

Fachtechnische Kontrolle von altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und Schadensfällen: Eignungstests von ausgewählten Grundwassermeßsystemen

im Auftrag der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

*IUT-Ingenieurgesellschaft für Umwelttechnik mbH
Gerwigstraße 69
76131 Karlsruhe*

Stand: 12.01.98

INHALT

1	VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG	4
2	DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN	5
2.1	ÜBERSICHT ÜBER DIE EINGESETZTEN MEBSYSTEME	5
2.2	AUSWAHL DER STANDORTE	7
2.3	BESCHREIBUNG UND EINSATZBEREICHE DER MEBSYSTEME	7
3	QUALITÄT DER MEBERGEBNISSE	12
3.1	BEWERTUNGSGRUNDLAGE	12
3.2	GENAUIGKEIT DER MEBSYSTEME	14
4	WIRTSCHAFTLICHKEIT DER MEBSYSTEME	18
4.1	GRUNDLAGE DER KOSTENERMITTLUNG	18
4.2	KOSTEN DER MEBSYSTEME	19
5	TECHNISCHE ZUVERLÄSSIGKEIT DER MEBSYSTEME UND ZEITBEDARF	21
6	GESAMTBEURTEILUNG DER MEBSYSTEME UND ENTWICKLUNGSBEDARF	23
7	ZUSAMMENFASSUNG	28
8	LITERATUR.....	29

ABBILDUNGEN

Bild 1:	Schematischer Aufbau eines faseroptischen Meßsystems	8
Bild 2:	Aufbau des PREUSSAG CKW-Indicators	9
Bild 3:	Aufbau einer Sensormeßzelle mit selbstkalibrierender ISE	11
Bild 4:	Meßabweichungen der ionenselektiven Elektroden	17

TABELLEN

Tabelle 1:	Meßsysteme, Meßparameter und Standorte der Meßsysteme	6
Tabelle 2:	Übersicht über die Standorte und ihr Schadstoffinventar.....	7
Tabelle 3:	Sensorbestückung, Einsatzart und Standorte der Mehrparameter-Sonden	10
Tabelle 4:	Eingesetzte Biotests und ihre spezifischen Wirkungsmechanismen ..	12
Tabelle 5:	Bewertung der Genauigkeit	13
Tabelle 6:	Relative Standardabweichung von Laborergebnissen bei Ringversu- chen.....	14
Tabelle 7:	Meßabweichung und Genauigkeit der Meßsysteme (1)	15
Tabelle 8:	Meßabweichung und Genauigkeit der Meßsysteme (2)	16
Tabelle 9:	Mittlere Meßabweichung der ISE.....	17
Tabelle 10:	Jährlicher Kostenaufwand für den Einsatz der Meßsysteme bei Kontrolle von 3 Meßstellen	20
Tabelle 11:	Technische Zuverlässigkeit, Kalibrier und Wartungsaufwand der eingesetzten Meßsysteme	22
Tabelle 12:	Gesamtbeurteilung der Meßsysteme und Eignungsempfehlung für die fachtechnische Kontrolle des Grundwassers	25

ANLAGE 1 Drucksonde OTT ODS4

ANLAGE 2 EFA-SENSOR

ANLAGE 3 PREUSSAG CKW-Indicator

ANLAGE 4 Mehrparameter-Meßsysteme mit ISE

ANLAGE 5 Passive Sorber

ANLAGE 6 Biotests

1 Veranlassung und Zielsetzung

Die fachtechnische Kontrolle von altlastenverdächtigen Flächen, Altlasten und Schadensfällen ist fester Bestandteil des Altlastenprogramms in Baden-Württemberg. Sie dient der frühzeitigen Erkennung und Beurteilung von Gefahren bzw. dem Ausräumen des Gefahrverdachts, der von den genannten Flächen ausgeht.

Eine fachtechnische Kontrolle ist durchzuführen, wenn:

- die bisherigen Erkundungsergebnisse einen Gefahrverdacht weder bestätigen noch ausräumen konnten und dies auch durch weitere Erkundungsmaßnahmen nicht mit angemessenem Aufwand möglich ist,
- die Erkundungsergebnisse nur Schäden erwarten lassen, die aus Angemessenheitsgründen hingenommen werden können, jedoch die künftige Entstehung von größeren Schäden nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann,
- nach durchgeführter Sanierung der Sanierungserfolg zu bestätigen ist.

Im Rahmen eines Projektes der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg wurde der "Leitfaden fachtechnische Kontrolle von altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und Schadensfällen" [16] erarbeitet, um klare Handlungsanweisungen und Entscheidungsgrundlagen für die fachtechnische Kontrolle festzulegen.

Das Projekt gliederte sich in 3 Phasen. In Phase 1 erfolgte eine Bestandsaufnahme von bestehenden Verordnungen und Programmen, eine Erhebung und statistische Auswertung bei den (ehemaligen) Ämtern für Wasserwirtschaft und Bodenschutz (WBA) in Baden-Württemberg zur Übersicht über die bereits durchgeführten Maßnahmen zur fachtechnischen Kontrolle und eine Erhebung von Meßsysteme, deren Einsatz bei der fachtechnischen Kontrolle möglich ist. Phase 2 beinhaltete ein Testprogramm mit herkömmlichen und neuartigen Untersuchungsmethoden zur fachtechnischen Kontrolle. Die Ergebnisse der ersten beiden Projektphasen bildeten die Grundlage für die Ausarbeitung des eigentlichen Leitfadens (Phase 3).

Die Ergebnisse des Testprogramms (Phase 2) sind im vorliegenden Bericht dargestellt.

In der Testphase wurden exemplarisch Untersuchungen zur fachtechnischen Kontrolle an den Standorten Eppelheim, Mühlacker, Malsch, Osterhofen und Teningen durchgeführt. Schwerpunkt dieser Untersuchungen war die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit und Einsatzfähigkeit von Kontrollmethoden.

Nach der Auswertung der Erhebung bei den ehemaligen WBA liegt der Schwerpunkt der fachtechnische Kontrolle mit 86 % der Fälle beim Schutzgut Grundwasser. Daher konzentrierte sich die vorliegende Untersuchung auf die Erprobung von Methoden zur Kontrolle des Grundwassers.

Die bisher überwiegend eingesetzte Methode besteht in der Beprobung des Grundwassers (meist 2mal jährlich) und anschließender Untersuchung der Proben im Labor auf die relevanten Kontrollparameter. Im Rahmen des Projekts wurden vergleichende Untersuchungen zwischen dieser herkömmlichen Methode der fachtechnischen Kontrolle und dem Einsatz kontinuierlich arbeitender Vor-Ort-Meßsysteme zur Grundwasserüberwachung durchgeführt. Dabei wurden schwerpunktmäßig stationäre und mobile Ein- und Mehrparameter-Meßsysteme zur Erfassung der Grundwasserstände und -beschaffenheit vor Ort getestet. Neben herkömmlichen Sensoren für die gängigen chemisch-physikalischen Vor-Ort-Parameter kamen auch Meßgeräte wie Sonden mit ionenselektiven Elektroden zur Messung von anorganischen Schadstoffen oder faseroptische und photochemische Meßsysteme für organische Schadstoffe zum Einsatz. Passive Sorbersysteme und biologische Testsysteme wurden ebenfalls hinsichtlich ihrer Eignung für die fachtechnische Kontrolle überprüft.

Die Meßsysteme und die Untersuchungsergebnisse werden zusammenfassend im vorliegenden Band dargestellt und eine Bewertung der getesteten Systeme im Hinblick auf ihre Eignung für die fachtechnische Kontrolle vorgenommen. In den Anlagen 1 bis 6 wird auf Testergebnisse im einzelnen näher eingegangen. Die detaillierten Untersuchungsergebnisse an den einzelnen Einsatzstandorten sind in separaten Berichten dargestellt. Diese Berichte werden nicht veröffentlicht, können aber auf Nachfrage bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg bezogen werden.

Eine allgemeine Darstellung der getesteten Meßsysteme sowie weiterer Methoden, die sich zur fachtechnischen Kontrolle des Grundwassers eignen, ist in der Methodensammlung, Teil 2: Methoden zur fachtechnischen Kontrolle [17] gegeben.

Der vorliegende Bericht gibt den aktuellen Entwicklungsstand der Meßsysteme zum Zeitpunkt der Feldtests wieder und ist daher als Momentaufnahme zu betrachten. Angesichts der raschen technischen Fortschritte ist zu erwarten, daß der Stand in wenigen Jahren überholt sein dürfte.

2 Durchführung der Untersuchungen

2.1 Übersicht über die eingesetzten Meßsysteme

Eine Übersicht der Meßsysteme mit den im Praxistest kontrollierten Parametern und den Einsatzstandorten ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Auswahl der getesteten Meßsysteme wurde nach der Auswertung der Erhebung (Phase 1) von der Projektsteuerungsgruppe, die das Projekt fachlich begleitete, vorgenommen.

Da bei der fachtechnischen Kontrolle vorrangig das Schutzgut Grundwasser handlungsrelevant ist, wurden - mit Ausnahme der Biotests und passiven Sorber - nur Vor-Ort-Meßsysteme zur Kontrolle der Grundwasserbeschaffenheit und zur Erfassung der Grundwasserstände erprobt. Aus Kostengründen konnte nur eine begrenzte Auswahl im Praxistest erprobt werden. Auswahlkriterien waren: Repräsentativität

der Meßsysteme, Relevanz der Meßparameter, Eignung für die individuelle Fragestellung am vorgesehenen Einsatzstandort und Entwicklungsstand der Systeme. Praxiserprobte Geräte wie pH-Meter, El. Leitfähigkeitsmeßgeräte, Thermometer etc. wurden nicht getestet. Ein Teil der getesteten Meßgeräte war jedoch zusätzlich auch mit Sensoren für die herkömmlichen Vor-Ort-Parameter ausgestattet. Berücksichtigt wurden nur diejenigen Fabrikate, deren Hersteller einsatzfähige Komplettlösungen für die jeweilige Meßaufgabe anboten. Die getroffene Auswahl gibt einen groben Überblick über die momentan (Stand 1995) auf dem Markt verfügbaren Meßsysteme, erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Der Schwerpunkt der Untersuchung lag bei stationär installierten Vor-Ort-Meßgeräten mit kontinuierlicher bzw. quasi-kontinuierlicher Meßwerterfassung. Insgesamt wurden 9 verschiedene Systeme getestet. Bei den Mehrparameter sonden mit ionenselektiven Elektroden (ISE) wurden 3, bei den passiven Sorbern 2 und bei den übrigen Systemen jeweils 1 Fabrikat getestet.

