

Stand: November 1999

Grundwasser

Empfehlungen zur Optimierung des Grundwasserdienstes (quantitativ)

1999

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

Art.-Nr.: 300510

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.

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.

ISBN: 3-88961-231-8

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

Vorwort

Die LAWA-Grundwasserrichtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teile 1 bis 4, sind als Anleitungen zu verstehen, wie Meßstellen zu bauen, Messungen an Grundwassermeßstellen und Quellen durchzuführen und Auswertungen vorzunehmen sind. Da in den letzten Jahren die Finanzierbarkeit des staatlichen Grundwasserdienstes und auch der nationale und supranationale Datenaustausch, der früher nur eine untergeordnete Rolle spielte, immer mehr in den Vordergrund gerückt sind, muß der Landesgrundwasserdienst einer Optimierung unterzogen werden. Die Optimierung, die sich auch an der z.Z. vorbereiteten Europäischen Wasserrahmen-Richtlinie orientiert, betrifft alle Bereiche, angefangen von der Planung bis hin zur Berichterstattung.

Der Arbeitskreis „Optimierung des Grundwasserdienstes“, der 1995 durch Umbenennung aus dem im Jahr 1974 gegründeten Arbeitskreis „Grundwassermessung“ hervorging, legt hiermit Empfehlungen vor, die aufzeigen, wie der staatliche Grundwasserdienst optimiert werden kann. Sie beziehen sich ausschließlich auf die quantitativen Aspekte. Optimierung im Sinne dieser Empfehlungen bedeutet, mit einem Minimum an finanziellem und personellem Aufwand im Hinblick auf die Gewinnung zuverlässiger und aussagekräftiger Meßwerte, deren Auswertung und Bewertung sowie dem darauf aufbauenden Informationsaustausch insgesamt einen möglichst großen Effekt bei der Aufgabenerfüllung zu erzielen

Eine Optimierung des staatlichen Grundwasserdienstes bedeutet auch, daß alle sinnvollen Möglichkeiten einer Vergabe von Teilaufgaben an private Auftragnehmer genutzt werden. Außer dem schon seit langem in einem großen Umfang auf der Basis von Beobacherverträgen organisierten Meßdienst könnten auch die Kontrolle und Wartung der Meßstellen sowie die Erfassung der Rohdaten als Aufträge vergeben werden. Dagegen müssen vor allem Planung und Realisierung der Meßnetze, Vorgaben für den Meßdienst, Auswertung und Bewertung der Meßwerte und Information für Politik, Fachverwaltung und breite Öffentlichkeit bei den staatlichen Stellen verbleiben; damit ist die im Landesgrundwasserdienst unverzichtbare Kontinuität am besten gewährleistet. Der Staat trägt die Verantwortung dafür, daß auf das Schutzgut Grundwasser bezogene aktuelle Probleme bewältigt und die berechtigten Interessen zukünftiger Generationen sichergestellt werden.

Zeitparallel wurden vom selben Arbeitskreis die „Empfehlungen zu Konfiguration von Meßnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ)“ bearbeitet (LAWA 2000). Auch hier wurde der Gedanke einer Optimierung des Meßnetzes angesprochen, wobei Fragen der Grundwasserbeschaffenheit im Vordergrund standen.

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
Vorwort	
1. Veranlassung	1
2. Grundsätze der Optimierung	3
2.1 Aufgaben des Landesgrundwasserdienstes	3
2.2 Optimierung in Teilschritten	5
3. Meßnetzgestaltung	6
3.1 Abhängigkeit des Meßnetzes von den hydrogeologischen Verhältnissen	6
3.2 Abgrenzung der Grundwasservorkommen	6
3.3 Meßstellenarten	7
3.4 Meßnetzkonzeption	7
3.5 Meßstellendichte	8
4. Bestandsaufnahme der Meßnetze und Meßstellen	9
4.1 Vorprüfung	9
4.2 Überprüfung der Meßnetzdicke und Meßnetzstruktur	9
4.3 Eignungsprüfung der Meßstellen	10
5. Optimierung von Meßnetzen mittels statistischer Verfahren und Modelle	12
5.1 Korrelations-/Regressionsverfahren	12
5.2 Clusteranalyse	13
5.3 Kriging-Verfahren	13
5.4 Nutzung von Modellen	14
6. Behandlung ausgesonderter Grundwassermeßstellen	15
6.1 Methodische Grundsätze	15
6.2 Rückbau von Grundwassermeßstellen	15
6.3 Sicherung und Pflege von Grundwasserauflüssen	16

7. Meßturnus	17
7.1 Grundwasserstands- und Quellschüttungsschwankungen	17
7.2 Anforderungen	18
7.3 Betriebliche Aspekte	19
8. Meßbetrieb und Datenfluß	20
8.1 Umstellung auf digitale Meßwerterfassung	20
8.2 Einmessung durch GPS	21
8.3 Datenübertragung	21
9. Datenführung	22
9.1 Datenaufbereitung	22
9.2 Weiterentwicklung der Datenbanken	23
9.3 Anwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS)	24
10. Berichtswesen	25
11. Mögliche Vergabe von Teilaufgaben an private Auftragnehmer	27
12. Literatur	28
Anlage 1: Auswahlkriterien für Grundwassermeßstellen	30
Anlage 2: Örtliche Überprüfung von Meßstellen und sonstigen Grundwasseraufschlüssen	31
Anlage 3: Rückbauverfahren, deren Anwendungsbereiche und Voraussetzungen	32
Anlage 4: Beispiel für einen Kostenvergleich von manueller Beobachtung und digitaler Erfassung	33
Anlage 5: Plausibilitätskontrollen	35

1. Veranlassung

Grundwassermeßnetze zur Erfassung quantitativer Meßgrößen, nämlich Grundwasserstand und Quellschüttung, bestehen in den Bundesländern z.T. schon seit Beginn dieses Jahrhunderts, einzelne Meßstellen existieren bereits seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert.

Diese meist nur lokalen Meßnetze wurden geplant und realisiert, um sehr unterschiedliche Fragen beantworten zu können, die nicht nur gewässerkundlicher oder wasserwirtschaftlicher Natur waren, sondern u.a. auch den Baugrund oder wasserbauliche Probleme betrafen. Häufig wurden die Meßstellen auch im Rahmen von Beweissicherungsverfahren oder geologischen bzw. hydrogeologischen Erkundungen eingerichtet und nachher in das Landesmeßnetz übernommen.

Vor allem aus Gründen der Kostenersparnis wurden die vorhandenen, i.allg. nicht aufeinander abgestimmten und insbesondere im Hinblick auf den Meßstellenausbau in der Regel nicht den heutigen Anforderungen entsprechenden Meßnetze im Laufe der Zeit zumindest teilweise in den flächendeckenden staatlichen Landesgrundwasserdienst eingegliedert. Das bedeutet, daß die Meßnetze der Landesgrundwasserdienste in der Vergangenheit in den meisten Bundesländern nicht systematisch eingerichtet worden sind. Die historische Entwicklung des Landesgrundwasserdienstes ist eine wesentliche Ursache dafür, daß in den einzelnen Ländern das staatliche Meßnetz hinsichtlich Meßstellenverteilung, -zahl und -dichte alles andere als homogen ist und die Qualität der Meßstellen regional sehr uneinheitlich sein kann.

Die Tab. 1-1 gibt einen Überblick über Anzahl und Dichte der quantitativen Landesgrundwassermeßnetze. Es wird u.a. deutlich, daß die Stadtstaaten dichte Meßnetze aufweisen, während in den Flächenstaaten auf 100 km² lediglich 1 - 8 Meßstellen entfallen. In vielen Bundesländern werden darüberhinaus Meßdaten Dritter zentral in den Datenbanken geführt. In Nordrhein-Westfalen werden z. B. aktuell mehr als 20.000 Meßstellen in der zentralen Datenbank des Landesgrundwasserdienstes geführt; somit ergibt sich eine mit den Stadtstaaten vergleichbare Dichte.

Es ist heute nicht mehr zu akzeptieren, daß sich ein staatliches Meßnetz aus mehr oder weniger unkoordinierten Teilnetzen zusammensetzt, die teilweise das zufällige Ergebnis einer Reihe von ad hoc-Antworten auf Fragen in der Vergangenheit sind.

Die Notwendigkeit, das staatliche Meßnetz neu zu strukturieren, liegt u.a. darin,

- zuverlässige Meßwerte als Grundlage für umweltrelevante Planungen und Maßnahmen gewinnen zu müssen,
- vergleichbare Daten für den nationalen und internationalen Datenaustausch bereitzuhalten (z. B. Meldung von Grundwassermeßwerten an die Europäische Umweltagentur (EUA) in Kopenhagen),
- die Finanzierbarkeit des Meßdienstes auch für die Zukunft gewährleisten zu können.

Den heutigen Qualitätsansprüchen genügt nur ein **optimierter Landesgrundwasserdienst**, der auch die Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 1999) berücksichtigt, nämlich u.a. fortlaufende oder operative Überwachung von Grundwasserkörpern in einer Flußgebietseinheit. Diese Optimierung kann nur Erfolg haben, wenn die gesamte Organisationsstruktur in die Optimierung einbezogen wird. In diesem Sinne sind die einzelnen Schritte der Optimierung des Meßdienstes (s. Kap. 2) als Bestandteil eines Qualitätssicherungssystems zu sehen.

Optimierung ist eine Daueraufgabe, der man in der Vergangenheit durch den Aufbau oder die Zusammenfügung von zweckbezogenen Teilnetzen nachgekommen ist, auch wurden immer wieder Meßstellen gezielt neu eingerichtet oder stillgelegt. Eine durchgreifende und außerdem möglichst alle Komponenten des Landesgrundwasserdienstes umfassende integrale Optimierung (s. Kap. 2) ist jedoch erst heute möglich, da die Auswertung eines umfangreichen Bestandes von Grundwasserdaten, die im Hinblick auf Länge der Meßreihen, Meßnetzzugehörigkeit oder Qualität sehr unterschiedlich sind, den Einsatz moderner Datenverarbeitungstechniken und Statistiksoftware voraussetzt. Insofern konnte eine Optimierung, wie sie in diesen Empfehlungen vorgeschlagen wird, nicht wesentlich früher begonnen werden.

Im Sinne dieser Erfahrungen wird unter Optimierung verstanden, mit möglichst wenig fi-

nanziellem und personellem Aufwand im Hinblick auf die Erzeugung von zuverlässigen Grundwassermeßwerten, deren Auswertung und Bewertung sowie den darauf aufbauenden fachtechnischen und wissenschaftlichen Informationen insgesamt einen möglichst großen Effekt in der Aufgabenerfüllung zu erzielen. Diese Definition beinhaltet also nicht, daß unter dem Gesichtspunkt der Kostenersparnis z. B. ein vorhandenes Meßnetz immer ausgedünnt wer-

den muß. Das Gegenteil kann der Fall sein. Eine Verdichtung des Meßnetzes hat z. B. vielfach das Ziel, eine fundiertere Datenbasis zu erhalten, die notwendig ist, um negative Veränderungen im Wasser- und Naturhaushalt und deren Ursachen erkennen und quantifizieren zu können. Eine häufige Aufgabenstellung ist auch, den Grundwasserspiegelgang in Abhängigkeit von bestimmten Einflußfaktoren besser zu charakterisieren.

Grundwassermeßnetz der Bundesländer						
Bundesland	Fläche (km ²)	Anzahl der Meßstellen			Dichte (MSt/100 km ²)	
		Meßrohre	Quellen	Summe		
Baden-Württemberg	35.751	3.136	201	3.337	9	
Bayern	70.548	1.841	59	1.900	3	
Berlin	889	1.655	0	1.655	186	
Brandenburg	29.481	2.460	0	2.460	8	
Bremen	404	209	0	209	52	
Hamburg	755	930	0	930	123	
Hessen	21.114	893	72	965	5	
Mecklenburg-Vorpommern	23.170	506	0	506	2	
Niedersachsen	47.606	1.398	6	1.404	3	
Nordrhein-Westfalen	34.072	1.827	317	2.144	6	
Rheinland-Pfalz	19.845	681	91	772	4	
Saarland	2.570	34	2	36	1	
Sachsen	18.409	1.301	58	1.359	7	
Sachsen-Anhalt	20.446	1.534	4	1.538	8	
Schleswig-Holstein	15.739	857	0	857	5	
Thüringen	16.175	999	87	1.086	7	

Tab. 1-1: Staatliches Grundwassermeßnetz (quantitativ) in den Ländern, Stand 1.10.1998.

2. Grundsätze der Optimierung

Räumliche Verteilung, Ausbau und Funktionsfähigkeit der Meßstellen sowie alle weiteren Komponenten des Meßdienstes bis hin zum Berichtswesen bestimmen ganz entscheidend den Umfang und die Qualität der das Grundwasser betreffenden Informationen. Somit gibt es für die Optimierung des Landesgrundwasserdienstes einen großen Spielraum.

2.1. Aufgaben des Landesgrundwasserdienstes

Zahlreiche, vielfach miteinander konkurrierende anthropogene Eingriffe in den Grundwasserhaushalt (u.a. Abbau von Lagerstätten, Gewinnung von Grundwasser für die öffentliche Trinkwasserversorgung, als Brauch- und Produktionswasser für Gewerbe und Industrie oder für die landwirtschaftliche Beregnung, Versiegelung, Tiefbaumaßnahmen) machen den verstärkten Schutz des Grundwassers erforderlich. Dieser setzt eine Grundwasserbeobachtung voraus, die sich ganz wesentlich auf einen leistungsfähigen Meßdienst stützt.

Diese Aufgabe kann im Landesmaßstab mit Aussicht auf Erfolg nur wahrgenommen werden, wenn der Landesgrundwasserdienst u.a. folgende Anforderungen erfüllt:

- landesweite Übersicht über Grundwasservorräte, Charakterisierung des Grundwasserspiegelgangs bzw. der Quellschüttung, Abgrenzung von Strömungsfeldern, Erkennen der hydraulischen Wechselbeziehungen zwischen Grundwasser und oberirdischen Gewässern,
- Abgrenzung von Trinkwasserschutzgebieten, Präzisierung der z.T. räumlich und zeitlich variierenden Lage von unterirdischen Wasserscheiden,
- Beschaffung von hydrogeologisch und hydrodynamisch relevanten Daten für Modellrechnungen,
- Differenzierung von geogenem Hintergrund und Nachweis von anthropogenen Einflüssen auf das Grundwasser,

- Definition von Referenzwerten (z. B. Grundwasserhöchst- oder tiefststände) für Zwecke der umweltverträglichen Grundwasserbewirtschaftung oder für Baugrundfragen,
- Bereitstellung von Bezugsgrößen z. B. für Sondermeßnetze (u.a. Vorfeldmeßstellen der Wasserversorgungsunternehmen, Bodendauerbeobachtungsflächen),
- Erfassung möglicher Auswirkungen langfristiger Klimaveränderung auf das Grundwasserangebot.

Die Bewältigung dieser anspruchsvollen Aufgaben setzt eine effektive und wissenschaftlich fundierte Planung, Realisierung und Organisation des Landesgrundwasserdienstes sowie ein kooperatives Zusammenwirken auf Landesebene zwischen den zuständigen Fachbehörden und Dritten voraus, die Grundwassermeßnetze betreiben (z. B. Wasserversorgungsunternehmen).

Im Rahmen des Landesgrundwasserdienstes hat das Berichtswesen einen hohen Stellenwert. Dieses gewinnt aufgrund der Richtlinie 90/313/ EWG des Rates vom 7.6.1990 über den freien Zugang zu Informationen über die Umwelt, die durch das Umweltinformationsgesetz vom 8.7.1994 in nationales Recht umgesetzt wurde, und steigender Datenabfragen nationaler (z. B. Umweltbundesamt) und internationaler Organisationen (insbesondere Europäische Umweltagentur) immer mehr an Bedeutung. Die Erstellung von Berichten wird durch die zunehmenden Möglichkeiten der integrierten Verarbeitung von Umweltdaten durch die EDV und ihre Visualisierung mittels eines Geographischen Informationssystems (GIS) und eines Fachinformationssystems (FIS) erleichtert und verbessert.

Das Berichtswesen im weitesten Sinne umfaßt

- Bereitstellung von Grundlagendaten,
- Auskünfte,
- regelmäßige Standardberichte,
- gewässerkundliche Fachberichte,
- Herausgabe thematischer Karten,
- wissenschaftliche Publikationen.

Der Landesgrundwasserdienst wird i. allg. von einer oberen Landesdienststelle, die zentral koordiniert und im Landesmaßstab Auswertungen vornimmt, zusammen mit regionalen Fachbehörden wahrgenommen, die vor Ort insbesondere den Meßbetrieb gewährleisten.

