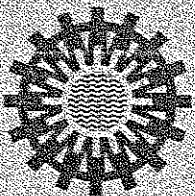


**Empfehlungen zu Konfiguration von  
Meßnetzen sowie zu Bau und Betrieb  
von Grundwassermeßstellen (qualitativ)**



Stand: November 1999

## **Grundwasser**

# **Empfehlungen zu Konfiguration von Meßnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)**

**1999**

Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser  
Bearbeiter: LAWA-Arbeitskreis „Optimierung des Grundwasserdienstes“

Artikel-Nr. 3005/11

## II Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

Herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Vorsitz: Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern  
Schwerin 2000

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

ISBN: 3-88961-232-6

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

Die vorliegende Veröffentlichung ist zu einem Preis von 12,50 DM zu beziehen über den:

**Kulturbuch-Verlag GmbH**  
Sprosserweg 3, 12351 Berlin,  
Tel: 030/661 84 84; Fax 030/661 78 28  
Internet: <http://www.kulturbuch-verlag.de>  
e-mail: [kbvinfo@kulturbuch-verlag.de](mailto:kbvinfo@kulturbuch-verlag.de)

## Vorwort

Der im Jahr 1974 gegründete LAWA-Arbeitskreis „Grundwassermessung“, der 1996 in „Optimierung des Grundwasserdienstes“ umbenannt worden ist, hat 1993 und 1995 zwei Richtlinien veröffentlicht (Teil 3 Grundwasserbeschaffenheit, Teil 4 Quellen), die die Beschaffenheit des Grundwassers zum Gegenstand haben. Ihr Schwerpunkt liegt auf der Gewinnung von Grundwasserproben, der Auswahl der Untersuchungsparameter und der Präsentation der Meßergebnisse.

Nachdem zahlreiche Schadensfälle die Verschmutzungsanfälligkeit des Grundwassers offenkundig gemacht hatten, empfahl die LAWA im Jahr 1983 eine verstärkte Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit. Das Aufgabengebiet bekam seitdem in allen Bundesländern hohe Priorität, so daß hier mittlerweile reiche Erfahrungen vorliegen, die über den früheren Kenntnisstand erheblich hinausgehen. Insbesondere wurde erkannt, daß ein großer Teil der Meßstellen des Landesgrundwasserdienstes, an denen bislang fast ausschließlich nur der Grundwasserstand ermittelt worden ist, dem für die Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit maßgebenden Anforderungsprofil aus verschiedenen Gründen nicht oder nur mit Abstrichen entspricht. Im Falle von Quellschüttungsmeßstellen ist dieses Problem kaum relevant. Weiterhin wurde deutlich, daß Meßnetzkonfiguration, Ausbau von Meßstellen, Technik der Grundwasserbeprobung und Analytik im Zusammenhang gesehen werden und aufeinander abgestimmt sein müssen, um repräsentative qualitative Grundwassermeßwerte zu erhalten.

Die hier vorgelegten „Empfehlungen zu Konfiguration von Meßnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)“ des LAWA-Arbeitskreises „Optimierung des Grundwasserdienstes“ geben den aktuellen Wissensstand wieder und berücksichtigen die insbesondere in den letzten fünf Jahren gemachten Erfahrungen. Die Empfehlungen liefern die fachlichen Grundlagen für die Konfiguration von Grundwassermeßnetzen einschließlich Bau und Betrieb von Meßstellen. Sie sollen weiterhin helfen, Fehler, die zu gravierenden Fehlinterpretationen der Meßwerte führen können, zu erkennen und zu vermeiden.

Die im Sinne dieser Empfehlungen konfigurierten Grundwassermeßnetze der Länder sind die Basis einer längerfristig gesicherten Beobachtung des Grundwassers. Damit sind die Voraussetzungen gegeben, geeignete Meßstellen für die Berichtspflichten der Länder gegenüber dem Bund und der Bundesrepublik Deutschland gegenüber der Europäischen Union auszuwählen.

Die fachgerechte Konfiguration des Beschaffenheitsmeßnetzes sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen werfen auch Fragen der Optimierung auf. Die vom selben Arbeitskreis zeitparallel erarbeiteten „Empfehlungen zur Optimierung des Grundwasserdienstes (quantitativ)“ geben hierzu Hinweise (LAWA 2000).

#### IV Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

Erarbeitet vom Arbeitskreis "Optimierung des Grundwasserdienstes"

##### **Bearbeiter:**

Ulrich Bartels	Staatl. Amt für Umwelt und Natur Neubrandenburg
Werner Deiglmayr	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Jost Grimm-Strele, Ph.D.	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Dr. Henning Holthusen	Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein
Udo Klost	Landesumweltamt Brandenburg
Dr. Willi Laier	Bundesanstalt für Gewässerkunde
Wolfgang Meier	Umweltbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg
Horst Müller	Senator für Umweltschutz der Freien Hansestadt Bremen
Dr. Roland Nieß/Andree Weustink	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie / Bezirksregierung Weser - Ems
Dr. Hermann Römermann	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
Werner Sacher	Staatliches Umweltfachamt Chemnitz
Angela Scheibner	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Prof. Dr. Benedikt Toussaint (Obmann)	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Dr. Günter Ziegler	Thüringer Landesanstalt für Umwelt

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Vorwort</b>	
<b>1. Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Fachliche und rechtliche Grundlagen der Grundwasserüberwachung</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Beschreibung der Meßnetze</b> .....	<b>5</b>
3.1. Flächenhafte Meßnetze .....	<b>6</b>
3.1.1. Grundmeßnetz .....	<b>6</b>
3.1.2. Rohwassermeßstellen .....	<b>6</b>
3.2. Sondermeßnetze .....	<b>6</b>
3.2.1. Vorfeldmeßstellen .....	<b>7</b>
3.2.2. Emittentenmeßstellen .....	<b>7</b>
3.2.3. Schadensfallmeßstellen .....	<b>7</b>
3.2.4. Sonstige Meßstellen .....	<b>8</b>
<b>4. Kriterien der Meßnetzkonfiguration</b> .....	<b>9</b>
4.1. Meßnetzcharakter .....	<b>9</b>
4.2. Untersuchungsraum .....	<b>9</b>
4.3. Meßstellenarten .....	<b>10</b>
4.4. Kriterien für den Meßstellenstandort .....	<b>12</b>
4.4.1. Allgemeine Auswahlkriterien .....	<b>12</b>
4.4.2. Hydrodynamik des Strömungsfeldes .....	<b>12</b>
4.4.3. Ausbautechnische Varianten der Meßstellen in Abhängigkeit von Meßnetztyp und Strömungsfeld .....	<b>13</b>
4.5. Meßnetzdicke .....	<b>14</b>
<b>5. Bestandsaufnahme und Funktionsüberprüfung</b> .....	<b>15</b>
5.1. Bewertung anhand vorhandener Unterlagen .....	<b>16</b>
5.2. Funktionsprüfung .....	<b>16</b>
5.3. Folgerungen aus der Meßstellenüberprüfung .....	<b>17</b>

## VI Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

<b>6.</b>	<b>Neubau von Grundwassermeßstellen</b> .....	<b>18</b>
6.1.	Orientierende Vorarbeiten .....	18
6.2.	Aufschlußbohrung .....	18
6.3.	Meßstellenbohrung .....	19
6.4.	Ausbau zur Meßstelle .....	19
<b>7.</b>	<b>Meßstellenbetrieb</b> .....	<b>24</b>
7.1.	Beprobungsturnus .....	24
7.2.	Beprobungstechnik .....	24
7.3.	Wartung und Instandhaltung .....	26
<b>8.</b>	<b>Anwendungsbeispiele und Ausblick</b> .....	<b>27</b>
8.1.	Anwendungsbeispiele.....	27
8.2.	Ausblick.....	28
<b>9.</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>30</b>



## 1. Aufgabenstellung

Das Grundwasser ist ein Naturgut, das vorbeugend zu schützen ist. Sowohl die Vorsorge als auch die überwiegend als Reparatur zu verstehende Nachsorge sowie die Überprüfung der Wirksamkeit eventueller Sanierungsmaßnahmen setzen u.a. die Existenz eines Meßnetzes voraus, das die Gewinnung repräsentativer, problem- und standortbezogener Grundwasserproben ermöglicht. „Repräsentativ“ bedeutet in diesem Zusammenhang, daß eine Probe derart gewonnen wird, daß sich in den resultierenden qualitativen Meßwerten das Verteilungsmuster und die Konzentration der Grundwasserinhaltsstoffe in einem bestimmten Grundwasserkörper möglichst widerspiegeln, d.h. die in situ-Grundwasserbeschaffenheit unter den herrschenden Druck-Temperatur-Bedingungen muß sich erkennen lassen.

Überwachungs-, Erkundungs- und Kontrollmaßnahmen und entsprechende Bewertungen müssen auf sicheren Meßwerten basieren. Häufig wird angenommen, daß die Qualität der Meßwerte im wesentlichen nur eine Frage von Probenahme, Analyseverfahren und Laborqualifikation sei. Diese Vorstellung verkennt, daß auch die Konfiguration des entsprechenden Meßnetzes und der Ausbau der dazugehörigen Meßstellen eine mindestens ebenso große Bedeutung haben.

Zwischen räumlicher Anordnung der Meßstellen in einem Meßnetz (Meßnetzkonfiguration), Meßstellenausbau, Probenahme und Analytik besteht im Hinblick auf die Repräsentanz der Meßwerte eine wechselseitige Abhängigkeit (Abb. 1-1). Bei der Planung eines Meßnetzes sowie beim Bau von Meßstellen sind das komplexe System Grundwasserleiter sowie die quantitativen und qualitativen Einflüsse möglichst genau zu berücksichtigen. Andernfalls können sich Fehler ergeben, die so gravierend sind, daß die Gewinnung repräsentativer Grundwasserproben bzw. Meßwerte in Frage gestellt wird.

Aus der gesetzlichen Verpflichtung zur Erfassung, Dokumentation und Bewertung von Grundwasserdaten (s. Kap. 2) leitet sich auch ab, daß größte Sorgfalt auf die Konzeption von Meßnetzen mit allen ihren Rahmen- und Randbedingungen im Interesse einer effektiven Beobachtung bzw. Überwachung des Grundwassers zu legen ist.

Die „Beobachtung“ ist eine grundlegende gewässerkundliche Aufgabe mit der Zielsetzung, einen Grundwasserkörper im Hinblick auf seine Eigenschaften und deren eventuellen Veränderungen in der Zeit zu beschreiben. Sie entspricht der „fortlaufenden Überwachung“ in der voraussichtlich im Jahr 2000 in Kraft tretenden EU-Wasserrahmenrichtlinie (Anhang V, Nr. 2.4.2). Unter „Überwachung“ wird die Auswertung von Meßergebnissen verstanden mit dem Ziel, unerwünschte Eigenschaften des beobachteten Grundwasserkörpers frühzeitig hinsichtlich gegebenenfalls zu ergreifender Maßnahmen zu erkennen. Sie kann der „operativen Überwachung“ der EU-Wasserrahmenrichtlinie (Anhang V, Nr. 2.4.3) gleichgesetzt werden.

Der Schwerpunkt dieser Empfehlungen liegt auf den staatlich betriebenen, überwiegend großräumig konzipierten Meßnetzen, dem wasserwirtschaftlichen und gewässerkundlichen Instrumentarium der Länder. In diese Meßnetze sind nicht nur gebohrte Meßstellen, sondern auch Quellen zu integrieren. Die staatlichen Meßnetze, vor allem die Basismeßnetze der Länder, sind die Grundlage für die fortlaufende Überwachung im Sinne der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, während die Sondermeßnetze für die operative Überwachung des Grundwassers herangezogen werden können (s. Kap. 3).

In allen Fällen muß gefordert werden, daß der Standort einer Meßstelle zur Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit sowohl die Gewinnung repräsentativer Grundwasserproben als auch die Erfassung des Grundwasserstandes bzw. der Quellschüttung ermöglichen muß.

Staatliche Meßnetze mit dieser Zielsetzung existieren bereits. Mit ihrer auch aus umweltpolitischen Gründen vordringlichen Realisierung wurde aufgrund einer Vorgabe der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 1983) spätestens in den 80er Jahren, in den neuen Bundesländern Anfang der 90er Jahre begonnen. Da jedoch aus Kostengründen häufig ältere Meßstellen oder ehemalige Förderbrunnen sowie Schachtbrunnen übernommen worden sind, die dem heutigen Anforderungsprofil (LAWA 1993) vielfach nicht genügen, können und dürfen die bestehenden Meßnetze im Hinblick auf Konfiguration, Anzahl der Meßstellen und Zweckbestimmung nicht als „statisch“ angesehen werden. Das bedeutet z. B., daß die Wertigkeit vorhandener Meßstellen sowie ihre Zuordnung zu bestimmten Meßnetzen im Laufe



## 2 Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

der Zeit unter anderem in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung durchaus variieren können. Dabei kann auch der Bau neuer Meßstellen notwendig werden, die entweder an die Stelle bereits existierender, aber ungeeigneter Meßstellen treten müssen oder in Gebieten einzurichten sind, in denen die Anzahl der Meßstellen nach heutigem Kenntnisstand zu gering ist oder überhaupt nicht auf Meßstellen zurückge-

griffen werden kann. Die Meßnetzkonfiguration nach einheitlichen Kriterien soll bewirken, daß die Meßnetze der einzelnen Bundesländer vergleichbar sind, um über Grenzen hinweg (auch im Hinblick auf die immer mehr an Bedeutung gewinnenden Datenlieferungen innerhalb der Bundesrepublik und an die Europäische Gemeinschaft) die Daten fachgerecht interpretieren zu können.

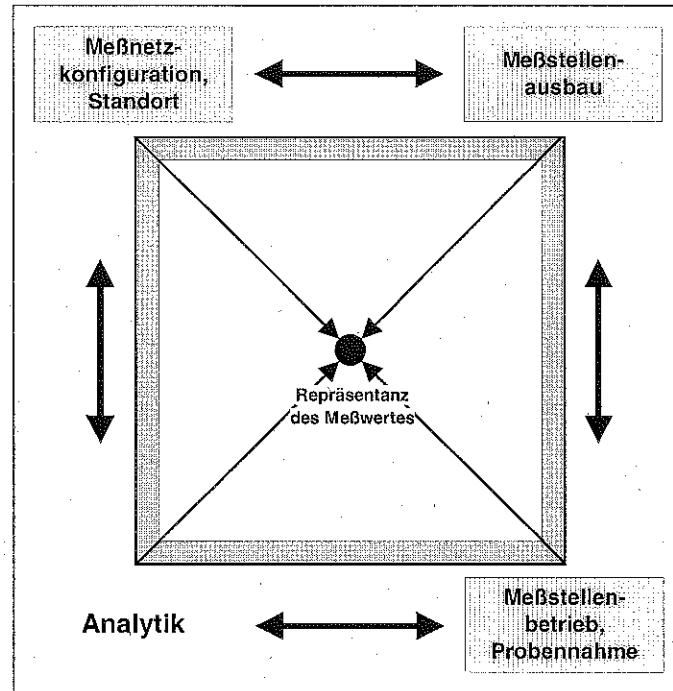


Abb. 1-1: Einflussfaktoren auf die Repräsentanz von Grundwassermeßwerten; die Thematik der gerasterten Kästchen bezieht sich auf die vorliegenden Empfehlungen.

## 2. Fachliche und rechtliche Grundlagen der Grundwasserüberwachung

Die Beobachtung und Überwachung des Grundwassers ist nicht nur eine Aufgabe des Staates, sondern auch der Grundwassernutzer und aller derjenigen, die das Grundwasser beeinflussen. Dabei geht es nicht nur um die Erfassung des Ist-Zustandes, sondern auch um das rechtzeitige Erkennen diffuser anthropogener Einflüsse, das geeignete Gegenmaßnahmen in Gang setzen soll. Ein wichtiges Instrumentarium zielgerichteter Umweltpolitik ist in diesem Zusammenhang der Landesgrundwasserdienst (Abb. 2-1), der gesetzlich oder zumindest in Form von Verordnungen oder Erlassen geregelt ist. Eine weitere Komponente sind die in manchen Ländern auf der Grundlage des Kooperationsprinzips bereits eingerichteten Emittentenmeßnetze; mit diesen sollen die von flächenhaften Emissionsquellen (z. B. Braunkohlentagebau, großräumige Industrieareale oder landwirtschaftlich genutzte Flächen) ausgehenden negativen Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit erfaßt werden. Auf dem Wege von Verordnungen oder auf freiwilliger Basis sind meistens auch die Wasserversorgungsunternehmen in das System der Grundwasserüberwachung eingebunden; sie übermitteln die Daten der Rohwasser- und z.T. auch der Grundwasserbeschaffenheit im Vorfeld der Fassungsanlagen an eine zentrale staatliche Stelle zur zusammenfassenden Auswertung.

