

## **Grundwasser Nr. 6:**

### **Grundwasseruntersuchungen im Rahmen der Deponieüberwachung in Niedersachsen**

Veröffentlichungsreihe des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie

veröffentlicht im November 2004

Redaktion: Günter Gerdes, Abt. 3: Wasserwirtschaft, Gewässerschutz

#### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Wasseruntersuchungen im Rahmen der Deponieüberwachung in Niedersachsen</b>	<b>5</b>
2.1	Entwicklung des Aufgabenbestandes	5
2.2	Entwicklung der Untersuchungsprogramme und heutige Messstrategie	7
<b>3</b>	<b>Prinzip der Grundwasserüberwachung</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Bewertungsgrundlagen</b>	<b>11</b>
4.1	Grundwasserbeeinflussung – Grundwasserverunreinigung	11
4.2	Auslöseschwellen nach der Deponieverordnung (§ 9 DepV)	12
<b>5</b>	<b>Weiteres Vorgehen im Rahmen der Deponieüberwachung</b>	<b>17</b>
5.1	Gefährdungsabschätzung	17
5.2	Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen	18
<b>6</b>	<b>Fallbeispiele ausgewählter niedersächsischer Deponien</b>	<b>19</b>
6.1	Beschreibung der Deponiestandorte	19
6.2	Art und Ausmaß der Grundwasserbeeinflussungen	20
6.2.1	Vergleich von Leitfähigkeitsuntersuchungen bei einzelnen Deponien	20
6.2.2	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserbeeinflussung am Beispiel einer Siedlungsabfalldeponie	23
6.2.3	Zusammenfassende Auswertung	27
6.2.3.1	Datensatz Anstrommessstellen	27
6.2.3.2	Datensatz Abstrommessstellen	32
6.2.3.3	Konzentrationsänderungen zwischen Anstrom und Abstrom	33
6.2.3.4	Vergleich mit den Auslöseschwellen nach der Deponieverordnung	37
6.2.3.5	Vergleich mit den Geringfügigkeitsschwellen der LAWA	38
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>41</b>

## Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Entwicklung des Aufgabenbestandes der vom NLÖ untersuchten Deponien	6
Abb. 2:	Übersicht über die untersuchten Deponiearten	7
Abb. 3:	Anordnung von Messstellen bei der Grundwasserüberwachung an Deponien	11
Abb. 4:	Ablaufschema für das Vorgehen nach Überschreitung der Auslöseschwelle	14
Abb. 5:	Räumliche Zuordnung der Prüfwerte nach BBodSchV und der Auslöseschwelle	16
Abb. 6:	Ermittlung der Auslöseschwelle	16
Abb. 7:	Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 3 (Jahresmedianwerte)	21
Abb. 8:	Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 4 (Jahresmedianwerte)	21
Abb. 9:	Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 6 (Jahresmedianwerte)	21
Abb. 10:	Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 7 (Jahresmedianwerte)	22
Abb. 11:	Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 9 (Jahresmedianwerte)	22
Abb. 12:	Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 12 (Jahresmedianwerte)	22
Abb. 13:	Schematische Darstellung der Basisabdichtung bei der Deponie 12	23
Abb. 14:	Deponie 12, Ganglinien Leitfähigkeit und Chlorid (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)	25
Abb. 15:	Deponie 12, Ganglinien Natrium und Kalium (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)	25
Abb. 16:	Deponie 12, Ganglinien Säurekapazität und Ammonium (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)	25
Abb. 17:	Deponie 12, Ganglinien DOC/TOC und AOX (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)	26
Abb. 18:	Deponie 12, Ganglinien Calcium und Bor (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)	26
Abb. 19:	Mittlere Kontaminationsfaktoren für verschiedene Deponiearten und ausgewählte Parameter	35

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Untersuchungsparameter der Grundwasserüberwachung nach den LAGA - Richtlinien WÜ 98 und WÜ 77	9
Tabelle 2:	Leitparameter für das Erkennen deponiebürtiger Beeinflussungen als Basis zur Ermittlung der Auslöseschwellen, Prüfwerte BBodSchV (Wirkungspfad Boden – Grundwasser) und Geringfügigkeitsschwellen der LAWA (Teil 1 anorganische und Teil 2 organische Parameter)	15
Tabelle 3:	Kenndaten der ausgewählten Deponien	19
Tabelle 4:	Statistische Kennwerte für Anstrommessstellen 1992 - 2002	28
Tabelle 5:	Statistische Kennwerte für Abstrommessstellen 2000 - 2002	30
Tabelle 6:	Schwankungsbereich der Grundwasserbeschaffenheit im Anstrom der 18 Fallbeispiele (ausgewählte Parameter)	32
Tabelle 7:	Schwankungsbereich der Grundwasserbeschaffenheit im Abstrom der 18 Fallbeispiele (ausgewählte Parameter)	32
Tabelle 8:	Konzentrationsänderungen Anstrom - Abstrom und Kontaminationsfaktoren (KF)	34
Tabelle 9:	Überschreitung der Auslöseschwellen nach der Deponieverordnung	37
Tabelle 10:	Vergleich der Konzentrationsänderungen Anstrom - Abstrom mit den Geringfügigkeitsschwellen der LAWA	39

## Abkürzungen

AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung
BG	Bestimmungsgrenze
BSB <sub>5</sub>	Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
BTXE	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe ( <u>B</u> enzol, <u>T</u> oluol, <u>X</u> ylol, <u>E</u> thylbenzol..)
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DepV	Deponieverordnung
DOC	Organischer Kohlenstoff, gelöst
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
KF	Kontaminationsfaktor
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LHKW	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
NLÖ	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
NLWA	Niedersächsisches Landesamt für Wasser und Abfall
NLWK	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
TOC	Organischer Kohlenstoff, gesamt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WÜ	Überwachung von Wasser (Kurzbezeichnung von LAGA-Regelwerken)

## 1. Einleitung

Das Bewusstsein, das Grundwasser vor Beeinträchtigungen durch Abfallablagerungen schützen zu müssen, war lange Zeit nicht vorhanden. Bis in die 70'er-Jahre hinein vertraute man in der Regel auf die Selbstreinigungskräfte von Boden und Grundwasser.

Auch das erste Abfallbeseitigungsgesetz von 1972 [1] enthielt noch keine Regelungen für eine Abdichtung von Deponien gegen den Untergrund. Erst mit dem LAGA – Merkblatt 3 “Die geordnete Ablagerung von Abfällen“ [2], das 1979 per Erlass für Niedersachsen eingeführt wurde, gab es erste konkrete Vorgaben zur Basisabdichtung von Deponien. Mit den Runderlassen “Abdichtung von Deponien für Siedlungsabfälle“ von 1988 [3] und “Anforderungen an Deponiestandorte für Siedlungsabfälle“ von 1991 [4] sowie den Verwaltungsvorschriften “Technische Anleitung Abfall“ von 1990 [5] und “Technische Anleitung Siedlungsabfall“ von 1993 [6] wurden die Anforderungen noch weiter erhöht. Die Folge der lange Zeit fehlenden Schutzmaßnahmen sind die Altablagerungen und Altlasten, die vielfach zu Grundwasserbelastungen führ(t)en.

Aber auch bei heutigen Deponien (betriebene bzw. mittlerweile stillgelegte) sind Grundwasserbeeinflussungen zu erkennen. Die Ursache dafür sind die in vielen Fällen noch vorhandenen älteren Deponieabschnitte, die über keine bzw. nur eine unzureichende Dichtung verfügen.

Die Ablagerung von Abfällen auf solchen Deponieflächen hat teilweise erhebliche Grundwasserbeeinflussungen zur Folge.

Durch den Niederschlag werden Stoffe aus dem Abfallkörper eluiert und gelangen bei fehlender Abdichtung mit dem Sickerwasser in das Grundwasser. Zusätzlich kann der Abfallkörper auch in direktem Kontakt zum Grundwasser stehen.

Um die Emissionen zu erfassen, wird das Grund-, - Sicker- und Oberflächenwasser im Bereich von Deponien regelmäßig untersucht.

Das Erfordernis dazu ergibt sich aus dem Abfallrecht (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz KrW-/AbfG [7], Deponieverordnung DepV [8]) und dem Wasserrecht (Wasserhaushaltsgesetz WHG [9], Niedersächsisches Wassergesetz NWG [10]) Konkret formuliert werden die Anforderungen an die Wasseruntersuchungen in den Plangenehmigungen bzw. Planfeststellungsbeschlüssen für die einzelnen Deponien.

Diese Wasseruntersuchungen sind Bestandteil der abfallrechtlichen Überwachung. Sie werden aber nicht wie im Abwasserbereich als *behördliche* Untersuchungen durchgeführt, sondern als Eigenuntersuchung (Eigenkontrolle). Das heißt, im Auftrage des Deponiebetreibers werden die Untersuchungen von geeigneten Laboratorien durchgeführt. In Niedersachsen sind dafür folgende Institutionen vorgesehen:

- Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ)
- Laboratorien des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK)
- Staatlich anerkannte Untersuchungsstellen

Infolge der Verwaltungsreform in Niedersachsen wird das NLÖ zum Jahresende 2004 aufgelöst und der Laborbereich wird dem neuen Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) zugeordnet.

Dem *Abfallrecht* unterliegen *betriebene Deponien*, aber auch Deponien, bei denen keine Abfallablagerungen mehr stattfinden, die aber noch nicht aus der Nachsorge entlassen sind. Die Nachsorgephase endet mit dem Abschluß der Nachsorge (§ 36 Abs. 5 KrW-/AbfG) und ab diesem Zeitpunkt wird die Deponie zu einer *Altablagerung*. Sie unterliegt dann nicht mehr dem Abfallrecht, sondern dem *Bodenschutzrecht*.

Die Deponieüberwachung bezieht sich neben dem Medium Wasser auch auf die Medien Boden und Luft, die hier aber nicht behandelt werden.

Dieser Bericht behandelt die Grundwasseruntersuchungen im Rahmen der Deponieüberwachung in Niedersachsen. Deponiesicker- und Oberflächenwasser, die neben Grundwasser Bestandteil der Wasseruntersuchungen im Deponiebereich sind, werden in diesem Bericht nicht thematisiert.

Es werden die Grundlagen der Überwachung und Bewertung beschrieben. Von aktueller Bedeutung für die Bewertung von Grundwasseruntersuchungen sind die "Auslöseschwellen", die nach der Deponieverordnung [8] für abstromige Grundwassermessstellen festzulegen sind. Für die Festlegung von Auslöseschwellen hat das NLÖ zusammen mit dem NLF einen Leitfaden [11] erarbeitet, der vorgestellt wird.

Anhand von Fallbeispielen wird das Ausmaß der eingangs erwähnten Grundwasserbeeinflussung dargestellt. Den Schwerpunkt bilden die Siedlungsabfalldeponien, daneben werden auch Bauschuttdeponien und Bohrschlammdeponien betrachtet. Den Anspruch einer landesweiten Auswertung kann dieser Bericht nicht erfüllen, weil zur Zeit nur ein Teil der Wasseruntersuchungsdaten im NLÖ vorliegt.

Da das NLÖ die eigenen Untersuchungstätigkeiten stark reduziert hat, mussten für eine ausreichende Auswahl von Fallbeispielen auch die Daten von Anlagen, bei denen das NLÖ keine eigenen Beprobungen mehr durchführt, herangezogen werden.

Dieser Bericht wendet sich an alle mit Fragen der Grundwasserüberwachung im Deponiebereich beschäftigten Fachleute aus der Wasser –und Abfallwirtschaft.

## **2. Wasseruntersuchungen im Rahmen der Deponieüberwachung in Niedersachsen**

### **2.1 Entwicklung des Aufgabenbestandes**

Die wachsende Nachfrage der Wasserbehörden zu abfallwirtschaftlichen Belangen führte dazu, dass ab 1975 im Niedersächsischen Wasseruntersuchungsamt, einer Vorgängerbehörde des NLÖ, eine eigene Arbeitsgruppe Abfall aufgebaut wurde, aus der später die Abteilung Abfallwirtschaft entstand.

Eine der Aufgaben dieser Arbeitsgruppe waren die Wasseruntersuchungen im Deponiebereich, die sich auf das Grundwasser, Oberflächenwasser und Sickerwasser erstreckten.

Diese Wasseruntersuchungen sind zwar gesetzlich vorgeschrieben, sie waren aber nie dem Niedersächsischen Wasseruntersuchungsamt vorbehalten.

Dennoch wurde ein Großteil der Untersuchungen vom Amt in Hildesheim durchgeführt. Das hatte u.a. seine Ursache in dem noch fehlenden Fachwissen (Probenahmetechniken und Analyseverfahren) bzw. fehlenden Kapazitäten bei anderen Laboren/Behörden. Daher wurden – in den einzelnen Genehmigungsbescheiden – in den meisten Fällen dem NLÖ bzw. seinen Vorgängerämtern die erforderlichen Untersuchungen übertragen.

Seit Ende der 70er-Jahre werden diese Wasseruntersuchungen von Hildesheim aus durchgeführt. Durch die wachsenden umweltpolitischen Anforderungen stieg die Anzahl der untersuchten Anlagen kontinuierlich an.

Mit Auflösung der Dienststelle Osnabrück Ende 1991 waren die dort für den Bezirk Weser-Ems wahrgenommenen Aufgaben vom Amt in Hildesheim zu übernehmen, so dass der vom NLÖ zu untersuchende Deponiebestand auf über 230 Anlagen anstieg.

Da eine Personalaufstockung nicht erfolgte, wurde im Jahre 1992 eine 1. Aufgabenreduzierung eingeleitet.

Im weiteren Verlauf der 90er-Jahre wurde der Aufgabenbestand schrittweise weiter zurückgefahren, bedingt durch Aufgabenumstrukturierungen und Anforderungen durch die Verwaltungsreform.

Aktuell werden noch bei 24 Deponien vom NLÖ Wasseruntersuchungen der abfallrechtlichen Überwachung durchgeführt.

Die Untersuchungstätigkeiten bei den abgegebenen Anlagen wurden und werden von den staatlich anerkannten Laboren bzw. von den Laboren des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK) fortgeführt.

In der Abbildung 1 ist die Entwicklung des Aufgabenbestandes des NLÖ dargestellt.

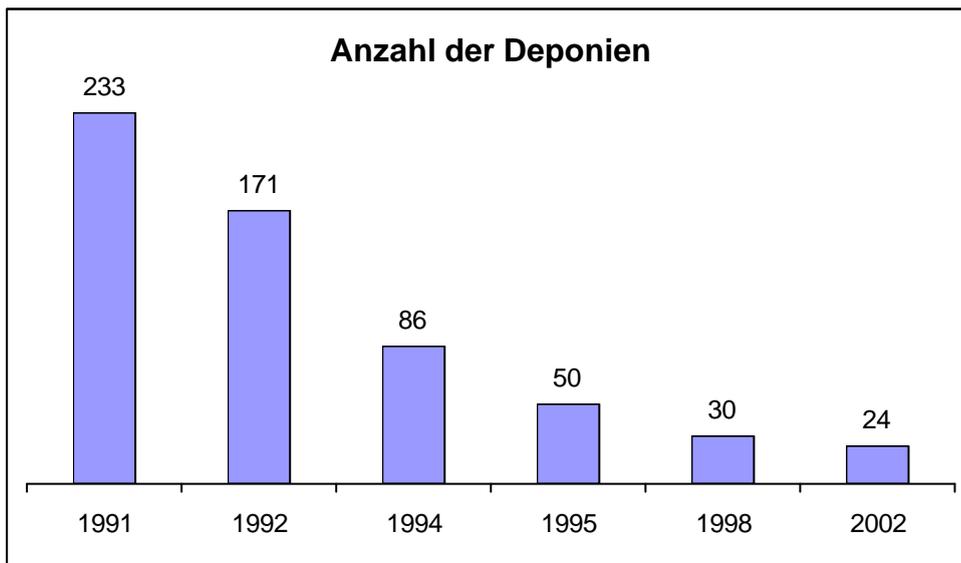


Abb. 1: Entwicklung des Aufgabenbestandes der vom NLÖ untersuchten Deponien

Den mengenmäßig größten Anteil der vom NLÖ untersuchten Anlagen bilden die Siedlungsabfalldeponien. In der Abbildung 2 ist die Anzahl der Deponiearten für die Jahre 1991 und 2002 dargestellt.

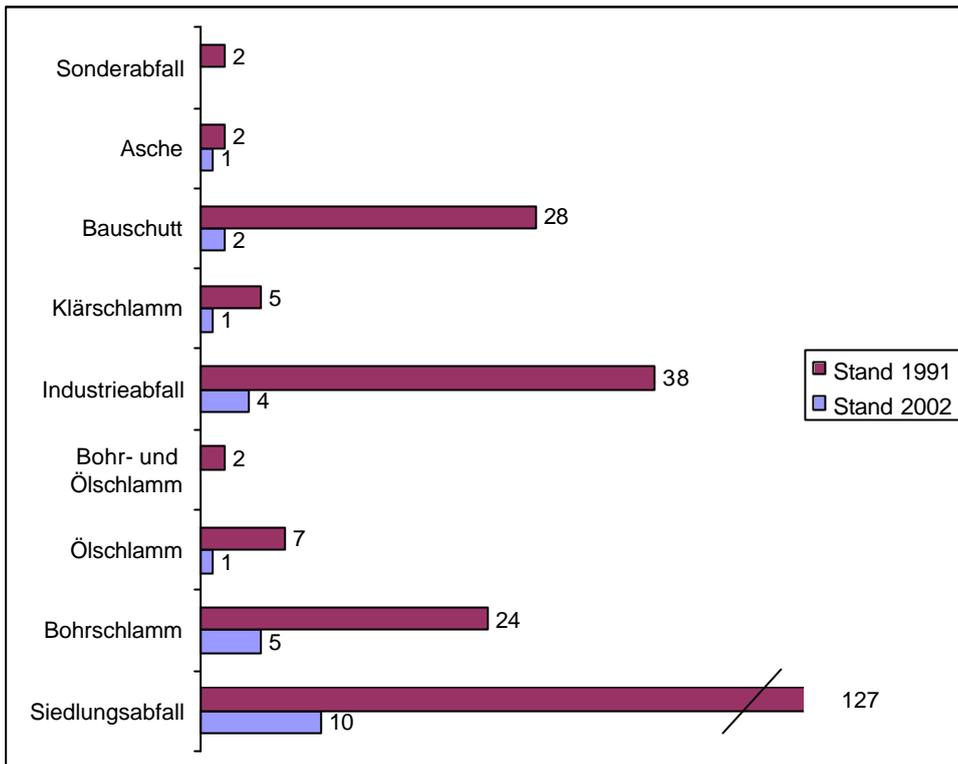


Abb. 2: Übersicht über die untersuchten Deponiearten

## 2.2 Entwicklung der Untersuchungsprogramme und heutige Messstrategie

Die Untersuchungsprogramme, nach denen die Wasseruntersuchungen im Deponiebereich durchzuführen sind, wurden im Laufe der Jahre dem wachsenden Erkenntnisstand immer wieder angepasst.

Mit Einführung der LAGA-Richtlinie WÜ 77 "Umfang der Überwachung von Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser im Bereich von Abfallentsorgungsanlagen" [12] lag die erste Richtlinie für solche Untersuchungen vor. Sie wurde 1979 per Erlass für Niedersachsen eingeführt.

Da der Kenntnisstand damals noch gering war, sah diese Richtlinie im Wesentlichen ein starres und umfangreiches Untersuchungsprogramm vor, dass alle damals bekannten Fallkonstellationen abdecken sollte.

In der Tabelle 1 sind die Parameter der LAGA-Richtlinie WÜ 77 für die Grundwasseruntersuchung (Volluntersuchung) aufgeführt.

Schon bald zeigte sich die Notwendigkeit, das Programm zu modifizieren.

So erwiesen sich z.B. die bakteriologischen Untersuchungen als wenig aussagekräftig. Weiterhin zeigte sich, dass bei den Schwermetallen (mit Ausnahme von Eisen und Mangan) im Wesentlichen keine signifikanten Konzentrationserhöhungen im Deponieabstrom festgestellt werden.

Andererseits wurden neue Parameter in das Programm aufgenommen, z.B. Bor und AOX. Bor liegt geogen im Grundwasser nicht bzw. nur in sehr geringen Konzentrationen vor, so dass dieser Parameter gut geeignet ist als Indikator für anthropogene Beeinflussungen. Borquelle im Siedlungsabfall sind u.a. die Perborate aus Wasch- und Reinigungsmitteln. Grundwässer im Ton enthalten dagegen deutlich höhere geogene Borgehalte (mehrere mg/l), so dass hier Bor als Leitparameter ausscheidet.

Diese Erfahrungen wurden 1991 im "Deponieüberwachungsplan Wasser, Beweissicherung an Deponien in Niedersachsen" [13], der vom Niedersächsischen Landesamt für Wasser und Abfall (NLWA, Vorgängeramt des NLÖ) und vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) erarbeitet wurde, berücksichtigt.  
Der Deponieüberwachungsplan Wasser liegt nur als Entwurf vor.

1998 hat die LAGA die WÜ 98 "Technische Regeln für die Überwachung von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser sowie oberirdischer Gewässer bei Abfallentsorgungsanlagen" [14] veröffentlicht, die die WÜ 77 ersetzt.  
Die WÜ 98 ist in Niedersachsen zwar noch nicht per Erlass eingeführt, sie ist aber mittlerweile die fachlich anerkannte Grundlage für das Erstellen von Messprogrammen im Deponiebereich.