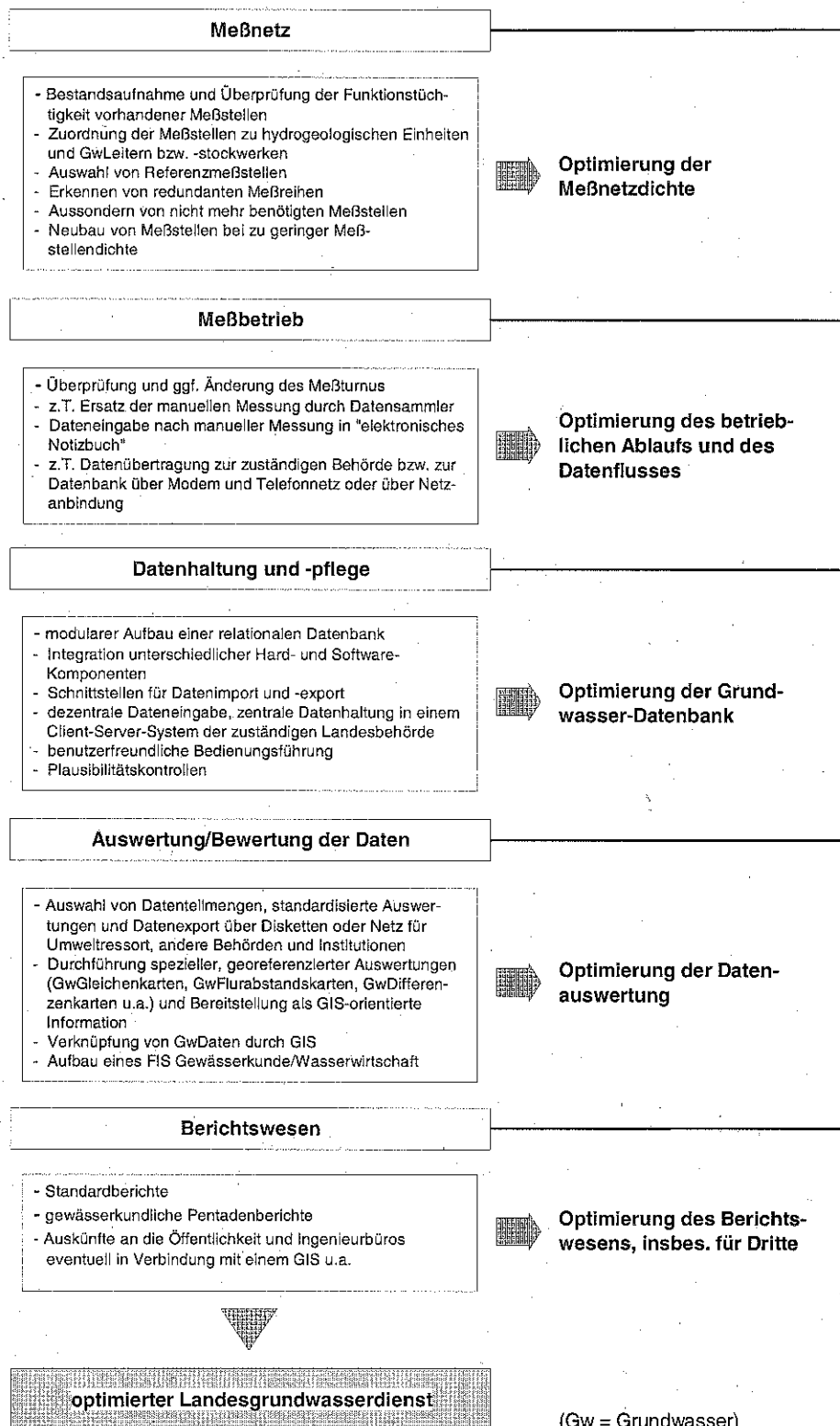


Abb. 2-1: Optimierungsschritte, abgestimmt auf die Aufgaben des Landesgrundwasserdienstes.

Die Einzelheiten werden in den Landeswassergesetzen und ergänzenden Verordnungen der Bundesländer, die für den Vollzug zustän-

dig sind, geregelt, während dem Bund die Rahmenkompetenz für den Wasserhaushalt obliegt. Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom

27.7.1957 (i. d. F. vom 12.11.1996) ist die Rahmenvorschrift für die Ausführungsgesetze der einzelnen Länder.

In einigen Bundesländern haben Wasserverbände die gesetzliche Verpflichtung, Grundwasserstände zu sammeln und zu bewerten, z. B. in Nordrhein-Westfalen u.a. geregelt im Erftverbandsgesetz, das in die Landesgesetzgebung eingebettet ist.

2.2. Optimierung in Teilschritten

Die Abb. 2-1 verdeutlicht die Spannbreite der Optimierungsmöglichkeiten. Auch wenn jeder Teilbereich für sich optimiert werden kann, läßt sich der größte Effekt jedoch nur erzielen, wenn alle Optimierungspotentiale ausgeschöpft werden, wobei eine integrale Betrachtungsweise unbedingt erforderlich ist. Kein Optimierungsschritt darf eine wesentliche Verringerung

des Informationsniveaus zum Ergebnis haben. Insofern ist eine Kostenreduzierung allein nicht ausschlaggebend, sie spielt aber eine gewichtige Rolle.

Für die Optimierung gelten zusätzlich folgende Grundsätze:

- Meßstellen, die zusätzlich der Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit dienen, müssen erhalten bleiben,
- Meßstellen mit langen Meßwertreihen haben Vorrang vor solchen mit kurzen Zeitreihen,
- Meßstellen, die auch Referenz- oder Beweissicherungsfunktion haben, dürfen nicht eliminiert werden,
- Gebiete mit Festgesteinen oder Lockergesteinen sind entsprechend ihrer hydrogeologischen und geohydraulischen Verhältnisse unterschiedlich zu betrachten.

3. Meßnetzgestaltung

Im Zusammenhang mit der Optimierung des Grundwasserdienstes kommt dem Teilschritt der Gestaltung des Meßnetzes eine besondere Bedeutung zu. Ein auf gewässerkundliche und wasserwirtschaftliche Fragestellungen ausgerichtetes Meßnetz läßt sich sinnvoll nur konzipieren, wenn fundierte Kenntnisse über die hydrogeologischen und hydrologischen Verhältnisse vorliegen. In der Konfiguration eines Meßnetzes und bei der Meßstellendichte muß sich die Differenzierung der grundwasserführenden Gesteine in Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter mit jeweils unterschiedlichen geohydraulischen Eigenschaften widerspiegeln. Im Hinblick auf die kommende Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 1999) sind auch die hydrologischen Grenzen von Flußgebietseinheiten zu berücksichtigen.

3.1. Abhängigkeit des Meßnetzes von den hydrogeologischen Verhältnissen

In der porösen Feststoffmatrix eines Lockergesteins ist der Grundwasserkörper i.allg. weitflächig ausgespiegelt, das Grundwasser strömt in der Regel laminar und mit relativ geringer Geschwindigkeit. In Festgesteinen sind Verwerfungen, Klüfte, Schichtgrenzen oder Abkühlungsfugen wasserwegsam; die Gesteinsdurchlässigkeit wird vor allem durch das Kluftsystem bestimmt.

Sind die Klüfte regelmäßig ausgebildet und gut vernetzt, bestehen in geohydraulischer Hinsicht Übergänge zu einem Porengrundwasserleiter. Überwiegend fließt das Wasser laminar, in Grundwasserleitern mit offenen Klüften oder Spalten kann es jedoch turbulent mit mittlerer bis hoher Geschwindigkeit strömen.

Eine Besonderheit stellen Karstgrundwasserleiter dar, für die der rasche Transport großer Wassermengen auf wenigen chemisch-korrosiv erweiterten Hohlräumen charakteristisch ist.

Aufgrund der vorstehend skizzierten Besonderheiten hat eine in einem Porengrundwasserleiter verfiltrierte Grundwassermeßstelle eine wesentlich größere Aussagekraft als eine Meß-

stelle im Festgestein. Somit müssen auch bei der Meßstellendichte Unterschiede gemacht werden: in einem Kluft- und vor allem in einem Karstgrundwasserleiter sollten Quellen als Meßstellen bevorzugt werden, da mittels Meßrohren die für Festgesteine typischen hydrogeologischen Verhältnisse bei vertretbaren Kosten kaum zufriedenstellend erfaßt werden können.

Unterschiede müssen auch gemacht werden u.a. im Hinblick auf die Aussagefähigkeit von Grundwassergleichenkarten, die benutzt werden, um z. B. Grundwassereinzugsgebiete abzugrenzen. Da diese Karten auf einer hinreichenden Anzahl von Grundwassermeßstellen basieren müssen, sind sie eine wesentliche Entscheidungshilfe in Gebieten mit Porengrundwasserleitern, jedoch häufig nicht in Kluftgrundwasserleitern, da die dafür notwendige Anzahl von Meßstellen nicht vorhanden ist und sich in der Regel mit vertretbaren Mitteln auch nicht bereitstellen läßt. Hier muß der Geologe nach Auswertung des tektonischen Inventars (z. B. anhand von Luftbildern), aufgrund der morphologischen Gegebenheiten, auf der Basis einer Quellenkartierung oder aufgrund der Ergebnisse von Markierungsversuchen hydraulisch wirksame Strukturen im Gelände erkennen und berücksichtigen.

3.2. Abgrenzung der Grundwasservorkommen

Um die Meßstellendichte in einem Grundwasserleiter bewerten und festlegen zu können, müssen als vorrangige Voraussetzung die Grundwasservorkommen in Abhängigkeit von den hydrogeologischen und hydrologischen Verhältnissen definiert und abgegrenzt werden. Die Erarbeitung der notwendigen Grundlagen für die Abgrenzung der Grundwasservorkommen muß grundsätzlich mit geologischem Sachverstand vorgenommen werden. Dabei sollten die in der Regel für die Bundesländer bekannten Gliederungen der Landesfläche nach hydrogeologischen Einheiten und Untergliederungen zugrunde gelegt werden (LAWA 1993). Zukünftig sind auch die Vorgaben der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 1999) im Hinblick auf den hydraulischen Zusammenhang zwischen Grundwasser und oberirdischem Gewässer in den Flußgebietseinheiten zu beachten.

Die genaue Kenntnis der geologischen und der daraus abgeleiteten hydrogeologischen Verhältnisse dieser Einheiten bildet die Grundlage für die Beschreibung der Grundwasserstockwerke und der Grundwasserströmungsfelder.

Die weitere Analyse des Naturraumes mit Berücksichtigung

- der hydrogeologischen und hydraulischen Charakteristika der Grundwasserleiter sowie
- des großräumigen horizontalen und vertikalen Wasseraustausches zwischen Grundwasserstockwerken

führt zu einer Differenzierung der Grundwasserfließsysteme (LAWA 2000) in

- Neubildungsgebiete,
- Durchflußgebiete und
- Entlastungsgebiete.

Diese Differenzierung bedeutet nicht, daß in Durchfluß- und Entlastungsgebieten keine Grundwasserneubildung stattfinden kann, allerdings hat sie geringere Auswirkungen auf das Strömungsfeld.

Anhand der Daten aus der Bestandsaufnahme (s. Kap. 4) sollten die Meßstellen im Rahmen der Meßnetzanalyse für die jeweiligen Grundwasserleiter bzw. Grundwasserstockwerke ausgewählt werden. Dabei ist das oberste Grundwasserstockwerk verstärkt zu beobachten, da es dem menschlichen Einfluß unmittelbar unterliegt und Änderungen des natürlichen Flurabstandes auch ökologische Folgen haben können. Tiefere Grundwasserleiter sind in Abhängigkeit von ihrer wasserwirtschaftlichen Bedeutung im Meßnetz zu berücksichtigen.

Auf der Grundlage der vorstehend beschriebenen Bewertungen und Analysen müssen die Grundwasservorkommen landesweit abgegrenzt werden. Lassen sich dazu Grundwassergleichkarten heranziehen, sollten sich diese auf typische hydrologische Situationen (Hoch-, Mittel-, Niedrigwasserstände) beziehen.

3.3. Meßstellenarten

Quantitative Grundwassermessungen werden überwiegend in gebohrten Meßstellen und an Quellen vorgenommen.

Die Ermittlung von Grundwasserständen und deren zeitliche Entwicklung hat für viele gewässerkundliche und wasserwirtschaftliche Fragestellungen eine fundamentale Bedeutung. Im Hinblick auf den Grundwasserhaushalt müssen jedoch die Grundwasserstände unter Berücksichtigung geohydraulischer Kennwerte in Grundwasserabflüsse umgerechnet werden.

Die auf gebohrte Meßstellen oder ehemalige Förderbrunnen bezogenen Meßwerte haben eine beschränkte Aussagekraft, d.h. es spiegeln sich in ihnen lediglich die Grundwasserhältnisse eines schmalen Stromstreifens wider.

Vor allem in Gebieten, in denen Festgesteine eine große Verbreitung haben, aber auch vielfach in Lockergesteinsarealen, bieten sich Quellen für die Beobachtung des Grundwassers mittels Schüttungsmessungen an. Die Grundwasserrichtlinie 4/95 (LAWA 1995) informiert ausführlich über die Bedeutung und die Möglichkeiten der Quellmessungen, wobei der qualitative Aspekt den Schwerpunkt bildet.

Wesentliche Vorteile der Quellenbeobachtung liegen in der

- Möglichkeit, Integralwerte für ein größeres Gebiet zu gewinnen,
- einfacheren Ermittlung von grundwasserhydrologischen Bilanzgrößen (z. B. Höhe der Grundwasserneubildung),
- Kosteneinsparung beim Einrichten der Meßstellen, da die Quellen häufig schon gefaßt sind bzw. für die Zwecke der Schüttungsmessung kostengünstig gefaßt werden können.

Für den Grundwasserdienst sind solche Quellen zu bevorzugen, deren Einzugsgebiet bekannt ist oder mit vertretbarem Aufwand bestimmt werden kann. Am geeignetsten sind Quellen, die an oberflächennahe Grundwasserleiter gebunden sind.

3.4. Meßnetzkonzeption

Das Grundwassermeßnetz soll weitgehend flächendeckend sein und eine differenzierte Struktur aufweisen, d.h. untergliedert in Netze unterschiedlicher Aufgabenstellung und daraus resultierender Anforderungen an die Meßstellen (LAWA 2000).

Das Grundnetz ist ein weitmaschiges Netz aus weitgehend unbeeinflussten Meßstellen (vgl. Abschn. 4.1) zur langfristigen Beobachtung des Grundwassers in größeren hydrogeologischen Einheiten.

Wenn genauere Informationen über die Grundwasserverhältnisse oder flächenhafte Aussagen (Grundwassergleichen) erforderlich sind, wird das Grundnetz verdichtet. Dabei können auch Meßstellen in Frage kommen, die z. B. durch Grundwasserabsenkung oder -aufhöhung stärker betroffen sind.

Sondernetze werden zum Bearbeiten lokaler grundwasserhydrologischer Fragen, z. B. in Verbindung mit Bauwerksplanungen oder Schadensfällen, in der Regel für eine begrenzte Zeit eingerichtet. Die Meßstellen sind je nach Aufgabe sehr unterschiedlich ausgebaut.

Im Zusammenhang mit den Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 1999) ist das Grundnetz als Basis der fortlaufenden Grundwasserüberwachung zu verstehen, das verdichtete Grundnetz und die Sondernetze bieten sich für die operative Überwachung an.

3.5. Meßstellendichte

Die flächenbezogene Anzahl der notwendigen Meßstellen hängt von der Art des Grundwasservorkommens ab. Je komplizierter der Grundwasserleiter aufgebaut ist, desto mehr Meßstellen sind erforderlich, um seine Charakteristik zu beschreiben. Festgesteine, insbesondere verkarstete, sind dabei anders zu bewerten als Lockergesteine, da die hydrogeologischen Verhältnisse weniger gut überschaubar und bewertbar sind. Bei Betrachtung der den Grundwasserleitern zugeordneten Meßstellen erhält man ein reales Bild der Meßnetzdicke, die in der Regel mit zunehmender Filtertiefe geringer wird. Dabei werden sehr schnell Gebiete mit zu wenig oder zu viel Meßstellen erkannt.

