschiedenen Netzen zugeordnet oder durch zeitliche Veränderungen der Beschaffenheit oder der Aufgabenstellung von einem Netz in ein anderes übernommen werden.

Tabelle 1 Einteilung der Meßnetze

Grundmeßnetze		Sondermeßnetze	
Basismessstelle	Meßstelle zur Erfassung der natürlichen Beschaffenheit des Grundwassers	Vorfeldstelle	Meßstelle zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit im Zuflußbereich von Grundwasserentnahmen
Trendmessstelle	Meßstelle zur Erfassung geringfügiger und diffuser anthropogener Einflüsse auf das Grundwasser	Emittentmessstelle	Meßstelle zur Überwachung eines Gefährdungspotentials
		Belastungsmessstelle	Meßstelle zur Überwachung von Grundwasserverunreinigungen oder deren Sanierung
		Problemgebundene Meßstelle	Meßstelle mit besonderer Aufgabenstellung

Grundmeßnetze sind gewässerkundlich orientiert und von überörtlicher Bedeutung. Sie dienen der langfristigen Beobachtung des zeitlichen Verlaufes der Grundwasserbeschaffenheit in Grundwasserlandschaften und in Grundwasserregionen.

Grundwasserlandschaften weisen vergleichsweise typische und einheitliche Grundwasserhältnisse in hydrogeologisch abgrenzbaren Räumen auf. Entscheidend geprägt werden sie von der geologischen Entwicklung als Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter (Kap. 1.6 Hydrogeologische Einflüsse). Sie können in Grundwasserregionen oder Grund-

wasserteilgebiete gegliedert werden, die durch einheitliche klimatische Gegebenheiten, Flächennutzungen und hydrologische Bedingungen (Wasserscheiden, Grundwasserstockwerke, tektonische Störungen, oberirdische Gewässer) charakterisiert werden. In Grundwasserlandschaften und Grundwasserregionen lassen sich die Strömungs- und Beschaffenheitsverhältnisse des Grundwassers nach festgelegten Regelungen erfassen und durch Grundwasserganglinien, Grundwassergleichen und Beschaffenheitsmerkmale darstellen.

Sondermeßnetze sollen eine anlagen- oder nutzungsbezogene Überwachung ermöglichen und können außerdem für besondere Fragestellungen eingerichtet werden (z.B. für Forschungszwecke).

Neben den aus der Aufgabenstellung ableitbaren Grundsätzen für die Gestaltung der Meßnetze spielen die beschriebenen Einflüsse des Untergrundes, der Grundwasserströmung, der Stoffeigenschaften und die Art des Schadstoffeintrags für die Festlegungen im Einzelfall eine entscheidende Rolle (Kap. 1).

Vor Einrichtung eines Meßnetzes sind darum alle verfügbaren Unterlagen zusammenzutragen und auszuwerten, die im konkreten Fall die vorliegenden Bedingungen ausreichend genau beschreiben. Bei ungenügender Kenntnis dieser Gegebenheiten sind u. U. vor der Durchführung von Beschaffenheitsmessungen andere Untersuchungen erforderlich. Dazu gehören insbesondere die Ermittlung der Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, in kritischen Fällen z.B. auch durch Markierungsversuche. Um die Beschaffenheitsmessungen effizient ausführen zu können, ist häufig ein erheblicher Aufwand für solche vorbereitenden Untersuchungen notwendig.

In Kluft- und erst recht in Karstgrundwasserleitern können geohydraulische Abschätzungen erst vorgenommen werden, wenn die räumliche Verteilung der Trennfugen im Gebirge hinreichend bekannt ist oder Markierungsversuche ausreichende Kenntnisse über die Grundwasserströmung erbracht haben. Gegebenenfalls müssen z.B. Pumpversuche durchgeführt oder eine Abgrenzung der Zustrombereiche von Fassungsanlagen nach Erfahrungen in Analogie zu anderen Gebieten vorgenommen werden.

Bei der Einrichtung von Meßnetzen sind soweit wie möglich vorhandene Grundwasseraufschlüsse heranzuziehen. Dazu gehören Grundwasserstandsmeßstellen, Förderbrunnen, Sammelbrunnen, Quellen und Quellsammelschächte sowie Stollen. Die vorhandenen Aufschlüsse sind auf ihre Eignung als Beschaffenheitsmeßstelle zu überprüfen (Kap. 3). Die Anforderungen können für verschiedene Meßnetze unterschiedlich sein.

2.3 Grundmeßnetz

Grundlage für die Planung und Einrichtung des Grundmeßnetzes sind die Grundwasserlandschaften und deren Unterteilung (Regionen). In einem Grundmeßnetz sind Meßstellen, Parameterumfang und Meßturnus weitgehend einheitlich festzulegen.

– Basismeßstelle

Natürliche Schwankungsbreiten der Beschaffenheit werden an Basismeßstellen erfaßt, die die verschiedenen Grundwassertypen in den einzelnen Grundwasserregionen charakterisieren. Sie liefern unter Berücksichtigung gewisser Schwankungsbreiten einen Vergleichsmaßstab zur Beurteilung von anthropogenen Einflüssen auf die Grundwasserbeschaffenheit.

– Trendmeßstelle

Während für die Einrichtung von Basismeßstellen anthropogen möglichst wenig beeinflusste Standorte auszuwählen sind, wird bei Trendmeßstellen eine diffuse Beeinflussung angenommen. Die Standorte der Meßstellen sind darum relativ gleichförmig in den Grundwasserlandschaften zu verteilen. Eine Unterscheidung der beiden Meßstellenarten ist erst nach dem Vorliegen längerer Meßreihen möglich.

Um die geogen vorgegebene Bandbreite der Grundwasserbeschaffenheit und den flächenhaft wirkenden anthropogenen Einfluß zu erfassen, genügen im Regelfall zu Beginn der Einrichtung eines Grundwassermeßnetzes pro Grundwasserlandschaft nur wenige Meßstellen. Erst nach Vorliegen von Analyseergebnissen wird sich ein Grundmeßnetz festlegen lassen. Zur Erkennung langfristiger Trends in tieferen Grundwasserleitern genügen in der Regel wenige Meßstellen.

In wasserwirtschaftlich bedeutenden, intensiv genutzten oder besonders heterogenen Grundwasserregionen empfiehlt es sich, das Raster des Meßnetzes durch die Einbe-

ziehung weiterer Meßstellen zu verdichten. Dazu eignen sich auch Förderbrunnen von Wasserwerken und ggf. Meßstellen der Sondernetze. Dadurch wird es möglich, den geohydrochemischen Zustand eines Grundwasservorkommens differenzierter zu beschreiben und Tendenzen einer Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit früher zu erkennen. In den verdichteten Netzen überlagern sich Aufgaben der Gewässerkunde und der objektbezogenen Überwachung durch die Sondernetze.

2.4 Sondermeßnetz

Sondermeßnetze werden für räumlich engbegrenzte Gebiete eingerichtet. Die Anordnung und der Ausbau der Meßstellen sowie das Untersuchungsprogramm sind eng an die jeweilige Fragestellung angepaßt. Sie dienen zur Überwachung von Grundwassernutzungen wie z. B. Trinkwasserentnahme (Vorfeldmeßstellen). Sondermeßnetze können erforderlich sein zur Ermittlung möglicher Grundwasserbelastungen wie z. B. durch intensive land- und forstwirtschaftliche Nutzung, Umgang, Lagerung und Transport von wassergefährdenden Stoffen, Versickerung belasteter oberirdischer Gewässer oder allgemein bei Nutzungen, von denen eine Belastung des Grundwassers ausgehen kann (Emittentenmeßstellen) oder tatsächlich ausgeht (Belastungsmeßstellen). Sie dienen weiterhin dem Auffinden und Abgrenzen von Schadensursachen wie z. B. des Eintrags von halogenierten Kohlenwasserstoffen.

– Vorfeldmeßstelle

Bei der Überwachung von Trinkwassergewinnungsanlagen werden zunehmend Vorfeldmeßstellen mit der Aufgabe der Vorwarnung eingerichtet, um neben einer quantitativen Beurteilung der Grundwasservorräte eventuelle Kontaminationen rechtzeitig zu erkennen.

Vorfeldmeßstellen, oft schon im Rahmen der Eigenüberwachung errichtet, sind vorrangig erforderlich, wenn aufgrund der hydraulischen und hydrogeologischen Verhältnisse oder der örtlichen Nutzungssituation im Vorfeld mögliche Verunreinigungsherde nicht hinreichend durch Emittentenmeßstellen kontrolliert werden können. Sie ermöglichen eine Vorwarnung bei flächenhaft ausgedehnten Schadstoffeinträgen, während die Vorwarnung bei punktuellen Kontaminationen nur durch unverhältnismäßig viele Meßstellen sichergestellt werden kann. Um Vorfeldmeßstellen sachgerecht festlegen zu können, müssen für die Abgrenzung des Zustrombereiches zu Fassungsanlagen die hydraulischen Verhältnisse ausreichend gut bekannt oder zumindest rechnerisch abschätzbar sein, was häufig nur bei Porengrundwasserleitern der Fall ist. Ihre erforderliche Anzahl hängt – abgesehen von der Konfiguration der vermuteten oder bekannten Schadensherde und der speziellen hydrogeologischen Verhältnisse – im wesentlichen von der Entnahmebreite ab. Wenn mehrere Meßstellen erforderlich sind, sollen sie als Reihe quer zur Fließrichtung des Grundwassers angeordnet werden. Es besteht auch die Möglichkeit, sie in zwei oder mehr Reihen auf Lücke anzuordnen. Von der Fassungsanlage entferntere Meßstellen ermöglichen eine Verlängerung der Warnzeit.

Die Entfernung zwischen Fassungsanlage und Vorfeldmeßstelle in Grundwasserfließrichtung ist so zu wählen, daß eine für Vorsorge- oder Abwehrmaßnahmen ausreichende Zeitspanne vom Erkennen einer nachteiligen Veränderung an der Meßstelle bis zum wahrscheinlichen Eintreffen der Schadstoffe in den Fassungsanlagen verbleibt (Warnzeit). Die Warnzeit sollte ein Jahr nicht unterschreiten, das bedeutet z. B. bei halbjährlicher Beprobung eine Fließzeit von 1,5 Jahren. Hieraus ergibt sich die erforderliche Entfernung der Vorfeldmeßstelle von der Fassungsanlage, die einerseits 100 m nicht unterschreiten, andererseits aber nicht zu groß gewählt werden sollte. Ergeben sich hierdurch kürzere Vorwarnzeiten, kann das durch engere Beprobungsintervalle teilweise wieder ausgeglichen werden.

– Emittentenmeßstelle

Emittentenmeßstellen dienen der rechtzeitigen Erkennung und Abgrenzung von möglichen Verunreinigungsquellen, besonders wenn von diesen ein hohes Gefährdungspotential ausgeht (z. B. undichte Kanalisation, Deponien, Altlagerungen, Industriestandorte, Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Umschlagen, Herstellen und Verwenden wassergefährdender Stoffe vor allem bei nicht dem Stand der Technik entsprechenden Präventivmaßnahmen, Verkehrsanlagen, militärische Anlagen, intensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen).

Emittentenmeßstellen müssen in Abhängigkeit von der Größe, der zu überwachenden Fläche und der Entfernung vom möglichen Eintragsort sowie den örtlichen hydrogeologischen Gegebenheiten festgelegt werden. Wenn vorausgesetzt werden kann, daß ein Eintrag gleichmäßig auf der gesamten zu überwachenden Fläche erfolgt, würden wenige Meßstellen ausreichen. Häufig ist jedoch eine größere Zahl von Meßstellen erforderlich, da der genaue Eintragsort innerhalb der zu überwachenden Fläche nicht bekannt ist. Dabei ist davon auszugehen, daß eine Schadstofffahne sich oft nur geringfügig verbreitert, so daß mehrere Meßstellen in sehr geringen Abständen quer zur Fließrichtung angeordnet werden müssen. Beispielsweise können Abstände deutlich unter 100 m erforderlich werden. Bei Porengrundwasserleitern lassen sich die benötigten geohydraulischen Kennwerte oftmals durch Feldmessungen (meistens Pump- oder Markierungsversuche) oder aus Erfahrungswerten ableiten. Auf die besonderen Schwierigkeiten bei Kluft- und insbesondere bei Karstgrundwasserleitern, die vielfach eine ausgeprägte Anisotropie aufweisen, wurde bereits hingewiesen.

Zur Beurteilung von Emissionen müssen Meßstellen im Grundwasser oberstrom (Null-Meßstellen) eingerichtet werden. Um eventuelle Vorbelastungen erkennen zu können, sollten auch Daten aus dem Grundnetz zum Vergleich herangezogen werden; ggf. ist dieses zu verdichten.

Zu berücksichtigen ist auch, daß in Abhängigkeit von den Eigenschaften des eingebrachten Stoffes (vor allem der Dichte), tiefere oder höhere Bereiche des Grundwasserleiters bevorzugt betroffen sein können. Außerdem kann die Richtung der Stoffausbreitung in solchen Fällen in verschiedenen Tiefen unterschiedlich sein.

– Belastungsmeßstelle

Bei einem bekannt gewordenen Schadensfall des Grundwassers werden sogenannte Belastungsmeßstellen eingerichtet. Für die Ermittlung der Anzahl und Lage der erforderlichen Meßstellen ist u. a. die Kenntnis der Verunreinigungsquelle, des Schadenbeginns der versickerten Schadstoffmenge, der Eintragsbreite, mit der Schadstoffe in das Grundwasser übertreten, der Breite der Schadstofffahne an bestimmten Querprofilen unter Berücksichtigung der hydrodynamischen Dispersion und anderer geohydraulischer Faktoren erforderlich.

Aus Gründen der Beweissicherung sollten auch außerhalb einer Schadstofffahne Meßstellen eingerichtet werden. Insbesondere muß im Grundwasser oberstrom eines Verunreinigungsherdes mindestens eine Meßstelle (Vergleichs- oder „Null“-Meßstelle) angeordnet werden.

Für Belastungsmeßnetze hat sich bewährt, Meßstellen zunächst auf mindestens zwei Profilen in Lücke quer zur Grundwasserfließrichtung anzuordnen, damit Schadstoffahnen eingegrenzt werden können. Erst wenn an einigen Stellen die seitlichen Ränder einer Verschmutzungsfahne bekannt sind, ist es sinnvoll, auch in ihrer jetzt besser abschätzbaren Längserstreckung Meßstellen einzurichten, um die Spitze zu erfassen. Liegen mehrere mögliche Verunreinigungsquellen dicht nebeneinander, ist jede Fahne getrennt abzugrenzen. Ist die räumliche Ausbildung des Kontaminationsherdes noch nicht bekannt, müssen zwecks optimaler Platzierung von eventuellen Abschöpfbrunnen im vermuteten Schadenszentrum Meßstellen gegebenenfalls in einem engen Abstand eingerichtet werden. Ihre gegenseitige Zuordnungen und ihre Anzahl richten sich nach der Örtlichkeit. Bei der Standortauswahl für Meßstellen kann die numerische Grundwassermodellierung eine wichtige Hilfe sein.

– Problemgebundene Meßstelle

Für besondere Untersuchungsprogramme oder zu Forschungszwecken können problemgebundene Meßstellen eingerichtet werden; ihr Ausbau orientiert sich an der Fragestellung.

3 Grundwassermeßstellen

Grundwassermeßstellen sind Anlagen zur Ermittlung hydrologischer Daten des Grundwassers und werden als Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen bezeichnet, wenn sie bei Einhaltung bestimmter Eignungskriterien als Probenahmestellen dienen. Die Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen müssen die Voraussetzung bieten, eine möglichst unverfälschte Grundwasserprobe zu gewinnen, die in stofflicher Hinsicht die örtlichen Gegebenheiten repräsentiert. Während die Grundwasserstandsmeßstelle den Grundwasserstand im Grundwasserleiter wiedergibt, kann die Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle in Abhängigkeit vom Ausbau nur einen räumlich begrenzten Ausschnitt der Beschaffenheit des Grundwassers erfassen. Der Ausbau von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen richtet sich, abgesehen von den örtlichen hydrogeologischen Verhältnissen, nach den Zielsetzungen wie zum Beispiel Erfassung der allgemeinen Grundwasserbeschaffenheit, Untersuchung und Überwachung anthropogener Einflüsse und Erkundung von Schadensfällen.

Als Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen können neben neu zu erstellenden Meßstellen auch vorhandene Grundwasserstandsmeßstellen, Quellen, Brunnen und Stollen verwendet werden. Hierbei ist zu prüfen, ob diese Meßstellen im Hinblick auf die qualitative Grundwasserüberwachung den Anforderungen gerecht werden. Für die Beurteilung (Überwachung) von nutzungsspezifischen Grundwasserbelastungen bzw. für die Untersuchung von Schadensfällen können für die jeweilige Fragestellung auch baulich darauf abgestimmte Sondermeßstellen erforderlich sein (z. B. kleine Nennweite des Beobachtungsrohres, besondere Filterlage, Multilevelbrunnen, spezielles Ausbaumaterial).

Um sowohl eine tiefenspezifische Beprobung als auch die Entnahme von Mischwasserproben aus dem gesamten Grundwasserraum des oberen freien Grundwasserstockwerks zu ermöglichen, sollten die Meßstellen durchgehend – vom Schwankungsbereich der Grundwasseroberfläche bis zur Grundwassersohlschicht – verfiltert sein. Hilfsweise können durchgehend verfilterte Meßstellen in heterogenen Grundwasserleitern mittels Packer tiefendifferenziert beprobt werden. Insbesondere beim Einsatz stärkerer Pumpen kann eine Umläufigkeit über den Ringraum und selbst bei dort eingebrachten Tonsperren über den benachbarten Grundwasserleiter nicht ausgeschlossen werden. Bei homogenen Grundwasserleitern ist dieses Verfahren jedoch nicht zu empfehlen.

3.1 Bau von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen

Unter sinngemäßer Berücksichtigung der Grundsätze der LAWA-Richtlinien „Grundwasserstand“ und „Grundwassertemperatur“ sowie des DVGW-Merkblattes W 121 „Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen“ sind beim Bau von Meßstellen für die Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit weitergehende Anforderungen zu beachten, die nachstehend erläutert werden. Die einschlägigen wasserrechtlichen Vorschriften der Länder sind zu beachten.

Jede Bohrung ist in hydraulischer Sicht eine Störung im Grundwasserleiter. Aus diesem Grund sollte der Bohrdurchmesser beim Bau einer Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle so klein wie möglich gehalten werden. Vor diesem Hintergrund wäre ein Durchmesser des Meßstellenrohres von DN 50 besser als ein größerer Durchmesser. Um leistungsfähige Pumpen unterbringen zu können, z. B. für die Ermittlung hydraulischer Kenndaten wie die Transmissivität mittels eines Pumpversuches, wäre ein Rohrdurchmesser von mindestens DN 200 notwendig. Als Kompromiß wird ein Rohrrinnendurchmesser von DN 125 vorgeschlagen. Bei dieser Nennweite ist es möglich, eine leistungsfähige Pumpe einzusetzen ohne daß die Gefahr besteht, daß sie an Rohrmuffen oder in gekrümmten Rohrstrecken hängen bleibt. Weiter erlaubt dieser Durchmesser im Zusammenhang mit Funktionsprüfungen den problemlosen Einsatz einer Farbfernsehkamera und von Meßgeräten für geophysikalische Messungen. Wartungsarbeiten können ebenfalls leichter durchgeführt werden.

3.1.1 Örtliche Anforderungen

Die hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse im Umfeld der Meßstelle sollten bekannt sein, insbesondere sind Kenntnisse über die räumliche Ausdehnung des Grundwasserleiters (Stockwerksgliederung u. a.) notwendig.

Der Bohrpunkt soll so ausgewählt werden, daß die Meßstelle gut zugänglich und vor Beschädigung (z. B. durch Fahrzeuge) geschützt ist. Die Bewirtschaftung der Grundstücke oder der Straßenverkehr sollen möglichst nicht behindert werden. Leitungstrassen sind zu meiden und geplante Änderungen der Flächennutzung zu berücksichtigen. Noch bevor mit dem Bau einer Meßstelle begonnen wird, sind die rechtlichen Voraussetzungen für die Nutzung des Grundstücks und die Sicherung der Meßstelle beispielsweise durch Abschluß eines Gestattungsvertrages zu schaffen.

Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen müssen hydrogeologisch definierte Grundwasserstockwerke getrennt erfassen. Es dürfen nicht mehrere Stockwerke miteinander kurzgeschlossen oder Gesteine mit unterschiedlichen geochemischen Eigenschaften erfaßt werden, da in diesem Falle nur Mischwasser gewonnen werden kann, das keine sinnvolle Interpretation des Grundwassertyps zuläßt. Bei Vorhandensein mehrerer Grundwasserstockwerke sind Meßstellen einzurichten, die eine getrennte Untersuchung der Grundwässer in den jeweiligen Stockwerken ermöglichen. Hierbei sind Meßstellen, die für jedes Stockwerk eine eigene Bohrung mit Einbau des Beobachtungsrohres bei entsprechender sachgerechter Abdichtung im Ringraum vorsehen, den sog. Mehrfachmeßstellen (mehrere Beobachtungsrohre in einem Bohrloch) vorzuziehen.

3.1.2 Bohrung

Der Durchmesser der Bohrung ist abhängig von dem vorgesehenen Ausbau der Meßstelle und dem geologischen Aufbau des Grundwasserleiters. Für eine Meßstelle mit einem Rohrdurchmesser z. B. von DN 125 soll der Bohrdurchmesser bei 300 mm liegen, um einen einwandfreien Ausbau der Meßstelle zu gewährleisten. Die Bohrtiefe richtet sich nicht nur nach den vorliegenden hydrogeologischen Verhältnissen, sondern ist u. a. auch stoffspezifisch bedingt. Allgemein ist zu empfehlen, den gesamten Grundwasserleiter zu durchteufen. In Sonderfällen ist die Tiefe jedoch mindestens so festzulegen, daß die Sohle der Meßstelle wenigstens 5 m unter dem voraussichtlichen tiefsten Grundwasserstand zu liegen kommt.