Die Sondermeßnetze mit lokalem Charakter werden auf Anordnung der Wasserbehörden im Zusammenhang mit Erkundungsmaßnahmen

bei Verdacht auf eine Grundwasserkontamination sowie zur Überwachung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen eingerichtet. Nicht zuletzt haben auch Wasserversorgungsunternehmen und andere Nutzer ein Interesse, im Rahmen der Eigenkontrolle im Einzugsgebiet der Gewinnungsanlagen Informationen über die Beschaffenheit des Grundwassers zu erhalten. Diese Meßstellen sind früher i. allg. im Zusammenhang mit wasserrechtlichen Bescheiden, die in der Regel jedoch nur quantitative Aspekte zum Inhalt haben, eingerichtet worden.

Die Verpflichtung, das Grundwasser zu beobachten, ergibt sich aus dem Vorsorgegrundsatz, der immer mehr an die Stelle einer nachsorgenden „Reparatur“ tritt. Das Vorsorgeprinzip, auf dem auch das „Grundwasserüberwachungskonzept 1983“ der LAWA (LAWA 1983) beruht, leitet sich aus dem bundesdeutschen Wasserhaushaltsgesetz (§§ 1a und 34 WHG), dem Bodenschutzgesetz (§ 1 BBodSchG) und dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (§ 10 KrW-/AbfG) mit den zugehörigen Landesgesetzen, der EG-Richtlinie 80/68/EWG über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe und der darauf basierenden Grundwasserverordnung vom 18.3.1997 sowie der kommenden Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 1999) ab. Das nicht schutzgut-spezifische Polizei- und Ordnungsrecht sowie die vorstehend genannten Gesetze sind im Umkehrschluß auch die rechtlichen Grundlagen für die Sanierung kontaminierter Grundwasservorkommen oder zumindest für Schadensabwehr- oder Sicherungsmaßnahmen. Somit ist auch die i.allg. vorausgehende Erkundung eines verunreinigten Grundwasservorkommens gesetzlich abgesichert.

4 Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

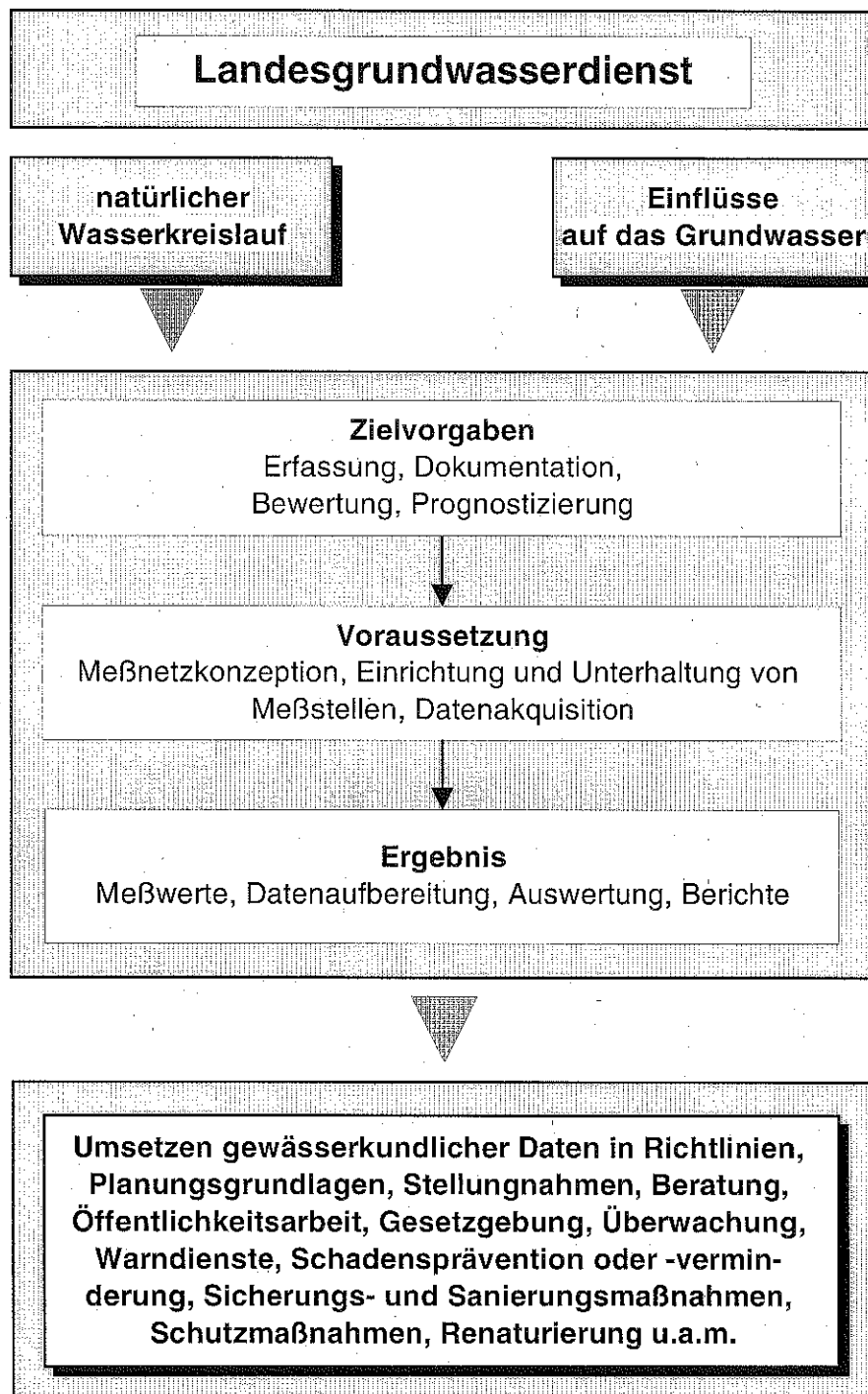


Abb. 2-1: Landesgrundwasserdienst als Instrumentarium zielgerichteter staatlicher Umweltpolitik.

### 3. Beschreibung der Meßnetze

Nach DIN 4049-1 (DIN 1992) ist ein Meßnetz die „Gesamtheit der Meßstellen, die einem bestimmten Zweck dienen und nach einem gleichwertigen Meßprogramm betrieben werden“. Das Meßprogramm ist definiert als „Programm, in dem die zu messenden Kenngrößen, Art, Zeitfolge und Dauer der Messungen und der Probennahme sowie Meßverfahren und Randbedingungen festgelegt werden“. Die Qualität eines Grundwassermeßnetzes ist somit nicht nur von der Funktionstüchtigkeit der einzelnen Meßstellen, sondern ebenso vom Meßprogramm abhängig.

Es kann unterschieden werden zwischen einem landesweiten, nach gewässerkundlichen Kriterien betriebenen staatlichen Meßnetz einerseits sowie Sondermeßnetzen andererseits (Abb. 3-1). Diese Differenzierung ist bereits im „Grundwasserüberwachungskonzept 1983“ der LAWA (LAWA 1983) vorgenommen worden. Ei-

ne besondere Stellung nehmen die Rohwassermeßstellen wie Förderbrunnen oder Quelfassungen ein. Die darauf bezogenen hydrochemischen Meßwerte sind aber ebenfalls Bestandteil der flächendeckenden Grundwasserbeobachtung, da sie einen Überblick über die Beschaffenheit genutzter Grundwasservorkommen gestatten.

Im Rahmen dieser Empfehlungen sind vor allem die staatlich betriebenen Meßnetze Betrachtungsgegenstand. Die Rohwassermeßstellen der Versorgungsunternehmen, lokale Emittentenmeßnetze, Schadensfallmeßnetze und andere Sondermeßnetze (z. B. Meßstellen, die der Forschung dienen), sind weniger im Zusammenhang mit der Meßnetzplanung von Interesse, sondern vor allem im Hinblick auf die Daten; daher werden hinsichtlich der Meßnetze im folgenden nur Aussagen im beschränkten Umfang gemacht. Das gilt vor allem für die Sondermeßnetze bei Schadensfällen, die nach strengen standortbezogenen Vorgaben zu konfigurieren sind. Hier sind spezielle Kriterien maßgebend, über die die Fachliteratur Auskunft gibt (DÖRHÖFER 1995/96; TOUSSAINT 1991).

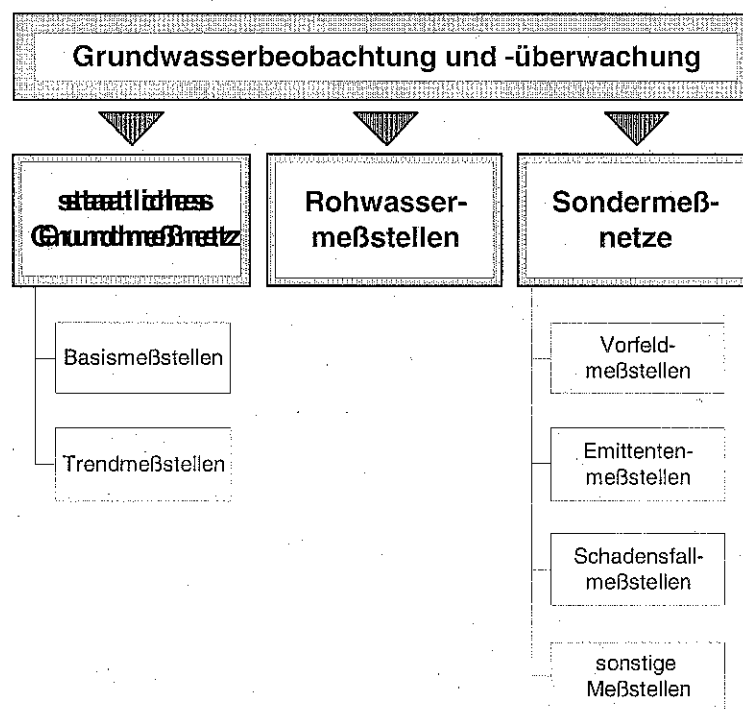


Abb. 3-1: Komponenten der kooperativen Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit (in Anlehnung an LAWA 1983).

Die flächenhafte Erfassung und Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit wird i.allg. mittels ausgewählter Meßstellen des Landesgrundwasserdienstes realisiert (Grundmeßnetz). Dabei spielen auch hydrogeologische Fragestellungen eine wesentliche Rolle, da das Grundwasser sowohl Lösemittel als auch Transportmedium ist und somit quantitative und qualitative Grundwassermeßwerte immer im Zusammenhang zu sehen sind.

Die Sondermeßnetze, die einen lokalen bis regionalen Charakter aufweisen, haben entweder einen Bezug zu Trinkwassergewinnungsanlagen oder zu potentiellen oder tatsächlich nachgewiesenen Schadstoffemittenten.

Nachstehend werden die verschiedenen Meßnetze beschrieben und Kriterien für Standortwahl der Meßstellen und Ausbau genannt.

### 3.1. Flächenhafte Meßnetze

Das staatliche Grundmeßnetz und die Rohwassermeßstellen der Wasserversorgungsunternehmen beziehen sich i. allg. auf die gesamte Fläche eines Bundeslandes. Da das Grundnetz relativ weitmaschig ist und Rohwassermeßstellen nur in Wassergewinnungsgebieten vorhanden sind, ist mit ihnen keine flächenrepräsentative Aussage verbunden.

#### 3.1.1. Grundmeßnetz

Es handelt sich um das staatliche Meßnetz für die Erfassung und Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit im Landesmaßstab sowie für die Erfüllung von Berichtspflichten gegenüber der Europäischen Union. Wenn längere Meßreihen vorliegen, kann eine Differenzierung zwischen Basismeßstellen und Trendmeßstellen sinnvoll sein. Die Basismeßstellen erlauben als Referenzmeßstellen Rückschlüsse auf die geogene Grundwasserbeschaffenheit. Mit Hilfe der Trendmeßstellen soll eine Veränderung der Grundwasserinhaltsstoffe hinsichtlich Verteilungsmuster und Konzentration infolge diffuser anthropogener Einflüsse nachgewiesen werden (LAWA 1993).

Das Grundmeßnetz bezieht sich auf hydrogeologische Einheiten, die jeweiligen Standorte der Meßstellen müssen am Strömungsfeld ori-

entiert sein, um repräsentative Meßwerte zu erhalten. Genauere Ausführungen dazu werden in Kap. 4 gemacht, das sich mit den Kriterien der Meßnetzkonfiguration befaßt.

#### 3.1.2. Rohwassermeßstellen

Die öffentlichen Trinkwasserversorgungsunternehmen und z.T. auch private Grundwasseranutzer, z. B. Molkereien oder Brauereien, stellen in den meisten Bundesländern aufgrund von Verordnungen oder im Rahmen von Kooperationsmodellen die hydrochemischen Meßwerte ihres Rohwassers für eine zentrale Auswertung zur Verfügung. Insofern stellen die Rohwassermeßstellen eine Besonderheit dar, da sie nach Kriterien des Wasserbedarfs und der Wassergewinnungsmöglichkeiten im Land verteilt sind. Da beim Ausbau der Förderbrunnen bzw. bei der Auswahl der Quellen fast ausschließlich wasserversorgungswirtschaftliche Kriterien ausschlaggebend waren, sind die Daten z.T. interpretationsbedürftig und ergänzen daher lediglich den wesentlich weniger umfangreichen staatlichen Datenpool.

Je nach Fragestellung kann aus ihrer Vielzahl durch gezielte Auslese ein Meßnetz zusammengestellt werden, das im Gegensatz zu den Meßstellen im engeren Sinn (Beobachtungsröhre) z.T. eine flächenhafte Interpretation der resultierenden Daten erlaubt, da die Förderbrunnen und genutzten Quellen ein definierbares Einzugsgebiet haben, das sich mehr oder weniger gut abgrenzen läßt. Andererseits läßt sich häufig nicht die tatsächliche Verteilung von Kontaminanten und das Ausmaß der anthropogenen Belastung des Grundwassers aufzeigen, da zumindest aktuell betriebene Gewinnungsanlagen außerhalb des Einflusses von Emissionsquellen liegen sollten.

### 3.2. Sondermeßnetze

Die nutzungs- oder objektbezogenen Sondermeßnetze weisen in der Regel eine große Meßstellendichte auf. Mit Ausnahme der Vorfeldmeßstellen im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen sind diese Meßnetze i. allg. zeitlich befristet. In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung haben die Sondermeßnetze einen unterschiedlichen Charakter und Stellenwert.

### 3.2.1. Vorfeldmeßstellen

Es handelt sich um Meßstellen im Grundwasseranstrom zu Förderbrunnen, Quelfassungen oder Stollen. Da sie die Funktion von Vorwarnmeßstellen haben, werden sie so plaziert bzw. aus vorhandenen Meßstellen so ausgesucht, daß nach dem erstmaligen Nachweis eines Schadstoffes in einer Grundwasserprobe der Wasserwerksbetreiber ausreichend Zeit hat, um Vorkehrungen zu treffen.

### 3.2.2. Emittentenmeßstellen

Emittentenmeßstellen dienen dem rechtzeitigen Erkennen von möglichen Schadstoffquellen, von denen eine Gefährdung des Grundwassers ausgehen kann.

- Flächenhafte, z.T. linienförmige Emissionsquellen

Bei Emissionsquellen, die sich konkret keinem einzelnen Verursacher zuordnen lassen, bietet sich eine Differenzierung an z. B. nach:

- Landwirtschaft,
- Industrie,
- Siedlung,
- Verkehrswege,
- belastete oberirdische Gewässer.

Auch die Luftbelastung trägt zu einer Kontamination des Grundwassers bei.

Da die Emissionsmeßnetze „Landwirtschaft“ und „Luftbelastung“ i. allg. für die Erfassung von diffusen Schadstoffbelastungen im Landesmaßstab konzipiert, d. h. grobmaschig sind, kann in der Regel auf vorhandene Meßstellen zurückgegriffen werden. Die anderen Meßnetze, die eher im Hinblick auf spezifisch interessierende lokale bis regionale Probleme eingerichtet werden, basieren ebenfalls weit überwiegend auf vorhandenen Grundwasseraufschlüssen. Eine Ergänzung durch neue Meßstellen wird vor allem im Hinblick auf die Emittentenmeßnetze „Industrie“ und „Siedlung“ erforderlich sein.

Auch wenn im Rahmen von bestimmten Projekten Pilotgebiete für weitergehende Untersuchungen ausgewählt werden, kann es erforderlich werden, das Meßnetz durch neu zu installierende Meßstellen gezielt zu verdichten

und in Abhängigkeit von der Fragestellung zu konfigurieren.

- Potentielle punktuelle Emissionsquellen

Da die Anhäufung großer Schadstoffmengen auf kleiner Fläche ein Gefahrenpotential für das Grundwasser darstellt, empfiehlt sich die Einrichtung von Meßstellen beispielsweise an:

- Deponien,
- Altablagerungen und Altstandorten,
- Halden,
- Großtanklagern.

In der Regel werden im näheren Grundwasserabstrom nur wenige Meßstellen auf einem Längs- und ggf. mehreren Querprofilen gebaut, dazu eine Vergleichs-Meßstelle im Oberstrom des zu überwachenden Objektes. Der Abstand der Meßstellen eines Querprofils hängt von der Breite der Emissionsquelle senkrecht zum Grundwasserstrom und vom meist nur grob abschätzbaren Dispersionskoeffizienten ab, allerdings fallen diese Faktoren i. allg. nur bei längeren Schadstoffahnen ins Gewicht. Falls Schadstoffe in das Grundwasser übertreten, muß die Möglichkeit einer Dichteströmung berücksichtigt werden. Daher sollte ein tiefendifferenzierter Ausbau in Erwägung gezogen werden. Der § 19 i Wasserhaushaltsgesetz ist die rechtliche Grundlage dafür, daß die Betreiber von Anlagen nach § 19 g Abs. 1 und 2 die Kosten für das Meßnetz tragen müssen.

### 3.2.3. Schadensfallmeßstellen

Ist eine von stärkeren Punktquellen ausgehende Grundwasserbelastung nachgewiesen, wird zum Zwecke der Erkundung und ggf. auch im Zusammenhang mit Sanierungs- und darauf bezogenen Kontrollmaßnahmen ein lokales Meßnetz eingerichtet und temporär betrieben. Da Schadstoffahnen oftmals relativ schmal sind und durchaus eine Längserstreckung von mehreren hundert bis einigen tausend Metern haben können, besteht das Meßnetz überwiegend aus Querprofilen.

Häufig ist von Dichteströmungen auszugehen, die sowohl durch aufschwimmende oder absinkende organische Flüssigkeiten oder im Grundwasser gelöste Schadstoffe verursacht werden (wenn von der Einleitung warmen oder

## 8 Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

kalten Wassers in den Untergrund abgesehen wird). In diesem Fall ist eine tiefendifferenzierte Verfilterung der Meßstellen notwendig.

Im Oberstrom eines Schadensherdes sind zwecks Prüfung einer eventuellen Vorbela- stung des Grundwassers einzelne Meßstellen einzurichten.

### 3.2.4. Sonstige Meßstellen

Auch anthropogen unbeeinflußtes Grundwas- ser kann, bedingt durch die spezifischen geo- logischen Verhältnisse, von der Nutzung aus- geschlossen sein, wenn die Trinkwassergrenz- werte überschritten werden. Das ist häufig der Fall in Küstennähe („Küstenversalzung“), in Grundwasserleitern mit Salinarkomponente

(z. B. Gipswässer im Zechstein oder Muschel- kalk) oder in Bereichen mit Salzwasseraufstie- gen entlang tektonischer Strukturen. Hier stellt sich die Aufgabe, den natürlichen (geogenen) Stoffinhalt des genutzten Grundwassers zu überwachen, der u.a. in Abhängigkeit von der Höhe der Grundwasserneubildung und der Veränderung der Potentialverhältnisse und damit ggf. auch des Strömungsfeldes infolge der Abpumpmaßnahmen raumzeitlich stark varii- ren kann.

Wegen der in der Regel sehr speziellen geo- logischen und hydrogeologischen Verhältnisse und der darauf abzustimmenden Fragestel- lung, die sehr ins Detail gehen kann, wird auf eine Empfehlung zur Konfiguration von Meß- netzen in solchen Gebieten verzichtet.



## 4. Kriterien der Meßnetzkonfiguration

Die Kriterien der Meßnetzkonfiguration ergeben sich aus dem Untersuchungsziel, dem Untersuchungsraum mit seinen speziellen geogenen und anthropogenen Einflüssen auf die Grundwasserbeschaffenheit, der Art der Meßstellen sowie der angestrebten Aussagegenauigkeit im Hinblick auf die zeitliche und räumliche Varianz der Grundwasserinhaltsstoffe.

### 4.1. Meßnetzcharakter

Bei den meisten Untersuchungszielen wird von einem Meßnetz allgemein eine flächenbezogene Aussage erwartet, wobei die Fläche sehr eng begrenzt sein kann. In jedem Fall muß zu den benachbarten Meßstellen des Meßnetzes eine Beziehung bestehen, so daß eine Interpolation der Meßwerte möglich ist.

In der Regel kann eine optimale Meßstellendichte nur für kleinräumige Meßnetze verwirklicht werden. Die großräumigen Meßnetze können i. allg. nicht so dicht mit Meßstellen bestückt sein, daß sie tatsächlich flächendeckende Aussagen erlauben.

Die einzelnen Meßstellen sind meistens nicht repräsentativ für die gesamte Fläche, sondern sie stehen lediglich beispielhaft für bestimmte hydrogeologische Verhältnisse, Strömungsfelder und ausgewählte Grundwasserleitertypen in definierten hydrogeologischen Einheiten (ad-hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie 1997).

Liegt eine Grundwasserstockwerksgliederung vor oder bezieht sich die Beobachtung und Überwachung des Grundwassers auf mehrere Grundwasserleiter in einem Vertikalprofil, muß die Meßnetzkonfiguration die Gewinnung von Grundwasserproben gewährleisten, die jeweils repräsentativ für einen einzelnen Grundwasserleiter sind.

Die grundlegenden Zusammenhänge der räumlichen und zeitlichen Varianz der Beschaffenheit des Grundwassers sind häufig nur über Detailuntersuchungen zu ermitteln; die entsprechenden Informationen sind bei der Planung des Meßnetzes heranzuziehen (s. Tab. 4-1).

### 4.2. Untersuchungsraum

In unserem föderalen System, das auch die Organisation und Zuständigkeit der Wasserwirtschaftsverwaltung vorgibt, bezieht sich die Konzeption des staatlichen Meßnetzes zunächst auf die Fläche eines Bundeslandes. In Zukunft sind jedoch zunehmend auch Gesichtspunkte einer länderübergreifenden Zusammenarbeit zu berücksichtigen, u.a. geregelt in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 1999).

Maßgebend für die Interpretation der quantitativen und qualitativen Meßergebnisse und somit für die Konfiguration des Meßnetzes sind die naturräumlichen Gegebenheiten, insbesondere die Grundwasserregionen, die sich jeweils in hydrogeologische Einheiten differenzieren lassen. Die hydrogeologischen Einheiten und insbesondere Unter- und Teileinheiten sollten im Hinblick auf die morphologischen und tektonischen Gegebenheiten, die klimatischen Einflüsse auf den Wasserkreislauf, die Lithofazies, die geohydraulischen Kenngrößen und das Grundwasserströmungsfeld möglichst homogen sein. Die Meßnetzkonfiguration insbesondere des Grundmeßnetzes soll die hydrogeologischen Einheiten unter Berücksichtigung ihrer wasserwirtschaftlichen Bedeutung widerspiegeln und sich außerdem auf Flußgebietseinheiten beziehen.

Das Meßnetzkonzept ist jedoch nicht nur abhängig von den naturräumlichen Einflüssen auf die Grundwasserbeschaffenheit, die sich anhand der Gehalte gruppenspezifischer Inhaltsstoffe erkennen und beschreiben lassen (GABRIEL et al. 1995). Selbstverständlich muß die Flächennutzung berücksichtigt werden, da sie Auswirkungen auf die geogene Grundwasserbeschaffenheit haben kann (Abb. 4-1).

Eine Rolle spielen dabei vor allem aufgegebene und aktuell noch betriebene Gewerbe- und Industriestandorte sowie Deponien als punktuelle Belastungsquellen und Verkehrswege als linienförmige Emissionsquellen. Siedlungen und vor allem landwirtschaftlich genutzte Gebiete haben sich als signifikante Flächenquellen herausgestellt. In Verbindung mit den unterschiedlichen Landnutzungen können auch Beeinflussungen durch atmosphärische Stoffeinträge eine größere Bedeutung haben (vgl. Abschn. 3.2).

## 10 Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

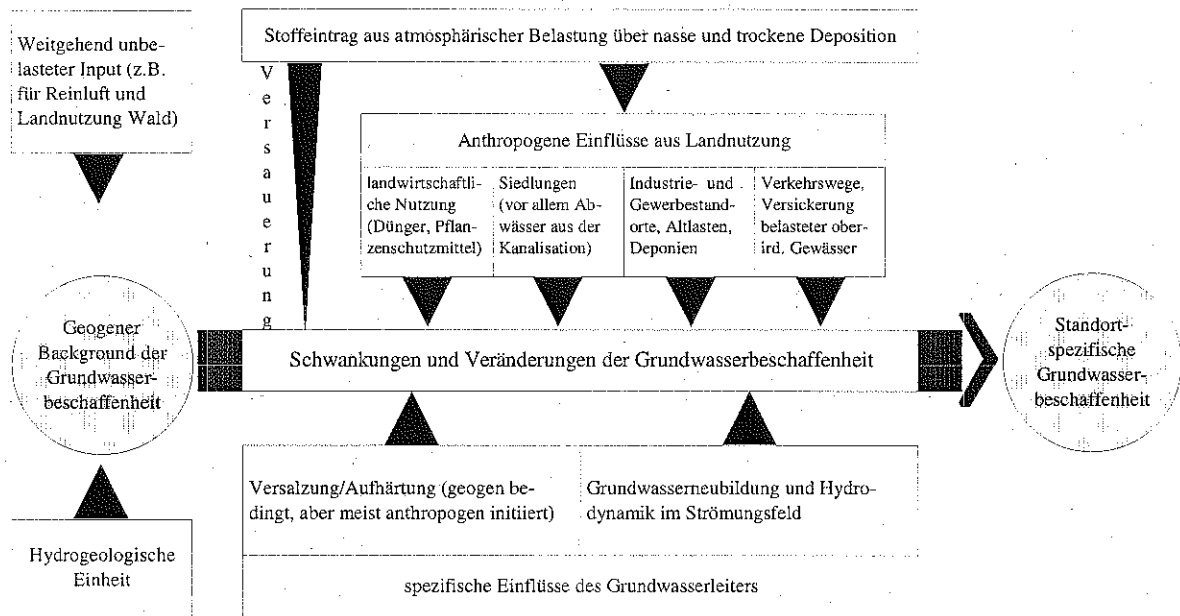


Abb. 4-1: Geogene und anthropogene Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit.

Im Hinblick auf eine anthropogene Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit muß das staatliche Meßnetz weiter differenziert werden. Dieser Notwendigkeit trägt vor allem das Trendmeßnetz Rechnung.

Keine oder nur eine geringe anthropogene Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit geht von den Nutzungsarten Wald, Grünland und Brachland aus, diese Standorte sollten daher für das Grundmeßnetz bevorzugt werden. Das gilt vor allem für den Wald, dessen Flächenanteil nach der ackerbaulichen Nutzung an zweiter Stelle steht.

### 4.3. Meßstellenarten

Ein wesentliches Kriterium für die Konfiguration des staatlichen Meßnetzes zur landesweiten Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit stellt die Meßstellenart dar. In der Praxis spielen vor allem Beobachtungsrohre (Meßstelle im engeren Sinn), frei auslaufende oder insbesondere gefaßte und i.allg. auch genutzte Quellen sowie ehemalige Brunnen eine Rolle. Wenn nichts anderes vermerkt, werden unter dem Begriff „Meßstelle“ alle Grundwasseraufschlüsse verstanden.

Zwischen einer Quelle und einem Grundwasserbeobachtungsrohr bestehen aus hydrogeologischer und hydraulischer Sicht prinzipielle Unterschiede. Quellen, in denen Grundwasser ohne einen technischen Eingriff frei austritt, entwässern ein mehr oder weniger großes Einzugsgebiet, die resultierenden Meßwerte sind durch die Probennahme kaum beeinflusst und haben einen Flächenbezug. Dagegen liefern im Falle eines Beobachtungsrohres die Daten lediglich auf einen schmalen Stromstreifen bezogene Informationen. Außerdem ist zu beachten, daß im Zusammenhang mit der Probennahme merkliche physikalische und chemische Veränderungen des Grundwassers (z. B. durch Druckentlastung oder Sauerstoffzutritt) verursacht werden können, die eine Verfälschung der Meßwerte zur Folge haben. Ehemals als Brunnen genutzte Meßstellen sind noch problematischer, da sie in der Regel einen größer dimensionierten Durchmesser (insbesondere Schachtbrunnen) besitzen und daher bei der Probennahme noch stärkere unerwünschte Einflüsse entstehen können. Hinzu kommt noch, daß die Brunnen häufig in mehreren Grundwasserleitern oder Grundwasserstockwerken verfiltert sind bzw. ihr Ringraum durchgehend mit Kies verfüllt ist, so daß bei der Probennahme Mischwasser gewonnen wird.

Meßnetze und Kriterien			
Meßnetz	Zuordnung	Meßziel	Meßstellenstandorte
1	2	3	4
Grundmeßnetz	Basismeßstelle	Erfassung der natürlichen, anthropogen weitgehend unbelasteten geogenen GwBeschaffenheit	Geringe anthropogene Beeinflussung; bevorzugt Waldstandorte mit tiefem Grundwasser oder ungedüngte Wiesen
	Trendmeßstelle	Beobachtung anthropogen bedingter Veränderungen der Gw-Inhaltsstoffe infolge diffuser Belastungen	Vorwiegend Neubildungsgebiete mit verschiedener Landnutzung (vgl. Abb. 4-1)
Rohwasser	Rohwassermeßstelle	Überwachung der Rohwasserbeschaffenheit für die öffentliche Trinkwasserversorgung und z.T. auch private Wasserförderung in Ergänzung der staatlichen GwÜberwachung	Quellen, Brunnen, Stollen, Sickerwasserfassungen als Wassergewinnungsanlagen in nicht oder gering anthropogen beeinflussten Einzugsgebieten
Sondermeßnetze	Vorfeldmeßstelle	Erfassung der GwBeschaffenheit im Zuflußbereich von Gw-Entnahmen zum Zweck der Vorwarnung in Ergänzung der staatlichen GwÜberwachung	Bereiche potentieller Immissionsgefährdung mit ausreichendem Abstand zur Wasserfassung, um mit Aussicht auf Erfolg reagieren zu können; Meßstellenprofile senkrecht zum Anstrom zu Brunnen/Quellen
	Emittentenmeßstelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luftbelastung (mit den Folgen der GwVersauerung oder des Stickstoffeintrages in den Untergrund); Erfassung der Auswirkungen flächenhafter Immissionen</li> <li>- landwirtschaftliche Nutzung</li> <li>- Industrie</li> <li>- Siedlung</li> <li>- Verkehrswege, belastete oberirdische Gewässer</li> <li>- Erfassung der Auswirkungen punktueller Emissionen:</li> </ul>	In Hauptwindrichtung relevanter Emittenten; bevorzugt Wiesen- und Waldstandorte; im Sicker- bzw. oberflächennahen GwRaum basenarmer Gesteine (Sande, Tonsteine, Quarzite, Sandsteine, Gneise, Granite) und ihrer Verwitterungsböden
			Bevorzugt oberflächennah in gut bis sehr gut durchlässigen GwLeitern; nach der Tiefe gestaffelte Meßstellen und in Bereichen unterschiedlicher Kulturen (Mais, Hackfrüchte, Wein, Obst)
			Im GwAbstrom und auch in Hauptwindrichtung (Staubbelastung), Meßstellen oberflächennah, bei Dichteströmungen auch tiefer verfilterte Meßstellen
			Im Siedlungsgebiet selbst und in dessen Abstrombereich; Meßstellen oberflächennah
			Im unmittelbaren Infiltrationsbereich und im Abstrombereich; Meßstellen oberflächennah
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deponien, Altablagerungen</li> <li>- Altstandorte</li> <li>- Halden</li> <li>- Großtanklager</li> </ul> flach- und tiefverfilterte Meßstellen in Längs- und Querprofilen unterstromig
	Schadensfallmeßstelle	Erfassung der Schadstoffahne und des Zentrums einer aktuellen GwKontamination (z. B. bei Havarie)	GwAbstrombereich; meistens tiefendifferenzierte Verfilterung
Sondermeßstelle	Erfassung der weitgehend geogen bedingten, aber oft nutzungsbedingt initiierten Belastung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Küstenbereich (Erfassung der Küstenversalzung)</li> <li>- prädestinierte stratigraphische Einheiten (z. B. Zechstein oder Mittlerer Muschelkalk) zum Nachweis hochmineralisierter Wässer</li> </ul>	

Tab. 4-1: Übersicht zu Meßnetzen, Zuordnung, Meßzielen und Meßstellenstandorten (Gw = Grundwasser).