Verbindliche Kenngrößen über die Meßstellendichte können nicht vorgegeben werden. Diese schwanken gemäß Literaturangaben z. B. von

1 Mst./km² (BUCHER 1994) bis 1 Mst./100 km² (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 1992) und richten sich ganz entscheidend nach den speziellen Aufgaben des jeweiligen Meßnetzes und den örtlichen Gegebenheiten. Es sollten bei Entscheidungen zur Meßstellendichte die folgenden grundsätzlichen Kriterien beachtet werden:

- Ausmaß der Homogenität im Grundwasserleiter bzw. in der hydrogeologischen Einheit,
- ausreichende Erfassung von Schichtwechseln und von Störungszonen, wenn diese eine wesentliche Beeinflussung der Strömungsvorgänge in den Grundwasserleitern bewirken,
- ausreichend genaue Lokalisierung der unterirdischen Wasserscheiden/Einzugsgebiete möglichst anhand von Grundwassergleichenkarten, auch mit Bezug zum oberirdischen Gewässernetz.

Außerdem ist die Bedeutung des Grundwasservorkommens aus wasserwirtschaftlicher Sicht und/oder im Hinblick auf ökologische Fragestellungen/Beweissicherungen zu berücksichtigen.

Als Beispiel für eine optimierte Meßstellendichte seien die sog. Grundwasserleiterkomplexe (GWLK) im Land Brandenburg angeführt (Landesumweltamt Brandenburg 1997):

GWLK 1: 1 Mst. auf rd. 25 km²
weitgehend unbedeckt, vorwiegend bestehend aus weichsel- und jungsaalezeitlichen Sanden und Kiessanden; Grundwässer aus der Neubildung,

GWLK 2: 1 Mst. auf rd. 50 km²
weitgehend bedeckt, bestehend aus altsaale- und holsteinzeitlichen Sanden und Kiessanden mit hydraulisch wirksamen Schluffeinlagerungen; Mischwässer aus der Neubildung und statischen Grundwasservorräten,

GWLK 3: 1 Mst. auf rd. 60 km²
tieferer Grundwasserleiter in altquartären Schichten und miozänen und oligozänen Sanden oberhalb des Rupeltons; relativ mineralarme, statische Grundwasservorräte.

4. Bestandsaufnahme der Meßnetze und Meßstellen

Zur Bestandsaufnahme gehört das Erfassen und Beschreiben der vorhandenen Meßnetze und Meßstellen sowie das Bewerten im Hinblick auf die Konzeption des zu optimierenden Meßnetzes (s. Kap. 3).

Dabei gilt der Grundsatz, daß alle Meßstellen funktionstüchtig sein müssen und eindeutig den hydrogeologischen Einheiten (Grundwasserleiter, Grundwasserstockwerk) zugeordnet werden können. Die Meßstellen des Grundnetzes sollten auch für die Beobachtung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit geeignet sein (Ausbaudurchmesser und -material, Filteranordnung).

4.1. Vorprüfung

Die bestehenden Landesnetze enthalten in der Regel eine größere Anzahl von Meßstellen, die mit der Meßnetzkonzeption nicht übereinstimmen oder die Qualitätsanforderungen an Grund- oder Verdichtungsnetzmeßstellen nicht erfüllen. Es empfiehlt sich die Aussonderung solcher Meßstellen in einem ersten Arbeitsschritt, weil sich dadurch der Arbeitsumfang der weiteren Schritte der Bestandsaufnahme deutlich verringern kann.

Dieser Arbeitsschritt erstreckt sich auf alle Meßstellen und muß deshalb möglichst rationell abgewickelt werden. In der Anlage 1 ist eine Kriteriengruppe 1 vorgeschlagen, die ausschließlich nach Aktenlage ohne Untersuchungen an der Meßstelle selbst überprüft werden kann. Meßstellen sollten nur bei gravierenden technischen Mängeln oder sonstigen Ausschlußgründen (z. B. Trockenfallen, Verfilterung in mehreren Grundwasserleitern ohne Möglichkeit einer nachträglichen hydraulischen Trennung) ausgesondert werden. Eine Aussonderung ist auch im unmittelbaren Entnahmbereich von Förderbrunnen erforderlich. Ausgenommen sind Gebiete mit großräumiger Grundwasserspiegelabsenkung, z. B. im Zusammenhang mit Bergbau, flächenhaften Entwässerungssystemen oder landwirtschaftlicher Beregnung.

Nach dieser Vorgehensweise konnte z. B. in Schleswig-Holstein im Zuge einer ersten groben Bereinigung der Meßstellenbestand von 1.013 auf rd. 700 Meßstellen, d.h. um 31 %, reduziert werden. Ausgesondert wurden dabei auch defekte Meßstellen und Meßstellen gleicher Charakteristik in Verdichtungsgebieten. Den größten Anteil hatten aber Meßstellen im unmittelbaren Einflußbereich von Grundwasserentnahmen.

Am Beispiel eines Schadensfall- und Emittenten-Meßnetzes zur Überwachung einer Gruppierung von Deponien/Altdeponien und Industrieflächen mit Gefährdungspotential in Hamburg konnte im Rahmen einer Vorprüfung gezeigt werden, daß sich die Kosten um 40 % reduzieren lassen bei weiterhin voller Aufgabenerfüllung (GRIEGER & TAUGS 1996).

4.2. Überprüfung der Meßnetzdichte und Meßnetzstruktur

Diese Phase der Bestandsaufnahme baut auf der Abgrenzung der Grundwasservorkommen und den Überlegungen zur Meßstellendichte (s. Kap. 3) auf. Soweit möglich, sollten schon die Bereiche, in denen das Grundnetz verdichtet werden soll, festliegen. Auch ist es zweckmäßig, bereits die Grundwasservorkommen abzugrenzen, die vor allem mit Quellmeßstellen beobachtet werden sollen.

Vergleicht man Karten, in denen einerseits das „bereinigte“ Meßnetz (s. Abschn. 4.1) und andererseits das konzipierte Meßnetz dargestellt sind, lassen sich Bereiche mit zu geringer, angemessener und zu großer Meßstellendichte erkennen.

Unter den Meßstellen in Gebieten mit zu großer Dichte kann durch Ganglinienvergleiche unter Zuhilfenahme weiterer Kriterien, z. B. Länge der Beobachtungsreihen oder Zugänglichkeit, eine Auswahl getroffen werden; in Bereichen mit sehr vielen Meßstellen ist auch eine Auswahl mit statistischen Verfahren möglich bzw. sinnvoll (s. Kap. 5).

In Gebieten, die keine oder zu wenige Meßstellen für das angestrebte Meßnetz besitzen, ist die Bestandsaufnahme auf Grundwasser-

aufschlüsse auszudehnen, die der Landesgrundwasserdienst nicht nutzt. Das können Meßstellen anderer Meßnetzbetreiber, aufgelassene Wasserfassungen oder Versuchsbohrungen sein. Die Erhebung solcher Grundwasseraufschlüsse ist über die örtlich zuständigen Wasserwirtschaftsbehörden oder die Geologischen Landesämter möglich. Die Aufschlüsse sollten ebenfalls einer Vorprüfung gemäß Abschn. 4.1 unterzogen werden.

Die Überprüfung der Meßnetzdichte und -struktur ergibt als Zwischenergebnis der Bestandsaufnahme Karten und tabellarische Übersichten

- der voraussichtlich in das Grundnetz oder in Verdichtungsnetze zu übernehmenden staatlichen Meßstellen,
- der für das Grundnetz oder für Verdichtungsnetze voraussichtlich geeigneten sonstigen Meßstellen und Grundwasseraufschlüsse,
- der Bereiche mit zu wenigen Meßstellen und somit der Notwendigkeit des Meßstellenneubaus sowie
- der ausgesonderten Meßstellen, über deren weitere Nutzung oder Rückbau getrennt zu entscheiden ist (s. Kap. 6).

Die weiterzuverwendenden Meßstellen und die voraussichtlich als Meßstellen geeigneten sonstigen Grundwasseraufschlüsse werden im nächsten Schritt der Bestandsaufnahme einer ausführlichen Eignungsprüfung unterzogen (s. Abschn. 4.3). Befinden sich in einem Bereich, in dem eine Meßstelle gemäß Meßnetzkonzept vorgesehen ist, mehrere Meßstellen oder potentiell geeignete Grundwasseraufschlüsse, werden alle auf Eignung geprüft, um die jeweils beste Meßstelle auszuwählen.

4.3. Eignungsprüfung der Meßstellen

Für die Eignungsprüfung der Meßstellen und sonstiger Grundwasseraufschlüsse werden die Kriteriengruppen 2 und 3 der Anlage 1 herangezogen. Sie können sinngemäß auch bei Quellen angewandt werden. Zusätzlich zu klären bzw. zu prüfen sind bei Quellen der Quelltyp und die Abgrenzung des Einzugsgebietes in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Verhältnissen sowie die Möglichkeit der Schüttungsmessung (LAWA 1995).

Die Überprüfung anhand der Kriteriengruppen 2 und 3 verursacht einen erheblich größeren Aufwand als bei Kriteriengruppe 1. Er ist aber in mehrfacher Hinsicht gerechtfertigt, da sichergestellt wird, daß im optimierten Meßnetz nur voll funktionsfähige Meßstellen betrieben werden und deren Stammdaten vollständig dokumentiert sind. Die Untersuchungen zeigen außerdem Sanierungsmöglichkeiten auf, wodurch finanziell aufwendigere Meßstellenneubauten vermieden werden können.

Die Überprüfung nach Kriteriengruppe 2 verlangt eine Begehung und Kontrolle vor Ort und einfache Untersuchungen (Auffülltest, Tiefenlotung). Die Ergebnisse können in Anlage 2 zu dieser Empfehlung festgehalten werden.

Die Überprüfung nach Kriteriengruppe 3 erfordert aufwendige Maßnahmen, z. B. Entschlammung, Kamerabefahrung und geophysikalische Untersuchungen. Diese Maßnahmen werden nur bei den Meßstellen durchgeführt, welche die Kriterien der Gruppe 2 vollständig erfüllen und bei denen Verdachtsmomente bestehen. Sie sind außerdem bei tiefen Meßstellen angebracht, wenn zum Ausbau und zum Bohrprofil ungenügende Beschreibungen und Pläne vorliegen.

Nach Abschluß der ausführlichen Eignungsprüfung kann das Zwischenergebnis der Bestandsaufnahme gemäß Abschn. 4.2 überarbeitet und konkretisiert werden. Es liegen dann Pläne und Übersichten vor über Meßstellen und sonstige Grundwasseraufschlüsse,

- die uneingeschränkt für das optimierte Meßnetz geeignet sind; es kann auch schon eine Zuordnung zum Grundnetz und zu Verdichtungsnetzen vorgenommen werden,
- die nach Umbau oder Sanierung für das optimierte Meßnetz geeignet sind,
- die neu zu bauen sind,
- die nicht sanierbar sind oder nicht benötigt werden und über deren weitere Behandlung gemäß Kap. 6 zu entscheiden ist.

Der prinzipielle Ablauf der Bestandsaufnahme, die mehrstufig durchgeführt werden muß, um ein optimiertes Meßnetz zu erhalten, wird in Abb. 4-1 dargestellt. Wesentlich ist dabei, daß einzelne Schritte ggf. mehrfach wiederholt werden müssen (z. B. erneutes Aktenstudium, Meßstellenüberprüfung vor Ort), bis eine endgültige Entscheidung hinsichtlich der Eignung einer Meßstelle getroffen werden kann.

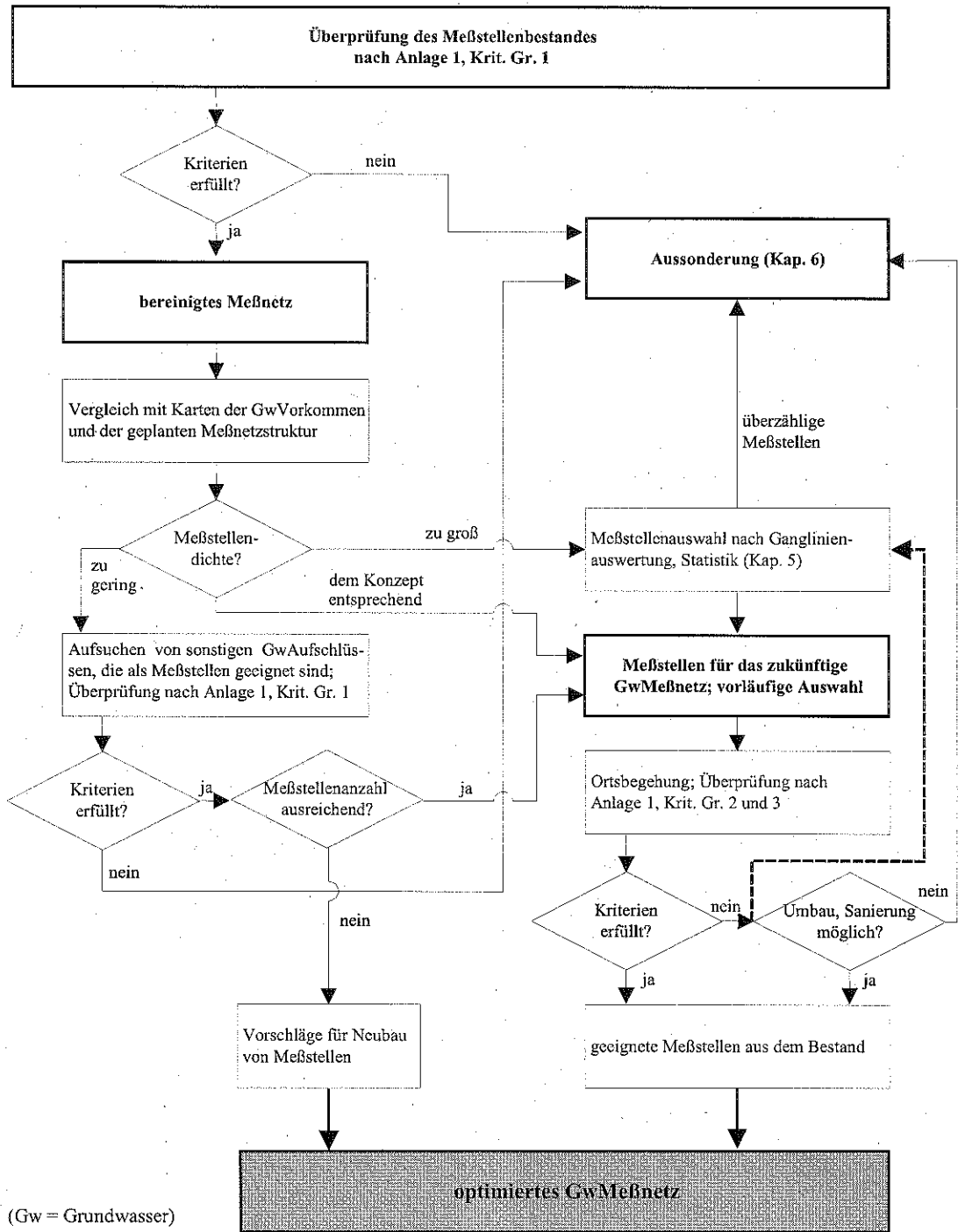


Abb. 4-1: Ablauf der mehrstufigen Bestandsaufnahme.

5. Optimierung von Meßnetzen mittels statistischer Verfahren und Modelle

Das Meßnetz des Landesgrundwasserdienstes umfaßt in der Regel sowohl Gebiete mit einer großen als auch mit einer unzureichenden Meßstellenanzahl. Hat die kritische Überprüfung der Meßnetze ergeben, daß im Hinblick auf die Aufgabenstellung die Meßstellenanzahl nicht optimal ist, muß ausgedünnt oder verdichtet werden. Dabei können statistische Verfahren Hilfe geben (z. B. SACHS 1984). Ihre Vorteile sind

- deutliche Minderung des Arbeitsaufwandes (bei Meßnetzen mit mehreren hundert Standorten) durch rechnergestützte Bewertungen,
- nachvollziehbare (Rechen-)Ergebnisse sowie
- objektivere Bewertung, da subjektiver Einfluß des Bearbeiters minimiert wird.

Bei allen Methoden dürfen nur vorgeprüfte und plausibilisierte Datensätze aus zusammengehörigen Grundwassersystemen verwendet werden, wobei die Verfahren auch selbst zur Plausibilisierung genutzt werden können.

Bei der Optimierung sind zwei Fragestellungen zu bearbeiten:

- Ähnlichkeit der Meßergebnisse von verschiedenen Meßstellen (z. B. Korrelationsanalyse, Clusteranalyse),
- Eignung des Meßnetzes zur Regionalisierung der Ergebnisse (z. B. Triangulationsmethoden, Krigingverfahren, Kalmanfilter).

Die Ähnlichkeit von Meßreihen darf nicht überbewertet werden: Zwei Meßstellen können für den Zeitabschnitt, aus dem Daten vorliegen, eine ähnliche Ganglinie aufweisen, ohne daß dafür derselbe ursächliche Zusammenhang existiert. In diesem Fall ist aus der Ähnlichkeit noch kein Grund zur eventuellen Aussonderung einer der beiden Meßstellen gegeben.

Grundsätzlich sollte die Aussonderung einer Meßstelle aufgrund einer Ähnlichkeitsbeziehung zu einer anderen Meßstelle dokumentiert

werden, da diese Information z. B. für Regionalisierungen bedeutsam ist. Für den Standort der ausgesonderten Meßstelle können die Grundwasserstände statt durch eine Messung durch eine Generierung von Daten ermittelt werden. Dies gilt, solange sich die Größen, die den Grundwasserstand bestimmen, an beiden Standorten nicht signifikant ändern. Dies ist durch gelegentliche Kontrollmessungen zu überprüfen.

Die kritiklose Aussonderung einer von zwei „ähnlichen“ Meßstellen würde jedoch zu unzulässigem Informationsverlust führen.

5.1. Korrelations-/Regressionsverfahren

Zum optischen Vergleich von Ganglinien ist die Differenzganglinie ein gutes Hilfsmittel. Sie reicht aber meistens nicht aus, um Abhängigkeiten zwischen Meßstellen festzustellen, insbesondere bei langen Zeitreihen.

Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Zeitreihen mittels linearer Regression erlaubt eine statistisch gesicherte Aussage über den analogen Verlauf der jeweiligen Meßwertreihen. Ein häufig verwendeter Ausschlußwert für die Annahme einer guten Korrelation ist 0,9, wobei sogar Korrelationskoeffizienten größer 0,95 keine Ausnahme sind.

Die Wahl des Ausschlußwerts hängt auch von den Zielvorgaben für das Meßnetz ab. Bei großräumigen Betrachtungen kann ein kleinerer Ausschlußwert als bei lokalen Betrachtungen oder Modelluntersuchungen toleriert werden.

Wenn zwei oder mehrere Meßstellen eindeutig korrelieren, muß überprüft werden, ob einige davon redundante Ergebnisse liefern und folglich entbehrlich sind, so daß ihre Anzahl dementsprechend reduziert werden kann. Zur Aussonderung werden dann diejenigen Meßstellen vorgeschlagen, die eine oder mehrere der folgenden Bedingungen erfüllen:

- die Meßreihe ist kürzer,
- die Meßreihe ist weniger zuverlässig,
- gehört nicht zum Grundwasserbeschafftheitsmeßnetz,
- für die Regionalisierung weniger wichtig.

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten ist relativ einfach und mit kommerziell erhältlicher Software durchzuführen. Bei großen Meßnetzen sind aber mit entsprechend hohem Aufwand sehr viele Koeffizienten $[(n-1) \cdot 0,5 n]$ zu berechnen. Eine grundsätzliche Einschränkung ist, daß eine Normalverteilung der Meßwerte vorausgesetzt werden muß, was für Grundwasserstandsdaten selten erfüllt ist. Wenn dieses Verfahren trotzdem angewendet wird, sollten mindestens Monatswerte aus 3 - 4 Jahren, besser noch längere Meßreihen, vorliegen, um aussagekräftige Koeffizienten berechnen zu können. Außerdem erschweren

- Lücken in den Meßreihen,
- unterschiedlich lange Meßreihen,
- unterschiedliche Meßzeitpunkte und
- variierender Meßturnus

die Berechnung der Koeffizienten.

Meßstellen können sehr gut korrelieren, obwohl die Grundwasserverhältnisse aufgrund von unterschiedlichen Beeinflussungen (z. B. durch oberirdische Gewässer oder Entnahmen) nicht übereinstimmen. Wenn trotz guter Korrelation keine Kausalzusammenhänge bestehen, dürfen solche Meßstellen nicht ausgesondert werden. Insofern sind die gebietsspezifischen hydrogeologischen Fachkenntnisse des Bearbeiters entscheidend für den Erfolg der Meßnetzüberprüfung mittels Korrelationskoeffizienten.

5.2. Clusteranalyse

Ziel der Clusteranalyse ist die Sortierung und Gruppierung von Meßstellen anhand der jeweiligen Zeitreihe der Meßwerte. Auf der Grundlage von Sortieralgorithmen werden Gruppen von Meßstellen berechnet, deren Meßwerte in sich möglichst homogen sind und sich untereinander möglichst weitgehend unterscheiden. Der Maßstab für die Ähnlichkeit und der Sortieralgorithmus sind in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung zu wählen. Zum Beispiel kann der Korrelationskoeffizient (s. Abschn. 5.1) zwischen zwei Zeitreihen als Bewertung der Ähnlichkeit zwischen den betroffenen Meßstellen herangezogen werden. In Baden-Württemberg wurde der „Abstand“ aus einem Vektor der Monatsmittelwerte von 1, 2 oder 10 Jahren, der Minimum-Maximum-Diffe-

renz (Range) und der Standardabweichung berechnet (WINGERING 1999).

Für die Suche nach der optimalen Konstellation der Meßstellen gibt es verschiedene Strategien. Die einfachste ist die mit kommerziellen Programmen verfügbare Erstellung eines Dendrogramms („Ähnlichkeitsbaum“), das verdeutlicht, wie bei fortschreitender Zusammenfassung von Meßstellen in einer Gruppe die Ähnlichkeit innerhalb der Gruppe abnimmt. Durch Abwägung zwischen angestrebter Ähnlichkeit und Anzahl der zusammengefaßten Meßstellen kann eine plausible Gruppierung gefunden werden. In Baden-Württemberg wurden so für ein Gesamtkontingent von 2.327 Meßrohren des Landesgrundwasserdienstes 200 Leitmeßstellen definiert (WINGERING 1999). Diese Leitmeßstellen werden für die aktuelle Berichterstattung benutzt.

Diese Vorgehensweise führt nicht automatisch zur optimalen Variante. Dafür wurde von GLUBRECHT et al. (1995) ein Verfahren beschrieben, das auf der systematischen Prüfung aller denkbaren Kombinationen von Meßstellen in Untergruppen beruht. Die Untergruppen sind dann optimal gewählt, wenn der schlechteste Korrelationskoeffizient zur Leitmeßstelle innerhalb jeder Gruppe möglichst groß wird. Mittels einer Leitmeßstelle bzw. ggf. ihrer Ersatzmeßstelle läßt sich mathematisch der Grundwasserspiegelgang von Meßstellen der gleichen Untergruppe vorhersagen. Allerdings muß die so zu bearbeitende Anzahl möglicher Konstellationen durch hydrogeologische Vorüberlegungen auf ein bearbeitbares Maß eingeschränkt werden. Für eine automatische Anwendung erscheint diese Suchstrategie für große Meßnetze somit als ungeeignet.

5.3. Kriging-Verfahren

Das Kriging-Verfahren beruht auf der Annahme, daß Werte von räumlich benachbarten Meßpunkten ähnlicher sind als die von weiter entfernten. Es wird davon ausgegangen, daß ab einer bestimmten Entfernung der Meßstellen voneinander die Meßwerte nicht mehr korrelieren. Die Ermittlung dieser Distanz ergibt den Radius des Bereichs, für welchen eine Meßstelle repräsentativ ist, und verdeutlicht dementsprechend die Bereiche mit unnötig hoher (Überlappung der repräsentativen Berei-

che) und mit zu geringer Meßnetzdicke. Das Verfahren liefert einen lokalen Schätzfehler für die Meßgröße „Grundwasserstand“.

Kriging ist ein räumliches Interpolationsverfahren. Diese Methode wurde bereits häufig zur Erstellung von Grundwassergleichenkarten eingesetzt. Kriging kann nur in Gebieten mit einer ausreichenden Anzahl von Meßstellen eingesetzt werden, da zur Erstellung eines aussagefähigen Variogramms mindestens 20 bis 30 Meßpunkte gefordert werden. Die zeitlichen Aspekte der Meßnetzanalyse werden standardmäßig nicht berücksichtigt. Kriging wird für Stichtagsmessungen angewandt, die unterschiedlichen Grundwasserspiegelgänge werden dabei nicht berücksichtigt. FANK & FUCHS (1996) haben aber gezeigt, daß sich in einem untersuchten Fall die Variogramme für 38 Zeitpunkte innerhalb von vier Jahren nur unwesentlich voneinander unterscheiden.

Für die Anwendung auf den Grundwasserstand müssen Kriging-Methoden verwendet werden, die einen räumlichen Trend (Drift) berücksichtigen können. Das Standardverfahren für diesen Fall ist das Universal Kriging.

Wesentlicher Vorteil des Kriging gegenüber der Regressions- und Clusteranalyse ist, daß damit Gebiete mit Kenntnisdefiziten, in denen eine Meßnetzverdichtung notwendig sein kann, identifiziert werden können.

Bereits Anfang der 80er Jahre wurde Universal Kriging zur Optimierung des Kansas-Aquifer-Meßnetzes genutzt (OLEA 1982). Dadurch konnte die Anzahl der Grundwassermeßstellen von 1749 auf 1135 verringert werden, ohne daß sich die mittlere Standardabweichung für das Meßnetz wesentlich verschlechterte. Bei Verwendung der eingesparten Mittel für die Beobachtung neuer Meßstellen konnte die maximale Standardabweichung auf 30 % reduziert werden. Neuere Anwendungen, z. B. von FANK & FUCHS (1996) für 251 Meßstellen im Leibnitzer Feld in der Steiermark, BUCHER (1994) für 138 Meßstellen im Gebiet der oberen Schwalm im deutsch-niederländischen Grenzgebiet oder DEMUTH & DESTUELLE (1997) für 37 Meßstellen im Böhlinger Kiesfeld bei Singen/Bodensee, haben gezeigt, daß durch die Anwendung dieser Methode die Meßnetzoptimierung objektiviert werden kann.

5.4. Nutzung von Modellen

Mathematische Modelle können in zweierlei Weise für die Optimierung des Landesgrundwasserdienstes genutzt werden. In die Überlegungen einzubeziehen sind sowohl numerische Grundwassermodelle als auch Niederschlags-Abfluß-Modelle (N - A-Modelle).

Ein kalibriertes Grundwassermodell stellt die bestmögliche Interpretation aller Kenntnisse über ein Gebiet dar. Für die Meßnetzgestaltung liefert es Hinweise auf die Bereiche, die engräumiger, besonders intensiv oder längerfristig beobachtet werden sollten. Einschränkend muß darauf hingewiesen werden, daß es sich in der Praxis bewährt hat, in Abhängigkeit von der Fragestellung verschiedene Modelle für das gleiche Gebiet aufzustellen; so kann z. B. ein Großraummodell nicht die Fragen beantworten, die im Zusammenhang mit der Bewahrung von Feuchtbiotopen von Bedeutung sind.

Weiterführende Überlegungen gehen in Richtung Ersatz der Grundwasserstandsmessung durch Berechnungen mit Modellen auf der Grundlage der Erfassung von Niederschlagsdaten (sog. N-A-Modelle). Solche Wasserhaushaltsmodelle werden zur Berechnung oberirdischer Abflüsse in großem Umfang erfolgreich eingesetzt, sie spielen u.a. für Hochwasser-Vorhersagen eine große Rolle. Die Entwicklung leistungsfähiger Wasserhaushaltsmodelle zur Vorhersage der Grundwasserstände ist hier noch im Gang.

Bei der Aufstellung solcher Modelle für große Gebiete ist zu bedenken, daß sie eine umfassende geologische und hydrologische Bestandsaufnahme, die u.a. eine große Anzahl von Grundwasseraufschlüssen voraussetzt, erfordern. Auch wenn ein Großteil davon stillgelegt werden kann, sobald das kalibrierte Modell zur Verfügung steht, erscheint es angesichts des erheblichen Aufwandes für die Modellierung und unvermeidlicher Unsicherheiten bei den Rechenergebnissen fragwürdig, für große Gebiete die Grundwasserstandsmessung durch eine mathematische Berechnung zu ersetzen. In Festgesteinsgebieten mit ihren spezifischen geohydraulischen und hydrologischen Eigenschaften ist dieser Weg sicherlich noch weniger gangbar.

6. Behandlung ausgesonderter Grundwassermeßstellen

Nach der Entscheidung, Grundwassermeßstellen aus dem staatlichen Meßdienst herauszunehmen, ist eine Klärung zur weiteren Verfahrensweise erforderlich, insbesondere wenn die Meßstelle im Eigentum und somit in der Verantwortung des Landesgrundwasserdienstes verbleibt. Hierbei kann zwischen folgenden Möglichkeiten gewählt werden:

- Übergabe der Meßstelle an Dritte,
- Sicherung der Meßstelle und Bestandserhaltung oder
- Meßstellenrückbau.

Da bei einer Meßnetzoptimierung wirtschaftliche Aspekte eine wesentliche Rolle spielen, muß von vornherein darüber Klarheit bestehen, daß eine Bestandserhaltung, vor allem aber ein fachgerechter Meßstellenrückbau ebenfalls mit Kosten verbunden ist.

6.1. Methodische Grundsätze

Das Handlungsschema der Abb. 6-1 zeigt die grundsätzliche Vorgehensweise. Bei der Behandlung ausgesonderter Grundwassermeßstellen ist zunächst festzustellen, ob die betroffene Meßstelle funktionstüchtig ist oder technische Mängel auch für die Zukunft eine Reparatur oder Sanierung ausschließen.

Eine Grundwassermeßstelle im ordnungsgemäßen und funktionstüchtigen Zustand stellt einen materiellen und fachlichen Wert dar. Es sollte daher nur in begründeten Ausnahmefällen und nach Ausschluß der Möglichkeit einer Übergabe an Dritte ein Rückbau erfolgen.

Nicht oder nur bedingt funktionstüchtige Meßstellen sind im Hinblick auf eine Sanierung zu überprüfen. Aus finanziellen Erwägungen ist aber eine Sanierung ausgesonderter Meßstellen in der Regel nicht wünschenswert und ein Rückbau sinnvoller.

Meßstellen müssen saniert oder rückgebaut werden, wenn Erkenntnisse vorliegen, daß von der betroffenen Meßstelle Gefahren für das Grundwasser ausgehen (Kontaminationen) bzw.

das Grundwasserströmungsfeld durch Vertikalströmungen beeinflusst werden kann.

Letztendlich sollten auch ästhetische Gesichtspunkte Beachtung finden, da Meßstellen über Flur unter Umständen eine Störung des Landschafts- bzw. Stadtbildes darstellen.

Die Möglichkeit einer Stilllegung, d.h. Herausnahme einer Meßstelle aus dem laufenden Meßdienst und gelegentliche Kontrolle des baulichen Zustandes, sollte bei funktionsuntüchtigen Meßstellen, die keine unmittelbare Gefahr für das Grundwasser darstellen, nur als Vorstufe einer Rückbaumaßnahme angesehen werden.

6.2. Rückbau von Grundwassermeßstellen

Beim Rückbau von funktionsuntüchtigen Meßstellen sind bei verrohrten Bohrungen bestimmte Kriterien einzuhalten.

Grundsätzlich hat der Rückbau von Beobachtungsrohren und von als Meßstellen benutzten ehemaligen Brunnen so zu erfolgen, daß die stauende Wirkung von hydraulisch wirksamen Trennschichten dauerhaft wiederhergestellt wird und keine Gefahr für das Grundwasser besteht.

Zur Vorbereitung einer Rückbaumaßnahme sollten folgende Unterlagen gesichtet werden:

- geologisches Schichtenverzeichnis,
- technischer Ausbau (Filterposition, Ausbaumaterial, Ausba Zeichnung),
- hydrologische Werte (Wasserstandsbeobachtungen, Ergebnisse von Pumpversuchen),
- hydrochemische Werte (Wasseranalysen),
- Ergebnisse von Funktionsüberprüfungen, geophysikalische Untersuchungen,
- Standort- und Eigentumsverhältnisse.

Diese Angaben können in der Regel der Meßstellenakte (Stammdaten) entnommen werden.

Um eine technisch einwandfreie Rückbaumaßnahme planen und durchführen zu können, sind gegebenenfalls zusätzliche Voruntersuchungen erforderlich, z. B. bei nicht fachgerecht errichteten Meßstellen oder bei unbekanntem Schichtenprofil.

Die fachlichen Arbeitsgrundlagen zu Sanierung und Rückbau von Grundwassermeßstellen sind dem DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 135, (DVGW 1998) zu entnehmen. Auf Grundwassermeßstellen anwendbare Verfahren sind in Anlage 3 aufgelistet (vgl. auch Freie und Hansestadt Hamburg 1997b).

Die dort aufgeführten Rückbauverfahren sind häufig - zumindest in Teilschritten - miteinander kombinierbar. Die Festlegung der ökologisch und wirtschaftlich günstigsten Variante wird dabei stets den jeweiligen Meßstellenverhältnissen anzupassen sein.

Nach Abschluß der Rückbaumaßnahme ist ein Abnahmeprotokoll anzufertigen. Festgestellte Abweichungen bei der Bauausführung sind zu dokumentieren. Die Unterlagen sind in der Meßstellenakte abzulegen.

6.3. Sicherung und Pflege von Grundwasseraufschlüssen

Verbleibt die ausgesonderte Meßstelle im Eigentum des Landesgrundwasserdienstes und wird von einem Rückbau abgesehen, sind für

die weitere Zukunft entsprechende Sicherungs- und Pflegearbeiten erforderlich, um ihre Funktionstüchtigkeit zu erhalten. Somit besteht weiterhin die Möglichkeit, bei Bedarf Messungen vorzunehmen, woraus sich ein vielseitiges Nutzungsspektrum ergeben kann, z. B. die eine ausreichende Anzahl von Meßstellen voraussetzende Beurteilung lokaler Grundwasserverhältnisse.

Schließlich ist auch eine Rückführung einer so vorgehaltenen Meßstelle in das Meßnetz des Landesgrundwasserdienstes möglich, sofern entsprechende Erfordernisse bestehen (z. B. bei einer neuen Aufgabenstellung, vgl. Kap. 1).

Der Grundwasseraufschluß ist zwecks Vorbeugung von Unfällen, materiellen Schäden sowie möglichen Kontaminationen des Grundwassers in einem ordnungsgemäßen Zustand zu erhalten. Hierzu sind Kontrollen vor Ort vorzunehmen, z. B. 1- bis 2mal im Jahr. In diesem Zusammenhang sind Messungen des Grundwasserstandes und Tiefenlotungen sinnvoll.

Bei Wiederaufnahme von regelmäßigen Messungen ist eine Funktionskontrolle durchzuführen.

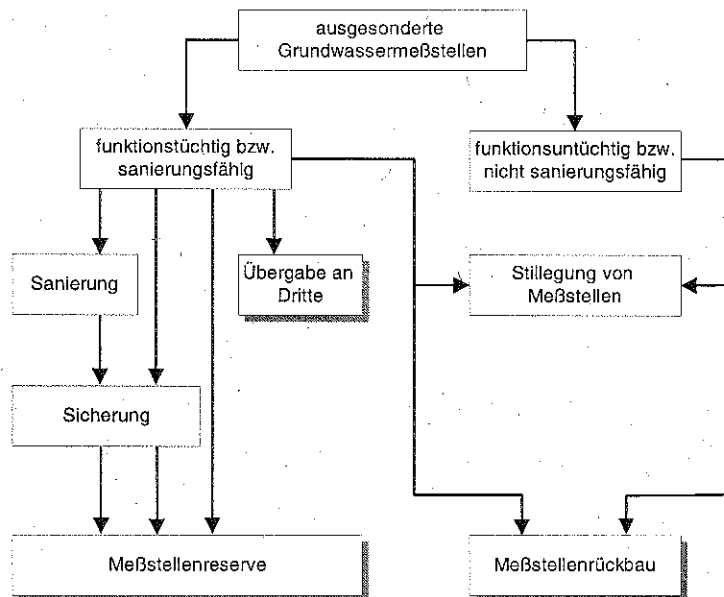


Abb. 6-1: Behandlungsschema für ausgesonderte Grundwassermeßstellen.

7. Meßturnus

Die Wahl eines geeigneten Meßturnus soll zu einer ausreichenden Informationsdichte und gegebenenfalls auch zu einer Kostenersparnis führen. Der Meßturnus bietet somit ebenfalls die Möglichkeit einer Optimierung des Meßdienstes. Die Grundlagen zur Festlegung des Meßturnus sind in der Grundwasser-Richtlinie 1/82 beschrieben worden (LAWA 1984). Danach reicht in der Regel eine Messung pro Woche, um die zumindest in Porengrundwasserleitern relativ langsam schwankenden Grundwasserstände (entsprechende hydraulische Kenngrößen vorausgesetzt) ausreichend zu dokumentieren.

Trotz unterschiedlicher hydrogeologischer und betrieblicher Gegebenheiten wird in den meisten Bundesländern wöchentlich gemessen. In Hamburg wird in Geestgebieten vierzehntäglich per Handlotung, bei Tideeinfluß entweder kontinuierlich mit Analogschreibern oder mittels Datensammler im 2-Minuten-Takt gemessen. Bremen hat vollständig auf Datensammler (z.Z. 2-Stunden-Takt außerhalb des Tidebereichs, 15-Minuten-Takt im Tidebereich) umgestellt.

Der zunehmende Einsatz von Datensammlern führt zu neuen Kriterien der Optimierung, da die Datenerfassung preiswerter ist als die herkömmliche Handmessung und die Übernahme der Meßwerte geringere Kosten verursacht und weitestgehend fehlerfrei verläuft. Dennoch gibt es nach wie vor gute Gründe, diese neue Technik nicht einzusetzen, insbesondere dann, wenn die Grundwasserstandsänderungen z. B. bei monatlichen Messungen mit ausreichender Genauigkeit dokumentiert werden können oder wenn neben den Investitionskosten (insbes. bei Quellschüttungsmeßstellen) noch hohe Wartungskosten anfallen. In Anlg. 4 ist eine Beispielrechnung für Wirtschaftlichkeit gegeben.

Der zu wählende Meßturnus ist im wesentlichen abhängig von

- der Charakteristik der Grundwasserspiegelschwankungen bzw. der Schüttung, die eigentlich nur durch eine kontinuierliche Meßwertregistrierung exakt erfaßt werden könnte, und

- den Aufgaben der Meßnetze unter Einbeziehung eventueller betrieblicher Aspekte.

7.1. Grundwasserstands- und Quellschüttungsschwankungen

Rasch wechselnde Grundwasserstände, z. B. in Tidegebieten, oder starke Schwankungen der Quellschüttung in Karstgrundwasserleitern erfordern eine hohe zeitliche Auflösung der Messung. Auch bei neu eingerichteten Meßstellen in hydrogeologisch noch nicht ausreichend erkundeten Gebieten ist eine kontinuierliche oder intensiviertere Erfassung der Grundwasserstände bzw. der Quellschüttung, zumindest in einer Übergangszeit zu Beginn der Beobachtung, gerechtfertigt.

Die natürlichen Grundwasserspiegelschwankungen bzw. die Quellschüttung werden im Hinblick auf Frequenz und Amplitude durch klimatische, hydrogeologische und hydrologische Standortfaktoren geprägt. Insbesondere spielen eine Rolle:

- Höhe, Art und jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge,
- Wasserhaushalt der ungesättigten Zone,
- Lage im Einzugsgebiet (Bereich der Grundwasserscheitelung, Durchflußgebiete, Nähe zum Vorfluter),
- Ausbildung der Deckschichten,
- Art der Grundwasseroberfläche (frei oder gespannt),
- Grundwasserflurabstand,
- Ausbildung des Grundwasserleiters, insbesondere geohydraulische Kenngrößen wie k_f -Wert und nutzbares Hohlraumvolumen,
- natürliches Grundwassergefälle,
- Tiefenlage des maßgebenden Grundwasserleiters,
- Grundwasserstockwerksgliederung.

Der Grundwasserspiegelgang bzw. das Schüttungsverhalten einer Quelle kann zusätzlich anthropogen beeinflusst oder sogar völlig überprägt sein.

Abb. 7-1 zeigt ein Beispiel für Ganglinientypen bei wachsendem Abstand von einem oberirdischen Gewässer.

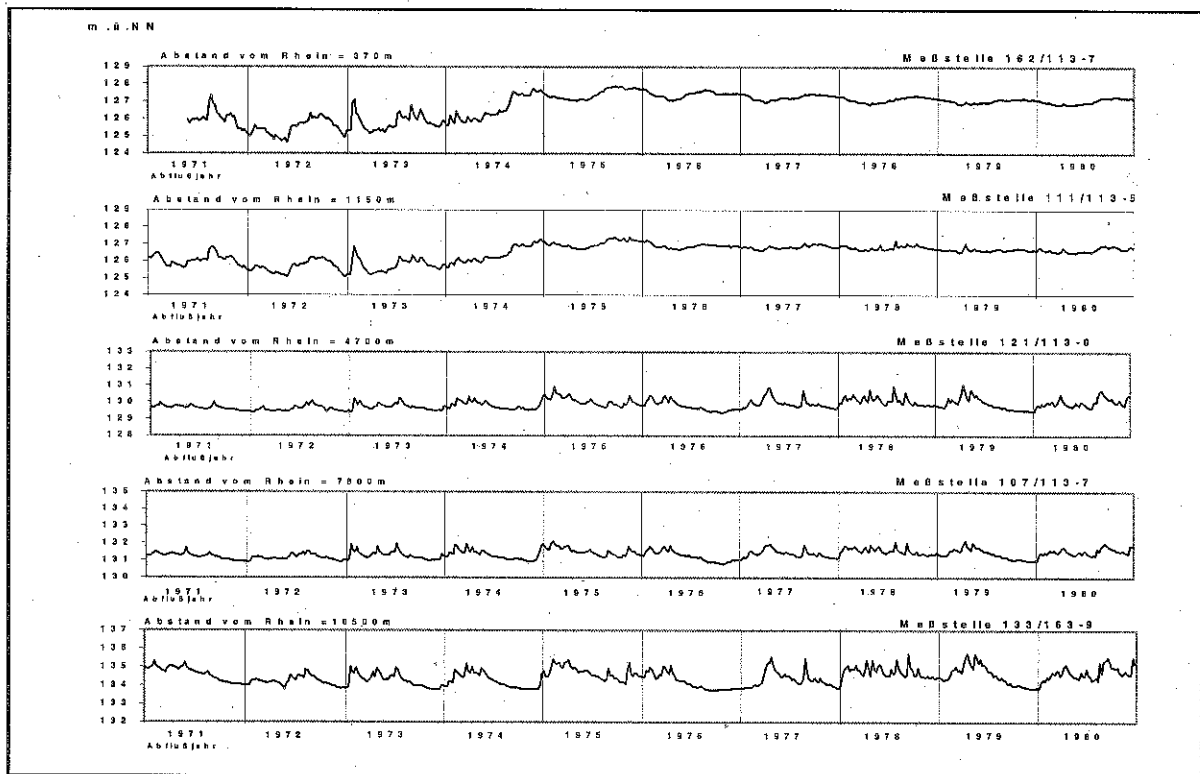


Abb. 7-1: Schwankungsverhalten des Grundwasserspiegels mit wachsendem Abstand von einem oberirdischen Gewässer, das seit 1974 staugeregelt ist. Deutlich wird der Einfluß der Staustufe an den Meßstellen 162/113 und 111/113.

In Abhängigkeit von Frequenz und Amplitude der Schwankungen läßt sich nach statistischen Überlegungen für die Erfassung der zu bestimmenden Größen (z. B. Mittelwert, Extremwerte, Über-/Unterschreitungsdauer) ein angepaßter Meßturnus bestimmen (MEW et al. 1997).

7.2. Anforderungen

Die Zielvorgaben an das Meßnetz bzw. der erwartete Nutzen des Meßnetzes spielen eine entscheidende Rolle bei der Festlegung des Beobachtungsturnus:

- Steht die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände im Vordergrund, genügen i. allg. nur Jahresmittelwerte. Der erforderliche Meßturnus (z. B. monatlich) ergibt sich aus dem zu ermittelnden Trend pro Zeiteinheit und der Varianz der Meßreihe.
- Die Ermittlung von Extremwerten kann beispielsweise im Hinblick auf die Abschätzung von Grundwasservorräten in Trockenperioden oder im Zusammenhang mit Baumaß-

nahmen erforderlich sein. In diesen Fällen ist ein kürzerer Meßturnus notwendig, weil das Schwankungsverhalten erfaßt werden muß. In BLAU et al. (1984) wird gezeigt, daß mit vierzehntäglichen Messungen die Jahresamplitude nur zu 75 – 93 % erfaßt würde.

- Für frühzeitige Situationsbeurteilungen kann eine besondere Aktualität der Meßergebnisse gefordert sein. In diesem Fall wird die Zuverlässigkeit der Aussagen durch häufigere Messungen verbessert.
- Für zahlreiche hydrogeologische Aufgabenstellungen (u.a. auch für die stationäre Kalibrierung von Strömungsmodellen) wird eine möglichst detaillierte regionale Erfassung der Grundwasserstände benötigt. Die dafür genutzten oder nur für diesen Zweck vorgehaltenen Meßstellen brauchen für Stichtagsmessungen nur fallweise oder halbjährlich beobachtet zu werden.

Für jede der genannten Anforderungen wird die statistische Zuverlässigkeit der Ergebnisse durch häufigere Messungen verbessert, solange keine hohe Autokorrelation auftritt.

7.3. Betriebliche Aspekte

Ein wesentlicher Gesichtspunkt, der in der Vergangenheit bei der Meßnetzplanung und anderen Komponenten des Meßdienstes oft vernachlässigt wurde, sind die jährlich anfallenden Pflege-, Beobachter-, Erfassungs- und Berichtskosten, wobei insbesondere die Wegekosten sehr ins Gewicht fallen können, da viele Meßstellen weit außerhalb von Ansiedlungen liegen.

Es kann davon ausgegangen werden, daß prinzipiell

- kontinuierlich anfallende Daten kurzfristig teuer (und langfristig fachlich oft nicht gerechtfertigt) sind,
- vierzehntägliche oder monatliche Messungen sich im Vergleich mit den Wochenmessungen als kostengünstig erweisen, wobei sie den fachlichen Genauigkeitsanforderungen nicht immer gerecht werden,
- die Beobachtungskosten von halbjährlichen Stichtagsmessungen zwar pro Meßstelle niedrig sind, wegen der Fixkosten die Einsparung im Vergleich zur Routinemessung jedoch nicht proportional ist.

Ein Nachteil von seltenen Stichtagsmessungen ist, daß der organisatorische Aufwand hoch und die Bereitstellung des einmalig benötigten Personals erfahrungsgemäß sehr schwierig sein kann.

Eine regelmäßige Beobachtung bewirkt sowohl eine gewisse Pflege der Meßstelle als auch eine dauernde Präsenz des für eine korrekte Messung erforderlichen Detailwissens der Beobachter. Auch zur Vereinfachung und Fehlervermeidung bei der Planung der Ablesetouren haben Messungen in nicht zu großen, regelmäßigen Zeitabständen große Vorteile.

Ein nicht zu unterschätzendes Argument für regelmäßige, routinemäßig durchgeführte Messungen sind die Belange der Datenauswertung. Gerade im Zusammenhang mit einer unbedingt erforderlichen Minimierung des Aufwandes sind Beobachtungs- und Auswertungsaufwand sorgfältig aufeinander abzustimmen. Automatische, arbeitssparende Plausibilisierungs- und Auswerterroutinen setzen nämlich bei der überwiegenden Anzahl von Methoden regelmäßige Zeitabstände der Messungen voraus, die über lange Beobachtungszeiten hinweg unverändert sein sollten.

8. Meßbetrieb und Datenfluß

Die heute angebotene digitale Meßwerterfassung bietet verschiedene Möglichkeiten der Optimierung des Meßbetriebes und des Datenflusses. Im einzelnen sind dies:

- Umstellen der Meßtechnik auf Datensammler (Datalogger),
- Einmessung des Meßnetzes nach Rechts- und Hochwerten sowie Höhe durch GPS (Global Positioning System),
- Verbesserung des Datenflusses durch geeignete Speichermedien oder Datenfernübertragung.

Eine technische Optimierung erfordert zunächst eine Analyse der vorhandenen Systeme und der bisherigen Praxis sowie der Anforderungen an das Meßnetz. Sie kann stufenweise unter Berücksichtigung der jeweiligen Erfordernisse erfolgen.

8.1. Umstellung auf digitale Meßwerterfassung

Die seit einigen Jahren angebotenen unterschiedlichen Geräte zur digitalen Meßwerterfassung machen - im Gegensatz zur üblichen analogen Aufzeichnung - eine nachträgliche manuelle Digitalisierung und die dafür notwendigen zeitaufwendigen und mit Fehlermöglichkeiten behafteten Eingabe- bzw. Übertragungsarbeiten überflüssig.

Da künftig die Preise für elektronische Geräte eher fallen werden, ist der Einsatz digitaler Technik in die Optimierungsmöglichkeiten einzubeziehen.