Bei sehr tiefen Meßstellen können Bohrung und Ausbau verjüngt werden.

Das Bohrverfahren ist so zu wählen, daß eine sorgfältige Gesteinsprobennahme zur Beurteilung und Bewertung der Untergrundverhältnisse möglich ist und kein Verschleppen von evtl. Verunreinigungen im Grundwasserleiter stattfinden kann. Nur bei Kenntnis der stratigraphisch und petrographisch exakt beschriebenen Schichtenfolge (Schichtenverzeichnis nach DIN 4022) ist ein dem Untersuchungsziel entsprechender Ausbau möglich. Vor allem die Festlegung der Position und Länge des Filters sowie der Lage und Mächtigkeit der Tonsperren im Ringraum sind an diese Kenntnisse gebunden.

Zur Beantwortung von hydrogeologischen Spezialfragen wird ausnahmsweise gekernt werden müssen (im Festgestein Doppelwandkernrohr-Verfahren, im Lockergestein Schlauchkernbohr-Verfahren). Grundsätzlich ist dem Trockenbohrverfahren oder Lufthebeverfahren ohne Spülzusätze Vorrang einzuräumen. Sind aus bohrtechnischen Gründen Spülzusätze unvermeidbar, dürfen nur solche angewandt werden, die keinen nachhaltigen Einfluß auf die Beschaffenheit des Grundwassers haben. Sie müssen durch Abpumpen bzw. Klarpumpen nach Fertigstellung der Meßstelle umgehend entfernt werden. Zweckmäßigerweise sollten nur anorganische (bzw. weitgehend natürliche) Spülzusätze wie z. B. Bentonit (nicht wassergefährdend), Tixoton (ein Ca-Bentonit mit 4,5% Na-Carbonat, schwach wassergefährdend) verwendet werden. Die Anwendung organischer Spülzusätze wie z. B. Antisol (wenig wassergefährdend) sollte auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben, deren Notwendigkeit jeweils zu begründen wäre.

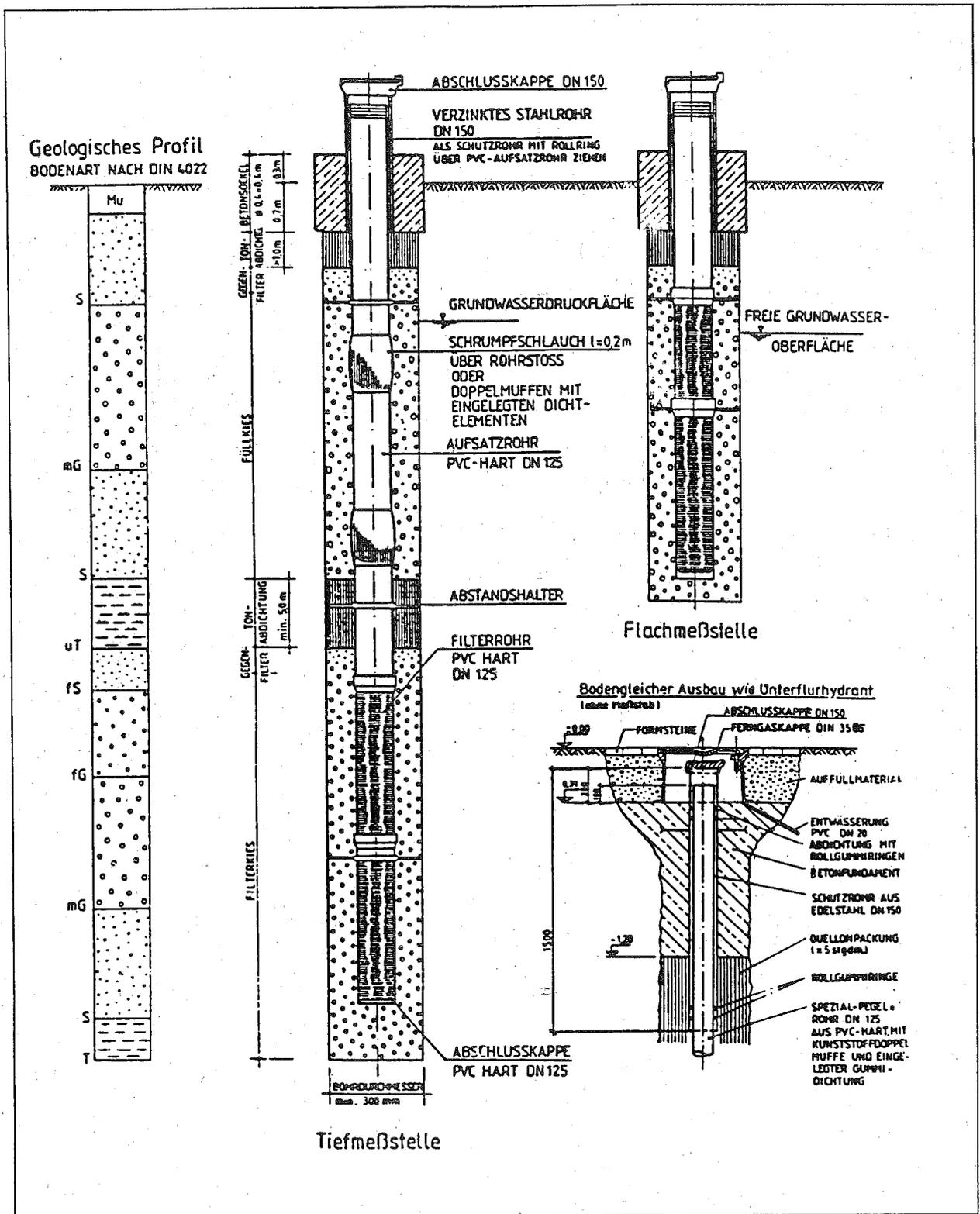


Abb. 3 Regelausbau von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen (Schemaskizze)

3.1.3 Geophysikalische Messungen

Da vor allem bei tiefen Bohrungen und insbesondere im Lockergestein eine Veränderung des Probematerials nicht auszuschließen und eine exakte Zuordnung zu bestimmten Teufen manchmal zweifelhaft ist, sind in der Regel geophysikalische Messungen durchzuführen (DVGW-Merkblatt W 110, 1990). Gammastrahlung, Eigenpotential und spezifischer elektrischer Widerstand sind zu messen, außerdem können Flowmeter- und Kalibermessungen sinnvoll sein. Ergänzend dazu dienen Fernsehaufnahmen im verrohrten und im standfesten unverrohrten Bohrloch zur Verbesserung des Kenntnisstandes über die hydrogeologischen Verhältnisse und die Funktionsfähigkeit der Meßstelle.

3.1.4 Ausbauart

Der Ausbau der Meßstelle muß entsprechend dem vorliegenden Bohrprofil, den grundwasserhydraulischen Verhältnissen und der gestellten Zielsetzung (z. B. Sondermeßstelle) erfolgen. In Abb. 3 ist der Regelausbau einer flachen und einer tiefen Meßstelle dargestellt.

Die Ausbaugarnitur besteht in der Regel aus Filterrohr, Aufsatzrohr und Abschlußteil an der Erdoberfläche.

Für den Einsatz einer Unterwasserpumpe sollte der Innendurchmesser des Rohres so gewählt werden, daß das Aus- und Einfahren der Pumpe auch bei nicht lotrecht eingebauten Rohrtouren unproblematisch ist. Das Beobachtungsrohr muß zentrisch unter Einsatz von Abstandshaltern in die Bohrung eingesetzt werden.

Auf den Einbau von Sumpfrohren, wie bei vielen älteren Grundwassermeßstellen üblich, sollte verzichtet werden, da sich hier eine veränderte Grundwasserbeschaffenheit einstellt. Der Filterfuß ist mit einer Verschlußkappe zu versehen.

Filterlänge und Filterlage richten sich unter Berücksichtigung der Transportmechanismen der Wasserinhaltsstoffe nach der Aufgabenstellung und nach der Lage und Mächtigkeit des Grundwasserleiters. Verallgemeinernd wird empfohlen, bis zum erwarteten obersten Grundwasserstand über den gesamten Grundwasserraum des oberen freien Grundwasserstockwerks zu verfiltern, wobei die Gefahr der Verockerung im Schwankungsbereich bestehen kann. Durch diese Verfilterung wird gewährleistet, daß einerseits eine Mischprobe gewonnen werden kann, andererseits aber auch spezifisch leichtere Stoffe (z. B. Mineralöl) oder spezifisch schwerere Stoffe (z. B. leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe in Phase oder gelöst in höheren Konzentrationen) bei der Probennahme erfaßt werden können.

Hydrogeologisch ist zu bewerten, welche Zuflußbereiche des Grundwasserleiters durch die Meßstelle erfaßt werden. Ob nur eine oder mehrere Filterstrecken gewählt werden, muß von Fall zu Fall entschieden werden, z. B. wenn innerhalb eines Grundwasserleiters bestimmte Wasserinhaltsstoffe deutlich geschichtet sind.

Die Filterschlitzweite richtet sich nach der geplanten Filterkieskörnung und dem anstehenden Bohrprofil. Angaben hierfür sind aus der LAWA-Richtlinie „Grundwasserstand“ zu entnehmen.

Um bei Setzungen im Ringraum das Eindringen von Fremdmaterial in den ausgefilterten Bereich zu vermeiden, muß die Schüttungsoberkante mindestens 1 m über der Filteroberkante liegen. Zwischen der Abdichtung und dem Filterkies sollte ein Gegenfilter (abgestufte Filterkiesschüttung) angebracht sein, damit kein Dichtungsmaterial wie z. B. Tonpartikel in den Filterbereich eindringt.

Der Einbau von Abstandshaltern ermöglicht eine gleichmäßige allseitige Verfüllung des Ringraumes zwischen Ausbau- und Bohrlochwand, der je nach Lage, Ausbau und Aufgabe der Grundwassermeßstelle unterschiedlich (Filterkies, Tondichtung und Füllkies) verfüllt wird. Alle stockwerkstrennenden Abdichtungen sollen eine Länge von mind. 5 m aufweisen. Der Ringraum wird unterhalb der Geländeoberkante durch eine Tonabdichtung von mindestens 1 m Länge abgeschlossen. Diese muß in vorhandene Deckschichten wirksam einbinden, um das Eindringen von Oberflächenwasser in den Ringraum zu verhindern.

Über das PVC-Rohr ist im Abschlußbereich an der Geländeoberfläche ein 1,50 m langes verzinktes Schutzrohr aus Stahl mit Rollringen zur Abdichtung zu stülpen, das in einem Betonsockel stand- und frostsicher eingebunden wird (Abb. 3). Meßpunkt für die Messung des Grundwasserstandes ist OK Standrohr bzw. Abschlußkappe. Das Aufsatzrohr (Vollwandrohr) darf keine unmittelbare Verbindung zum Schutzrohr aus Stahl haben. Dadurch wird bei der Probennahme ein Kontakt des Grundwassers mit Stahl ausgeschlossen.

3.1.5 Ausbaumaterial

Das Ausbaumaterial einer Grundwassermeßstelle orientiert sich an der Fragestellung und sollte so wenig wie möglich Veränderungen der zu untersuchenden Wasserinhaltsstoffe verursachen. In diesem Zusammenhang spielen z. B. Korrosionserscheinungen bei Stahlrohren sowie Beeinflussungen organischer Inhaltsstoffe durch Kunststoffrohre eine Rolle.

Die bei der allgemeinen Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit möglicherweise auftretenden Fehler aufgrund des Ausbaumaterials sind noch nicht vollständig untersucht. Informationen hierzu stehen in den DVWK-Mitteilungen, Heft 20, 1990 zur Verfügung.

In der Regel wird als Ausbaumaterial PVC-hart gewählt. In Sonderfällen, z. B. bei Vorhandensein von PVC-anlösenden leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen mit Konzentrationen im Sättigungsbereich, muß nichtrostender Stahl verwendet werden. Bei Meßstellen mit Beobachtungsrohren aus Kunststoff kann davon ausgegangen werden, daß die Meßergebnisse weitestgehend unverfälscht gewonnen werden können. Eine Ausnahme bilden Schadensfälle mit Lösemitteln. Ausbaumaterialien aus Stahl führen zu Verfälschungen der Meßergebnisse bei der Spurenanalytik auf Schwermetalle.

Die gleichen Gesichtspunkte gelten sinngemäß für die Abstandshalter. Das Material für Filter, Aufsatzrohre, Abstandshalter und Bodenkappe muß korrosionsfest sein und darf keine Stoffe an das Grundwasser abgeben oder Stoffe adsorbieren. Der Einbau von z. B. verzinkten Rohren, Stahlrohren mit Innenanstrichen, Verschlußkappen aus imprägniertem Holz oder Kiesbelagfiltern, bei denen der Kiesbelag mittels Kunstharzen auf dem Filterrohr festgeklebt ist, führt bei der Einrichtung einer Beschaffenheitsmeßstelle zu unzulässigen Einflüssen auf die Wasserprobe.

Die Aufsatzrohre müssen an den Verbindungen stets wasserdicht sein, um hydraulische Kurzschlüsse zwischen Grundwasserstockwerken zu vermeiden, die die Meßergebnisse verfälschen würden. Die Undichtigkeiten an den Verbindungen beruhen darauf, daß Schraubgewinde verkantet aufgesetzt, nicht richtig angedreht oder zu stark angezogen worden sind, so daß die Muffen platzen. Außerdem treten insbesondere bei tiefen Meßstellen Undichtigkeiten infolge Zugbeanspruchungen beim hängenden Einbau der Rohre, aber auch Überbeanspruchungen infolge des herrschenden Gebirgsdruckes auf. Bewährt haben sich Doppelmuffen-Verbindungen mit eingearbeiteter Dichtung.

Als Filterkies wird gewaschener und gebrochener Quarzkies bzw. Quarzsand in einer auf die Korngrößenverteilungen des umgebenden Gesteins abgestimmten Körnung entsprechend DIN 4924 empfohlen.

Die hydraulische Funktion von Grundwasserhemmschichten muß durch den Einbau von wassersperrendem Material im Ringraum wieder hergestellt werden, damit keine Ausgleichsströmungen zwischen den einzelnen Stockwerken auftreten können, die zu unerwünschter Vermischung verschiedenartiger Grundwässer führen. Abdichtungen sind besonders sorgfältig einzubauen. Es kommt u. a. ein stark quellender, granulierter Bentonit oder eine plastische Ton-Zement-Suspension (Dämmert) als Dichtungsmaterial zum Einsatz. Voraussetzung ist aber, daß der zementhaltige Dichtungsmörtel im sauren Bereich chemisch beständig bleibt. Bei den sehr rasch quellenden Bentoniten besteht die Gefahr, daß sie unter Umständen im Ringraum an falscher Stelle fixiert werden. Es müssen daher die Anwendungshinweise der Herstellerfirmen genau beachtet werden (z. B. Ablotungen während des Einbaues der Abdichtungsmasse, Mischung mit Kies zur Verbesserung des Sinkverhaltens oder Verwendung von besonders geformten Tonpellets).

Die weiterhin noch verwendeten Abdichtungsmaterialien wie Beton oder eine Mischung aus Kalkmergel und zerkleinerten Zementklinkern reißen bei Zugbeanspruchung und sind chemisch nicht inert. Insbesondere sollten sie nicht in Grundwasserleitern verwendet werden, in denen weiche Wässer mit aggressiver Kohlensäure zirkulieren (z. B. Quarzite und Buntsandsteine). Insgesamt sollte zur Abdichtung stockwerkstrennender Schichten nur anorganisches Material verwendet werden.

Über der Abdichtung wird in der Regel Füllkies eingeschüttet. Bohrgut darf nicht verwendet werden, da bei dessen Einsatz wegen der Inhomogenität die Gefahr des Nachsackens und damit eine Bruchgefahr für den Ausbau besteht. Zweckmäßig ist es, den gesamten Bereich über der Abdichtung mit einer abdichtenden Verfüllung zu versehen, weil auf diese Weise eine zusätzliche Abdichtung der Rohrverbindungen der Aufsatzrohre stattfindet.

3.1.6 Baustelleneinrichtung und -betrieb

Bei der Baustelleneinrichtung und dem Baustellenbetrieb ist sorgfältig zu verfahren, um von Anfang an keine Belastung des Grundwassers und seiner Deckschichten künstlich zu erzeugen. Das Lagern von Treibstoffen, Schmiermitteln und anderen wassergefährdenden Stoffen ist über direkte Verbrauchsmengen hinaus zu vermeiden, ggf. ist der Boden unter dem Bohrgerät mit saugfähigen Matten abzudecken. Dieselbetriebene Stromerzeuger und wassergefährdende Stoffe sind unbedingt in eine dichte Auffangwanne zu stellen, die auch das anfallende Niederschlagswasser sicher aufnehmen können.

Über den Bohrverlauf sind Bohrberichte sorgfältig zu führen; sie werden in der Regel Bestandteil der Stammakten der Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle.

3.1.7 Klarpumpen

Nach Fertigstellung der Meßstelle muß ausreichend lange klargepumpt werden. Hierbei sollen nicht nur die beim Ausbau evtl. eingebrachten Fremdstoffe entfernt, sondern gleichzeitig auch Hinweise auf die hydraulischen Grundwasserleiterkennwerte gewonnen werden. Über das Klarpumpen ist ein detailliertes Pumpprotokoll, in dem auch der Wiederanstieg des Wasserstandes im Rohr genau festgehalten wird, zu führen. Die Pumpdauer ist je nach der Ergiebigkeit des anstehenden Gesteins, dem angewandten Bohrverfahren und der Meßstelle recht unterschiedlich. Erfahrungsgemäß liegt sie in der Größenordnung von 5 bis 8 Stunden.

Wurden bei der Bohrung Spülzusätze verwendet, ist die Pumpzeit solange auszu dehnen bzw. in Intervallen zu wiederholen, bis durch Trübungsmessungen und physikalisch-chemische Untersuchungen (z. B. Leitfähigkeit, Absorptionskoeffizient bei 254 nm) nachgewiesen ist, daß die Spülzusätze entfernt sind. Die Ergebnisse sind zu protokollieren.

3.1.8 Übernahme

Sind die Bauarbeiten abgeschlossen und ist ordnungsgemäß abgepumpt, wird die Meßstelle zur Überprüfung der plangerechten und ordnungsgemäßen Bauausführung ggf. nach einer Fernsehüberprüfung abgenommen. Die einzelnen Punkte der Überprüfung sind in der LAWA-Richtlinie „Grundwasserstand“ angeführt.

Bei der Verwendung vorhandener Meßstellen wird vor Inbetriebnahme eine Funktionsprüfung empfohlen.

3.2 Eignung vorhandener Grundwasseraufschlüsse

Sollen vorhandene Grundwassermeßstellen zur Messung der Wasserbeschaffenheit herangezogen werden, ist ihre Eignung anhand der Aufgabenstellung zu prüfen und festzustellen, ob eine repräsentative Probennahme aus hydraulischer Sicht überhaupt möglich ist (Grundwasserrichtlinie 1982). Bei Meßstellen zur landesweiten Zustandsbeschreibung der Grundwasserbeschaffenheit muß der Standort der Meßstelle auf eine regionaltypische Grundwasserlandschaft bezogen sein.

Untersuchungen zum Bauzustand der Grundwassermeßstellen können umfassen:

- Abloten des Brunnens mittels Licht- und Tiefenlot zur Feststellung des Grundwasserspiegels, der Ausbautiefe/Gesamttiefe und evtl. Feinstoffverschlämzung in der Filterstrecke.
- Kalibrierung der Vollwand- und Filterstrecken sowie der Bauteillängen mittels Kaliber-Log (CAL.).
- Kontrolle der Dichtigkeit der Rohrverbindungen und der Unversehrtheit der Filterstrecken mittels Widerstands-Log (SPR-Log) bei Kunststoff-Ausbaumaterialien (alternativ bei Stahlausbau: Leitfähigkeits-Log).
- Kontrolle der Lage und Dichte der Tonsperren im Oberteil der Meßstellen und damit der hydraulischen Trennfunktion zwischen Filterstrecken mittels Gamma-Log im Bereich von nicht leitenden Schichten.
- Kontrolle der Ringraumfüllungen bzgl. Qualität und Bestand mittels Gamma-Log bzw. Gamma-Gamma-Log.
- Überprüfung mittels Fernsehkamera.

3.2.1 Beobachtungsrohr (Grundwasserstandsmeßstelle)

Beobachtungsrohre bieten sich insofern als Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen an, als sie in der Regel zahlreich vorhanden sind und von ihnen häufig langfristige Messungen der Grundwasserstände vorliegen.

Beim Ausbau dieser Meßstellen wurde seinerzeit häufig der Frage des Ausbaumaterials nicht die aus heutiger Sicht erforderliche Bedeutung zugemessen. Es wurden in vielen Fällen Materialien verwendet, die nach neueren Erkenntnissen beim Neubau von Meßstellen nicht mehr zum Einsatz kommen, da sie die Wasserbeschaffenheit bzw. die Untersuchungsergebnisse beeinflussen können. Auf jeden Fall müssen über den Meßstellenausbau (Ausbaumaterial, Filterposition und Abdichtungsstrecken) und die hydraulische Anbindung ausreichende Kenntnisse vorhanden sein, damit die Einflußfaktoren ggf. quantifiziert werden können.

Um die Probennahme zu erleichtern, sollte ein ausreichend großer Rohrdurchmesser vorhanden sein. Für Meßstellen mit kleinerer Nennweite als DN 100, aber nicht geringer als DN 50, stehen zur Zeit Pumpen mit befriedigender Leistungsfähigkeit zur Verfügung.