Da Quellen im Sinne des Grundmeßnetzes (s. Abschn. 3.1.1) als Beschaffenheitsmeßstellen besonders gut geeignet sind (LAWA 1995), sollten sie vor allem in Bundesländern mit einem hohen Anteil an Kluftgrundwasserleitern einen wesentlichen Teil des Meßnetzes darstellen.

### 4.4. Kriterien für den Meßstellenstandort

Die Kriterien zur Standortwahl von Meßstellen bilden das Kernstück einer sinnvollen Meßnetzkonfiguration (Tab. 4-1). Sie werden, wie in Kap. 3 beschrieben, maßgeblich durch die Zuordnung jeder einzelnen Meßstelle zu einem speziellen Untersuchungsprogramm bestimmt. Dieses kann die Erfassung geogener und/oder anthropogener Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit beinhalten.

Für die Standortwahl gelten einerseits allgemeine Grundsätze, die vorrangig technischer Art sind und auch auf die Weiterführung bestehender Meßreihen ausgerichtet sind, und andererseits Kriterien, die vor allem geohydraulischer Natur sind und die an die jeweilige Aufgabenstellung angepaßte Platzierung einer Meßstelle im Grundwasserströmungsfeld zum Gegenstand haben. Für die Zielsetzung dieser Empfehlungen sind die zuletzt genannten Gesichtspunkte die bei weitem wichtigsten, bezüglich der anderen Aspekte wird auf die Grundwasserrichtlinien Teil 1 und 3 (LAWA 1984, 1993) verwiesen.

#### 4.4.1. Allgemeine Auswahlkriterien

Bei der Auswahl bestehender Grundwasseraufschlüsse oder bei der Neueinrichtung von Meßstellen sind pragmatische Kriterien zu beachten wie u.a.

- Baustelleneinrichtung und Betrieb einer Meßstelle,
- Zugänglichkeit, Schutz und Sicherung der Meßstelle,
- langfristige Verfügbarkeit der Liegenschaft,
- Vorhandensein von fachkundigem Betreuungspersonal bzw. Einsatzmöglichkeit automatischer Meßtechnik für die Dokumentation des Grundwasserstandes.

Ganz wesentlich ist, daß die Standortwahl für die Meßstellen des geplanten Meßnetzes auch

die Fortführung langer Meßreihen zum Ziel haben muß, um im Laufe der Zeit eingetretene Veränderungen der Beschaffenheit des Grundwassers besser erkennen und deuten zu können. Vor allem im Hinblick auf langfristige Klimaänderungen und ihren quantitativen und qualitativen Einfluß auf das Grundwasser kommt diesem Gesichtspunkt Bedeutung zu.

Das unterirdische Wasser ist nicht nur Lösemittel, sondern auch Transportmittel für seine Inhaltsstoffe. Daher muß schließlich auch beachtet werden, daß an Meßstellen, die die Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit zum Ziel haben, gleichzeitig auch quantitative Daten (Grundwasserstand bzw. Quellschüttung) erfaßt werden.

#### 4.4.2. Hydrodynamik des Strömungsfeldes

Da eine flächendeckende Erfassung der wesentlichen Grundwasserparameter nicht möglich und auch nicht notwendig ist, sollten die für die Grundwasserbeschaffenheit relevanten Verhältnisse im näheren Umfeld eines bestimmten Meßstellenstandortes zumindest charakteristisch für die jeweils zu beschreibende hydrogeologische Einheit sein. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der hydrogeologischen Gegebenheiten im Bereich eines Meßstellenstandortes und der dafür maßgebenden geohydraulischen Kennwerte, da der Chemismus der Grundwässer in hohem Maße auch durch die Lage eines Gebietes in bezug auf das unterirdische Strömungsfeld bestimmt wird.

Das Strömungsfeld nimmt seinen Anfang mit der Infiltration des Sickerwassers in Grundwasserneubildungsgebieten und endet mit dem Austritt des Grundwassers in Grundwasserentlastungsgebieten, dazwischen liegen die Durchflußgebiete (Abb. 4-2). Entlastungsgebiete können oberirdische Gewässer und Quellen sein, aber auch Förderbrunnen. Grundwasserneubildungs-, -durchfluß- und -entlastungsgebiete sind somit die regionalen Bezugseinheiten, die die hydrodynamischen Randbedingungen der Grundwassersysteme charakterisieren. Daneben existieren Gebiete, die zwar den Charakter eines Grundwasserneubildungsgebietes besitzen, innerhalb derer der direkte Transfer des Sickerwassers zum Grundwasser jedoch durch eine ausgeprägte Lateralkomponente, z. B. infolge einer starken Heterogenität des Grundwasserleiters (u.a. Einlagerung von Tonlagen in einem ansonsten sandigen Schichtprofil,

oberflächennahe Verwitterungszone in einem Festgesteinsareal, gestörte Lagerungsverhältnisse der Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer), unterbunden ist.

In einem reliefierten Gebiet entspricht in der Regel eine Höhenlage einem Grundwasserneubildungsgebiet mit abwärts gerichteten Fließgradienten und eine Muldenlage mit einem oberirdischen Gewässer einem Grundwasserentlastungsgebiet mit aufwärts gerichteter Strömung. Im Bereich dazwischen, dem Grundwasserdurchflußgebiet, in dem ebenfalls Grundwasserneubildung stattfinden kann, herrschen mehr oder weniger horizontale Strömungsgradienten vor.

Die Hydrodynamik wird maßgeblich durch die Lithologie des Grundwasserleiters (Poren-, Kluft- oder Karstgrundwasserleiter), die Gebietsmorphologie und die tektonischen Gegebenheiten bestimmt. Vorrangig in porösen Kluftgrundwasserleitern ist im Hinblick auf die Grundwasserfließbewegung eine Differenzierung nach Abflußanteilen der schnellen und langsamen Komponenten erforderlich, woraus je nach Kontaktzeit der wässrigen Phase mit der Feststoffmatrix eine unterschiedliche Konzentration der Grundwasserinhaltsstoffe resultiert.

Den hydrodynamischen Verhältnissen ist durch die Wahl der Meßstellenart (Quelle, Grundwasserbeobachtungsrohr, ehemaliger Brunnen), der Meßstellentiefe, der Filterposition sowie der Lage der Grundwasseraufschlüsse im Strömungsfeld des Grundwasserleiters unbedingt Rechnung zu tragen, damit die hydrochemischen Meßwerte sinnvoll interpretiert werden können. Das gilt sowohl für das Grundmeßnetz, das der flächenhaften Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit dient, als auch für die Sondermeßnetze (s. Abschn. 4.4.3)

Die saisonale Differenzierung der Grundwasserbeschaffenheit ist mit zunehmender Tiefe immer weniger ausgeprägt. Die Tiefenposition des Filters einer Meßstelle kann als Anhalt dienen, um in erster Näherung die Verweildauer des Grundwassers im Untergrund grob abschätzen zu können. Generell gilt: je größer die Mächtigkeit des zu erkundenden Grundwasserleiters und je geringer dessen Durchlässigkeit sind, um so länger sind die Verweilzeiten.

#### 4.4.3. Ausbautechnische Varianten der Meßstellen in Abhängigkeit von Meßnetztyp und Strömungsfeld

Wenn Wert darauf gelegt wird, den flächenhaften Schadstoffeintrag in einen Grundwasserleiter zu erfassen, sollten flache Trendmeßstellen in Bereichen mit ausgeprägter Grundwasserneubildung eingerichtet werden (Meßstelle A in Abb. 4-2). Der bevorzugte Standort für ebenfalls flache Basismeßstellen ist an Stellen, an denen das am mittel- oder längerfristigen Kreislauf teilnehmende Grundwasser in Muldenlage in oberirdische Gewässer übertritt; dabei kann - sofern eine Vertikalströmung unterbunden wird - eine durchgehende Verfiltration als Voraussetzung für die Gewinnung einer tiefenintegrierten Grundwasserprobe oder ein kurzes Filterstück (Meßstelle E in Abb. 4-2), das eine horizontbezogene Grundwasserbeobachtung ermöglicht (s. Kap. 6), sinnvoll sein. Im Durchflußgebiet können zwar auch Basismeßstellen gebaut werden, doch ist wegen einer tieferen Filterposition der finanzielle Aufwand höher.

Förderbrunnen kommt hydraulisch gesehen die Funktion einer künstlichen Vorflut zu. Häufig fassen sie das Grundwasser nicht nur eines Leiters, sondern mehrerer Leiter. Auch in diesem Falle wird empfohlen, daß die Vorfeldmeßstellen jeden Grundwasserleiter getrennt erfassen, da im Nahbereich von Förderbrunnen hydraulische Kurzschlüsse unbedingt zu vermeiden sind.

Im Hinblick auf den Standort von Emittentenneßstellen ist zu differenzieren zwischen flächenhaften oder linienförmigen Schadstoffeinträgen in das Grundwasser einerseits und der Überwachung von punktförmigen Kontaminationsherden (Altablagerungen, Altstandorte, Deponien, Halden, Versenkung von Abwässern oder flüssigen Abfällen u.a.) andererseits. Im ersten Fall empfiehlt sich die Einrichtung von eher flachen Meßstellen, die möglichst in Grundwasserneubildungsgebieten positioniert sein sollten. Da im zweiten Fall Dichteströmungen nicht ausgeschlossen werden können, sollten im näheren Grundwasserabstrom Meßstellen mit tiefendifferenziertem Filterausbau installiert werden (u.a. DÖRHÖFER 1995/96). Diese Empfehlung gilt auch für im Oberstrom einzurichtende Meßstellen, damit die Ergebnisse besser zu vergleichen sind. Bei Schadens-

fallmeßstellen ist zweckmäßigerweise ähnlich zu verfahren.

### 4.5. Meßnetzdicthe

Im Hinblick auf die erforderliche Dichte eines Meßnetzes kann kein Schema vorgegeben werden. Der Rahmen für die Dichte des staatlichen Grundmeßnetzes wird in erster Linie durch die hydrogeologischen Verhältnisse eines Landes bestimmt, die in Abhängigkeit von Gestein, Tektonik, Morphologie, Gewässernetz, Klima und nicht zuletzt menschlichen Eingriffen in die jeweiligen Grundwasserleiter auch kleinräumig stark variieren können. Eine

Orientierung der erforderlichen Meßnetzdicthe an Flächengrößen ist hier fehl am Platz (siehe auch LAWA 2000). Erfahrungsgemäß werden Länder mit sehr differenzierten hydrogeologischen Verhältnissen zur landesweiten Beschreibung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit eine größere Meßstellenzahl benötigen als Länder mit relativ einheitlichen hydrogeologischen Verhältnissen.

Für Sondermeßnetze, die nicht Gegenstand dieser Empfehlungen sind, gelten andere Kriterien, da z. B. die genaue Konfiguration einer Schadstofffahne oder andere Gesichtspunkte, beispielsweise die Zuordnung von Meßstellen zu potentiellen oder tatsächlichen Emissionsquellen, ausschlaggebend sind.

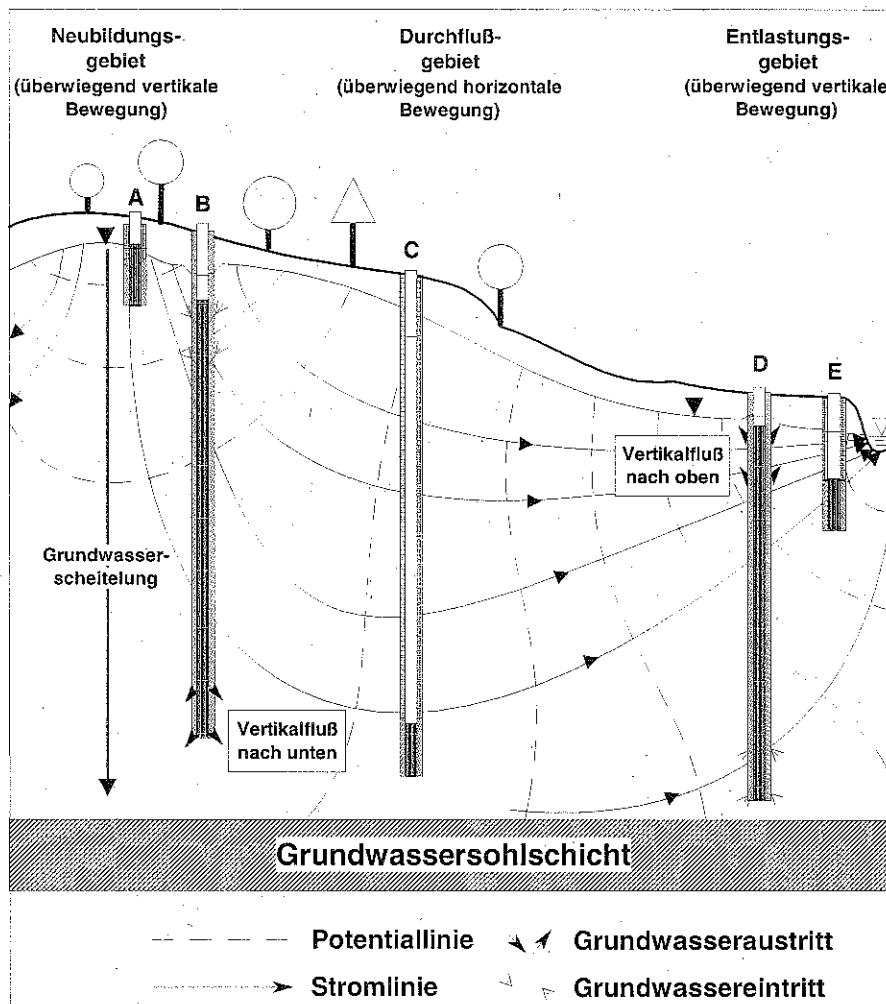


Abb. 4-2: Schematische Darstellung (überhöht) eines Grundwasserströmungsfeldes mit vertikalen hydraulischen Gradienten (in Anlehnung an HANNAPPEL & VOIGT 1997); die Meßrohre A, C und E mit kurzen Filterstücken am unteren Ende werden diesen hydrodynamischen Verhältnissen gerecht, nicht jedoch die durchgehend verfilterten Meßrohre B und D.

## 5. Bestandsaufnahme und Funktionsüberprüfung

In allen Bundesländern existieren seit langem Meßnetze für die Gewinnung und Bewertung quantitativer Grundwasserdaten als Grundlage für die späteren staatlichen Meßnetze zur Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit. Das bedeutete, daß in der Anfangsphase z.T. auf diese Meßstellen zurückgegriffen werden mußte, obwohl sie viele Funktionsmängel aufwiesen, die vielfach erst heute erkannt werden (Ing.-Büro Ashauer und Partner 1994; TOUS-

SAINT 1989). Ebenso hat die technische Entwicklung in den letzten Jahren es mit sich gebracht, daß die Anforderungen an Meßstellen, die der Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit dienen, wesentlich höher sind als an Meßstellen, an denen lediglich der Grundwasserstand gemessen wird (LAWA 1993). Aus den genannten Gründen müssen daher Meßnetzkonfiguration und Ausbau von Grundwasserbeobachtungsrohren generell überdacht werden, auch wenn die Aufbauphase der Beschaffenheitsmeßnetze in den meisten Bundesländern im wesentlichen als abgeschlossen zu betrachten ist.

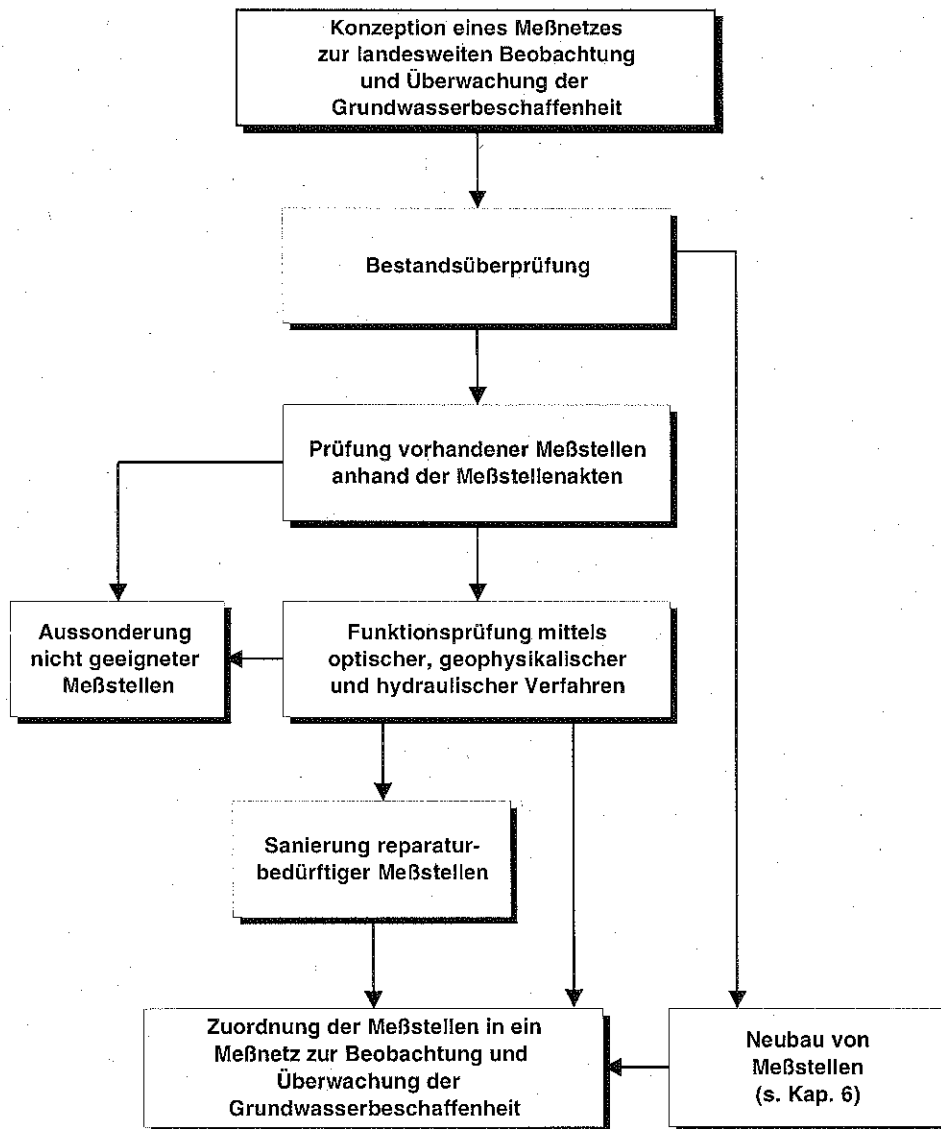


Abb. 5-1: Vorgehensweise bei der Einrichtung eines Meßnetzes zur Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit.



Der Einrichtung eines Meßnetzes mit der vorrangigen Zielsetzung der Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit muß daher ein mehrstufiges Konzept zugrunde liegen (Abb. 5-1), das davon ausgeht, daß in der Regel auf bereits vorhandene Meßstellen zurückgegriffen werden kann. Man muß sich jedoch Gewißheit verschaffen, daß ihr bautechnischer Zustand die Gewinnung aussagekräftiger Grundwasserproben gewährleistet (BARCZEWSKI et al. 1992, 1993; DVWK 1997; Niedersächs. Landesamt für Wasser und Abfall 1990). Erst wenn sich erweisen sollte, daß für auszusondernde Meßstellen teilweise Ersatz durch neue geschaffen werden muß, oder in die Überlegungen Gebiete einbezogen werden, in denen bislang keine oder keine geeigneten Meßstellen existieren, ist in einem nachfolgenden Schritt ein Neubauprogramm erforderlich.

### 5.1. Bewertung anhand vorhandener Unterlagen

In einem ersten Arbeitsschritt werden die Meßstellen, die den Kriterien der Meßnetzkonfiguration genügen, anhand der vorhandenen Unterlagen bewertet (s. Kap. 3 und 4). Dabei werden gute Detailkenntnisse vorausgesetzt.

Für die Bewertung der Meßstellen müssen in jedem Falle folgende Unterlagen vorliegen oder beschafft werden können (ggf. im Rahmen einer Funktionsprüfung, s. Abschn. 5.2):

- geologisches Schichtenverzeichnis,
- Ausbaudokumentation,
- Art des Ausbaumaterials,
- Ganglinie des Grundwasserstandes bzw. der Quellschüttung,
- Nutzungsverhältnisse im Einzugsgebiet,
- Standort- und Eigentumsverhältnisse.

Auch Tiefenlotungen und einfach durchzuführende Auffüll- oder Abpumptests (LAWA 1984) können Hinweise auf den bautechnischen Zustand einer Meßstelle geben (z. B. Verschlammlung des Filters).

Als Ausschlußkriterien für die Einbeziehung vorhandener Meßstellen in die flächenhafte Grundwasserbeobachtung gelten:

- fehlende und unvollständige Unterlagen,
- fehlerhafter Ausbau der Meßstelle,
- Verwendung ungeeigneter Ausbaumaterialien,
- mangelnde Anbindung an das hydraulische System,
- Fremdwasserzulauf,
- Trockenfallen der Meßstelle,
- eingeschränkte Erreichbarkeit,
- ungeklärte Nutzung des Flurstückes.

### 5.2. Funktionsprüfung

Die als vorläufig geeignet eingestuften Meßstellen sollten in einem zweiten Schritt einer technischen Funktionsprüfung unterzogen werden. Dies scheint aufgrund der bisherigen Erfahrungen insbesondere bei älteren Meßstellen erforderlich zu sein, deren uneingeschränkte Funktionstüchtigkeit in der Regel zu bezweifeln ist.

Zur Prüfung von Grundwassermeßstellen haben sich in der Praxis folgende Untersuchungsverfahren bewährt, die für sich allein oder am besten kombiniert eingesetzt werden können:

- hydraulische Tests,
- geophysikalische Bohrlochmessungen,
- fernsehoptische Untersuchungen.

Welches Verfahren im Rahmen des Untersuchungsprogramms zum Einsatz kommt, ist von Alter und Art der Meßstelle, vom Ausbaumaterial, vom finanziellen Aufwand und der Zielstellung der Untersuchung abhängig.

Zur Funktionsüberprüfung bereits vorhandener Meßstellen eignen sich insbesondere die nachfolgend genannten geophysikalischen Bohrlochverfahren, die möglichst miteinander kombiniert werden sollten (BARCZEWSKI et al. 1993; DVGW 1990; EXLER 1981; LAWA 1993; ULLRICH 1986):

- Salinitätsmessung,
- Temperaturmessung,
- Messung der natürlichen Gammastrahlung,
- Fokussierte Messung des elektrischen Widerstandes,

- Dichtemessung,
- Kalibermessung.

Ergeben sich Hinweise auf Beschädigungen der Rohrtour und/oder Undichtigkeiten im Bereich der vollwandigen Aufsatzrohre, ist das Untersuchungsprogramm durch eine Kamerabefahrung und eine hydraulische Dichtigkeitsprüfung (z. B. Packertests) zu ergänzen.

Eine Meßstelle muß in ihrer Funktion als eingeschränkt oder als nicht funktionstüchtig angesehen werden, wenn eine oder mehrere Situationen zutreffen wie beispielsweise:

- Korrosion der Rohrtour, insbesondere der Vollwandrohre oberhalb von Ringraumabdichtungen,
- Deformation der Rohrtour in einem erheblichen Ausmaß,
- Inhomogenitäten oder sogar Hohlräume im Ringraum,
- Fehlen von geohydraulisch wirksamen Abdichtungen im Ringraum,
- Zufüsse im Vollrohrbereich,
- Meßstellenausbau nicht in Übereinstimmung mit den hydrogeologischen Verhältnissen,

- Fehlen eines von Geologen erstellten Bohrprofils,
- Verschlammung des Filters.

### 5.3. Folgerungen aus der Meßstellenüberprüfung

Die Überprüfung kann als Ergebnis haben, daß Meßstellen alle Kriterien erfüllen und somit ohne Einschränkung bei der Meßnetzkonfiguration berücksichtigt werden können.

Ein Ergebnis kann aber auch sein, daß Meßstellen defekt und in ihrer Funktion eingeschränkt sind. Ein Teil dieser Meßstellen läßt sich jedoch vielfach wieder reparieren bzw. sanieren (DVGW 1998; LAWA 1984; VON PAPE 1990, 1991) und steht somit ebenso wie die positiv selektierten zur Übernahme in das Meßnetz zur Verfügung.

Stellen sich Meßstellen als völlig funktionsunfähig heraus und müssen sie außerdem als Gefahr für das Grundwasser angesehen werden, da sie möglicherweise Schadstoffen als Transportweg dienen, müssen sie fachgerecht rückgebaut werden (DVGW 1998; ROGGE 1996).

## 6. Neubau von Grundwassermeßstellen

Kriterien für den Neubau von Meßstellen sind in Grundwasserrichtlinien, in Merkblättern oder in der Fachliteratur genannt (siehe Literaturverzeichnis). Daher werden in diesen Empfehlungen vornehmlich Sachverhalte dokumentiert, die auf neuen Erkenntnissen und Erfahrungen beruhen. Die mit dem Bau einer Grundwassermeßstelle verbundenen wasserrechtlichen Fragen werden hier nicht behandelt.

Eine intensive und kompetente Bauaufsicht ist erforderlich, wenn später zu Tage tretende Mängel, die meistens nur mit großem technischen Aufwand und hohen Kosten zu beheben sind, vermieden werden sollen.

### 6.1. Orientierende Vorarbeiten

Bei der Detailplanung ist jeder für einen Meßstellenneubau vorgesehene Standort hinsichtlich folgender Punkte zu überprüfen:

- hydrogeologische Verhältnisse,
- Eigentumsverhältnisse,
- bestehende Nutzung und ggf. geplante Nutzungsänderungen im Umfeld,
- Zugänglichkeit für das Bohrgerät und ausreichende Arbeitsfläche,
- Zugänglichkeit beim Meßstellenbetrieb.

Nach erfolgter Vorauswahl der Standorte müssen mit den Eigentümern bzw. Nutzungsberechtigten der Grundstücke vor Beginn irgendwelcher Baumaßnahmen Nutzungs- und/oder Gestattungsverträge abgeschlossen werden, um einen störungsfreien Bauablauf und den dauerhaften Bestand der Meßstelle zu sichern.

Beabsichtigte Nutzungsänderungen im Nahbereich der geplanten Grundwassermeßstelle oder in deren hydrologischem Einzugsgebiet können die Eignung des Standorts für den vorgesehenen Zweck in Frage stellen (z. B. Aufschüttung des Geländes, Grünlandumbruch, voranschreitender Kiesabbau, kontaminierte Standorte).

Für den Meßstellenbau muß der Standort mit eventuell schwerem Bohrgerät erreichbar sein, Gewichtsbeschränkungen auf Straßen und

Brücken sind zu berücksichtigen. Eine ausreichend große Arbeitsfläche muß vorhanden sein. Die Meßstellen müssen für Beprobungen, Pflege und eventuelle Sanierungsarbeiten unter normalen Witterungsbedingungen mit Meßfahrzeugen erreichbar sein.

### 6.2. Aufschlußbohrung

Ist der geologische Aufbau des zu erfassenden Grundwasserleiters und der ggf. darüberliegenden Deckschichten am vorgesehenen Standort nicht hinreichend genau bekannt oder sind die geologischen Verhältnisse kompliziert, wird zweckmäßigerweise vor dem Meßstellenbau eine Aufschlußbohrung niedergebracht, von der nach DIN 4022-1, DIN 4022-3 und DIN 4023 (DIN 1982, 1984, 1987) ein Profil aufgenommen und die außerdem geophysikalisch vermessen wird.

Als geophysikalische Meßverfahren kommen vor allem Gamma-Log (GR), Widerstands-Log (ES), Fokussierter Elektrik-Log (FEL) und Salinitäts-Log (SAL) in Betracht (DVGW 1990). Mit deren Durchführung und Auswertung sollte zur Vermeidung von Interessenkollisionen nicht das die Bohrarbeiten ausführende Unternehmen beauftragt werden, sondern ein Dritter.

Sind aus bohrtechnischen Gründen Spülmittelzusätze notwendig, dürfen nur solche verwendet werden, bei denen kein bleibender Einfluß auf die Grundwasserbeschaffenheit zu besorgen ist oder geophysikalische Meßverfahren nicht gestört werden. Anorganische (minerale) Spülmittelzusätze, wie z. B. Bentonit oder Tixoton, entsprechen dieser Forderung eher als organische Zusätze auf Zellulosebasis (DVGW 1997; LAWA 1993).

Die Baukosten können wesentlich verringert werden, wenn die Meßstellenbohrung unmittelbar nach der Aufschlußbohrung ausgeführt wird. Dazu ist auf eine geeignete technische Ausstattung des Bohrgerätes und eine rasche Festlegung des Ausbauplans zu achten.

In der Regel wird die Aufschlußbohrung mit einem größeren Durchmesser überbohrt und zur Meßstelle ausgebaut. Andernfalls muß sie verfüllt werden. Dabei ist die Wirkung durchteuffer Grundwasserhemmschichten durch Einbau von Tonsperren oder Ringraumverpressung wieder herzustellen.

### 6.3. Meßstellenbohrung

Bei bekannten hydrogeologischen Gegebenheiten kann sofort die Meßstellenbohrung niedergebracht werden. Die oben vorgebrachten Vorbehalte gegen Spülungszusätze gelten für die Meßstellenbohrung in noch stärkerem Ausmaß. Die Zusätze müssen nach Fertigstellung der Meßstelle umgehend durch Ab- und Klarpumpen wieder entfernt werden. Anderenfalls besteht die Gefahr einer langfristigen, u.U. mehrjährigen Verfälschung der Untersuchungsergebnisse. Wenn der Ausbau zu einer Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle vorgesehen ist, sollten daher Trockenbohrverfahren bevorzugt werden.

Wenn keine Aufschlußbohrung vorausgegangen oder diese mehr als 10 m vom Standort der Meßstellenbohrung entfernt ist, sollte auch bei letzterer die Schichtenfolge durch Entnahme von Bohrgutproben und geophysikalische Bohrlochvermessung erfaßt und dokumentiert werden. Der Ausbauplan ist ggf. von dem die Bohrarbeiten betreuenden Geologen den Ergebnissen anzupassen.

### 6.4. Ausbau zur Meßstelle

Der Ausbau richtet sich nach den hydrogeologischen Gegebenheiten und der Fragestellung. Neben dem Einbringen von hydraulisch wirksamen Abdichtungen im Ringraum und der Dichtigkeit der Muffenverbindungen der Vollrohre ist die Länge und Position der Filterstrecke(n) zu beachten.

Ein hydraulischer Kurzschluß mehrerer Grundwasserleiter oder -stockwerke muß durch das Verpressen des Ringraums mit Ton-Zement-Suspension oder den Einbau von mindestens 5 m mächtigen Tonsperren ausgeschlossen werden.

Bei der Planung des Ausbaus ist zu berücksichtigen, ob das Erkundungsziel die Gewinnung einer über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters gemittelten Mischwasserprobe ist oder die Gewinnung horizontbezogener Einzelproben. Eine nachträgliche Änderung der Konzeption der Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit läßt sich nur mit sehr großem technischen Aufwand oder überhaupt nicht realisieren.

Wird eine mehr oder weniger gleichmäßige Verteilung der Grundwasserinhaltsstoffe im Vertikalprofil eines Grundwasserleiters vermutet, die in der Natur allerdings nicht die Regel sein dürfte; oder bestehen über deren tiefenabhängige Verteilung keine gesicherten Vorstellungen, ist eine vollkommene Verfilterung zur Gewinnung von tiefenintegrierten Mischwasserproben vorzusehen. Wird von einer eher unregelmäßigen Verteilung der Grundwasserinhaltsstoffe ausgegangen, die vor allem bei heterogenem Aufbau eines Grundwasserleiters gegeben sein dürfte, muß die Meßstelle für die Entnahme tiefenorientierter Einzelproben ausgebaut werden (Abb. 6-1).

Die Technik stellt verschiedene Varianten des Meßstellenausbaus zur Verfügung (Abb. 6-2). Da diese neben Vorteilen immer auch technische oder finanzielle Nachteile haben, muß die Aufgabenstellung klar definiert sein, um das Optimum zu erreichen.

Werden Meßstellen durchgehend verfiltert und im Ringraum verkiest, ist zu beachten, daß auch bei isotroper/homogener Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Grundwasserleiter die Potentiallinien wegen der meist nicht völlig horizontal verlaufenden Stromlinien geneigt sind und es daher zu Ausgleichsströmungen in der Meßstelle kommt (BARCZEWSKI & MARSCHALL 1980; BARCZEWSKI et al. 1992, 1993). Insbesondere im Bereich starker Vertikalgradienten der Grundwasserströmung (z. B. Wasserscheiden, Absenktrichter, Vorfluternähe) wirkt sich der hydraulische Kurzschluß aus, wobei sowohl das oberflächennahe als auch das tiefere Grundwasser im Bereich der Meßstelle überrepräsentiert sein kann (s. Abb. 4-2 Meßstellen B und D). Insofern sollte der Bau dieses Meßstellentyps - obwohl häufig praktiziert - auch wegen der möglichen Gefahr einer Fehlinterpretation der Meßwerte unterbleiben.

Die Vertikalströmung vollkommen verfilterter bzw. im Ringraum durchgehend verkiester Meßstellen läßt sich auch mit Packern nicht unterbinden. Die Gewinnung horizontbezogener Wasserproben ist hier nur noch mit hohem technischen Aufwand möglich (Vierfachpacker-System und Schutzbeprobung, das heißt gleichzeitiges Abpumpen von Grundwasser ober- und unterhalb der Packerkammer).

Eine tiefenintegrierte Grundwassermischprobe kann auch gewonnen werden, wenn bei durch-

## 20 Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

gehender Verkiesung des Ringraums aus Kostengründen nur die Horizonte mit höheren  $k_f$ -Werten verfiltert werden, da hier das meiste Grundwasser strömt und die Inhaltsstoffe am schnellsten transportiert werden.

In Verbindung mit dem Einsatz von Packern, die permanent in einer Meßstelle verbleiben können, kann diese Ausbautechnik der alternierenden Verfilterung auch im Hinblick auf die nachträgliche Option einer Gewinnung von horizontbezogenen Einzelproben durchaus sinn-

voll sein, setzt allerdings im Ringraum Tonabdichtungen in den hydrogeologisch relevanten Abschnitten voraus. Da die dauerhafte Funktionstüchtigkeit des Packers jedoch nicht garantiert werden kann und der Aufwand für ihren Einbau relativ hoch ist, sollte dieser Meßstellentyp in Meßnetzen zur Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit nicht mehr gebaut oder betrieben werden (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württ. 1992). Für Sonderaufgaben können sie jedoch durchaus Verwendung finden.

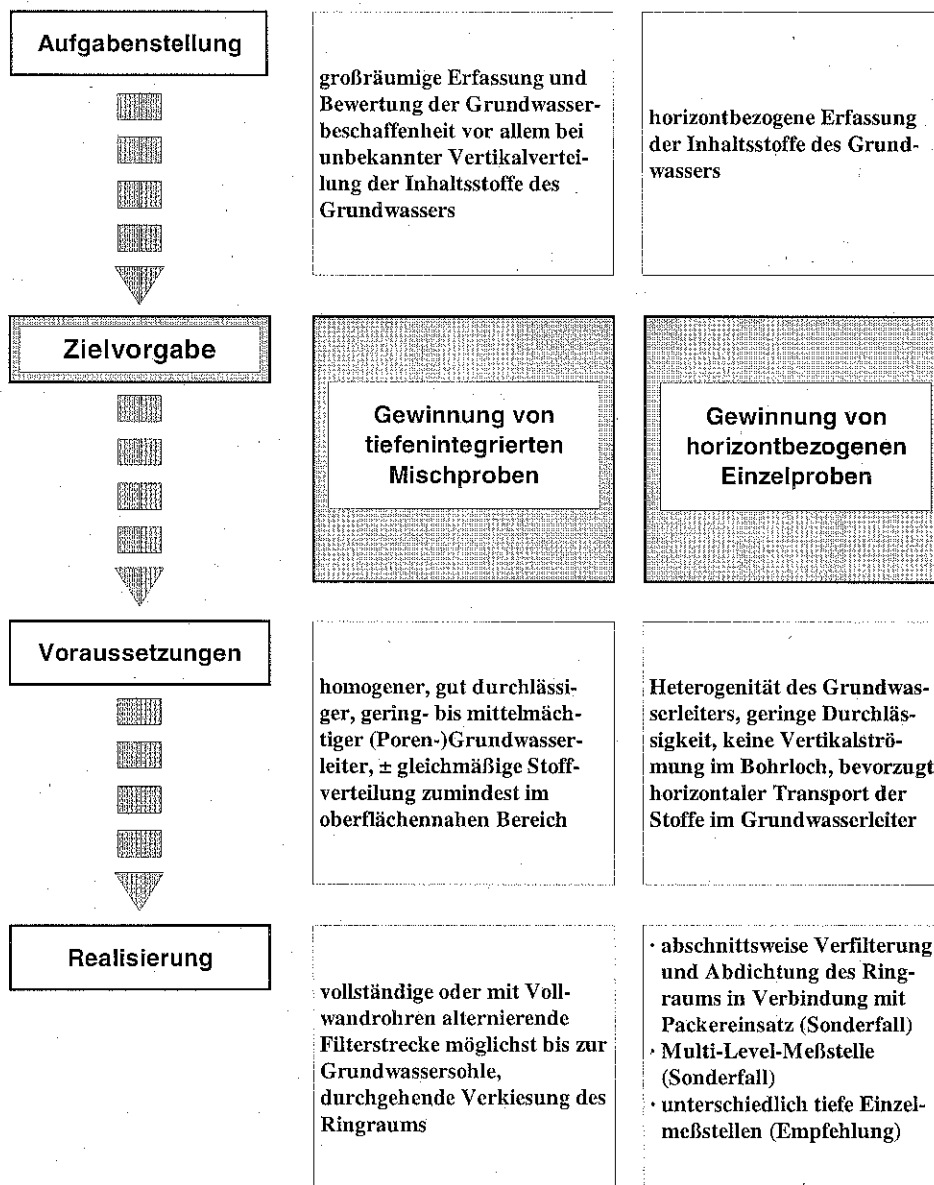


Abb. 6-1: Prinzipien der Gewinnung einer tiefenintegrierten Grundwassermischprobe oder einer horizontbezogenen Einzelprobe in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Verhältnissen.

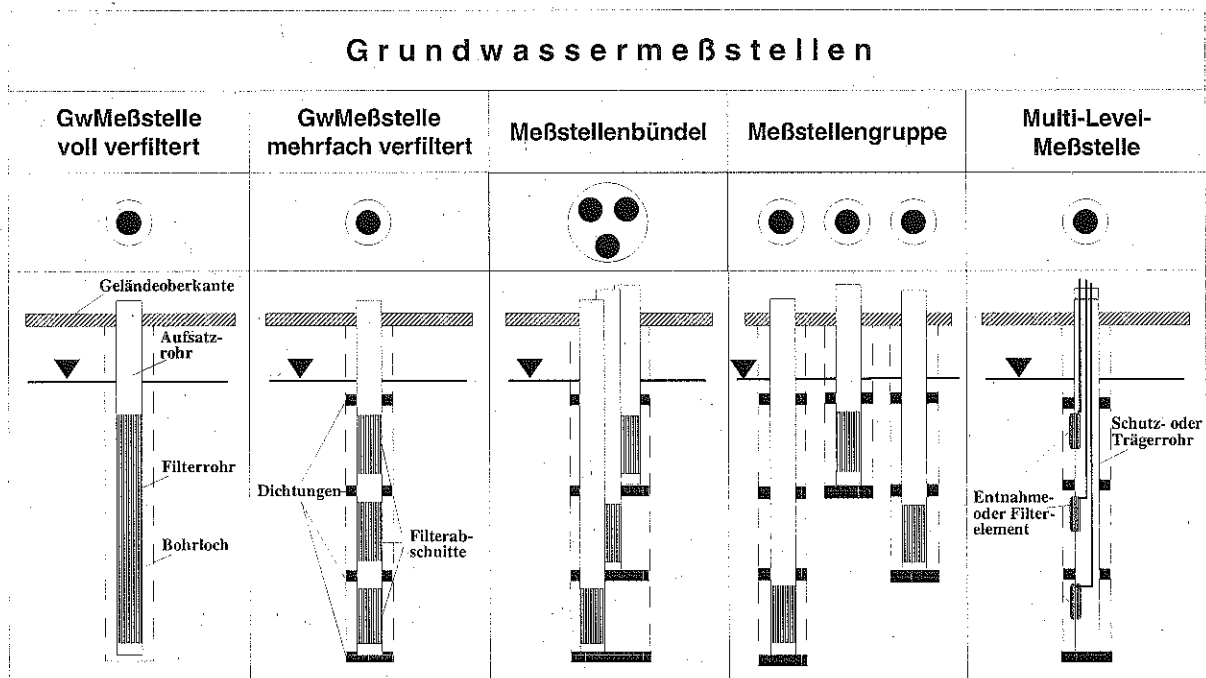


Abb. 6-2: Ausbautechnische Varianten von Grundwassermeßstellen (nach DVWK 1997, geändert).

Muß mit vertikalen Strömungsgradienten gerechnet werden, sollte vor allem bei größerer Mächtigkeit des Grundwasserleiters eine längere Filterstrecke auf verschiedene Meßstellen aufgeteilt werden. Der Aufgabenstellung, auf bestimmte Horizonte bezogene Grundwasserproben entnehmen zu können, werden Meßstellen mit kurzen Filterstrecken am ehesten gerecht. Bei der Herstellung tiefenabgestufter Meßstellen zur getrennten Erfassung mehrerer Grundwasserstockwerke ist der Einbau je eines Beobachtungsrohres in jeweils eine separate Bohrung zu empfehlen (Meßstellengruppe). Die Bohransatzpunkte sollten, um Abweichungen in der Vertikalität einer Bohrung Rechnung zu tragen, mindestens 3 m (bzw. 5 m bei Teufen >30 m) voneinander entfernt sein.

Wird aus Kostengründen der Einbau mehrerer Meßstellenrohre in eine größere Bohrung gewählt (Meßstellenbündel), muß die Gefahr der Umläufigkeit im Ringraum durch sehr sorgfältigen Einbau von Abdichtungsmaterialien (und entsprechende Kontrollen) ausgeschlossen werden. Nicht selten erweisen sich derartige Konstruktionen jedoch nach einigen Betriebsjahren infolge von Setzungen als nicht mehr funktionsfähig (DVWK 1997).

Einem neuen Meßstellentyp gehören die verschiedenen Arten von Multi-Level-Meßstellen an, die teilweise in vorhandene Rohre einge-

baut werden können und daher wiederverwendbar sind. Im Zusammenhang mit der landesweiten Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit sind sie unüblich. Im Rahmen von Sonderuntersuchungen, z. B. tiefenabhängige Verteilung der Nitratkonzentration unter landwirtschaftlich genutzten Flächen, sind sie häufiger im Einsatz (LERNER & TEUTSCH 1995; LEUCHS & OBERMANN 1991).

Die geohydraulische Funktionstüchtigkeit von Tonsperren läßt sich mit den herkömmlichen Verfahren (Einbau von Tonkugeln oder von Ton-Pellets) bei größeren Tiefen nicht immer erreichen. Als zuverlässige Alternative gilt das Verpressen des Ringraumes mit dauerplastischen Ton-Zement-Suspensionen. Bedenken wegen möglicherweise langdauernder Beeinflussung des pH-Wertes der Proben durch den basischen Zementanteil konnten allerdings noch nicht vollständig ausgeräumt werden.

Die Grundwasserrichtlinie, Teil 3 (LAWA 1993) oder die Niedersächsische Richtlinie (Niedersächs. Landesamt für Wasser und Abfall 1990) empfehlen für den Regelausbau einen Nenn-durchmesser von 125 mm (DN 125). Andere Institutionen (z. B. Niedersächs. Landesamt für Bodenforschung 1996), Verbände (u.a. DVWK 1997) oder TOUSSAINT 1991 halten dagegen kleinere Durchmesser (DN 65 bis 100) für zweckmäßiger.

Für kleinere Rohrdurchmesser spricht, daß jede Bohrung in hydraulischer Hinsicht eine mit dem Bohrdurchmesser wachsende Störung der natürlichen Grundwasserverhältnisse zur Folge hat (Kurzschluß, vertikaler Draineffekt). Außerdem steigen die Kosten einer Bohrung mit steigendem Ausbau- und somit Bohrdurchmesser besonders im Festgestein überproportional an. Ferner wird ebenfalls aus der Sicht der Beprobungspraxis auf erheblich längere Abpumpzeiten zum Austausch des Standwassers bei größeren Bohrdurchmessern hingewiesen (s. Abschn. 7.2); heute werden technisch ausgereifte Tauchpumpen angeboten, die auch für Meßstellen mit einem geringen Durchmesser geeignet sind.

Größere Bohr- bzw. Rohrdurchmesser bieten Vorteile, die vor allem der Funktionssicherheit der Meßstelle zugute kommen. Zu nennen sind insbesondere:

- Verbesserung der Bohrlochgeometrie durch Einsatz eines stärkeren Bohrgestänges, dadurch Vermeidung von zu Leckagen führenden Verspannungen in den Rohrtouren
- Verwendung von Filter- und Aufsatzrohrmaterial größerer Wandstärke und somit eine bessere Steifigkeit der Rohrtouren und Muffen,
- Verbesserung der Standsfestigkeit gegen Gebirgsdruck,
- problemloseres und präziseres Einbringen des Filterkieses und der Ringraumabdichtung,
- rascheres Klarpumpen der neuen Meßstelle und dadurch u.a. Kostenreduzierung.

Im Zusammenhang mit Wartungs- und Regenerierungsarbeiten hat das bei größerem Rohrdurchmesser unkompliziertere Befahren mit einer leistungsfähigen Farb-Videokamera oder der Einsatz von Reinigungsgeräten ebenfalls Vorteile. Wird die Verwendung von Packern erwogen oder werden Meßsonden verwendet, sind die Vorteile eines größeren Rohrdurchmessers nicht von der Hand zu weisen. Schließlich wird auch argumentiert, daß im Falle einer horizontbezogenen Probennahme bei einem größeren Rohrdurchmesser die Entnahmeposition einer Pumpe einen geringeren Einfluß auf die Grundwasserbeschaffenheit hat (BARCZEWSKI & MARSCHALL 1980; KALERIS 1989, 1992).

Die Festlegung des Bohr- und Ausbaudurchmessers setzt ein sorgfältiges Abwägen aller Kriterien voraus, wobei die langjährige Betriebssicherheit der Meßstelle eine besondere Rolle spielen muß. Da das Abteufen einer Bohrung und deren Ausbau zu einer Grundwassermeßstelle im Festgestein eher einen nennenswerten vertikalen Draineffekt zur Folge haben kann als im Lockergestein, werden für Meßstellen in Klufftgrundwasserleitern in der Regel kleinere Ausbaudurchmesser (DN 65 - DN 100) empfohlen als in Porengrundwasserleitern.

An das Ausbaumaterial müssen höhere Anforderungen gestellt werden als bei Grundwasserstandsmeßstellen (REMMLER 1990); in jedem Fall sollte auf Kiesklebefilter und verzinkte Stahlrohre verzichtet werden. Auch wenn immer wieder Bedenken gegenüber der Verwendung von weichmacherfreiem PVC (PVC hart) als Material der Filter- und Vollwandrohre geäußert werden, überwiegen die Vorteile. Da die Grundwasserrohre vor der Probennahme in der Regel abgepumpt werden (s. Abschn. 7.2), wird davon ausgegangen, daß die Grundwasserprobe materialbedingt keine ins Gewicht fallende Veränderungen durch Stoffaufnahme aus dem Grundwasser oder -abgabe in das Grundwasser erfährt. Ist jedoch mit organischen Kontaminanten zu rechnen, wird die Verwendung von HDPE empfohlen (Niedersächs. Landesamt für Bodenforschung 1996).

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen sollte auf die Abdichtung des Ringraums gegen den Zutritt von Oberflächenwasser besonderer Wert gelegt werden. Meßstellenköpfe sind so zu gestalten, daß die Gefahr des Eintrags von Fremdstoffen ausgeschlossen ist. Die in dieser Beziehung besonders gefährdeten Unterflur-Meßstellenköpfe sollten nur dann gebaut bzw. erneuert werden, wenn andere konstruktive Lösungen ausscheiden.

Die fertig ausgebaute und klargepumpte sowie mit einem Meßstellenkopf ausgestattete Bohrung wird bei der Abnahme auf die Einhaltung der Ausbaumvorgaben und korrekte Ausführung überprüft. Zum Abnahmeprotokoll gehören auch die Ergebnisse geophysikalischer Untersuchungen wie insbesondere Gamma-Log (Ringraumkontrolle), FEL (beim Ausbau mit PVC-Rohr), Neigungs- und Azimutmessung (DV-Log) sowie Fernsehkamerabefahrung (TV-Log).



Etwa 6 bis 8 Wochen nach Abschluß der Bauarbeiten dürften mögliche Setzungen abgeklungen sein. Erst dann ist es sinnvoll, die ge-

naue Höhen- und topographische Lage des Meßpunktes zu ermitteln, die zu dokumentieren ist (LAWA 1984).

## 7. Meßstellenbetrieb

Bei der Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit ist die Probennahme ein sehr wichtiger Teilschritt. Eine unsachgemäße Probennahme kann erhebliche Fehler verursachen, die die möglichen Analysefehler bei weitem übertreffen können. Ziel einer Beprobung muß sein, eine Grundwasserprobe zu gewinnen, in der sich die physikalischen, chemischen und biologischen in situ-Eigenschaften des Grundwassers so gut wie möglich widerspiegeln. Die notwendigen Beprobungsintervalle sind dabei den geohydraulischen und hydrochemischen Prozessen im Grundwasserleiter anzupassen. Außerdem müssen Anforderungen an die Probennahme beachtet werden (LAWA 1993, 1996).

### 7.1. Beprobungsturnus

Der Turnus einer Grundwasseruntersuchung wird einerseits von der Fragestellung, andererseits von den hydrogeologischen Gegebenheiten beeinflusst. Ziel muß sein, die betreffende Meßstelle im Hinblick auf die Konzentrationsschwankungen der Wasserinhaltsstoffe über die Zeit so gut kennenzulernen, daß der Turnus optimiert werden kann (s. auch LAWA 2000).

Die Beprobungsdichte wird in erster Linie aufgabenspezifisch, aber auch durch das Grundwasserumsatzverhalten des zu beobachtenden Grundwasserleiters und die jeweiligen hydrologischen Bedingungen bestimmt. Bei raschem Grundwasserumsatz infolge hoher hydraulischer Durchlässigkeit, kleinem Durchflußquerschnitt und hoher Neubildungsrate ist eine große zeitraumbezogene Variabilität zu erwarten, der durch einen engen Probennahmeturnus (monatlich, quartalsweise) Rechnung zu tragen ist. Eine Alternative kann die ereignisbezogene Probennahme sein. Bei langsamem Grundwasserumsatz hingegen ist bei gleichem Zeitraum die Varianz innerhalb des Grundwasserleiters wesentlich geringer, so daß sie mit einer halbjährlichen oder jährlichen Probennahme noch voll erfaßt wird.

Da gewöhnlich die zeitliche Varianz in den Grundwasserneubildungsgebieten wesentlich größer ist als in den Grundwasserdurchfluß- und Grundwasserentlastungsgebieten, wo geo-

chemisch gereifte Grundwässer vorliegen, sind für bevorzugt in diesen Bereichen einzurichtende Trendmeßstellen prinzipiell höhere Beprobungsfrequenzen vorzusehen als für Basismeßstellen. Diese Strategie gilt wegen des u.U. zeitlich rasch variierenden anthropogen bedingten Schadstoffeintrages in den Untergrund prinzipiell auch für Emittenten- und Schadensfallmeßstellen.

In der Praxis wird ein halbjährlicher Beprobungsturnus i. allg. für ausreichend erachtet, wobei aus hydrogeologischen Gründen eine Abhängigkeit von Hoch- und Niedrigwasserständen im Grundwasserleiter sinnvoll ist. Sofern Leitparameter, z. B. die elektrische Leitfähigkeit, weitgehend konstant bleiben, kann der Beprobungsrhythmus auf einmal jährlich, eventuell sogar auf einmal in zwei Jahren ausgedehnt werden. Demgegenüber ist bei deutlichen Konzentrationsschwankungen der Beprobungsturnus entsprechend zu verkürzen (vierteljährlich, monatlich, ggf. wöchentlich). Diese Notwendigkeit wird in hydrogeologischer Hinsicht vor allem bei Grundwasserleitern mit einem nur kleinen Speicherraum gesehen sowie in Flußtalauen mit Uferfiltratkomponente. Hohe Fließgeschwindigkeiten oder starke Grundwasserstandsschwankungen bzw. Quellschüttungsschwankungen, wie sie für Karstgebiete charakteristisch sind, müssen allein für sich betrachtet kein Grund für außergewöhnliche Schwankungen der Grundwasserinhaltsstoffe sein.

Jeweils nach Auswertung von etwa zehn Analysen ist der gewählte Meßturnus zu überprüfen und eventuell den Gegebenheiten anzupassen.

### 7.2. Beprobungstechnik

Die Änderung der Rahmenbedingungen der Probennahme kann sich in einer untypischen Veränderung der Konzentration sowie des Verteilungsmusters der Grundwasserinhaltsstoffe äußern (KALERIS 1992). Daher sind bei jeder Probennahme meßstellenspezifische Vorgaben einzuhalten (Abb. 7-1).

Auch bei einem Ausbau der Meßstellen im Sinne dieser Empfehlungen ist die Gewinnung repräsentativer Proben nicht immer sichergestellt, weil innerhalb des Ringraumes und insbesondere bei langen Filterstrecken durch

Kurzschlußströmung vertikale Konzentrationsunterschiede auftreten können, die durch das übliche Abpumpen nicht zu egalisieren sind (BARCZEWSKI et al. 1992, 1993). Aus dieser Sicht ist anzustreben, die „optimalen“ Randbedingungen der Probennahme - nicht nur die optimale Abpumprate - differenziert für jede Meßstelle durch ein stufenweises Vorgehen,

d.h. durch einen Pumpversuch mit analytischer Überwachung der Grundwasserinhaltsstoffe (zunächst Temperatur- und Leitfähigkeits-Profil, dann Flowmeteruntersuchung, ggf. auch ein sog. „Gütepumpversuch“), zu ermitteln und das Ergebnis zu dokumentieren (BARCZEWSKI & MARSCHALL 1980, BARCZEWSKI et al. 1992, 1993).

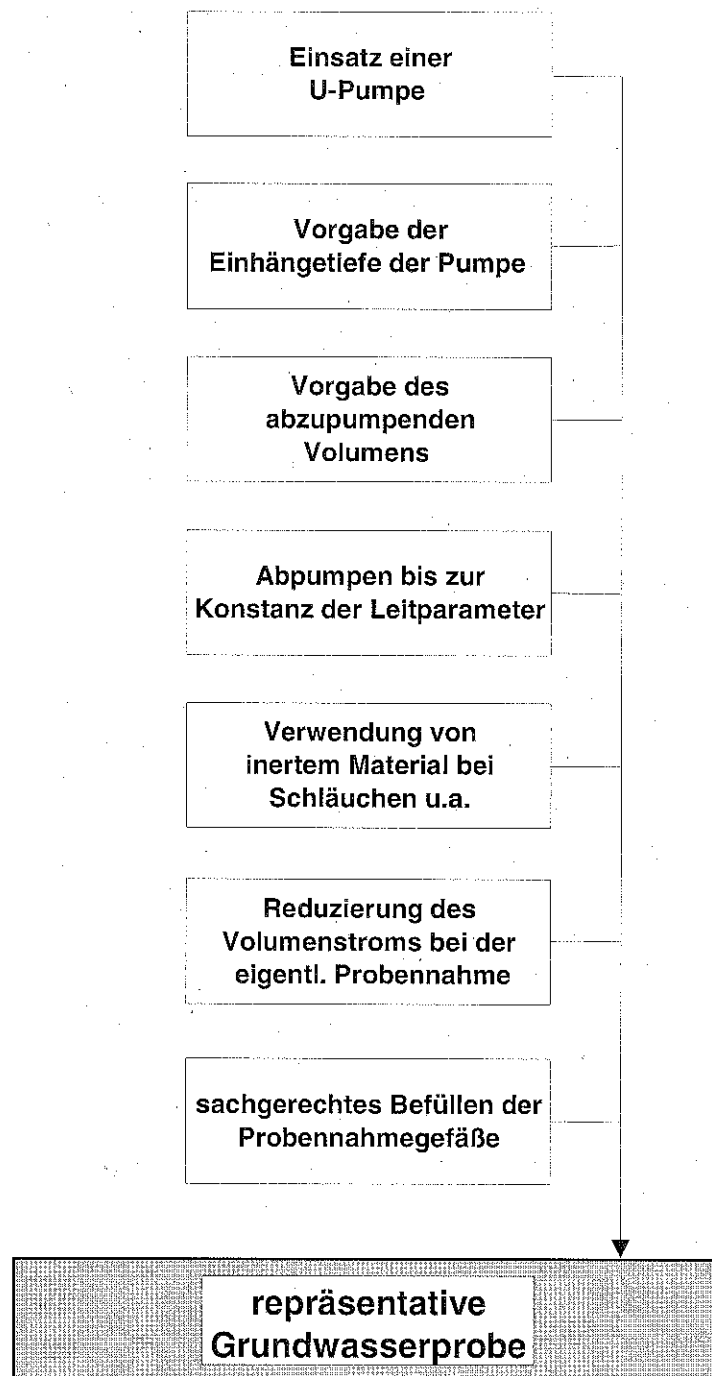


Abb. 7-1: Schritte zur Gewinnung einer repräsentativen Grundwasserprobe.

In der Regel ist in einer Meßstelle mit hydrochemisch verfälschtem Standwasser zu rechnen, das vor der Gewinnung der eigentlichen Grundwasserprobe entfernt werden muß. Einerseits besteht in der Praxis die Tendenz, das Standwasser aus Zeitgründen so rasch wie möglich abzupumpen. Andererseits muß jedoch zwecks Minimierung des Eingriffs in den Grundwasserleiter die Pumprate an den hydrogeologischen Gegebenheiten orientiert sein. Insbesondere sollte keine feste Phase gefördert werden, turbulentes Fließen und eine Verteilung der Strömungsgradienten im Nahbereich der Meßstelle sind ebenfalls zu vermeiden. Da die zuletzt genannten Gesichtspunkte Priorität haben müssen, genügt eine Förderleistung von 0,1 - 0,5 l/s, wobei die Absenkung des Grundwasserspiegels in der Meßstelle nicht mehr als 10 % der Grundwassermächtigkeit bzw. maximal 2 m betragen sollte (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Würt. 1992, 1996).

Zwischen Pumpe und Meßstellenwand muß ein ausreichender Zwischenraum sein, damit das Wasser im Rohr widerstandsfrei strömen kann (VALENTIN 1987).

Es ist sicherzustellen, daß ein vollständiger Austausch des Standwassers durch nachströmendes Grundwasser erreicht wird. Erst nach quasi-Konstanz einiger Leitparameter der Grundwasserbeschaffenheit wie Temperatur, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit sowie dem Abpumpen des 2- bis 4fachen Standwasservolumens kann die eigentliche Probennahme erfolgen (LAWA 1996). Diese für eine Optimierung der Probennahme wichtigen Meßgrößen können mittels Multiparameter-Sonden vor Ort erfaßt, gespeichert und angezeigt werden.

Die Zeit in Minuten bis zum Austausch eines Standwasservolumens (ohne das Wasser im Filterkies) läßt sich bei einer Position der Pumpe direkt unterhalb des am tiefsten abgesenkten Wasserspiegels nach folgender Formel überschlägig ermitteln:

$$t = \frac{d^2 \cdot H}{764 \cdot Q}$$

- t = Abpumpdauer (min),
- d = Rohrdurchmesser (cm),
- H = Höhe der Wassersäule (m),
- Q = Förderstrom (l/s).

Die Entnahme der Probe erfolgt entweder bei gedrosselter Pumpleistung oder aus einem Nebenstrom bei konstant gehaltener Förderleistung, damit wegen des dadurch ermöglichten langsamen Strömens eine Belüftung der Wasserprobe bzw. ein Entweichen von gasförmigen Stoffen beim Abfüllen minimiert wird. Eine Pumprate von 1 l/min bis maximal 5 l/min während der Probennahme wird als adäquat angesehen. Es sollte eine drückende Pumpe verwendet werden, um insbesondere bei einem langen Aufstiegsweg den Verlust leichtflüchtiger Substanzen zu reduzieren. Auch eine Probennahme mit einem Schöpfgefäß, das mit einer Kleinpumpe eine technische Einheit bildet und nach neuestem technischen Stand die Konservierung der in situ-Temperatur- und Druckverhältnisse gewährleistet, wird für sinnvoll gehalten.

Für darüber hinausgehende Fragen zur Probennahme sowie zur Bedeutung der auszuwählenden hydrochemischen Kenngrößen wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (DVGW 1983; DVWK 1992, 1997; KRITZNER 1992; LAWA 1993, 1995).

### 7.3. Wartung und Instandhaltung

Die in Abschn. 6.4 beschriebenen Kontrollen werden vor Ablauf der Gewährleistungsfrist, d.h. in der Regel zwei Jahre nach Fertigstellung, wiederholt. Sie sollten ferner im Zuge von Funktionsprüfungen bei Bedarf oder in einem festen Turnus von 4 bis 5 Jahren erneut durchgeführt werden.

## 8. Anwendungsbeispiele und Ausblick

Am Beispiel einiger Bundesländer wird aufgezeigt, nach welchen Gesichtspunkten in der jüngsten Vergangenheit staatliche Grundwassermeßnetze konfiguriert worden sind. Auch wenn die Vorgehensweise nicht in allen Punkten immer mit der in dieser Empfehlung dokumentierten Methodik übereinstimmte und gemessen an den heutigen Möglichkeiten konservativ war, konnte die Qualität der Grundwasserbeschaffungsdaten dennoch im Vergleich zu früher erheblich verbessert werden.

Werden die im Rahmen des Pilotprojektes „Modellmeßnetz Karlsruhe“ (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württ. 1992) gemachten Erfahrungen (s. Abschn. 8.2) mit vermutlich notwendig werdenden Modifikationen auch andersorts eingebracht, kann davon ausgegangen werden, daß sich die Konfiguration von staatlichen Grundwassermeßnetzen auch im Landesmaßstab sicherlich noch besser an die standortrelevanten Gegebenheiten anpassen läßt. Damit ist gleichzeitig auch ein nicht zu unterschätzender Optimierungseffekt verbunden (LAWA 2000).

### 8.1. Anwendungsbeispiele

Beispiele für die Anwendung von Kriterien der Ausgestaltung von Meßnetzen zur Beobachtung der Grundwasserbeschafftheit im Landesmaßstab sollen - stellvertretend für andere Bundesländer - aus Niedersachsen und dem Gebiet der neuen Bundesländer aufgezeigt werden.

In **Niedersachsen** wurde das staatliche Meßnetz zunächst durch Heranziehen von Meßstellen für die neue Aufgabe verwirklicht, die im Rahmen des Grundwasserstandsmeßnetzes betrieben werden. Eine kritische Revision nach einigen Jahren Meßbetrieb hatte zum Ergebnis, daß die Meßstellen nur zum Teil für ihre Funktion im Grundwasserbeschafftheitsmeßnetz geeignet waren. Ein zum größeren Teil neu einzurichtendes Meßnetz war daher zu konzipieren und aufzubauen. Das neue Meßnetz sollte dabei so eng wie möglich mit anderen Meßnetzen der staatlichen Umweltüberwachung (z. B. Grundwasserstand, Deposition luftgetragener Schadstoffe, Bodeninforma-

tionssystem) verknüpft werden (SPINDLER et al. 1997). Neben dieser räumlichen Anbindung an schon vorhandene Meßstandorte waren weitere Kriterien aufgestellt worden: gleichmäßige Erfassung der hydrogeologischen Grundwassereinheiten, Erfassung von Grundwasservorkommen mit sehr geringer bis fehlender anthropogener Beeinflussung (für die Basismeßstellen), Erfassung von Gebieten mit ausgeprägter Grundwasserneubildung, Bevorzugung von Standorten mit einheitlicher Flächennutzung im Einzugsgebiet, Erfassung von Gebieten mit besonderer Bedeutung für eine evtl. künftige Grundwassergewinnung, in bezug auf die Dienstbezirke der Bezirksregierungen gleichmäßige Dichte des Meßnetzes.

Nach diesen Vorgaben ist in den Jahren 1990 bis 1994 das Meßnetz durch den Bau von 418 Meßstellen an 182 Meßstandorten auf eine neue Basis gestellt worden. Insgesamt werden im Grundmeßnetz derzeit 537 Meßstellen (335 Basis- und 202 Trendmeßstellen) betrieben.

Für die fünf **neuen Bundesländer** wurden nach 1990 am Rahmenkonzept der LAWA von 1983 orientierte Meßnetze zur Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschafftheit aufgebaut. Die Grundlage der Arbeiten bildete ein vom Umweltbundesamt initiiertes gemeinschaftliches Forschungsprojekt (GABRIEL et al. 1995). Sein Ziel war es, für die jeweiligen hydrogeologischen Einheiten nach einheitlichen Kriterien länderübergreifende Meßnetze zu schaffen.

Nach Anwendung dieser Kriterien (s. Kap. 4) sowie Durchführung von Funktionsprüfungen (s. Kap. 5) blieben von 323 Meßstellen der ehemaligen Wasserwirtschaftsdirektionen für eine pilotmäßige Erstbeprobung nur 175 Meßstellen übrig, die den Kriterien annähernd entsprachen. Weitere Meßstellen waren erforderlich. Aufgrund der beschränkten finanziellen Mittel konnte eine Meßstellenergänzung nur schrittweise erfolgen. Die Fortführung der Projektarbeiten ab Frühjahr 1992 umfaßte 215 Meßstellen. Wie in Abb. 8-1 dargestellt, konnte die Anzahl der Meßstellen für das Grundmeßnetz bis zum Abschluß des Projektes kontinuierlich auf insgesamt 366 Meßstellen gesteigert werden. Andererseits mußten 43 Meßstellen, überwiegend wegen technischer Mängel, aus dem Meßnetz herausgenommen werden, so daß im Projektzeitraum 1992 bis 1994 nur 172 Meßstellen durchgehend beobachtet worden sind.

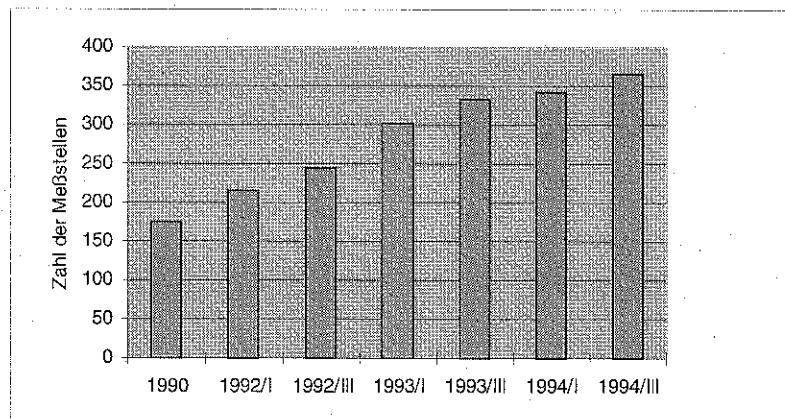


Abb. 8-1: Entwicklung der Anzahl der beprobten Beschaffenheitsmeßstellen in den neuen Bundesländern, Projektzeitraum 1990/94; hinter der Jahreszahl bedeutet I = Frühjahrs- und III = Herbstbeprobung.

Es wurde Wert darauf gelegt, daß sich die ausgewiesenen hydrogeologischen Einheiten entsprechend ihrer räumlichen Verbreitung in der Anzahl der Meßstellen widerspiegeln. Ein weiteres Kriterium war die Filterlage der Meßstellen in den Grundwasserleitern, die für die überwiegend regionale Grundwassergewinnung bevorzugt werden.

Mit der Entwicklung des Grundmeßnetzes in den neuen Bundesländern werden nachvollziehbar die in dieser Empfehlung beschriebenen einzelnen Arbeitsschritte belegt. Außerdem ist erkennbar, daß die Meßnetzkonfiguration einen dynamischen Prozeß, angefangen von der Planung bis zur Umsetzung, darstellt, der auch heute noch nicht abgeschlossen ist.

## 8.2. Ausblick

Die grundlegenden Aspekte bei der Konzeption von Meßnetzen zur Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit wurden in einem vom Umweltbundesamt finanzierten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben "Modellhafte Einrichtung eines Grundwassergütemeßnetzes in einer ausgewählten Region" untersucht. Dieses Modellnetz sollte der umfassenden meßtechnischen Erfassung der Einfluß- und Reaktionsgrößen und deren Interpretation mit Hilfe der Modellierung in einem für bundesdeutsche Verhältnisse beispielhaften eng begrenzten Raum mit vielfältiger Flächennutzung dienen. Entscheidend für die Auswahl der Modellregion Karlsruhe waren neben der vielfältigen Flächennutzung die hier

schon vorhandene große Meßstellen- und Kenntnisdichte (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württ. 1992).

In dem Pilotprojekt „Modellnetz Karlsruhe“ wurde u.a. untersucht, inwieweit die von den einzelnen Meßstellen her vorliegende punktuelle Information mittels des Kriging-Verfahrens in eine flächenhafte Aussage überführt werden kann. Durch simuliertes schrittweises Ausdünnen des Meßnetzes nach dem Kriterium einer gleichmäßigen flächigen Verteilung der verbleibenden Meßstellen wurde die Informationsdichte in ihrem Verhältnis zur Meßnetzdichte untersucht.

Zum einen wurde deutlich, daß bei geringer Meßstellendichte nur markante großflächige Unterschiede in der Grundwasserbeschaffenheit erkennbar sind. Zum andern wurde gezeigt, wie sich der Aufwand für den Meßnetzbetrieb verringern läßt. Dazu muß unter der Vorgabe, möglichst viel von der (durch die größere Anzahl vorhandener Meßstellen) bekannten Charakteristik der Verschiedenartigkeit der Grundwasserbeschaffenheit im Meßgebiet in dem ausgedünnten künftigen Meßnetz erhalten zu wollen, eine gezielte Auswahl weiterhin zu beobachtender Meßstellen getroffen werden. Es ergibt sich in diesem Fall eine nicht gleichmäßige Verteilung der verbleibenden Meßstellen im Meßnetz. Es versteht sich, daß solch ein optimal konfiguriertes Meßnetz nicht von vornherein geschaffen werden kann.

Mit Einsatz multivariater statistischer Verfahren lassen sich in der Menge der chemischen

Wasseranalysen Ähnlichkeiten herausfinden und Beschaffenheitsgruppierungen bilden (Clusteranalyse). Aus den Beschaffenheitsgruppen können die Meßstellen ausgewählt werden, die in einer optimierten Meßnetzkonfiguration die gesamte Gruppe repräsentieren sollen. Andererseits lassen sich auf der Basis von bekannten, für die Grundwasserbeschaffenheit maßgebenden Einflußfaktoren (Flächennutzungsarten im Einzugsgebiet) mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse die Meßstellen eines Meßnetzes den entsprechenden, zu den Einflußfaktoren gehörenden Beschaffenheitsklassen zu-

ordnen. Orientiert am Maß der Zuordnung zu einer Beschaffenheitsklasse können die in einer optimierten Meßnetzkonfiguration weiterhin zu betreibenden Meßstellen in ihrer Repräsentativfunktion ausgewählt werden.

Die Ergebnisse dieser endo- und exogenen Klassifikationsverfahren müssen in einem iterativen Verfahren aufeinander abgestimmt werden, damit möglichst homogene Klassen gebildet werden. Hieraus lassen sich im Landesmaßstab Meßnetze mit repräsentativen Meßstellen für bestimmte Standorttypen selektieren.



## 9. Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung.- Geol. Jb., G 2: 3-157; Stuttgart (Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung).

ANGER, H. (1982): Neuere Verfahren der Brunnenbohr- und -ausbautechnik.- Wasser u. Boden, 34: 158-162; Hamburg.

ASSMANN, W., PICKEL, H.-J., SCHELKES, K. & VIERHUFF, H. (1983): Tiefe Grundwassermeßstellen im Lockergestein, Erfahrungen und Weiterentwicklung.- bbr, 34: 45-50; Köln.

BARCZEWSKI, B. & MARSCHALL, P. (1980): Untersuchungen zur Probenahme aus Grundwassermeßstellen.- Wasserwirtsch., 80: 506-513; Stuttgart.

BARCZEWSKI, B., KALERIS, V. & MARSCHALL, P. (1992): Grundwassermeßtechnik und Bohrlochhydraulik.- in: Kobus, H. (Hrsg.): Schadstoffe im Grundwasser, Bd. 1: Wärme- und Schadstofftransport im Grundwasser, DFG-Forschungsbericht, 277-340; Weinheim (VCH).

BARCZEWSKI, B., GRIMM-STRELE, J. & BISCH, G. (1993): Überprüfung der Eignung von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen.- Wasserwirtsch., 83: 72-78; Stuttgart.

BARCZEWSKI, B., KRITZNER, W. & NITSCHKE, C. (1996): Tiefenorientierte Grundwasserprobenahme zur Messung der Grundwasserbeschaffenheit.- Wasserwirtsch., 86: 446-451; Stuttgart.

DIN 4022 05.82. Baugrund und Grundwasser - Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Teil 3: Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein).- 10 S.; Berlin.

DIN 4022 09.87. Baugrund und Grundwasser - Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Teil 1 Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels.- 20 S.; Berlin.

DIN 4023 03.84. Baugrund- und Wasserbohrungen - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse.- 11 S.; Berlin.

DIN 4049 12.92. Hydrologie, Teil 1 Grundbegriffe.- 12 S.; Berlin.

Dörhöfer, G. (1995/1996): Planungskriterien für „Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen“, Teil 1: Begriffsdefinitionen und Einsatzbereiche, Teil 2: Überwachung von Deponien und Altlasten.- bbr, 46: 18-24, 47: 24-30; Köln.

DVGW (1977): DVGW-Merkblatt W 115 (Februar 1977): Bohrungen bei der Wassererschließung.- 19 S.; Eschborn.

DVGW (1983): DVGW-Merkblatt W 112 (April 1983): Entnahme von Wasserproben bei der Wassererschließung.- 11 S.; Eschborn.

DVGW (1988a): DVGW-Merkblatt W 121 (Oktober 1988): Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen.- 19 S.; Eschborn.

DVGW (1988b): DVGW-Merkblatt W 254 (April 1988): Grundsätze für Rohwasseruntersuchungen.- 16 S.; Eschborn.

DVGW (1990): DVGW-Merkblatt W 110 (Juni 1990): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrlöchern und Brunnen zur Erschließung von Grundwasser - Zusammenstellung von Methoden.- 50 S.; Bonn.

DVGW (1997) DVGW-Merkblatt W 116 (August 1997): Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwasser.- 14 S.; Bonn.

DVGW (1998): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermeßstellen und Brunnen.- Arbeitsblatt W 135 (11.98), 76 S.; Bonn.

DVWK (1992): DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft 128/1992: Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben.- 36 S.; Bonn.

DVWK (1997): DVWK-Merkblatt 245/1997: Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermeßstellen.- 14 S.; Bonn.

Europäische Union (1999): Gemeinsamer Standpunkt des Rates im Hinblick auf den Erlaß der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EU-Was-

serrahmenrichtlinie), Stand 30. Juli 1999, 52 S. u. 88 S. Anhang; Brüssel.

EXLER, H.-J. (1981): Geophysikalische Bohrlochmessungen.- gwf-Wasser/Abwasser, 122: 20-28; München.

GABRIEL, B., HANNAPPEL, S., LAUTERBACH, D., VOIGT, H.-J. & ZIEGLER, G. (1995): Entwicklung eines einheitlichen Grundwasser-Beschafftheits-Meßnetzes in den neuen Bundesländern als Grundlage zur Erfüllung von Berichtspflichten des Bundes gegenüber der EU.- Umweltforschungsplan des BMUNR, Wasserforschung, Forschungsber. 102 02 628/06, 203 S.; Berlin.

HANNAPPEL, S. & VOIGT, H.-J. (1997): Beschafftheitsmuster des Grundwassers im Lockergestein.- In: Matschullat, J., Tobschall, H.-J. & Voigt, H.-J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt; Berlin - Heidelberg (Springer).

HENNIG, J.-D. (1986): Gedanken zum Bau und zur Beprobung von Grundwassermeßstellen.- Neue DELIWA-Zschr., 37: 181-189; Hannover.

HOMRIGHAUSEN, R. & LÜDECKE, U. (1990): Ausbau von Grundwassermeßstellen: Dichtigkeit von Ausbaumaterialien und Wirksamkeit von hydraulischen Barrieren im Ringraum.- bbr, 41: 376-383; Köln.

Ingenieur-Büro R. W. Ashauer und Partner GmbH Leipzig (1994): Methodik zur Funktionsfähigkeitsprüfung von Grundwassermeßstellen im Freistaat Sachsen, unveröff.; Borsdorf.

KALERIS, V. (1989): Inflow into monitoring wells with long screens.-IAHR Proceedings, 3: 41-50; Rotterdam (Jackema).

KALERIS, V. (1992): Strömungen zu Grundwassermeßstellen mit langen Filterstrecken bei der Gewinnung durchflußgewichteter Mischproben.- Wasserwirtsch., 82: 5-11; Stuttgart.

KRITZNER, W. (1992): Verfahren und Techniken zur Entnahme repräsentativer teufenorientierter Grundwasserproben.- Wasserwirtsch., 82: 13-17; Stuttgart.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württ. (1992): Grundwasserüberwachungsprogramm - Pilotprojekt Karlsruhe.- 153 S.; Karlsruhe.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württ. (1996): Grundwasserüberwachungsprogramm - Rahmenkonzept Grundwassermeßnetz.- 36 S.; Karlsruhe.

LAWA (1983): Rahmenkonzept zur Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschafftheits.- 8 S., München.

LAWA (1984): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 1 - Grundwasserstand.- 44 S.; Essen (Woeste Druck und Verlag).

LAWA (1993): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 3 - Grundwasserbeschafftheits.- 59 S.; Essen (Woeste Druck und Verlag).

LAWA (1995): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 4 - Quellen.- 56 S.; Stuttgart (Selbstverlag).

LAWA (1996): AQS-Merkblatt P-8/2 (Mai 1995): Probenahme von Grundwasser.- 7 S.; Berlin (E. Schmidt).

LAWA (2000): Empfehlungen zur Optimierung des Grundwasserdienstes (quantitativ).- 36 S.; Schwerin (Selbstverlag).

LERNER, D. N. & TEUTSCH, G. (1995): Recommendations for level-determined sampling in wells.- Journal of Hydrology, 171: 355-377; Amsterdam.

LEUCHS, W. & OBERMANN, P. (1991): Grundsätzliche Überlegungen zur Probenahme von Grundwasser insbesondere bei tiefenspezifischer Probenahme.- LWA-Materialien, 1/91: 47-73; Düsseldorf.

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung [Hrsg.] (1996): Richtlinie zur Planung, zur Errichtung und zum Betrieb des Grundwasser-Sondermeßnetzes „Braunkohle“- GBL-Gemeinschaftsvorhaben, 2: 22 S.; Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).

Niedersächsisches Landesamt für Wasser und Abfall (1990): Grundwassergüte-Meßnetz Niedersachsen - Niedersächsische Richtlinie für die Auswahl, den Bau und für die Funktionsprüfung von Meßstellen.- 44 S.; Hildesheim.

PAPE VON, W.-P. (1990): Sanierung von Grundwassermeßstellen - Eine wichtige Aufgabe im Rahmen des wasserwirtschaftlichen Landesdienstes.- Umweltplanung, Arbeits- u. Umweltschutz, 105: 14-16; Wiesbaden.

PAPE VON, W.-P. (1991): Sanierung von Grundwassermeßstellen - Nachweis einer wirksamen

## 32 Konfiguration von Meßnetzen sowie Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)

Maßnahme.- Umweltplanung, Arbeits- u. Umweltschutz, 109: 110-112; Wiesbaden.

REMMLER, F. (1990): Einflüsse von Meßstellen- ausbau und Pumpenmaterialien auf die Beschaffenheit einer Wasserprobe.- DVWK-Mitt., 20: 141 S.; Bonn.

ROGGE, R. (1996): Rückbau von Grundwasser- meßstellen mit kleinen Ausbaudurchmessern.- Fachliche Berichte HWW, 15: 21-25; Hamburg.

SCHENK, V. (1983): Erfahrung beim Bau tiefer Grundwassermeßstellen und bei der Bestimmung des Probenahmezeitpunktes.- bbr, 34: 51-56; Köln.

SPINDLER, H.U., NIESS, R. & AST, M. (1997): Der Aufbau des Grundwassergütemeßnetzes Nie-

dersachsen.- Wasser u. Boden, 49: 26-29; Berlin.

TOUSSAINT, B. (1989): Anforderungen an den Bau von Grundwassermeßstellen aus hydrogeologischer Sicht.- Oberrhein. geol. Abh., 35: 111-128; Stuttgart.

TOUSSAINT, B. (1991): Probleme mit der Grundwasserbeprobung von Meßstellen.- Dt. gewässerkd. Mitt., 35: 189-190; Koblenz.

ULLRICH, J. (1986): Bohrlochmessungen in der Hydrogeologie.- ÖWW, 38: 151 – 158; Wien.

VALENTIN, F. (1987): Strömung in Vertikalbrunnen.- gwf-Wasser/Abwasser, 128: 275- 280; München.