Kennzeichnend für die WÜ 98 ist, dass die Messprogramme flexibel auf die einzelnen Anlagen angepasst werden. Dabei wird die jeweilige hydrogeologische Situation, das Deponieinventar und die technische Ausstattung (hier sind vor allem die Abdichtungssysteme zu nennen) berücksichtigt.  
Die empfohlenen Messprogramme können ausgeweitet, aber auch eingeschränkt werden.

Ausgehend von der Erkenntnis, dass es nur wenige Parameter sind, die einen Stoffaustrag aus der Deponie erkennen lassen, beschränken sich die Messprogramme im Wesentlichen auf diese Leitparameter. Bezogen auf den in diesem Bericht behandelten Schwerpunkt steht bei den Messprogrammen also die anlagenbezogene Grundwasserbeweissicherung im Vordergrund anstelle von breitgefächerten Untersuchungen der Grundwasserbeschaffenheit.

In der Tabelle 1 sind die Parameter der LAGA-Richtlinie WÜ 98 für die Grundwasseruntersuchung aufgeführt.

Das routinemäßige *Standardprogramm* umfasst die Messungen vor Ort und das Paket A. Aus dem Paket BÜ werden nur die Parameter, die sich als relevant für die jeweilige Deponie erwiesen haben, in das Standardprogramm übernommen. Welche Parameter relevant sind, ergibt sich aus dem *Übersichtsprogramm*, das alle Parameter nach Tabelle 1 umfasst. Auffällige Befunde bei der Übersichtsuntersuchung bewirken die Übernahme des entsprechenden Parameters in das Standardprogramm, sofern der Parameter noch nicht Bestandteil des Standardprogramms ist.

Die Übersichtsuntersuchung ist in größerem zeitlichen Abstand (alle 2 bis 5 Jahre) als die Standarduntersuchung erforderlich.

Der Untersuchungsumfang der WÜ 98 (Standardprogramm) ist damit in den meisten Fällen deutlich geringer als die früheren Untersuchungsprogramme.

Diese Standarduntersuchungen werden in der Regel 1 bis 4-mal pro Jahr durchgeführt. Die Untersuchungshäufigkeit richtet sich dabei vor allem nach dem technischen Standard (Abdichtungssystem) der Deponie. Das heißt, Deponien mit geringerem technischem Standard werden häufiger untersucht als Deponien mit höherem Standard.

Tabelle 1: Untersuchungsparameter der Grundwasserüberwachung nach den LAGA-Richtlinien WÜ 98 und WÜ 77\*

Untersuchungsparameter	WÜ 98	WÜ 77
Aussehen	Messungen vor Ort	Volluntersuchung
Geruch	Messungen vor Ort	Volluntersuchung
Trübung	Messungen vor Ort	
Wassertemperatur	Messungen vor Ort	Volluntersuchung
pH-Wert	Messungen vor Ort	Volluntersuchung
Leitfähigkeit	Messungen vor Ort	Volluntersuchung
Sauerstoffgehalt	Messungen vor Ort	Volluntersuchung
H <sub>2</sub> S, Feldmethode	Messungen vor Ort	Volluntersuchung
pH-Wert	Untersuchung im Labor, Paket A	
Leitfähigkeit	Untersuchung im Labor, Paket A	
Natrium	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Kalium	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Magnesium	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Calcium	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Nitrat	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Ammonium	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Sulfat	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Chlorid	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Säurekapazität	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Organischer Kohlenstoff, gesamt (TOC)	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
H <sub>2</sub> S, leicht freisetzbar (wenn Schnelltest positiv)	Untersuchung im Labor, Paket A	Volluntersuchung
Gesamtstickstoff	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Fluorid	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Cyanid, gesamt	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	Volluntersuchung
Eisen, gesamt	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	Volluntersuchung
Mangan, gesamt	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	Volluntersuchung
Bor	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Chrom VI	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Kohlenwasserstoffe	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	Volluntersuchung
Adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX)	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Phenolindex, nach Destillation	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	Volluntersuchung
Weitere Anionen	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Metalle	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	Volluntersuchung (Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Hg)
Phenole	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Kresole	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Halogenkohlenwasserstoffe	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTXE)	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	
Biotest (Daphnientest o. Leuchtbakterientest)	Untersuchungen im Labor, Paket BÜ	Volluntersuchung
Abdampfrückstand		Volluntersuchung
Glührückstand		Volluntersuchung
Oxidierbarkeit		Volluntersuchung
BSB <sub>5</sub>		Volluntersuchung
Nitrit		Volluntersuchung
Gesamthärte		Volluntersuchung
Bakteriologische Untersuchung		Volluntersuchung

\* Die WÜ 77 unterscheidet zwischen der Voll- und der Kurzuntersuchung. Die Kurzuntersuchung umfasst einen geringeren Parameterumfang.

### 3. Prinzip der Grundwasserüberwachung

Grundsätzlich gilt für den Schutz des Grundwassers das Vorsorgeprinzip, wie es auch im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [9] zum Ausdruck kommt. Das heißt, das Grundwasser ist vor jeder schädlichen Verunreinigung oder sonstigen nachteiligen Veränderung zu schützen. Das Ziel der Überwachung ist daher das frühzeitige Erkennen von deponiebedingten Stoffeinträgen in das Grundwasser bzw. der Nachweis, dass keine Stoffeinträge stattfinden.

Dazu werden Grundwassermessstellen im Anstrombereich und im Abstrombereich der Deponie angeordnet. Die Abbildung 3 zeigt schematisch, wie die Messstellen angeordnet werden.

Wichtige hydrogeologische Kriterien hierbei sind

- Grundwasserfließrichtung
- Grundwasserfließgeschwindigkeit (maßgebend ist hier die Grundwasser*abstands*geschwindigkeit, die die tatsächliche mittlere Geschwindigkeit der Wassertröpfchen in den Poren des Grundwasserleiters beschreibt) und
- Art und Aufbau des/der Grundwasserleiter/s,

welche die Anzahl und den Ausbau der Grundwassermessstellen bestimmen.

Nähere Informationen zu dieser Thematik sind im Deponieüberwachungsplan Wasser [13] zu finden.

Die Probenahme von Grundwasser wird ausführlich in folgenden Merkblättern und Regelwerken behandelt:

- LABO - Arbeitshilfe Qualitätssicherung [15],
- LAWA: AQS-Merkblatt - Probenahme von Grundwasser - P8/2 [16],
- DVWK: Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen [17] und
- DVGW: Entnahme von Wasserproben bei der Erschließung, Gewinnung und Überwachung von Grundwasser [18].

Da die Messstellen im Anstrombereich in der Regel nicht durch die Deponie beeinflusst sein können, ist es durch Vergleich mit den Wasserproben, die den Abstrommessstellen entnommen werden, möglich, einen Deponieeinfluss auf das Grundwasser zu erkennen. Darüber hinaus werden die zeitlichen Entwicklungen der Konzentrationswerte betrachtet, um Trends zu erkennen.

Die Überwachung mittels Grundwassermessstellen ist bei ungedichteten bzw. unzureichend gedichteten Deponien gut geeignet, um Beeinflussungen des Grundwassers zu erfassen. Für Deponien mit technisch hochwertiger Abdichtung ist dieses Prinzip weniger geeignet, da hier mögliche Undichtigkeiten eher *punktuell* auftreten im Gegensatz zu dem *flächenhaften Austrag* bei ungedichteten Deponien. Daher sind in diesen Fällen andere Überwachungseinrichtungen (z.B. Dichtungskontrollsysteme) sinnvoller.

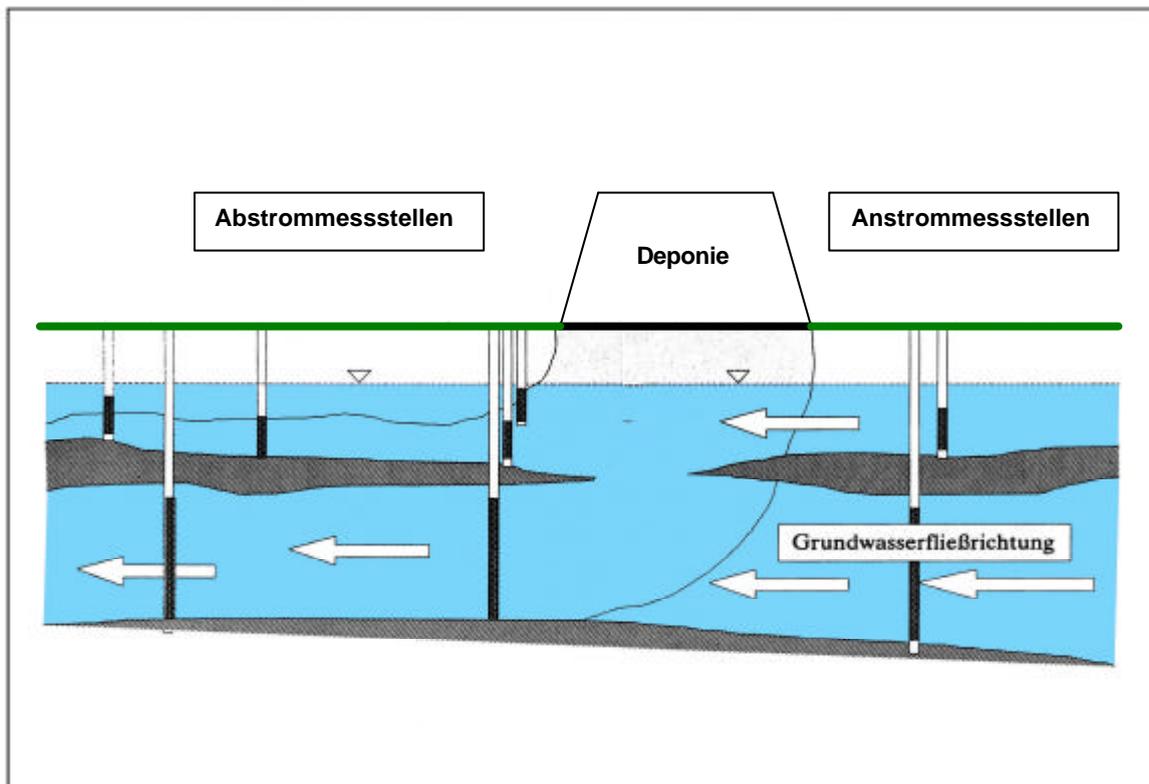


Abb. 3: Anordnung von Messstellen bei der Grundwasserüberwachung an Deponien [geändert nach 13]

## 4. Bewertungsgrundlagen

### 4.1 Grundwasserbeeinflussung – Grundwasserverunreinigung

Bei der Bewertung muss unterschieden werden zwischen einerseits *Grundwasserbeeinflussung* und andererseits *Grundwasserverunreinigung*.

Bei der Deponieüberwachung steht zunächst das frühzeitige Erkennen von deponiebedingten *Grundwasserbeeinflussungen* im Vordergrund, *unabhängig davon*, ob die *Stoffe und deren Konzentrationen* als schädlich für das Grundwasser anzusehen sind.

Für die Beurteilung von deponiebedingten Grundwasserbeeinflussungen sind allgemeingültige Grenzwerte oder Prüfwerte aufgrund der großen Schwankungsbreite der natürlichen (geogenen) Grundwasserbeschaffenheit kaum bzw. nur eingeschränkt geeignet. Zudem kann die Grundwasserbeschaffenheit auch anthropogen vorbelastet sein.

Daher erfolgt die Bewertung durch den Vergleich von Zu – und Abstrom. Die Analyseergebnisse der im Deponieabstrom gelegenen Messstellen werden mit den Ergebnissen der Anstrommessstellen verglichen, um einen möglichen Deponieeinfluss auf das Grundwasser zu erkennen (vgl. Kapitel 3).

Die Anstrommessstellen bilden somit den Vergleichsmaßstab für eine potenzielle Grundwasserbeeinflussung. Dies entspricht im Wesentlichen auch der Vorgehensweise in den anderen Bundesländern.

Dabei lässt erst das gleichzeitig erhöhte Auftreten *mehrerer* deponiespezifischer Parameter gesichert auf eine Beeinflussung durch die Deponie schließen. Wenn bei nur einem oder einzelnen Parametern auffällige Konzentrationsunterschiede festgestellt werden, liegt zwar möglicherweise ein Deponieeinfluss vor, es können aber auch andere Ursachen (z.B. landwirtschaftlicher Einfluss) in Betracht kommen.

Für die Frage, wann eine *Grundwasserverunreinigung* vorliegt, fehlten lange Zeit Vorgaben. Der wasserrechtliche Besorgnisgrundsatz, wonach es zu keiner schädlichen Veränderung des Grundwassers kommen darf, wurde nicht konkretisiert.

Die LAWA hat 1994 "Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden" [19] herausgegeben, die einen orientierenden Charakter für diese Fragestellung haben.

Im September 2004 hat die LAWA einen Entwurf für die "Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser" [20] vorgelegt. Die Geringfügigkeitsschwelle gibt an, bis zu welchen Stoffkonzentrationen eine nur geringfügige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit bzw. ab welchen Stoffkonzentrationen eine Grundwasserverunreinigung (= Grundwasserschaden) vorliegt. Sie ist in dem LAWA – Entwurf definiert als "Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung." Diese Werte sind human- und ökotoxikologisch abgeleitet.

Ebenfalls im Entwurf (Juni 2004) liegen von der LAWA die "Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen" [21] vor. Auf Basis der Geringfügigkeitsschwellen werden hier Bewertungshilfen für Grundwasserverunreinigungen gegeben. Diese Grundsätze sollen die oben genannten LAWA – Empfehlungen aus dem Jahr 1994 ersetzen.

Mit der 1999 in Kraft getretenen Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung (BBodSchV) [22] erfolgte eine *rechtlich verbindliche* Konkretisierung. Für den Bereich Altlasten und Bodenschutz wurde definiert, ab wann eine Gefährdung für das Grundwasser vorliegt (Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser). Damit gibt es verbindliche Vorgaben für die Gefahrenabwehr im nachsorgenden Grundwasserschutz.

Im Bereich des Abfallrechts gelten in Bezug auf *eingetretene* Grundwasserbeeinflussungen ebenfalls die Maßstäbe der Gefahrenabwehr, siehe auch das folgende Kapitel.

#### **4.2 Auslöseschwellen nach der Deponieverordnung (§ 9 DepV)**

Nach der Deponieverordnung vom 24.07.2002 [8] sind von der zuständigen Behörde standortbezogen *Auslöseschwellen* für die abstromigen Grundwassermessstellen festzulegen. Die Auslöseschwelle wird definiert als "Grundwasserüberwachungswerte, bei deren Überschreitung Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers eingeleitet werden müssen"[8].

Bei der Festlegung sind die oben genannten Prüfwerte (Wirkungspfad Boden – Grundwasser) aus der Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung zu berücksichtigen.

Um für Niedersachsen eine einheitliche Vorgehensweise sicherzustellen, wurde vom NLO unter Beteiligung des NLFb ein Leitfaden zur Festlegung von Auslöseschwellen erarbeitet [11].

Bei der Erstellung des Leitfadens wurden neben den von der Deponieverordnung geforderten Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung auch die oben genannten "Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden" der LAWA (1994) berücksichtigt.

Der Grund hierfür ist, dass die Parameter der Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung (vorwiegend Schwermetalle und organische Einzelstoffe) neben der Verdünnung auf dem Fließweg zur Grundwassermessstelle besonders stark Rückhalte- und Abbauprozessen unterliegen, so dass sie im Abstrom in der Regel mit geringeren Konzentrationen und großer Zeitverzögerung auftreten. Damit sind sie für das *frühzeitige Erkennen* von deponiebedingten Beeinflussungen nicht geeignet.

Besser geeignet dafür sind Salzparameter und organische Summenparameter (AOX, DOC), für die die LAWA in den oben genannten Empfehlungen "Prüfwerte für Basisparameter" festgelegt hat. Sie wurden daher als Grundlage für die Festlegung von Auslöseschwellen

herangezogen. Von diesen Basisparametern wurden jedoch nur die für das Erkennen deponiebürtiger Beeinflussungen relevanten Parameter ausgewählt, siehe Tabelle 2, Spalte 3.

Mit dieser Ausrichtung auf das frühzeitige Erkennen von deponiebedingten Beeinflussungen sind die Auslöseschwellen ein Element der *Vorsorge*.

Bei eingetretenen Grundwasserbeeinflussungen, das heißt bei überschrittener Auslöseschwelle, richtet sich das weitere Vorgehen (orientierende Untersuchung, ggf. Detailuntersuchung sowie ggf. einzuleitende Sicherungs-/Sanierungsmaßnahmen) nach den materiellen Anforderungen des Bodenschutzrechts, das heißt nach den Maßstäben der Gefahrenabwehr (*Nachsorge*), siehe auch Abbildung 4. Das Bodenschutzrecht verweist auch auf die materiellen Anforderungen des Wasserrechts.

Bei festgestellter (und bestätigter) Überschreitung der Auslöseschwelle ist zunächst abzuschätzen, ob auch die Prüfwerte der Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung überschritten sind, siehe Tabelle 2, Spalte 4 (orientierende Untersuchung). Dabei werden die in der Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung genannten Prüfwerte um wichtige Parameter, die in der Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung nicht enthalten sind, ergänzt. Dies sind zur Zeit die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA, siehe Tabelle 2, Spalte 5, da sie aus Sicht des Grundwasserschutzes den derzeitigen Maßstab für die Beurteilung einer schädlichen Veränderung des Grundwassers darstellen.

Bei der Anwendung der Prüfwerte ist der Ort der Beurteilung zu beachten, siehe Abbildung 5. Der Ort der Beurteilung, für den die Prüfwerte gelten, ist der Übergang von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone, das heißt für den Übertritt des Sickerwassers in das Grundwasser. Demgegenüber gelten die Auslöseschwellen für die Grundwassermessstellen im Abstrom, siehe Abbildung 5.

Für die praxisnahe Durchführung der nach BBodSchV geforderten Abschätzung der Prüfwerteüberschreitung am Ort der Beurteilung (Sickerwasserprognose) wurden verschiedene Methoden, Arbeitshilfen und dergleichen entwickelt, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, verwiesen sei auf die 2003 von der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) herausgegebene "Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen" [23].

Die Sickerwasserprognose kann auf der Grundlage von Bodenuntersuchungen, Sickerwasseruntersuchungen, In situ-Untersuchungen sowie Rückschlüssen oder Rückrechnungen aus Grundwasseruntersuchungen durchgeführt werden.

Grundwasseruntersuchungen haben den Vorteil, dass sie integrativ den Einfluss auf das Grundwasser erfassen, während die anderen Methoden (nur) punktuelle Anhaltspunkte/Werte liefern.

Bisher liegen für den Bereich der Deponieüberwachung erst wenige Erfahrungen vor hinsichtlich der Abschätzung der Prüfwerteüberschreitung am Ort der Beurteilung. Alle bisherigen Bewertungen beziehen sich in der Regel auf die Messergebnisse in den Abstrommessstellen.

Wenn die Prüfwerte überschritten sind, ist von einer Gefährdung für das Grundwasser auszugehen. Die Anstromwerte sind dabei zu berücksichtigen.

In ggf. weiteren Untersuchungen (Detailuntersuchung, Gefährdungsabschätzung) sind dann die Auswirkungen auf die Schutzgüter (Boden, Gewässer, Luft, Mensch, Tier und Pflanze) zu untersuchen und zu bewerten.

Nach durchgeführter Detailuntersuchung (Gefährdungsabschätzung) ist *im Einzelfall* unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit und der betroffenen Nutzungen (z.B. Trinkwassergewinnungsgebiet im Abstrom) zu entscheiden, ob und welche Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden.

Der Verhältnismäßigkeitsmaßstab ist auch bei der Anordnung von Detailuntersuchungen zu berücksichtigen.