Basierend auf den vorstehenden Voraussetzungen für den Neubau von Meßstellen gelten von vornherein weitgehend als **Ausschlußkriterien** für die Verwendung vorhandener Beobachtungsrohre im Rahmen einer flächenhaften Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit:

- Fehlen von Bohrprofilen oder Vorliegen nur sehr mangelhafter Angaben zu den geologischen Verhältnissen des Untergrundes
- Fehlende Kenntnisse über den Ausbau
- Lage der Meßstellen im Grundwasserunterstrom lokaler Verunreinigungsherde (bei anderer Fragestellung wie z.B. im Zusammenhang mit Erkundungsmaßnahmen bei Grundwasserschadensfällen oder bei Kontrollen von Deponien sind diese Meßstellenstandorte jedoch positiv zu bewerten !)
- Ausbau der Meßstellen mit (verzinktem) Stahl
- Nenndurchmesser zu gering, da diese Meßstellen erfahrungsgemäß verschlammten und wegen ihres meist höheren Alters in einem schlechten Zustand sind
- Position des Filters im Bereich geringer Gesteinsdurchlässigkeit
- Verfilterung mehrerer Grundwasserleiter und/oder Verkiesung des Ringraumes ohne Zwischenschaltung von Tonabdichtungen.

An Meßstellen, an denen bislang noch keine oder wenig Grundwasserstandsdaten erhoben worden sind, sollte dies bei einer Grundwasserbeprobung durch mehrmaliges Messen nachgeholt werden. Ist dies nicht möglich, scheidet die Meßstelle ohnehin für die Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit aus. In solchen Fällen ist zu überlegen, ob nicht in der Nähe gelegene, gefaßte Quellen und ggf. auch Einzelbrunnen von Wassergewinnungsanlagen der Vorzug gegeben werden sollte.

Bei der Verwendung von Mehrfachmeßstellen besteht die Gefahr von Vermischungen (Kap. 3 Ziff. 3.1, LAWA-Richtlinie „Grundwasserstand“, S. 13). Selbst wenn im Ringraum eine wirksame Abdichtung vorhanden ist, kann wegen mangelnder Stockwerkstrennung im benachbarten Gebirge eine Umläufigkeit auftreten.

3.2.2 Brunnen

Als Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen werden häufig auch Brunnen verwendet, aus denen Grundwasser regelmäßig gefördert wird. Für sie gelten sinngemäß die Anforderungen, wie sie in Ziff. 3.2.1 für Beobachtungsrohre ausgeführt sind. Förderbrunnen haben diesen gegenüber den Vorteil, daß von ihnen wegen der Entnahme ein größerer Zuflußbereich des Grundwasserleiters erfaßt wird. Bei laufendem Betrieb kann die Probe ohne vorheriges Abpumpen der Meßstelle gewonnen werden. Es ist darauf zu achten, welche Grundwasserleiter durch den Brunnen erfaßt werden und daß keine Verfälschungen durch Ausbaumaterialien und Entnahmegерäte auftreten. Es sind Brunnen zu bevorzugen, die einen größeren (möglichst > 10 m) Abstand zwischen dem Einhängepunkt der U-Pumpe und der Brunnensohle aufweisen, um möglichst wenig Aufwirbelung im Bereich der Sohle hervorzurufen.

Schachtbrunnen sind in der Regel ungeeignet, da wegen ihres großen Durchmessers Veränderungen des Gashaushalts eintreten können, was Verschiebungen im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht auslöst. Aus dem gleichen Grunde sollten auch Grundwasserblänken möglichst nicht als Meßstellen benutzt werden. Bei ihnen kann außerdem ein Stoffeintrag durch Staub eintreten.

3.2.3 Quellen

Quellen eignen sich für die Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit insbesondere dann, wenn ihnen ein bestimmtes Einzugsgebiet zugeordnet werden kann und weil bei ihnen der unmittelbare Zugriff zum Grundwasser möglich ist. Die Beschaffenheit des Grundwassers kann allerdings durch Gasaustausch mit der Luft beeinflußt werden, weshalb Quellen baulich so ausgeführt sein sollen, daß die Probennahme unmittelbar an der Austrittsstelle erfolgen kann.

Stollen sind im allgemeinen wegen des langen Gerinneweges für die Gewinnung repräsentativer Grundwasserproben weniger geeignet.

4 Unterhaltung und Wartung

4.1 Aufgaben der Unterhaltung und Wartung

An Meßstellen, an denen die Beschaffenheit des Grundwassers erfaßt werden soll, sind gegenüber Grundwasserstandsmeßstellen erhöhte Anforderungen zu stellen. Hierbei sind insbesondere zu beachten die Zufahrtsmöglichkeit zur Meßstelle, die Dichtigkeit von Aufsatzrohren und von Rohrmuffen sowie die Durchlässigkeit der Filterstrecke. Die Funktionsfähigkeit der Meßstelle ist für die Gewinnung einer repräsentativen Grundwasserprobe eine wichtige Voraussetzung. Aus diesem Grund sind eine sorgfältige und turnusmäßige Überprüfung der Meßstelle und Wartungsarbeiten unumgänglich, ebenso notwendige Instandsetzungsarbeiten.

Die Anforderungen, die an Meßstellen zur Beobachtung des Wasserstandes gestellt werden, sind beschrieben in den LAWA-Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 1, „Grundwasserstand“, 1982, Kap. 3 und in Teil 2 „Grundwassertemperatur“, 1986, Kap. 3. Weiter enthält Kap. 4 des Teiles 1 Hinweise zur Unterhaltung und zur Funktionskontrolle von Grundwasserstandsmeßstellen. Im Teil 2, Kap. 2.2 wird die Eignung der Temperaturmessung als Funktionskontrolle erläutert. Die in beiden Richtlinien angeführten Vorgaben gelten sinngemäß auch für Beschaffenheitsmeßstellen. Die darüber hinaus gehenden Anforderungen und Methoden zur Funktionsprüfung werden hier erläutert. Außerdem informieren mit Teilaspekten über den Betrieb von Meßstellen und über Funktionsprüfungen die DVGW-Merkblätter W 110 und W 121.

4.2 Zustandskontrolle

4.2.1 Indirekte Überprüfung anhand vorliegender Stammdaten und Meßreihen

Eine indirekte Überprüfung einer Meßstelle erfolgt durch Auswertung von Stammdaten und Aufzeichnen der Zeitreihen des Grundwasserstandes und der Grundwasserbeschaffenheit sowie durch den Vergleich mit Meßergebnissen benachbarter Meßstellen im gleichen Grundwasserstockwerk. Widersprüche in den Grundwasserstandsganglinien können auf eine abnehmende Durchlässigkeit der Filter oder auf Risse in der Rohrtour (z. B. bei gespannten Grundwasser) hindeuten. Sprünge in der Beschaffenheitszeitreihe können durch Zufluß von Fremdwasser, z. B. über gerissene Aufsatzrohre, verursacht worden sein. Wenn Beschaffenheitsdaten zur Überprüfung herangezogen werden, müssen Probennahme- und Analysenfehler ausgeschlossen werden können. Es ist weiter notwendig, daß Kenntnisse über anthropogene Einflüsse im Umfeld der Meßstelle vorliegen, um Unregelmäßigkeiten in der Beschaffenheitszeitreihe erklären zu können.

4.2.2 Direkte Überprüfung an der Meßstelle

Eine Voraussetzung für den sicheren Betrieb (Probennahme) ist, daß das Umfeld der Meßstelle sorgfältig sauber gehalten wird. Hierzu ist eine häufige visuelle Kontrolle notwendig.

Für die Überprüfung von Beschaffenheitsmeßstellen können die Methoden eingesetzt werden, die auch bei Grundwasserstandsmeßstellen Anwendung finden (LAWA-Richtlinie „Grundwasserstand“). Allerdings ist der in der Richtlinie genannte „Auffüllversuch“ zur Prüfung der Durchlässigkeit des Filters für die Anforderungen an eine Beschaffenheitsmeßstelle zu unempfindlich. Für Beschaffenheitsmeßstellen sind darüber hinaus weitergehende Verfahren einzusetzen, die hier erläutert werden.

– Kamerabefahrung

Hervorzuheben sind insbesondere optische Untersuchungen, die wertvolle Hinweise geologischer Art im unverrohrten Bohrloch und Hinweise über den Zustand des Meßstellenausbaus geben können. Rohrbrüche, undichte Rohrverbindungen und der Zustand der Filter können auf diesem Wege erkannt werden. Das aus einem anderen als dem ausgefilterten Grundwasserleiter zutretende „Fremdwasser“ erkennt man manchmal an farblich auffälligen mineralischen Ausfällungen, die ihren Ausgang an Rohrmuffen, Rissen im Aufsatzrohr u. dgl. nehmen. Der Einsatz von optischen Verfahren liefert relativ gut abgesicherte Ergebnisse über den Zustand einer Meßstelle.

– Tiefenprofile der elektrischen Leitfähigkeit und Temperatur des Grundwassers

Messungen mit ausreichend empfindlich arbeitenden Sonden können Hinweise auf die vertikale Verteilung von Leitfähigkeit und Temperatur innerhalb des Grundwasser-raumes und gegebenenfalls auf Ausgleichsströmung in der Meßstelle geben. Treten im

Profil außerhalb der Filterstrecke Sprünge auf, ist der Verdacht auf undichte Stellen gegeben. Mittels der Temperaturmessung (TEMP-Log) lassen sich nur größere Leckagen in der Rohrtour orten (LAWA-Richtlinie „Grundwassertemperatur“). Das Leitfähigkeitsprofil (COND-Log) kann u.U. sensibler als das Temperaturprofil auf undichte Stellen im Aufsatzrohr reagieren. Erfahrungen zeigen, daß die Ergebnisse eines Verfahrens für sich allein oft nicht ausreichend aussagefähig sind. Daher sollten die Verfahren kombiniert eingesetzt werden.

– Radioaktivitätsprofil

Mit Hilfe der Messung der Gamma-Strahlung (GAMMA-Log) kann im ausgebauten Brunnen die Lage von Tonsperren überprüft werden, sofern hierfür Ton mit ausreichend hoher Gamma-Eigenstrahlung (Isotop K 40) verwendet wurde.

– Widerstandsverfahren

In einer unverrohrten Meßstelle können mit Hilfe der Widerstands-Messung Veränderungen (Verstürze) im Nahbereich des Bohrloches festgestellt werden. Weiter gestattet dieses Verfahren (FEL-Log bei PVC-Rohren, CCL-Log bei Stahlrohren) die Auflösung von Widerstandsinhomogenitäten einer Rohrtour, die z. B. auf den Zutritt von elektrisch wesentlich besser leitendem Wasser aus Rissen in Aufsatzrohren und undichten Rohrverbindungen zurückzuführen sind. Sehr deutlich sind durch diese Messung die Lage von Filtern und Aufsatzrohren erkennbar.

4.3 Wiederherstellung einer Meßstelle

4.3.1 Regeneration

Mechanische und chemische Verfahren zur Wiederherstellung von Meßstellen sind in der LAWA-Richtlinie „Grundwasserstand“ beschrieben. Ihr Einsatz muß von ausgewiesenen Spezialfirmen vorgenommen werden. Für Beschaffenheitsmeßstellen sind mechanische Verfahren vorzuziehen (Abpumpen, Schocken, Kolben, Entsandern, Entschlammern, Spülen, Heißdampf- und Preßluftbehandlung), da hier die Gefahr von Rückständen, die die Beschaffenheit beeinflussen könnten, am geringsten ist. In jedem Fall sind abgelöste Rückstände durch ausreichendes Abpumpen zu beseitigen. Führen mechanische Verfahren nicht zum Ziel und müssen chemische Verfahren eingesetzt werden, wie z. B. Säuern bei starken Verockerungen, so sind folgende Gesichtspunkte zu beachten (besonders bei Förderbrunnen, die in das Meßnetz übernommen wurden).

Es dürfen nur biologisch abbaubare Mittel zum Einsatz kommen. Es muß sichergestellt werden, daß die eingesetzten Mittel aus dem Grundwasser und aus der Meßstelle selbst wieder entfernt werden, da sie sonst nachhaltig die Grundwasserbeschaffenheit beeinflussen. Beim Einsatz von Säuren muß damit gerechnet werden, daß infolge der Korrosion des Ausbaumaterials die Messung einiger Spurenstoffe nicht mehr möglich ist. Die Verwendung von Säure ist auch wegen der Unfallgefahr problematisch (giftige Gase, Verätzung).

4.3.2 Reparatur und Ersatz

Bei schadhafte Rohrtouren (z. B. undichte Muffen, eingedrückte Filter- und Vollwandrohre) besteht bei großkalibrigen Beobachtungsrohren die Möglichkeit, ein inneres Rohr als Endlosrohr aus Polyethylen (PE) einzubauen. Diese Art der Ausbesserung ist bei in tiefen Grundwasserleitern verfilterten Meßstellen nur sinnvoll, wenn eine intakte, voll wirksame Abdichtung im äußeren Ringraum nachgewiesen worden ist. Andernfalls ergeben sich auch nach der Reparaturmaßnahme hydraulische Kurzschlüsse. Wesentlich besser ist eine Neubohrung mit Ausbau zu einer Meßstelle.

Aufgelassene Meßstellen sind sorgfältig über die gesamte Tiefe dicht zu verfüllen.

5 Probennahme

Da das Grundwasser für die Probennahme mit Ausnahme der Quellen in der Regel nicht direkt zugänglich ist, kann eine Probennahme nur über geeignete Grundwasseraufschlüsse und entsprechende Entnahmegерäte erfolgen. Wenn man von den Einflüssen, die bei der Einrichtung von Grundwasseraufschlüssen als Bauwerk auftreten, einmal absieht, können bei der Probennahme durch die Materialien der Probennahmegерäte und dem Entnahmевorgang selbst unterschiedliche Veränderungen der Inhaltsstoffe des Grundwassers auftreten. Die durch die Probennahme verursachten Fehler können dabei erheblich und häufig wesentlich größer sein als die durch die Analytik bedingten Fehler. Die Entnahme der Wasserproben ist deshalb so durchzuführen, daß eine möglichst unverfälschte Probe zur weiteren Untersuchung in das Labor gelangt. Deshalb sollte das untersuchende Labor die Probe selbst entnehmen. Ist dies jedoch nicht zu erreichen, so hat die Probennahme zumindest durch geschultes Personal und in enger Abstimmung mit dem Labor zu erfolgen. Dabei ist zu prüfen, ob und inwieweit die Probennahme auf besondere Probleme auszurichten ist, wie z. B. die Untersuchung spezifischer Inhaltsstoffe des Grundwassers mit einem evtl. erforderlichen Einsatz verschiedener Probennahmegерäte je nach den Inhaltsstoffen, der Ausrichtung der Probennahme nach besonderen hydrologischen Fragestellungen oder den besonderen Anforderungen bei Probennahmen für bakteriologische Untersuchungen. In diesem Zusammenhang ist auf verschiedene schon bestehende Richtlinien hinzuweisen: DIN 38 402, Teil 13, DVGW-Arbeitsblatt W 112, LAGA-Richtlinie PN 1/75, DVWK-Merkblatt 128.

5.1 Probennahmegерäte

Die schnelle Entwicklung der Gerätetechnik und der sich daraus ergebende häufige Wandel im Geräteangebot lassen ein endgültiges Festlegen von geeigneten Probennahmegерäten nicht zu. Es ist daher zum Zeitpunkt des Einsatzes und der Beschaffung von Geräten zu prüfen, ob das vorhandene oder angebotene Gerät den Anforderungen der Probennahme gerecht wird.

An alle für die Entnahme von Grundwasserproben zu benutzenden Geräte sind folgende Anforderungen zu stellen:

- Die Geräte müssen für den Feldeinsatz tauglich sein; dies erfordert eine robuste Ausführung, einfache Handhabung und Bedienung sowie leichten Transport, damit auch schwer zugängliche Meßstellen beprobt werden können.
- Die Geräte müssen auch im Gelände leicht zu säubern sein, damit bei wiederholtem Einsatz keine Störungen durch Verunreinigungen auftreten.
- Das Material, aus dem das Probennahmegерät sowie die Zubehörteile bestehen, darf weder Stoffe adsorbieren noch in die Probe abgeben, da sonst die Meßergebnisse verfälscht werden. Für Pumpen und Schläuche hat sich die Verwendung von Teflon, Edelstahl oder PVC als günstig erwiesen.
- In Abhängigkeit vom Durchmesser des Beobachtungsrohres oder des Brunnens muß das Gerät einen solchen Durchmesser aufweisen, daß es leicht in die Meßstelle hinabgelassen und gezogen werden kann. Das Gerät soll dabei nicht nur von seinem Umfang, sondern auch von seiner Länge so bemessen sein, daß es im Rohr einen ausreichenden Bewegungsspielraum hat.
- Um eine tiefenintegrierte Probennahme zu ermöglichen ist darauf zu achten, daß der Fließwiderstand im Rohr durch die Pumpe nicht erhöht wird. Rohrdurchmesser und Durchmesser der Pumpe müssen abgestimmt sein (ausreichend Spielraum).

Bei der Probennahme im Grundwasser lassen sich folgende Entnahmепrinzipien unterscheiden: Pumpen (Drücken), Saugen, Schöpfen.

5.1.1 Unterwasserpumpen

Unterwasserpumpen werden in der Meßstelle unterhalb des Grundwasserspiegels abgesenkt und drücken mit dem Pumpenaggregat das Wasser an die Oberfläche. Entgasungen sind weitgehend ausgeschlossen.

- Tauchmotorpumpen sind Kreiselpumpen, die mit einem Unterwasserelektromotor gekoppelt sind. Leistungsfähige Pumpen sind nur bei einem größeren Durchmesser (DN > 100) der

Entnahmestelle einsetzbar, können aber je nach Leistung der Pumpe bis in große Tiefen abgelassen werden. Die Pumpe wird an einem Seil in die Entnahmestelle eingelassen. Ein Tragseil aus Edelstahl ist empfehlenswert. Das zum Antrieb erforderliche Stromaggregat muß eine gewisse Reserveleistung besitzen, da die Anlaufleistung der Pumpe bedeutend höher liegen kann als die Dauerleistung. Die Förderleistung ist im einzelnen aus den Pumpdaten (Leistungsdiagramm) zu entnehmen. Es gibt Kleinstpumpen aus Kunststoff, die stufenweise zur Erhöhung der Förderleistung kombiniert werden können. Tauchmotorpumpen sind nur in Meßstellen mit ausreichendem Grundwasserzufluß einsetzbar. Bei zu geringem Wasserzufluß kann der Wasserspiegel rasch bis zum Einlaufkorb absinken und die Pumpe trocken fallen.

In der Praxis sollten möglichst nur Tauchmotorpumpen zur Probennahme verwendet werden.

- Schwingkolbenpumpen
sind Kleinstpumpen zum Einsatz in engen Meßstellen (DN 50) bei geringem Grundwasserzufluß. Sie bestehen aus einem Hohlkolben, der in einer wechselstromgespeisten Spule schwingt. Die Leistung der Pumpen bewegt sich zwischen 0,02 und 0,15 l/s, die maximale Förderhöhe beträgt 65 m. Bei der geringen Leistungsfähigkeit der Pumpe ist auf ausreichend langes Abpumpen zu achten.
Die Pumpen sind empfindlich gegen Schwebstoffe im Wasser, die zum Festsetzen des Kolbens führen können. Zur Vermeidung von Schmutzeintrag sollte der Ansaugstutzen mit einem Polyamidfilter versehen werden.
- Hubkolbenpumpen
arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip und bestehen aus einem Hohlzylinder mit Ein- und Auslaßventil, in dem sich ein Kolben bewegt. Aufgrund der konstruktionsbedingten Nachteile (Seil in starrem Kunststoffschlauch) ist diese Pumpe nur sehr begrenzt einsetzbar.
- Druckluft- oder Impulspumpen
arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip und bestehen aus einem Pumpengehäuse, an das ein Schlauch für Druckluftzufuhr und ein Schlauch für die Wasserentnahme angeschlossen sind. Die Pumpe ist für enge Meßstellen geeignet. Die Förderhöhe kann 100 und mehr Meter betragen. Vorteilhaft ist die einfache Handhabung, nachteilig dagegen die geringe Fördermenge.
- Tiefsauger
arbeiten nach dem Wasserstrahlprinzip. Eingelassen wird ein Doppelschlauch mit einer Düse. Zum Anlaufen benötigt das System Fremdwasser, das durch einen Rollkolbenmotor mit hoher Geschwindigkeit durch die Düse gedrückt wird. Dieses Treibwasser saugt über einen Saugkorb Wasser aus dem Grundwasserleiter an und drückt es über die Steigleitung in einen Entlastungsbehälter. Nachteilig ist, daß sich zunächst Treibwasser und Grundwasser vermischen. Deshalb muß vor der Probennahme der volle Wasseraustausch abgewartet werden, außerdem kann der Gashaushalt des zu beprobenden Wassers gestört werden. Neben einer robusten Bauweise bietet das Gerät den Vorteil, in großen Entnahmetiefen eingesetzt werden zu können und größere Wassermengen zu liefern.

5.1.2 Sauggeräte

Sauggeräte können in der Praxis nur bis zu einem Flurabstand des Grundwassers von etwa 8 m eingesetzt werden. Beim Einsatz von Sauggeräten wird der Gashaushalt des zu beprobenden Grundwassers beeinflusst.