Tabelle 1: Meßsysteme, Meßparameter und Standorte der Meßsysteme

Meßsystem	Fabrikat / Typ	Meßparameter	Einsatzart	Standort
Drucksonde	OTT / ODS4	GW-Stand	stationär	ehem. MoSt Eppelheim
Datenfernübertragung	OTT / OTT-COM	-	stationär	ehem. MoSt Eppelheim
Faseroptiksensor	FZK Karlsruhe/ EFA-Sensor	organische Schadstoffe	mobil	eSAD Malsch MoVo Mühlacker
Photochemisches System	PREUSSAG CKW-Indicator	AKW, LCKW	stationär	ehem. MoSt Eppelheim
Mehrparameter sonde mit ionenselektiven Elektroden (ISE)	terratec ¹ / Multisonde	GW-Stand, Temperatur, pH-Wert, Ammonium (ISE) Chlorid (ISE)	stationär	ehem. MoSt Osterhofen
	WANDA / Multisonde	GW-Stand el. Leitfähigkeit Temperatur pH-Wert Ammonium (ISE) Chlorid (ISE) Nitrat (ISE)	stationär	ehem. MoSt Osterhofen
	ELBAGU / Vario 5 PT	el. Leitfähigkeit Temperatur pH-Wert Ammonium (ISE) Chlorid (ISE)	mobil	MoVo Teningen
Passive Sorbersysteme	GORE-Sorber®	organ. Schadstoffe	-	MoVo Teningen
	Aktivkohle-Sorber	PCB	-	MoVo Teningen
Biotests		organ. und anorganische Schadstoffe	-	ehem. MoSt Osterhofen MoVo Teningen

¹Die Fa. terratec ist nicht Hersteller, sondern lediglich Betreiber des Meßsystems

2.2 Auswahl der Standorte

Die Untersuchungen wurden an 2 ehem. Modellstandorten (MoSt), 2 Modellvorhaben (MoVo) des Landes Baden-Württemberg sowie an einer ehem. Sonderabfalldeponie (eSAD) durchgeführt (vergl. nachfolgende Tabelle 2). Die Auswahl der Standorte mit ihren unterschiedlichen Schadstoffzusammensetzungen und -gehalten soll eine repräsentative Auswertung der Untersuchungsergebnisse erlauben.

Tabelle 2: Übersicht über die Standorte und ihr Schadstoffinventar

Standort	Standorttyp	Schadstoffinventar	Bearbeitungsstand
ehem. MoSt Eppelheim	ehem. Hausmülldeponie mit Gewerbemüllanteilen	organ. Schadstoffe (LCKW, AKW)	fachtechnische Kontrolle
ehem. MoSt Osterhofen	ehem. kommunale Hausmülldeponie	hausmülltypische Schadstoffe	fachtechnische Kontrolle
MoVo Mühlacker	ehem. Sonderabfalldeponie	hohe Gehalte an organischen Schadstoffen (LCKW, BTEX)	Sanierung
MoVo Teningen	ehem. kommunale Hausmülldeponie mit Gewerbemüllanteilen	hausmülltypische und organische Schadstoffe (PCB, LCKW, MKW)	technische Erkundung
eSAD Malsch	ehem. Sonderabfalldeponie	breites Spektrum an anorganischen (v.a. Schwermetalle, Salze) und organ. Schadstoffen, (MKW, Phenole, Lösemittel)	Saniert

2.3 Beschreibung und Einsatzbereiche der Meßsysteme

Wasserstandsmessung mit Drucksonden und Datenfernübertragung

Drucksondenmeßsysteme eignen sich zur kontinuierlichen automatischen digitalen Registrierung der Wasserstände in Grundwassermeßstellen (GWM) oder offenen Gewässern. Durch flexible Kabellängen sind die Wasserstandsschwankungen auch bei großen Flurabständen bis über 100 m erfaßbar. Drucksonden werden als autarke ("stand alone-") Einheit mit angeschlossenem Datensammler, als Mehrkanalanlage mit zentralem Datensammler und mehreren angeschlossenen Drucksonden oder in Kombination mit Mehrparameter-Meßsystemen angeboten.

Das Meßsysteme beruht auf der Messung des hydrostatischen Drucks der Wassersäule über dem Drucksensor. Störende Einflüsse des atmosphärischen Drucks werden über Druckausgleichskapillaren in den Leitungen ausgeglichen.

Die in den Praxistests eingesetzten Drucksonden ODS4 (Fa. OTT) arbeiten mit kapazitiven Keramikmeßzellen als Drucksensor (Anlage 1). Diese bieten gegenüber den häufig eingesetzten piezoresistiven Sensoren den Vorteil einer besseren Langzeitstabilität des Signals.

Am ehem. Modellstandort Eppelheim wurden 3 Drucksonden, die mit einem zentralen Datensammler und einem Funkmodem zur Datenfernübertragung gekoppelt waren, eingesetzt.

Faseroptische Systeme (EFA-Sensor)

Beispielhaft für faseroptische Systeme wurde der "Evaneszent Field Absorbance Sensor" (EFA-Sensor) des Forschungszentrums Karlsruhe bei der eSAD Malsch und am MoVo Mühlacker erprobt. Der EFA-Sensor ist geeignet zur Vor-Ort-Messung von LCKW, AKW und weiteren unpolaren organischen Verbindungen im Grundwasser. Die Nachweisgrenzen des EFA-Sensors liegen derzeit noch vergleichsweise hoch (z.B. 0,2 mg/l bei Trichlorethen).

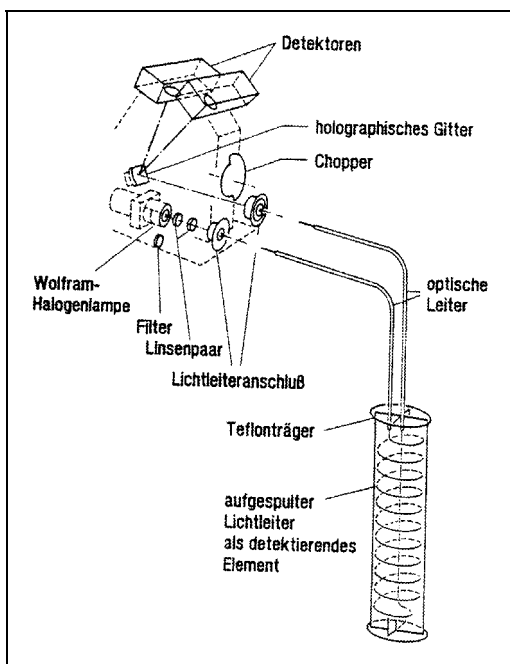


Bild 1: Schematischer Aufbau eines faseroptischen Meßsystems (aus: Bürck 1994)

Der EFA-Sensor arbeitet nach dem Prinzip des evaneszenten Feldes [2]. Er besteht aus einer silikonummantelten Glasfaserspule und einem Photometer, das im Infrarotbereich arbeitet. In den Silikonmantel eindringende Schadstoffmoleküle bewirken eine konzentrationsabhängige Veränderung der Absorptionseigenschaften, die vom Photometer gemessen wird. Der EFA-Sensor kann mit einem Filterphotometer oder einem Spektralphotometer gekoppelt werden. In Verbindung mit einem Filterphotometer wird die Summenkonzentration aller erfaßten Stoffe ermittelt. In Kombination mit einem Spektralphotometer können nach entsprechender Kalibrierung die Konzentrationen der verschiedenen Einzelstoffe gemessen werden.

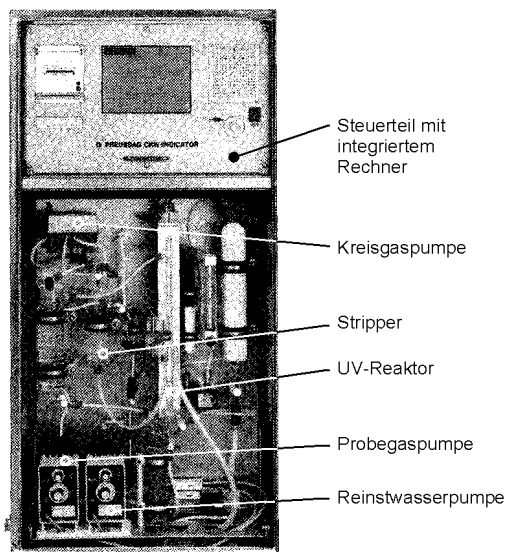
Der Sensor kann für kontinuierliche Messungen und für Einzelmessungen eingesetzt werden. Es können Tiefenprofile in Grundwassermeßstellen bis über 100 m Tiefe aufgenommen werden. Das System ist mit einer autarken Stromversorgung ausgerüstet und ermöglicht Feldmessungen unabhängig von externer Stromversorgung.

Passive Sorber-Systeme

Passive Sorber-Systeme können zur qualitativen bis halbquantitativen Erfassung der Konzentrationen von flüchtigen organischen Schadstoffen im Grundwasser eingesetzt werden. Die Methode arbeitet nach dem Prinzip der passiven Adsorption [7]. Die nachzuweisenden Stoffe werden auf speziellen Sorbermaterialien (z.B. Aktivkohle oder Tenax) adsorbiert. Die Sorber werden über bestimmte Zeiträume dem Grundwasser exponiert und anschließend wieder entnommen. Die Analyseergebnisse stellen zeitintegrierte Werte dar, d.h. sie liefern eine Aussage über die mittleren Konzentrationen während der Expositionszeit. Zur Quantifizierung der Konzentrationen müssen zusätzlich andere Meßsysteme eingesetzt werden [13].

Photochemische Systeme (CKW-Indicator)

Der PREUSSAG CKW-Indicator kann zur kontinuierlichen Kontrolle der LCKW-, AKW-Gehalte und anderer ausblasbarer organischer Verbindungen (AOV) im Grundwasser eingesetzt werden. Die Nachweisgrenze für LHKW liegt nach Angabe des Herstellers bei 1 µg/l [20].



Das Meßprinzip beruht auf der photochemischen Oxidation der AOV durch UV-Licht. Die AOV werden durch Strippen aus dem Probegut in die Gasphase überführt und anschließend in vollentsalztes Reinstwasser eingeleitet. Im UV-Reaktor werden die AOV photochemisch zerlegt und bewirken eine Leitfähigkeits-erhöhung des Reinstwassers. Über die Leitfähigkeitsänderung wird die Summe der AOV quantitativ erfaßt. Durch permanenten Probegutdurchsatz werden die Gehalte kontinuierlich gemessen. Das Gerät muß auf die Zusammensetzung der AOV im Grundwasser geeicht werden.