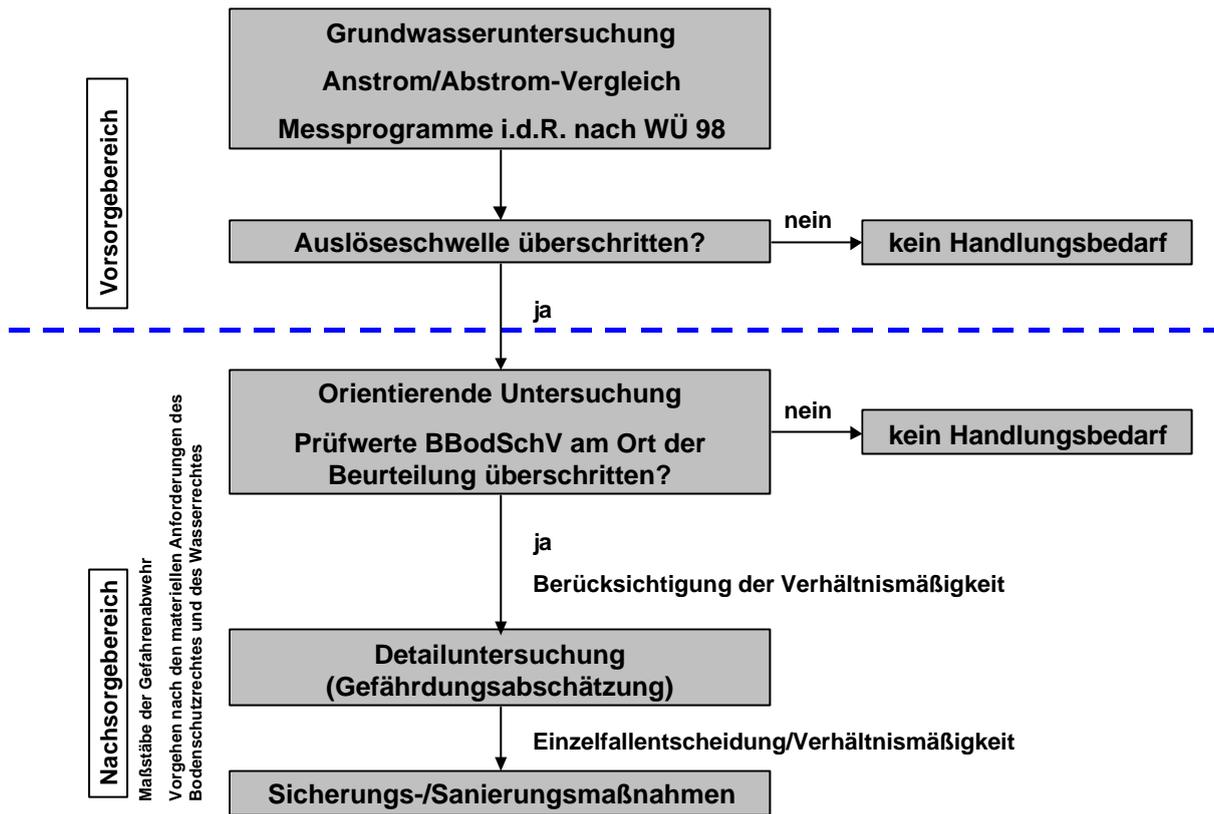


Abb. 4: Ablaufschema für das Vorgehen nach Überschreitung der Auslöseschwelle

Tabelle 2: Leitparameter für das Erkennen deponiebürtiger Beeinflussungen als Basis zur Ermittlung der Auslöseschwellen, Prüfwerte BBodSchV (Wirkungspfad Boden – Grundwasser) und Geringfügigkeitsschwellen der LAWA (Teil 1 anorganische und Teil 2 organische Parameter)

1	2	3	4	5
Parameter	Einheit	Mindeständerung im Vergleich zum Zustrom (Differenzwert) als Basis zur Ermittlung der Auslöseschwelle	Prüfwerte Wirkungspfad Boden – Grundwasser (BBodSchV) <i>kursiv: ergänzt durch Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA, falls keine Prüfwerte vorliegen</i>	Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA (Teil 1 anorganische und Teil 2 organische Parameter), Stand 09/04
Leitfähigkeit	µS/cm	(+) 200		
Calcium	mg/l	(+) 20		
Magnesium	mg/l	(+) 10		
Natrium	mg/l	(+) 20		
Kalium	mg/l	(+) 10		
Ammonium	mg/l	(+) 0,3		
Chlorid	mg/l	(+) 30	250	250
Sulfat	mg/l	(+/-) 30	240	240
Nitrat	mg/l	(+/-) 10		
TOC	mg/l	(+) 4		
AOX	µg/l	(+) 20		
Bor	mg/l	(+) 0,1	0,74	0,74
Antimon	µg/l		10	5
Arsen	µg/l		10	10
Blei	µg/l		25	7
Cadmium	µg/l		5	0,5
Chrom, gesamt	µg/l		50	7 (50, wenn kein Cr VI vorliegt)
Chromat	µg/l		8	
Kobalt	µg/l		50	8
Kupfer	µg/l		50	14
Molybdän	µg/l		50	35
Nickel	µg/l		50	14
Quecksilber	µg/l		1	0,2
Selen	µg/l		10	7
Zink	µg/l		500	58
Zinn	µg/l		40	
Cyanid, gesamt	µg/l		50	5 (50, wenn kein leicht freisetzbares Cyanid vorliegt)
Cyanid, leicht freisetzbar	µg/l		10	
Fluorid	µg/l		750	750
Mineralölkohlenwasserstoffe	µg/l		200	100
BTEX	µg/l		20	20
Benzol	µg/l		1	1
LHKW	µg/l		10	20
Aldrin	µg/l		0,1	
DDT	µg/l		0,1	
Phenole	µg/l		20	8 (Phenol)
PCB, gesamt	µg/l		0,05	0,005
PAK, gesamt	µg/l		0,2	0,2
Naphthalin	µg/l		2	
Barium	µg/l		340	340
Thallium	µg/l		0,8	0,8
Vanadium	µg/l		4	4
Anthracen, Benzo[a]pyren, Dibenz(a,h)anthracen	µg/l		jeweils 0,01	jeweils 0,01
Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Benzo[ghi]perylen, Fluoranthren, Indeno(123-cd)pyren	µg/l		jeweils 0,025	jeweils 0,025
Summe Naphthalin u. Methylnaphthaline	µg/l		1	1
Summe Tri- und Tetrachlorethen	µg/l		10	10
1,2 Dichlorethan	µg/l		2	2
Chlorethen (Vinylchlorid)	µg/l		0,5	0,5
MTBE	µg/l		15	15
Summe Chlorphenole	µg/l		1	1
Nonylphenol	µg/l		0,3	0,3
Hexachlorbenzol	µg/l		0,01	0,01
Summe Chlorbenzole	µg/l		1	1
Epichlorhydrin	µg/l		0,1	0,1

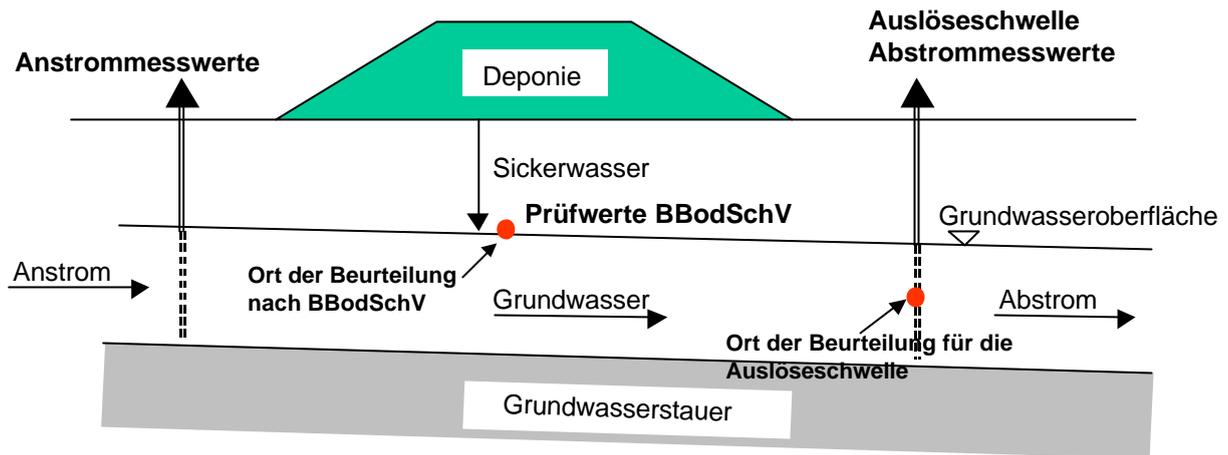


Abb. 5: Räumliche Zuordnung der Prüfwerte nach BBodSchV und der Auslöseschwelle [geändert nach 11]

Im Folgenden soll erläutert werden, wie die Auslöseschwellen nach dem Leitfaden ermittelt werden. Basis dafür sind, wie bereits gesagt, die "Prüfwerte für Basisparameter" der LAWA (1994).

Diese Prüfwerte sind als Differenzwerte (Änderung der Abstromwerte im Vergleich zum Anstrom) festgelegt. Sie zeigen an, ab welcher Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit eine lokale Beeinflussung des Grundwassers zu erwarten ist.

Um die Schwankungsbreite der Grundwasserbeschaffenheit zu berücksichtigen, wird anstelle der einfachen Differenzbetrachtung zwischen Zu- und Abstrom eine vereinfachte statistische Betrachtung zu Grunde gelegt.

Für die Ermittlung der Anstrommesswerte wird aus den Konzentrations-Zeitreihen der Anstrommessstelle ein Streuband (Hüllkurve) berechnet, dessen obere und untere Grenze durch die Werte: arithmetischer Mittelwert  $\pm$  doppelte Standardabweichung definiert ist. Die Auslöseschwellen ergeben sich dann durch Addition (bzw. bei Sulfat und Nitrat auch Subtraktion) des Differenzwertes nach Tabelle 2, Spalte 3 zum oberen (bzw. bei Sulfat und Nitrat auch unteren) Grenzwert des Streubandes [11].

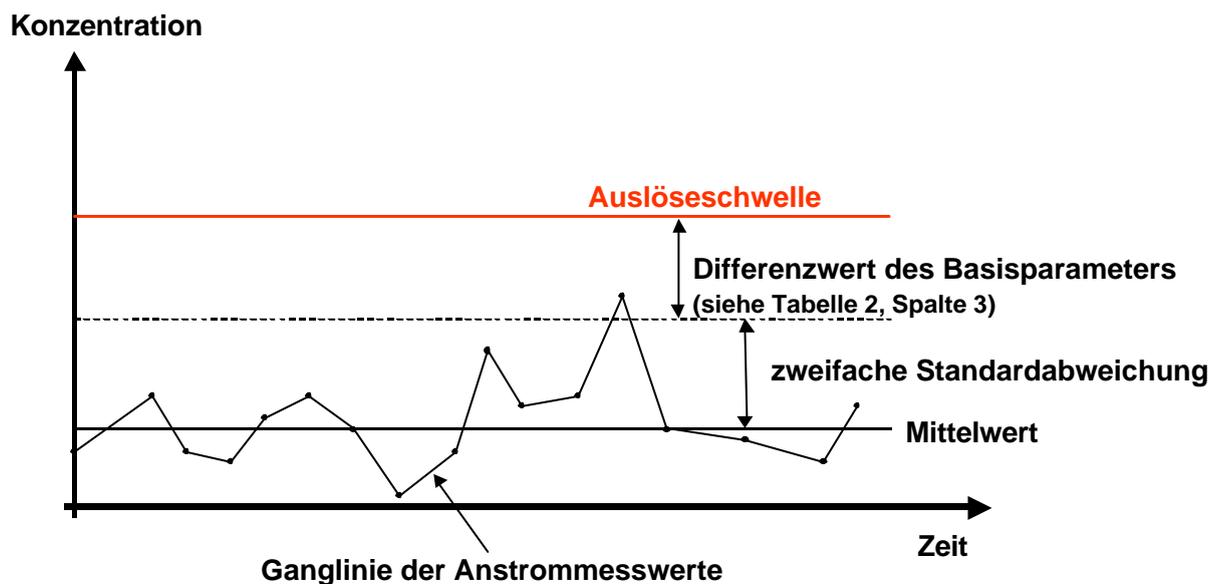


Abb. 6: Ermittlung der Auslöseschwelle [geändert nach 11]

Im Leitfaden wird das Vorgehen für den *Regelfall* beschrieben. Bei besonderen Verhältnissen, z.B. stark schwankender Grundwasserbeschaffenheit und bei anthropogener oder geogener Vorbelastung im Anstrom können einzelfallbezogene Auslöseschwellen festgelegt werden.

Die Auslöseschwellen sind zwar auf das frühzeitige Erkennen von deponiebedingten Grundwasserbeeinflussungen ausgerichtet, in einigen Fällen sind aber Beeinflussungen bereits zu erkennen, obwohl die Auslöseschwelle noch nicht überschritten ist, z.B. bei ansteigenden Trends.

Daher können die Auslöseschwellen die bisherige Bewertung von Grundwasseruntersuchungen im Deponiebereich nicht ersetzen. Die Untersuchungsergebnisse müssen weiterhin im Hinblick auf deponiebedingte Beeinträchtigungen des Grundwassers bewertet werden, auch wenn eine Auslöseschwelle noch nicht erreicht ist [11].

Abschließend soll auf einen grundsätzlichen Unterschied zwischen Wasser- /Abfallrecht und Bodenschutzrecht hingewiesen werden. Im Altlastenbereich gilt das Prinzip der Gefahrenabwehr (*Nachsorge*).

Im Wasser- und Abfallrecht gilt das Vorsorgeprinzip, das sich dabei in den hohen Anforderungen bei Errichtung, Betrieb und Überwachung von Deponien zeigt. Auch die Auslöseschwellen sind ein Element der *Vorsorge*.

Nach Überschreitung der Auslöseschwellen gelten - in Bezug auf die eingetretenen Grundwasserbeeinflussungen - die Maßstäbe der Gefahrenabwehr (*Nachsorge*).

## **5. Weiteres Vorgehen im Rahmen der Deponieüberwachung**

### **5.1 Gefährdungsabschätzung**

Die Ergebnisse der regelmäßig durchgeführten Wasseruntersuchungen werden den zuständigen Überwachungsbehörden (Gewerbeaufsichtsämter, Bergämter, untere Wasserbehörden) zugeleitet.

Bei festgestellten Grundwasserbeeinflussungen werden in der Regel weitere Untersuchungen angeordnet, um zu überprüfen, ob eine Gefährdung für das Grundwasser vorliegt und wie groß diese ist, vgl. Kapitel 4.

Die bei Erfordernis durchgeführten Gefährdungsabschätzungen umfassen dann neben dem Schutzgut Wasser auch die Schutzgüter Boden, Luft, Mensch, Tier und Pflanze.

Nach durchgeführter Gefährdungsabschätzung ist *im Einzelfall* unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit und der betroffenen Nutzungen (z.B. Trinkwassergewinnungsgebiet im Abstrom) zu entscheiden, *ob* und *welche* Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden, vgl. Kapitel 4.

An Stelle des in der Deponieüberwachung und in der Altlastenbearbeitung üblichen Begriffes "Gefährdungsabschätzung" wird in der Bundes-Bodenschutz - und Altlastenverordnung auch der im Kapitel 4 genannte Begriff "Detailuntersuchung" verwendet.

## 5.2 Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen

Als Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen stehen im Wesentlichen folgende Verfahren zur Verfügung.

- Oberflächenabdichtung

Eine Oberflächenabdichtung ist nach Ablagerungsende einer Deponie in der Regel immer erforderlich, *unabhängig* davon, ob eine Grundwasserbeeinflussung bzw.

Grundwassergefährdung *festgestellt wurde* (Vorsorgeprinzip).

Aus betrieblichen Gründen wird vielfach bei Siedlungsabfalldeponien zunächst eine temporäre Abdeckung aufgebracht.

Im Hinblick auf den Grundwasserschutz soll die Oberflächenabdeckung bzw. –abdichtung verhindern, dass Niederschlagswasser in den Abfallkörper eindringt und dadurch Stoffe eluiert, die mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen.

Die Emissionsminderung durch eine verringerte Sickerwasserbildung hängt dabei entscheidend von der Qualität der Oberflächenabdichtung ab.

Einfache (mineralische) Oberflächenabdeckungen haben immer noch eine Durchsickerung von 10 – 20 % des Niederschlags (teilweise auch bis zu 50 %!) zur Folge.

Geeignete Kunststoffdichtungsbahnen (2,5 mm Dicke) bewirken eine technisch dichte Abdichtung.

Wenn der Abfall Kontakt zum Grundwasser hat (“Deponiesohle steht im Grundwasser“), reicht eine Oberflächenabdichtung allein nicht aus, um Emissionen ins Grundwasser zu unterbinden, weil das Grundwasser den Abfallkörper weiterhin eluiert.

In diesen Fällen werden hauptsächlich folgende Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen angewandt:

- Dichtwand und/oder Hydraulische Sicherung

Mit diesen Verfahren wird belastetes Grundwasser abgefangen bzw. unbelastetes, zuströmendes Grundwasser vom Deponiestandort und ggf. dem Abfallkörper ferngehalten.

- Abfallumlagerung

Der auf ungedichteten bzw. unzureichend gedichteten Deponieabschnitten eingelagerte Abfall wird aufgenommen und auf basisgedichteten Abschnitten wieder abgelagert.

- Grundwassersanierung

Das kontaminierte Grundwasser wird mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren gereinigt.

Zu diesen Verfahren zählen z.B. das „pump and treat“- Verfahren, bei dem das Grundwasser gefördert und einem Reinigungsverfahren (z.B. Aktivkohleadsorption, Desorption) zugeführt wird, oder reaktive Systeme, bei denen das kontaminierte Grundwasser eine Wand aus reaktivem Material durchströmt und dabei z.B. durch Sorptions- oder Reduktionsprozesse gereinigt wird.

Ausführlich behandelt werden diese und weitere Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen u.a. in [24], [25] und [26].

## 6. Fallbeispiele ausgewählter niedersächsischer Deponien

### 6.1 Beschreibung der Deponiestandorte

In diesem Kapitel sollen am Beispiel von 12 Siedlungsabfalldeponien, 3 Bauschuttdeponien und 3 Bohrschlammdeponien, bei denen das NLÖ die Wasseruntersuchungen durchführt bzw. bis vor einigen Jahren noch durchgeführt hat, die Grundwasserbeeinflussungen, die von ungedichteten bzw. unzureichend gedichteten Deponien ausgehen, dargestellt werden. Bei allen 18 Deponien sind Grundwasserbeeinflussungen festzustellen.

Die Messstellennetze für die Überwachung von Bauschutt- und Bohrschlammdeponien weisen oft Mängel auf bei Anzahl, Standort sowie Ausbau der Messstellen. Daher liegen für diese beiden Deponiearten im Vergleich zu den Siedlungsabfalldeponien weniger Daten vor, die für eine Auswertung geeignet wären.

Der Schwerpunkt der in diesem Bericht erfolgten Auswertung liegt somit bei den Siedlungsabfalldeponien.

Der überwiegende Anteil der Anlagen liegt in den Regierungsbezirken Lüneburg und Weser-Ems, siehe Tabelle 3.

Die Untergrundverhältnisse im Deponiebereich werden im Wesentlichen durch die Bodenart Sand bestimmt.

Für die Auswertung dieser Fallbeispiele wurden die im NLÖ vorliegenden Grundwasseranalysen herangezogen. Berücksichtigt wurden dabei die Anstrommessstellen, die unbeeinflusst von der Deponie sind. Bei den Abstrommessstellen wurden nur diejenigen berücksichtigt, die einen Deponieeinfluss zeigen.

Tabelle 3: Kenndaten der ausgewählten Deponien

Deponie	Deponieart	Regierungsbezirk	Beginn der Abfalldeponierung	(Haupt-) Bodenart Deponiestandort	Anzahl Anstrommessstellen	Anzahl Abstrommessstellen (deponiebeeinflusst)	Betriebszustand	Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen
1 <sup>2</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Lüneburg	1979	Sand	1	3	Ablagerungsbetrieb	zur Zeit keine Maßnahmen
2 <sup>1</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Lüneburg	1950	Sand	2	10	Ablagerungsende	Oberflächenabdichtung, Abfallumlagerung
3 <sup>2</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Lüneburg	1959	Sand	1	6	Ablagerungsbetrieb	Abfallumlagerung
4 <sup>2</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Lüneburg	1978	Sand	1	3	Ablagerungsbetrieb	Oberflächenabdichtung für 1. Bauabschnitt
5 <sup>2</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Lüneburg	1976	Kies, Sand	3	2	Ablagerungsbetrieb	zur Zeit keine Maßnahmen
6 <sup>2</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Weser-Ems	1976	Sand	3	11	Ablagerungsende	temporäre Oberflächenabdeckung
7 <sup>2</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Weser-Ems	1969	Sand, Schluff, Ton	4	3	Ablagerungsende	temporäre Oberflächenabdeckung
8 <sup>1,3</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Weser-Ems	1972	Sand	3	9	Ablagerungsbetrieb	temporäre Oberflächenabdeckung
9 <sup>1,3</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Weser-Ems	1976	Sand	2	3	Ablagerungsbetrieb	Abfallumlagerung
10 <sup>1</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Weser-Ems	1971	Sand	1	5	Ablagerungsende	Dichtwand, Grundwassersanierung
11 <sup>1</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Braunschweig	1967	Sand, Schluff, Ton	2	3	Ablagerungsbetrieb	Oberflächenabdichtung geplant
12 <sup>1</sup>	Siedlungsabfalldeponie	Hannover	1983	Sand	2	7	Ablagerungsbetrieb	temporäre Oberflächenabdeckung
13 <sup>1</sup>	Bohrschlammdeponie	Weser-Ems	k.A.	Sand	1	4	Ablagerungsende	Abdeckung mit Boden und Folie
14 <sup>1</sup>	Bohrschlammdeponie	Weser-Ems	k.A.	Sand	1	4	Ablagerungsbetrieb	Teilabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn
15 <sup>2</sup>	Bohrschlammdeponie	Lüneburg	1980	Sand	1	6	Ablagerungsbetrieb	Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn
16 <sup>1</sup>	Bauschuttdeponie	Lüneburg	k.A.	Sand	1	3	Ablagerungsende	Abdeckung mit Boden
17 <sup>2</sup>	Bauschuttdeponie	Lüneburg	1982	Sand	1	1	Ablagerungsbetrieb	zur Zeit keine Maßnahmen
18 <sup>2</sup>	Bauschuttdeponie	Lüneburg	1983	Sand	1	2	Ablagerungsbetrieb	zur Zeit keine Maßnahmen

<sup>1</sup> Beprobung durch NLÖ, Stand 2002

<sup>2</sup> Beprobung durch NLWK – Labore oder staatlich anerkannte Untersuchungsstellen

<sup>3</sup> zusätzliche Untersuchung durch NLWK – Labore

Die für die Fallbeispiele genannten Maßnahmen waren in den meisten Fällen aufgrund abfalltechnischer bzw. abfallrechtlicher Vorgaben erforderlich, nicht aufgrund einer festgestellten Grundwassergefährdung (Grundwasserschaden). Diese Maßnahmen wirken sich auf die Verbesserung der Grundwasserbeschaffenheit im Abstrom erst nach längeren Zeiträumen aus.