- Saugpumpen
Die Wasserentnahme erfolgt über einen in die Meßstelle einzulassenden Saugschlauch. Bei größeren Entnahmetiefen (> 3 m) ist ein Fußventil am Ende des Saugschlaches erforderlich. Zum Drosseln der Pumpe, um z. B. ein übermäßiges Absinken des Wasserspiegels zu vermeiden, muß der Auslaßschlauch mit einem Absperrschieber oder -hahn versehen sein. Am besten läßt sich dies auch mit einer elektronisch gesteuerten Drehzahlregelung erreichen. Moderne, für die Probennahme im Feldeinsatz geeignete Saugpumpen gibt es in verschiedenen Ausführungen entweder als Elektromotorpumpen oder als Benzinmotorpumpen. Kreiselpumpen sind nicht sehr empfindlich, allerdings kann bei längerem Einsatz durch Abnutzung die Förderhöhe und Förderleistung absinken, insbesondere wenn oft sand- und schlammhaltiges Wasser gefördert wird.

In geringen Förderhöhen bewegt sich die Förderleistung der Pumpen zwischen 0,5 und 3 l/s. Sie eignen sich für längeres Abpumpen auch in Meßstellen mit engen Durchmessern.

– Kolbenprober

Er besteht aus einem Glaszylinder mit eingeschliffenem Kolben. Zwei Ventile im Saug- und Entnahmeschlauch erlauben eine diskontinuierliche Probennahme. Durch Zylindervolumen und Handbetrieb ist die Entnahmemenge begrenzt. Der Einsatz ist beschränkt, z. B. auf Meßstellen mit geringem Zufluß oder geringem Durchmesser.

Vorteilhaft beim Kolbenprober sind die leichte Reinigung und das Fehlen jeglicher Metallteile; nachteilig ist die Empfindlichkeit der Glasschliffe gegen Schwebeteilchen. Wasser sollte daher nur über feine Polyamidfilter angesaugt werden.

5.1.3 Schöpfgeräte

Schöpfgeräte sind die einfachsten Geräte zur Entnahme von Grundwasserproben. Man unterscheidet Schöpfbecher (einseitig offene Gefäße) und Schöpfapparate (durch Klappen und Ventile verschließbare Hohlkörper). Wegen ihrer geringen Entnahmekapazität sollten sie nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen. Um Schichtungen im Grundwasser festzustellen oder spezifische leichtere Stoffe an der Grundwasseroberfläche zu erfassen, werden Proben bevorzugt mit Schöpfgeräten entnommen. Der Einsatz von Schöpfgeräten in gut durchströmten Grundwasserleitern ist auch dann möglich, wenn nur Parameter untersucht werden sollen, die nicht durch die Probennahme beeinflusst werden. Nachteilig ist das mögliche Verschleppen von Stoffen beim Einlassen des Schöpfers und der Mangel, das Wasser ausreichend auszutauschen. Bei Quellen, Stollen, Grundwasserblänken und Aufgrabungen von Grundwasser werden Schöpfgeräte zur Probennahme eingesetzt bzw. die Probennahmeflaschen unmittelbar befüllt.

5.2 Durchführung

5.2.1 Abpumpen

Bei Entnahme von Grundwasserproben mit Pumpen ist das Beobachtungsrohr oder der Brunnen vorher abzupumpen. Dabei soll erreicht werden, daß das Standwasser im Rohr oder Brunnen sowie im Ringraum und ggfs. in der Steigleitung vollständig ausgetauscht wird (Mindestforderung dreifaches Rohrvolumen). Jede Meßstelle bzw. alle Brunnen haben aufgrund ihres Ausbaus und der hydrogeologischen Gegebenheiten ihre eigene Charakteristik hinsichtlich Pumpzeit und Pumpmenge. Deshalb sollte in allen Fällen vorher die abzupumpende Wassermenge anhand der Ausbaudaten und hydrogeologischen Kenntnisse überschlägig ermittelt werden, damit die Pumpdauer sowie bei mobilen Pumpen Art, Leistung und Einhängtiefe der Pumpe im Rohr daraufhin ausgelegt werden können. Die abgepumpte Wassermenge ist zu messen (Meßwehr, Wasseruhr, Eimer).

Der richtige Zeitpunkt der Probennahme ist erreicht, wenn die laufend gemessene Leitfähigkeit des abgepumpten Wassers einen annähernd konstanten Wert aufweist.

Abgepumptes Grundwasser wird unterstromig versickert oder in Vorfluter eingeleitet. Kontaminiertes Grundwasser muß unter Einhaltung wasserrechtlicher Vorschriften beseitigt werden.

Die eigentliche Probennahme erfolgt mit gedrosselter Pumpenleistung.

5.2.2 Schöpfen

Bei den wenigen Sonderfällen der manuellen Probennahme wird die Probe entweder direkt in die Probebehälter eingefüllt oder es werden Schöpfbecher bzw. Schöpfapparate eingesetzt. Die Probennahme mit dem Schöpfer kann sich auch an das Abpumpen anschließen, falls die für das Abpumpen verwendeten Pumpen für eine Probennahme nicht geeignet sind.

5.2.3 Feldmessungen

Im Anschluß an das Abpumpen sind Bewertungen und Messungen vor Ort durchzuführen. Sie beziehen sich auf Eigenschaften und Untersuchungsparameter des Grundwassers, die sich beim Transport der Wasserprobe verändern können. Es sind zu unterscheiden

- Organoleptische Bewertungen wie die Prüfung von Färbung, Trübung und Geruch

- Physikalisch-chemische Messungen, die vor dem Befüllen im Förderstrom elektrometrisch zu messen sind
 - pH-Wert
 - Leitfähigkeit bezogen auf 25 °C
 - Sauerstoffgehalt

Außerdem sind die Wassertemperatur beim Befüllen im Förderstrom und die Lufttemperatur zu messen sowie mögliche Ausgasungen festzuhalten. Soll die Grundwassertemperatur selbst als Beschaffenheitsparameter erfasst werden, ist gemäß LAWA-Richtlinie „Grundwassertemperatur“ zu verfahren. Die Bewertungen und Messungen sind in das Formblatt für die Probennahme einzutragen.

5.2.4 Befüllen

Bei der Probennahme und dem Befüllen der Probenbehälter müssen Einflüsse, die die Probe verändern können, ausgeschaltet werden. Proben, die nach längerem Abpumpen nicht klar werden, sollten durch Filtration mit 0,45 µ-Filter in gelöste und ungelöste Anteile differenziert werden. Durch einen Filtrationsschritt treten bei kolloidal- und dispersgelösten Stoffen Veränderungen auf. Temperatureinflüsse durch Sonnenstrahlung sind durch geeignete Vorrichtungen (Sonnenschirm) zu vermeiden, ebenso die Einflüsse aus den Abgasen der Stromaggregate, die für den Pumpenbetrieb eingesetzt werden. Zweckmäßigerweise werden sie in einem angemessenen Abstand von der Probennahmestelle windabgewandt aufgestellt.

Die Befüllung der Probenbehälter ist nur über einen am Entnahmeschlauch angebrachten Bypass vorzunehmen. Bei der Probennahme muß der Auslaß am Schlauchende gedrosselt sein, um eine Entgasung des Wassers zu verhindern. Bei Brunnen mit festinstallierten Pumpen erfolgt die Befüllung des Probenbehälters über einen Zapfhahn. Um zu vermeiden, daß durch das Auf- und Zudrehen des Zapfhahnes Fremdpartikel in die Wasserprobe gelangen, muß man ein hinreichendes Volumen ablaufen lassen.

Art und Umfang der zu befüllenden Probenbehälter sind vom untersuchenden Labor zu bestimmen. Die Probenbehälter sind vor ihrer Befüllung dreimal mit dem zu untersuchenden Grundwasser auszuspülen und über den bis auf den Flaschenboden eintauchenden Schlauch zu befüllen. Die Behälter sollen nach dem Vollaufen noch kurze Zeit überlaufen und sind nach langsamen Herausziehen des Schlauches sofort zu verschließen.

Bei Quellen und Stollen sind die Proben möglichst unmittelbar an der Austrittsstelle zu entnehmen. Muß das Probennahmegerät z. B. in eine Quelle eingetaucht werden, so darf die Hand nur unterstrom mit dem Wasser in Berührung kommen. Bei überstauten Quellen und Stollenausläufen soll die Probe für die Untersuchung von gasförmigen Parametern mit einer kleinen Unterwasserpumpe entnommen werden.

5.2.5 Probenvorbehandlung

Um eine Veränderung der zu bestimmenden Parameter im Zeitraum zwischen der Entnahme der Probe und der Untersuchung im Labor zu verhindern, ist die Probe besonders zu behandeln. Man unterscheidet zwischen Konservierungsmaßnahmen wie Kühlen und Einfrieren und einer Vorbehandlung durch Zusatz bestimmter Chemikalien. Dabei ist in der Regel die Kühlung vorzuziehen, da hierdurch die geringsten Veränderungen an der Probe auftreten. Um Störungen bei der späteren Untersuchung auszuschließen, sollte möglichst auf einen Chemikalienzusatz verzichtet werden. Falls dennoch eine Probenvorbehandlung unumgänglich ist, muß sie mit dem untersuchenden Labor abgestimmt werden. Soll nur der gelöste Anteil bestimmter Inhaltsstoffe des Grundwassers (z. B. Al) untersucht werden, ist die Probe unmittelbar nach der Entnahme zu filtrieren. Die Probenvorbehandlung bei mikrobiologischen und biologischen Untersuchungen ist in DIN 38411, Teil 1, und DIN 38412, Teil 1, geregelt. Die Wasserproben sind umgehend dem untersuchenden Labor zuzustellen und bis zur Übergabe kühl und dunkel aufzubewahren.

5.2.6 Probennahmeprotokoll

Über jede Probennahme ist ein Protokoll gemäß Formblatt zu führen. Ein Beispiel für ein geeignetes Formblatt ist in Anl. 1 gegeben. Es soll dem Probennehmer als Merkliste dienen und dem untersuchenden Labor Informationen über die Tätigkeiten und Messungen bei der Probennahme vermitteln sowie Beobachtungen festhalten, die für die Analytik und spätere Auswertung von Bedeutung sind. Soweit erforderlich, sollen Vorgaben für den Probennehmer in das Protokoll bereits eingetragen sein.

Anl. 1 Grundwasserbeschaffenheit – Probenahmeprotokoll (Muster)

Dienststelle	<input type="text"/>	Dienst.-Nr.	<input type="text"/>
Meßstellen- Bezeichnung	<input type="text"/>	Meßst.-Nr.	<input type="text"/>
Betreiber	<input type="text"/>	Proben-Nr.	<input type="text"/>
Probennehmende Stelle	<input type="text"/>	Probenahme- Datum	<input type="text"/>
		Uhrzeit	<input type="text"/>
		Meßprogramm	<input type="text"/>

Bauart der Meßstelle

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

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

Filterstrecke/n von , bis , m unter Meßpunkt

Einhängtiefe der Pumpe , m unter Meßpunkt

Beprobter Tiefenbereich:

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

Art der Probenahme Mindestmenge beim Abpumpen
3x Revolverum

- 1 Pumpen (Drücken)
- 2 Saugen
- 3 Schöpfen

Schlauchmaterial

- 1 PVC
- 2 Teflon
- 3 Edelstahl

Förderstrom/Schüttung
bei der Probenahme , (Vs)

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 faulig (NH₃), 5 chemisch, 6 Chlor, 7 Mineralöl

Ausgasung 1 nein, 2 ja

Messung

Grundwassertemperatur
(im Förderstrom) , (°C)

Luft-
temperatur - / + , (°C)

Elektrische (bez. auf
Leitfähigkeit 25°C) (µ S/cm)

pH-Wert ,

Sauerstoff , (mg/l)

Bemerkungen

Datum/Unterschrift
(Probennehmer)

5.2.7 Gerätereinigung

Bei der Probennahme ist darauf zu achten, daß alle Teile der eingesetzten Geräte, insbesondere Pumpen, Schläuche und Kabel, mit der Bodenoberfläche nicht in Berührung kommen. Das Spülen und Säubern der Geräte muß mit Hilfe von mitgeführtem Wasser erfolgen, sofern kein Leitungswasser zur Verfügung steht. Gegebenenfalls ist ein zweiter Gerätesatz erforderlich, wenn die Reinigung Schwierigkeiten bereitet. Nach Abschluß des Feldeinsatzes sollte das Gerät, soweit erforderlich, noch einmal im Labor oder in der Werkstatt gereinigt werden. Es empfiehlt sich, auch bei großen zeitlichen Abständen im Feldeinsatz gewisse Teile wie die Schläuche auszutauschen.

5.2.8 Qualitätssicherung

Bei Probennahme, Befüllung der Probenflaschen, Probenkonservierung, Probentransport, Probenvorbehandlung und Feldmessungen sind geeignete Qualitätssicherungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Die hierfür gültigen Grundsätze sind in Kap. 6.4 „Analytische Qualitätssicherung“ zusammengefaßt.

6 Parameterkatalog und Analysenverfahren

6.1 Parameterkatalog

Mit Hilfe der untersuchten Parameter sollen die geochemischen Eigenschaften des Grundwassers und mögliche anthropogene Veränderungen erfaßt werden.

Die natürlichen geochemischen Eigenschaften werden vornehmlich durch Art und Ausbildung des Grundwasserleiters und der Deckschichten geprägt. Anthropogene Veränderungen können flächenhaft oder örtlich begrenzt auftreten. Ihr Ausmaß wird im wesentlichen bestimmt von:

- den chemisch-physikalischen Eigenschaften der eingetragenen Stoffe
- der Stoffmenge
- den chemischen und biologischen Umsetzungen der eingetragenen Stoffe
- den hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes.

Der Parameterkatalog ist in Meßprogramme bzw. Pakete unterteilt. Grundsätzlich können alle aufgeführten Parameterpakete im Bedarfsfall erweitert oder gekürzt werden.

A Grundmeßprogramm

Parameterpaket A dient vornehmlich der Erfassung der chemischen Eigenschaften des Grundwassers, die weitgehend durch die geochemischen Eigenschaften des Sickerwassers und des Grundwasserleiters bestimmt werden. Zu einer umfassenden Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit muß dieses Paket der Hauptinhaltsstoffe daher immer untersucht werden. ortho-Phosphat muß nach Filtration, Gesamtphosphor ohne Filtration bestimmt werden.

- | | | |
|---|---|---------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> - Temperatur - Färbung - Trübung - Geruch - Ausgasung - pH-Wert - elektrische Leitfähigkeit - Sauerstoff | } | bei der Probennahme |
|---|---|---------------------|
- Säurekapazität bis pH 4,3
 - Basekapazität bis pH 8,2
 - ortho-Phosphat
 - Phosphor gesamt
 - Chlorid
 - Sulfat
 - Nitrat
 - Ammonium
 - Calcium
 - Magnesium
 - Natrium
 - Kalium
 - Eisen
 - Mangan
 - DOC

B Metalle

Parameterpaket B umfaßt Metalle und Metalloide, die geogenen oder auch anthropogenen Ursprungs sein können. Sie werden mit der Ausnahme von Aluminium aus der unfiltrierten Probe bestimmt.

Aluminium kann im Zusammenhang mit dem pH-Wert als Indikator-Parameter für den Einfluß saurer Depositionen auf das Grundwasser benutzt werden. Um die pH-abhängige Mobilisierung dieses Metalls unbeeinflußt von geogen vorhandenen Al-Gehalten der Tonminerale beobachten zu können, ist es erforderlich, die Grundwasserprobe noch am Entnahmeort zu filtrieren (0,45 µm).

Das Paket B sollte bei einer Erstbeprobung immer miterfaßt und in größeren Zeitabständen wiederholt werden.

Bei weiteren Untersuchungen ist in Abhängigkeit von den vorliegenden Ergebnissen und den örtlichen Gegebenheiten eine Modifizierung des Untersuchungsumfangs möglich.

- Chrom
- Kupfer
- Nickel
- Zink
- Blei
- Cadmium
- Arsen
- Bor
- Aluminium

C Organische Summenparameter

Die Untersuchung von organischen Summenparametern dient der Auffindung, Abgrenzung und Beurteilung von anthropogenen Beeinflussungen und ist somit problemorientiert einzusetzen. In vielen Fällen müssen diese Untersuchungen durch Einzelstoffanalytik ergänzt werden, da z. B. der AOX relativ unempfindlich ist.

- Kohlenwasserstoffe
- Phenolindex
- AOX

D Leichtflüchtige HKW (LHKW)

Wegen der inzwischen beobachteten z. T. großflächigen Verunreinigung des Grundwassers mit leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen sollte dieses Parameterpaket zumindest bei der Erstbeprobung eingesetzt werden.

- Dichlormethan
- Trichlormethan
- Tetrachlormethan
- 1,1,1-Trichlorethan
- Trichlorethen
- Tetrachlorethen
- cis-1,2-Dichlorethen
- Vinylchlorid (nur bei Verdacht)

E Weitere organische Einzelstoffe

Die Untersuchung von weiteren organischen Einzelstoffen dient ebenfalls der Auffindung, Abgrenzung und Beurteilung von anthropogenen Beeinflussungen und ist problemorientiert einzusetzen.

- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Pflanzenschutzmittel (Wirkstoffe und Metabolite)
- Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die Konzentrationen der Einzelsubstanzen sind jeweils anzugeben.

F Biologische Untersuchungen

Biologische Untersuchungen sollten ebenfalls nur problemorientiert durchgeführt werden.

- Koloniezahl
- coliforme Keime
- Biotestverfahren

G Radioaktivität

Die Untersuchung der Radioaktivität sollte nur problemorientiert durchgeführt werden. Regelmäßige Messungen erfolgen z. Zt. nur an wenigen ausgesuchten Meßstellen auf der Grundlage des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) vom 19. 12. 1986. Gemessen werden:

α -, β - und γ -Aktivitäten

6.2 Meßturnus

Um Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit zu erhalten, müssen Grundwasseruntersuchungen den hydromechanischen und hydrochemischen Abläufen im Grundwasserleiter angepaßt werden.

Da die natürliche Grundwasserbeschaffenheit in der Regel keinen kurzzeitigen Schwankungen unterliegt, ist eine halbjährliche Beprobung als ausreichend zu betrachten. Intensive Stoffmobilisationen sind zu Zeiten großer Grundwasserneubildung zu erwarten. Unter Berücksichtigung der Fließzeit im Sicker- und Grundwasserraum bis zu einer bestimmten Meßstelle sollte die Beprobung deshalb auch nach solchen Perioden größerer Grundwasserneubildung erfolgen.

In Bereichen starker Eingriffe in die Grundwasserströmung (z. B. Grundwasserentnahmen, Versickerungen und Versenkungen) ist der Meßturnus dem veränderten Stofftransport anzupassen.

6.3 Analysenverfahren

Um die von verschiedenen Labors im Rahmen eines Untersuchungsprogramms zur Ermittlung der chemischen Grundwasserbeschaffenheit ermittelten Analyseergebnisse miteinander vergleichen zu können, ist es erforderlich, die anzuwendenden Analysenverfahren zu vereinheitlichen.

Ausgewählt wurden Verfahren, die den anerkannten Regeln der Wasseranalytik, wie sie in den DIN- bzw. DEV-Vorschriften niedergelegt sind, entsprechen. Bei einer Reihe von Parametern, für die es kein genormtes Verfahren gibt, sollen Analysenverfahren angewandt werden, die besonders für die Belange der Wasserwirtschaft entwickelt wurden. Ein von diesen abweichendes gleichwertiges Verfahren kann nur angewandt werden, wenn die jeweiligen Qualitätsanforderungen zuverlässig und reproduzierbar erfüllt werden.

Bei vielen Parametern stehen mehrere Analysenverfahren zur Auswahl. Damit wird einerseits den verschiedenen Anwendungsbereichen (Konzentrationsbereiche, Matrices) und andererseits einer großen Bandbreite gerätemäßiger Ausstattung der Labors Rechnung getragen.

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind für die einzelnen Parameter die ausgewählten Verfahren sowie die üblicherweise anzustrebenden Bestimmungsgrenzen angegeben. Diese orientieren sich an den Erfordernissen zur Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit, dem Stand der Analysentechnik und dem zum Erreichen dieser Bestimmungsgrenzen notwendigen Aufwand.