Bild 2: Aufbau des PREUSSAG CKW-Indicators (aus: Firmenprospekt PREUSSAG GmbH)

Mehrparametersonden mit ionenselektiven Elektroden (ISE)

Im Rahmen des Praxistests wurden drei Mehrparametersonden mit verschiedenen physikalischen und chemischen Sensoren erprobt. Für die Vor-Ort-Parameter Sauerstoff, Temperatur, el. Leitfähigkeit, Redoxpotential und pH-Wert stehen ausgereifte und praxisbewährte Sensoren zur Verfügung. Die altlasten- und umweltspezifischen Parameter Ammonium, Chlorid und Nitrat wurden mit ionenselektiven Elektroden

(ISE) gemessen. Die Mehrparametersonden waren mit jeweils zwei bis drei herkömmlichen Sensoren und drei bis vier ISE bestückt. Im Test waren zwei Meßsysteme (WANDA, terratec) stationär und eine Sonde (ELBAGU) mobil eingesetzt. Die Sensorbestückung der Systeme und die Einsatzstandorte sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Die ISE erfassen die Konzentration bzw. die Ionenaktivität des gemessenen Stoffes (Meßion) über die Potentialdifferenz zwischen der Meßelektrode und einer Bezugselektrode (z.B. pH-Meßkette). Der theoretische Zusammenhang zwischen Konzentration und Potential wird durch die NERNST'sche Gleichung beschrieben.

Tabelle 3: Sensorbestückung, Einsatzart und Standorte der Mehrparameter-Sonden

Sensorbestückung	ELBAGU Vario 5 PT	terratec Multisonde	WANDA Multisonde
1. herkömmliche Sensoren			
Temperatur	x	x	x
el. Leitfähigkeit	x	-	x
Grundwasserstand	-	x	x
2. ionenselektive Sensoren (ISE)			
Ammonium	x	x	x
Chlorid	x	x	x
Nitrat	-	-	x
pH-Wert	x	x	x
3. Einsatzart im Praxistest			
	mobil	stationär	stationär
4. Standort			
	Teningen Osterhofen	Osterhofen	Osterhofen

Mehrparametermeßsysteme mit ISE bestehen aus den Sensoren, einem Verstärker, einem Datensammler mit Steuerelektronik und einer Stromversorgungseinheit. Die ISE sind mit sensitiven Membranen bestückt, die durch ihre Bauweise selektiv auf das Meßion ansprechen.

Die WANDA-Sonde bietet als einzige der getesteten Geräte die Möglichkeit einer automatischen regelmäßigen Selbstkalibrierung der ISE. Die ISE befinden sich in Sensormeßzellen, die über Mikrodosierpumpen automatisch mit Probegut bzw. mit den Kalibrierlösungen befüllt werden. Die Kalibrierlösungen sind in speziellen Füllbehältern im Sondengehäuse untergebracht. Die Selbstkalibrierung minimiert Alterungs-, Temperatur- und Drifteffekte und verlängert die Standzeit der Sensoren deutlich.

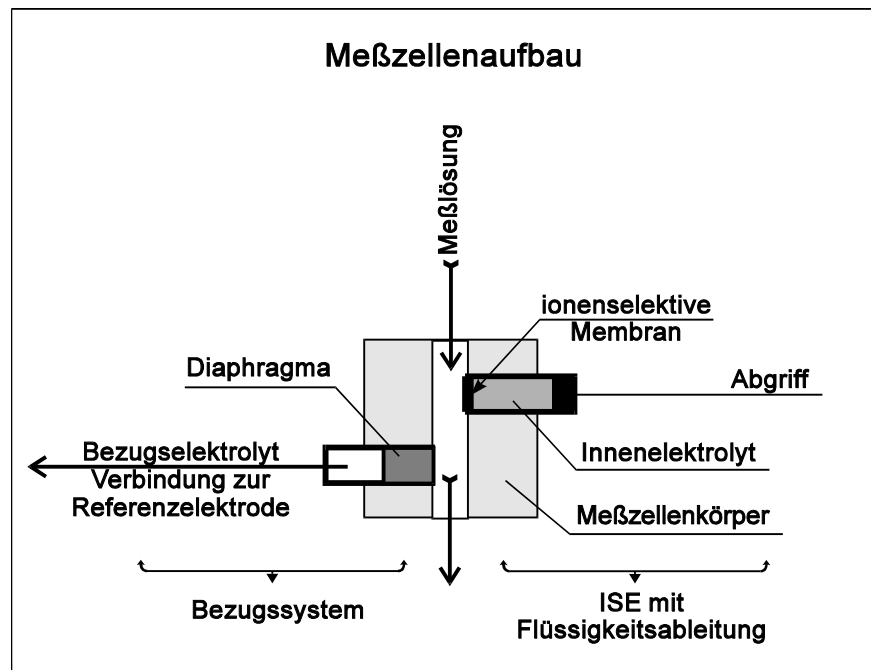


Bild 3: Aufbau einer Sensormesszelle mit selbstkalibrierender ISE (aus: Firmenprospekt DASA)

Die anderen beiden Systeme wurden vor Ort bzw. im Labor mit Zweipunkt- bzw. Dreipunkt-Kalibrierung geeicht. Bei der terratec-Sonde wurden die Kalibrierlösungen mit den horizontal entnommenen Grundwasserproben der Kontrollmeßstellen (als Matrix) hergestellt. Die zu messenden Stoffe wurden in mehreren Konzentrationen den Lösungen zudotiert, um die Kalibrierung der Sonden unter annähernd gleichen Bedingungen wie in den Kontrollmeßstellen zu erreichen.

Biotests

Biotests sind standardisierte Systeme, mit denen die toxikologische Wirkung der Schadstoffe einer Boden- oder Grundwasserprobe erfaßt werden kann. Die Testorganismen reagieren spezifisch auf Art und Gehalte der Schadstoffe, denen sie ausgesetzt sind [12]. Über das Ausmaß der Schädigung bzw. Abweichung von der Norm wird auf das Toxizitätspotential rückgeschlossen. Biotests haben sich als kostengünstige Warnsysteme bei der Gewässerüberwachung bewährt. Im Rahmen dieser Untersuchung sollte geprüft werden, ob sie auch bei der fachtechnischen Kontrolle einsetzbar sind.

Sieben Biotests wurden im Rahmen des Praxistests geprüft. In Tabelle 4 sind die Sensibilität für bestimmte Schadstoffe und die spezifischen Wirkungsmechanismen der eingesetzten Testsysteme aufgeführt:

Tabelle 4: Eingesetzte Biotests und ihre spezifischen Wirkungsmechanismen

Biotest	Methodenstandard	Sensibilität für bestimmte Schadstoffe*	spezifische Wirkungsmechanismen
Daphnientest	DIN 38412 L30	PAK, Schwermetalle, (Benzol, AOX, DOC)	Verlust der Schwimmfähigkeit bzw. Absterben der exponierten Wasserflöhe
Algentest	DIN 38412 L33	CKW, PCB, Phenole	reduzierte Zellvermehrung
Leuchtbakterientest	DIN 38412 L33	Schwermetalle, PAK, KW	Abnahme der Leuchtintensität der exponierten Leuchtbakterien
Kressetest	OECD 208	Herbizide, Cyanide, PAK, (CKW, Schwermetalle)	Verminderung der Keimfähigkeit der exponierten Kressesamen
Amestest	OECD 271	-	Mutationsrate der exponierten Bakterien (Veränderung des Stoffwechsels)
UMU-Test	DIN UA12	-	Wachstumshemmung der exponierten Bakterien
Embryofischtest	-	-	Verringerung der Überlebensrate von exponierten Embryonen des Zebraärlings

* in Klammern: Sensibilität vermutet

3 Qualität der Meßergebnisse

3.1 Bewertungsgrundlage

Zur Überprüfung der Meßabweichung der eingesetzten Meßsysteme wurden parallel Referenzuntersuchungen durchgeführt. Diese bestanden in der Regel aus monatlichen Probennahmen des Grundwassers und herkömmlichen Analysen im Labor. Für die Bewertung der Genauigkeit der Meßsysteme standen pro Meßgerät bis zu 12 Messungen (bzw. ein entsprechendes Vielfaches bei mehreren Testgeräten eines Fabrikats) zur Verfügung. Die Referenzproben wurden bei den in situ in Grundwassermeßstellen eingebauten Meßsystemen zur besseren Vergleichbarkeit aus der Einbautiefe der Meßgeräte geschöpft. Für die Parameter Grundwasserstand, Grundwassertemperatur, pH-Wert und el. Leitfähigkeit wurden Referenzmessungen mit Lichtlot bzw. Handmeßgeräten (WTW-Geräte) vor Ort vorgenommen.

Die Meßabweichungen wurden aus den Differenzen der Referenzmeßwerte und der zugehörigen Meßwerte des eingesetzten Meßsystems ermittelt. Unplausible Meßergebnisse ("Ausreißer") aufgrund offensichtlicher technischer Störungen wurden dabei nicht berücksichtigt. Da die Meßwerte des EFA-Sensors beim Einsatz in Mühlacker und die des CKW-Indicators beim Einsatz in Eppelheim offensichtliche syste-

matische Meßabweichungen enthalten, wurde in diesen Fällen die korrigierten Meßwerte der Auswertung zugrunde gelegt (siehe Kap. 3.2).

Als Maß für die Streuung der Meßabweichung wurde der arithmetische Mittelwert der Abweichungen (Absolutwerte) berechnet.

In der Tabelle 7 und Tabelle 8 sind die mittleren Meßabweichungen und die resultierende Beurteilung der Genauigkeit der einzelnen Meßsysteme dargestellt. Die mittleren Meßabweichungen der einzelnen Meßsysteme sind in Spalte 4 in der jeweiligen Maßeinheit und in Spalte 5 in Prozent, bezogen auf den entsprechenden Referenzwert, angegeben.

Für die Bewertung der Genauigkeit der Meßsysteme wurde die mittlere Abweichung in 4 (empirisch festgelegte) Genauigkeitsklassen unterteilt:

Tabelle 5: Bewertung der Genauigkeit

Genauigkeit	Mittlere Meßabweichung
sehr gut (++)	0 bis 4,9 %
gut (+)	5 - 9,9 %
mäßig (0)	10 bis 24,9 %
unzureichend (-)	> 25 %

Die Einteilung der Genauigkeitsklassen erfolgte anhand des Wertebereichs der ermittelten Meßabweichungen.