## **6.2 Art und Ausmaß der Grundwasserbeeinflussungen**

### **6.2.1 Vergleich von Leitfähigkeitsuntersuchungen bei einzelnen Deponien**

Zunächst soll die Entwicklung und der Verlauf der Grundwasserbeeinflussung exemplarisch für einige Deponien anhand des Parameters Leitfähigkeit aufgezeigt werden. Die Leitfähigkeit ist ein geeigneter Leitparameter, um zusammenfassend die Gesamtmineralisation des Grundwassers darzustellen.

In den Abbildungen 7 bis 12 sind die Ganglinien der Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen für die Leitfähigkeit dargestellt. Als Beispiele wurden die Deponien 3, 4, 6, 7, 9 und 12 ausgewählt, weil diese Ganglinien die im folgenden Absatz dargelegten Aspekte besonders gut veranschaulichen.

Die Werte der einzelnen Anstrom- und Abstrommessstellen wurden zu *Mittelwerten* (Median) zusammengefasst.

Bei den Deponien 4 und 6 (Abbildungen 8 und 9) ist der zeitliche Beginn und der dann folgende Anstieg der Grundwasserbeeinflussung in den Ganglinien gut zu erkennen. Bei den anderen Anlagen ist der zeitliche Beginn nicht zu erkennen, weil die Abfallablagerung in diesen Fällen bereits viele Jahre vor der regelmäßigen Überwachung des Grundwassers erfolgte. Ein anderer Grund ist, dass teilweise erst spät *geeignete* Abstrommessstellen errichtet wurden, die die Grundwasserbeeinflussung auch erfassen können (Deponien 7 und 9, Abbildungen 10 und 11). Dem richtigen Aufbau des Messstellennetzes - in der Regel ist dafür ein hydrogeologisches Gutachten erforderlich - kommt daher eine große Bedeutung zu.

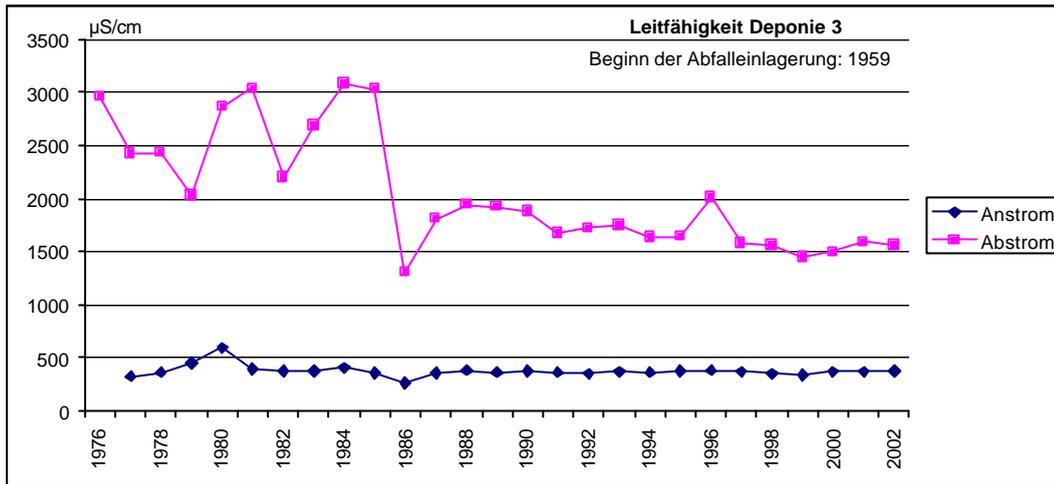


Abb. 7: Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 3 (Jahresmedianwerte)

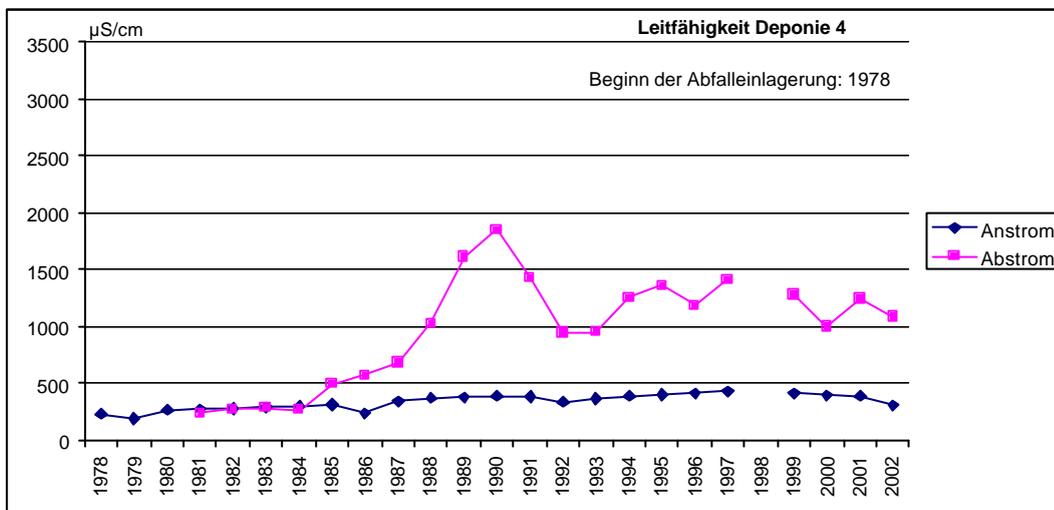


Abb. 8: Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 4 (Jahresmedianwerte)

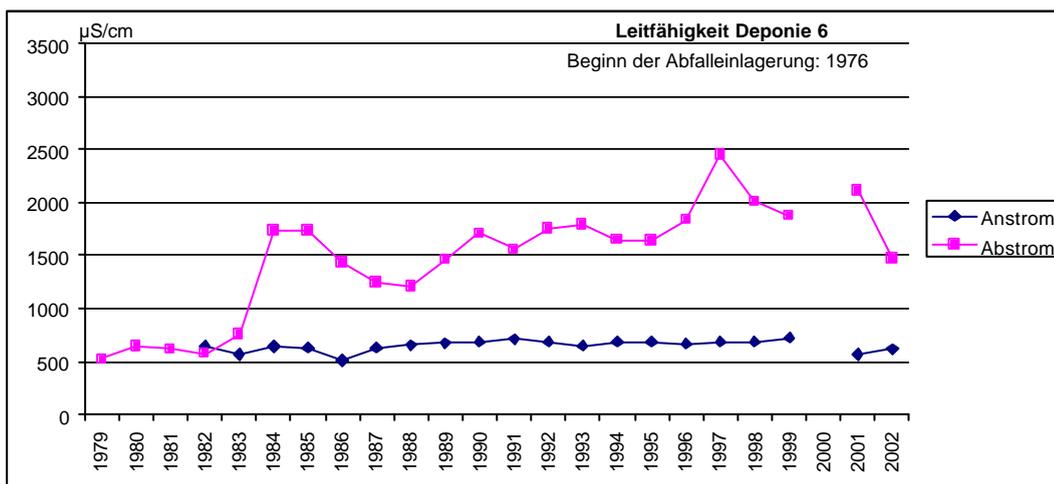


Abb. 9: Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 6 (Jahresmedianwerte)

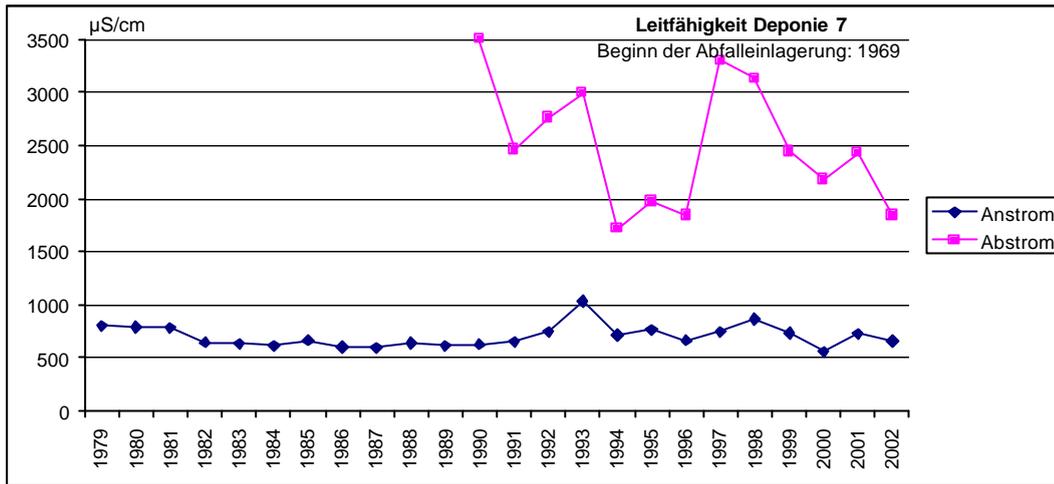


Abb. 10: Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 7 (Jahresmedianwerte)

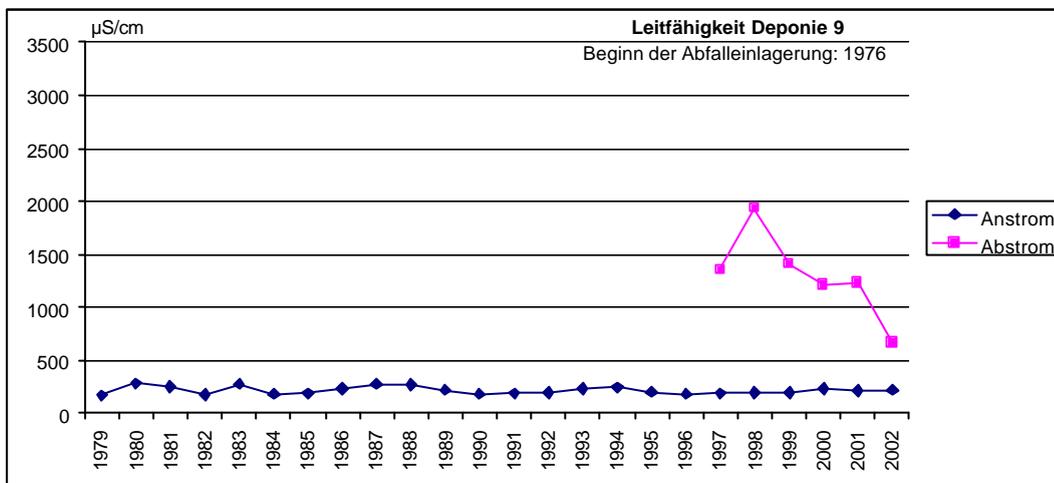


Abb. 11: Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 9 (Jahresmedianwerte)

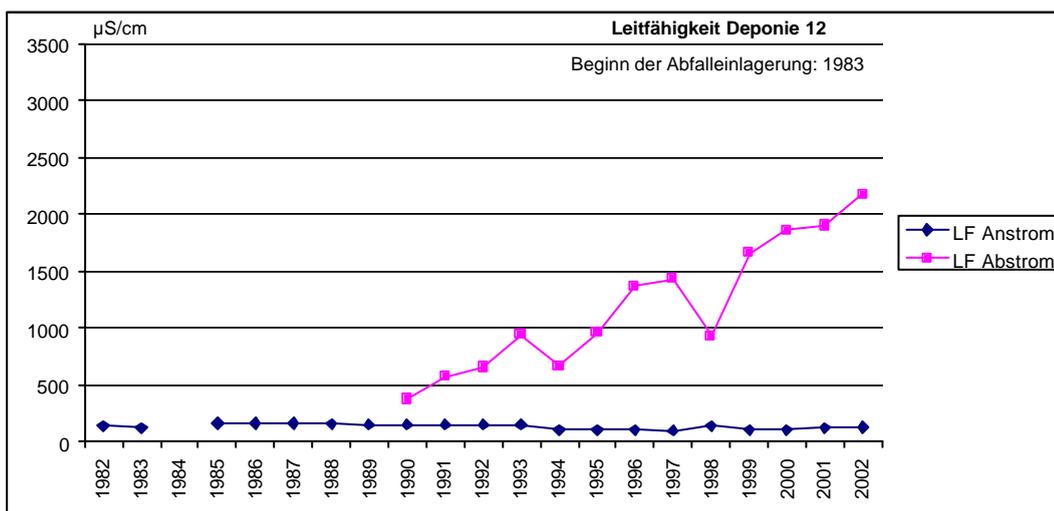


Abb. 12: Ganglinien Leitfähigkeit Deponie 12 (Jahresmedianwerte)

Es ist bei allen Deponien deutlich die Beeinflussung des Grundwassers im Abstrom zu erkennen. Die Größenordnung der jeweils maximalen Leitfähigkeitswerte reicht von ca. 1800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis zu ca. 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Hierbei ist zu beachten, dass es sich um *Mittelwerte* (Median) aus unterschiedlich stark beeinflussten Abstrommessstellen handelt. Die mittleren Leitfähigkeiten im Abstrom liegen damit um ein Vielfaches höher als im Anstrom. Im Kapitel 5.2.3 wird auf das Ausmaß der Grundwasserbeeinflussung näher eingegangen.

Im nachfolgenden Kapitel wird die Deponie 12 näher betrachtet.

### 6.2.2 Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserbeeinflussung am Beispiel einer Siedlungsabfalldeponie

Am Beispiel einer Siedlungsabfalldeponie (Deponie 12) wird die Grundwasserbeeinflussung in ihrer zeitlichen Entwicklung aufgezeigt. Bauschutt- und Bohrschlammdeponien zeigen teilweise andere Entwicklungen, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.

Die Deponie 12 ist eine betriebene Siedlungsabfalldeponie, die in einem Sandabbaubereich liegt. Es wurden 3 Deponieabschnitte errichtet, die unterschiedlich gut gegen den Untergrund abgedichtet wurden. Die Abbildung 13 zeigt schematisch die unterschiedlichen Basisabdichtungen.

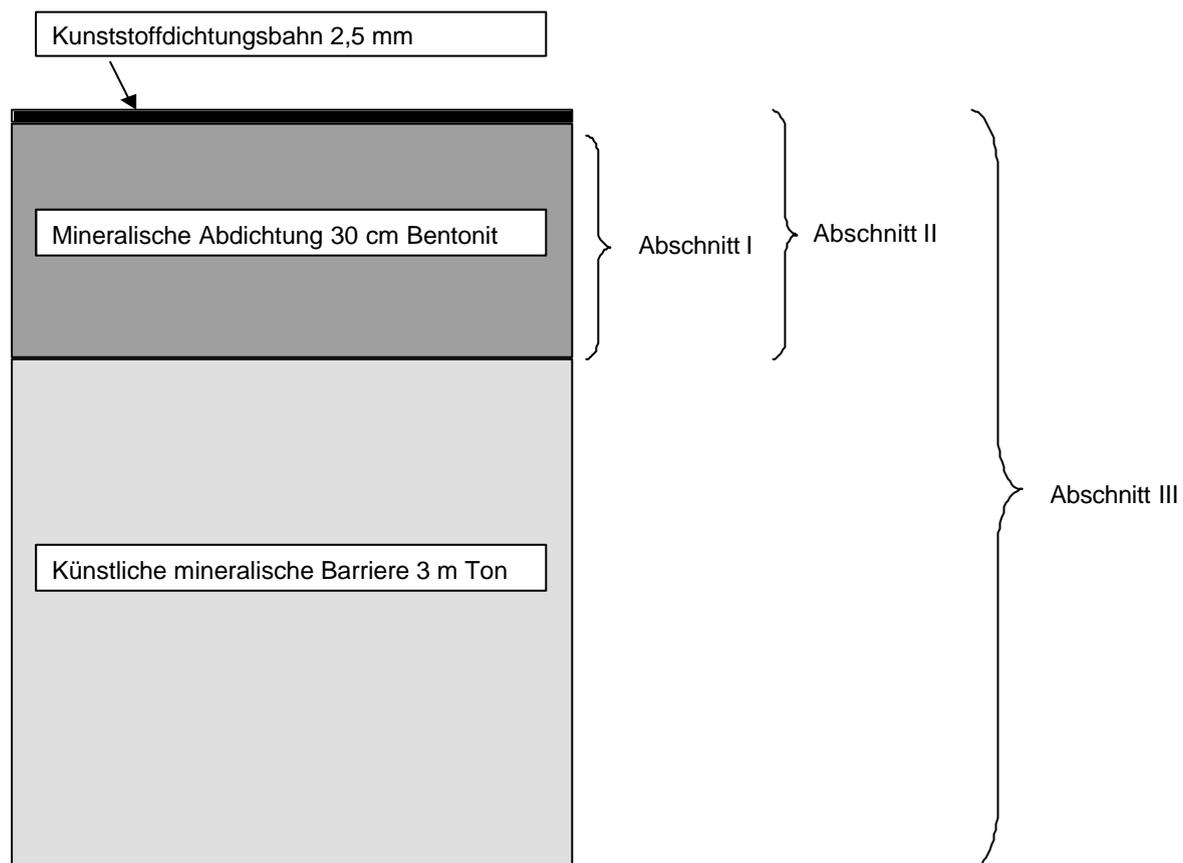


Abb. 13: Schematische Darstellung der Basisabdichtung bei der Deponie 12

Im Deponieabschnitt I wurde 1983 mit der Ablagerung von Abfall begonnen. Als Abdichtung gegen den Untergrund wurde eine mineralische Abdichtung (Bentonit 30 cm stark) eingebaut.

Der Deponieabschnitt II wurde ab 1988 beschickt. Zusätzlich zur mineralischen Abdichtung wurde eine 2,5 mm starke Kunststoffdichtungsbahn eingebaut.

Der Deponieabschnitt III ging 1993 in Betrieb. Zusätzlich wurde hier unter der Kombinationsdichtung (mineralische Abdichtung plus Kunststoffdichtungsbahn) als (weitere) Barriere eine 3 m starke Tondichtung eingebaut.

Die Abbildungen 14 bis 18 enthalten die Ganglinien der Untersuchungsparameter, die einen deutlichen Konzentrationsanstieg aufweisen. Es wurden wiederum die Werte für die einzelnen Anstrom- und Abstrommessstellen zu *Mittelwerten* (Median) zusammengefaßt, vgl. auch Kapitel 5.2.1.

Die Abbildungen zeigen durch den kontinuierlichen Anstieg der Grundwasserbeeinflussung, dass die einfache Abdichtung des Bauabschnittes I kein ausreichender Schutz für das Grundwasser ist.

Die durch die Deponie beeinflussten Grundwassermessstellen liegen alle im Abstrom des Bauabschnittes I.

Bei den Abstrommessstellen, die den Bauabschnitten II und III zuzuordnen sind, sind bisher keine Auffälligkeiten festzustellen.

Der *zeitliche Beginn* der Grundwasserbeeinträchtigung ist nicht genau zu erkennen, da das Messstellennetz im Abstrom erst 1990 um geeignete Brunnen ergänzt wurde.

Die erste Untersuchung der neuen Messstellen (1990) zeigte bereits Anzeichen einer Beeinflussung (im Vergleich zum Anstrom erhöhter Natriumwert im Abstrom, dagegen nur gering höhere Werte bei den Parametern Leitfähigkeit und Säurekapazität).

Die Beeinflussung stieg stetig weiter an. Der Deponieeinfluss wurde deutlich, als auch die Konzentrationen weiterer Parameter anstiegen:

1992/1993: Calcium, DOC und AOX

1995: Ammonium

1996: Bor und Kalium

Die Beeinträchtigung des Grundwassers durch die Deponie zeigt sich deutlich bei den Parametern Leitfähigkeit, Natrium, Kalium, Chlorid, Säurekapazität, Ammonium, DOC, AOX und Bor, in geringerem Umfang auch bei Calcium.

Erhöhte Konzentrationen dieser Parameter im Grundwasserabstrom sind typisch für Beeinflussungen aus Siedlungsabfalldeponien. Im Kapitel 5.2.3 wird darauf näher eingegangen.