Es gibt folgende Meßwertgeber:

- Drucksonde im Grundwasser,
- Schwimmer und Gegengewicht, entweder mit
 - a) digitaler Aufzeichnung mit Winkelcodierer oder mit
 - b) analogem Geber mit Potentiometer,
- Drucksonde in luftgefüllter Druckkammer („Einperlprinzip“).

Eine generelle Empfehlung für ein System kann nicht gegeben werden. Die Einsatzmöglichkeiten werden durch Rohrdurchmesser, Amplitude der Grundwasserstandsschwankung und Flurabstand bestimmt, außerdem durch die Anforderungen an die Meßtechnik wie insbesondere Auflösung und Reproduzierbarkeit der Meßwerte, hohe Betriebssicherheit und Betriebsdauer (DVWK 1998).

Die Speicherkapazität der Datensammler ist eine Funktion des Speicherintervalls. Es sind Aufzeichnungen in unterschiedlichen Intervallen möglich (von einer Minute bis zu mehreren Tagen). Es können Einzelwerte oder vom Datensammler gebildete Mittelwerte gespeichert werden.

Es kann von Vorteil sein, daß der aktuelle Grundwasserstand in einem Display angezeigt wird und die Möglichkeit einer manuellen Korrektur des angezeigten Meßwertes gegeben ist. Wesentlich ist auch, daß Handlotungen, die im Hinblick auf eine Überprüfung des am Meßgerät angezeigten Grundwasserstandes unverzichtbar sind, ohne Ausbau des Gerätes möglich sind.

Die Auslesezeiträume werden von den erforderlichen regelmäßigen Kontrollen der Grundwassermeßstellen, nicht jedoch von einem eventuellen Überlaufen der Speicher bestimmt. Auslesezeiträume von drei Monaten sind problemlos möglich.

Das Auslesen der Datensammler kann mit einer Speicherkarte oder einem anderen geeigneten Speichermedium oder durch Datenfernübertragung per Kabel oder Funk erfolgen (s. Abschn. 8.3). Es sollte die Möglichkeit bestehen, sich die Ganglinie an der Meßstelle entweder mit einem Notebook oder einem anderen geeigneten Gerät ansehen zu können.

Die Stromversorgung der Datensammler sollte, soweit keine Leitungen vorhanden sind, über Batterien erfolgen. Um Datenausfälle zu vermeiden, sind die Batterien vor Einbruch des Winters auszutauschen. Der Einbau eines Blitzschutzes sollte vorgegeben werden.

Eine Stromversorgung durch Solarzellen ist wegen der Gefahr des Vandalismus und des daraus resultierenden Datenverlustes auf den Einzelfall zu beschränken.

8.2. Einmessung durch GPS

Das GPS ist ein Satellitennavigationsverfahren mit Anwendungsmöglichkeiten u.a. im Bereich der Ingenieurvermessung (HEIMBERG 1994). Das System ermöglicht eine hochgenaue, dreidimensionale Einmessung von Meßstellen.

Das GPS-Meßverfahren ist jedem anderen geodätischen Verfahren überlegen, insbesondere dann, wenn zwischen Referenzpunkt und Neupunkt keine Sichtverbindung besteht.

Die Genauigkeit bei der Einmessung von Grundwassermeßstellen ist eine Funktion des finanziellen Aufwandes. Selbst bei einer Genauigkeit ± 1 cm und unter der Voraussetzung, daß mehrere Meßstellen auf engem Raum eingemessen werden (durch einen Auftrag an ausgewiesene Fachfirmen), ist dieses Verfahren kostengünstiger als herkömmliche Methoden.

8.3. Datenübertragung

Die in digitaler Form vorliegenden Daten werden mittels Auslesegerät abgerufen und per Datenleitung oder geeignetem Speichermedium der auswertenden Stelle übergeben, wo sie überprüft und aufbereitet werden.

Die Vorteile einer direkten Datenfernübertragung, wie sie z. B. in Gewässergütemeßstationen an oberirdischen Gewässern oder bei Hochwassermeldepegeln eingesetzt wird, liegen in der schnellen Verfügbarkeit der Daten.

Da der anthropogen unbeeinflusste Grundwasserstand jedoch i.allg. nur langsam variiert, beschränkt sich die Datenfernübertragung im Grundwasserbereich auf Sonderfälle.

In diesem Zusammenhang sind die nachfolgenden Probleme zu beachten:

- Die Meßstellen sind in der Regel nicht an ein Telefonnetz angeschlossen. Eine Leitungsverbindung dürfte sich als sehr kostenträchtig erweisen, da die Kabeltrassen üblicherweise nicht in unmittelbarer Nähe der Meßstellen liegen.
- Die Übertragung der Daten per Funk kann zum einen wegen eventueller Überreichweiten und der damit verbundenen Problematik, zum anderen wegen Vandalismus problematisch sein.
- Die notwendige Stromversorgung ist selten gewährleistet. Eine Stromversorgung durch Solarzellen ist zwar möglich, aber ebenfalls wegen Vandalismus kritisch zu sehen. Hier bietet sich ein Betrieb durch Batterien an.
- Die Ausstattung der Meßstellen mit Telefonleitung oder weitreichendem Funk macht große Gehäuse erforderlich, die wiederum u.U. dem Vandalismus eine Angriffsfläche bieten können.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß eine Datenfernübertragung technisch sehr wohl möglich ist, ihr Einsatz muß sich jedoch am Bedarf sowie am notwendigen technischen Aufwand orientieren. Nachteilig ist, daß im Hinblick auf die Datenfernübertragung insbesondere per Funk noch zu wenig konkrete Erfahrungen vorliegen.

9. Datenführung

Die modernen Techniken der Datenverarbeitung bieten die Möglichkeit, mittels einer Optimierung der Datenführung den Grundwassermeßdienst insgesamt effektiver und auch attraktiver zu machen. Die hier vorhandenen Optimierungspotentiale sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft, beispielsweise im Hinblick auf

- Plausibilitätskontrollen, die ohne die EDV entweder sehr zeitaufwendig oder überhaupt nicht möglich sind,
- modularen Aufbau von multi-userfähigen Client-Server-Systemen oder
- Einsatz von Geographischen Informationssystemen (GIS) für die Auswertung der raumbezogenen Grundwasserdaten.

Die Datenhaltung kann auf einer zentralen Datenbank oder auf lokalen Datenbanken (als Teilmenge einer zentralen Datenbank) erfolgen. Das System muß jedoch folgende Bedingungen erfüllen:

- Datenveränderungen in den lokalen Datenbanken und in der zentralen Einheit müssen gekoppelt sein,
- Datensätze unterschiedlichen Inhalts oder unterschiedlicher Aktualität müssen ausgeschlossen sein,
- die Benutzungsoberfläche sollte für alle Nutzer einheitlich gestaltet sein,
- es müssen Schnittstellen für Standardsoftware vorhanden sein.

Bei dezentraler Eingabe und Fortschreibung von Stamm- und Meßdaten empfiehlt es sich, sogenannte Verfahrenskontrollen vorzusehen, die es der zentralen Organisationseinheit (und weiteren Interessenten) ermöglicht, die Übersicht über Aktualität und Vollständigkeit des Datenbestandes zu behalten. Bewährt haben sich folgende Routineabfragen:

- Vollständigkeit der Meßreihen, d.h. Soll-Ist-Vergleich anhand des gespeicherten Beobachtungsurnus (i.allg. jeweils das letzte Halbjahr oder Jahr),
- Meßdatenübersicht (je Meßstelle der letzte Turnus und Meßwert mit Datum) für alle noch betriebenen Meßstellen,
- Zu- und Abgänge am Meßstellenbestand, Änderungen bei Stammdaten.

Die Verfahrenskontrollen sollten zu festgelegten Terminen ablaufen und mit Mahnverfahren gekoppelt sein.

Der reibungslose Ablauf ist besonders wichtig, wenn

- aktuelle Auskunftspflicht besteht und
- ein Datenaustausch mit Dritten zu festen Terminen verabredet ist.

9.1. Datenaufbereitung

Von der Erfassung bis zur Eingabe in die Datenbank ist ein Meßwert vielen Fehlermöglichkeiten ausgesetzt. Hierzu gehören:

- Verwechseln/Vertauschen der Meßstellennummer oder sonstiger Identifikationsmerkmale,
- Meßfehler, Ablesefehler, Schreibfehler,
- Eingabe-/Übertragungsfehler in die EDV.

Nachträgliche Fehlerkorrekturen sind i.allg. zeitaufwendig und nicht immer möglich. Daher sind Plausibilitätskontrollen frühzeitig vorzunehmen. Diese beginnen schon vor Ort, so daß bei Widersprüchen der Ableser eine zweite Messung durchführen kann.

Da die Fehlermöglichkeiten je nach Meßverfahren, Geräteeinsatz und Datenfluß unterschiedlich sind, bieten sich mehrstufige Plausibilitätskontrollen an (Anlage 5).

Mittels moderner Technik (vgl. Kap. 8) lassen sich Eingabe- und Übertragungsfehler weitgehend ausschließen. Beim Einsatz von elektronischen Handgeräten mit anschließender Übertragung per Modem oder direkter Fernübertragung per Funk können die Daten ohne "menschliche Zwischenschritte" auf weiterverarbeitende PCs und Datenbanken übermittelt werden, was in die Optimierungsüberlegungen bei Umstellung auf moderne Technik bzw. bei Kosten-Nutzen-Überlegungen einzubeziehen ist.

Neben den Plausibilitätskontrollen auf Vollständigkeit und formale Richtigkeit sind die Meßdaten auch auf inhaltliche Richtigkeit zu überprüfen. Für das Erkennen von Ausreißerwerten im statistischen Sinne kann bei großen Meßnetzen und langen Meßreihen eine konventionelle Kontrolle (z. B. Vergleich der Meß-

protokolle mit einem Listenausdruck der Datenbank) sehr aufwendig sein. Hier stellt sich die Frage einer automatisierten Fehlererkennung mit Hilfe der EDV. Es bieten sich je nach Charakteristik der Ganglinie verschiedene Methoden an.

JOPPICH & SCHLAPKOHL (1996) beschreiben Möglichkeiten der computergestützten Fehlererkennung, weisen aber daraufhin, daß eine Fehlererkennung allein mit Hilfe statistischer Verfahren aufgrund von unterschiedlichen Charakteristiken nicht für alle Meßstellen möglich ist. Der Einsatz automatischer Kontrollen bringt insbesondere bei heterogenen Datenbeständen weder eine wesentliche Arbeitersparnis noch eine größere Sicherheit. Vielmehr werden EDV-gestützte visuelle Kontrollen empfohlen. Geeignete Software bietet u.a. die Möglichkeit, mehrere Ganglinien in einem Diagramm vergleichend zu betrachten, so daß Unregelmäßigkeiten für den Betrachter leichter erkennbar werden.

9.2. Weiterentwicklung der Datenbanken

Die Grundwasserdatenbanken der Länder sind in der Vergangenheit i.allg. als Großrechneranwendung konzipiert und umgesetzt worden. Dies war beim damaligen Stand der Technik und der Menge der Daten nicht anders möglich. Der Umgang mit den gespeicherten Daten war sehr schwerfällig und benutzerunfreundlich, so daß die Nutzung „Insidern“ vorbehalten blieb. Preisgünstige Software für PC zur Weiterverarbeitung der Daten (u.a. graphische Darstellung, statistische Auswertungen) konnte nicht genutzt werden. Nachteilig war auch, daß die Datenspeicherung zentral auf einer von allen Anwendern gemeinsam benutzten Servermaschine erfolgte, jedoch sämtliche Datenmanipulationen auf dem Rechner des Anwenders ausgeführt wurden. Diese Variante der Datenhaltung hatte hohe Netzlasten, lange Wartezeiten und zahlreiche Systemabstürze zur Folge.

Aufgrund der schnellen Weiterentwicklung der Datenverarbeitungs- und Informationstechnik und der seit Jahren zu beobachtenden Abkehr von ausschließlich zentralen Datenbanken müssen auch im Bereich der Grundwasserdatenbanken neue Überlegungen angestellt werden.

Der in Unternehmen, aber auch Behörden geschaffene Informationsverbund über ein Netzwerk bietet verbesserte Chancen für den schnellen und direkten Informationsfluß.

Neben diesen Technikveränderungen hat sich in den letzten Jahren auch gezeigt, daß die Anforderungen der Nutzer an die Datenbank, insbesondere hinsichtlich der Auswertung der Grundwasserdaten, sehr unterschiedlich sind. Dementsprechend uneinheitlich sind die eingesetzten Hard- und Softwarekomponenten.

Eine Lösung für die neuen Anforderungen stellen die modernen Client-Server-Systeme dar, wobei der als Netzwerkzentrale betriebene Server sämtliche Datenmanipulationen auf seiner lokalen Festplatte ausführt. Dazu erhält er vom Nutzer alle notwendigen Befehle. Der Server übernimmt außerdem Aufgaben der Sicherstellung der Datenkonsistenz bei mehrfachem Benutzerzugriff. Um die Kommunikation zwischen Datenbank-Server und Anwendungsprogrammen zu ermöglichen sowie die Datenübertragung sicherzustellen, muß eine Netzwerkschnittstelle zwischen Datenbank- und Benutzerprozessen installiert werden.

Das neue Konzept besteht in einer zentralen Datenhaltung einerseits und unterschiedlichen Nutzern bzw. an das System angeschlossenen unterschiedlichen Hard- und Softwarekomponenten andererseits. Es nutzt zur Datenübertragung vorhandene Verbundsysteme. Im Falle ihres Fehlens dienen besondere Schnittstellen zur Übertragung.

Auf die Fragestellung einer Optimierungsmöglichkeit übertragen bedeutet dies, daß Client-Server-Systeme eine zentrale Datenhaltung, z. B. in Form einer relationalen Datenbank, bieten, die zentral gepflegt wird. Die Eingabe bzw. das Einspielen der Daten erfolgt nach Plausibilitätskontrollen entweder zentral durch die den Server betreibende Dienststelle (die in der Regel auch den Landesgrundwasserdienst betreibt) oder dezentral durch regionale Dienststellen, Wasserverbände, Wasserversorgungsunternehmen u.a.

Im Gegensatz zur bisherigen Praxis sollten zur Erzielung einer benutzerfreundlichen Programmführung Plausibilitätsprüfungen möglichst frühzeitig erfolgen (s. Abschn. 9.1). Moderne Eingabemasken sind so programmierbar, daß trotz parallel ablaufender Plausibili-

tätskontrollen die Verarbeitungsgeschwindigkeit nicht merklich beeinträchtigt wird.

Der wesentliche Vorteil eines modularen Aufbaus liegt in der Möglichkeit, die Komponenten in diesem System unabhängig von den Hard- und Softwarekomponenten verändern und weiterentwickeln zu können. Mit dem Einsatz einer offenen Systemumgebung wird somit die technologische Zukunftsorientierung gewährleistet.

9.3. Anwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS)

Für zahlreiche wasserwirtschaftliche Fragestellungen müssen unterschiedliche Flächen- und Punktinformationen räumlich verknüpft werden. Sowohl für die Erstellung von Grundwassergleichen- oder Flurabstandskarten als auch für weitergehende Verknüpfungen mit anderen Umweltdaten (Klimagrößen, Topographie, Flächennutzung usw.) bietet sich die Bereitstellung der Grundwasserdaten als GIS-orientierte Information an.

Wesentlich ist, daß das GIS kompatibel zu Fachinformationssystemen (FIS) ist, die gegenwärtig in allen Bundesländern aufgebaut werden.

Voraussetzung für die GIS-Nutzung ist, daß die räumlich zu verknüpfenden Punkt- und Flächeninformationen georeferenziert, d.h. auf einheitliche Koordinatensysteme und -formate bezogen sind.

Die wichtigsten Vorteile eines Geographischen Informationssystems sind:

- Integration aller verwendeten Daten in eine einheitliche Basis, der bislang übliche Datentransfer ist nicht mehr erforderlich.

- GIS bietet zahlreiche Funktionen für die Wandlung von Daten mit Unterschieden in Struktur bzw. Format, was die Nutzung aus fremden Quellen erleichtert; z. B. Satellitendaten zur Klassifikation der Flächennutzung.
- GIS erlaubt die Anwendung komplexer hydrologischer Modelle mit räumlichem Bezug; ALBRECHT & GROSSMANN (1995) nennen u.a. die Auswirkung der Grundwasserneubildung auf Grundwasserstandsschwankungen oder Wasserbilanzen für mehrere zusammenhängende Grundwasserleiter.
- GIS bietet Analysefunktionen, die Plausibilitätstests bei Daten mit räumlichem Bezug nachhaltig erleichtern. Damit können z. B. Diskontinuitäten in raumbezogenen Daten lokalisiert oder Widersprüche zwischen zwei Datenebenen erkannt werden.
- Mittels GIS können Sensitivitätsanalysen für räumliche Modelle durchgeführt werden, um den Einfluß der verschiedenen Parameter auf die Berechnungsergebnisse zu untersuchen.
- Dies wiederum ermöglicht Prognosen auf der Basis verschiedener Szenarien über die Veränderung von Einflußfaktoren der modellierten Prozesse.

Neben den genannten Möglichkeiten ist der Vorteil der GIS-Auswertung der Daten auch in einer verbesserten Berichterstattung zu sehen (vgl. Kap. 10), die auch im Hinblick auf EU-Gesetze, insbesondere im Zusammenhang mit der kommenden Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 1999), immer mehr Bedeutung gewinnt.

Der Einsatz eines GIS sollte heute Standard sein, da es in Verbindung mit einer leistungsfähigen Datenbank nicht nur im Hinblick auf die Datenauswertung und die Analyse der grundwasserhydrologischen Situation erhebliche Vorteile bietet, sondern auch die Erstellung von Grundwasser-Karten wesentlich vereinfacht.

10. Berichtswesen

Der mit der Einrichtung eines Grundwassermeßnetzes, der Gewinnung von Meßwerten und deren Verarbeitung in EDV-Anlagen verbundene große Aufwand hat letztlich die Zielsetzung, über die Grundwassersituation zu informieren. Im Hinblick darauf, daß das Berichtswesen nicht nur auf die Bedürfnisse der Wasserwirtschaftsverwaltung bzw. der Umweltbehörden zugeschnitten ist, sondern immer mehr nationale und supranationale Bedeutung bekommt (Datenaustausch Bund-Länder und mit der EU), besteht die Notwendigkeit, auch das Berichtswesen zu optimieren. Das gilt umso mehr, als das Optimierungspotential in diesem Bereich bislang nur wenig ausgeschöpft worden ist.

Das auf das Grundwasser bezogene Berichtswesen beinhaltet mit oder ohne Benutzung handelsüblicher oder fachspezifisch programmierter Software u.a.:

- einfache Auskünfte über Grundwasserstände oder Quellschüttung innerhalb des Ressortbereichs und gegenüber Dritten, wie insbesondere Ingenieurbüros und Öffentlichkeit,
- Datenbankauszüge, meistens für Dritte (andere Behörden, andere Bundesländer, Ingenieurbüros, Hochschulen),
- Auswertungen (einschl. Statistik) in Form von Standardberichten bis hin zu umfangreichen fachlichen Stellungnahmen i. allg. für den Ressortbereich, z.T. auch für andere Behörden und für Dritte,
- graphische Darstellung der Meßwerte in Form von Ganglinien des Grundwasserstandes bzw. der Quellschüttung mit oder ohne weitergehende Erläuterungen (z. B. als Bestandteil von Berichten oder Stellungnahmen), meistens für Behörden, aber auch für Ingenieurbüros,
- Erstellung gewässerkundlicher Fünfjahresberichte insbesondere im Hinblick auf die Quantifizierung des Grundwasserhaushaltes,
- Kartendarstellung der Grundwassergleichen, Flurabstände oder Grundwasserspiegeldifferenzen (unterschiedliche Stichtage oder unterschiedliche Grundwasserleiter), mit oder ohne weitergehende Erläuterungen, für den Ressortbereich, häufig auch von Dritten angefordert,

- Meßstellen-Karten mit Differenzierungen, z. B. mit Kennzeichnung der Zugehörigkeit der Meßstellenfilter zu bestimmten Grundwasserleitern oder Art der Meßstellen, überwiegend für den Ressortbereich.

In Zukunft werden Tabellen, Berichte, Stellungnahmen, Diagramme und Karten nicht nur auf Papier oder elektronischen Datenträgern (Diskette, CD) gespeichert und transferiert, sondern auch per e-mail.

Der Landesgrundwasserdienst sollte auch die modernen Informationsmedien nutzen. Wenn das Client-Server-Prinzip realisiert ist, können Wasserwirtschaftsämter, Staatliche Umweltämter u. dgl. über Intranet auf den vom Landesgrundwasserdienst verwalteten Datenpool dezentral zugreifen. Wird Internet genutzt, können Gangliniendiagramme, thematische Karten u.a. digital in einer speziellen Datenbank so gespeichert werden, daß ein externer online-Zugriff möglich ist. Dabei sind aber in jedem Fall die Zielgruppe und deren z.T. sehr unterschiedliche Interessen zu beachten (z. B. Ausbau, Schichtenverzeichnis, Lageskizzen oder Photos von Meßstellen, Karten der Grundwasserflurabstände, Grundwasserhöchst- und -tiefststände). Ein Ausdruck von Lageplänen, Gangliniendiagrammen u.a. beim Auskunfts-suchenden sollte genau so möglich sein wie die direkte Übermittlung der gewünschten Informationen per Fax.

Vorteil der Einspeisung von Berichten, Diagrammen, Tabellen und Karten in Kommunikationsnetze ist, daß Texte nur unwesentlich geändert und Tabellen sowie graphische Darstellungen lediglich um neue Daten ergänzt werden müssen, um das Berichtswesen auf einem aktuellen Stand zu halten. Der Zeit- und Kostenaufwand für das Drucken von Berichten wird minimiert, gleichzeitig entnimmt der „Kunde“ nur die ihn interessierenden Informationen, und dies zu jeder Zeit und ohne dabei das Personal des Landesgrundwasserdienstes zu binden.

Eine Optimierung des Berichtswesens bietet sich vor allem dort an, wo bereits auf elektronisch gespeicherte Daten zurückgegriffen werden kann. In diesem Falle lassen sich z. B. umfangreiche statistische Auswertungen, die Bestandteil einer Stellungnahme sein sollen, durch Erstellung von sog. „Makros“ teilweise automatisieren. Das gleiche gilt für die Erarbei-

tung von Themenkarten, indem programmierte Schablonen ein einheitliches, leicht realisierbares Kartenlayout ermöglichen.

Die Bereitstellung von Daten mittels eines sog. „Info-Rechners“ für die Öffentlichkeit wird eine

merkliche Entlastung der Fachbehörden mit sich bringen (Freie und Hansestadt Hamburg 1997a). Dabei ist jedoch zu beachten, daß nach § 203 StGB die Daten Dritter geschützt sind und daher ohne deren Zustimmung nicht weitergegeben werden dürfen.

11. Mögliche Vergabe von Teilaufgaben an private Auftragnehmer

Ein spezieller Aspekt der Optimierung des Grundwasserdienstes können Überlegungen zu einer Vergabe von Aufträgen an Dritte sein. Da aber der Grundwasserdienst im wesentlichen in staatlicher Verantwortung verbleiben muß, ist nur eine Verlagerung von Teilaufgaben möglich. Obwohl dies nur in einem sehr beschränkten Umfang stattfinden kann, wird dadurch das Fachpersonal in der Wasserwirtschaftsverwaltung immerhin von Routineaufgaben entlastet.

Für eine Vergabe von Werkverträgen bieten sich in erster Linie Teile des Meßbetriebes an, zumal bereits schon seit Jahrzehnten Privatleute auf der Basis von Einzelverträgen Grundwasserstände und Quellschüttungen messen. Zur Diskussion gestellt werden können:

- Gewinnung der Grundwasserdaten
 - Erfassen der Grundwassermeßwerte wie bisher und Eintragen in das Beobachterbuch,
 - Auslesen der Grundwasserdaten mittels Speicherkarten oder ähnlichem aus Datensammlern in regelmäßigen Abständen,
 - Abloten der Grundwasserstände und ggf. Korrektur des Meßwertes am Datensammler,
 - Eingabe oder Einlesen der Daten in einen Rechner,
 - Überprüfung der Rohdaten auf Plausibilität und ggf. Korrektur,
 - Sicherung der Daten,
- Unterhaltung der Meßstellen
 - regelmäßige Überprüfung der Meßstellen beim Messen bzw. beim Auslesen der Daten auf Funktionstüchtigkeit,
 - Austauschen eventuell defekter konventioneller Registriereinrichtungen bzw. Datensammler und Ersatz durch Austauschgeräte,

- Vorhalten von Austausch-Datensammlern,
- Auswechseln der Batterien von Datensammlern sowie regelmäßiges Überprüfen des Spannungszustandes,
- Pflege der Meßstellen
 - Freischneiden der Meßstelle von Bewuchs, Gewährleistung eines ungehinderten Zugangs,
 - Entschlammn der Grundwassermeßstellen (durch Fachfirma durchzuführen),
- Einmessen der Meßstellen
 - Einmessen von Grundwassermeßstellen mit konventionellem Hin- und Rücknivelllement oder mittels GPS.

Die mögliche Vergabe dieser Teilaufgaben an Dritte tangiert nicht originäre hoheitliche Aufgaben. Erst die Bewertung der Grundwasserdaten und die daraus resultierenden Entscheidungen sowie der damit ggf. verbundene Eingriff in Rechte Dritter tragen hoheitlichen Charakter (z. B. Ausweisung von Wasserschutzgebieten, Erteilung von Bewilligungen oder Erlaubnissen zur Entnahme von Grundwasser, Auflagen im Zusammenhang mit Grundwasseranierungen).

Wesentlich ist, daß der private Dienstleister die Wahrnehmung der Aufgaben ganzjährig gewährleistet und über die erforderliche Qualifikation verfügt. Die Notwendigkeit der Kontrollen durch den Auftraggeber ist davon unberührt; diese sind grundsätzlich stichpunktartig durchzuführen.

Eine Vergabe von Teilaufgaben wird nicht zwangsläufig eine Kostenersparnis zum Ergebnis haben. Außerdem kommt insbesondere dann, wenn der Meßdienst stark parzelliert wird, ein erheblicher Koordinierungsaufwand auf die Mitarbeiter zu, die den Landesgrundwasserdienst organisieren. Weiterhin kommen die Ausschreibung und die Vergabe von Leistungen, die Durchführung der Kontrollen und die Abrechnung als zusätzliche Aufgaben hinzu und zehren einen Teil der Entlastung wieder auf.

12. Literatur

- ALBRECHT, M. & GROSSMANN, J. (1995): Umsetzung eines Modells zur flächendifferenzier- ten Bestimmung der Grundwasserneubildung mit einem Geo-Informationssystem.- Fachliche Berichte HWW, 14: 13 S.; Hamburg.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1992): Merkblatt Neuordnung des Meßnetzes Grundwasserstand.- Verwaltungsinternes Merkblatt vom 15.4.92; München.
- BLAU, R.V., MUCHENBERGER, F., TRÜEB, E., WERNER, A. & WÜRTSTEN, M. (1984): Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental, Handbuch.- Gas - Wasser - Abwasser, 63: 249-384; Zürich.
- BUCHER, B. (1994): Optimierung von Grundwasser-Meßnetzen mit Kriging-Verfahren.- Freiburger Schriften zur Hydrologie, 3: 116 S.; Freiburg i. Brsg.
- DEMUTH, S. & DESTRUELLE, M. (1997): Optimierung eines Grundwassermeßnetzes mit dem Kriging-Verfahren - Fallstudie Böhringer Kiesfeld (Singen/Bodensee).- DGM, 41: 2-8; Koblenz.
- DIN 4049 10.94. Hydrologie, Teil 3 Begriffe zur quantitativen Hydrologie.- 80 S.; Berlin.
- DVGW (1998): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermeßstellen und Brunnen.- Arbeitsblatt W 135 (11.98), 76 S.; Bonn.
- DVWK (1998): Workshop Auswertung digital erfaßter Grundwasserdaten.- DVWK-Materialien, 3/1998: 1-120; 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-Wasserrahmenrichtlinie), Stand 30. Juli 1999, 52 S. u. 88 S. Anhang; Brüssel.
- FANK, J. & FUCHS, K. (1996): Ein Verfahren zur Optimierung bestehender Grundwasserstandsmeßstellennetze erarbeitet am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich).- Beiträge zur Hydrogeologie, 47: 7-54; Graz.
- Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde (1997a): Grundwasserbericht Hamburg 1997.- 72 S.; Hamburg.
- Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde (1997b): Sanierung und Rückbau von Grundwassermeßstellen.- Merkblätter zur Qualitätssicherung, 8: 10 S., 1 Tab.; Hamburg.
- GLUBRECHT, T., KIEL, U. & TEGTBAUER, D. (1995): Optimierung und Reduzierung von Meßnetzen zur Grundwasserstandsbeobachtung.- Wasser Abwasser Praxis, 4/4: 22-25, Gütersloh.
- GRIEGER, J. & TAUGS, R. (1996): Meßnetzoptimierung an ausgewählten Beispielen in Hamburg.- DVGW/LAWA/DVWK-Kolloquium "Grundwasserüberwachung", Karlsruhe, 10. und 11. Oktober 1996, 15 S.
- HEIMBERG, F. (1994): Untersuchungen zum operationellen Einsatz des Differential-GPS.- Wissenschaftl. Arbeiten Fachr. Vermessungswesen Univ. Hannover, 202: 169 S.; Hannover.
- JOPPICH, A. & SCHLAPKOHL, F. (1996): Computergestützte Fehlererkennung und Plausibilitätskontrolle bei Grundwasserstandsdaten.- Fachliche Berichte HWW, 15: 32-37; Hamburg.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 1984: Grundwasserrichtlinie 1/82 Grundwasserstand.- 44 S.; Essen (Verlag Woeste-Druck).
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 1993: Grundwasserrichtlinie 3/93 Grundwasserbeschaffenheit.- 59 S.; Essen (Verlag Woeste Druck).
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 1995: Grundwasserrichtlinie 4/95 Quellen.- 56 S.; Stuttgart (Selbstverlag).
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 2000: Empfehlungen zu Konfiguration von Meßnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwassermeßstellen (qualitativ).- 32 S.; Schwerin (Selbstverlag).
- Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.) (1997): Konzept zum Grundwasser-Monitoring im

Land Brandenburg.- LUA-Bericht 1997, 27-38; Potsdam.

MEW jr., H.E., MEDINA jr., M.A., HEATH, R.C., RECKHOW, K.H. & JACOBS, T.L. (1997): Cost-effective monitoring strategies to estimate mean water table depth.- *Ground Water*, 35: 1089-1096; Dublin, Ohio.

OLEA, R.A. (1982): Optimization of the High Plains aquifer observation network, Kansas.-

Kansas Geol. Survey, Groundwater Series, 7: 73 S.; Kansas City.

SACHS, L. (1984): *Angewandte Statistik*, 6. Aufl.- 550 S; Berlin - Heidelberg (Springer).

WINGERING, M. (1999): Auswahl repräsentativer Meßstellen aus dem Grundwasserstandsmeßnetz Baden-Württemberg.- *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 43, zum Druck vorgesehen; Koblenz.

Anlage 1**Auswahlkriterien für Grundwassermeßstellen**

(Die Kriterien müssen von Grundwasseraufschlüssen erfüllt sein, die als Grundnetzmeßstellen dienen oder vorgesehen sind; sie gelten ohne die Kriterien 1.3, 1.6 und 3.4 auch für Verdichtungsmeßstellen)

Kriteriengruppe 1

(Die Kriterien können mit Hilfe von Akteneinsicht und Datenbankabfragen überprüft werden)

- 1.1 Die eindeutige Zuordnung zu einem Grundwasserleiter muß möglich sein. Dazu sind im Regelfall Ausbauplan und Bohrprofil erforderlich.
- 1.2 Ein Trockenfallen muß ausgeschlossen sein.
- 1.3 Der Grundwasserspiegelgang bzw. die Quellschüttung darf durch künstliche Eingriffe nicht wesentlich beeinflußt sein.
- 1.4 Der dauerhafte Bestand der Meßstelle muß gesichert sein (Nutzungsvertrag).
- 1.5 Der Ausbaudurchmesser soll zwischen 80 mm und 200 mm liegen, in begründeten Ausnahmefällen ist auch eine Unter- oder Überschreitung des Durchmessers akzeptabel.
- 1.6 Die Beobachtungsreihe soll möglichst lang sein, zumal eine hydrologische Auswertung erst beim Vorliegen von Grundwasserdaten von mindestens 10 Jahren sinnvoll ist.
- 1.7 Die Ergebnisse von bisher durchgeführten Unterhaltungsarbeiten müssen einen ökonomisch vertretbaren weiteren Betrieb der Meßstelle erkennen lassen.