Die Bewertung der Meßabweichung ist mit folgenden Unsicherheiten behaftet:

1. Bei der Ermittlung der Meßgenauigkeit wird als Bezugswert das Analyseergebnis bzw. der Vor-Ort-Meßwert des Referenzmeßgerätes zugrunde gelegt. Da diese Werte jedoch keine Erwartungswerte ("wahre Werte") sind und ebenfalls einer zufalls- und teilweise auch systembedingten Meßunsicherheit unterliegen, geht diese Streuung in die Meßabweichung ein. Die Streuung ist durch Ringversuche im Rahmen der Analytischen Qualitätssicherung (AQS) bekannt (vgl. Tabelle 6).
2. Weitere Unsicherheiten können bei Probennahme, -transport und -lagerung der Referenzproben auftreten.
3. Bei kurzfristig starker Schwankung der Schadstoffzusammensetzung und Gehalte wie etwa beim MoVo Mühlacker ist eine repräsentative Probennahme für die Referenzmessung nur sehr eingeschränkt möglich. In diesem Fall sind die Analyseergebnisse der Referenzproben mit einer höheren Unsicherheit behaftet.

Aufgrund des hohen Standards der AQS in Baden-Württemberg und der überschaubaren Unsicherheiten bei sachgemäßer Probennahme und -transport ist eine Bewertung der Meßgenauigkeit aus den Meßabweichungen dennoch möglich und sinnvoll.

Tabelle 6: Relative Standardabweichung von Laborergebnissen bei Ringversuchen

Parameter	Meßbereich	Relative Standardabweichung
Ammonium	0,0 - 10 mg/l	ca. 4 - 5 %
	10 - 50 mg/l	ca. 3 - 4 %
Chlorid	10 - 50 mg/l	ca. 3 - 4 %
Nitrat	0-10 mg/l	ca. 4 - 5 %
	10 - 50 mg/l	ca. 3 - 4 %
EBTX*	50 - 200 µg/l	ca. 10 - 15 %
LCKW*	50 - 200 µg/l	ca. 12 - 22 %
PCB*	0 - 3 µg/l	ca. 25%
pH-Wert	6 - 9	ca. 2%
el. Leitfähigkeit	500 - 1.000 µS/cm	ca. 1 %

(Aus: Ergebnisse der AQS-Ringversuche, AQS-Leitstelle am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart)
 * je nach Zusammensetzung unterschiedliche Standardabweichungen

3.2 Genauigkeit der Meßsysteme

Die **Drucksonden** zeigten geringe Meßabweichungen von durchschnittlich 1 cm bei einem Meßbereich von 10 m Wassersäule, die der erzielbaren Genauigkeit der Referenzmessung mit Lichtlot entspricht.

Der faseroptische **EFA-Sensor** zeigte beim Einsatz in Mühlacker eine mittlere Meßabweichung von 20,3 % und fällt damit in die Genauigkeitsklasse "mäßig" (vgl. Tabelle 5 und 7). Die Abweichungen sind teilweise auf die kurzfristig starke Schwankung der LCKW-Gehalte beim MoVo Mühlacker und die damit verbundenen Probleme einer repräsentativen Probennahme für die Referenzanalytik zurückzuführen (s.o.).

Der EFA-Sensor hat unterschiedliche Empfindlichkeiten für die verschiedenen LCKW-Spezies und muß daher auf die LCKW-Zusammensetzung des Meßgutes kalibriert werden. Schwankungen der LCKW-Zusammensetzung führen folglich zu systematischen Meßungenauigkeiten [7]. Diese könnten theoretisch bei jeder Messung durch eine neue Kalibrierung auf die aktuelle Beschaffenheit ausgeglichen werden. Da dies aus praktischen Gründen nicht möglich war, wurden die EFAS-Meßwerte über eine nachträgliche Kalibrierung auf die mittlere LCKW-Zusammensetzung korrigiert. Bei der Bewertung der Genauigkeit wurden die korrigierten EFAS-Werte zugrunde gelegt.

Tabelle 7: Meßabweichung und Genauigkeit der Meßsysteme (1)

Meßsystem	Testparameter	Meßbereich	Mittl. Abweichung	Relative mittl. Abweichung	Trend (*1)	Genauigkeit (*2)	Bemerkung
DRUCK-SONDE ODS4	GW-Stand	10 m WS	1 cm	0,01 %	o	++	
EFA-SENSOR	LCKW (Summe)	1.000-10.000 µg/l	555 µg/l	20,3	o	o	Referenzmessung problematisch, da extreme Konzentrationsschwankungen (Mühlacker)
GORE-SORBER	PCB (Summe)	0 - 5 µg/l	enger Zusammenhang der PCB-Gehalte im Sorber und im Grundwasser			qualitativ bis halbquantitativ	Zeitintegrierte Erfassung der Schadstoffe
AKTIV-KOHLE-SORBER	PCB (Summe)	0 - 5 µg/l	enger Zusammenhang der PCB-Gehalte im Sorber und im Grundwasser			qualitativ bis halbquantitativ	Zeitintegrierte Erfassung der Schadstoffe
PREUSSAG CKW-INDICATOR	AKW / AOV (Summe)	0-50 µg/l	nicht auswertbar			-	Störeffekte durch Methan im Grundwasser (Eppelheim)
		50 - 200 µg/l	15,9 µg/l	17,2 %	o	o	Störeffekte durch Methan im Grundwasser (Eppelheim)
	LCKW (Summe)	1.000 - 10.000 µg/l	578 µg/l	24,4 %	o	o	Referenzmessung problematisch, da extreme Konzentrationsschwankungen (Mühlacker)

(*1) Trend der Meßabweichung: fälschlich zu hoch = +; fälschlich zu niedrig = -; kein einheitlicher Trend = o
 (*2) Bewertung nach relativer mittlerer Abweichung:
 0 - 4,9 % = sehr gut (++), 5 - 9,9 % = gut (+), 10 - 24,9 % = mäßig (o), > 25 % = unzureichend (-)

Der **PREUSSAG CKW-Indicator** schneidet mit einer mittleren Meßabweichung von 17,2 % bei AKW bzw. AOV (Meßwertbereich 50 - 200 µg/l) und mit 24,4 % bei LCKW (Meßbereich 1.000 - 10.000 µg/l) mäßig ab. In Mühlacker sind die hohen Abweichungen (LCKW) auf die oben angesprochene mangelnde Repräsentativität der Probennahme der Referenzproben zurückzuführen. Beim Test am ehem. MoSt Eppelheim wirkte sich die Zusammensetzung der ausblasbaren organischen Schadstoffe (AOV) ungünstig auf das Meßverhalten aus. Das Vorhandensein von gelöstem Methan im Grundwasser störte die Messungen derart, daß die Messung im unteren Konzentrationsbereich (0 - 50 µg/l) nicht auswertbar waren. Bei den Messungen im Konzentrationsbereich 50 bis 200 µg/l konnten die Meßwerte nachträglich korrigiert werden. Der Auswertung der Meßabweichung der Einsätze in Eppelheim und Mühlacker liegen die korrigierten Werte zugrunde.

Nach Auskunft des Herstellers ist neuerdings auch die Berücksichtigung des Methans bei der Kalibrierung, allerdings mit hohem laboranalytischen Aufwand, möglich.

Tabelle 8: Meßabweichung und Genauigkeit der Meßsysteme (2)

Meßsystem	Testparameter	Meßbereich	Mittl. Abweichung	Relative mittl. Abweichung	Trend ^(*1)	Genauigkeit ^(*2)	Bemerkung
ELBAGU VARIO 5 PT	Ammonium (ISE)	1-10 mg/l	15,4 mg/l	399,0	+	-	vermutlich aufgrund defekter Bezugselektrode
	Chlorid (ISE)	1-30 mg/l	7,1 mg/l	37,4 %	+	-	vermutlich aufgrund defekter Bezugselektrode
	pH-Wert (ISE)	6-9	0,5 %	6,6 %	-	+	nur 50 % der Messungen sind auswertbar
	el. Leitfähigkeit	500 - 1.000 µS/cm	55,6 µS/cm	8,9 %	-	+	
	GW-Temperatur	10 - 20 ° C	0,5 °C	3,7 %	+	++	
terratec MULTI-SONDE	Ammonium (ISE)	1-40 mg/l	15,3 mg/l	65,6 %	+	-	
	Chlorid (ISE)	1-40 mg/l	4,0 mg/l	31,4 %	+	-	
	pH-Wert	6-8	0,2	2,7 %	o	++	
	GW-Stand	10 m WS	4 cm	0,36 %	-	+	möglicherweise aufgrund unterschiedlicher Einbautiefen nach Wartungen
WANDA MULTI-SONDE	Ammonium (ISE)	0 - 0,03 mg/l	0,03 mg/l	60,4 %	+	-	Gehalte unterhalb des Meßbereichs
		1-10 mg/l	0,7 mg/l	18,6 %	+	o	
	Chlorid (ISE)	1-40 mg/l	3,4 mg/l	23,4 %	o	o	
	Nitrat (ISE)	1-60 mg/l	2,8 mg/l	19,1 %	o	o	
	pH-Wert	6-8	0,3	3,6 %	o	++	
	el. Leitfähigkeit	500 - 1.000 µS/cm	39,7 µS/cm	6,0 %	+	+	
BIOTESTS	organische / anorganische Schadstoffe	keine signifikanten Untersuchungsergebnisse				qualitativ	Ames- und Embryofischttest zeigen bei 2 Proben toxische Wirkungen

(*1) Trend der Meßabweichung: fälschlich zu hoch = +; fälschlich zu niedrig = -; kein einheitlicher Trend = o
 (*2) Bewertung nach relativer mittlerer Abweichung:
 0 - 4,9 % = sehr gut (++), 5 - 9,9 % = gut (+), 10 - 24,9 % = mäßig (o), > 25 % = unzureichend (-)

Die drei getesteten **Mehrparametersysteme mit ISE** zeigen extrem unterschiedliche Meßabweichungen bei den einzelnen Parametern. Die mit herkömmlichen Sonden gemessenen Größen el. Leitfähigkeit und Grundwassertemperatur weisen mit Werten zwischen 3,7 % und 8,9 % geringe Abweichungen auf. Die ISE zeigen dagegen noch deutlichen Entwicklungsbedarf hinsichtlich Meßgenauigkeit (siehe Tabelle 9). Die von den Herstellern angegebenen Genauigkeiten wurden in den Tests bei weitem nicht erreicht.