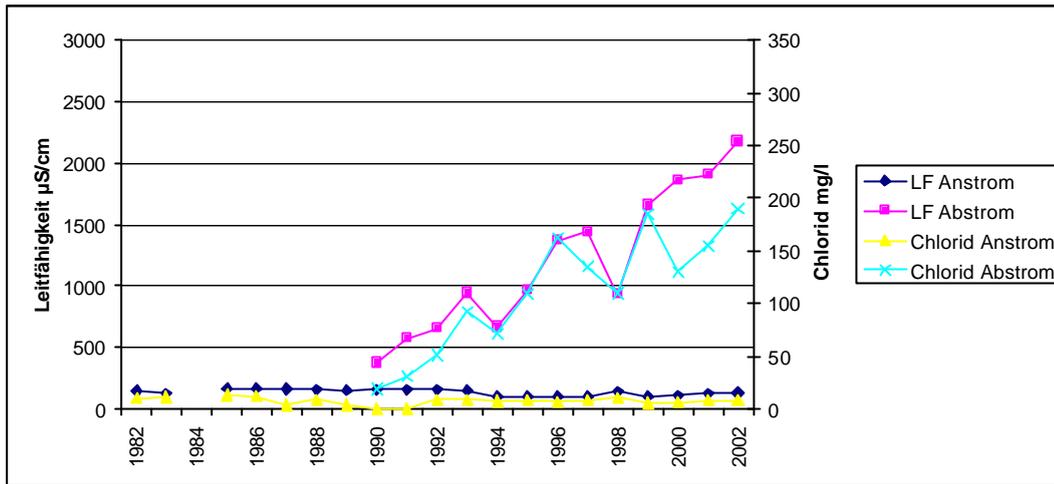


Abb. 14: Deponie 12, Ganglinien Leitfähigkeit und Chlorid (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)

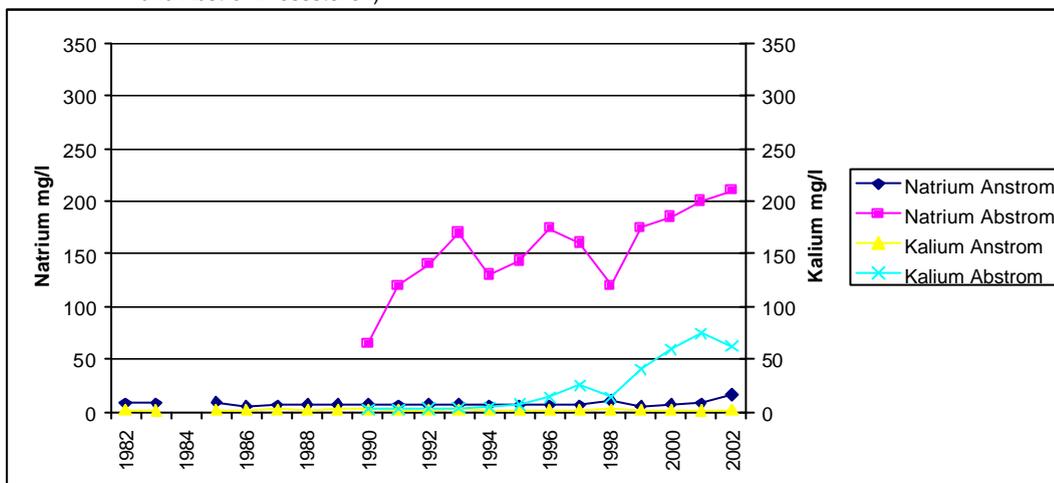


Abb. 15: Deponie 12, Ganglinien Natrium und Kalium (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)

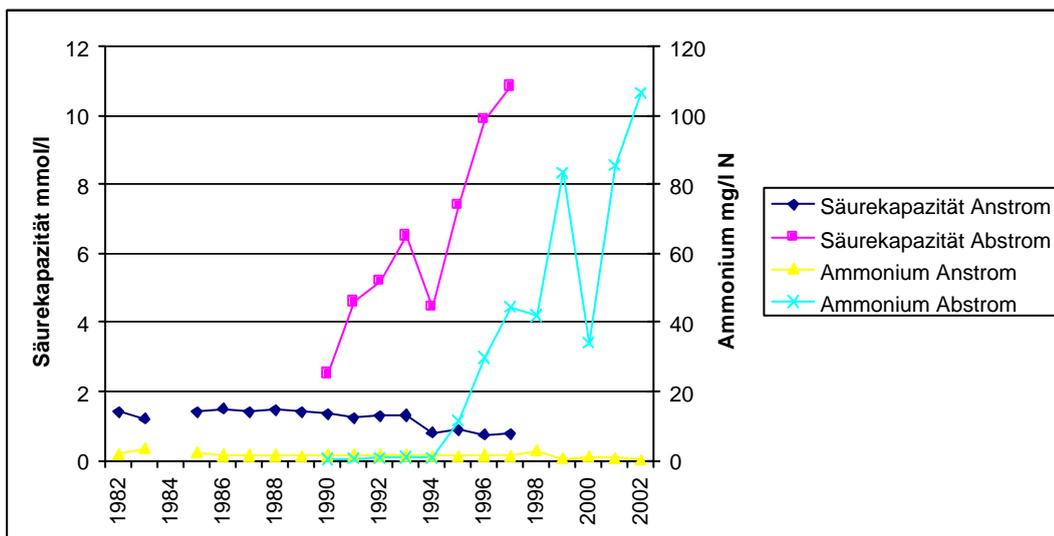


Abb. 16: Deponie 12, Ganglinien Säurekapazität und Ammonium (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)

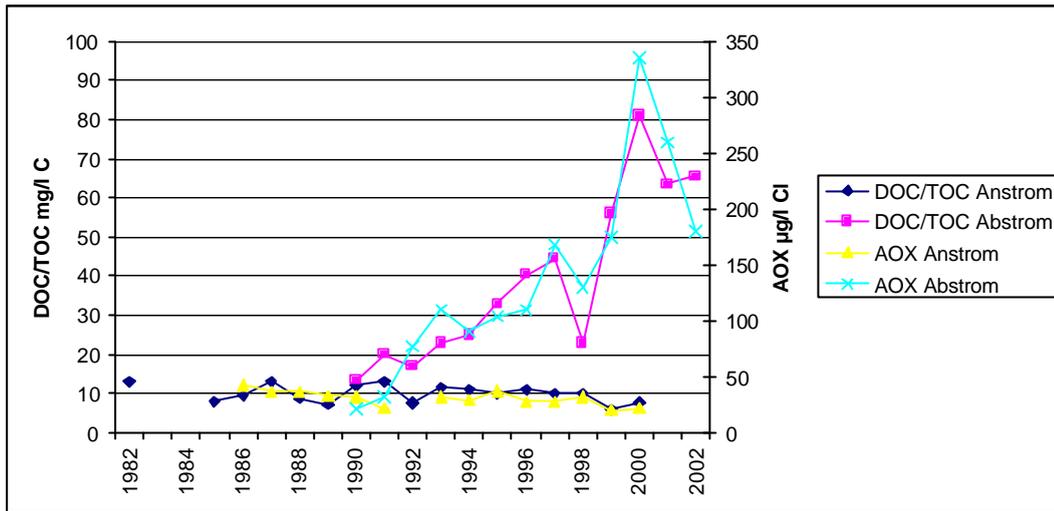


Abb. 17: Deponie 12, Ganglinien DOC/TOC und AOX (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)

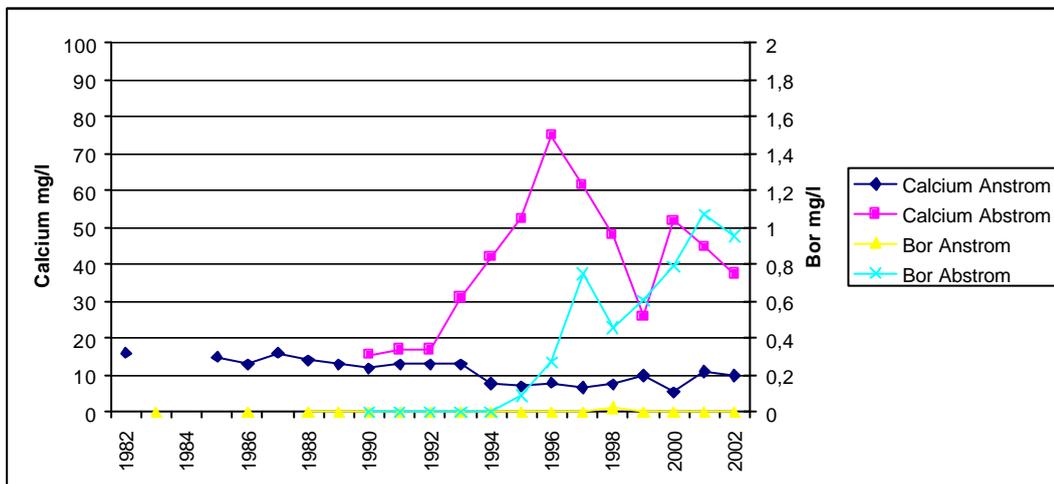


Abb. 18: Deponie 12, Ganglinien Calcium und Bor (Jahresmedianwerte der Anstrom- und Abstrommessstellen)

## 6.2.3 Zusammenfassende Auswertung

In diesem Kapitel wird zusammenfassend das Ausmaß der Grundwasserbeeinflussungen beschrieben, bezogen auf den Zeitraum 2000 bis 2002.

Betrachtet werden in erster Linie die Salzparameter sowie organische Summenparameter (DOC, AOX), die hauptsächlich als Emissionen im Grundwasser auftreten.

Schwermetallemissionen (außer Eisen und Mangan) spielen keine bzw. nur eine untergeordnete Rolle, so dass sie in der Regel seltener untersucht werden. Daher liegen für diese Parameter auch weniger Messwerte vor.

Für die Beschreibung sind in den Tabellen 4 und 5 die statistischen Kenngrößen Median, Mittelwert, Minimum und Maximum zusammengestellt.

Die Tabelle 4 enthält die Auswertung des Datensatzes der unbeeinflussten Anstrommessstellen. Es wurden die vorliegenden Analysenergebnisse der letzten 10 Jahre (1992 – 2002) zu Grunde gelegt, um eine ausreichende Datenbasis zur Verfügung zu haben. Für die Anstrommessstellen sind bei den ausgewählten Deponien keine ausgeprägten Trends zu beobachten (vgl. die Abbildungen 7 – 12), so dass die statistische Auswertung (u.a. Mittelwertbildung) über diesen Zeitraum zulässig ist.

Die Tabelle 5 enthält die Auswertung des Datensatzes der deponiebeeinflussten Abstrommessstellen. Da bei den Abstrommessstellen teilweise Trends (zunehmende bzw. abnehmende Beeinflussung) zu erkennen sind, wurden hier nur die vorliegenden Analysenergebnisse der Jahre 2000 bis 2002 zu Grunde gelegt. Durch die in der Regel größere Anzahl von Abstrommessstellen gegenüber den Anstrommessstellen standen dennoch meistens genügend Messwerte ( $n > 10$ ) für eine Auswertung zur Verfügung.

In einigen Fällen, besonders bei den Schwermetallen (siehe oben) standen nur wenige Messwerte ( $n < 10$ ) zur Verfügung.

Als Kenngröße für die mittlere Konzentration wurde der Median gewählt, da dieser – im Gegensatz zum arithmetischen Mittelwert – weitgehend unabhängig von Extremwerten und Ausreißern ist. Bei Normalverteilung der Messwerte entspricht der Medianwert dem arithmetischen Mittelwert. Zum Vergleich ist auch der arithmetische Mittelwert in den Tabellen 4 und 5 enthalten.

Außerdem sind in den Tabellen auch noch die Minimum- und Maximumwerte angegeben. Hier ist zu beachten, dass diese Kennwerte durch Extremwerte und Ausreißer beeinflusst sein können. Auf die Angabe dieser Werte wurde dennoch nicht verzichtet, da sie die Schwankungsbreite veranschaulichen.

Messwerte, die unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze liegen, wurden gleich 0 (Null) gesetzt.

### 6.2.3.1 Datensatz Anstrommessstellen

Das *von der Deponie* unbeeinflusste Grundwasser wird von den Anstrommessstellen repräsentiert. Die Beschaffenheit des zuströmenden Grundwassers kann neben der geogenen Prägung auch durch anthropogene Einflüsse (diffuse Belastung, punktuelle Belastungsquellen im Anstrom) bestimmt sein. Die statistischen Kennwerte Median, Mittelwert, Minimum und Maximum sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Statistische Kennwerte für Anstrommessstellen 1992-2002

Deponie Nr.	Deponieart	Statistische Kennwerte															
		Median	Wassertemperatur °C	Leitfähigkeit µS/cm	pH-Wert	Sauerstoff mg/l O2	Säurekapazität mmol/l	Ammonium mg/l N	Nitrat mg/l N	DOC/TOC mg/l C	AOX µg/l Cl	Kohlenwasserstoffe mg/l	Calcium mg/l	Magnesium mg/l	Natrium mg/l	Kalium mg/l	
1	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,4	291	7,4	2,0	1,9	<BG	0,4	1,5	5	<BG	49	2	10	1	
		Mittelwert	9,6	303	7,2	2,2	1,8	0,02	0,4	1,3	8	<BG	49	2	10	1	
		n	10	14	14	10	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
		MIN	8,9	272	6,6	0,9	1,1	<BG	0,04	<BG	<BG	<BG	41	<BG	5,7	<BG	
		MAX	10,9	386	7,9	3,4	2,2	0,1	0,7	2,1	27	<BG	57	4	26	2	
2	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,8	294	5,5	0,5	0,9	0,3	0,02	5,2	30	<BG	36	3	11	2	
		Mittelwert	10,0	318	4,9	0,9	0,9	0,28	0,02	6,0	30	<BG	36	3	13	2	
		n	32	32	32	32	2	31	2	31	2	2	2	2	22	31	
		MIN	7,6	89	4,2	0,1	0,2	<BG	<BG	3,0	12	<BG	9	2	2,5	1,7	
		MAX	12,2	580	7,0	3,5	1,5	1,2	0,03	11	47	<BG	63	3	25	6	
3	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,6	370	7,7	0,5	3,0	0,4	<BG	1,8	<BG	<BG	52	7	15	2	
		Mittelwert	9,6	359	7,7	0,9	2,9	0,38	0,03	1,8	5	<BG	54	7	14	2	
		n	32	33	33	33	33	33	33	30	19	18	31	31	31	31	
		MIN	9,1	306	7,4	<BG	2,3	<BG	<BG	0,12	<BG	<BG	19	6	10	1,6	
		MAX	10,6	388	7,9	5,7	3,2	0,9	0,4	3,4	46	<BG	100	8	16	3	
4	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,8	387	5,4	9,8	0,2	<BG	24	1,5	<BG	<BG	34	10	18	5	
		Mittelwert	9,9	375	5,4	9,9	0,2	0,03	24	1,6	10	<BG	34	10	18	5	
		n	15	16	16	16	13	16	13	15	11	8	8	8	8	8	
		MIN	9,2	251	5,2	7,5	0,1	<BG	21	<BG	<BG	<BG	26	8	15	4,5	
		MAX	10,5	430	5,7	14	0,3	0,2	27	3,9	61	0,02	38	12	21	6	
5	Siedlungsabfalldeponie	Median	10,0	799	7,1	1,5	2,7	<BG	10	1,4	7	<BG	126	12	21	3	
		Mittelwert	10,2	788	7,1	2,0	2,6	0,04	9,7	1,6	10	<BG	122	12	21	4	
		n	92	92	91	91	92	92	92	91	83	52	88	88	88	88	
		MIN	8,6	525	6,2	<BG	1,0	<BG	1,2	<BG	<BG	<BG	75	8	9	0,8	
		MAX	12,4	980	7,8	9,1	4,4	1,7	41	15	70	0,1	160	18	49	12	
6	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,7	683	6,8	7,7	2,0	<BG	22	1,4	13	<BG	104	11	18	2	
		Mittelwert	9,8	652	6,6	6,7	1,8	0,02	25	2,1	15	<BG	103	12	17	2	
		n	34	35	35	32	32	35	34	29	20	16	28	28	19	29	
		MIN	8,4	437	5,7	0,6	0,1	<BG	3,3	<BG	<BG	<BG	63	8	10	<BG	
		MAX	11,4	772	8,4	12	2,6	0,2	100	11	37	<BG	166	16	21	5	
7	Siedlungsabfalldeponie	Median	11,1	734	7,1	1,1	5,7	0,2	<BG	7,2	22	<BG	130	11	34	3	
		Mittelwert	10,9	733	6,9	2,3	5,7	0,23	0,38	11,2	31	<BG	130	11	35	3	
		n	39	39	38	36	36	36	35	31	21	9	30	30	21	31	
		MIN	7,2	349	6,4	0,04	3,1	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	73	3	16	<BG	
		MAX	13,9	1390	7,7	10	10	0,8	4,20	88	230	0,01	230	18	68	6	
8	Siedlungsabfalldeponie	Median	10,4	470	5,9	0,6	0,7	3,7	<BG	30	34	<BG	20	6	22	4	
		Mittelwert	10,4	398	5,2	0,8	1,2	4,44	0,15	29	52	<BG	21	6	34	5	
		n	46	47	47	43	38	47	47	39	17	17	39	39	32	39	
		MIN	8,7	151	4,1	<BG	0,1	0,5	<BG	8,8	<BG	<BG	3	1	9	1,9	
		MAX	11,8	742	6,7	3,7	3,3	10	0,90	63	120	<BG	69	17	97	12	
9	Siedlungsabfalldeponie	Median	10,8	202	5,7	1,1	0,2	2,4	<BG	11	41	<BG	6	3	17	3	
		Mittelwert	10,7	208	5,2	1,3	0,4	2,76	0,13	12	37	<BG	6	3	15	4	
		n	43	43	43	43	33	43	43	42	14	12	38	38	14	14	
		MIN	8,7	140	4,9	0,3	0,1	1,3	<BG	5,70	<BG	<BG	2	1	2	1,3	
		MAX	13,0	278	6,8	5,1	1,5	8,1	1,40	24	62	<BG	18	9	19	12	
10	Siedlungsabfalldeponie	Median	11,4	580	6,7	1,3	2,5	11	0,2	9,6	42	<BG	43	7	31	13	
		Mittelwert	11,4	580	6,6	1,3	2,5	11	0,2	9,6	42	<BG	43	7	31	13	
		n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
		MIN	11	510	7	1	2	7	0,1	7	23	<BG	41	6	26	9	
		MAX	11,4	650	6,7	1,4	2,9	14	0,2	12	60	<BG	45	8	35	16	
11	Siedlungsabfalldeponie	Median	10,2	1384	7,0	1,2	4,6	0,4	0,90	8,0	83	<BG	199	17	100	10	
		Mittelwert	10,3	1365	6,8	1,4	4,6	0,6	12	7,9	80	<BG	197	16	99	11	
		n	43	43	42	42	14	43	41	37	22	22	22	22	22	22	
		MIN	8,4	656	6,5	0,2	3,0	0,1	<BG	1,6	19	<BG	140	9	62	1,8	
		MAX	13,1	1710	8,4	6,1	6,2	5,1	34	18	150	0,10	260	24	180	22	
12	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,4	123	5,8	0,7	1,2	1,4	<BG	10	29	<BG	8	1	6	2	
		Mittelwert	9,5	127	5,7	0,8	1,0	1,39	0,16	10	30	<BG	9	1	7	2	
		n	29	29	29	28	23	29	29	25	12	11	23	23	23	23	
		MIN	8,6	79	5,3	0,1	0,5	0,2	<BG	6,0	20	<BG	4	1	4	1,0	
		MAX	12,1	177	6,3	2,8	1,6	4,3	3,2	14	44	<BG	13	2	16	3	
13	Bohrschlammdeponie	Median	9,8	150	4,6	3,0	0,1	<BG	4,6	1,8	13	<BG	4	8	6	2	
		Mittelwert	9,8	150	4,6	3,1	0,1	0,03	4,9	1,8	17	<BG	4	8	6,3	2,3	
		n	37	37	37	36	20	36	25	37	9	34	24	26	36	26	
		MIN	8,4	97	3,8	<BG	<BG	<BG	0,08	<BG	11	<BG	2	2	4,7	<BG	
		MAX	11,7	226	5,6	9,6	0,3	0,2	14	4,2	43	<BG	6	13	8,6	3,5	
14	Bohrschlammdeponie	Median	9,9	500	4,9	3,7	0,3	<BG	26	1,8		<BG	24	7	11	5	
		Mittelwert	9,9	490	5,0	3,9	0,3	1,6	22	2,4		<BG	19	6	26	7	
		n	16	16	16	16	7	15	16	16	0	1	8	8	14	7,0	
		MIN	9,0	360	4,8	1,0	0,1	<BG	0,5	<BG		<BG	2	<BG	7,6	2,2	
		MAX	11,3	560	5,4	8,0	0,4	23	33	8,2		<BG	28	11	96	14	
15	Bohrschlammdeponie	Median	9,6	360	7,0	3,3	2,1	0,1	5,30	1,9		<BG	49	5	9	2	
		Mittelwert	9,6	359	6,9	3,1	2,1	0,05	5,50	1,9		<BG	48	5	8	2	
		n	9	9	9	9	9	4	5	9	0	1	8	8	9	8	
		MIN	9,5	330	6,7	0,6	1,8	0,1	3,8	1,5		<BG	44	4	7	1,7	
		MAX	9,7	380	7,2	3,9	2,5	0,1	7,3	2,2		<BG	53	5	9	2	
16	Bauschuttdeponie	Median	10,5	389	5,7	3,3	0,5	0,1	14	6,0	35	<BG	38	4	14	23	
		Mittelwert	10,5	441	5,3	3,3	0,5	0,3	15	5,9	47	0,2	46	5	18	18	
		n	6	6	6	6	1	6	6	6	6	5	5	5	5	5	
		MIN	9,6	301	5,0	2,0	0,5	0,0	1,5	2,30	<BG	<BG	27	3	8,5	4,5	
		MAX	11,2	604	6,9	5,5	0,5	1,1	33	8,2	130	0,9	88	6	37	27	
17	Bauschuttdeponie	Median	9,0	634	6,3	0,7	1,1	0,6	<BG	5,6	18	<BG	73	8	15	2	
		Mittelwert	9,3	636	6,3	0,9	1,1	0,5	<BG	5,5	20	<BG	72	7	15	2	
		n	13	13	13	13	13	13	13	11	12	7	11	11	11	11	
		MIN	7,6	580	6,1	0,0	0,6	0,3	<BG	3,3	11	<BG	62	6	14	1,4	
		MAX	11,9	700	6,6	2,4	1,6	1	0	8,2	30	<BG	80	9	18	2	
18	Bauschuttdeponie	Median	9,9	625	4,3	1,3	0,1	0,2	3,50	2,2	20	<BG	44	23	16	12	
		Mittelwert	9,8	613	4,2	1,9	0,1	0,20	7,96	2,3	21	<BG	44	22	15	13	
		n	14	14	14	14	12	14	11	13							