Kriteriengruppe 2

(Die Kriterien können durch örtliche Kontrolle und einfache Untersuchungen an der Meßstelle bzw. dem Grundwasseraufschluß überprüft werden)

- 2.1 Ausreichender hydraulischer Anschluß an den Grundwasserleiter muß vorhanden sein (Auffülltest gem. Nr. 3.4.5 DIN 4049-3).
- 2.2 Zugänglichkeit zu Fuß muß uneingeschränkt gegeben sein.
- 2.3 Zufahrt mit Wartungsfahrzeug sollte unter normalen Witterungsbedingungen möglich sein.
- 2.4 Der Einsatz von Registriergeräten (z. B. mit Schwimmerantrieb) soll möglich sein.
- 2.5 Lotung bis zur Sohle soll ungehindert möglich sein.

Kriteriengruppe 3

(Die Überprüfung der Kriterien ist nur mit aufwendigeren Verfahren, z. B. Kamerabefahrung, geophysikalischen Messungen und chemischen Untersuchungen, möglich)

- 3.1 Der Ausbau darf keine größeren Schäden (Risse, Brüche) und Undichtigkeiten (Rohrverbindungen) aufweisen.
- 3.2 In der Bohrung darf keine Vertikalströmung stattfinden.
- 3.3 Ringraumabdichtungen im Bereich von hydrogeologischen Trennschichten müssen funktionsfähig sein.
- 3.4 Lage und Mächtigkeit der Schichten des geologischen Profils sollen bekannt sein (Gamma- und Widerstandslog bei fehlendem Bohrprofil).

Anlage 2

Örtliche Überprüfung von Meßstellen und sonstigen Grundwasseraufschlüssen

Meßstellen-Nr.

Bezeichnung der Meßstelle / des Grundwasseraufschlusses:

Datum:

Name:

Meßpunkthöhe	NN + m			
Geländehöhe	NN + m			
Meßstellentiefe ab Meßpunkt (Lotung)	m			
Abstich Ruhewasserspiegel	cm			
Durchmesser Meßrohr	cm	von	bis	m u. MP
	cm	von	bis	m u. MP

Zustand	ja	nein
----------------	----	------

- | | | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Meßrohr frei von Hindernissen? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> ¹ |
| 2. Meßrohr verschlamm? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Schäden am Meßstellenkopf/Schacht erkennbar? | <input type="checkbox"/> ² | <input type="checkbox"/> |
| 4. Umbau oder Sanierung erforderlich? | <input type="checkbox"/> ³ | <input type="checkbox"/> |
| 5. Zeitweiliger artesischer Überlauf? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Zugänglichkeit

- | | | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 6. Zu Fuß ungehindert zugänglich? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Messung gefahrlos und einfach möglich? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> ⁴ |
| 8. Zufahrt möglich? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Grundstücksbewirtschaftung erschwert? | <input type="checkbox"/> ⁵ | <input type="checkbox"/> |

Einflüsse

- | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------|
| 10. Sind ggf. bestandsgefährdende Vorhaben im Umfeld erkennbar oder bekannt? | <input type="checkbox"/> ⁶ | <input type="checkbox"/> |
| 11. Befinden sich Wassergewinnungsanlagen, Versickerungseinrichtungen oder Gewässer (auch Kiesgruben) in der Nähe? | <input type="checkbox"/> ⁷ | <input type="checkbox"/> |
| 12. Sind im Umfeld Anlagen oder Nutzungen vorhanden oder geplant, die sich auf die Beschaffenheit des Grundwassers nachteilig auswirken können? | <input type="checkbox"/> ⁷ | <input type="checkbox"/> |

Erläuterungen, gegebenenfalls in einem Vermerk näher darzustellen:

- ¹ Art der Hindernisse
- ² Art der Schäden
- ³ Erforderliche Maßnahmen
- ⁴ Art der Gefahren, Behinderungen
- ⁵ Art der Bewirtschaftungerschwernisse
- ⁶ Art der Vorhaben
- ⁷ Art/Entfernung

Anlage 3

Rückbauverfahren, deren Anwendungsbereiche und Voraussetzungen

	Rückbauverfahren	Anwendungsbereich	Voraussetzungen	Hinweise
1	Ziehen der Rohre und Bohrlochverfüllung gem. hydrogeol. Verhältnissen	Beobachtungsrohre Brunnen	geringe Ausbautiefen	technische Hilfsmöglichkeiten: -vorheriges Freispülen -Anwendung einer Fangbirne -hydraulische Pressen
2	Verfüllung der Meßstelle	Beobachtungsrohre Brunnen Schachtbrunnen	funktionstüchtige Ringraumabdichtung	Verfüllungsmaterial: Zement, Ton (Filterbereich evtl. Kies) Abschluß an der Geländeoberkante: Beton- oder Tonplomben (1-2 m Stärke)
3	Perforation der Aufsatzrohre, Ringraumabdichtung und Verfüllung der Meßstelle	Beobachtungsrohre, Brunnen (insbesondere bei fehlender oder funktionsuntüchtiger Ringraumverfüllung)	metallische Ausbaurohrung (bedingt möglich bei Kunststoff, ungeeignet bei Keramik u. Holz)	Ringraumabdichtung mit einer Zement-Ton-Suspension im Perforationsbereich, Verfüllung wie unter 2
4	Überbohren und Bohrlochverfüllung gem. hydrogeol. Verhältnissen	Beobachtungsrohre, Brunnen (insbesondere bei fehlender oder funktionsuntüchtiger Ringraumverfüllung)	technisch nur bis in mittlere Tiefen ($\leq 50\text{m}$) sinnvoll und Bohrung $< \text{DN } 800$	siehe Pkt. 2 gegebenenfalls vorherige Neigungsmessung
5	Zerfräsen des Ausbaumaterials und Bohrlochverfüllung gem. hydrogeol. Verhältnissen	Beobachtungsrohre Brunnen (bedingt)	Rohrmaterial Kunststoff	häufig Hilfsverrohrungen erforderlich, um das Ausbaumaterial nach oben zu spülen

Anlage 4

Beispiel für einen Kostenvergleich von manueller Beobachtung und digitaler Erfassung

	manuell	digital	
einmalige Kosten	Lichtlot usw. 300,-- DM	Datensammler 1.000,-- bis 1.500,-- DM	Auslesesoftware- und -hardware 2.600,-- DM
laufende Kosten/a	Beobachtung 52 x/a*) 300,-- DM bis 700,-- DM	Datenauslese 4 x/a Wartung 4h/a und Datensammler*)	200,-- DM
	Vertrag, Abrechnung, Kontrollmessung 1 h/a u. Mst. 50,-- DM	Batterien	35,-- DM
	Plausibilitätskontrolle und Datenerfassung 30,-- DM	Plausibilitätskontrolle und Einlesen in Datenbank	15,-- DM
	Porto 20,-- DM		
laufende Kosten/a	400,-- DM bis 800,-- DM		250,-- DM

*) Bei den Kosten für die Beobachtung bzw. Wartung sind folgende Kriterien berücksichtigt:

- kurze Wege für den Vertragsbeobachter (52x/a), da er in der Regel in der Nähe der Meßstelle wohnt (in manchen Flächenstaaten betragen die Wegstrecken zu Meßstellen teilweise jedoch mehrere Kilometer),
- längerer Anfahrtsweg und höhere Qualifikation des Fachpersonals der zentralen oder regionalen Dienststelle (4x/a).

Bei den Datensammlern sind keine Reparaturkosten berücksichtigt, da hierfür noch keine Erfahrungswerte vorliegen.

Die Beispielrechnungen und die nachfolgende Graphik zeigen, daß sich zu heutigen Preisen der Einsatz von Datensammlern bereits nach wenigen Jahren lohnen kann. Außerdem tendieren die Preise der Datensammler nach unten, während die Kosten der manuellen Beobachtung eher steigen werden.

Um die Kosten der nur einmal benötigten Auslesehard- und -software möglichst rentabel zu halten, liegen der Graphik die Beschaffung von 10 Datensammlern (15.000,-- DM) und die Kosten der Auslesesoftware- und -hardware (2600,-- DM) zugrunde.

Durch Einsetzen eigener Preise/Kosten ist ein aktueller Kostenvergleich möglich.

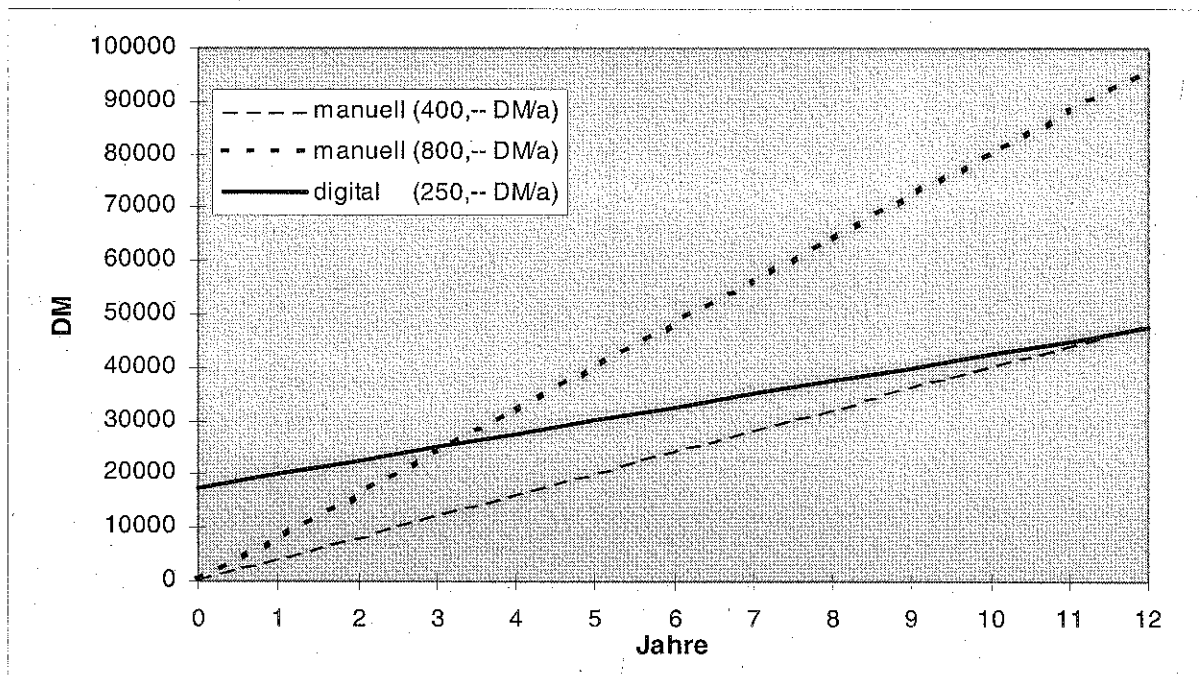


Diagramm zur Ermittlung der Kosten für digitale Erfassung und manuelle Beobachtung des Grundwasserstandes; der Kostenvergleich bezieht sich jeweils auf 10 beobachtete Meßstellen (die eingerechneten Wegekosten können eine größere Rolle spielen als in der Tabelle berücksichtigt)

Anlage 5

Plausibilitätskontrollen

1. Vor Ort

Kontrolle auf formale Richtigkeit

Handlotung u. Beobachterbuch: Meßstellennummer: Quervergleich: Eintragung und Nr. auf der Brunnenkappe
 Filtertiefe: bei Meßstellenbündeln oder -gruppen jeder einzelnen Meßstelle eine eigene Nr. zuordnen
 Datumsangabe: Zeitgenauigkeit ist wichtig im Zusammenhang mit Veränderung des Grundwasserstandes zwischen aufeinander folgenden Messungen

elektronische Handgeräte: mittels Barcodes an der Mst. ist eindeutige Identifizierung garantiert
 Datensammler: Datenauslese erfolgt elektronisch; formale Fehler sind ausgeschlossen, da Meßstellenkennung bei der elektronischen Datenauslese mitgelesen wird.

Kontrolle auf inhaltliche Richtigkeit (plausibler Meßwert)

Handlotung u. Beobachterbuch: dem Ableser sollten Vertrauensbereiche bekannt sein; unveränderliche Grenzwerte wie Geländeoberkante oder Filterunterkante im Beobachterbuch eintragen; in Abhängigkeit von der Länge der Meßwertreihe weitere Eingrenzungen anhand beobachteter Extremwerte

elektronische Handgeräte: Software so programmieren, daß Eingabe von Meßwerten außerhalb von Vertrauensbereichen nicht oder nur bei erneuter Bestätigung möglich ist

Datensammler: Kontrollotung erforderlich; Ablesefehler sind ausgeschlossen, da elektronische Übertragung.

Anmerkung:

Es wird auch die Auffassung vertreten, dem Beobachter keine Informationen über die Entwicklung des Grundwasserstandes zukommen zu lassen, um ihn nicht zu verleiten, „plausible“ Meßwerte ohne tatsächlich zu messen einzutragen. Andererseits muß von verantwortungsbewußten Beobachtern ausgegangen werden, außerdem bietet eine Überprüfung des Meßwertes vor Ort die Chance, den richtigen Wert zu messen, der ansonsten unwiderruflich verloren wäre.

2. Bei der Datenverarbeitung

konventioneller Datenfluß: Eingabe- und Übertragungsfehler durch Verschreiben oder Vertippen möglich

elektr. Handgeräte und Datensammler: auf den Beobachter zurückgehende Fehler ausgeschlossen.

Anmerkung:

Seit über 25 Jahren hat es sich in NRW bewährt, die Meßstellennummern mit Prüfziffern zu versehen. Beim Einlesen von Stamm- und Meßdaten in die Datenbank werden die Nummern automatisch auf ihre Richtigkeit überprüft. Auf diese Weise werden Schreibfehler in der Zahlenfolge, die ohne eine solche Prüfung leicht eine andere, ebenfalls existierende Meßstellennummer vortäuschen können, nahezu 100%ig erkannt. Die Prüfung muß sich auf die gesamte Ziffernfolge einer Nummer beziehen, d.h. auf Dienst- und Meßstellennummer.

3. Nachträgliche Plausibilitätskontrolle

Plausibilitätskontrollen sind grundsätzlich rechtzeitig vorzunehmen. Dennoch existieren in den Wasserwirtschaftsverwaltungen zahlreiche unkorrigierte Meßreihen.

konventionelle Kontrolle: Vergleich von Listenausdrucken und Meßprotokollen aufwendig und ineffektiv; Fehler können leicht übersehen werden; Kontrolle größerer Datenmengen insbesondere bei Rückdokumentation ist kaum zu bewältigen.

- automatisierte Kontrolle der Ganglinie: Mögliche Ansätze einer automatischen Kontrolle bieten einfache statistische Ausreißertests, z. B. Filterung von Werten, die mehr als das Dreifache der Standardabweichung vom Mittelwert einer Meßreihe abweichen (SACHS 1984). Erfahrungen zeigen allerdings, daß wegen unterschiedlicher Charakteristik, zeitlicher Variationen oder auch starker Schwankungen der Ganglinien automatische Verfahren nicht immer anzuwenden sind. Meistens sind die mittels statistischer Methoden erkannten Abweichungen derart auffällig, daß sie bei einem Blick auf die Ganglinie durch den Fachmann ohnehin erkannt würden. Bei heterogenen Datenbeständen bieten die automatischen Verfahren auch keine wesentliche Zeitersparnis, da die automatisch identifizierten „Fehler“ vom Fachmann bewertet werden müssen.
- visuelle Kontrolle der Ganglinie: Durch graphische Darstellung der Ganglinien, insbesondere durch ergänzende Funktionen wie gleichzeitige Darstellung der Ganglinien korrelierender Meßstellen, oder durch Differenzenbildung und Darstellung der Differenzganglinie können Fehler oder unplausible Meßwerte durch den Sachbearbeiter schnell und effektiv erkannt werden. Fehlerhafte Meßpunkthöhen oder falsche Meßstellenzuordnung können als Sprung in der ansonsten im wesentlichen konstanten Differenzlinie erkannt werden. Weitere Ausführungen dazu machen JOPPICH & SCHLAPKOHL 1996.
- Grundwassergleichenkarten: Ebenso wie spezielle Software die visuelle Kontrolle von Ganglinien unterstützt, ist es bei Stichtagsmessungen mit Standardsoftware möglich, Grundwassergleichen schnell zu erzeugen. Inhomogenitäten (extreme, lokal begrenzte „Grundwasserberge“ und „-senken“) können Hinweise auf Unplausibilitäten (z. B. falsche Zuordnung zu einem Grundwasserleiter oder -stockwerk, falsche Meßpunkthöhe, falsche Lagekoordinaten) sein.