Tabelle 2

Parameter	Einheit	Bestimmungsgrenze		empfohlene Analysenverfahren	Stand
		anzu- strebende	nach Verfahren		
pH-Wert				DIN 38 404 C 5	1/84
Leitfähigkeit	$\mu\text{S/cm}$			DIN 38 404 C 8	9/85
Sauerstoff	mg/l	0,5	0,2	DIN 38 408 G 21	5/84
			0,1	DIN 38 408 G 22	11/86
Redoxspannung	mV			DIN 38 404 C 6	5/84
Säurekapazität bis 4,3	mmol/l	0,05		DIN 38 409 H 7-1-2	5/79
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/l	0,05		DIN 38 409 H 7-2-2	5/79

Parameter	Einheit	Bestimmungsgrenze anzu- strebende	nach Verfahren	empfohlene Analysenverfahren	Stand
Calcium	mg/l	2	0,2	DIN 38 406 E 3-1	9/82
			2,0	DIN 38 406 E 3-2	9/82
			0,01	DIN 38 406 E 22	3/88
Magnesium	mg/l	1	0,05	DIN 38 406 E 3-1	9/82
			2,0	DIN 38 406 E 3-3	9/82
			0,03	DIN 38 406 E 22	3/88
Natrium	mg/l	1	1,0	DEVE 14-2	5 Lfg. 68
			5,0	DIN 38 406 E 14	E 12/90
			0,1	DIN 38 406 E 22	3/88
Kalium	mg/l	1	1,0	DEVE 13-2	5 Lfg. 68
			1,0	DIN 38 406 E 13	E 12/90
			2,0	DIN 38 406 E 22	3/88
Eisen	mg/l	0,01	0,01	DIN 38 406 E 1	5/83
			0,005	analog DIN 38 406 E 19-1	7/80
			k.A.	analog DIN 38 406 E 19-3	7/80
			0,02	DIN 38 406 E 22	3/88
Mangan	mg/l	0,01	0,01	DIN 38 406 E 2	5/83
			0,05	analog DIN 38 406 E 19-1	7/80
			k.A.	analog DIN 38 406 E 19-3	7/80
			0,002	DIN 38 406 E 22	3/88
Aluminium	mg/l	0,01	0,01	DIN 38 406 E 9	2/89
			1,0	Nach Zugabe von Kaliumlösung analog DIN 38 406 E 19-1	7/80
			0,001	analog DIN 38 406 E 19-3	7/80
			0,1	DIN 38 406 E 22	3/88
Ammonium	mg/l	0,05	0,03-0,1	DIN 38 406 E 5-1	10/83
			0,5	DIN 38 406 E 5-2	10/83
Nitrat	mg/l	1,0	0,5	DIN 38 405 D 9-2	5/79
			0,2	DIN 38 405 D 9-3	5/79
			0,1	DIN 38 405 D 19	2/88
			0,1	Salicyclat-Methode	
ortho-Phosphat	mg/l	0,01	0,005	DIN 38 405 D 11-1	12/85
Phosphor gesamt	mg/l	0,01	0,005	DIN 38 405 D 11-4	10/83
			0,1	DIN 38 406 E 22	3/88
DOC	mg/l	0,1	0,1	DIN 38 409 H 3	6/83
Chlorid	mg/l	1	10	DIN 38 405 D 1-1	12/85
			5	DIN 38 405 D 1-2	12/85
			10	DIN 38 405 D 1-3	
			0,1	DIN 38 405 D 19	2/88
Sulfat	mg/l	5	20	DIN 38 405 D 5-1	1/85
			100	DIN 38 405 D 5-2	1/85
			0,1	DIN 38 405 D 19	2/88
Chrom	µg/l	10	500	DIN 38 406 E 10-1	6/85
			5	DIN 38 406 E 10-2	6/85
			10	DIN 38 406 E 22	3/88
Kupfer	µg/l	10	100	DIN 38 406 E 7-1	E 2/90
			2	DIN 38 406 E 7-2	E 2/90
			10	DIN 38 406 E 22	3/88
Nickel	µg/l	20	200	DIN 38 406 E 11-1	E 2/90
			5	DIN 38 406 E 11-2	E 2/90
			20	DIN 38 406 E 22	3/88

k.A. = keine Angaben

Parameter	Einheit	Bestimmungsgrenze		empfohlene Analysenverfahren	Stand
		anzu- strebende	nach Verfahren		
Zink	µg/l	10	50 10	DIN 38 406 E 8-1 DIN 38 406 E 22	10/80 3/88
Blei	µg/l	2	500 5 100	DIN 38 406 E 6-1 DIN 38 406 E 6-3 DIN 38 406 E 22	5/81 5/81 3/88
Cadmium	µg/l	0,2	50 0,5 10	DIN 38 406 E 19-1 DIN 38 406 E 19-3 DIN 38 406 E 22	7/80 7/80 5/88
Arsen	µg/l	1,0	1,0 100	DIN 38 405 D 18 DIN 38 406 E 22	9/85 3/88
Bor	µg/l	10	10 10	DIN 38 405 D 17 DIN 38 406 E 22	3/81 3/88
Kohlenwasserstoffe	µg/l	100	100	DIN 38 409 H 18	2/81
Phenolindex	µg/l	10	10	DIN 38 409 H 16-1	6/84
AOX	µg/l	10	10	DIN 38 409 H 14	3/85
leichtflüchtige HKW					
Dichlormethan	µg/l	5	1	DIN 38 407 F 5	E 10/89
Trichlormethan	µg/l	0,1	(0,1) k.A.	DIN 38 407 F 4 DIN 38 407 F 5	5/88 E 10/89
Tetrachlormethan	µg/l	0,1	(0,1) k.A.	DIN 38 407 F 4 DIN 38 407 F 5	5/88 E 10/89
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	0,1	(0,1) k.A.	DIN 38 407 F 4 DIN 38 407 F 5	5/88 E 10/89
Trichlorethan	µg/l	0,1	(0,1) k.A.	DIN 38 407 F 4 DIN 38 407 F 5	5/88 E 10/89
Tetrachlorethen	µg/l	0,1	(0,1) k.A.	DIN 38 407 F 4 DIN 38 407 F 5	5/88 E 10/89
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	5	(5,0) k.A.	DIN 38 407 F 4 DIN 38 407 F 5	5/88 E 10/89
Vinylchlorid	µg/l	5	5,0	DIN 38 413 P 2	5/88
PAK	µg/l	0,005		(Einzel-, HPLC stoff)	
Benzol	µg/l	20	5,0	DIN 38 407 F 9	5/91
Toluol	µg/l	20	5,0	DIN 38 407 F 9	5/91
Xylol	µg/l	20	5,0	DIN 38 407 F 9	5/91
Pflanzenschutzmittel	µg/l	0,05		HPLC, GC, GC-MS	
PCB	µg/l	0,05	0,01-0,1	DIN 38 407 F 2 in Verbindung mit DIN 51 527 Teil 1	7/91 5/87
Koloniezahl	1/ml			DIN 38 411 K 5	2/83
coliforme Keime	1/100 ml			DIN 38 411 K 6	6/91
α-, β-, γ-Aktivität	Bq/l		nach Verfahren	Meßanleitung für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen (BMU)	1986

k.A. = keine Angaben

6.4 Analytische Qualitätssicherung (AQS)

Voraussetzung für aussagekräftige Untersuchungsergebnisse ist die analytische Qualitätssicherung AQS des gesamten Verfahrens (Rahmenempfehlungen der LAWA für Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen, herausgegeben von der LAWA, Erich Schmidt Verlag). Unter dem Begriff AQS werden alle Maßnahmen zusammengefaßt, die dazu dienen, Aussagen über die Qualität von Untersuchungsergebnissen zu erhalten. Man unterscheidet zwischen interner und externer AQS. Interne AQS umfaßt alle Maßnahmen, die innerhalb der Untersuchungsstelle durchgeführt werden. Unter externer AQS versteht man die Teilnahme an Ringversuchen oder Vergleichsuntersuchungen.

Die analytische Qualitätssicherung beginnt bei der Probennahme und endet bei der Dokumentation und ersten Beurteilung der Meßwerte. Sie umfaßt insbesondere die Schritte:

- Probennahme
- Feldmessungen
- Probenvorbehandlung vor Ort
- Probentransport
- Probeneingang ins Labor
- Probenvorbehandlung im Labor
- Messungen
- Auswertung der Meßwerte
- Dokumentation

Als erste Maßnahme einer Qualitätssicherung sind die personellen, apparativen und räumlichen Voraussetzungen der Untersuchungsstelle sowie die Eignung des gewählten Probenahme- und Untersuchungsverfahrens zu überprüfen.

Im Anschluß daran sind für die einzelnen Schritte des Gesamtverfahrens geeignete AQS-Maßnahmen durchzuführen.

Der Erfolg der Reinigung aller bei der Probennahme verwendeten Geräte, Schläuche und Gefäße ist regelmäßig durch Untersuchungen zu überprüfen.

Feldblindproben (Abfüllen von bidestilliertem Wasser vor Ort in Probenflaschen, Vorbehandlung, Transport und Untersuchung in exakt der gleichen Weise wie die Grundwasserprobe) dienen dazu, Aufschluß über Kontaminationen, die aus der Umgebung der Probenahmestelle in die Probe gelangen können, zu erhalten.

Die für Feldmessungen verwendeten Geräte müssen regelmäßig gewartet und geeicht bzw. kalibriert werden.

Werden Konservierungskemikalien eingesetzt, so sind diese in regelmäßigen Abständen – spätestens jedoch wenn eine neue Charge zum Einsatz kommt – auf mögliche Störkomponenten zu überprüfen.

Durch eindeutige Kennzeichnung der Proben vor Ort und durch organisatorische Maßnahmen beim Probeneingang im Labor ist eine Probenverwechslung auszuschließen.

Für alle Verfahrensschritte, die nach dem Probeneingang im Labor erfolgen, d. h. für die eigentlichen Analysenverfahren sind statistische Methoden anzuwenden. Im folgenden sind dafür Mindestanforderungen zusammengestellt.

Regelmäßig, mindestens aber halbjährlich oder bei Personaländerung, ist für die Überprüfung des Analysenverfahrens eine Kalibrierkurve (gem. dem entspr. DIN- oder DEV-Verfahren) zu erstellen. In ihr ist die Reproduzierbarkeit und die Einhaltung der Kalibrierbedingungen zu dokumentieren. Sie ist Bestandteil der sog. Qualitätskontrollkarte.

Für jedes Analysenverfahren ist eine Qualitätskontrollkarte zu führen. In dieser sind als Funktion des jeweiligen Tages die Blindwerte und die Meßwerte der jeweils mituntersuchten Kontrollstandards graphisch einzutragen. Wird die Laborstandardabweichung überschritten oder bilden sich Trends zu höheren oder zu niedrigeren Werten, ist die Ursache zu ergründen.

Bei der Durchführung der Analysen sind in einem Analysenjournal folgende Angaben zu dokumentieren:

- alle im Analysengang angewandten Alternativen, sofern solche in der Vorschrift genannt werden, nebst erkennbarer Begründung für die Entscheidung
- alle Verdünnungsschritte und, sofern nicht durch Vorschrift festgelegt, die verwendeten Volumina bzw. Massen
- Blindwerte und Standards (je zwei pro Probenserie und Arbeitstag)
- alle abgelesenen Meßsignale

Für eine erste Beurteilung der Untersuchungsergebnisse sind die einzelnen AQS-Maßnahmen auszuwerten sowie die erhaltenen Ergebnisse auf Plausibilität zu überprüfen (z. B. Ionenbilanz).

Alle Maßnahmen der AQS sind zu dokumentieren und ebenso wie die Eintragungen in das Analysenjournal mindestens 3 Jahre aufzubewahren.

Ergänzend zu der hier geschilderten internen AQS ist eine regelmäßige Teilnahme der Untersuchungsstelle an Ringtests erforderlich.

7 Prüfung und Aufbereitung der Daten

7.1 Prüfung

7.1.1 Problemstellung und Ziel

Die Grundlage für die Aufbereitung und Auswertung von Analysendaten sind möglichst fehlerarme Datenbestände. Dies setzt voraus, daß die Gewinnung des Meßwertes, beginnend mit der Probennahme über das geeignete Analysenverfahren bis hin zur Freigabe der Ergebnisse durch das Labor, sachgerecht erfolgt ist.

Die Daten werden gesammelt und angesichts der großen Datenmengen mit Hilfe von Datenbanken, die eine Auswertung nach unterschiedlichen Kriterien ermöglichen, bearbeitet. Die automatisierte Prüfung der Analysendaten beim Erfassen bzw. bei der Übernahme in die Datenbank versteht sich somit als „Wareneingangskontrolle“. Häufige Fehler sind Datenübertragungsfehler (z. B. Komma falsch, Zahlendreher, Einheit falsch) die sich durch standardisierte Protokollformulare minimieren lassen. Anzustreben ist die Weitergabe von Daten auf Datenträger (z. B. Disketten).

Sachliche Fehler wie Inkonsistenzen auf dem Analysenprotokoll (z. B. Gesamthärte nicht gleich der Summe der Einzelbefunde Ca + Mg) treten selten auf und können meist nur von Fachpersonal bearbeitet werden. Nur bei Vorliegen einer Rückstellprobe lassen sich Analysefehler im allgemeinen korrigieren. Im Zweifelsfalle sollte beim Untersuchungslabor nachgefragt werden.

Mit dem nachfolgend vorgeschlagenen Prüfverfahren wird versucht, diejenigen Meßwerte zu finden, die innerhalb gewisser Grenzen vom Datenkollektiv abweichen. Dies kann sowohl durch tatsächliche Fehler als auch durch geänderte Probennahme- und Analysenbedingungen bedingt sein. Solche Werte sind daher nur als auffällig und nicht von vornherein als falsch einzustufen.

7.1.2 Formale Prüfung

Im Rahmen der formalen Prüfung werden alle für eine korrekte Datenabspeicherung erforderlichen Voraussetzungen abgeprüft. Hierzu gehört die eindeutige Kennzeichnung der Meßstelle (Meßstellenummer) sowie eindeutige Verschlüsselungen für die Angaben zur Probennahme, für Parameter, Einheiten, Bestimmungsverfahren, Vorbehandlungsschritte usw. Ferner müssen die fachlichen Verknüpfungen (z. B. Parameter-Einheit) korrekt sein sowie ein gültiges Probennahmedatum vorliegen. Bei Routinemessungen kann auch das geforderte Untersuchungsprogramm auf Richtigkeit und Vollständigkeit geprüft werden.

7.1.3 Fachliche Prüfung

Die fachliche Prüfung bezieht sich in erster Linie auf die Plausibilität der Analyseergebnisse. Je nach Rechenaufwand und Umfang der für die Prüfung erforderlichen Daten lassen sich verschiedene Stufen der Plausibilität unterscheiden:

– **Einzelmeßwert:**

Hierbei wird geprüft, ob der Meßwert selbst plausibel erscheint. Zweckmäßig ist der Vergleich mit vorgegebenen Wertebereichen, beispielsweise durch für diese Meßstelle oder diesen Grundwasserleiter übliche Konzentrationsspannen. Bei Spurenstoffen kann auf die untere Bereichsgrenze geprüft werden, auch Sättigungsgrenzen usw. lassen sich für die Bereichsfestlegung heranziehen.

– **Einzelanalyse:**

Zwischen bestimmten Parametern einer Wasseranalyse bestehen Zusammenhänge, die überprüft werden können.

Eine geläufige Prüfung ist die Ionenbilanz, bei der die Summen der analytisch gefundenen Kationen- und Anionenäquivalente einander gegenübergestellt werden.

Für die Berechnung gilt folgende Gleichung

$$\Delta IB = \frac{(\sum c(eq^+) - \sum c(eq^-)) \cdot 100}{(\sum c(eq^+) + \sum c(eq^-)) \cdot 0,5} [\%]$$

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse auch bei unterschiedlichem Analysenumfang zu gewährleisten, wird empfohlen, die im Rechenbeispiel (Anl. 2) genannten acht Hauptionen für die Ionenbilanz heranzuziehen. Eisen, Mangan und andere werden berücksichtigt, wenn ihr Anteil an der Kationensumme jeweils mehr als 1% beträgt. Dies ist bei reduzierten Grundwässern häufig der Fall.

Bei der Bewertung der Ionenbilanz ist zu berücksichtigen, daß bei geringer mineralisierten Wässern i.a. eine stärkere Streuung der Analysenwerte zu beobachten ist. Es wird daher vorgeschlagen, eine Ionenbilanz dann als akzeptabel anzusehen, wenn der prozentuale Unterschied zwischen Kationen und Anionen maximal

- ± 5% bei Wässern mit einer Ionensumme > 5 mmol/l und
- ± 10% bei Wässern mit einer Ionensumme < 5 mmol/l

beträgt (Ionensumme = Summe Kationen + Summe Anionen).

Bei größeren Differenzen sollte auf weitere Erdalkalien, wie z. B. in Muschelkalkwässern auf Strontium, untersucht werden.

Bestehen zwischen zwei Parametern bestimmte physikalisch-chemische Zusammenhänge, können diese wasserchemischen Korrelationen als Plausibilitätsprüfung herangezogen werden. Die Festlegung der Plausibilitätsgrenzen kann empirisch erfolgen, wobei auf Werte aus der Laborpraxis zurückgegriffen wird.

Ein typisches Beispiel hierfür sind die niedrigen Fe- und Mn-Konzentrationen bei hohem Sauerstoffgehalt und umgekehrt.

- [O₂] > 5 mg/l und [Fe] > 0,05 mg/l = wenig plausibel
- [O₂] > 5 mg/l und [Mn] > 0,05 mg/l = wenig plausibel

Diese Werte sollen nur als Anhaltspunkte gesehen und anhand der eigenen vorhandenen Daten noch einmal überprüft werden. Einige Korrelationen lassen sich zwar meist nicht verallgemeinern, können jedoch für einzelne Meßstellen brauchbare, für eine Prüfung geeignete quantitative Zusammenhänge aufweisen. Dies muß im Einzelfall entschieden werden.

- Zeitreihen

Die graphische Darstellung der Zeitreihe für jeden gemessenen Parameter an der jeweiligen Meßstelle (Konzentrationsganglinie) ermöglicht meist eine sehr gute Beurteilung der Plausibilität dieser Daten und insbesondere neu hinzukommender Meßwerte. Hierfür sollten mindestens 5 Meßwerte aus mindestens 3 Jahren vorliegen. Für die Routine ist die visuelle Plausibilitätskontrolle wegen der Vielzahl der Prüfvorgänge jedoch nicht praktikabel. Statt dessen muß auf statistische Verfahren zurückgegriffen werden.

Als einfaches Näherungsverfahren wird vorgeschlagen, den Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung s der Stichprobe aus mindestens 5 Meßwerten zu berechnen und ein

$$\text{Akzeptanzintervall: } \bar{x} \pm 2s$$

zu definieren. Diese Methode ist jedoch nur anwendbar, solange die Meßwerte kein ausgeprägtes Trendverhalten aufweisen. Ist dies der Fall, muß eine trendkorrigierte Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung erfolgen (Spezialliteratur zur Statistik).

Statistische Verfahren können einen Meßwert zwar als Ausreißer im mathematischen Sinn erkennen, sie liefern jedoch keine Aussagen über die Ursachen dieser Anomalie. Sie können nur dazu dienen, solche Werte herauszufiltern, die endgültige Bewertung bleibt dem fachlichen Sachverstand überlassen.

1. Umrechnung der Analyseergebnisse von Massenkonzentrationen in Äquivalentkonzentrationen

$$\frac{\text{Massenkonzentration } \beta \times \text{Ladungszahl } z}{\text{molare Masse } M} = \text{Äquivalentkonzentration } c(\text{eq}) \left[\frac{\text{mg/l}}{\text{mg/mmol}} = \text{mmol/l} \right]$$

2. Berechnung der HCO₃⁻-Konzentration aus dem Wert für K_{s,4,3}

Die HCO₃⁻-Konzentration läßt sich im Bereich pH 4,3 bis 8,2 näherungsweise aus dem m-Wert bzw. dem analytisch gefundenen K_{s,4,3}-Wert in Abhängigkeit von der Ionenstärke berechnen, sofern keine anderen Säuren als Kohlensäure im Wasser vorhanden sind:

$$c(\text{HCO}_3^-) \approx m\text{-Wert} = K_{s,4,3} - \Delta m$$

mit $\Delta m = 0,05 \text{ mmol/l}$ für Ionenstärke $\mu < 8,3$
 mit $\Delta m = 0,06 \text{ mmol/l}$ für Ionenstärke $\mu > 8,3$

Berechnung der Ionenstärke:

$$\mu = 0,5 \cdot \sum c_i \cdot z_i^2$$

$$= 0,5 \cdot (4c(\text{Ca}^{2+}) + 4c(\text{Mg}^{2+}) + c(\text{Na}^+) + c(\text{K}^+) + c(\text{Cl}^-) + c(\text{NO}_3^-) + 4c(\text{SO}_4^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-))$$

(c_i = Konzentration in mmol/l, μ = Ionenstärke in mmol/l, z_i = Ladungszahl)

3. Tabellarische Übersicht

	Massen- konzentration mg/l	molare Masse M mg/mmol	Stoffmengen- konzentration c mmol/l	Äquivalent- konzentration c (eq) mmol/l
Ca ²⁺	116,2	40,08	2,894	5,788
Mg ²⁺	19,1	24,312	0,786	1,572
Na ⁺	5,8	22,99	0,253	0,253
K ⁺	1,6	39,102	0,041	0,041
			Summe Kationen	7,654
Cl ⁻	6,1	35,453	0,169	0,169
NO ₃ ⁻	0,5	62,004	0,008	0,008
SO ₄ ²⁻	51,0	96,06	0,531	1,062
K _{s,4,3}	6,34 mmol/l		HCO ₃ ⁻ : 6,280*	6,280
			Summe Anionen	7,519

* HCO₃⁻ = 6,34 - 0,06 da $\mu = 11,8 \text{ mmol/l}$ und damit $\Delta m = 0,06$

Summe Kationen und Anionen eingesetzt in Gleichung unter 7.1.3 ergibt:

$$\Delta \text{IB} = \frac{(7,654 - 7,519) \cdot 100}{(7,654 + 7,519) \cdot 0,5} = 1,8 [\%]$$

7.2 Aufbereitung

7.2.1 Problemstellung

Die Aufbereitung ist ein Auswählen, Zusammenstellen und Bereitstellen der geprüften Stammdaten und der Probennahme- und Beschaffenheitsdaten einer oder mehrerer Meßstellen. Durch entsprechende Verknüpfungen können so die unterschiedlichen Fragestellungen bei der Auswertung bedient werden. Bei einem großen Datenumfang und einer Vielzahl von Kombinations- und Sortierwünschen ist die Anwendung der EDV notwendig. Die Bereitstellung der aufbereiteten Daten kann in Listenform und zum Teil als Grafik sowohl am Bildschirm als auch am Drucker erfolgen. Zur anschließenden Auswertung ist aber auch eine Ausgabe aller oder Teile der Daten in einer Zwischendatei in der EDV erforderlich.

7.2.2 Auswahl von Kenngrößen

– Stammdaten

Je detaillierter und spezifischer eine Auswertung hinsichtlich der Meßstellen sein soll, desto mehr Einzeldaten aus den Stammdaten müssen zur Verfügung stehen. Die eindeutige Identifizierung einer Meßstelle muß mit der Meßstellenummer möglich sein. Alle weiteren Auswahlkriterien dienen zur Beschreibung der Meßstelle und zur Präzisierung der Auswertung. In Anlage 3 wird ein Mindestumfang an Stammdaten vorgeschlagen.