Tabelle 9: Mittlere Meßabweichung der ISE

Angaben in %

Parameter	ELBAGU Vario 5 PT	terratec Multisonde	WANDA Multisonde	Durchschnitt
Ammonium	399,0	65,6	18,6	161,0
Chlorid	37,4	31,4	23,4	30,7
Nitrat	-	-	19,1	19,1
pH-Wert	6,6	2,7	3,6	4,3

Die Ursachen für die hohen Meßabweichungen sind teilweise bauartbedingt, teils auch auf Defekte der Sensoren zurückzuführen. Bei den nicht selbstkalibrierenden Sonden sind im Dauerbetrieb starke Drifteffekte der Meßwerte und Zerstörung (Auslaugung / Belagbildung) der Membranen festzustellen. Die Genauigkeit der ISE der eingesetzten Mehrparameter-Meßsysteme wurde folgendermaßen bewertet (Tabelle 7, Bild 4):

- ELBAGU VARIO 5PT: Ammonium: unzureichend
Chlorid: unzureichend
pH-Wert: gut
- terratec Multisonde: Ammonium: unzureichend
Chlorid: unzureichend
pH-Wert: sehr gut
- WANDA Multisonde: Ammonium: mäßig
Chlorid: mäßig
Nitrat: mäßig
pH-Wert: sehr gut

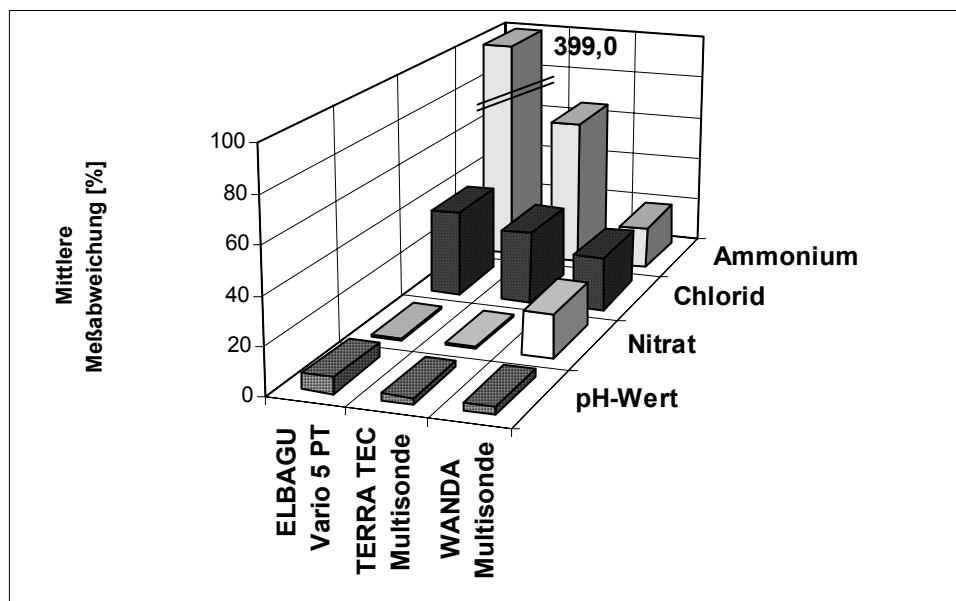


Bild 4: Meßabweichungen der ionenselektiven Elektroden

Die Meßergebnisse der **passiven Sorber** sind nicht unmittelbar mit den PCB-Gehalten der Referenzproben vergleichbar, da die zeitliche Dimension der Anreicherungsvorgänge der Sorber zu berücksichtigen ist. Die Anreicherung ist in den Aktivkohlesorbern nach 4 Wochen weitgehend abgeschlossen, bei den GORE-Sorbern[®] dauert sie auch nach über 8 Wochen noch an. Mit passiven Sorbern lassen sich derzeit keine quantitativen Ergebnisse zur momentanen Grundwasserbeschaffenheit erzielen. Es ist jedoch ein enger Zusammenhang der Sorbergehalte und der PCB-Gehalte im Grundwasser festzustellen. Die Sorber können zur qualitativen bis halbquantitativen Erfassung von Schadstoffgehalten und für Relativmessungen verwendet werden.

Die mit Grundwasserproben aus Teningen und Osterhofen durchgeführten **Biotests** ergaben bis auf wenige Ausnahmen keine signifikanten Ergebnisse. Eine Beurteilung der toxischen Wirkung der untersuchten Proben und Zuordnung zu Schadstoffen / Schadstoffgruppen ist anhand der Biotestergebnisse nicht möglich. Lediglich der AMES-Test und der Embryofischtest zeigten eine schwache bis deutliche toxische Wirkung. Offenbar haben die geprüften Biotests bei den an den Teststandorten vorliegenden Schadstoffgehalten keine ausreichende Sensitivität.

4 Wirtschaftlichkeit der Meßsysteme

Ein Teilaspekt der Praxistests war die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Systeme im Vergleich zur herkömmlichen Praxis der fachtechnischen Kontrolle mit Probennahme und Laboranalytik.

4.1 Grundlage der Kostenermittlung

Die Kosten für den Einsatz eines Meßsystems bei der fachtechnischen Kontrolle setzen sich zusammen aus den Miet- oder Anschaffungskosten, den Installationskosten, den Kosten für den laufenden Betrieb und den Personalkosten für Durchführung der Messungen sowie für Kalibrierung, Wartung und Kontrolle der Meßsysteme.

Als gemeinsame Basis wurde für die Ermittlung der Kosten eine Kontrolldauer von 3 Jahren und eine Anzahl von 3 Kontrollmeßstellen angesetzt. Bei den mobilen Meßsystemen (Einzelmessungen) wurde ein Kontrollintervall von einem Monat zugrunde gelegt, um eine Vergleichbarkeit mit kontinuierlichen Meßsystemen zu ermöglichen. Die Kosten für passive Sorber und Biotests sind für vierteljährlichen bzw. halbjährlichen Einsatz berechnet.

Den Berechnungen in Tabelle 10 liegen die Miet- und Kaufpreise der Meßsysteme (Stand 1995) und Erfahrungswerte über den Wartungsaufwand aus der Testphase zugrunde. Die Kosten für Kalibrier- und Wartungsarbeiten sowie Funktionskontrolle der Meßsysteme sind in den Preisen enthalten, nicht jedoch die Kosten für die Auswertung und Datenaufbereitung. Die Anfahrtkosten sind nur bei pauschalen Mietangeboten einzelner Meßsysteme enthalten. Je nach Entfernung zum Einsatzstandort

und Häufigkeit der Kontrollgänge schwanken die Anfahrtkosten beträchtlich.

Den Kosten bei Erwerb der Meßsysteme liegt eine Abschreibungszeit von 3 Jahren (=Kontrolldauer) zugrunde. Die Mietkonditionen sind je nach Meßsystem sehr unterschiedlich. In der Regel sind Installation (bei stationären Systemen) und größere Wartungen im Mietpreis enthalten. Zusätzlich können Kosten für Verschleißteile, Funktionskontrolle etc. entstehen.

Bei einer geringeren Anzahl an Kontrollmeßstellen können die Kosten deutlich günstiger liegen. Je nach Anteil der festen Kosten (Investitions-, Anfahrtkosten, Kalibrierungs- und Wartungsaufwand etc.) eines Meßsystems sind bei der Kontrolle von nur einer Meßstelle ca. 30 bis 80 % der in Tabelle 10 angegebenen Kosten zu veranschlagen.

4.2 Kosten der Meßsysteme

In der Tabelle 10 sind die ermittelten jährlichen Kosten (Nettopreise) für den Einsatz der einzelnen Meßsysteme beim oben genannten Kontrollumfang (Kontrolldauer 3 Jahre, Kontrolle von 3 GWM, Kontrollintervall 1 Monat bei Einzelmessungen) angegeben.

Aufgrund der teilweise grundsätzlich verschiedenen Meßaufgaben und Einsatzbereiche ist ein direkter Kostenvergleich der einzelnen Meßsysteme nur begrenzt möglich. Manche Meßsysteme benötigen jeweils 1 Gerät pro Kontrollmeßstelle, während andere Systeme zur Kontrolle mehrerer Meßstellen eingesetzt werden können. In der Regel sind die Einsatzkosten bei Erwerb der Meßsysteme günstiger als bei Anmietung. Eine Ausnahme bietet der CKW-Indicator aufgrund zeitlich gestaffelter Mietpreise.

Am günstigsten liegen die **passiven Sorber (GORE)** mit ca. 3.000,- DM pro Jahr und die **Biotests** mit ca. 1.800,- bis 6.600,- DM pro Jahr. Diese beiden Systeme sind keine Vor-Ort-Meßsysteme und haben nur eine begrenzte Aussagekraft.

Der **EFA-Sensor** kostet bei mobilem Einsatz und Erwerb ca. 10.500,- DM jährlich. Die Kosten für den kontinuierlichen Einsatz dürften nur geringfügig höher liegen.

Der **PREUSSAG CKW-Indicator** ist mit 31.500,- DM pro Jahr bei Anmietung (42.500,- bei Erwerb) vergleichsweise teuer, jedoch kann mit geringen Mehrkosten eine höhere Anzahl von Meßstellen kontrolliert werden.

Wasserstandsmessungen mit **Drucksonden** und **Datenfernübertragung** sind jährlich mit 14.500,- DM (Erwerb) bzw. 18.500,- DM (Anmietung) zu veranschlagen. Bei Verzicht auf die Datenfernübertragung reduzieren sich die Kosten deutlich. Komplette Meßsysteme mit einer Drucksonde werden bereits ab 3.000,- DM von verschiedenen Herstellern angeboten.

Tabelle: 10 Jährlicher Kostenaufwand für den Einsatz der Meßsysteme bei Kontrolle von 3 Meßstellen

Stand: 1995

Meßsystem	Einsatzart	Anzahl der erforderl. Meßsysteme	Jährliche Kosten ¹ bei Anmietung (DM)	Jährliche Kosten ¹ bei Erwerb (DM)	Bemerkungen
DRUCKSONDEN MIT DATENFERN-ÜBERTRAGUNG	stationär / kontinuierl.	3	ca. 18.500,-	ca. 14.500,-	1 zentraler Datensammler mit Datenfernübertragung
EFA-SENSOR	mobil / diskontinuierl.	1	nicht ermittelt	ca. 10.500,-	monatliche Messung; Anmietung nicht möglich
PREUSSAG CKW-INDICATOR	stationär / kontinuierl.	1	ca. 31.500,-	ca. 42.500,-	ohne wöchentliche Funktionskontrolle bei Erwerb
ELBAGU VARIO 5PT	mobil / diskontinuierl.	1	entfällt	ca. 11.000,-	monatliche Messung
terratec MULTISONDE	stationär / kontinuierl.	3	ca. 46.500,-	entfällt	kein Erwerb möglich
WANDA MULTISONDE	stationär / kontinuierl.	3	63.500,-	ca. 29.000,-	automatische Selbstkalibrierung der ISE
AKTIVKOHLE-SORBER	keine Vor-Ort-Messung	12	entfällt	ca. 12.500,-	bei 4 Sorbern pro GWM
GORE-SORBER®	keine Vor-Ort-Messung	12	entfällt	ca. 3.000,-	bei 4 Sorbern pro GWM
BIOTESTS	keine Vor-Ort-Messung	--	je nach Test ca. 1.800,- bis 6.600,-		bei 2 Tests pro GWM einschließlich Verdünnungsstufen; ohne Probennahme

¹ einschließlich Installation, Betriebs- und Personalkosten für die Kontrolle von 3 GWM bei einer Kontrolldauer von 3 Jahren

Die Preisspanne bei **Mehrparametersystemen mit ISE** ist erheblich. Die jährlichen Kosten liegen bei Erwerb der Anlagen zwischen 11.000,- und 29.000,- DM, bei Anmieten bei 14.500,- bis 63.500,- DM. Die mobil eingesetzte **ELBAGU-Sonde** ist deutlich kostengünstiger als die beiden kontinuierlich messenden Systeme (WANDA-Sonde, terratec-Sonde), da mit einem Geräte alle 3 Kontrollmeßstellen gemessen werden können.