Tabelle 4: Statistische Kennwerte für Anstrommessstellen 1992-2002 (Fortsetzung)

Deponie Nr.	Deponieart	Statistische Kennwerte														
		Median	Eisen mg/l	Mangan mg/l	Chlorid mg/l	Sulfat mg/l	Schwefelwasserstoff mg/l	Bor mg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Nickel µg/l	Zink µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Quecksilber µg/l	Arsen µg/l
1	Siedlungsabfalldeponie	Median	0,1	0,03	19	37	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	0,2	0,12	21	36	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	17	<BG	<BG	<BG	<BG
		n	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
		MIN	<BG	<BG	16	25	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		MAX	0,8	1,3	42	58	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	230	<BG	<BG	<BG	2,1
2	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,4	0,41	18	90	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	70	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	9,4	0,41	25	90	<BG	0,01	<BG	<BG	<BG	70	<BG	<BG	<BG	1,6
		n	2	2	32	2	30	31	2	2	2	2	2	2	2	32
		MIN	2,7	0,10	3,2	69	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		MAX	16	0,7	56	110	<BG	0,11	<BG	<BG	<BG	140	<BG	<BG	<BG	7,5
3	Siedlungsabfalldeponie	Median	0,7	0,22	18	22	<BG	0,07	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	0,8	0,21	19	23	<BG	0,06	<BG	<BG	<BG	19	<BG	0,4	<BG	<BG
		n	20	20	33	31	31	28	11	12	12	12	12	11	1	
		MIN	<BG	0,09	13	16	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	2,3	0,3	36	29	<BG	0,13	<BG	<BG	<BG	86	<BG	5,0	<BG	<BG
4	Siedlungsabfalldeponie	Median	0,1	0,01	37	31	<BG	0,03	<BG	<BG	30	25	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	0,2	0,01	38	30	0,04	0,04	1,7	<BG	21	17	<BG	<BG	<BG	<BG
		n	8	8	16	11	8	10	7	7	10	7	7	7	10	
		MIN	<BG	<BG	18	23	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	1,0	0,02	58	40	0,4	0,11	10	<BG	40	31	<BG	<BG	<BG	
5	Siedlungsabfalldeponie	Median	<BG	0,01	76	132	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	0,2	0,06	77	136	<BG	0,03	1,6	<BG	8	10	<BG	<BG	<BG	<BG
		n	50	50	90	87	83	86	46	46	47	47	47	47	80	
		MIN	<BG	<BG	59	100	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	4,0	1,3	148	320	<BG	0,11	74	10	370	78	3,9	0,5	<BG	
6	Siedlungsabfalldeponie	Median	0,1	<BG	43	96	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	0,2	0,02	43	91	<BG	<BG	<BG	4,6	<BG	151	<BG	<BG	<BG	<BG
		n	18	18	35	20	17	30	14	14	14	14	14	14	20	
		MIN	<BG	<BG	29	34	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	0,7	0,2	60	110	<BG	0,03	<BG	50	<BG	1100	<BG	<BG	<BG	
7	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,2	0,64	48	72	<BG	0,06	<BG	<BG	<BG	1500	<BG	<BG	<BG	1,4
		Mittelwert	8,7	0,67	58	82	<BG	0,07	<BG	4,2	<BG	2340	38	<BG	<BG	2,1
		n	10	10	36	21	9	31	10	10	10	15	10	10	14	
		MIN	2,3	0,17	20	49	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	19	1,2	162	200	<BG	0,45	<BG	42,0	<BG	8000	250	<BG	<BG	
8	Siedlungsabfalldeponie	Median	5,0	0,15	43	37	0,77	0,06	<BG	<BG	<BG	15	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	6,4	0,19	40	43	1,22	0,1	1,0	1,8	1,2	19	0,08	<BG	<BG	
		n	32	32	47	32	29	39	13	13	13	13	13	13	13	
		MIN	2,2	0,02	13,00	7,70	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	16	0,8	74	134	8,80	0,4	5,0	10	10	60	1,0	<BG	<BG	
9	Siedlungsabfalldeponie	Median	6,4	0,07	32	25	0,31	<BG	<BG	<BG	<BG	30	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	8,6	0,11	30	19	0,4	<BG	<BG	<BG	<BG	416	4,0	0,49	<BG	
		n	14	14	43	41	14	14	14	14	14	14	14	14	0	
		MIN	2,7	0,04	17	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	21	0,36	39	48	1,3	0,07	<BG	<BG	<BG	5300	43	6,8	<BG	
10	Siedlungsabfalldeponie	Median	5,7	0,2	54	55	0,04	0,09	<BG	<BG	<BG	11	<BG	<BG	<BG	0,6
		Mittelwert	5,7	0,2	54	55	0,04	0,09	<BG	<BG	<BG	11	<BG	<BG	<BG	0,6
		n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
		MIN	5	0,2	52	47	0,04	0,08	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	6,6	0,23	56	63	0,04	0,1	<BG	<BG	<BG	22	<BG	<BG	<BG	
11	Siedlungsabfalldeponie	Median	5,3	0,58	153	250	<BG	0,41	<BG	<BG	<BG	20	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	6,3	1,21	168	254	<BG	0,42	1,4	<BG	<BG	65	<BG	<BG	<BG	
		n	43	22	43	20	22	22	22	22	43	43	43	22		
		MIN	<BG	0,44	110	220	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG		
		MAX	16	3,7	310	310	<BG	1,10	30	<BG	<BG	1800	4,0	<BG		
12	Siedlungsabfalldeponie	Median	5,6	0,08	8	<BG	0,06	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	6,6	0,07	8	2	0,06	<BG	<BG	4,5	<BG	56	<BG	<BG	<BG	
		n	15	11	29	23	13	15	11	11	11	11	11	10	0	
		MIN	0,6	0,05	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	11	0,1	14	18	0,27	0,05	<BG	50	<BG	520	<BG	<BG	<BG	
13	Bohrschlammdeponie	Median	<BG	0,08	9	29			<BG	<BG	<BG	5	110	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	0,1	0,08	10	29			<BG	<BG	<BG	7	118	<BG	0,50	
		n	26	8	37	37	0	8	8	8	8	26	7	8	0	
		MIN	<BG	<BG	7	10		<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	2,3	0,2	20	34		0,03	4	5,00	20	740	<BG	2	21	
14	Bohrschlammdeponie	Median			28	62										
		Mittelwert			43	55										
		n	0	0	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		MIN			12	20										
		MAX			130	70										
15	Bohrschlammdeponie	Median		0,2	18	23					<BG			<BG	<BG	
		Mittelwert		0,2	17,6	23					<BG			<BG	<BG	
		n	0	5	9	9	0	0	0	0	0	4	0	0	1	
		MIN		0,2	12	14					<BG			<BG	<BG	
		MAX		0,2	23	29					<BG			<BG	<BG	
16	Bauschuttdeponie	Median	1,2	0,2	20	58	<BG	<BG		<BG	<BG	59	7	<BG	<BG	0,6
		Mittelwert	3,5	1,1	33	59	<BG	<BG		<BG	<BG	59	7	<BG	<BG	0,6
		n	6	6	6	6	1	5	0	1	1	2	2	1	1	
		MIN	0,1	0,01	17	35	<BG	<BG		<BG	<BG	34	1,6	<BG	<BG	
		MAX	16	5,6	67	93	<BG	<BG		<BG	<BG	83	13	<BG	<BG	
17	Bauschuttdeponie	Median	4,2	1,0	55	171	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	4,1	0,9	54	172	<BG	0,06	<BG	<BG	1,1	5,83	<BG	<BG	<BG	
		n	11	11	13	11	5	11	6	6	6	6	6	6	7	
		MIN	3,5	0,07	48	143	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	4,7	1,1	58	200	<BG	0,14	<BG	<BG	6,6	35	<BG	<BG	<BG	
18	Bauschuttdeponie	Median	6,7	0,3	53	189	<BG	<BG	<BG	<BG	214	287	<BG	<BG	<BG	<BG
		Mittelwert	8,4	0,3	46,4	178	<BG	0,08	<BG	12	244	451	0,05	0,12	<BG	
		n	10	10	14	11	5	11	7	7	8	8	8	8	8	
		MIN	1,5	0,2	22	110	<BG	<BG	<BG	<BG	80	170	<BG	<BG	<BG	
		MAX	22	0,5	63	243	<BG	0,54	<BG	72	560	1100	0,4	0,5	<BG	

Tabelle 5: Statistische Kennwerte für Abstrommesstellen 2000 - 2002

Deponie Nr.	Deponieart		°C	Leitfähigkeit	pH-Wert	Sauerstoff	Säurekapazität	Ammonium	Nitrat	DOC/TOC	AOX	Kohlenwasserstoffe	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium	
																	Wassertemperatur
1	Siedlungsabfalldeponie	Median	1365	6,8		8,5	0,1	0,1	14	55	<BG	130	41	76	6		
		Mittelwert	2228	6,7		15	30	0,5	39	98	<BG	150	62	162	18		
		n	0	20	0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
		MIN	670	6,5		4,6	<BG	<BG	2,70	<BG	<BG	94	7	18	0,9		
		MAX	5350	7,0		36	120	2,9	120	360	<BG	290	170	430	68		
2	Siedlungsabfalldeponie	Median	11,0	890	6,4	0,3		12		37					43	28	
		Mittelwert	10,9	965	6,3	0,5		16		36					68	25	
		n	57	57	57	0	57	0	57	0	0	0	0	0	57	57	
		MIN	9,1	418	5,6	0,1		0,2		2,70					15	1,7	
		MAX	12,8	1780	6,9	6,5		48		78					200	54	
3	Siedlungsabfalldeponie	Median	12,1	1570	7,1	0,4	6,3	19	19	8,4	22	<BG	145	24	124	27	
		Mittelwert	12,7	1992	7,0	0,5	9,8	32	14	13	28	<BG	142	26	172	35	
		n	70	70	70	70	70	70	70	70	5	7	70	70	70	70	
		MIN	10,3	897	6,6	<BG	4,7	1,0	<BG	5,00	18	<BG	71	13	48	15	
		MAX	16,2	3900	7,4	3,9	21	159	32	29	43	<BG	207	44	538	86	
4	Siedlungsabfalldeponie	Median	11,8	1014	7,0	0,4	11	13	0,1	17	55	<BG	114	25	38	32	
		Mittelwert	11,5	1437	6,8	0,6	13	57	0,7	29	104	<BG	115	28	65	74	
		n	24	23	24	24	13	23	12	24	24	11	12	11	11	12	
		MIN	9,7	382	6,2	<BG	1,2	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	17	8	17,0	11,0	
		MAX	12,6	3680	7,1	1,9	29	212	3,4	110	500	<BG	213	55	210	262	
5	Siedlungsabfalldeponie	Median	12,4	1300	6,6	1,0	7,3	7,7	0,7	11,2	38	<BG	132	22	62	31	
		Mittelwert	12,4	1296	6,7	1,2	7,0	7,9	1,0	11	39	<BG	134	22	58	32	
		n	24	24	24	24	24	24	24	24	24	2	24	24	24	24	
		MIN	12,0	1100	6,5	<BG	4,5	3,4	0,3	8,30	<BG	<BG	98	17	39	11	
		MAX	13,3	1480	6,8	4,5	9,2	14	2,9	14	56	<BG	165	31	77	53	
6	Siedlungsabfalldeponie	Median	11,4	1675	6,2	0,4	10	16	<BG	35	105		120	40	160	33	
		Mittelwert	11,8	2083	6,2	0,6	11,8	44	0,1	39	140		135	47	178	48	
		n	18	18	18	18	11	18	11	11	18	0	11	11	11	11	
		MIN	10,1	960	5,8	<BG	6,1	<BG	<BG	14,0	<BG		76	16	52	4	
		MAX	16,0	3880	6,6	1,3	19	160	1,5	75	368		240	92	350	170	
7	Siedlungsabfalldeponie	Median	11,6	2210	6,8	0,4	16	39	0,2	37	139		273	33	140	12	
		Mittelwert	10,8	2226	6,8	0,9	17	33	0,4	42	132		300	32	208	24	
		n	15	14	15	15	15	15	15	15	13	0	15	13	15	15	
		MIN	7,2	1371	6,6	0,2	8,8	0,1	<BG	16	<BG		158	14	89	1,1	
		MAX	13,4	3350	6,9	5,4	29	92	2,2	81	270		450	65	880	162	
8	Siedlungsabfalldeponie	Median	14,5	2235	6,7	0,4	16	11	0,1	90			108	25	235	9	
		Mittelwert	14,7	2935	6,4	0,4	19	53	0,1	137			134	32	323	70	
		n	26	26	26	26	17	26	26	26	0	0	26	26	26	26	
		MIN	10,5	960	6,0	0,1	5,4	0,1	<BG	40			24	1	89	4,5	
		MAX	20,0	6700	7,7	0,7	41	210	0,5	350			420	84	900	300	
9	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,1	960	6,9	1,5	5,0	41	0,2	89	210	<BG	31	13	35	58	
		Mittelwert	9,5	983	6,5	1,4	5,0	37	0,9	88,3	216	0,03	35	13	54	62	
		n	12	12	12	9	3	12	12	12	9	6	12	12	9	9	
		MIN	8,1	440	5,7	0,9	3,5	14,0	<BG	38	170	<BG	25	7	23	32	
		MAX	11,9	1830	7,0	1,8	6,5	78	4,3	139	260	0,20	62	22	100	120	
10	Siedlungsabfalldeponie	Median	13,9	3105	6,7	0,8	20	54	0,05	60	225	<BG	68	38	200	62	
		Mittelwert	13,6	2800	6,4	0,9	17	105	0,3	73	256	0,01	100	36	184	115	
		n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
		MIN	11,2	680	5,6	0,2	0,9	7,2	<BG	21,00	80	<BG	34	13	19,0	20	
		MAX	15,3	4600	7,5	1,9	31	260	2,2	130	460	0,10	290	63	340	240	
11	Siedlungsabfalldeponie	Median	13,6	7500	7,0	0,6		290	1,3	220	810	<BG	230	66	810	280	
		Mittelwert	13,3	8067	6,9	0,8		330	2,5	226	963	<BG	237	87	896	347	
		n	9	9	9	9	0	9	8	9	9	9	9	9	9	9	
		MIN	10,1	6100	6,6	0,3		190	<BG	110	430	<BG	160	36	660	210	
		MAX	15,5	14200	7,1	2,1		510	7,5	480	2200	0,00	350	170	1700	930	
12	Siedlungsabfalldeponie	Median	14,1	2040	6,8	0,4		69	1,7	66	255		45	10	185	61	
		Mittelwert	14,2	2957	6,7	0,5		112	6,3	130	422		53	19	319	142	
		n	22	22	22	22	0	22	22	22	22	0	21	22	22	21	
		MIN	9,8	790	6,4	0,2		<BG	<BG	1,70	<BG		23	4	28	2,0	
		MAX	17,9	7600	7,3	1,0		480	39	410	2000		170	57	1100	650	
13	Bohrschlammdeponie	Median	10,0	1716	5,8	0,7	0,5	0,04	<BG	4,7		<BG	18	3,5	293	6,1	
		Mittelwert	10,2	1957	5,3	0,9	0,9	0,3	<BG	16,5		<BG	29	7,7	350	6,4	
		n	32	32	32	32	12	28	28	32	0	0	28	32	28	32	
		MIN	9,0	970	4,6	<BG	<BG	<BG	<BG	0		<BG	<BG	<BG	94	3,6	
		MAX	13,2	4920	6,8	6,1	2,7	2,0	1,4	70		<BG	125	39	930	12	
14	Bohrschlammdeponie	Median	10,3	1100	5,8	1,1		0,4	12	4,0			14	5	175	10	
		Mittelwert	10,4	1190	5,8	2,2		16	14	5,2			16	4	175	11	
		n	24	24	24	24	0	24	24	24	0	0	24	24	24	24	
		MIN	9,8	570	4,8	0,3		<BG	<BG	1,4			0,6	<BG	14	3,7	
		MAX	11,3	2040	7,0	6,4		80	32	10			51	15	350	36	
15	Bohrschlammdeponie	Median	10,2	1835	6,4	2,9	1,7		3,6	2		<BG	60	12	264	10	
		Mittelwert	10,2	2621	6,1	3,2	1,6		6	3		<BG	77	15	420	14	
		n	28	28	28	28	28	0	28	28	0	7	28	28	26	28	
		MIN	9,5	350	5,3	1,2	0,3		<BG	1			7	2	8	1	
		MAX	11,9	9860	7,2	7,1	3,8		20	13			182	50	1938	62	
16	Bauschuttdeponie	Median	10,0	1480	6,8	1,7		4,8	2,3	17	57	<BG	200	33	67	37	
		Mittelwert	9,9	1638	6,8	1,5		19	10	17	49	<BG	171	31	69	48	
		n	5	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		MIN	9,1	1018	6,8	1,0		<BG	<BG	4	<BG	<BG	46	5	44	28	
		MAX	10,5	2590	7,0	1,9		64	37	34	77	<BG	280	61	110	89	
17	Bauschuttdeponie	Median	10,4	2080	6,7	<BG	8,1		6,9	<BG	21	37	<BG	173	31	181	41
		Mittelwert	10,6	2090	6,7	0,1	8,9	6	<BG	19	37	<BG	195	32	175	41	
		n	3	3	3	3	3	3	2	3	1	1	3	3	3	2	
		MIN	8,2	2050	6,6	<BG	7,4	3,7	<BG	11	37	<BG	170	25	131	32	
		MAX	13,1	2140	6,8	0,4	11,3	7	<BG	24	37	<BG	243	40	213	50	
18	Bauschuttdeponie	Median	9,8	1100	4,3	3,3	0,1	0,1	20	8,3	45	<BG	104	26	27	33	
		Mittelwert	9,7	1040	4,3	3,4	0,1	0,1	25	9	47	<BG	99	26	31	33	
		n	6	6	6	6	6	6	4	6	4	4	6	6	6	6	
		MIN	8,9	520													

Tabelle 5: Statistische Kennwerte für Abstrommessstellen 2000 - 2002 (Fortsetzung)