– Probennahme- und Beschaffenheitsdaten

Für die sachgerechte Interpretation der Grundwasserbeschaffenheitsdaten sind Angaben zur Probennahme und zur Laboruntersuchung erforderlich. Der folgende Mindestumfang an Probennahme- und Beschaffenheitsdaten wird empfohlen:

- Meßstellenummer
- Datum und Uhrzeit der Probennahme
- Art der Probennahme (Drücken, Saugen, Schöpfen, freier Auslauf)
- Schlauch- und Pumpenmaterial
- Abpumpdauer und Abpumpvolumen vor Probennahme
- Angaben zur Entnahmetiefe
- Lage des Wasserspiegels vor dem Abpumpen
- Schüttung der Quelle, Leistung der Förderpumpe bei der Probenahme
- Probennehmende Stelle
- Untersuchendes Labor
- Parameter mit Meßwert, Einheit und Analysenverfahren

Empfohlener Mindestumfang für die Bereitstellung von Stammdaten einer Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle

Anlage 3

Identifizierung

Meßstellenummer
Bezeichnung
Eigentümer
Betreiber

Verwaltungszugehörigkeit

Dienststelle
Gemeindekennziffer (Schlüssel für Land, Regierungsbezirk, Kreis, Gemeinde)

Geographische Lage

Topographische Karte
Rechtswert, Hochwert
Geodätische Geländehöhe
Flußgebietkennzahl

Technische Angaben

Art der Meßstelle
Tiefe der Meßstelle
Nennweite des Aufsatz-/Filterrohrs
Ausbaumaterial
Meßpunkthöhe (Bezugshöhe für Grundwasserstand)
Filterstrecke von bis m unter Meßpunkt

Hydrogeologische Angaben

Grundwasserlandschaft
Grundwasserregion
Grundwasserleiter
– Art (Poren-, Kluft-, Karstgrundwasserleiter)
– Petrographie (Gesteinsausbildung nach Schichtenverzeichnis)
– Formation (geologische Alterszuordnung)
Grundwasserstockwerk
Druckverhältnisse (frei, gespannt)

Überwachungsvorgaben

Meßprogramm
Meßturnus
Mindestabpumpvolumen vor der Probennahme (Standwasseraustausch)
Einhängetiefe der Pumpe

8 Auswertung und Darstellung

Die Auswertung und die Darstellung von Meßwerten, die auf den Meßpunkt oder auf eine Gebietsfläche bezogen sein können, werden für die Präsentation von Meßergebnissen benötigt; sie sind letztendlich Grundlage für Entscheidungen. Voraussetzung für die Auswertung ist die Datenaufbereitung. Eine Reihe von Zwischenauswertungen ist notwendig, ehe Meßwerte oder Meßwertfolgen in einer leicht verständlichen und übersichtlichen Form präsentiert werden können.

8.1 Auswertung

8.1.1 Einfache Auswertungen

Einfache Auswertungen können Listen und außerdem Vergleiche mit Orientierungswerten sowie die Zusammenfassung von Datenkollektiven in Form einfacher statistischer Kennwerte sein.

- Einfache Statistik

Die statistische Bearbeitung von Meßdaten bedeutet deren Komprimierung und liefert Interpretationshilfen. Meßreihen eines Parameters für eine oder mehrere Meßstellen lassen sich in ihrer Häufigkeitsverteilung zusammenfassen. Die Kenntnis der Häufigkeitsverteilung ist Grundlage für den Einsatz weitergehender statistischer Verfahren wie Korrelations- und Regressionsanalysen. Aus der absoluten Häufigkeit können alle anderen in der Tab. 2 dargestellten Werte berechnet und graphische Darstellungen der absoluten bzw. relativen Häufigkeit und der Summenhäufigkeit hergeleitet werden. Abb. 4 zeigt die zur Tab. 3 gehörende Häufigkeitsverteilung, Abb. 5 die zugehörige Summenhäufigkeit.

Die Festlegung von Klassengrößen sollte

- Bestimmungsgrenzen
 - Richtwerte
 - Orientierungswerte
 - Grenzwerte
- besonders berücksichtigen.

Die Klasseneinteilung ist so zu wählen (gleiche Klassenweite), daß eine übersichtliche Zusammenfassung der Daten möglich wird.

Zur Beschreibung einer Verteilung dienen neben den Häufigkeiten, wie z.B. in Tab. 2, nachstehende statistische Kennwerte:

- Anzahl der Meßwerte n
- Spannweite mit Minimal- und Maximalwert
- arithmetisches Mittel \bar{x}
- Standardabweichung s ; das Quadrat von s wird Varianz genannt
- Medianwert \tilde{x} = Zentralwert, der von 50% der Meßwerte unter- bzw. überschritten wird
- Modalwert \hat{x} am häufigsten auftretender Meßwert

Wie alle dem Einfluß meteorologischhydrologischer Prozesse unterliegenden Meßwerte sind auch die Daten der Grundwasserbeschaffenheit meistens nicht normal verteilt.

Bei einer normal verteilten Stichprobe (Meßwerte) fallen arithmetisches Mittel, Modalwert und Medianwert zusammen (Abb. 6 dünn gestrichelte Linie der Schiefe $C_s = 0$). Die Berechnung dieser Kenngrößen kann aus Lehrbüchern der mathematischen Statistik entnommen werden. Sie ist auch als Software leicht erhältlich.

8.1.2 Weitergehende Auswertungen

Vor der Anwendung einfacher oder auch komplexer Methoden der mathematischen Statistik sollte in jedem Fall Fachliteratur herangezogen werden, wenn die Methoden nicht geläufig sind. Damit ist zu prüfen, ob das gewählte statistische Auswerteverfahren auf das vorliegende Datenkollektiv überhaupt angewendet werden darf. Bei der Bewertung der Ergebnisse der Statistik müssen die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge Arbeitsgrundlage bleiben. Es ist immer zu bedenken, daß statistische Verfahren Hilfsmittel zur Auswertung sind. Die inzwischen verfügbaren Programmpakete für diese Methoden verführen sonst leicht zu einem unkritischen Gebrauch und zu Fehlinterpretationen.

Tabelle 3 Häufigkeit der Nitratkonzentrationen

Klasse	Klassengrenze		Häufigkeit		Summenhäufigkeit	
	untere	obere	absolut	relativ %	absolut	relativ %
1		< 5	35	14	35	14
2	5	< 10	30	12	65	26
3	10	< 15	26	10	91	36
4	15	< 20	15	6	106	42
Richtwert 5	20	< 25	5	2	111	44
6	25	< 30	4	2	115	46
7	30	< 35	4	2	119	48
8	35	< 40	8	3	127	51
9	40	< 45	16	6	143	57
Grenzwert 10	45	< 50	20	8	163	65
11	50	< 55	12	5	175	70
12	55	< 60	7	3	182	73
13	60	< 65	7	3	189	76
14	65	< 70	7	3	196	79
15	70	< 75	7	3	203	82
16	75	< 80	5	2	208	84
17	80	< 85	2	1	210	85
18	85	< 90	14	5	224	90
19	90	< 95	15	6	239	96
20	95	< 100	10	4	249	100

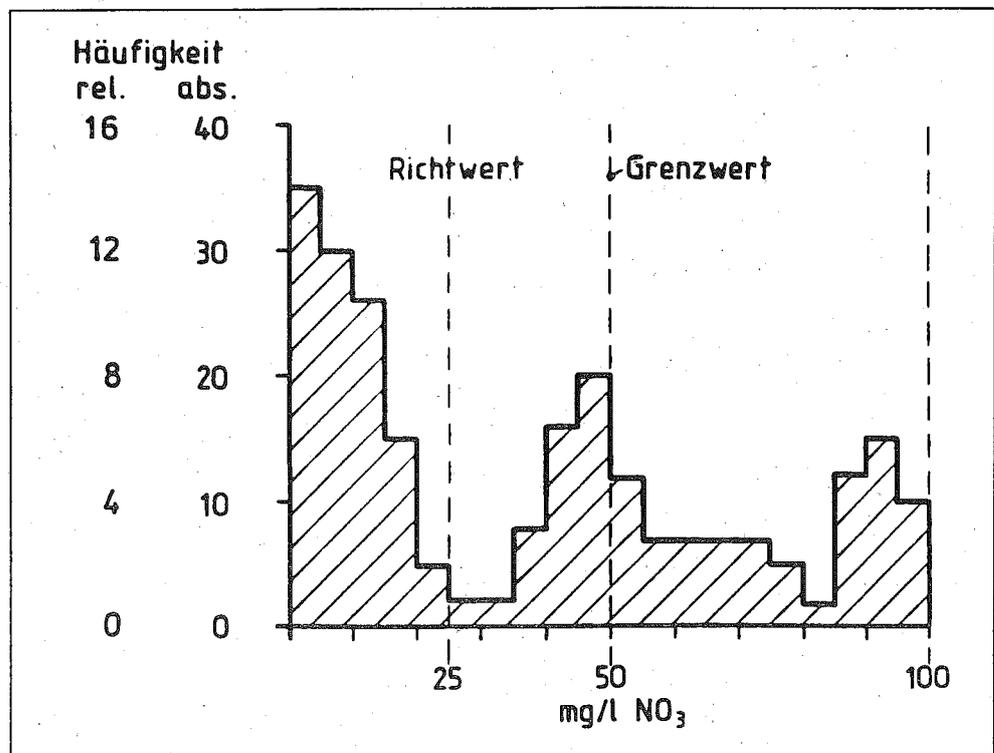


Abb. 4 Häufigkeit von Nitratkonzentrationen als Histogramm (Richtwert nach EG-Richtlinie, Grenzwert nach TrinkwV)

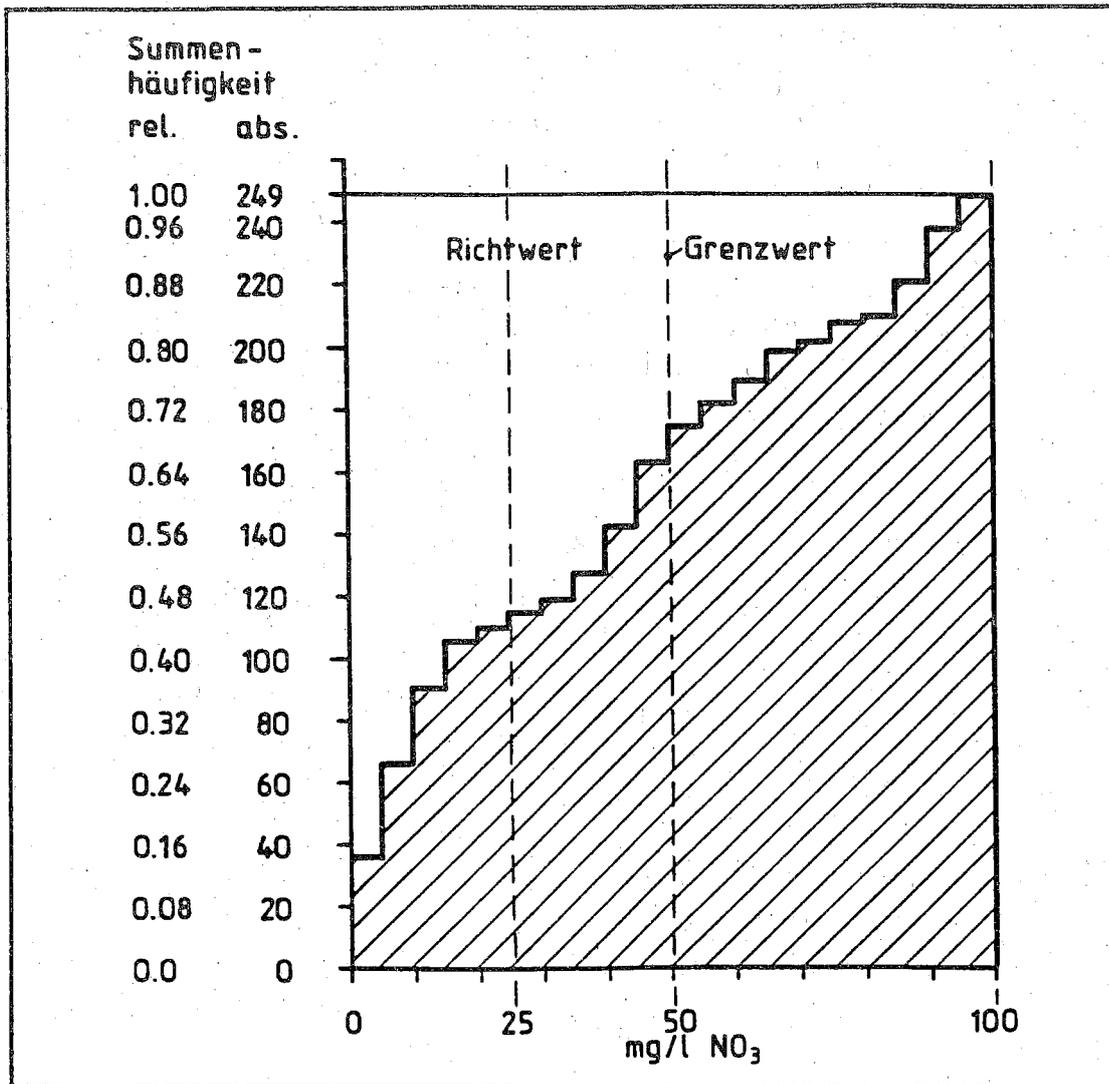


Abb. 5 Summenhäufigkeit von Nitratkonzentrationen

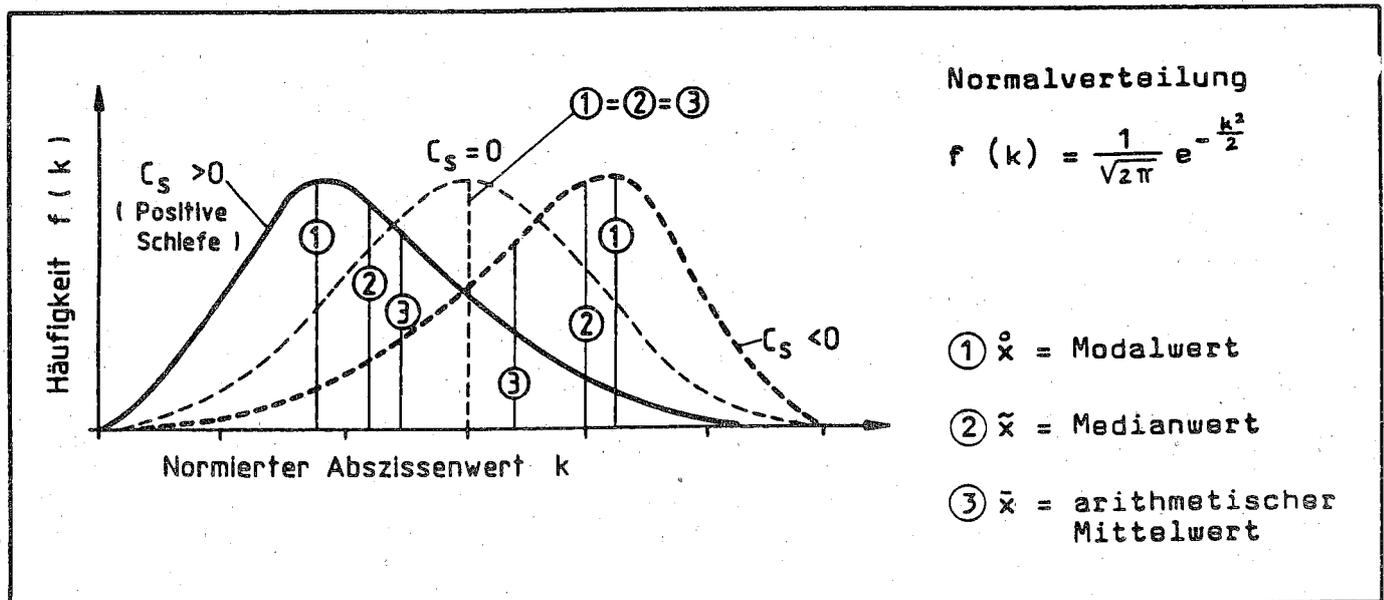


Abb. 6 Arithmetischer Mittel-, Modal- und Medianwert bei asymmetrischen Verteilungen

Korrelation-Regression

Die gegenseitige Beziehung zweier Parameter läßt sich übersichtlich in einem Diagramm darstellen, wobei in der Regel eine mehr oder weniger „gerichtete“ Punktwolke entsteht (Abb. 7). Mit Hilfe der Korrelationsanalyse kann rechnerisch der Grad der Stärke der linearen Beziehung ermittelt werden. An Meßwertpaare, wie sie in Abb. 7 dargestellt sind, lassen sich nach der Methode des kleinsten Fehlerquadrates sogenannte Ausgleichsfunktionen anpassen. So lassen sich auch nichtlineare Beziehungen erfassen.

Anhand dieser Regressionsanalyse ist es möglich, statistische Zusammenhänge funktional aufzuzeigen.

Ein Beispiel für eine Regression zeigt Abb. 8. Wenn die unabhängige Variable x gleich der Zeit gesetzt wird, spricht man von einer Trendbeziehung bzw. vom Trend. Trendgleichungen dürfen nicht für Prognosen eingesetzt werden.

– Multiple statistische Verfahren

Ist eine Variable y von mehreren Variablen x_1, \dots, x_n abhängig, kann auch die Stärke der Mehrfachbeziehung mit Hilfe der multiplen Korrelations- und Regressionsanalyse untersucht werden. Über die multiple Korrelations- und Regressionsanalyse hinaus können für weitergehende Auswertungen von Beschaffenheitsdaten, die z. B. im Rahmen von Meßnetzen gewonnen wurden, multiple mathematische statistische Verfahren eingesetzt werden, die bei der Beantwortung nachstehender Fragestellungen hilfreich sind:

- Gruppenbildung von Meßstellen gemäß ihrer Wasserbeschaffenheit, Zuordnung zum geogenen Hintergrund, z. B. zur Neubildung und zum Transport des Grundwassers
- Reduzierung von vielen hydrochemischen Eigenschaften bei Grundwasserproben mehrerer Meßstellen auf wenige typische Leitparameter

Als Verfahren sind u. a. Clusteranalyse, Diskriminanzanalyse, Varianzanalyse und Faktorenanalyse zu nennen. Als Literatur sind zu nennen:

- L. Sachs: Angewandte Statistik, Planung und Auswertung, Methoden und Modelle.
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- E. Kreyszig: Statistische Methoden und ihre Anwendung.
Verlag Vandenhoeck u. Ruprecht, Göttingen
- H. Gaensslen
u. W. Schubö: Einfache und komplexe statistische Analyse.
UTB, Ernst Reinhardt Verlag München
- D. Steinhausen
u. K. Langer: Clusteranalyse, Einführung in Methoden und Verfahren der automatischen Klassifikation.
Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York

– Typisierung von Grundwasser

Die Typisierung bedeutet ebenfalls eine Gruppenbildung von Meßwerten. Dadurch werden Grundwasservorkommen zusammengefaßt, die eine ähnliche Wasserbeschaffenheit aufweisen. Hiermit können u. a. Fragen zur Genese des Wassers beantwortet werden.