Nach den Ergebnissen der Datenerhebung bei den ehemaligen Ämtern für Wasser-

wirtschaft und Bodenschutz in Baden-Württemberg liegen die Kosten einer herkömmlichen fachtechnischen Kontrolle bei 2.000,- bis 4.000,- DM im Jahr für durchschnittlich 2 bis 4 Kontrollmeßstellen (Datengrundlage älter als 1995). Die herkömmliche fachtechnische Kontrolle ist damit derzeit erheblich günstiger als der Großteil der getesteten Meßsysteme. Die einzigen vergleichbar günstigen Methoden (Biotest, passive Sorber) liefern beim derzeitigen Entwicklungsstand noch keine quantitativen Ergebnisse.

5 Technische Zuverlässigkeit der Meßsysteme und Zeitbedarf

Die technische Zuverlässigkeit und der Zeitbedarf für Kalibrierung, Funktionskontrolle und Wartung der Meßsysteme wurde anhand der Meßergebnisse und der Betriebstagebücher der Testeinsätze ausgewertet und ist in Tabelle 10 dargestellt. In der Spalte 3 (Technische Störungen) wurden bei kontinuierlichen Meßsystemen die Zeiten bzw. bei diskontinuierlichen Meßsystemen die Anzahl der Meßeinsätze erfaßt, in denen gravierende technische Probleme und unplausible Meßwerte auftraten. In Spalte 4 ist der Zeitraum bzw. die Anzahl der Meßeinsätze angegeben, an denen das Meßsystem aufgrund von technischen Defekten still stand bzw. die Messung nicht auswertbar war. Der Zeitaufwand für Kalibrierung, Wartung, Kontrolle ist qualitativ in Spalte 5 angegeben.

Die technische Zuverlässigkeit war bei keinem der getesteten Systeme völlig zufriedenstellend. Am besten schnitten die vergleichsweise einfach aufgebauten Drucksonden und der EFA-Sensor ab.

Bei den **Drucksonden** traten keine Datenverluste auf. In der Anfangsphase des Praxistests (ca. 5,5 Monate) wurden jedoch Störeinflüsse durch das Funktelefon des PREUSSAG CKW-Indicator festgestellt, die zu fehlerhaften Meßwerten führten. Die Störungen sind durch die besondere Anlagenkonfiguration in Eppelheim (gemeinsamer Schaltschrank, gemeinsame Stromkreise) bedingt. Sie könnten etwa durch einen Testlauf im Werk vermieden werden.

Im übrigen war der Wartungsaufwand - abgesehen von Reparaturen der Blitzschutzmodule - gering.

Die **Datenfernübertragung** mit Funkmodem und automatischer Meßwertansage funktionieren zufriedenstellend bis auf zeitweilige Störung der Funkverbindung (vermutlich aufgrund von schlechten Witterungsverhältnissen). Nach Angabe des Herstellers sind bei Nutzung des D-Netzes die Störungen deutlich geringer.

Tabelle 10: Technische Zuverlässigkeit, Kalibrier und Wartungsaufwand der eingesetzten Meßsysteme

Meßsystem	Testdauer / Anzahl d. Messungen	Technische Störungen	Geräteausfälle	Kalibrier- und Wartungsaufwand	Ursache der Störungen und Ausfälle
DRUCKSONDE ODS4	12 Monate	ca. 5,5 Mon. (45,8 %)	-	gering	elektromagnetische Störungen durch Funktelefon des CKW-Indicators, Defekt des Blitzschutzmoduls, Verstellung des Referenzpunktes (Einbautiefe)
DATENFERN-ÜBERTRAGUNG OTT-COM	12 Monate	zeitweise (ca. 2,0 %)	-	gering	durch Witterungseinflüsse zeitweise Störung der Funkverbindung (C-Netz)
EFA-SENSOR	62 Einzelmessungen	2 Messungen (3,2 %)	5 Messungen (8,1 %)	gering	Defekte des Temperatursensors (2x) und des Lichtleiters (2x), Geräteausfall bei Frost
PREUSSAG CKW-INDICATOR	2 x 12 Monate	26 Tage (3,5 %)	50 Tage (6,7%)	hoch	Def. Magnetventile, def. UV-Strahler, def. Austragspumpe def. Durchflußregler, Verkalkung der Meßstellenumschalter
ELBAGU VARIO PT	18 Einzelmessungen	ISE: 16,6 bis 66,7 %	ISE: 33,3 %	hoch	dauerhafte Probleme mit der Kalibrierung der ISE, Def. der pH-Meßkette (Bezugselektrode), vorzeitiger Abbruch der Meßreihe
terratec	3 x 13 Monate	ISE: 3-30 Monate (7,7 - 77,0 %)		hoch	Def. der ISE-Membranen, Def. der Bezugselektrode, starke Meßwertdrift nach Überschreiten der Standzeit
WANDA-MULTISONDE	3 x 12 Mon. 3 x 7 Mon.	ISE: 1 - 5,5 Mon. (2,8 - 26,2 %)	ISE: 2 - 2,5 Mon. (5,8 - 9,5 %)	hoch	Luftblasen in Sensormeßstelle, elektrische Kontaktprobleme, starke Meßwertdrift nach Überschreiten der Standzeit

Der mobil eingesetzte **EFA-Sensor** arbeitete vergleichsweise zuverlässig und erforderte einen geringen Aufwand für Kalibrierung und Wartung des Gerätes. Aufgrund der langen Ansprechzeit des Sensors ist die Durchführung der Messung jedoch zeitintensiv (ca. 0,5 bis 1 Std. pro Messung). Bei insgesamt 62 Einzelmessungen fiel der EFA-Sensor 5mal durch technische Defekte bzw. durch ungenügende Ausstattung des Gerätes für den Feldeinsatz bei Frosttemperaturen aus.

Der Einsatz des **PREUSSAG CKW-Indicators** in Eppelheim und Mühlacker war trotz wöchentlichem Kontrollgang und regelmäßiger Wartung gekennzeichnet von zahlreichen Anlagen-Stillständen aufgrund technischer Defekte einzelner Bauteile des sehr komplexen Meßsystems. Die Zeiträume mit technischen Störungen summieren sich zu 3,5 %, die gerätebedingten Stillstandszeiten belaufen sich auf durchschnittlich 6,7 % des Testzeitraums. In Mühlacker traten Probleme mit Kalkabscheidungen an den Meßstellenumschaltern auf, die eine regelmäßige Reinigung erforderlich machten. Insgesamt ist der Zeitaufwand für Kontrolle und Wartung des PREUSSAG CKW-Indicators sehr hoch.

Bei den 3 getesteten **Mehrparameter-Meßsystemen mit ISE** ist der Zeitaufwand für Kalibrierung, Kontrolle und Wartung sehr hoch. Bei der mobil eingesetzten ELBAGU-Sonde traten wiederholt Probleme mit der Kalibrierung der Sensoren auf, die schließlich zum Abbruch der Meßreihe führten. Die beiden kontinuierlich messenden Systeme terratec und WANDA wurden im Schnitt 2mal monatlich von Hersteller/Betreiber gewartet. Die Sonde mit automatischer Selbstkalibrierung (WANDA) hatte nur geringe technisch bedingte Störungen und Ausfallzeiten (je nach Parameter 2,8 bis 26,2 % Störungen, 5,8 bis 9,5 % Ausfallzeiten bei den ISE). Bei den Systemen ohne Selbstkalibrierung betrug die technisch bedingten Meßlücken im Durchschnitt zwischen 7,7 % beim pH-Wert und 77 % beim Ammonium. Hauptprobleme der ISE waren chemische Zerstörung (Korrosion, Belagbildung, Auslaugung) der Membranen durch Wasserinhaltsstoffe bzw. mechanische Beschädigung der Bezugs Elektroden (Glaselektrode).

Die **passiven Sorber** waren schnell und unkompliziert in den Grundwassermeßstellen zu installieren. Technische Probleme bei der Handhabung traten nicht auf.

Bei den **Biotests** beschränkt sich der Zeitaufwand auf die Probennahme und den Transport ins Labor.

6 Gesamtbeurteilung der Meßsysteme und Entwicklungsbedarf

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten und der Wirtschaftlichkeit von Vor-Ort-Meßsysteme im Rahmen der fachtechnischen Kontrolle des Grundwassers. Für die Beurteilung der Meßsysteme wurden die technische Zuverlässigkeit, der erforderliche Betreuungsaufwand, die Meßgenauigkeit und die ermittelten Kosten bewertet (vergl. Tabelle 11).

Lediglich zwei Meßsysteme (Wasserstandsmessungen mit Drucksonden und Beschaffenheitsmessungen mit selbstkalibrierenden Mehrparametersystemen) sind nach dem derzeitigen technischen Entwicklungsstand bei der fachtechnischen Kontrolle einsetzbar. Zwei weitere Meßsysteme (Beschaffenheitsmessungen mit dem CKW-Indicator und dem EFA-Sensor) sind mit Einschränkung geeignet, die übrigen Systeme ungeeignet. Sorber eignen sich derzeit nur als Zusatzmethode in Verbindung mit einem anderen Meßsystem.

Drucksonden mit Datenfernübertragung

Der Praxistest in Eppelheim zeigte, daß die kontinuierliche Messung der Grundwasserstände mit Drucksonden zuverlässig, genau und kostengünstig ist. Die vom Hersteller angegebene Meßgenauigkeit von einem Zentimeter bei einem Meßbereich von 10 m WS konnte bestätigt werden. Der Wartungsaufwand ist gering.