Deponie Nr.	Deponieart																
		Eisen	Mangan	Chlorid	Sulfat	Schwefelwasserstoff	Bor	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink	Blei	Cadmium	Quecksilber	Arsen		
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l			
1	Siedlungsabfalldeponie	Median	25	2,7	185	38	<BG	0,09	<BG	<BG	20	15	<BG	<BG	<BG	40	
		Mittelwert	44	3,0	320	30	0,03	0,37	1	<BG	31	23	<BG	0,12	<BG	156	
		n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
		MIN	0,7	0,70	56	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	120	8,1	890	46	0,16	1,10	10	<BG	90	200	4,0	0,60	<BG	850	
2	Siedlungsabfalldeponie	Median			61		0,10	0,68								0,92	
		Mittelwert			97		0,36	0,69									1,39
		n	0	0	57	0	57	57	0	0	0	0	0	0	0	0	57
		MIN			16		<BG	<BG									<BG
		MAX			320		1,60	1,50									6,90
3	Siedlungsabfalldeponie	Median	<BG	1,0	133	138	<BG	0,91		2,9	12	2,0	<BG	<BG	<BG	<BG	
		Mittelwert	4,5	1,3	242	146	0,05	0,77		2,9	12	2	<BG	<BG	<BG	<BG	1,2
		n	5	5	70	70	70	53	0	6	6	6	6	6	6	6	5
		MIN	<BG	0,44	70	34	<BG	<BG		<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		MAX	19	3,0	825	451	0,33	1,40		5,9	31	12	<BG	0,27	<BG	<BG	3,4
4	Siedlungsabfalldeponie	Median	23	0,5	38	67	<BG	0,20	<BG	<BG	<BG	4	<BG	<BG	<BG	33	
		Mittelwert	33	4,0	93	73	<BG	0,49	2,5	1,7	3,6	7	<BG	<BG	<BG	28	
		n	12	12	24	24	12	24	12	12	24	12	12	12	12	12	24
		MIN	0,3	0,06	6	28	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		MAX	100	29,0	359	154	<BG	1,80	10	10	20	20	<BG	<BG	0,1	<BG	63
5	Siedlungsabfalldeponie	Median	15	2,5	116	136	<BG	0,21								12	
		Mittelwert	15	2,5	113	165	<BG	0,21									17
		n	2	2	24	24	24	24	0	0	0	0	0	0	0	0	23
		MIN	8,3	1,40	82	113	<BG	0,12									6,4
		MAX	22	3,6	133	245	<BG	0,36									37
6	Siedlungsabfalldeponie	Median	36	2,0	235	145		0,17	<BG	3,0	32	53	<BG	<BG	0,30	57	
		Mittelwert	62	3,1	285	181		0,20	<BG	2,7	43	60	2,8	0,54	0,38	115	
		n	11	11	18	18	0	18	11	11	11	11	11	11	11	11	18
		MIN	0,6	0,3	43	57		<BG	<BG	<BG	22	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		MAX	190	9,9	620	339		0,54	<BG	7,0	130	140	11	4,8	1	390	
7	Siedlungsabfalldeponie	Median			197	150		0,34				60				2,2	
		Mittelwert			228	162		0,41				135				3,6	
		n	0	0	15	15	0	15	0	0	0	4	0	0	0	15	
		MIN			96	55		0,04				30				1	
		MAX			418	297		1,10				390				8,0	
8	Siedlungsabfalldeponie	Median	10	0,4	240	33	0,18	0,21									
		Mittelwert	10	0,6	356	28	0,38	0,38									
		n	26	26	26	26	26	26	0	0	0	0	0	0	0	0	
		MIN	2,7	0,15	95	9	0,05	0,09									
		MAX	26	2,1	1200	43	2,60	1,10									
9	Siedlungsabfalldeponie	Median	4,2	0,1	45	33	0,29	0,38	<BG	<BG	<BG	46	<BG	<BG	<BG		
		Mittelwert	4,9	0,3	81	43	0,38	0,43	<BG	12	<BG	96	4,2	<BG	<BG		
		n	9	9	12	12	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	
		MIN	1,7	0,07	16	1	<BG	0,12	<BG	<BG	<BG	15	<BG	<BG	<BG		
		MAX	9,9	0,5	190	97	0,87	1,10	<BG	65	<BG	450	14	<BG	<BG		
10	Siedlungsabfalldeponie	Median	9,6	0,5	370	85	0,04	0,59	<BG	<BG	<BG	35	<BG	<BG	<BG	5,8	
		Mittelwert	17	0,8	291	118	0,06	0,96	<BG	<BG	<BG	116	<BG	<BG	<BG	10	
		n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
		MIN	4,1	0,06	25	<BG	0,02	0,31	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	1,2	
		MAX	46	1,7	500	420	0,20	2,00	0	<BG	<BG	600	<BG	<BG	<BG	34	
11	Siedlungsabfalldeponie	Median	25	0,8	1200	330	0,05	5,60	<BG	<BG	120	32	<BG	<BG	<BG	20	
		Mittelwert	32	1,1	1303	218	0,04	9,86	3	32	93	87	<BG	<BG	<BG	87	
		n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
		MIN	0,4	0,51	970	6	<BG	4,7	<BG	<BG	<BG	19	<BG	<BG	<BG	1,7	
		MAX	78	2,7	2300	470	0,11	21	30	170	200	450	<BG	<BG	<BG	630	
12	Siedlungsabfalldeponie	Median	13		155	15	0,06	0,84									
		Mittelwert	16,9		314	80	0,04	1,30									
		n	22	0	22	22	22	21	0	0	0	0	0	0	0	0	
		MIN	<BG		53	<BG	<BG	<BG									
		MAX	53,0		1000	640	0,08	4,00									
13	Bohrschlammdeponie	Median	1		448	63						170					
		Mittelwert	4		513	59						264					
		n	32	0	32	32	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	
		MIN	<BG		200	12						<BG					
		MAX	29		1400	140						3400					
14	Bohrschlammdeponie	Median			250	67											
		Mittelwert			230	79											
		n	0	0	24	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		MIN			28	22											
		MAX			520	160											
15	Bohrschlammdeponie	Median		0,3	403	72					<BG			<BG	<BG		
		Mittelwert			640	105					49				<BG	1,8	
		n	0	28	28	28	0	0	0	0	7	0	0	7	28		
		MIN		0,1	15	22					<BG			<BG	<BG	<BG	
		MAX		11	2690	288					178			<BG	<BG	13	
16	Bauschuttdeponie	Median	0,3	4	71	120	<BG	1		<BG	<BG	15	<BG	<BG	<BG	2,60	
		Mittelwert	2,2	4	99	112	0,02	1		<BG	<BG	59	<BG	<BG	<BG	2,7	
		n	5	5	5	5	3	5	0	3	3	3	3	3	3	3	
		MIN	0,2	1,1	58	40	<BG	0,06		<BG	<BG	14	<BG	<BG	<BG	1,3	
		MAX	10	8	180	170	0,1	1,6		<BG	<BG	147	<BG	<BG	<BG	4,3	
17	Bauschuttdeponie	Median	24	1,5	218	311		0,46	1,9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		Mittelwert	28	1,7	187	302		0,46	1,9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		n	3	3	3	3	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
		MIN	24	1,5	125	251		0,29	1,9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
		MAX	35	2,0	219	345		0,62	1,9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	
18	Bauschuttdeponie	Median	1,3	0,5	46	343		0,26	0,80	4,1	60	154	<BG	1,3	<BG	<BG	
		Mittelwert	1,9	0,8	47	370		0,30	1,0	3,9	64	177	<BG	1,9	<BG	<BG	
		n	5	6	6	6	0	6	4	4	4	4	4	4	4	4	
		MIN	0,3	0,1	41	48		<BG	<BG	2,9	8,4	61	<BG	0,4	<BG	<BG	
		MAX	4,5	2,0	55	760		0,8	2,5	4,4	129	340	<BG	4,5	<BG	<BG	

In der Tabelle 6 sind für einige beispielhaft ausgewählte Parameter die jeweils kleinsten und größten Medianwerte aus der Tabelle 4 aufgeführt, um die große Schwankungsbreite der Grundwasserbeschaffenheit im Anstrom der betrachteten Deponien zu verdeutlichen.

Tabelle 6: Schwankungsbereich der Grundwasserbeschaffenheit im Anstrom der 18 Fallbeispiele (ausgewählte Parameter)

	kleinster Medianwert	größter Medianwert
Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	123	1384
Nitrat [ $\text{mg}/\text{l N}$ ]	< BG	26
DOC/TOC [ $\text{mg}/\text{l C}$ ]	1,4	30
Calcium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	4	199
Natrium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	6	100
Chlorid [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	8	153
Sulfat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	<BG	250
Bor [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	<BG	0,41

Die Minimum- und Maximumwerte der einzelnen Deponien (Tabelle 4) veranschaulichen den Schwankungsbereich für die jeweilige Deponie. Diese Werte können aber durch Extremwerte und Ausreißer beeinflusst sein, siehe oben. So ist z.B. der Maximumwert für DOC/TOC bei der Deponie 7 (88  $\text{mg}/\text{l C}$  bei einem Median von 7,2  $\text{mg}/\text{l C}$ ) als Ausreißer zu werten.

### 6.2.3.2 Datensatz Abstrommessstellen

Die Daten für das deponiebeeinflusste Grundwasser sind in der Tabelle 5 aufgeführt. Auch hier ist ein großer Schwankungsbereich erkennbar. Für einige beispielhaft ausgewählte Parameter sind in der Tabelle 7 wiederum die jeweils kleinsten und größten Medianwerte aus der Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 7: Schwankungsbereich der Grundwasserbeschaffenheit im Abstrom der 18 Fallbeispiele (ausgewählte Parameter)

	kleinster Medianwert	größter Medianwert
Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	890	7500
Nitrat [ $\text{mg}/\text{l N}$ ]	<BG	20
DOC/TOC [ $\text{mg}/\text{l C}$ ]	4,0	220
Calcium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	14	273
Natrium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	27	810
Chlorid [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	38	1200
Sulfat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	15	343
Bor [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,09	5,6

Bei einem Vergleich mit den Werten für die Anstrommessstellen werden die teilweise starken Konzentrationserhöhungen, auf die im Kapitel 6.2.3.3 näher eingegangen wird, deutlich. Die Minimum- und Maximumwerte der einzelnen Deponien (Tabelle 5) veranschaulichen den Schwankungsbereich für die jeweilige Deponie. Diese Werte können aber durch Extremwerte und Ausreißer beeinflusst sein, siehe oben.

Die Maximumwerte verdeutlichen darüber hinaus, wie stark das Grundwasser in einzelnen Messstellen durch Deponiesickerwasseremissionen belastet sein kann (z.B. Leitfähigkeit

14200 µS/cm, Ammonium 510 mg/l, DOC/TOC 480 mg/l, Kalium 930 mg/l, Chlorid 2300 mg/l, Bor 21 mg/l (Deponie 11), Arsen 850 µg/l (Deponie 1)). Solche extrem hohe Belastungswerte finden sich in der Regel nur in Messstellen, die im *unmittelbaren Deponieabstrom* liegen.

Die deutliche Erhöhung der mittleren Nitratkonzentration im Abstrom der Deponien 3 und 17 ist auffällig. Bei allen anderen Deponien ist ein Rückgang des Nitratgehaltes bzw. keine wesentliche Konzentrationsänderung zu beobachten. Die Zunahme des Nitratgehaltes kann hier auch andere Ursachen haben, z.B. landwirtschaftlicher Einfluss.

### 6.2.3.3 Konzentrationsänderungen zwischen Anstrom und Abstrom

Für die Beurteilung der Auswirkungen von Emissionen einer Deponie auf die Beschaffenheit des Grundwassers sind die Stoffkonzentrationen im Abstrom mit denen im Anstrom zu vergleichen.

Auf Basis der Medianwerte enthält die Tabelle 8 für jede Deponie die Konzentrationsänderungen als Differenzbetrag zwischen Anstrom und Abstrom. Ein negatives Vorzeichen, z.B. beim Parameter Nitrat, bedeutet eine Konzentrationsabnahme gegenüber dem Anstrom.

Als weiteres Kriterium zur Beschreibung der Beschaffenheitsänderung sind in der Tabelle Kontaminationsfaktoren (KF) aufgeführt, die sich aus den Quotienten zwischen den Konzentrationen (bzw. Werten) im Abstrom und den Konzentrationen (bzw. Werten) im Anstrom ergeben. Diese Faktoren beschreiben, wie stark (um wieviel) die Stoffkonzentrationen im Abstrom gegenüber dem Anstrom erhöht sind. Faktoren, die kleiner 1 sind, bedeuten Konzentrations*abnahmen* gegenüber dem Anstrom, der Faktor 1 bedeutet keine Veränderung.

Die Berechnung des Kontaminationsfaktors kann nur erfolgen, wenn der Nenner > 0 bzw. der Bestimmungsgrenze ist.

Auf die Berechnung von Kontaminationsfaktoren bei den Schwermetallen Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Blei, Cadmium, Quecksilber sowie dem Halbmetall Arsen wurde verzichtet, weil die Berechnung nur in wenigen Fällen möglich gewesen wäre.

Die Darstellung der Beeinflussung unter Verwendung von Kontaminationsfaktoren findet sich auch im niedersächsischen Deponiehandbuch [27] und bei KERNDORFF [28].

Tabelle 8: Konzentrationsänderungen Anstrom - Abstrom und Kontaminationsfaktoren (KF)

Deponie Nr.	Deponieart		Wassertemperatur	Leitfähigkeit	pH-Wert	Sauerstoff	Säurekapazität	Ammonium	Nitrat	DOC/TOC	AOX	Kohlenwasserstoffe	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium
			°C	µS/cm		mg/l O <sub>2</sub>	mmol/l	mg/l N	mg/l N	mg/l C	µg/l Cl	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	1074	-0,6	-2,0	6,6	0,1	-0,3	12,6	50	<BG	82	39	69	6	
		KF	4,7	0,9		4,5		0,3	9,7	11,0		2,7	25,3	10,3	5,8	
2	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	1,2	597	0,9	-0,2		11,7		31,8					32	26
		KF	1,1	3,0	1,2	0,6		36,4		7,1					3,9	12,7
3	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	2,5	1200	-0,6	-0,1	3,4	18,4	18,8	6,6	22	<BG	93	17	109	25
		KF	1,3	4,2	0,9	0,8	2,1	50,7		4,7			2,8	3,6	8,3	12,9
4	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	2,0	627	1,6	-9,4	11,2	12,8	-23,9	15,4	55	<BG	80	15	21	27
		KF	1,2	2,6	1,3	0,04	57,0		0,004	11,2			3,3	2,4	2,2	6,8
5	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	2,4	501	-0,5	-0,6	4,6	7,7	-9,2	9,8	30	<BG	6	10	41	28
		KF	1,2	1,6	0,9	0,6	2,7		0,1	8,0	5,2		1,0	1,8	2,9	11,1
6	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	1,7	992	-0,6	-7,3	8,1	16,0	-22,2	33,6	92		17	29	142	31
		KF	1,2	2,5	0,9	0,05	5,1		0,0	25,0	8,1		1,2	3,6	8,9	13,8
7	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	0,5	1476	-0,3	-0,7	9,8	38,5	0,2	29,8	117		143	22	106	9
		KF	1,0	3,0	1,0	0,4	2,7	227,6		5,1	6,3		2,1	3,0	4,1	3,8
8	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	4,1	1765	0,8	-0,2	15,3	7,3	0,1	59,5			88	19	213	5
		KF	1,4	4,8	1,1	0,7	22,9	3,0		3,0			5,4	4,1	10,7	2,2
9	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	-1,7	758	1,2	0,4	4,8	38,2	0,2	78,0	170	<BG	25	11	19	55
		KF	0,8	4,8	1,2	1,4	31,1	16,9		8,1	5,2		5,5	5,2	2,1	19,7
10	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	2,5	2525	0,0	-0,5	17,6	43,3	-0,1	50,0	184	<BG	25	30	170	49
		KF	1,2	5,4	1,0	0,6	8,0	5,0	0,3	6,2	5,4		1,6	5,2	6,6	4,9
11	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	3,4	6116	<BG	-0,6	289,6	0,4	212,0	727	<BG	32	49	710	270	
		KF	1,3	5,4	1,0	0,5	690,5	1,4	27,5	9,8		1,2	3,9	8,1	28,0	
12	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	4,7	1917	1,0	-0,3		67,1	1,7	56,0	227		37	9	179	59
		KF	1,5	16,6	1,2	0,6		48,9		6,6	8,9		5,7	9,0	29,4	35,9

13	Bohrschlammdeponie	Konz.änd.	0,2	1566	1,2	-2,3	0,4	0,04	-4,6	2,9		<BG	14	-4	287	4
		KF	1,0	11,4	1,3	0,2	4,7		0,0	2,6			4,9	0,4	50,0	2,5
14	Bohrschlammdeponie	Konz.änd.	0,4	600	0,9	-2,6		0,4	-14,0	2,2			-10	-2	164	5
		KF	1,0	2,2	1,2	0,3			0,5	2,2			0,6	0,7	15,9	2,0
15	Bohrschlammdeponie	Konz.änd.	0,6	1475	-0,6	-0,5	-0,5		-2	0,3		<BG	12	7	255	8
		KF	1,1	5,1	0,9	0,9	0,8		0,7	1,1			1,2	2,5	30,7	5,1
16	Bauschuttdeponie	Konz.änd.	-0,4	1091	1,1	-1,6		4,7	-12	11	22	<BG	162	29	53	14
		KF	1,0	3,8	1,2	0,5		50,5	0,2	2,8	1,6		5,3	8,5	4,8	1,6
17	Bauschuttdeponie	Konz.änd.	1,4	1446	0,4	-0,7	7,0	6,3	<BG	15	19	<BG	100	23	166	39
		KF	1,2	3,3	1,1	0,0	7,4	11,5		3,8	2,1		2,4	4,0	12,1	22,8
18	Bauschuttdeponie	Konz.änd.	-0,1	475	<BG	2,0	<BG	-0,1	16	6,1	25	<BG	60	3	11	21
		KF	1,0	1,8	1,0	2,5	1,0	0,3	5,6	3,8	2,3		2,4	1,1	1,7	2,8

Tabelle 8: (Fortsetzung)

Deponie Nr.	Deponieart		Eisen	Mangan	Chlorid	Sulfat	Schwefelwasserstoff	Bor	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink	Blei	Cadmium	Quecksilber	Arsen
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	24,9	2,67	166	1	<BG	0,09	<BG	<BG	20	15	<BG	<BG	<BG	40
		KF	277,8	90,0	9,7	1,0										
2	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.			43		0,10	0,68								0,92
		KF			3,4											
3	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	-0,7	0,76	115	116	<BG	0,84		2,9	12,2	2	<BG	<BG	<BG	<BG
		KF	0,0	4,5	7,4	6,3		13,0								
4	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	22,9	0,52	1	36	<BG	0,18	<BG	<BG	-30	-21	<BG	<BG	<BG	33
		KF	353,8	52,5	1,0	2,2		8,0								
5	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	15,2	2,49	40	4	<BG	0,21								12
		KF		250,0	1,5	1,0										
6	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	35,9	2,00	192	49		0,17	<BG	3	32	53	<BG	<BG	0,3	57
		KF	514,3		5,5	1,5										
7	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.			149	78		0,28				-1440				0,80
		KF			4,1	2,1		5,7								
8	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	5,3	0,30	197	-4	-0,59	0,15	<BG	<BG	<BG	-15	<BG	<BG	<BG	
		KF	2,1	3,1	5,6	0,9	0,2	3,4								
9	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	-2,2	0,06	13	8	-0,02	0,38	<BG	<BG	<BG	16	<BG	<BG	<BG	
		KF	0,7	1,9	1,4	1,3	0,9									
10	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	3,9	0,32	316	30	<BG	0,50	<BG	<BG	<BG	24	<BG	<BG	<BG	5,2
		KF	1,7	2,5	6,9	1,5	1,0	6,6								
11	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	19,7	0,18	1047	80	0,05	5,20	<BG	<BG	120	12	<BG	<BG	<BG	20
		KF	4,7	1,3	7,8	1,3		13,8								
12	Siedlungsabfalldeponie	Konz.änd.	6,9		147	15	<BG	0,84								
		KF	2,2		19,4		1,0									

13	Bohrschlammdeponie	Konz.änd.	1,4		438	34						60				
		KF			49,2	2,2										
14	Bohrschlammdeponie	Konz.änd.			222	5										
		KF			8,9	1,1										
15	Bohrschlammdeponie	Konz.änd.		0,1	385	49						<BG			<BG	<BG
		KF		1,8	22,4	3,1										
16	Bauschuttdeponie	Konz.änd.	-0,9	3,5	51	62	<BG	0,6		<BG	<BG	-44	-7	<BG	<BG	2,0
		KF	0,3	15,1	3,6	2,1										
17	Bauschuttdeponie	Konz.änd.	-18	0,5	163	140		0,5	1,9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
		KF	0,6	1,5	4,0	1,8										
18	Bauschuttdeponie	Konz.änd.	-5,4	0,2	-7,5	154		0,3	0,8	4,1	-154	-134	<BG	1,3	<BG	<BG
		KF	0,2	1,7	0,9	1,8										

Anhand der mittleren Kontaminationsfaktoren (Median), die für die Siedlungsabfall-, Bohrschlamm- und Bauschuttdeponien getrennt berechnet wurden (Abbildung 19) sind die Änderungen in der Beschaffenheit des Grundwassers im Abstrom zu erkennen, die sich *im Mittel* für die jeweilige Deponieart ergeben, bezogen auf den Zeitraum 2000 bis 2002. Hierbei ist aber zu beachten, dass die mittleren Kontaminationsfaktoren bei den Bohrschlamm- und Bauschuttdeponien durch die geringe Fallzahl nur eingeschränkt aussagekräftig sind.

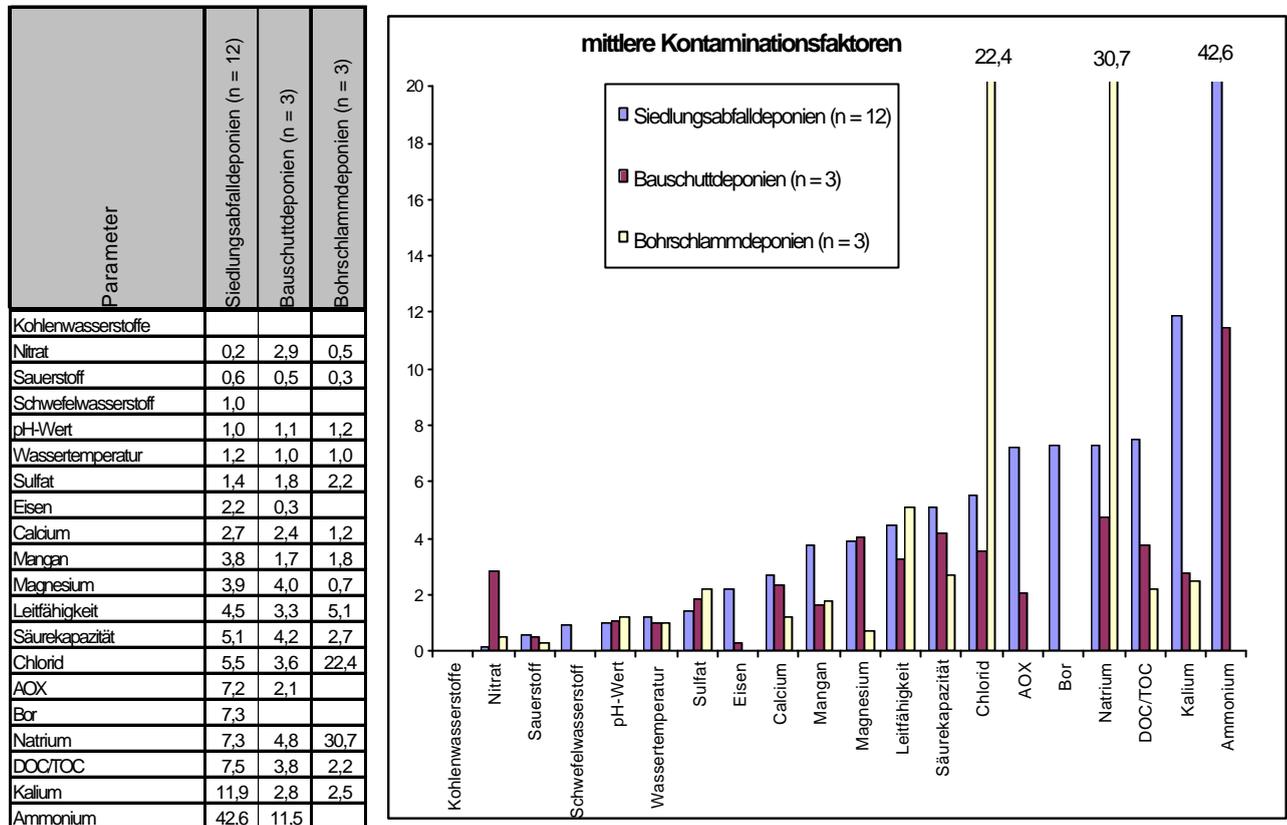


Abb. 19: Mittlere Kontaminationsfaktoren für verschiedene Deponiearten und ausgewählte Parameter

Für die *Siedlungsabfalldeponien* ergeben sich folgende Beschaffenheitsänderungen im abstromigen Grundwasser:

Die Parameter Schwefelwasserstoff und pH-Wert weisen keine Änderungen auf (KF = 1). Bei den Kohlenwasserstoffen sind ebenfalls keine Veränderungen festzustellen, eine Berechnung des Kontaminationsfaktors war nicht möglich, weil sowohl im Anstrom als auch im Abstrom alle Kohlenwasserstoffgehalte (Medianwerte) unter der Bestimmungsgrenze (BG) liegen.