Für die Typisierung von Wässern lassen sich verschiedene Wege beschreiten (DVWK-Schriften 1990). Als Beispiele sollen hier genannt werden:

- Typisierung nach Ionenverhältnissen; hierbei wird das Verhältnis bestimmter Ionen oder Ionengruppen zueinander betrachtet, die damit eine Einstufung der Wassereigenschaften erlaubt.
- Typisierung nach dem Gesamtlösungsinhalt, z. B. Süßwasser, Salzwasser
- Typisierung nach einem Parameter, z. B. nach dem Chloridgehalt oder nach der Härte
- Typisierung nach charakterischen Ionengruppen mit Hilfe von Dreiecks- oder Rhombendiagrammen (Abb. 9 und 10)

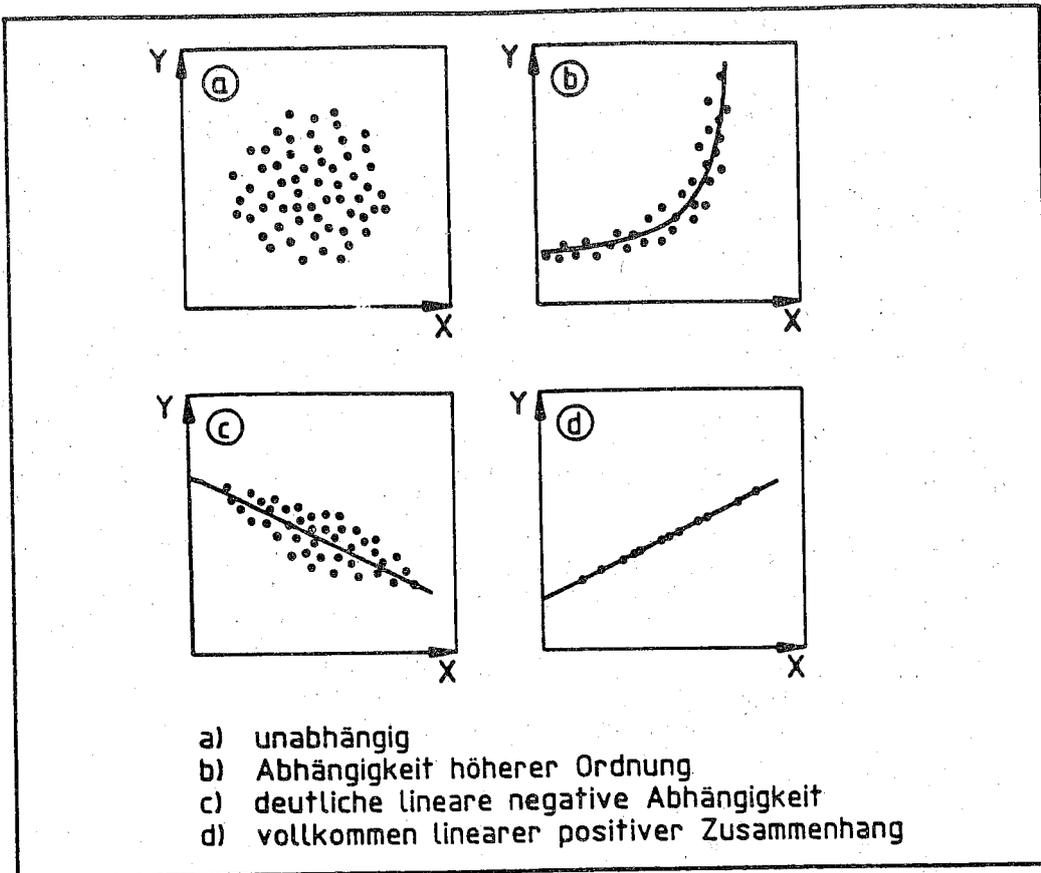


Abb. 7 Unterschiedliche Beziehungsstärke zweier Variablen

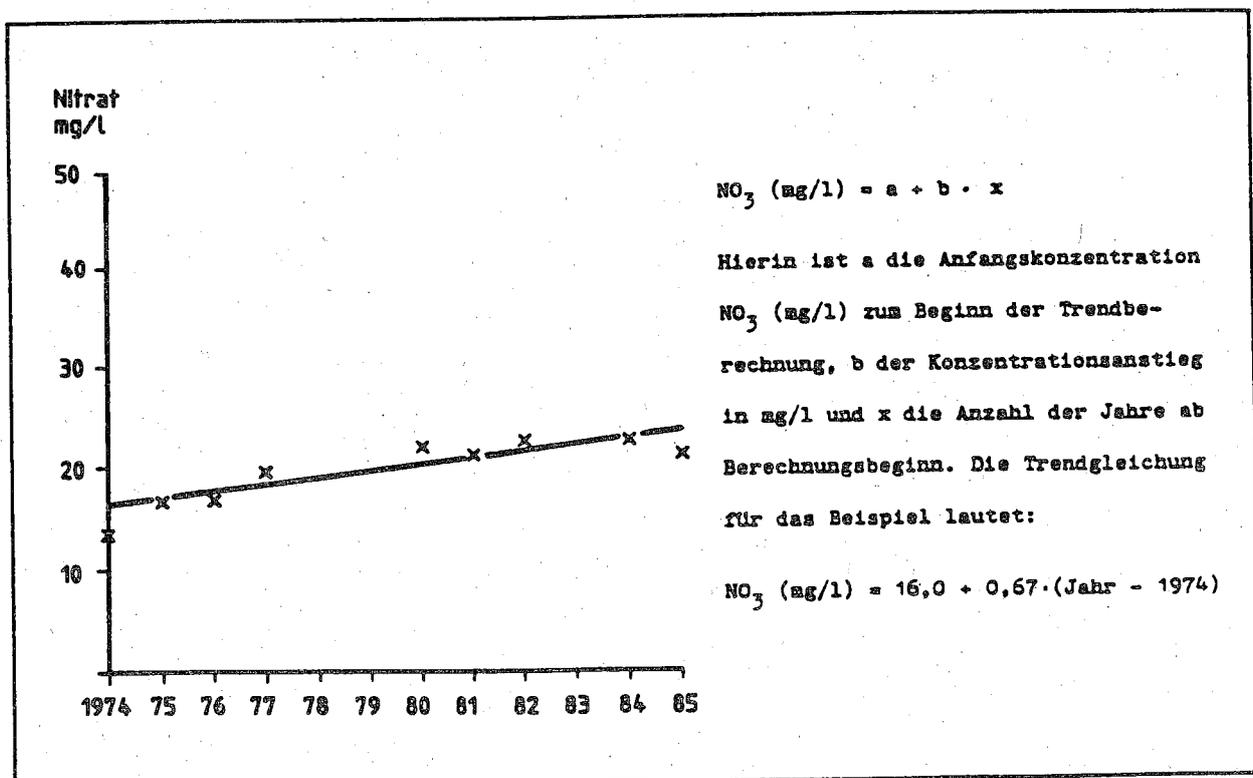


Abb. 8 Trend der Nitratkonzentration im Rohwasser eines Wasserwerkes

Konstruktion eines Punktes im Dreieckdiagramm für eine Wasseranalyse mit drei beliebigen Parametern A, B und C.

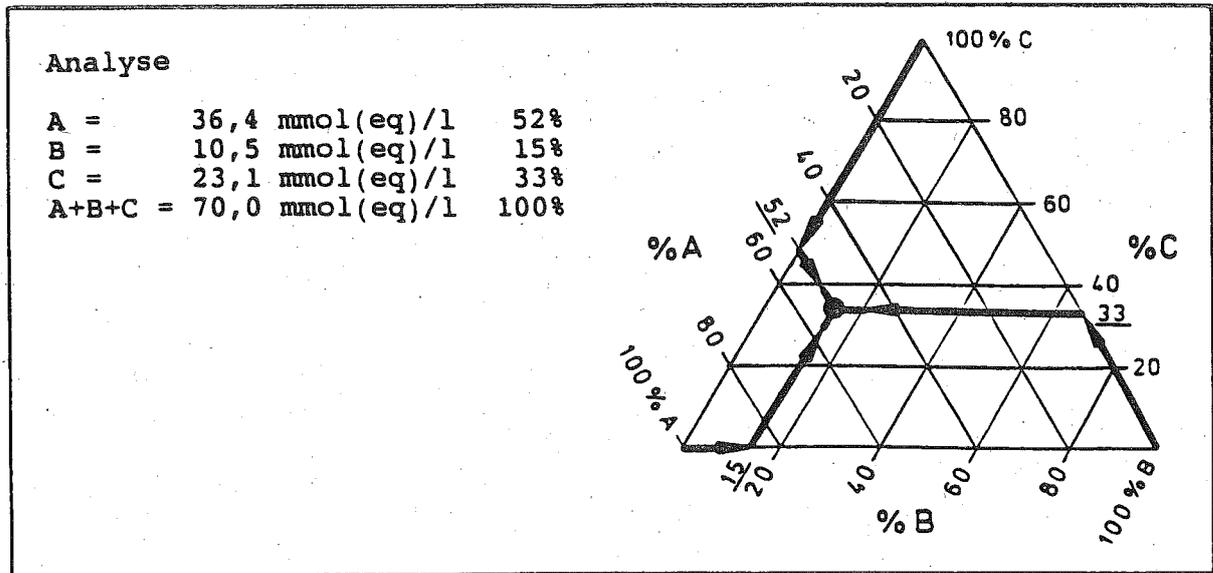


Abb. 9 Darstellung von drei Parametern oder Parametergruppen einer Wasseranalyse im Dreieckdiagramm

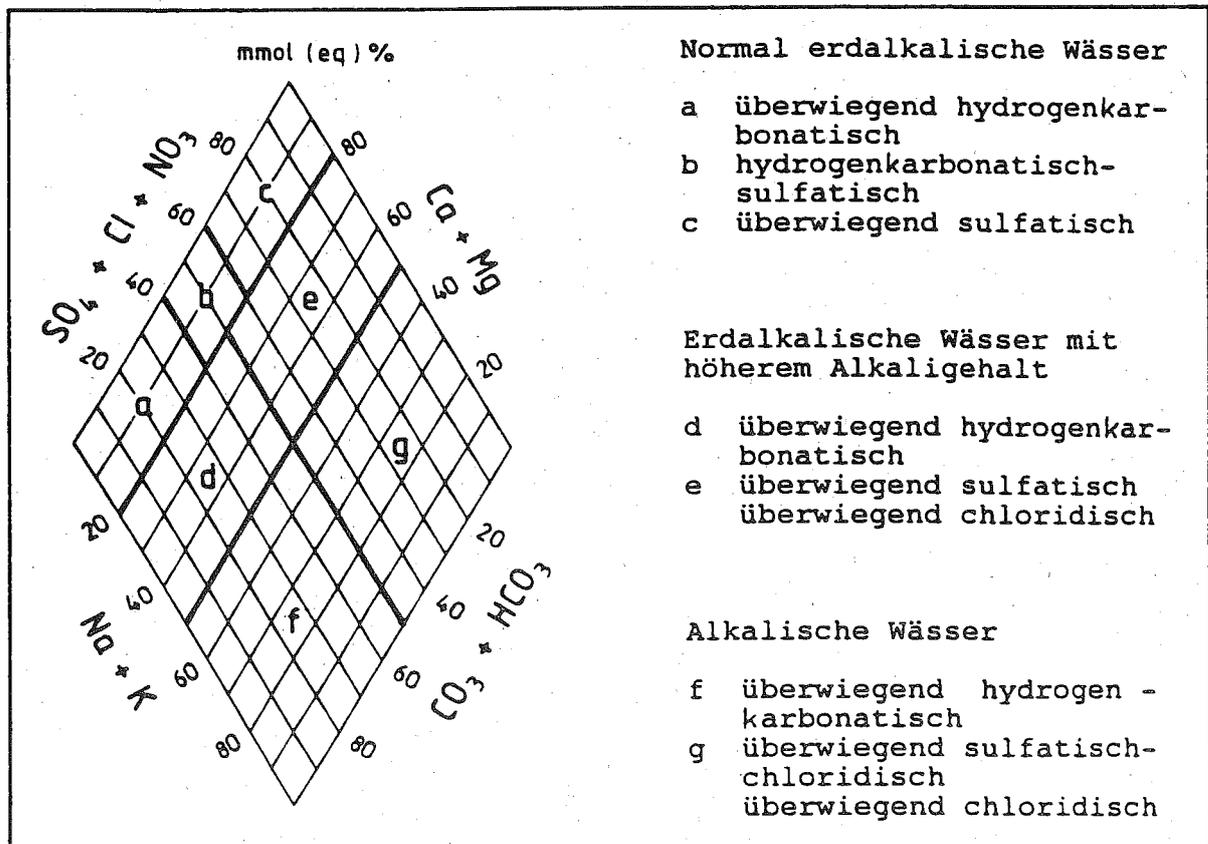


Abb. 10 Rhomben-Diagramm (aus DVWK-Schriften 1990)

8.2 Darstellung

8.2.1 Darstellung von Wasserinhaltsstoffen

Die Einzelergebnisse oder statistischen Kenndaten, wie z. B. der Mittelwert, können je nach Auswertungsziel u. a. als Säulen- oder Kreisdarstellung abgebildet werden. Diese Darstellungen eignen sich vor allem für eine schnelle qualitative visuelle Beurteilung, z. B. Ionen-Zusammensetzung und Verteilung in der Fläche.

- Bei der **Säulendarstellung** wird die Konzentration längenproportional wiedergegeben (Abb. 11).
- Die **doppelte Säulendarstellung** erlaubt zusätzlich die Wiedergabe und den Vergleich der Gehalte von Kationen und Anionen einer Wasserprobe oder der Mittelwerte mehrerer Wasserproben, entweder als Konzentration, z. B. in mmol/l, oder in % der Anionen- bzw. Kationensumme (Abb. 12).
- Mit Hilfe der **Kreisdarstellung** können ebenfalls mehrere Wasserinhaltsstoffe einer Probe gemeinsam abgebildet werden. Die Gehalte können beispielweise flächenproportional wiedergegeben werden (Abb. 13). Im Kreisdiagramm nach UDLUFT (aus DVWK-Schriften 1990) werden einzelne Ionen als Sektoren dargestellt, deren Winkel der jeweiligen Konzentration in mmol% proportional ist. Die Fläche und damit der Kreisradius richten sich nach dem Gesamtlösungsgehalt (Abb. 13), Abb. 17 zeigt die Kreisdarstellung für mehrere Meßstellen.
- In **Sammeldiagrammen** können mehrere Wasseranalysen in einer Graphik dargestellt und direkt miteinander verglichen werden. Für die Darstellung der Verhältnisse von Ionen oder Ionengruppen werden im allgemeinen Dreieck- oder Viereckdiagramme bzw. kombinierte Diagramme benutzt. Dabei wird der Gesamtgehalt der betrachteten Ionen in Äquivalentkonzentrationen in der Regel mit 100% angenommen und die Anteile von Ionen bzw. Ionengruppen als Punkt dargestellt.
- In **Dreiecks- oder Rhombendiagrammen** können für jede Analyse drei oder vier Parameter als ein Punkt dargestellt werden. Sind mehrere Parameter vorhanden, müssen diese sinnvoll in drei bzw. vier Gruppen zusammengestellt werden. In der Praxis werden auf diese Weise Kationen bzw. Anionen mehrerer Wasserproben zusammengefaßt (Abb. 9 und 10).
- Im **Kombinations-Diagramm (PIPER-Diagramm)** werden ein Anionen- und ein Kationen-Dreieck mit einem Rhombendiagramm kombiniert (Abb. 14). Jede Analyse wird durch je einen Punkt in den drei Diagrammen repräsentiert. PIPER-Diagramme sind ebenfalls Verhältnisdarstellungen. Konzentrationen können folglich nicht wiedergegeben werden. Die Darstellung ist besonders geeignet für die Zusammenfassung

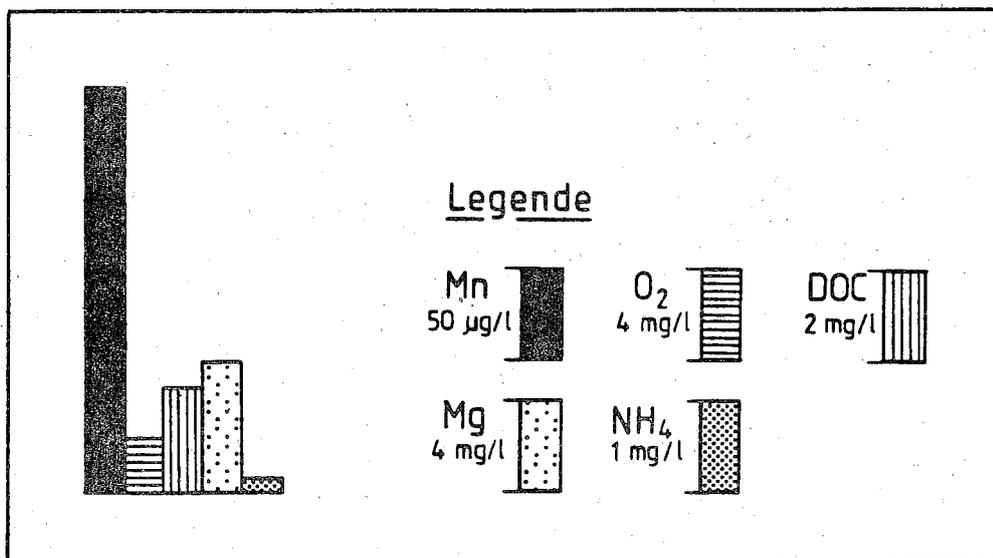


Abb. 11 Darstellung von Wasserinhaltsstoffen als einfaches Säulendiagramm

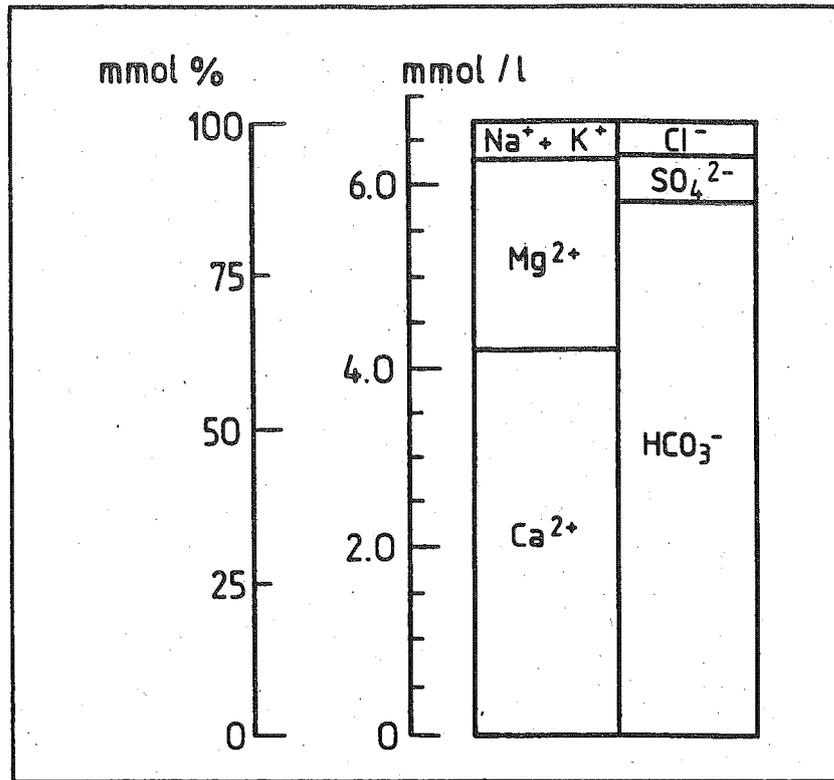


Abb. 12 Darstellung von Wasserinhaltsstoffen als doppeltes Säulendiagramm

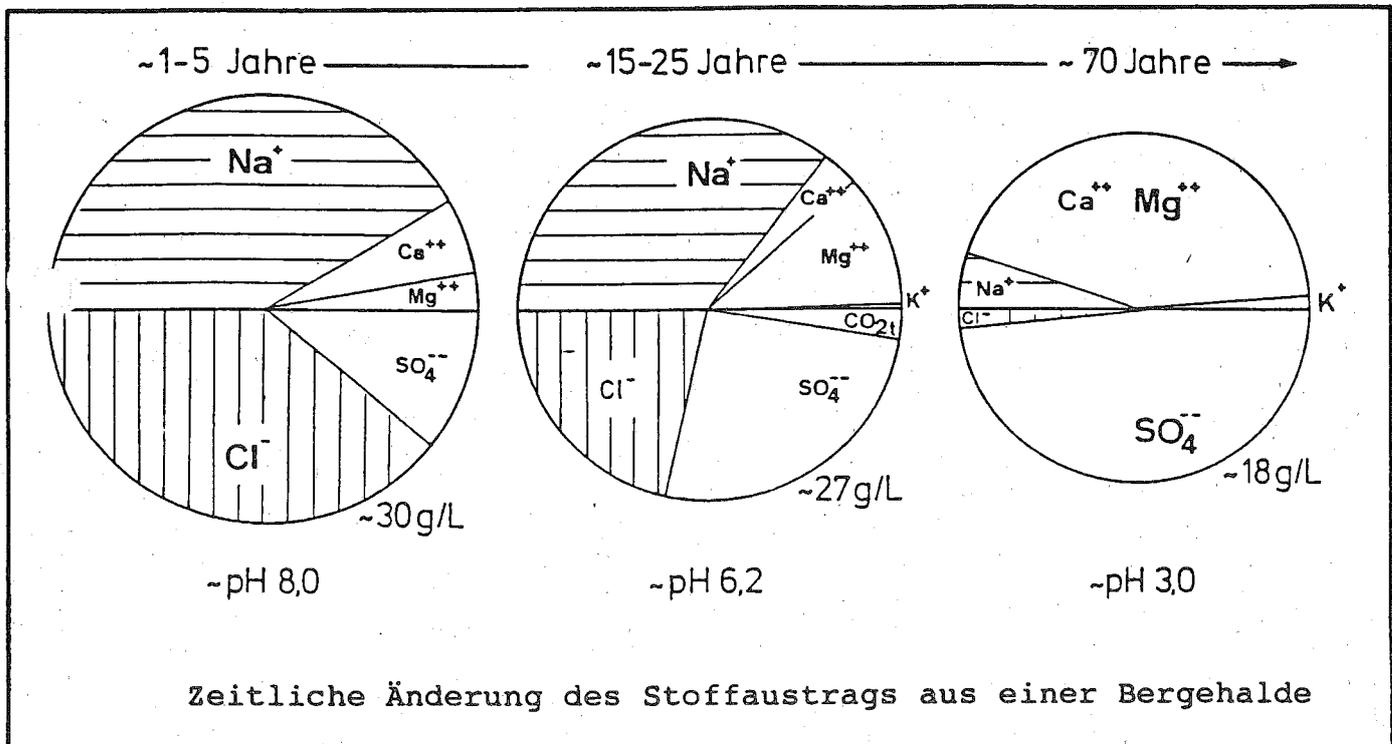


Abb. 13 Darstellung von Wasserinhaltsstoffen in Kreisdiagramm (van Berk 1986)*.

* Untersuchungen zu den Auswirkungen alter Bergematerialablagerungen auf das Grundwasser, Ruhr-Universität Bochum, 1986

mehrerer Wasseranalysen, z. B. eines Meßnetzes. Aus der Häufung von Punkten lassen sich verschiedene Grundwassertypen ablesen. Die Einteilung der Typen kann nach FURTAk und LANGGUTH (aus DVWK-Schriften 1990) erfolgen (Abb. 10).

8.2.2 Darstellung der zeitlichen Veränderungen

Ganglinien benutzt man zur Darstellung von Meßwerten in Abhängigkeit von der Zeit (Abb. 15). Hierbei ist zu prüfen, ob eine Verbindung der Meßpunkte aus fachlichen Gesichtspunkten gerechtfertigt ist. Die Ganglinien mehrerer Parameter können in einer Darstellung gebracht werden. Die Zeitreihe kann als Linie, Punktfolge oder als Säulenreihe dargestellt werden.

Durch Ganglinien läßt sich folgendes verdeutlichen:

- Ähnlichkeiten: Direkter visueller Vergleich des Verhaltens über die Zeit
- Abhängigkeiten: Zuordnen von gegenseitiger Beeinflussung
- Störungen: Auffinden von auffälligen Abweichungen
- Periodisches Verhalten: Aufzeigen der systematischen Wiederholung von Ereignissen
- Trends: Ermitteln langsamer genereller Veränderungen

8.2.3 Flächenhafte Darstellungen

Säulen- und Kreisdarstellungen können in thematische Karten übernommen werden, wodurch die regionale Verteilung von Parametern deutlich wird (Abb. 16 und 17).

Mit Linien gleicher Konzentration oder physikochemischer Meßgrößen wird eine Vorstellung über deren flächenhafte Verteilung im Grundwasser in Form von Gleichenkarten vermittelt. Die Konstruktion von Linien gleicher Konzentration setzt voraus, daß die an verschiedenen Grundwassermeßstellen erhobenen Daten hinsichtlich Beprobungstiefe, Verweilzeit und allgemeiner Probennahmebedingung vergleichbar sind. Außerdem sollte sichergestellt sein, daß zwischen den eingesetzten Meßwerten nicht unbekannte Maxima oder Minima liegen. Karten gleicher Konzentration lassen sich daher in der Regel nur in Ausnahmefällen, z. B. zur Charakterisierung von Verunreinigungsfahnen in eng begrenzten Gebieten, erstellen. Bei der Erstellung solcher Karten sollte die entsprechende Fachliteratur zu Rate gezogen werden, besonders wenn Karten mit Hilfe von EDV-Programmen erstellt werden (Schulz, H. D., 1986*; DVWK-Schriften 1990).

Die Darstellung chemischer Parameter in Karten mit Linien gleicher Konzentration (Isokonzentrationen) eignet sich in der Regel für:

- flächenhaft beeinflusstes Grundwasser bzw.
- für Porengrundwasserleiter, die weitgehend homogen und isotrop sind.

* Regionalisierung von Daten zur Grundwasserbeschaffenheit DVWK-Schriften 78, 99-113; Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin

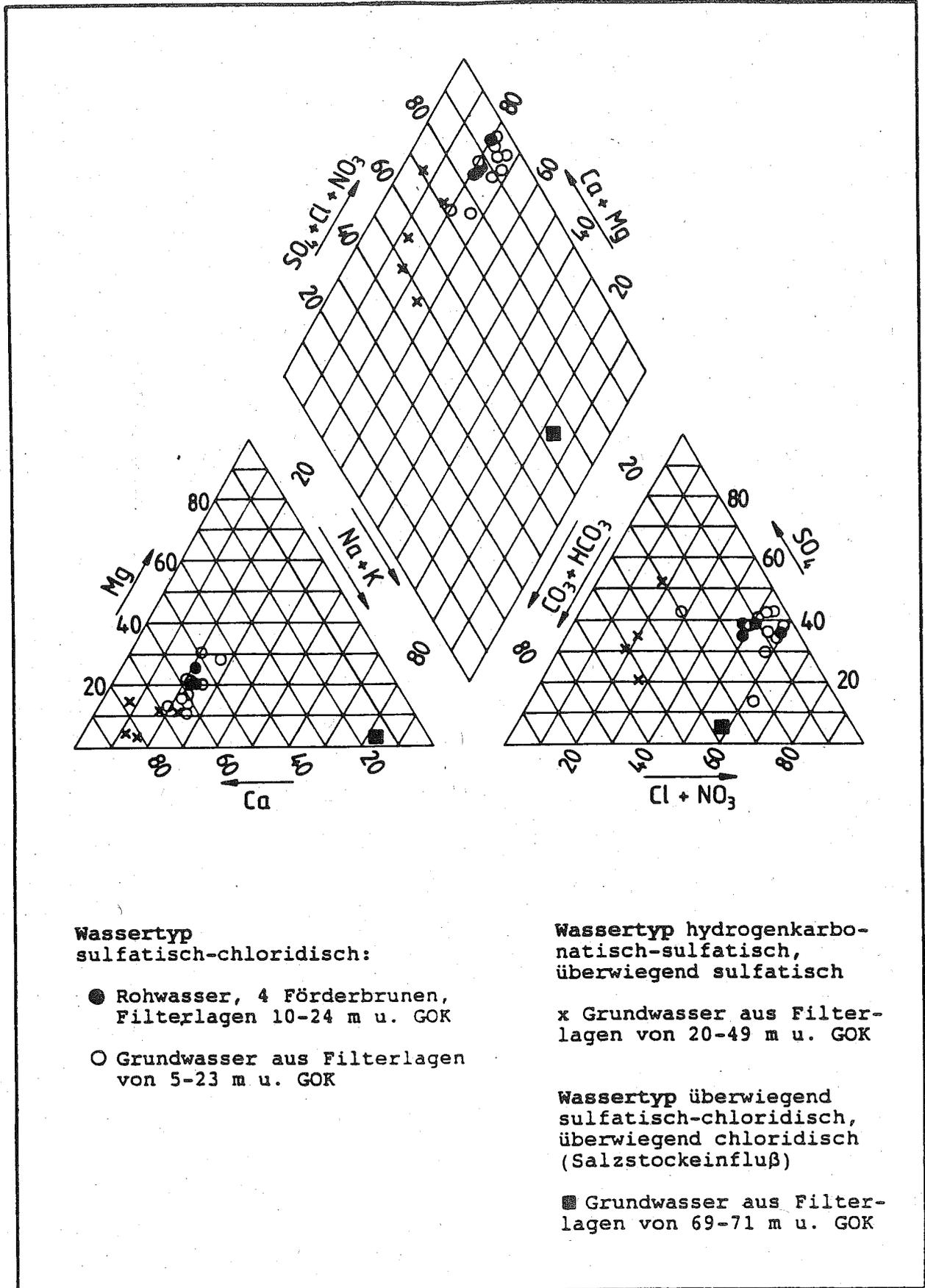


Abb. 14 Kombinationsdiagramm nach PIPER zur Typisierung von Grundwasser, Grundwasserproben aus Niedersachsen

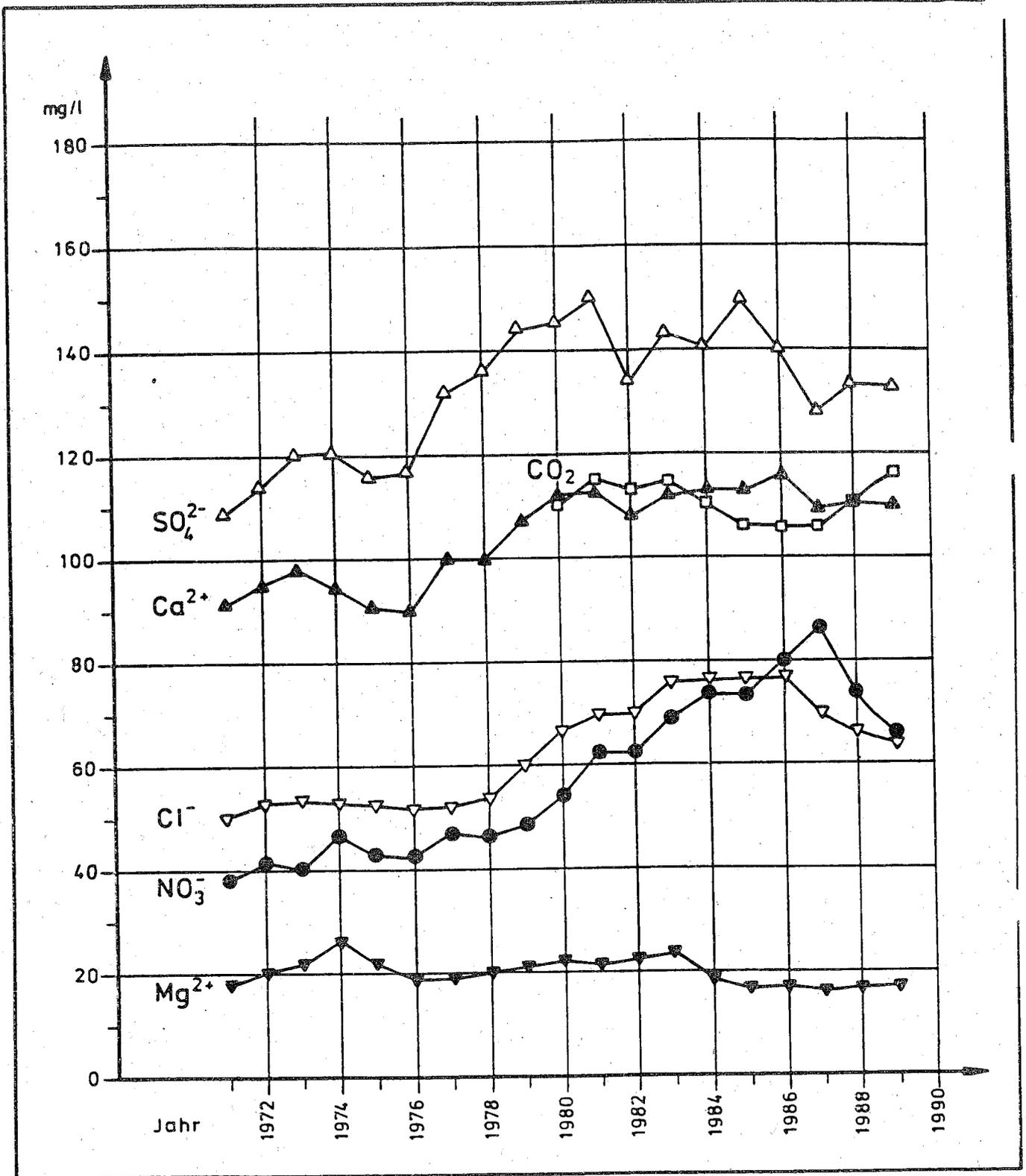


Abb. 15 Beispiele für Ganglinien von Ionenkonzentrationen im Rohwasser eines Wasserwerkes am Niederrhein

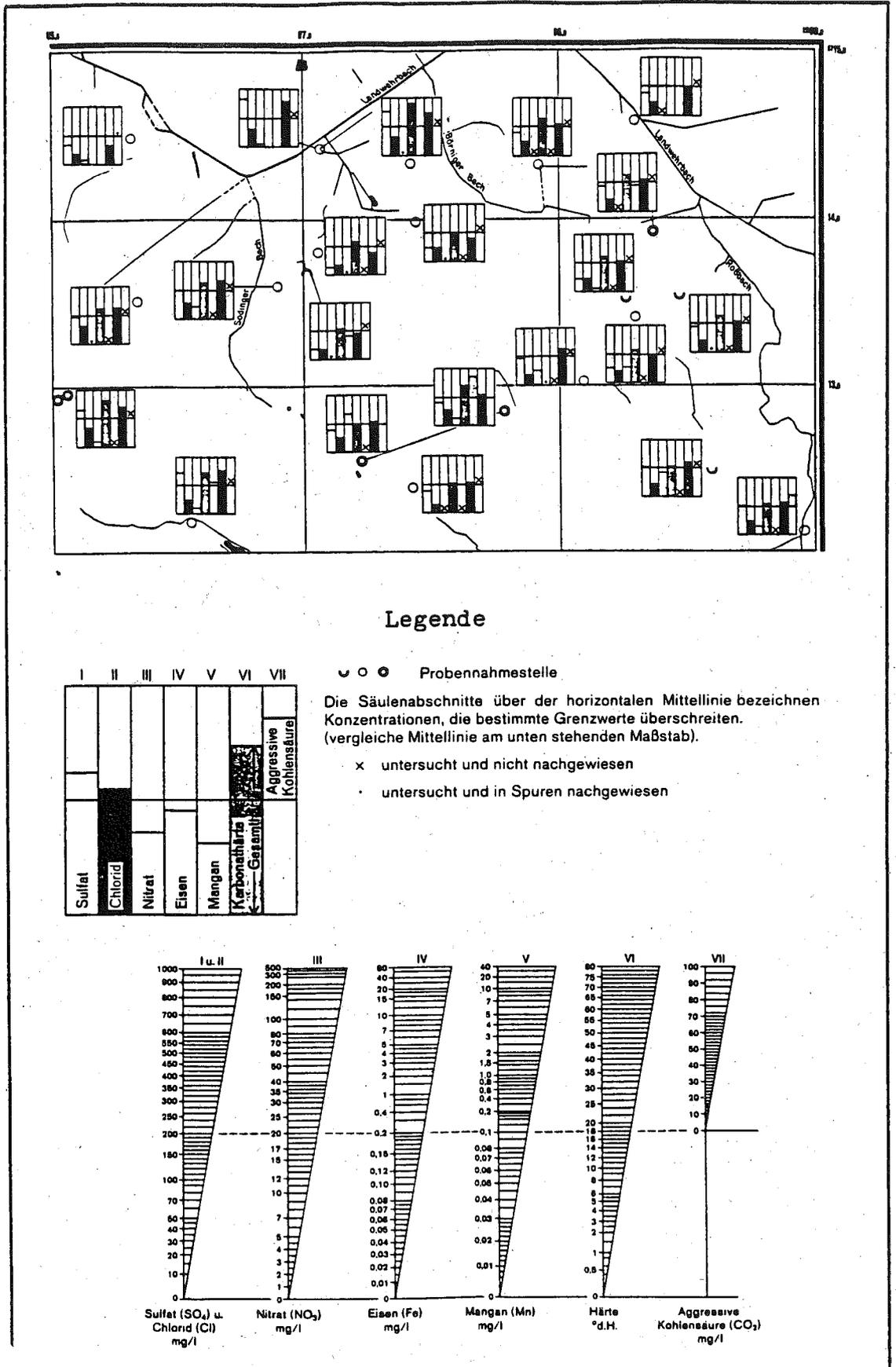


Abb. 16 Beispiel einer hydrochemischen Karte auf der Basis von Säulendiagrammen, Nordrhein-Westfalen 1972

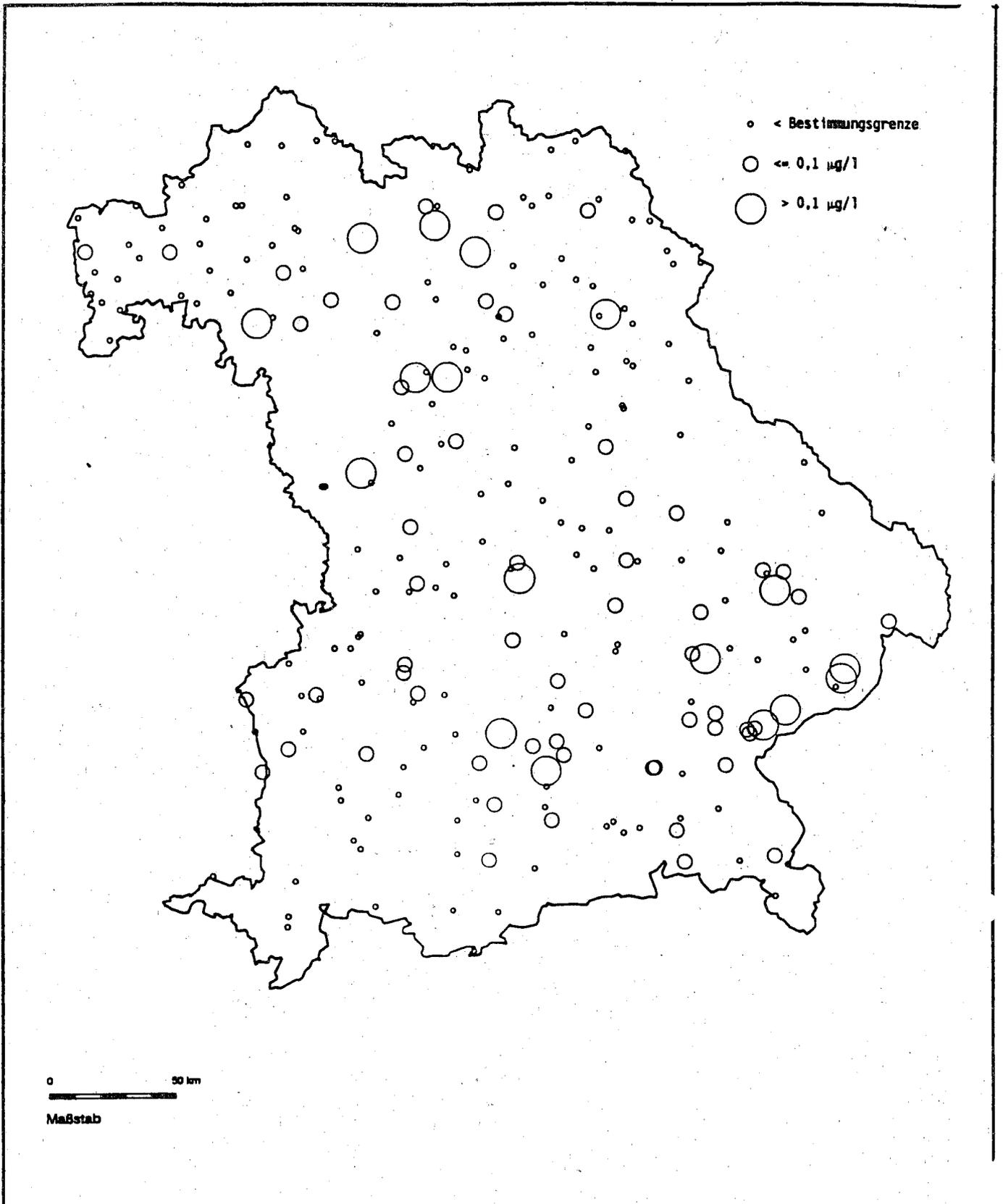


Abb. 17 Beispiel einer hydrochemischen Karte mit Kreisdarstellung der Meßwerte, Atrazin-Untersuchungen, Bayern 1991

9 Aufbewahrung und Sicherung von Daten

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

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

Weitergehende Hinweise zur Datensicherung können der LAWA-Richtlinie „Grundwasserstand“ entnommen werden.

10 Richtlinien und Normen

Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung,
Teil 1 – Grundwasserstand 1982
Teil 2 – Grundwassertemperatur 1987
Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
Kommissionsvertrieb: Woeste Druck + Verlag, Essen

Empfehlungen zum Aufbau wasserwirtschaftlicher Datenbanken
Heft 105/1977
Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen e. V. (KWK)
Deutscher Verband für Wasserwirtschaft e. V. (DVWW)

LAWA-Arbeitsblatt Pumpversuche in Porengrundwasserleitern, 1979

AQS-Merkblätter für Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen, Ergänzbare 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, 1991

Methodensammlung zur Auswertung und Darstellung von Grundwasserbeschaffenheitsdaten
DVWK-Schriften Heft 89, 1990

Sanierungsverfahren für Grundwasserschadensfälle und Altlasten
DVWK-Schriften Heft 98, 1991

Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode
DVWK-Merkblätter Heft 217, 1990

Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben
DVWK-Merkblätter Heft 128, 1993

Einflüsse von Meßstellenausbau und Pumpenmaterial auf die Beschaffenheit einer Wasserprobe
DVWK-Mitteilungen Heft 20, 1990

DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 110. Untersuchungen in Bohrlöchern und Brunnen zur
Erschließung von Grundwasser; Zusammenstellung von Methoden, 1990

DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 111. Technische Regeln für die Ausführung von Pumpversuchen
bei der Wassererschließung, Mai 1975

DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 112. Entnahme von Wasserproben bei der Wassererschließung,
Apr. 1983

DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 115. Bohrungen bei der Wassererschließung, Febr. 1977

DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 116. Verwendung von Spülmittelzusätzen in Bohrspülungen bei der
Erschließung von Grundwasser, Mai 1985

DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 121. Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmeß-
stellen, Okt. 1988

DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 251. Anforderungen an Fließgewässer als Rohwasser für die
Nutzung zur Trinkwasserversorgung,
E Nov. 1992

DVGW/DVWK-Merkblatt W 252, Zustandsbeschreibung des Grundwassers, E Dez. 1992

DVGW – Qualitätssicherung in Wasserlaboratorien GLP oder AQS, Wasser-Information 31,
Ausgabe 12/91

	Ausgabedatum
DIN 3585 Gasleitungen-Straßenkappe	8.90
DIN 4021 Baugrund; Erkundung durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben	
Teil 1, Aufschlüsse im Boden	10.90
Teil 2, Aufschlüsse im Fels	10.90
Teil 3, Aufschluß der Wasserverhältnisse	10.90
DIN 4022 Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Bodenarten und Fels	
Teil 1, Schichtenverzeichnis für Untersuchungen und Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	9.87
Teil 2, Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Festgestein)	3.81
Teil 3, Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein)	5.82
DIN 4023 Baugrund und Wasserbohrungen; Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse	3.84
DIN 4049 Hydrologie	
Teil 1, Begriffe, quantitativ	E 12.89
Teil 102, Begriffe der Gewässerbeschaffenheit	E 7.87
DIN 4055 Straßenkappen für Unterflurhydranten in Gehwegen und Fahrbahnen	E 8.89
DIN 4922 Stahlfilterrohre für Bohrbrunnen	
Teil 1, Schlitzbrückenlochung und Laschenverbindung	2.78
Teil 2, Gewindeverbindung DN 100 bis DN 500	4.81
Teil 3, Flanschverbindung, NW 500 bis NW 1000	12.75
DIN 4924 Filtersande und Filterkiese für Brunnenfilter	2.72
DIN 4925 Kunststoff-Filterrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC hart, PVC-U) für Bohrbrunnen, mit Querschlitzzung und Gewindeverbindung	
Teil 1, DN 40 bis DN 100	11.90
Teil 2, DN 125 bis DN 200	11.90
Teil 3, DN 250 bis DN 400	11.90
TGL 23989 (Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen) Unterirdisches Wasser	11.83
TGL 35818 (Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen) Grundwasserbeobachtung	1979
Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	
Herausgeber: Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Verlag Chemie, Weinheim	
Strahlenschutzvorsorgegesetz (Str.VG) vom 30. 12. 1986 – BGBl I, 2610 ff	
Verordnung des Bundesministers für Land und Forstwirtschaft über die Erhebung der Wassergüte in Österreich (Wassergüte-Erhebungs-Verordnung – WGEV) – BGBl Nr. 338, 1991	
Trinkwasser-Verordnung (TrinkwV) Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe vom 12. 12. 1990 – BGBl I, S 2613 ff	