Werden die Drucksonden mit weiteren Meßvorrichtungen gekoppelt, so muß mit ge-

gegenseitiger Beeinflussung der Meßsysteme (siehe Kap. 5) gerechnet werden. Daher sollte ein Testlauf im Werk erfolgen, um Störeinflüsse im Vorfeld ausschließen zu können.

Die Datenfernübertragung über Funkmodem ist technisch ausgereift und praxistauglich. Zeitweise ist mit Störungen der Funkverbindung bei Nutzung des C-Netzes zu rechnen. Die Kommunikationssoftware des getesteten Systems für die empfangsseitige Auslesung der Meßdaten könnte etwas bedienungsfreundlicher gestaltet werden. Die Datenfernübertragung per Funk ist derzeit noch verhältnismäßig teuer und wird sich daher nur bei besonderen Aufgabenstellungen rentieren.

Tabelle 11: Gesamtbeurteilung der Meßsysteme und Eignungsempfehlung für die fachtechnische Kontrolle des Grundwassers

Meßsystem	Parameter	techn. Zuverlässigkeit	Meßgenauigkeit	nischen Kontrolle des Grundwassers
Grundwasserstand				
Drucksonden, Datenfernübertragung	Grundwasserstand	gut	sehr gut	geeignet
Grundwasserbeschaffenheit				
EFA-Sensor	LCKW	gut	mäßig	geeignet bei höheren Schadstoffgehalten (z.B. Trichlorethen > 200 µg/l)
PREUSSAG CKW-Indicator	AKW / AOV, LCKW	mäßig	mäßig	mit Einschränkung geeignet im Konzentrationsbereich über 50 µg/l; teuer und wartungsintensiv
Mehrparameter-systeme mit ISE und Selbstkalibrierung	Ammonium (ISE), Chlorid (ISE) Nitrat (ISE) pH-Wert (ISE) Temperatur, el. Leitfähigkeit, GW-Stand	gut	mäßig	geeignet, jedoch teuer
Mehrparameter-systeme mit ISE ohne Selbstkalibrierung	Ammonium (ISE), Chlorid (ISE) pH-Wert (ISE) Temperatur, el. Leitfähigkeit, GW-Stand	unzureichend	mäßig bis unzureichend	ungeeignet, da zu ungenau und zu kurze Standzeiten der Sensoren (ISE); teuer
Passive Sorber	PCB	gut	qualitativ bis halbquantitativ	nur als Zusatzmethode geeignet (liefert zeitintegrierte Werte)
Biotests	organische und anorganische Schadstoffe	-	qualitativ bis halbquantitativ	ungeeignet, da zu geringe Empfindlichkeit (möglicherweise als Zusatzmethode bei höheren Schadstoffgehalten geeignet)

EFA-Sensor

Der faseroptische EFA-Sensor wurde in Mühlacker für diskontinuierliche Messung der

LCKW-Gehalte im mg/l-Bereich erprobt. Die Messungen sind von angeleitetem Fachpersonal durchführbar und dauern etwa 0,5 bis 1 h pro Messung. Der Wartungsaufwand des EFA-Sensors ist gering.

Bei stark schwankender Zusammensetzung und Konzentration der LCKW wie beim Praxistest in Mühlacker ist mit erhöhten Meßabweichungen zu rechnen. Sie beruhen auf der unterschiedlichen Empfindlichkeit des EFA-Sensors für die einzelnen LCKW-Spezies und ließen sich nur durch ständige Anpassung der Kalibrierung an die aktuelle Zusammensetzung vermeiden. Dagegen dürften Messungen mit dem EFA-Sensor bei gleichbleibender LCKW- im mg/l- bis oberen µg/l-Bereich zufriedenstellend durchzuführen sein.

Durch Weiterentwicklung der Sonde mit einer doppelt gewickelten Faserspule konnten die Nachweisgrenzen zwischenzeitlich gesenkt werden. Sie liegt z.B. für Trichlorethen bei 0,2 mg/l gegenüber 0,8 mg/l bei der im Feldtest eingesetzten Sonde. Die technische Zuverlässigkeit des Gerätes ist insgesamt als gut zu bezeichnen. Einzelne aufgetretene Geräteausfälle waren teilweise bauartbedingt, wurden zwischenzeitlich jedoch durch technische Änderungen behoben.

Im Vergleich zu konventionellen Laboranalysen sind Einzelmessungen mit dem EFA-Sensor verhältnismäßig teuer und rentieren sich erst ab ca. 50 Messungen pro Jahr.

PREUSSAG CKW-Indicator

Der PREUSSAG CKW-Indicator ist zwar prinzipiell einsetzbar für die kontinuierliche Messung von LCKW, AKW und weiteren flüchtigen organischen Bestandteilen im Grundwasser, die Praxistauglichkeit wird jedoch eingeschränkt durch häufig auftretende technische Störungen der Anlage, die einen hohen Kontroll- und Wartungsaufwand durch technisches Fachpersonal erforderlich machen.

Die Meßgenauigkeit konnte bei den Einsätzen am ehem. MoSt Eppelheim und beim MoVo Mühlacker aufgrund der besonderen Verhältnisse der Grundwasserbeschaffenheit nur näherungsweise bestimmt werden. Die Meßabweichungen liegen im Konzentrationsbereich 50 bis 200 µg/l wahrscheinlich unter 15 % und im Bereich 1.000 - 10.000 µg/l unter 25 %.

Bei komplexer Zusammensetzung der leichtflüchtigen organischen Schadstoffe ist der PREUSSAG CKW-Indicator aufgrund zu hoher Meßabweichungen derzeit nicht geeignet für die fachtechnische Kontrolle.

Mehrparameter-Meßsysteme mit selbstkalibrierenden ionenselektiven Elektroden (ISE)

Die getestete WANDA-Multisonde ist als einziges Mehrparameter-Meßsystem für eine kontinuierliche Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit geeignet. Das Meßsystem ist mit ionenselektiven Elektroden und automatischer Selbstkalibrierung

ausgestattet. Im Praxistest wurden die Parameter Ammonium (ISE), Chlorid (ISE), Nitrat (ISE), pH-Wert (ISE), el. Leitfähigkeit, Temperatur und Grundwasserstand gemessen.

Die Qualität der Meßergebnisse ist bei den herkömmlichen Sensoren (Wasserstand, el. Leitfähigkeit, Temperatur) mit Meßabweichungen unter 6 % als sehr gut bis gut zu bezeichnen. Bei den Sensoren mit ISE ist die Genauigkeit der Meßwerte lediglich beim pH-Wert sehr gut (3,6 % Meßabweichung), bei den Parametern Ammonium, Chlorid und Nitrat mäßig (14 - 23 % Meßabweichung).

Die technische Zuverlässigkeit des Meßsystems ist gut. Für den Einsatz des Meßsystems ist technisches Fachpersonal erforderlich. Nach den Ergebnissen in Osterhofen sind Multisonden mit selbstkalibrierenden ISE zur kontinuierlichen Kontrolle der Grundwasserbeschaffenheit im Dauerbetrieb bei geringer bis mäßiger Schadstoffbelastung geeignet. Für die Beurteilung der Praxistauglichkeit bei hohen Schadstoffgehalten müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Mit jährlichen Kosten von rd. 10.000,- DM bei der Kontrolle einer Meßstelle ist der Einsatz von Mehrparameter-Meßsystemen mit selbstkalibrierenden ISE (derzeit noch) teurer und von der Qualität der Meßergebnisse etwas ungünstiger als die herkömmliche fachtechnische Kontrolle mit zweimaliger Probennahme pro Jahr und Laboranalytik. Bei speziellen Fragestellungen, etwa der fachtechnischen Kontrolle von Ablagerungen im Karst oder im Zustrombereich von Trinkwasserfassungen, bieten Meßsysteme mit selbstkalibrierenden ISE aufgrund der kontinuierlichen Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit jedoch deutliche Vorteile gegenüber der herkömmlichen fachtechnischen Kontrolle.

Mehrparametersysteme mit ISE ohne Selbstkalibrierung

Mit der terratec- und der ELBAGU-Sonde wurden zwei Mehrparametermeßsysteme getestet, die mit ionenselektiven Elektroden ohne Selbstkalibrierung ausgestattet sind. Folgende Parameter wurden gemessen: Ammonium (ISE), Chlorid (ISE), pH-Wert (ISE), el. Leitfähigkeit, Grundwassertemperatur und Grundwasserstand. Die Sonden wurden in unbelastetem bzw. schwach belastetem Grundwasser eingesetzt. Mit der terratec-Sonde wurden kontinuierliche Messungen durchgeführt. Die ELBAGU-Sonde wurde mobil zu diskontinuierlichen Messungen eingesetzt.

Die Qualität der Meßwerte ist bei den herkömmlichen Sensoren einschließlich pH-Wert-Sensor gut bis sehr gut. Dagegen ist die Genauigkeit der ISE für Ammonium und Chlorid mit mittleren Abweichungen zwischen 19 und 399 % schlecht.

Die technische Zuverlässigkeit beider Sonden ist nach dem derzeitigen Stand unbefriedigend. Es besteht Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Meßgenauigkeit, der Standzeit der ISE und der chemischen und mechanischen Widerstandsfähigkeit der Sensoren.

Mehrparametermeßsysteme mit ISE ohne Selbstkalibrierung sind nach den Testergebnissen derzeit zur fachtechnischen Kontrolle nicht geeignet.

Passive Sorber

Am MoVo Teningen wurden 2 passive Sorbersysteme (Aktivkohle-Sorber und GORE-Sorber[®]) im Hinblick auf ihre Eignung zur Grundwasserüberwachung von organischen Schadstoffen (hier PCB) getestet. Die Sorber waren 2 bis 8 Wochen lang im Grundwasser eingebaut. Die Meßergebnisse zeigen, daß die Anreicherung bei den Aktivkohlesorbern ca. 4 Wochen, bei den GORE-Sorbern[®] über 8 Wochen dauert.

Über die in den Sorbern angereicherten Schadstoffgehalte und die Anreicherungsfaktoren können qualitative bis halbquantitative Meßergebnisse erzielt werden. Eine Kalibrierung zur Ermittlung von quantitativen Ergebnissen bedarf noch weiterer Forschungsarbeit. Derzeit werden an der Universität Tübingen in Kooperation mit der Technischen Universität München Untersuchungen mit passiven Sorbern durchgeführt. In den USA laufen bereits Feldversuche zum Grundwassermonitoring mit passiven Sorbern (GORE-Sorber[®]); ein ähnliches Programm ist in Bayern in Vorbereitung. Nach dem aktuellen Kenntnisstand eignen sich passive Sorber zur zeitintegrierten Ermittlung der Schadstoffgehalte im Grundwasser. Dies setzt allerdings die Eichung der Meßwerte der passiven Sorber voraus. Das Konzept der zeitintegrierten Messung bietet einige Vorteile gegenüber der bisher überwiegend angewandten Methode der Messung der (momentanen) Schadstoffgehalte an festgelegten Stichtagen. So ließen sich etwa langfristige Konzentrationsschwankungen besser ermitteln, Verdünnungseffekte bei Pumpprobennahmen vermeiden und Analytikkosten reduzieren.