Die Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Abstrom als Folge mikrobieller Abbauvorgänge organischer Belastung wird durch den Kontaminationsfaktor = 0,6 deutlich. Infolge des reduzierenden Milieus ist auch eine deutliche Abnahme des Nitratgehaltes (KF = 0,2) zu erkennen.

Die Parameter Wassertemperatur und Sulfat weisen mit 1,2 bzw. 1,4 vergleichsweise geringe Kontaminationsfaktoren auf. Der Faktor 1,2 bei der Wassertemperatur bedeutet aber bei einer durchschnittlichen Grundwassertemperatur von 10°C eine Erhöhung um 2°C, die deutlich auf die exothermen biologischen Abbauvorgänge hinweist.

Bei den Parametern Eisen, Calcium, Mangan, Magnesium und Leitfähigkeit liegen die Faktoren zwischen 2 und 5.

Die Stoffkonzentrationen für Säurekapazität, Chlorid, AOX, Bor, Natrium und DOC/TOC sind um das 5 bis 8fache erhöht gegenüber dem Anstrom.

Eine noch stärkere Grundwasserbeeinflussung zeigt sich beim Kalium (11,9).

Mit einem Kontaminationsfaktor von 42,6 nimmt Ammonium mit deutlichem Abstand zu den anderen Parametern die Spitzenstellung ein.

Die Parameter Ammonium und Kalium zeigen insgesamt am deutlichsten die Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit, die durch Sickerwasseremissionen aus Siedlungsabfalldeponien verursacht wird. Aber auch bei den anderen Stoffen/Stoffgruppen wird der Deponieeinfluss deutlich.

Da bei den Bohrschlamm- und Bauschuttdeponien die mittleren Kontaminationsfaktoren aufgrund der geringen Fallzahl nur eingeschränkt aussagekräftig sind, werden sie im Folgenden nicht im Einzelnen betrachtet.

Bei den *Bohrschlammdeponien* ist deutlich die Dominanz der Parameter Natrium (KF = 30,7) und Chlorid (KF = 22,4) zu erkennen, die aus der eingelagerten Ton-Salz-Spülung stammen.

Bei den *Bauschuttdeponien* fällt auf, dass die überwiegende Anzahl der Faktoren in einer vergleichbaren Größenordnung wie bei den Siedlungsabfalldeponien liegt. (Sauerstoff, pH-Wert, Wassertemperatur, Sulfat, Calcium, Magnesium, Leitfähigkeit, Säurekapazität, Chlorid und Natrium). Auch hier weist Ammonium (KF = 11,5) den größten Faktor auf.

Der Grund für das ähnliche Belastungsbild ist, dass in der Vergangenheit auf Bauschuttdeponien neben inertem Bauschutt auch Baustellenabfälle abgelagert wurden, die eine hausmüllähnliche Zusammensetzung aufweisen.

Bei "reinen" Bauschuttdeponien ist eine stärkere Dominanz der Parameter Calcium und Sulfat zu erwarten.

Bei den Schwermetallen Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Blei, Cadmium, Quecksilber sowie dem Halbmetall Arsen wurden keine Kontaminationsfaktoren berechnet, weil die Berechnung nur in wenigen Fällen möglich gewesen wäre.

Die Konzentrationsänderungen (Tabelle 8) liegen im Wesentlichen im Bereich bzw. unter der Bestimmungsgrenze, vereinzelt liegen etwas höhere Werte vor, insbesondere für Nickel und Arsen. Eine weitergehende Bewertung erfolgt im Kapitel 6.2.3.5.

Insgesamt ist zu erkennen, dass Emissionen dieser Stoffgruppe aus Siedlungsabfall-, Bauschutt- und Bohrschlammdeponien nur von untergeordneter Bedeutung sind.

### 6.2.3.4 Vergleich mit den Auslöseschwellen nach der Deponieverordnung

Die Auslöseschwellen nach der Deponieverordnung (Leitfaden zur Festlegung von Auslöseschwellen [11]) sind ein grundlegendes Element zur Beurteilung von deponiebürtigen Grundwasserbeeinflussungen, vgl. Kapitel 4.

Im Folgenden werden daher die beschriebenen Grundwasserbeeinflussungen unter dem Aspekt der Überschreitung der Auslöseschwellen betrachtet.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass hier die Messergebnisse der Brunnen zusammenfassend betrachtet werden (jeweils Medianwerte der Anstrom- und Abstrombrunnen). Zudem erfolgt hier nur eine einfache Differenzbetrachtung zwischen Zu- und Abstrom. Im konkreten Einzelfall sind natürlich die Messstellen nach den Vorgaben des Leitfadens einzeln zu bewerten.

In der Tabelle 9 ist dargestellt, bei welchen Parametern die Auslöseschwelle überschritten ist. Diese Tabelle ergibt sich durch Vergleich der Konzentrationsänderungen zwischen Zu- und Abstrom (Tabelle 8) mit den Differenzwerten der Tabelle 2, Spalte 3.

Tabelle 9: Überschreitung der Auslöseschwellen nach der Deponieverordnung

Deponie Nr.		Leitfähigkeit	Ammonium	Nitrat	DOC/TOC	AOX	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium	Chlorid	Sulfat	Bor
1	Siedlungsabfalldeponie	x			x	x	x	x	x		x		
2	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x				x	x	x		x
3	Siedlungsabfalldeponie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	Siedlungsabfalldeponie	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
5	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x	x		x	x	x	x		x
6	Siedlungsabfalldeponie	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
7	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x
8	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x		x	x	x		x		x
9	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x	x	x	x		x			x
10	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	Siedlungsabfalldeponie	x	x		x	x	x		x	x	x		x
13	Bohrschlammdeponie	x							x		x	x	
14	Bohrschlammdeponie	x		x					x		x		
15	Bohrschlammdeponie	x							x		x	x	
16	Bauschuttdeponie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
17	Bauschuttdeponie	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x
18	Bauschuttdeponie	x		x	x	x	x			x		x	x

Es ist bei allen Deponien eine deutliche Überschreitung der Auslöseschwellen festzustellen. Das ist nicht überraschend, da die Auslöseschwellen auf das *rechtzeitige Erkennen* von deponiebürtigen Grundwasserbeeinflussungen ausgerichtet sind. Das heißt, die Schwellenwerte liegen so niedrig, damit möglichst schon der Beginn einer Deponiebeeinflussung erkannt wird.

Für den Parameter Leitfähigkeit ist die Auslöseschwelle bei allen Deponien überschritten und bei den übrigen Parametern außer Nitrat bei der überwiegenden Zahl der Deponien.

Bei Nitrat sind merklich weniger Überschreitungen zu erkennen.

Während die Siedlungsabfall- und Bauschuttdeponien ein vergleichbares Bild zeigen, sind bei den Bohrschlammdeponien die Überschreitungen hauptsächlich auf Leitfähigkeit, Natrium und Chlorid beschränkt.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Auslöseschwellen ein geeignetes Instrument für das Erkennen von deponiebürtigen Beeinflussungen sind.

Sie eignen sich jedoch weniger für die Beurteilung, ob (auch) eine schädliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit (Grundwasserverunreinigung) vorliegt und damit auch für die Frage, ob und welche Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen im Rahmen der Gefahrenabwehr erforderlich werden. Dafür bilden die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA die Grundlage.

#### **6.2.3.5 Vergleich mit den Geringfügigkeitsschwellen der LAWA**

Die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA stellen den derzeitigen Maßstab für die Beurteilung einer *schädlichen Veränderung des Grundwassers* dar.

Bei der Beurteilung, ob die Geringfügigkeitsschwellen überschritten sind, sind auch hier die Anstromwerte zu berücksichtigen. Daher werden die Geringfügigkeitsschwellen mit den ermittelten Konzentrationsänderungen (Tabelle 8) verglichen.

Die Tabelle 10 zeigt den Vergleich der Konzentrationsänderungen Anstrom - Abstrom mit den Geringfügigkeitsschwellen der LAWA.

Tabelle 10: Vergleich der Konzentrationsänderungen Anstrom - Abstrom mit den Geringfügigkeitsschwellen der LAWA

Deponie Nr.	Deponieart	Geringfügigkeitsschwelle (Stand 09/04)	Kohlenwasserstoffe	Chlorid	Sulfat	Bor	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink	Blei	Cadmium	Quecksilber	Arsen
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
		Geringfügigkeitsschwelle (Stand 09/04)	0,1	250	240	0,74	7 (50)	14	14	58	7	0,5	0,2	10
1	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.	<BG	166	1	0,09	<BG	<BG	20	15	<BG	<BG	<BG	40
2	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.		43		0,68								0,92
3	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.	<BG	115	116	0,84		29	122	2	<BG	<BG	<BG	<BG
4	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.	<BG	1	36	0,18	<BG	<BG	-30	-21	<BG	<BG	<BG	33
5	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.	<BG	40	4	0,21								12
6	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.		192	49	0,17	<BG	3	32	53	<BG	<BG	0,3	57
7	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.		149	78	0,28				-1440				0,80
8	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.		197	-4	0,15	<BG	<BG	<BG	-15	<BG	<BG	<BG	
9	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.	<BG	13	8	0,38	<BG	<BG	<BG	16	<BG	<BG	<BG	
10	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.	<BG	316	30	0,50	<BG	<BG	<BG	24	<BG	<BG	<BG	5,2
11	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.	<BG	1047	80	5,20	<BG	<BG	120	12	<BG	<BG	<BG	20
12	Siedlungsabfalldeponie	Konzänd.		147	15	0,84								
13	Bohrschlammdeponie	Konzänd.	<BG	438	34					60				
14	Bohrschlammdeponie	Konzänd.		222	5									
15	Bohrschlammdeponie	Konzänd.	<BG	385	49					<BG			<BG	<BG
16	Bauschuttdeponie	Konzänd.	<BG	51	62	0,6		<BG	<BG	-44	-7	<BG	<BG	2,0
17	Bauschuttdeponie	Konzänd.	<BG	163	140	0,5	1,9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
18	Bauschuttdeponie	Konzänd.	<BG	-7,5	154	0,3	0,8	4,1	-154	-134	<BG	1,3	<BG	<BG

Während bei den Auslöseschwellen *alle* betrachteten Deponien Überschreitungen zeigen, sind die Geringfügigkeitsschwellen bei einer geringeren Fallzahl (11 von 18 Deponien) überschritten (bei schematischer Betrachtung).

Zudem ist die Anzahl der Parameter, für die Überschreitungen festzustellen sind, deutlich geringer. Die Anzahl der Überschreitungen liegt überwiegend bei 1 – 2 Parameter, lediglich bei einer Deponie sind für 4 Parameter die Geringfügigkeitsschwellen überschritten.

Das liegt neben der Verdünnung an den Rückhalte- und Abbauprozessen, denen der größte Teil dieser Parameter (vorwiegend Schwermetalle und organische Einzelstoffe, vgl. Tabelle 2, Spalte 5) besonders stark unterliegt, so dass sie im Abstrom in der Regel mit geringeren Konzentrationen und großer Zeitverzögerung auftreten.

Die ermittelten Stoffkonzentrationen liegen *in den meisten Fällen* – dies gilt besonders für die Schwermetalle – nur etwas höher als die jeweilige Geringfügigkeitsschwelle. Bei einer Bewertung im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung (Detailuntersuchung) ist dies zu berücksichtigen.

Bei den Stoffen, die zu den Hauptemittenten aus Deponien zählen (Chlorid, Sulfat und Bor) sind lediglich bei 4 (Chlorid) bzw. 3 (Bor) Deponien die Geringfügigkeitsschwellen überschritten.

Die *negativen* Konzentrationsänderungen zeigen, dass erhöhte Schwermetallgehalte auch im *Anstrom* zu finden sind. Das belegt zum einen den geogenen Schwankungsbereich für diese Stoffe, die meistens in Spurenkonzentrationen vorkommen, zum anderen sind auch

weitere Belastungsquellen im Anstrom denkbar. Ein weiterer Grund kann im Messstellenausbau (z.B. verzinkte Brunnenrohre) liegen. Daher sind bei einer Bewertung von erhöhten Schwermetallbefunden im Abstrom diese Aspekte zu berücksichtigen.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass eine (auch deutliche) deponiebedingte Grundwasserbeeinflussung nicht zwangsläufig auch eine *Gefährdung* für das Grundwasser bedeutet, wenn als Maßstab für eine Gefährdung die Geringfügigkeitsschwellen zu Grunde gelegt werden.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Bericht werden die Grundlagen der Überwachung und Bewertung von Grundwasser im Deponiebereich vorgestellt.

Es hat sich gezeigt, dass fehlende bzw. unzureichende Abdichtungen von Deponien gegen den Untergrund zu deutlichen Beeinflussungen der Grundwasserbeschaffenheit im Abstrom führen können.

Die Auswertung von 18 Fallbeispielen in Niedersachsen verdeutlicht das Ausmaß dieser Beeinflussungen. Als Emissionen treten dabei hauptsächlich Salze sowie organische Stoffe, die als Summenparameter (AOX, DOC/TOC) erfasst werden, auf.

Bei den Siedlungsabfalldeponien sind das vor allem die Stoffe/Stoffgruppen Ammonium, Kalium, DOC/TOC, Natrium, Bor, AOX, Chlorid und Hydrogenkarbonat (Säurekapazität), während bei den Bohrschlammdeponien eindeutig Natrium und Chlorid dominieren. Die Bauschuttdeponien zeigen ein den Siedlungsabfalldeponien ähnliches Belastungsbild. Hier ist aber die geringe Fallzahl (3) zu berücksichtigen.

Die Auslöseschwellen der Deponieverordnung, die auf das frühzeitige Erkennen von Deponiebeeinflussungen ausgerichtet sind, sind erwartungsgemäß *bei allen 18 Fallbeispielen* überschritten.

Die Grenze zu einer *schädlichen Veränderung* des Grundwassers werden durch die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA markiert. Diese sind bei einer *geringeren Fallzahl* (11 von 18 Deponien) überschritten und in der Regel nur für 1 bis 2 Parameter.

Daran ist zu erkennen, dass eine (auch deutliche) deponiebedingte Grundwasserbeeinflussung nicht zwangsläufig auch eine *Gefährdung* für das Grundwasser bedeutet.

Mit den Auslöseschwellen der Deponieverordnung, die nach dem niedersächsischen Leitfaden [11] als Element der Vorsorge konzipiert sind, sind erstmals konkrete Vorgaben für die Beurteilung von deponiebürtigen Grundwasserbeeinflussungen vorhanden.

Ab 2005 ist das neue Instrument der Auslöseschwellen in der Deponieüberwachung anzuwenden. Der vom NLÖ und NLFB entwickelte Leitfaden, der per Erlass in Niedersachsen eingeführt wurde [11], bietet dafür eine geeignete Grundlage.

Die Wasseruntersuchungsdaten sämtlicher niedersächsischer Deponien liegen im NLÖ nur zum Teil vor. Ziel sollte es sein, eine zentrale Datensammlung aufzubauen, um für übergreifende, landesweite Auswertungen eine breitere Datenbasis zu erhalten.

Auch vor dem Hintergrund der notwendigen Arbeiten für die EG-Wasserrahmenrichtlinie [29] ist der Aufbau einer zentralen Datensammlung sinnvoll.

Die Datenbank soll dann auch mit deponietechnischen Daten erweitert werden, so dass ein Deponiekataster für Niedersachsen entsteht.

Die Ergebnisse dieses Berichtes zeigen, dass es auch nach der Behördenumstrukturierung in Niedersachsen wichtig ist, den Grundwasserschutz in der Abfallwirtschaft einzubinden.

## 8. Literatur

- [1] BUND (1972)  
Gesetz über die Beseitigung von Abfällen (Abfallbeseitigungsgesetz - AbfG) vom 10. Juni 1972 (BGBl. I S. 873)
- [2] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (1979 in Niedersachsen eingeführt)  
LAGA – Merkblatt 3: Die geordnete Ablagerung von Abfällen
- [3] NIEDERSACHSEN (1988)  
RdErl.d.MU vom 24.06.1988 (207-62812/21): Abdichtung von Deponien für Siedlungsabfälle
- [4] NIEDERSACHSEN (1991)  
RdErl.d.MU vom 27.11.1991 (504-62812/21B): Anforderungen an Deponiestandorte für Siedlungsabfälle
- [5] BUND (1990)  
Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen
- [6] BUND (1993)  
Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen
- [7] BUND (1994)  
Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705)
- [8] BUND (2002)  
Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung (DepV) vom 24 Juli 2002 (BGBl Teil I Nr. 52 Seite 2807)
- [9] BUND (2002)  
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)  
Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes (BGBl Teil I Nr. 59 Seite 3245)
- [10] NIEDERSACHSEN (1998)  
Niedersächsisches Wassergesetz (NWG) vom 25.03.1998 (Nds. GVBl.Nr. 13/1998)
- [11] NIEDERSACHSEN (2004)  
RdErl. d. MU v. 31.08.2004 – 36-62812/24/02: Umsetzung der Deponieverordnung; Leitfaden mit Arbeitsanleitung zur Festlegung von Auslöseschwellen sowie zur Gestaltung von Maßnahmenplänen (LAsMap) nach § 9 Deponieverordnung (DepV), veröffentlicht auch als "Abfallwirtschaftsfakten 9" unter [www.nloe.de](http://www.nloe.de) (ab 01.01.2005 unter [www.gav-niedersachsen.de](http://www.gav-niedersachsen.de))
- [12] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (1977)  
LAGA-Richtlinie WÜ 77 (Umfang der Überwachung von Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser im Bereich von Abfallentsorgungsanlagen)
- [13] NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL /  
NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Entwurf 1991)  
Deponieüberwachungsplan Wasser, Beweissicherung an Deponien in Niedersachsen

- [14] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (1998)  
LAGA-Richtlinie WÜ 98 Teil 1: Deponien (Technische Regeln für die Überwachung von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser sowie oberirdischer Gewässer bei Abfallentsorgungsanlagen)
- [15] BUND-/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2002)  
Arbeitshilfe Qualitätssicherung
- [16] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1996)  
AQS-Merkblatt - Probenahme von Grundwasser - P8/2
- [17] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (1997)  
Heft 245: Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen
- [18] DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES e.V. (2001)  
Merkblatt W 112: Entnahme von Wasserproben bei der Erschließung, Gewinnung und Überwachung von Grundwasser
- [19] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1994)  
Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden
- [20] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (Entwurf September 2004)  
Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser
- [21] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER  
Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen (Entwurf Juni 2004)
- [22] BUND (1999)  
Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl Teil I Nr. 36 Seite 1554)
- [23] BUND-/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2003)  
Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen
- [24] ODENSASS, M. & POLEDNIK, J.(1993)  
Sanierungsverfahren für Altlasten, Übersicht zum Stand der Technik -- Landesamt für Wasser und Abfall, NRW
- [25] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V.  
Sanierungsverfahren für Grundwasserschadensfälle und Altlasten - Anwendbarkeit und Beurteilung
- [26] FRANZIUS, WOLF, BRANDT, ALTENBOCKUM (2003)  
Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement, C.F.-Müller-Verlag
- [27] NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (1994)  
Deponiehandbuch – Anforderungen an Siedlungsabfalldeponien in Niedersachsen
- [28] KERNDORFF, H., SCHLEYER, R., HERMANN, H.D. (1993)  
Bewertung der Grundwassergefährdung von Altablagerungen, standardisierte Methoden und Maßstäbe

[29] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2000)  
Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der  
Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik – EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) vom  
23.10.2000