Biotests

Die an Grund-, Sicker- und Baggerseewasserproben aus Teningen und Osterhofen vorgenommenen Biotests zeigten mit Ausnahme des Embryofischtests und des AMES-Tests keine toxische oder mutagene Wirkung. Bei den Tests mit dem Zebra-bärbling wurde zwar eine embryotoxische Wirkung festgestellt, diese konnte jedoch keiner speziellen Schadstoffgruppe zugeordnet werden.

Nach den Untersuchungsergebnissen haben die erprobten Biotests bei der an den Teststandorten Teningen und Osterhofen vorliegenden Grundwasserbeschaffenheit keine ausreichende Sensitivität. Für andere Standorttypen mit deutlich höheren Schadstoffgehalten sind Biotests möglicherweise als Zusatzmaßnahme für die fachtechnische Kontrolle geeignet. Hierzu müßten weitergehende Untersuchungen erfolgen.

7 Zusammenfassung

Innerhalb des Projekts "Leitfaden fachtechnische Kontrolle von altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und Schadensfällen" der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg wurden verschiedene Untersuchungsmethoden zur fachtechnischen Kontrolle in der Praxis erprobt.

In einem Vergleich zwischen herkömmlichen und neuen Methoden sollte die Praxistauglichkeit und Wirtschaftlichkeit der verschiedenen zur Verfügung stehenden Systeme zur Kontrolle des Grundwassers untersucht werden. Der Schwerpunkt lag bei stationären Ein- und Mehrparameter-Meßsystemen zur kontinuierlichen Vor-Ort-Bestimmung der Grundwasserbeschaffenheit. Daneben wurden auch mobile Meßsysteme sowie passive Sorber und Bio-tests geprüft. Die Praxistests wurden an fünf Standorten mit unterschiedlichen Belastungen an organischen und anorganischen Schadstoffen über den Zeitraum von einem Jahr durchgeführt.

Zur Kontrolle der Meßergebnisse wurden monatlich Grundwasserproben laboranalytisch untersucht bzw. Referenzmessungen vor Ort durchgeführt. Die Meßsysteme wurden hinsichtlich Meßgenauigkeit, technischer Zuverlässigkeit, Betreuungs- und Kostenaufwand bewertet. Systematische Meßabweichungen der Vor-Ort-Meßsysteme wurden, soweit möglich, bei der Bewertung der Genauigkeit durch entsprechende Korrektur der Meßwerte berücksichtigt.

Nach den Ergebnissen des einjährigen Praxistests sind nach dem derzeitigen Entwicklungsstand lediglich zwei der untersuchten Systeme bei der fachtechnischen Kontrolle einsetzbar: Beschaffenheitsmessungen mit selbstkalibrierenden Mehrparameter-Meßsystemen und Wasserstandsmessungen mit Drucksonden. Zwei weitere Meßsysteme: Beschaffenheitsmessungen mit dem PREUSSAG CKW-Indicator und dem EFA-Sensor sind mit Einschränkungen geeignet. Die übrigen Meßsysteme sind beim derzeitigen Entwicklungsstand für den Dauereinsatz bei der fachtechnischen Kontrolle noch nicht geeignet oder lediglich als Zusatzmethode geeignet.

Es zeigte sich, daß viele der getesteten Meßsysteme im Dauerbetrieb technische Probleme aufweisen, die sich in Geräteausfällen und hohen Meßabweichungen auswirken. Bis auf eine Ausnahme konnte keines der getesteten Geräte die vom Hersteller angegebenen Genauigkeiten und Standzeiten einhalten.

Vor-Ort-Meßsysteme bieten - insbesondere bei kontinuierlicher Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit - eine erhebliche größere Sicherheit bei der Überwachung des Gefährdungspotentials als die herkömmliche Methode mit zweimaliger Probennahme und anschließender Laboranalytik. Angesichts der momentan noch deutlich höheren Kosten wird die Anwendung dieser Systeme auf Fälle mit besonderen Fragestellungen beschränkt bleiben.

Ausblick

Am Markt wird bereits eine Reihe von Vor-Ort-Meßsystemen zur Kontrolle der Grundwasserbeschaffenheit angeboten, die nach sehr unterschiedlichen Systeme arbeiten. Nach den Ergebnissen des Praxistests ist der überwiegende Teil der getesteten Meßsysteme beim aktuellen Entwicklungsstand noch nicht für den Dauereinsatz im Rahmen der fachtechnischen Kontrolle geeignet. Es besteht bei vielen Systemen Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Meßgenauigkeit, der technischen Zuverlässigkeit und der Standzeit. Es zeigte sich, daß die Herstellerangaben hinsichtlich Meßverhalten und Zuverlässigkeit der Systeme im Dauerbetrieb vielfach nicht eingehalten werden. Daher sollte bei neu auf dem Markt angebotenen Geräten zur Qualitätssicherung auf entsprechende Referenzen (z.B. Prüfung durch unabhängige Institutionen wie die Forschungseinrichtung VEGAS der Universität Stuttgart) geachtet werden.

Die Kosten der Vor-Ort-Meßsysteme liegen im Vergleich zur herkömmlichen Durchführung der fachtechnischen Kontrolle zum Teil deutlich höher, so daß die praxisreifen Systeme nur in begründeten Ausnahmefällen Anwendung finden werden.

Angesichts der rapide fortschreitenden Entwicklung in der Mikrochip- und Meßtechnik ist andererseits zu erwarten, daß sich die Meßgenauigkeit und Zuverlässigkeit der Systeme in den kommenden Jahren kontinuierlich verbessern und die Kosten sinken werden. Insofern ist es vermutlich eine Frage der Zeit, wann sich kontinuierliche Systeme zur Vor-Ort-Messung bei der fachtechnischen Kontrolle und allgemein beim Monitoring der Umweltmedien etablieren werden.

8 Literatur

- [1] BARCZEWSKI, B., JACOB, B., KEIM, B. (1995): Pilotstudie zum qualitativen und quantitativen Quellmeßnetz des Landes Baden-Württemberg - (Resümee). Technischer Bericht der Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau Nr. 94/23 (HG 211); Stuttgart
- [2] BÜRCK, J. (1994): EFAS: Faseroptischer Sensor zur Vor-Ort-Analytik von organischen Schadstoffen. - KfK - Nachrichten, Jahrgang 26, Heft 1/94, S. 34-41, Karlsruhe.
- [3] CONZEN, J.-P. (1990): Entwicklung und Charakterisierung einer faseroptischen Meßsonde zur quantitativen in-Situ-Bestimmung wässriger Lösungen von Chlorkohlenwasserstoffen.- Bericht KfK 5302, Kernforschungszentrum Karlsruhe
- [4] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (1994): Grundwassermeßgeräte.- DVWK Schriften, Heft 107, 241 S; Bonn
- [5] GAUGLITZ, G. et al. (1994): Optische Chemo- und Biosensoren für die Umwelt- und Bioanalytik.- Spektrum der Wissenschaften, Heft 1/94, S. 92 ff
- [6] GAUGLITZ, G., GÖPEL, W. (1995): Chemische und Biochemische Sensoren; Skript Workshop Blaubeuren 30.-31.10.1995, 19S., Tübingen
- [7] GOTTLIEB, J., HÖTZL, H., HÜCK, K., NIESSNER, R. (1997): Field Screening

Europe. Dordrecht, NL

- [8] HAAS, (1996): Grundwasserüberwachung: TA Wuppertal, Seminar Grundwasserüberwachung, Nov. 1996
- [9] HANSESTADT HAMBURG (1993): Erfahrungen mit biologischen Wirkungstests bei der Untersuchung von Wasser- und Bodenverunreinigungen; Hamburger Umweltberichte 43/93
- [10] INGENIEURGEMEINSCHAFT WEBER INGENIEURE PFORZHEIM GMBH, PFORZHEIM, Tauw infra consult bv, deventer (NL), ifu umweltanalytik gmbH, Pforzheim (1993): Modellstandort "Mühlacker", Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen / Sanierungsvorplanung E₃₋₄.
- [11] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (1987): Grundwassertemperatur.- Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 2, 35 S.; Essen
- [12] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1994): Altlastenerkundung mit biologischen Methoden, Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 13
- [13] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1996): Vergleichsmessungen mit aktiven und passiven Bodenluftuntersuchungsmethoden in Lichtenau.- Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 26/96, 53 S.; Karlsruhe
- [14] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1996): Literaturstudie Vor-Ort-Analytik.- Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 28/96, 90 S.; Karlsruhe
- [15] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1996): Vergleichende Prüfung von Vor-Ort-Analytik-Geräten in Sinsheim am Modellvorhaben ehemalige Fa. Reinig.- Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 23/96, 35 S.; Karlsruhe
- [16] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1997): Leitfaden fachtechnische Kontrolle von altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und Schadensfällen.- Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Band 25, Karlsruhe
- [17] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1997): Methodensammlung, Teil 2: Methoden zur fachtechnischen Kontrolle, Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Band 20, Karlsruhe
- [18] LINDNER, H. (1996): Oberflächengeophysikalische und Monitoring-Systeme für hydrogeologische Aufgaben.- GeoCongress 2, Grundwasser- und Rohstoffgewinnung, Vortragskurzfassung der Tagung der FH DGG Freiberg / Sachsen, Mai 1996, S. 303 - 307; Köln
- [19] REICHERT, J. (1994): Optochem. Mikrosensoren-Potential und Einsatzmöglichkeiten i.d. Umweltanalytik.- KfK Nachrichten 1/94, S. 28ff. Karlsruhe
- [20] SBF WASSER UND UMWELT (1994): Preussag CKW-Indicator, Bedienungs- und Wartungsanleitung; Peine
- [21] SENSFELDER, E., BÜRCK, J., ACHE, H.-J. (1996): Determination of hydrocarbons in water by evanescent wave absorption spectroscopy in the near - infrared region. - Fresenius J. Anal. Chem. 354: S. 848 - 851.

- [22] VOGELSANG, D. (1993): Geophysik an Altlasten.- 179 S.; Berlin / Heidelberg
- [23] WEGENER, I. (1992): Einsatzmöglichkeit von Biotests zur Abschätzung des Gefährdungspotentials von Grundwasser aus dem Altlastenbereich; in: STEINHÄUSER & HANSEN (Hrsg.): Biologische TestSysteme, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene