

---

# **Merkblätter**

---

**Nr. 33**

**Leitfaden für die Beurteilung  
des Emissionspotenzials  
von Altdeponien**

---

**Landesumweltamt NRW, Essen 2001**

---

## **Impressum**

Herausgegeben vom  
**Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)**  
Postfach 10 23 63 • 45023 Essen  
Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen  
Telefon (02 01) 79 95 - 0 • Telefax (0201) 79 95 - 1448  
e-mail: [poststelle@lua.nrw.de](mailto:poststelle@lua.nrw.de)  
**Essen 2001**

## **Bearbeitung und Redaktion:**

**Dipl.-Ing'in Maria Emig und Dr. Ulrike Nienhaus,  
Landesumweltamt NRW**

**ISSN 0947-5788 (Merkblätter)**

---

Informationsdienste: Aktuelle Umweltdaten aus NRW, Fachinformationen des LUA NRW:

- **Internet** unter [www.lua.nrw.de](http://www.lua.nrw.de)

Aktuelle Luftqualitätsdaten NRW:

- WDR-Videotext (3. Fernsehprogramm), Tafeln 177 bis 179
- Telefonansagedienst unter (0201) 19 700

Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA NRW  
(24-Std.-Dienst): Telefon (0201) 71 44 88

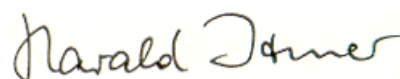
## Vorwort

Die Ablagerung von Abfällen ist mit Emissionen verbunden. Daten über Deponieemissionen werden seit 1972 im Rahmen der Überwachungspflicht der Abfallbeseitigungsanlagen ermittelt. Trotz dieser Überwachungspflicht gibt es bis auf Untersuchungen von EHRIG (1980) und KRUSE (1994), die hauptsächlich die Emissionen des Sickerwasserpfeils untersuchten, kaum eine Nutzung und statistische Auswertung des vorhandenen Datenmaterials.

Daher wurde durch das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen ein Untersuchungsvorhaben in Auftrag gegeben, das die in Nordrhein-Westfalen verfügbaren behördlichen Überwachungsdaten und Daten, die im Rahmen der Deponieselbstüberwachung gewonnen wurden, zusammenstellt. Neben Daten der Sickerwasserqualität und -quantität wurden Daten, die das Gas- und Setzungsverhalten charakterisieren, systematisch ausgewertet. Da die Überwachungsdaten nur einen zeitlich begrenzten Ausschnitt wiedergeben können, beinhaltet das Untersuchungsvorhaben auch Ergebnisse aus Laborversuchen (im Rahmen des Verbundforschungshabens „Deponiekörper“ ermittelt, s. EHRIG/BRINKMANN, 1999), die Rückschlüsse auf das langfristige Emissionsverhalten erlauben.

Der Bericht über das o.g. Untersuchungsvorhaben wurde in den Schriftenreihen des Landesumweltamtes NRW veröffentlicht (LANDESUMWELTAMT, 2000). Die vorliegende Leitfaden fasst die wesentlichen Ergebnisse des Berichts zusammen, diskutiert deren Bedeutung und leitet daraus Empfehlungen für die Nachsorge von Deponien ab.

Essen, 2001



Dr.-Ing. Harald Irmer  
Präsident des  
Landesumweltamtes  
Nordrhein-Westfalen

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	3
1 Einleitung .....	5
2 Deponiekenndaten .....	5
3 Sickerwasserqualität .....	10
3.1 Allgemeines .....	10
3.2 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB).....	11
3.3 Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB <sub>5</sub> ) .....	12
3.4 Totaler organischer Kohlenstoff (TOC) .....	13
3.5 pH-Wert .....	13
3.6 Elektrische Leitfähigkeit, Chloridionenkonzentration, adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX).....	14
3.7 Konzentrationen an Gesamtstickstoff (N <sub>ges</sub> ) und Ammonium (NH <sub>4</sub> -N).....	16
3.8 Schwermetalle .....	17
4 Sickerwassermengen.....	18
5 Sickerwasserfrachten.....	21
6 Gasmengen, Gasqualität .....	24
7 Setzungen.....	26
8 Laboruntersuchungen zur Beschreibung von langfristigen Deponieemissionen.....	27
8.1 Auslaugversuche .....	27
8.2 Ergebnisse der Versuche in den Deponiesimulationsreaktoren .....	30
9 Prognosen .....	32
10 Schlussfolgerungen .....	34
10.1 Setzungsverhalten .....	34
10.2 Einfluss von Oberflächenabdichtungen/-abdeckungen auf das Emissionsverhalten von Deponien .....	35
10.3 Nachsorgedauer .....	36
11 Literatur.....	38

# 1 Einleitung

Im vorliegenden Leitfaden werden Messungen und Prognosen zum Verlauf der Emissionen und zur Dauer des Nachsorgezeitraums von 30 nordrhein-westfälischen Altdeponien (Siedlungsabfalldeponien) ausgewertet und miteinander verglichen.

Folgende Ziele wurden bei der Bearbeitung verfolgt und sind im vorliegenden Leitfaden zusammengefasst:

- Statistische Auswertung der vorliegenden behördlichen Überwachungsdaten und Ableitung von charakteristischen Wertebereichen,
- Darstellung des Emissionsverhaltens von Deponien mit Hilfe von Laborversuchen aus dem BMBF-Verbundvorhaben Deponiekörper,
- Erarbeitung von Prognosen über das langfristige Emissionsverhalten der beobachteten Deponien,
- Schlussfolgerungen für Oberflächenabdeckungssysteme und die Nachsorge von Deponien.

Folgende Daten standen als Grundlage für die Auswertung zur Verfügung:

- Behördliche Überwachungsdaten und Daten aus der Deponieselbstüberwachung von Sickerwasser-, Gas- und Setzungsmessungen an 26 nordrhein-westfälischen Altdeponien<sup>1)</sup>. Die Ergebnisse sind in einem Bericht des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen (LANDESUMWELTAMT, 2000) veröffentlicht.
- Daten und Untersuchungsergebnisse von vier nordrhein-westfälischen Deponien, die vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) sowie dem Arbeitsbereich Abfallwirtschaft der TU Hamburg-Harburg (TU HH) im Rahmen des BMBF-Verbundvorhaben Deponiekörper (EHRIG/BRINKMANN, 1999) erhoben wurden.

## 2 Deponiekenndaten

In Tabelle 2.1 sind die Kenndaten der 30 untersuchten nordrhein-westfälischen Deponien zusammengefasst. Aus Gründen des Datenschutzes wurden die Daten anonymisiert, d.h. jeder Deponie wurde ein Buchstabe als Kennung zugewiesen. Die nachfolgend vorgestellten Deponiedaten setzen sich aus Daten der Staatlichen Umweltämter (StUÄ), von den StUÄ in Auftrag gegebenen Gutachten sowie aus Informationen der Betreiber zusammen.

---

<sup>1)</sup> Im Rahmen dieses Leitfadens werden Altdeponien bzw. Altanlagen nachfolgend vereinfachend als Deponien bezeichnet.

Tabelle 2.1: Darstellung der Grunddaten der Deponien in der Übersicht

Deponie	Ablagerungsdauer	Fläche [ha]	Höhe [m]	Abfallvolumen [Mio. m <sup>3</sup> ]	Abfallzusammensetzung	Rekultivierungsmaßnahmen	Technische Ausstattung, Bemerkung
A	1976/77 – 1983	7,4	15	1,1	45 % ①, 55 % ② u. ③	1,0 m mineral. Abdeckung	⑤, ⑥, ⑦
B	1971 – 1985	10,5	12	1,0	50 % ①, 50 % ② u. ③	0,65 m mineral. Abdeckung	⑤, ⑥, ⑦
C	1973 – 1992	17,0	3 – 17	1,61	54 % ①, 46 % ③	0,1 m Sand	⑤, ⑥, ⑦
D	1974 – 1983	7,0	8	0,14	①, ②, ③	0,3 m Erzsand Dränschicht	⑤, ⑥
E	1960 – 1975	5,46	8	0,19	> 50 % Siedlungsabfall	0,4 – 0,9 m Sand, Mutterboden	⑥ teilweise, ⑧
F	1971, 1975-1979	7,0	12	0,2	> 50 % Siedlungsabfall	0,3 – 2,4 m Sand, Mutterboden	⑤ teilweise, ⑥
G	1969 – 1985	20,0	8 – 12	1,1	> 50 % Siedlungsabfall	1,5 – 3,0 m Bodenabdeckung	⑥ teilweise, ⑦, ⑧
H	1966 – 1983	7,8	7	1,8	①, ②, ③	0,8 m Inertmaterial	⑦
I	1967 – 1987	30,0	12 – 15	3,7	50 % ① u. ②, ③ separat	ca. 0,3 m Ton	⑤ u. ⑥ teilweise, ⑦, ⑧
J	1957 – 1980	8,0	40	1,2	30 % Organik	0,3 – 1,0 m Bauschutt, Sand	⑥ teilweise, ⑦
K	1966 – 1981	6,4	12 – 18	0,9	50 % ①, 30 % ② u. 20 % ③	0,4 m bindiger Boden	⑥ teilweise

① Siedlungsabfall, ② Bauschutt und Boden, ③ hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, ④ Klärschlamm

⑤ Basisabdichtung, ⑥ Sickerwasserfassung, ⑦ Gasfassung, ⑧ Fremdwasser

Tabelle 2.1: Darstellung der Grunddaten der Deponien in der Übersicht (Fortsetzung)

<b>Deponie</b>	<b>Ablagerungsdauer</b>	<b>Fläche [ha]</b>	<b>Höhe [m]</b>	<b>Abfallvolumen [Mio. m<sup>3</sup>]</b>	<b>Abfallzusammensetzung</b>	<b>Rekultivierungsmaßnahmen</b>	<b>Technische Ausstattung, Bemerkung</b>
<b>L</b>	1969 – 1981	12,0	7,5	0,9	①, ③, ④	ca. 2,0 m Boden, Sand	⑥
<b>M</b>	1955 – 1983	44,0	16 – 28	4,9	45 % Organik, 35 % Anorg., 20 % ③	2,5 m Bodenabdeckung	⑥, teilweise ⑦
<b>N</b>	1945 – 1992	55,0	45	14,5	13 % ①, ② u. Industrieabfall	1,0 – 3,0 m Bodenabdeckung	⑤ u. ⑥ teilweise, ⑦
<b>O</b>	1964 – 1994	22,0	15	5,7	33 % Organik, 67 % Inertstoffe	geplant	⑤ u. ⑥ teilweise, ⑦
<b>P</b>	1973 – heute	20,0	14	1,9	> 50 % Siedlungsabfall	1,5 – 3,0 m Bodenabdeckung	⑤ teilweise, ⑥
<b>Q</b>	1972 – heute	20,8	17 – 20	3,4	> 50 % Siedlungsabfall	1,0 – 2,0 m bindiger Boden	⑤ teilweise, ⑥, ⑦
<b>R</b>	1968 – 1988	17,7	12	2,0	Siedlungsabfall, ②	0,5 – 2,0 m bindiger Boden	⑥, ⑦, ⑧
<b>S</b>	1974 – 1987	6,0	45	1,4	Siedlungsabfall	1,5 – 3,0 m bindiger Boden	⑥ teilweise, ⑧
<b>T</b>	1968 – 1993	5,5	30 – 40	1,9	①, ③ u. Inertstoffe	0,2 – 0,3 m Boden	⑤, ⑥, ⑦, ⑧
<b>U</b>	1969 – 1989	27,6	6 – 14,5	2,8	50 % ①, Aschen u. Schlacken	0,3 – 0,4 m bindiger Boden	⑤, ⑥, ⑦, ⑧
<b>V</b>	1968 – 1980	7,0	17 – 20	0,3	70 % Organik	0,5 – 2,0 m Boden	⑦

① Siedlungsabfall, ② Bauschutt und Boden, ③ hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, ④ Klärschlamm

⑤ Basisabdichtung, ⑥ Sickerwasserfassung, ⑦ Gasfassung, ⑧ Fremdwasser

Tabelle 2.1: Darstellung der Grunddaten der Deponien in der Übersicht (Fortsetzung)

<b>Deponie</b>	<b>Ablagerungsdauer</b>	<b>Fläche [ha]</b>	<b>Höhe [m]</b>	<b>Abfallvolumen [Mio. m<sup>3</sup>]</b>	<b>Abfallzusammensetzung</b>	<b>Rekultivierungsmaßnahmen</b>	<b>Technische Ausstattung Bemerkung</b>
<b>W</b>	vor 1982 – heute	3,5	-	-	Siedlungsabfall	mineralische Abdeckung	⑤ teilweise, ⑥, ⑦
<b>X</b>	1966 – 1982	4,3	30 – 40	0,75	①, ③, ④	3-lagige mineralische Abdeckung	⑤, ⑥ teilweise, ⑦
<b>Y</b>	1977 – 1980	2,0	9	0,27	①, 5 % ② u. Kunststoffabfall	2,5 mm PEHD, mineralische Abdichtung in Betrieb	⑥ teilweise, ⑦
<b>A1</b>	1991 – heute	z. Z. 3,0	im Aufbau	in Betrieb	Restabfälle		⑤, ⑥, ⑦
<b>AA</b>	1975 - ca. 2005	15,4	20	ca. 1,03	① 80 %, ③ 20 %	-	⑤ teilweise, ⑥, ⑦ im Bau
<b>BA</b>	1983 - 1998/99	33,0	20	ca. 3,6	① 25 %, ② 3 %, ③ 31 % u. 41 % nicht spezifizierte Abfälle	-	⑤, ⑥, ⑦
<b>CA</b>	1980 - 2021	39,0	85	ca. 3,0	① 70 %, ② 8 %, ③ 22 %	-	⑤, ⑥, ⑦
<b>DA</b>	1983 - ?	35,0	22	ca. 3,5	① 50 %, ③ 50 %	teilweise Oberflächenabdichtung	⑤, ⑥, ⑦

① Siedlungsabfall, ② Bauschutt und Boden, ③ hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, ④ Klärschlamm

⑤ Basisabdichtung, ⑥ Sickerwasserfassung, ⑦ Gasfassung, ⑧ Fremdwasser



Die Deponien lassen sich aufgrund ihres Alters, des verfüllten Abfalls und dem zeitlichen Verlauf ihrer Sickerwasserüberwachungsdaten in fünf verschiedene Gruppen bzw. Kategorien einteilen (siehe Tabelle 2.2):

Tabelle 2.2: Deponiegruppen

<b>Gruppe</b>	<b>Charakteristik</b>	<b>Deponie</b>
Gruppe 1	kurze saure Phase, geringe Schwermetallkonzentrationen	<i>D, E, F, I, W, G, H, U, Y</i>
Gruppe 2	ländlicher Raum, Ablagerungsbeginn in den 60er und 70er Jahren mit ausgeprägter saurer Phase und hohem Retentionsvermögen	<i>A, B, C, K, L, R</i>
Gruppe 3	vermuteter Fremdwassereinfluss und entsprechend geringe Sickerwasserkonzentrationen	<i>M, S, T</i>
Gruppe 4	extrem hohe Sickerwasserkonzentrationen, insbesondere hohe elektrische Leitfähigkeit	<i>J, N, X</i>
Gruppe 5	Deponien, die noch bis vor kurzer Zeit verfüllt wurden bzw. noch verfüllt werden; mit jungen sowie alten Teilbereichen	<i>O, P, Q, AA, BA, CA, DA</i>

### 3 Sickerwasserqualität

#### 3.1 Allgemeines

Zur Bewertung der Qualität von Deponiesickerwässern stehen keine Beurteilungshilfen zur Verfügung. Hilfsweise können die Konzentrationen des Anhangs 51 (Oberirdische Ablagerung von Abfällen) der allgemeinen Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (N.N., 1998) zu Beurteilung herangezogen werden. Auf eine Sickerwasserbehandlung kann erst dann verzichtet werden, wenn die Anforderungen dieser Vorschrift dauerhaft eingehalten werden können. In der Tabelle 3.1 sind die Konzentrationen der nachfolgend untersuchten Parameter aufgelistet.

Tabelle 3.1: Konzentrationen des Anhangs 51 der allgemeinen Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift (N.N., 1998)

<i>Parameter</i>	<i>Konzentration [mg/l]</i>
BSB <sub>5</sub>	20
CSB	200
N <sub>ges</sub>	70
AOX	0,5
Quecksilber	0,05
Cadmium	0,1
Chrom	0,5
Chrom (VI)	0,1
Nickel	1
Blei	0,5
Kupfer	0,5
Zink	2
Arsen	0,1
Cyanid, leicht freisetzbar	0,2
Sulfid	1

In den nachfolgenden Abbildungen ist die zeitliche Entwicklung der Sickerwasserinhaltsstoffe der untersuchten Deponien dargestellt. Die Parameter sind dabei als Jahresmittelwerte aufgeführt. So weit möglich, wurden für jedes Deponiejahr Mittelwert, Standardabweichung, Minimal- sowie Maximalwert angegeben. Des Weiteren wurden auch Extrapolationen durchgeführt, die Hinweise darauf geben können, mit welchen Sickerwasserbehandlungszeiträumen zu rechnen ist.

### 3.2 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der zeitliche Verlauf der CSB-Konzentrationen ist in Abbildung 3.1 dargestellt. In den ersten Deponiejahren sind die mittleren CSB-Konzentrationen sehr hoch. Durchschnittlich werden über 5.000 mg/l erreicht. Bis zum Beginn des 2. Jahrzehnts fallen die Konzentrationen auf unter 1.000 mg/l. Langfristig sind die Konzentrationen kontinuierlich fallend. Die Konzentration des Anhangs 51 von 200 mg/l wird von einigen Deponien bereits innerhalb von wenigen Jahrzehnten unterschritten. Die Extrapolation der Mittelwerte zeigt, dass die Konzentration im Mittel nach 33 Jahren unterschritten wird. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die CSB-Werte der Jahre 29 bis 34 aus nur wenigen Einzelwerten gemittelt wurden. Wird die Extrapolation stattdessen über 29 Jahre durchgeführt, würde demnach die Konzentration im Mittel erst nach 106 Jahren erreicht werden.

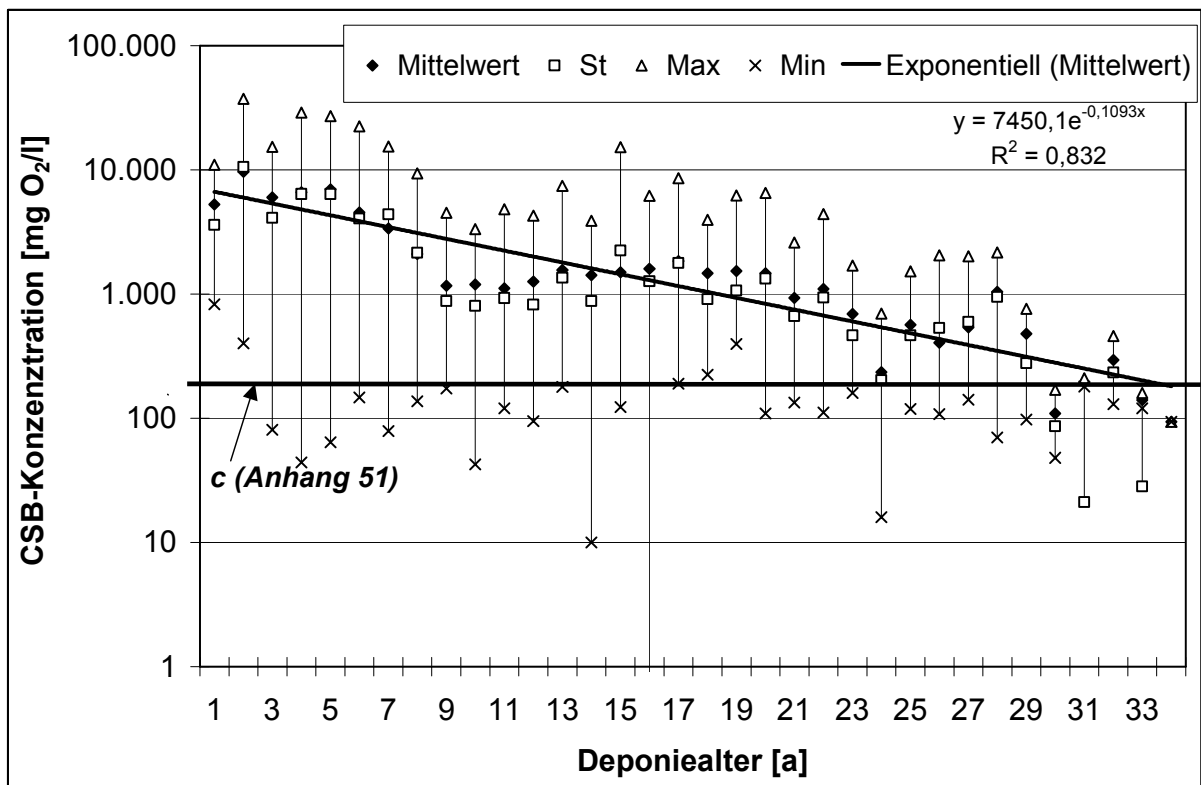


Abbildung 3.1: Zeitlicher Verlauf des CSB (Jahresmittelwerte) der Deponien mit Konzentration nach Anhang 51 =  $c$  (Anhang 51).

### 3.3 Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>)

Wie beim Verlauf der CSB-Konzentrationen sind die BSB<sub>5</sub>-Konzentrationen anfangs am höchsten und nehmen im Laufe der Zeit ab (siehe Abbildung 3.2). Zu Beginn treten Mittelwerte über 5.000 mg/l auf, die aber deutlich schneller abnehmen als beim CSB. Bereits ab dem 8. Deponiejahr sind die Mittelwerte auf unter 1.000 mg/l gesunken. Die Extrapolation der Mittelwerte des BSB<sub>5</sub> ergibt, dass nach 48 Jahren die Mehrzahl der Deponien die im Anhang 51 geforderte Konzentration von 20 mg/l unterschreitet. Analog zum CSB werden die Deponiegruppen 1 (kurze saure Phase) und 3 (vermuteter Fremdwassereinfluss, geringe Sickerwasserkonzentrationen) den vorgegebenen Grenzwert sehr viel schneller als die anderen Deponiegruppen erreichen.

Der Quotient aus BSB<sub>5</sub> und CSB gilt als Maß für die biologische Abbaubarkeit. Er liegt im ersten Deponiejahr im Mittel über 1, nimmt in den nachfolgenden beiden Jahren um etwa die Hälfte ab und nähert sich nach ca. 30 Deponiejahren asymptotisch dem Wert von 0,1. Das heißt, dass zu diesem Zeitpunkt der biologisch abbaubare Anteil des Abfalls weit gehend umgesetzt ist.

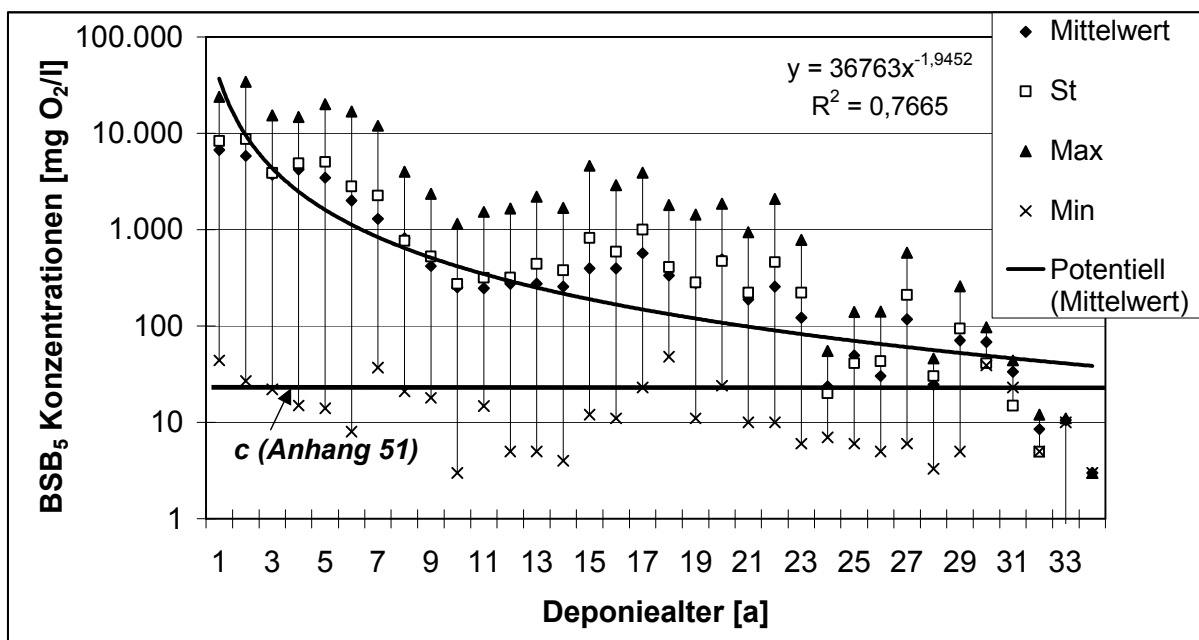


Abbildung 3.2: Zeitlicher Verlauf des BSB<sub>5</sub> (Jahresmittelwerte) der Deponien mit Konzentration nach Anhang 51 = c (Anhang 51).

### 3.4 Totaler organischer Kohlenstoff (TOC)

Aus Abbildung 3.3 ist der zeitliche Verlauf der TOC-Konzentrationen ersichtlich. Im Vergleich zum CSB bzw. BSB<sub>5</sub> unterliegt der TOC nur geringen Schwankungen und liegt im Mittel um 400 mg/l. Bis zum 28. Jahr ist keine Tendenz zur Abnahme der TOC-Konzentrationen erkennbar. Ab dem 29. Jahr sinken die Konzentrationen. Bei der Interpretation ist allerdings zu beachten, dass sich die TOC-Werte der Deponiejahre 29 bis 34 nur auf Datenmaterial der gering belasteten Deponie E (Gruppe 1) stützen und somit keine allgemein gültige Aussage über den Verlauf der TOC-Konzentrationen in diesem Zeitraum getroffen werden kann. Auch langfristig muss mit TOC-Konzentrationen gerechnet werden, die einer Sickerwasserbehandlung bedürfen (vgl. Kapitel 3.2).

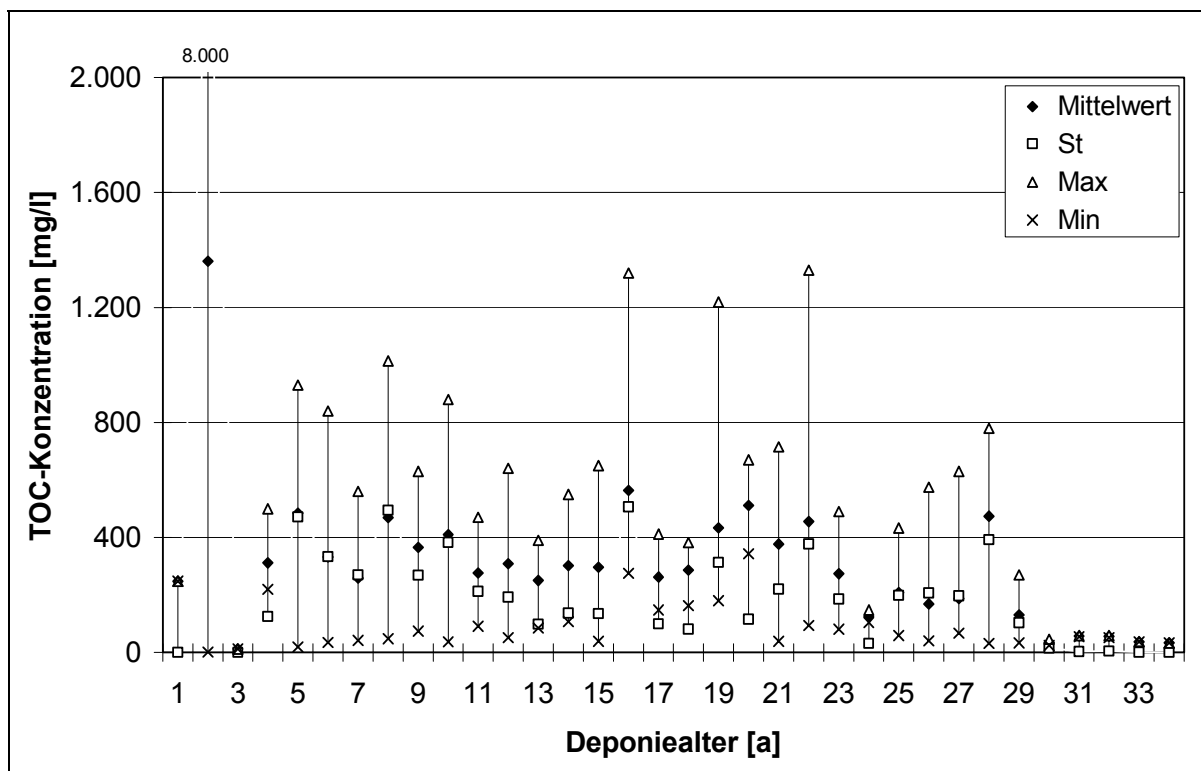


Abbildung 3.3: Zeitlicher Verlauf des TOC (Jahresmittelwerte) der Deponien

### 3.5 pH-Wert

Die Dauer der sauren Phase ist von Deponie zu Deponie sehr unterschiedlich, vgl. Abbildung 3.4. Während die Deponien älteren Datums (Gruppe 2) durch lang andauernde saure Phasen gekennzeichnet sind, die im Mittel vier Jahre und längstens bis zu 18 Jahren andauern, weisen im Gegensatz dazu Deponien jüngerer Datums, die sich z.T. noch im Betrieb befinden (Gruppe 5), keine bzw. nur kurze saure Phasen auf. Dies ist auf die veränderte Abfallzusammensetzung sowie auf die verbesserte Einbautechnik zurückzuführen. Bei

allen Deponien schließt sich an die saure Phase eine Phase mit schwach alkalischem Milieu an.

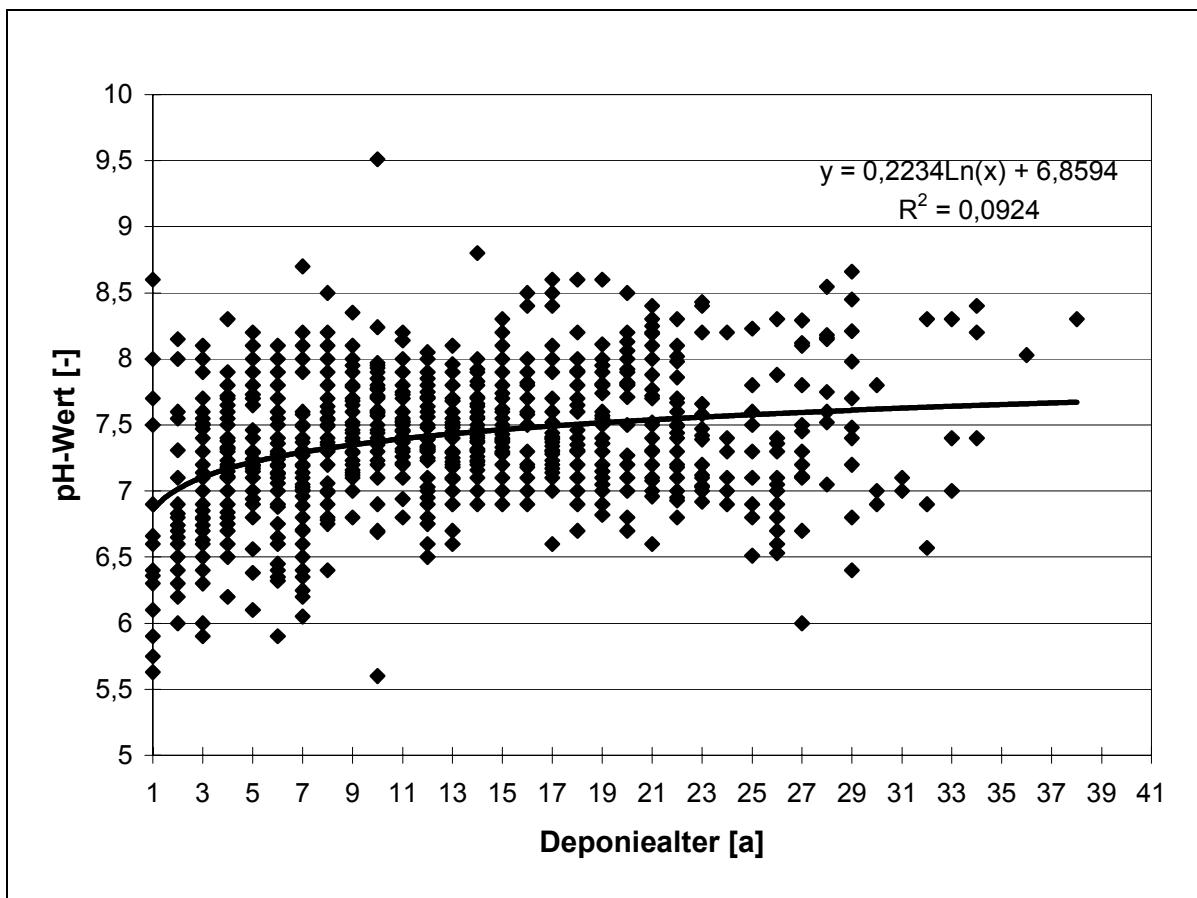


Abbildung 3.4: Zeitlicher Verlauf aller pH-Werte (Jahresmittelwerte) der Deponien

### 3.6 Elektrische Leitfähigkeit, Chloridionenkonzentration, adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX)

In Abbildung 3.5 ist zu erkennen, dass die mittlere **elektrische Leitfähigkeit** über mehrere Jahre hinweg im Bereich von 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  liegt. Erst nach 19 Jahren nimmt die elektrische Leitfähigkeit deutlich ab und erreicht Werte um 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit unterliegen von Deponie zu Deponie großen Schwankungen. Dies kann auf die unterschiedliche Salzbelastung der abgelagerten Abfälle zurückgeführt werden:

Da die elektrische Leitfähigkeit die Konzentration an dissoziierten Stoffen beschreibt, wird mit der elektrischen Leitfähigkeit auch die Belastung des Sickerwassers mit Salzen erfasst. Auf einigen Deponien wurden große Mengen an salzhaltigen Industrieabfällen abgelagert. Dort wurden im Sickerwasser hohe elektrische Leitfähigkeiten von bis zu 70.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$

(Jahresmittelwert einer Deponie) sowie hohe Chloridionenkonzentrationen (max. 54.000 mg/l) gemessen.

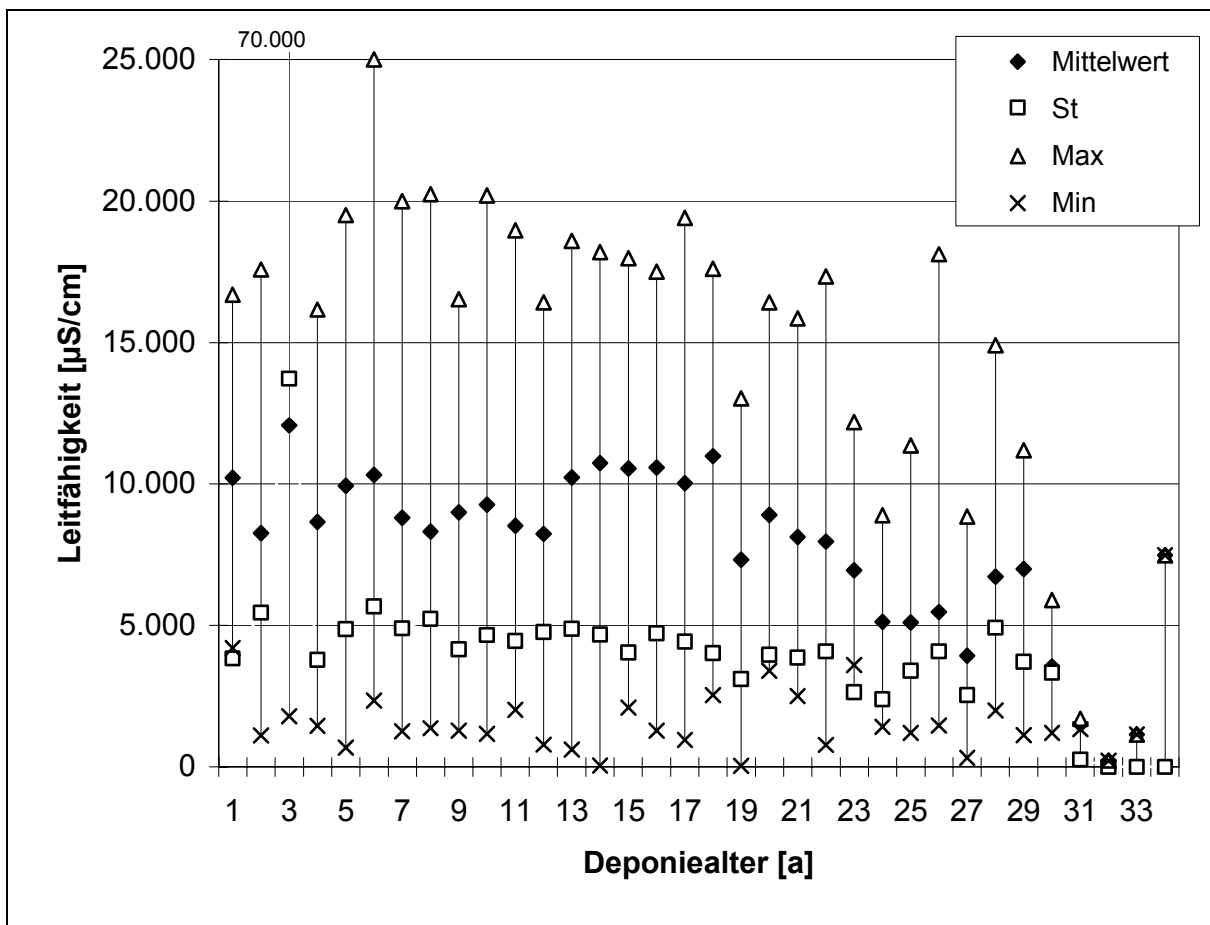


Abbildung 3.5: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit (Jahresmittelwerte) der Deponien (ohne J und N)

Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit und der **Chloridionenkonzentration** korrelieren miteinander. Im Mittel liegen die Chloridionenkonzentrationen während der ersten Deponiejahre bei 4.500 mg/l und nehmen nach ca. 2 Jahrzehnten auf Werte unter 1.000 mg/l ab, vgl. Abbildung 3.6.

In Abbildung 3.6 sind neben der elektrischen Leitfähigkeit und der Chloridionenkonzentration auch die **AOX-Konzentrationen** als Mittelwerte von vier Zeitphasen dargestellt (sekundäre Y-Achse). Die AOX-Konzentrationen schwanken in den ersten Jahren um den Wert von 1 mg/l und steigen im 11. bis 20. Deponiejahr auf Werte bis 1,6 mg/l. Danach nehmen die Konzentrationen deutlich ab und erreichen bei einigen Deponien bereits den Grenzwert des Anhangs 51 von 0,5 mg/l.

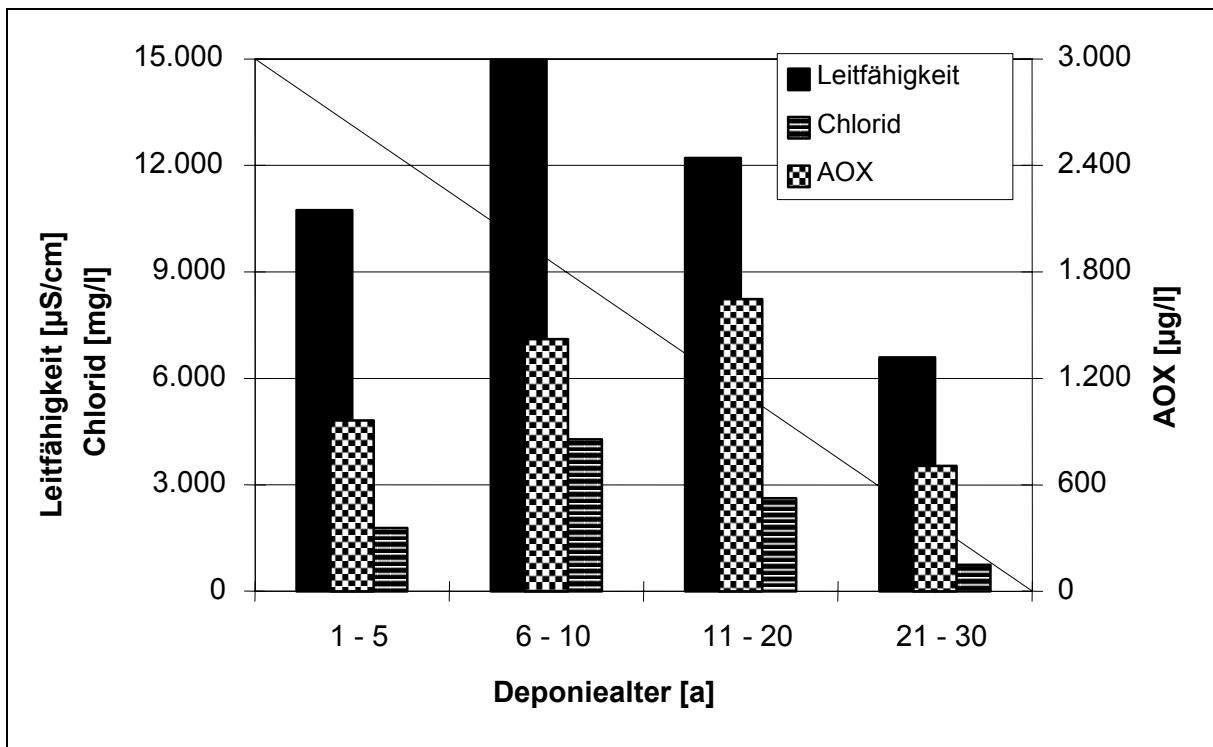


Abbildung 3.6: Darstellung der Parameter elektrische Leitfähigkeit, Chlorid und AOX als über vier Zeitphasen gemittelte Werte

### 3.7 Konzentrationen an Gesamtstickstoff ( $\text{N}_{\text{ges}}$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )

In der Abbildung 3.7 sind die Jahresmittelwerte der  $\text{N}_{\text{ges}}$ -Konzentrationen dargestellt. Die Konzentrationen schwanken innerhalb von kurzen Zeiträumen deutlich. Dennoch sind langfristig folgende Veränderungen zu beobachten:

Die Konzentrationen nehmen zunächst zu. Grund hierfür sind mikrobielle Umsetzungsprozesse, die einen Austrag des Stickstoffs in Form von Ammonium begünstigen. Der Ammoniumstickstoff bildet mit einem Anteil von 80-90% die Hauptkomponente des Gesamtstickstoffs. (Weitere Komponenten sind Nitrat, Nitrit sowie organische Stickstoffverbindungen). Das Maximum der  $\text{N}_{\text{ges}}$ -Konzentrationen wird nach ca. 11 Deponiejahren erreicht. Ab dem 21. Jahr nehmen die Konzentrationen deutlich ab, liegen jedoch immer noch um ein Vielfaches höher als der Direkteinleiterwert von 70  $\text{mg}/\text{l}$ . Bisher wurde die Mindestanforderung zur Direkteinleitung von Abwasser bei keiner der untersuchten Deponien erfüllt. Ein Unterschreiten der Konzentration ist auch für die nächsten Jahrzehnte nicht absehbar. Dem gegenwärtigen Standpunkt zufolge muss mit einem Nachsorgezeitraum für Stickstoff von mindestens mehreren Jahrzehnten bis einigen Jahrhunderten gerechnet werden (vgl. Kapitel 10.3).



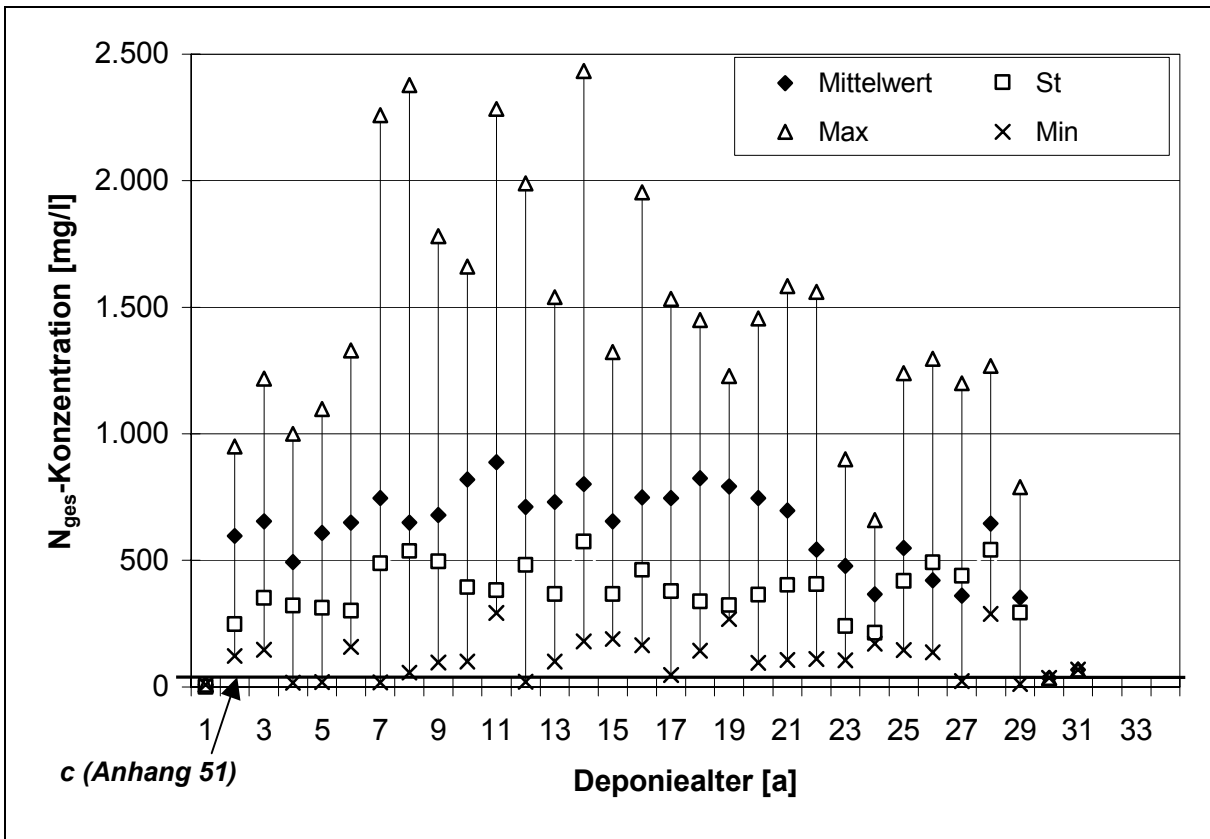


Abbildung 3.7: Zeitlicher Verlauf der  $N_{ges}$ -Konzentrationen (Jahresmittelwerte) der Deponien

### 3.8 Schwermetalle

Die Konzentrationsverläufe ausgewählter Schwermetalle sind in Abbildung 3.8 als Mittelwerte von vier verschiedenen Zeitphasen dargestellt. Nach den bisherigen Beobachtungen stellen die Schwermetallkonzentrationen im Sickerwasser kein Problem bei der Nachsorge dar, da alle Konzentrationen unterhalb der Konzentrationen des Anhangs 51 liegen.

Die Gründe für die niedrigen Schwermetallkonzentrationen sind ein vom pH-Wert abhängiges Lösungsverhalten sowie anaerobe Verhältnisse im Deponiekörper. Prinzipiell werden Schwermetalle um so leichter mobilisiert, je niedriger der pH-Wert im Abfallkörper ist. Daher ist bei einem leicht alkalischen Milieu die Mobilisierungsrate für Schwermetalle gering. Die Schwermetalle werden nicht über das Sickerwasser ausgetragen, sondern verbleiben im Abfall. Bei der Betrachtung der einzelnen Konzentrationsverläufe fällt auf, dass die größten Konzentrationen an Zink und Blei in den ersten fünf Jahren auftreten, die anderen Schwermetalle hingegen ihre Maximalkonzentration erst in den Jahren sechs bis zehn erreichen. Dies liegt an der unterschiedlichen pH-Sensibilität der Schwermetalle. Langfristig gesehen kann es zu einem Anstieg der Schwermetallkonzentrationen im Sickerwasser kommen, wenn sich die oben genannten Milieubedingungen ändern.

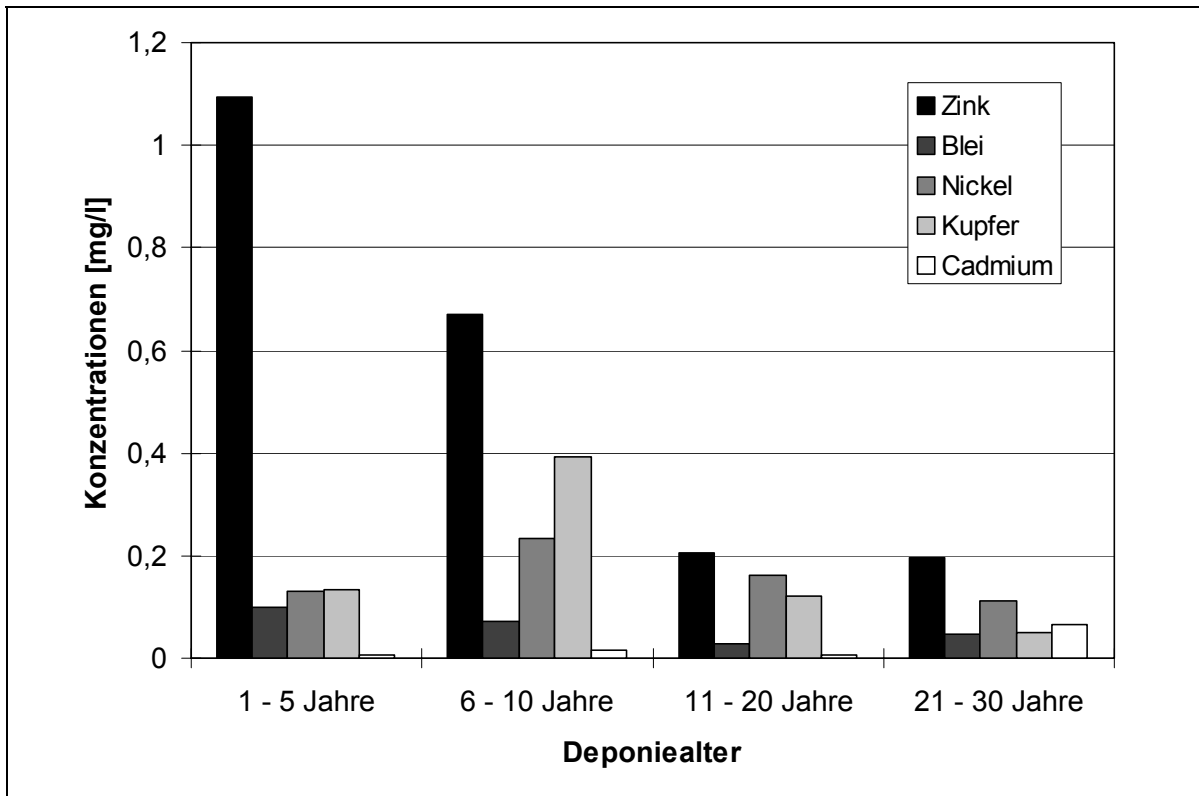


Abbildung 3.8: Darstellung ausgewählter Schwermetallkonzentrationen als über vier Zeitphasen gemittelte Werte

#### 4 Sickerwassermengen

Höhe und zeitlicher Verlauf des Sickerwasseraufkommens sind von verschiedenen Einflussfaktoren wie Niederschlagshöhe, abgelagerte Abfallarten, Einbautechnik, Konstruktion und Funktionstüchtigkeit der Abdichtungssysteme sowie des Sickerwasserfassungssystems abhängig. Da die Randbedingungen von Deponie zu Deponie stark variieren können, weisen die gemessenen Sickerwassermengen der Deponien eine große Bandbreite auf. In Abbildung 4.1 sind die Sickerwasserspender der Deponien in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt. Das Sickerwasseraufkommen liegt für die Mehrzahl der Deponien in einem Bereich von 1 bis 11 m<sup>3</sup>/(ha·d).

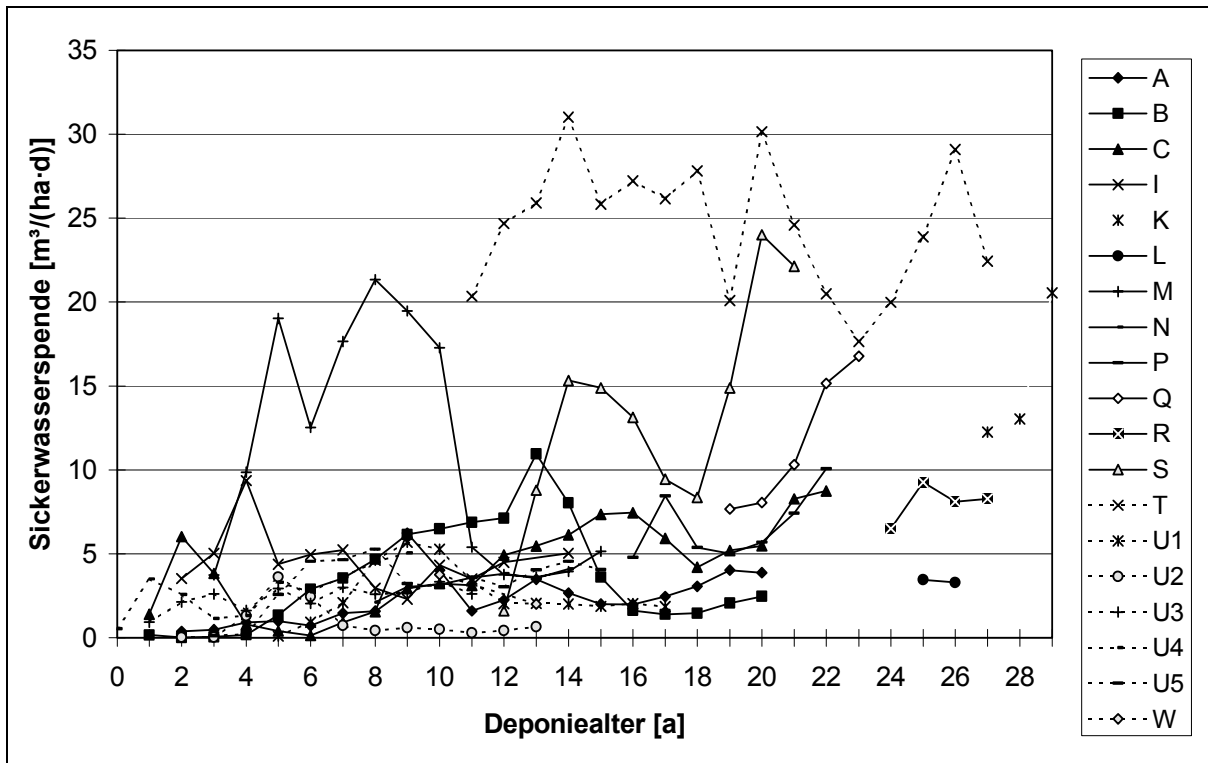


Abbildung 4.1: Zeitlicher Verlauf der Sickerwasserspende (Jahresmittel) der Deponien

Folgende Einflussfaktoren wirken sich deutlich auf die Sickerwassermengen aus:

#### Art des Oberflächenabdeckungs- bzw. -abdichtungssystems

Die meisten der Deponien verfügen über Oberflächenabdecksysteme, die die Kriterien der Abdichtung nach der TA Siedlungsabfall, insbesondere die Forderung nach einer geringen Wasserleitfähigkeit (entspricht kleinem  $k_F$ -Wert), nicht oder nur ansatzweise erfüllen. Mit einem Oberflächenabdichtungssystem nach (Regelquerschnitt nach TA Siedlungsabfall) ist keine der Deponien ausgestattet. Einige Deponien werden noch betrieben und sind daher nicht abgedeckt. Die Art der Oberflächenabdeckung der übrigen Deponien variiert, siehe Tabelle 4.1. Über die Wasserleitfähigkeit der eingesetzten Materialien (z.B. Sand, Boden, Ton) sind wenig Details bekannt. Zudem sind Zeitpunkt und Zeitraum der Aufbringung des jeweiligen Abdecksystems zumeist unbekannt. Anhand der Sickerwasserdaten lässt sich jedoch die Wirksamkeit der Oberflächenabdecksysteme der Deponien M (2,5 m Boden) und B (0,65 m mineralisches Material in Verbindung mit einem Oberflächengefälle von 5%) erkennen. Nach der Abdeckung der Deponie M zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Sickerwasserspende ab dem 11. Jahr, bei der Deponie B sinkt die Sickerwasserspende ab dem 14. Jahr. Die Abdeckung der Deponie B verfügt über eine deutlich geringere Schichtdicke als die Abdeckung der Deponie M. Trotzdem verringert sich die Sickerwasserspende bei beiden Deponien in etwa gleich um 70%. Positiv scheint sich bei der Deponie B die Aufbrin-

gung eines Gefälles auf der Oberfläche auszuwirken, sodass der Niederschlag an der Oberfläche abfließen kann. Die Sickerwassermenge beträgt –bezogen auf den Niederschlag- 7 bis 14%.

Bei den Deponien C, Q, P, AA und CA korrespondiert der Verlauf der Sickerwasserspendsen mit den Niederschlagsmengen. Diese Deponien verfügen über keine Abdeckung bzw. über eine qualitativ minderwertige Abdeckung mit wahrscheinlich hoher Wasserleitfähigkeit. Die Sickerwassermengen dieser Deponien liegen durchschnittlich bei ca. 40% der jeweiligen Niederschlagshöhe. Sie sind deutlich höher als bei den qualitativ hochwertig abgedeckten Deponien und nehmen im Laufe der Zeit zu. Die Zunahme liegt darin begründet, dass das Wasserspeichervermögen des Abfallkörpers durch die fortschreitende Infiltration mit Niederschlagswasser abnimmt und dadurch wiederum mehr Sickerwasser an das Fassungs-system abgegeben wird.

#### **Fremdwasserzutritt**

Die Deponien K, R, S und T haben alle - trotz stärkerer Bodenabdeckung der Oberfläche - ein sehr hohes Sickerwasseraufkommen von durchschnittlich ca. 70% der Niederschlagsmenge. Maximal beträgt die Sickerwassermenge 95% der Niederschlagsmenge. Der Grund dafür liegt im Zufluss von Fremdwasser, das z.B. als Hangwasser, seitlich zufließendes oder gespanntes Grundwasser in die Deponie eintritt. Da der Anteil des Fremdwassers am Sickerwasseraufkommen nicht quantifiziert werden kann, ist die Ermittlung der tatsächlichen Sickerwassermenge nicht möglich.

#### **Art des Basisabdichtungssystems**

Einige Deponien (U2 und L) bzw. Teilbereiche der Deponie I verfügen über keine Abdichtung an der Basis. Hier wird ein unbekannter Teil des anfallenden Sickerwassers in den Untergrund infiltriert, sodass die erfasste Sickerwasserspende vergleichsweise gering ist. Insbesondere die Deponie U2 weist nur sehr geringe Sickerwasserspendsen auf, vgl. Tabelle 4.1.

Tabelle 4.1: Gegenüberstellung der Deponien mit ihren Oberflächenabdeckungssystemen, Sickerwassermengen sowie Einflussfaktoren auf die Sickerwassermengen

<b>Deponie</b>	<b>Art der Oberflächenabdeckung</b>	<b>Sickerwassermenge [%] <sup>1)</sup></b>	<b>Bemerkung</b>
<b>A</b>	1 m Formsand, 0,9 m Mutterboden	15 - 20 %	
<b>B</b>	0,65 m Boden, Oberfläche mit 5 % Gefälle	7 - 14 %	wirksame Oberflächenabdeckung
<b>C</b>	0,1 m Sand	28 - 53,5 %	keine wirksame Oberflächenabdeckung
<b>I</b>	0,3 m Ton, BA4 z. T. offen	13,5 - 22 %	
<b>K</b>	0,4 m bindiger Boden, 0,3 m Mutterboden	geschätzt: 80 - 90 %	Fremdwasser
<b>L</b>	0,4 - 0,6 m tonig, schwachsandiger Boden, 1,5 m Schluffiger Sand	geschätzt: 10 - 15 %	
<b>M</b>	2,5 m Boden	15 - 28 %	wirksame Oberflächenabdeckung
<b>N</b>	am höchsten Punkt 3 m Lehm Boden, an den Böschungen 1 – 2 m Lehm Boden	14 - 20 %	
<b>P</b>	1,5 - 3 m Boden, wird seit 94/95 wieder für Endabdichtung entfernt	23 - 36 %	kaum wirksame Oberflächenabdeckung
<b>Q</b>	Altbereich 2 m, BA1+Ba2 1 m Boden, BA3 offen	29 - 50 %	kaum wirksame bzw. keine Oberflächenabdeckung
<b>R</b>	0,5 – 2 m bindiger Boden	36 - 45 %	Fremdwasser
<b>S</b>	1,5 - 3 m bindiger Boden, seitliche Zuflüsse	42 - 92 %	Fremdwasser
<b>T</b>	'dünne Bodenlage zur Verminderung von Papierflug'	69 - 95 %	Fremdwasser
<b>U1</b>	0,3 - 0,4 m Boden	9 - 11 %	
<b>U2</b>	0,3 - 0,4 m Boden	1,5 - 3,8 %	keine Basisabdichtung
<b>U3</b>	0,3 - 0,4 m Boden	14 - 18 %	
<b>U4</b>	0,3 - 0,4 m Boden	18 - 30 %	
<b>U5</b>	0,3 - 0,4 m Boden	19 - 24 %	
<b>W</b>	mineral. Oberflächenabdichtung	geschätzt: 10 - 20 %	
<b>AA</b>	keine	geschätzt: 45 – 50 %	keine Oberflächenabdeckung
<b>CA</b>	keine	geschätzt: 30 - 55 %	keine Oberflächenabdeckung

<sup>1)</sup> Angabe der Sickerwassermenge bezogen auf den Niederschlag in Prozent.

## 5 Sickerwasserfrachten

Es werden die Sickerwasserfrachten der Deponien A, I, M, N, AA und CA untersucht. Als Parameter werden BSB<sub>5</sub>, CSB, N<sub>ges</sub>, Chlorid und Zink betrachtet. Die Parameter BSB<sub>5</sub> und CSB sowie der Parameter Stickstoff geben einen Hinweis auf die biologische Aktivität im Abfallkörper, das Chlorid steht stellvertretend für das Verhalten der gut wasserlöslichen lo-

nen und das Zink wurde als Vertreter der Schwermetalle gewählt. Der zeitliche Verlauf der Sickerwasserfrachten ist am Beispiel der Deponie A (ca. 45% Siedlungsabfälle) in Abbildung 5.1 zu sehen.

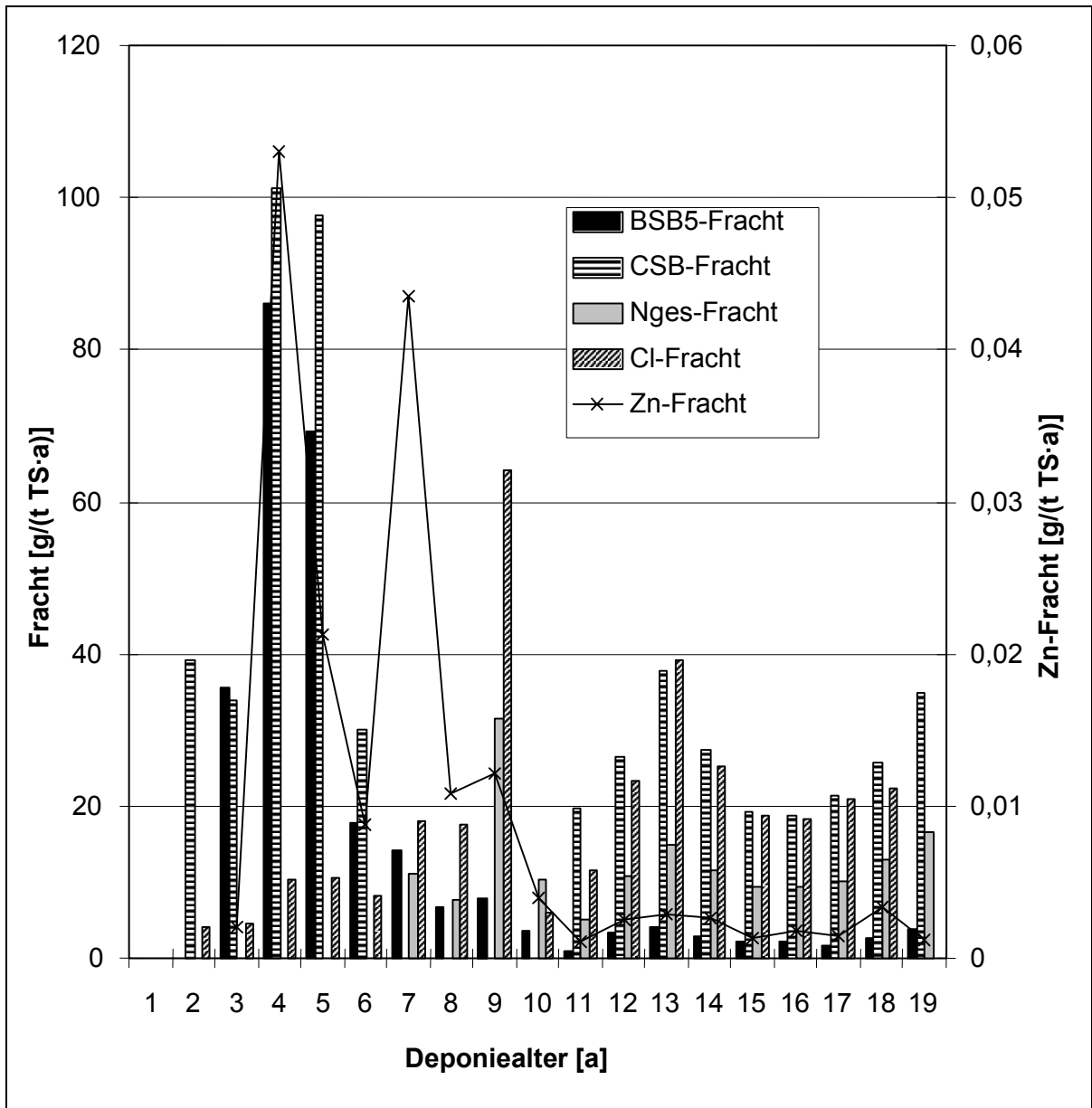


Abbildung 5.1: Zeitlicher Verlauf der Sickerwasserfrachten der Deponie A

In Tabelle 5.1 sind die Gesamtfrachten der Deponien dargestellt. Insgesamt ist eine hohe Variation der Werte zu erkennen. Die Hauptgründe hierfür sind einerseits die unterschiedlich langen Erfassungszeiträume und andererseits das Alter der Deponie.

Tabelle 5.1: Gesamtfrachten der Deponien über die jeweiligen erfassten Jahreszeiträume

<b>Deponie</b>	<b>BSB<sub>5</sub>-Fracht</b> [g O <sub>2</sub> /t TS]	<b>CSB-Fracht</b> [g O <sub>2</sub> /t TS]	<b>N<sub>ges</sub>-Fracht</b> [g/t TS]	<b>Zn-Fracht</b> [g/t TS]	<b>Cl-Fracht</b> [g/t TS]
<b>AA</b> <sup>1)</sup>	<b>1.118</b>	<b>2.979</b>	<b>385</b>	<b>0,06</b>	<b>338</b>
(Deponiejahre)	(16-20)	(16-21)	(16-21)	(20-21)	(16-20)
<b>CA</b>	<b>143</b>	<b>918</b>	<b>167</b>	<b>0,14</b>	<b>618</b>
(Deponiejahre)	(5-14)	(4-14)	(5-9 + 14)	(5-10,13-14)	(5-14)
<b>A</b>	<b>265</b>	<b>533</b>	<b>161</b>	<b>0,17</b>	<b>324</b>
(Deponiejahre)	(3-19)	(2-6 + 11-19)	(7-19)	(3-19)	(2-18)
<b>I</b>	<b>1.263</b>	<b>2.017</b>	<b>249</b>	<b>0,03</b>	<b>336</b>
(Deponiejahre)	(2-12 + 14)	(2-12 + 14)	(2-12 + 14)	(14)	(2-6 + 9-12 + 14)
<b>M</b>	<b>82</b>	<b>415</b>	<b>294</b>	<b>0,12</b>	<b>409</b>
(Deponiejahre)	(4-15)	(4-15)	(4-12)	(4-15)	(4-15)
<b>N</b>	<b>18</b>	<b>61</b>	<b>37</b>	<b>0,004</b>	<b>1.176</b>
(Deponiejahre)	(8-14)	(8-14)	(8-14)	(8-14)	(8-14)

<sup>1)</sup> Werte extrem hoch, da Kompostwasser und Sickerwasser als Mischprobe beprobt wurden.

Zu Beginn der Abfallablagerung kommt es bei den Deponien zunächst zu hohen organischen Frachten, die dann im Laufe der Zeit deutlich zurückgehen. Die niedrigsten Werte für die organischen Summenparameter BSB<sub>5</sub> und CSB besitzt die Deponie N. Dies ist sowohl auf die Zusammensetzung des Abfalls zurückzuführen - der Anteil des Siedlungsabfalls beträgt nur 13% - als auch auf die erst im 8. Jahr einsetzende Erfassung der Daten. Hohe Werte für den BSB<sub>5</sub> und CSB besitzen hingegen die Deponien, deren Daten bereits während der Abfallablagerung erhoben wurden. Hierzu zählen die Deponien AA, CA, A und I. Bei der Deponie M ging nur ein Betriebsjahr in die Berechnung der Gesamtfrachten mit ein. Somit sind ihre BSB<sub>5</sub>- und CSB-Frachten auch deutlich geringer, obwohl der Anteil des Siedlungsabfalls bei den Deponien AA, CA, A, I und M in etwa demselben Bereich von 40 - 60 % liegt.

Die Werte für den Parameter N<sub>ges</sub> zeigen weniger große Abweichungen. Ein Grund hierfür ist die erst in späteren Jahren ansteigende Konzentration des N<sub>ges</sub> (vgl. Kapitel 3.7). Somit wirkt sich eine verspätete Erfassung der N<sub>ges</sub>-Konzentrationen nicht so stark wie bei anderen Parametern aus.

Bei den Zink-Gesamtfrachten ist ebenfalls eine deutliche Heterogenität zu erkennen. Diese ist vor allen Dingen auf die extrem unterschiedlichen Erfassungszeiträume zurückzuführen, da auch die Zinkfrachten am Anfang aufgrund des sauren Milieus am höchsten sind.

Die Chlorid-Gesamtfrachten sind insgesamt deutlich niedriger als die Frachten der Parameter BSB<sub>5</sub> und CSB. Eine Ausnahme bildet die Deponie N. Hier macht sich der hohe Anteil an anorganischem Abfall der Deponie N bemerkbar. Auf dieser Deponie wurden sehr viel mehr Schlämme und Industrieabfälle abgelagert als auf den übrigen Deponien.

## **6 Gasmengen, Gasqualität**

22 der insgesamt 30 vorgestellten Deponien verfügen über eine aktive oder passive Einrichtung zur Entgasung. Von 14 Deponien liegen auswertbare Daten vor.

Beim Vergleich der Deponiegasmengen ist zu beachten, dass unterschiedliche Einflussfaktoren die Höhe der erfassten Gasmengen beeinflussen. Hierzu zählen insbesondere:

- Art und Betrieb des Gasfassungssystems,
- Abfallzusammensetzung, Abbaugrad des Abfalls,
- Milieubedingungen,
- Konstruktive Maßnahmen zur Unterbindung von Gasmigrationen (Abdichtungen),
- Aufbau des Abfallkörpers.

Die genannten Einflussfaktoren sind nicht für alle Deponien bekannt, sodass eine direkte Gegenüberstellung der Gasmengen problematisch ist. In Abbildung 6.1 sind die durchschnittlich abgesaugten Gasmengen von 14 Deponien in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt. Das Ende des Schüttbetriebs entspricht in der Abbildung dem 0. Jahr, vorherige Jahre werden zurückgezählt und sind daher mit negativem Vorzeichen versehen. Auf der Ordinate ist die durch die Gasfassungssysteme gefasste Gasmenge aufgetragen. Um einen gemeinsamen Bezugspunkt herzustellen, wurde das geförderte Gasvolumen auf jeweils 1 t TS pro Jahr bezogen.



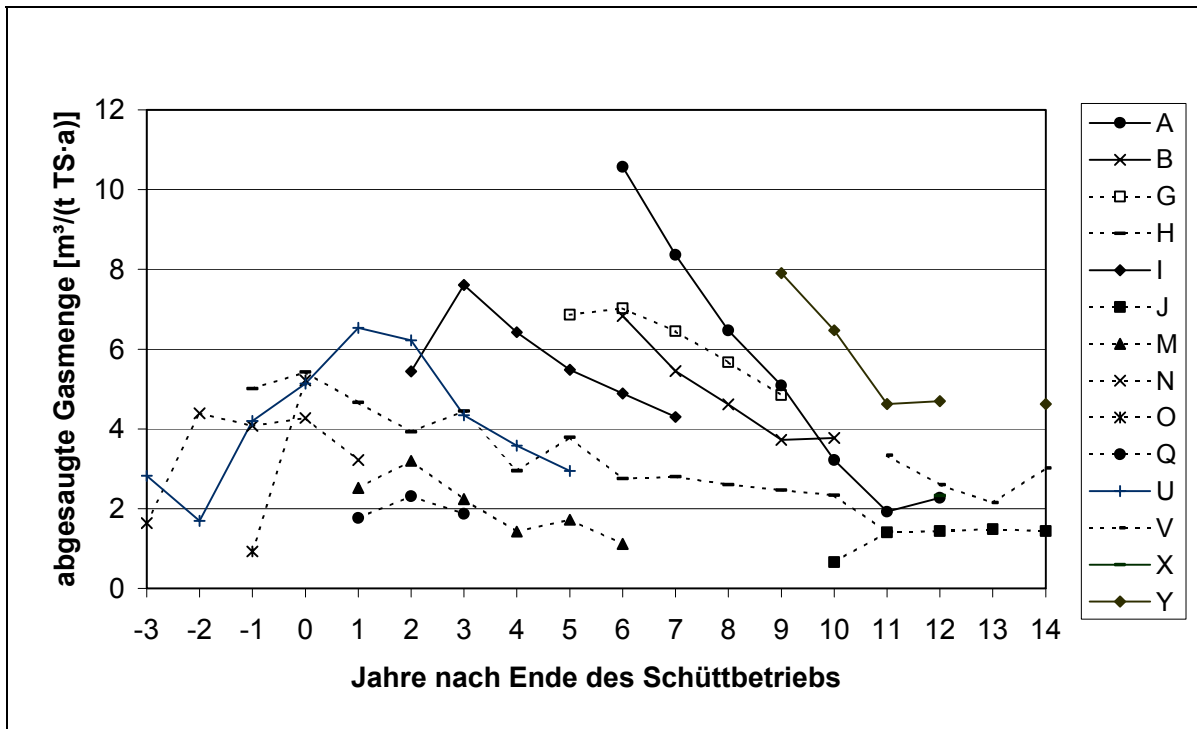


Abbildung 6.1: Zeitlicher Verlauf der abgesaugten Gasmengen der Deponien nach Ende des Schüttrbetriebs

(durchgezogene Linien: Deponien mit qualifiziertem Oberflächenabschluss, gestrichelte Linien: Deponien ohne qualifiziertem Oberflächenabschluss)

Die erfassten Gasmengen differieren während der ersten Jahre sehr stark und liegen im Bereich von 0,9 bis 10,6 m<sup>3</sup>/(t TS·a). Deponien, die über einen qualifizierten Oberflächenabschluss verfügen, haben zumeist eine höhere Gasfassungsrate als Deponien ohne einen qualifizierten Oberflächenabschluss. Einige Jahre nach Ende des Schüttrbetriebs nehmen die Gasmengen ab. Dabei nimmt die Gasproduktion bei den Deponien mit qualifiziertem Oberflächenabschluss schneller ab als bei den anderen Deponien. Nach ca. 11 Jahren gleichen sich die Gasmengen an und liegen zu diesem Zeitpunkt nur noch bei Werten zwischen 1,1 und 3,3 m<sup>3</sup>/(t TS·a) (Ausnahme: Deponie Y, unsichere Datengrundlage). Zu diesem Zeitpunkt ist das Gaspotenzial der Deponien nahezu erschöpft, entweder durch die bereits über mehrere Jahre dauernde kontrollierte Entgasung oder durch unkontrollierte Gasmigrationen aus dem Deponiekörper bei fehlenden bzw. unzureichenden Abdichtungen. Bei Deponien mit qualifiziertem Oberflächenabschluss ist die durch den Niederschlag eingetragene Wassermenge gering, sodass die mikrobiologisch induzierte Gasproduktion schneller abnimmt als bei Deponien mit ausreichendem Wasserzutritt. Die Halbwertszeiten liegen bei durchschnittlich vier bis sechs Jahren.

## 7 Setzungen

Es liegen die Setzungsdaten der Deponien A, B und I vor. Zusätzlich stehen Daten von Setzungsmessungen einer Deponie Z zur Verfügung. Die Deponien A und B wurden nicht direkt nach Ende des Schüttnbetriebs vermessen, sondern erst 5 bzw. 4 Jahre später. Die ermittelten maximalen Setzungen der Deponie A und B betragen – bezogen auf die Abfallhöhe – durchschnittlich 2% (Messdauer 6 Jahre) bzw. 4% (Messdauer 4 Jahre).

Bei den Deponien I und Z liegen Messdaten über längere Zeiträume vor. Auf der Deponie I wurde mit den Setzungsmessungen bereits kurz nach Ende der Abfallschüttungen begonnen. Bei der Deponie Z war der Messbeginn ca. ein Jahr nach Ende der Abfallschüttungen. Daher liegen die maximalen Setzungen höher als bei den Deponien A und B. Zu Beginn der Setzungsmessungen stellten sich relativ große Setzungen von bis zu 5% pro Jahr ein. Im Laufe der Zeit nehmen die jährlichen Setzungen erwartungsgemäß ab. Bei der Deponie Z wurden mit Hilfe von vier Messpegeln maximale Setzungen von insgesamt 6,3 bis 9,6% ermittelt.

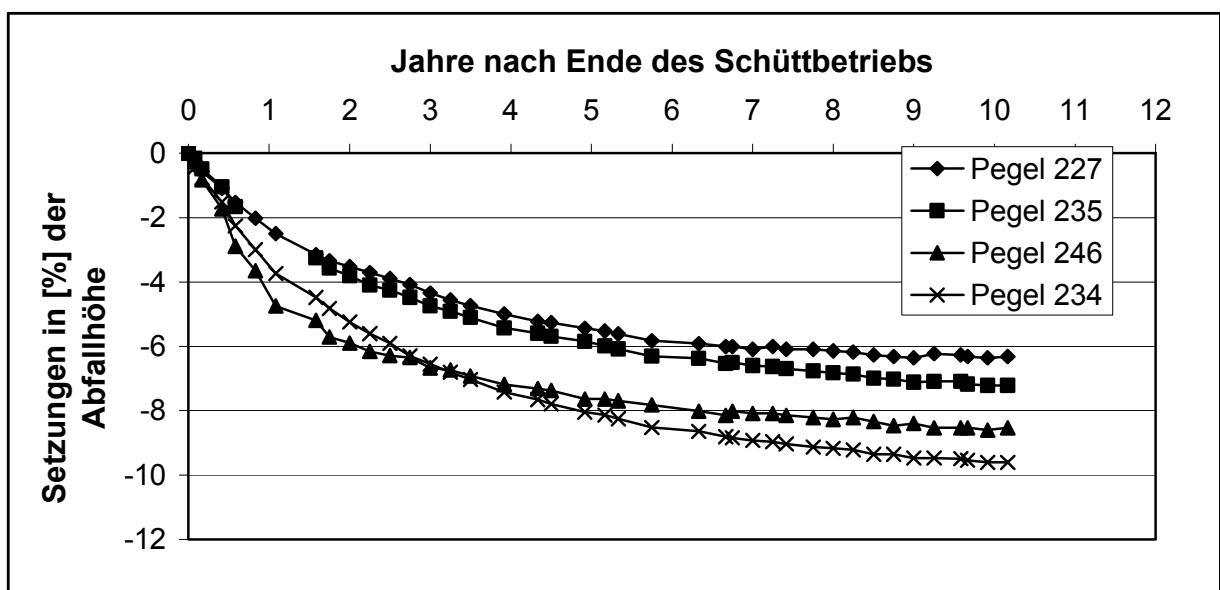


Abbildung 7.1: Ergebnisse der Setzungsmessungen auf der Deponie Z

Höhere Werte als bei der Deponie Z wurden bei der Deponie I gemessen. Hier wurden maximale Setzungen von 13% errechnet, vgl. Pegel 1 der Abbildung 7.2. Als Ursache für die größeren Setzungen ist vor allem der frühere Beginn der Setzungsmessungen zu nennen. Um eine Aussage über das langfristige Setzungsverhalten der Deponie I zu bekommen, wurden die Ergebnisse zweier Pegel (1 und 4) der Deponie I zusammengefasst und eine Extrapolation durchgeführt (vgl. LANDESUMWELTAMT, 2000). Nach 20 Jahren muss mit Setzungen von bis zu 28% gerechnet werden. Im Zeitraum zwischen 20 und 30 Jahren hat

sich der Abfallkörper nur noch um weitere 2% auf insgesamt 30% gesetzt. Demnach ist auf der Deponie I nach 20 Jahren mit keinen nennenswerten Setzungen mehr zu rechnen.

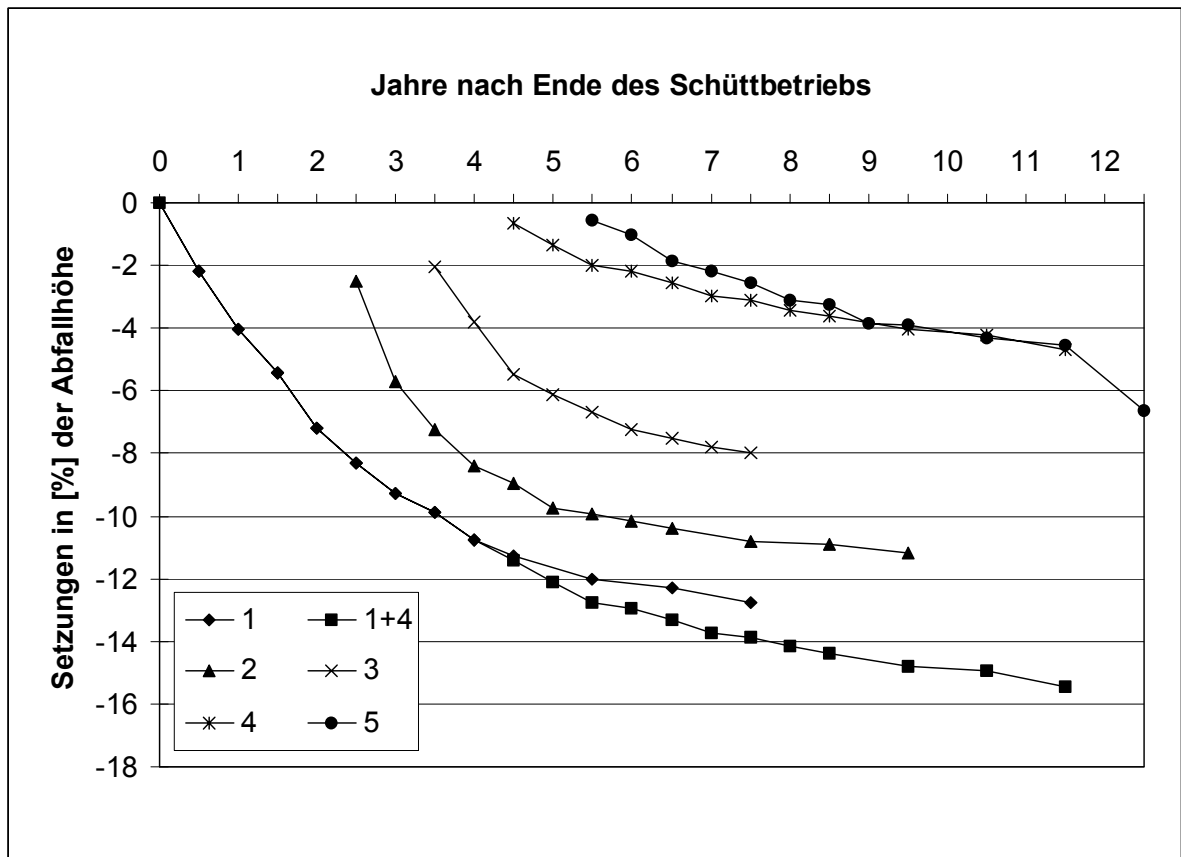


Abbildung 7.2: Ergebnisse der Setzungsmessungen der Deponie I

## 8 Laboruntersuchungen zur Beschreibung von langfristigen Depo- nieemissionen

### 8.1 Auslaugversuche

Mit Hilfe von Auslaugversuchen (Elutionsversuche) kann das mögliche Emissionspotenzial über den Wasserpfad bestimmt werden. Im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens Depo-  
niekörper (STEGMANN/HEYER, 1995) wurden Abfallproben aus den Deponien AA und M gewonnen. Zum Entnahmezeitpunkt lagerte der Abfall durchschnittlich 12 Jahre (Deponie AA) bzw. 31 Jahre (Deponie M) in der Deponie. Es wurden sowohl Einfach- als auch Mehr-  
fachelutionsversuche (nach DEV-S4) durchgeführt. In Tabelle 8.1 sind die Eluatkonzentrationen der **Einfachelution** von Feststoffproben der Deponien AA und M zusammengestellt.

Tabelle 8.1: Eluatkonzentrationen des 1. Auslaugzyklus. Feststoffproben der Deponien AA und M sowie Eluatkriterien nach TA Siedlungsabfall (Anhang B) für die Deponieklassen I und II (DK I, DK II), (STEGMANN, HEYER, 1997)

<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>Konzentrationsbereich Deponie AA</b>	<b>Konzentrationsbereich Deponie M</b>	<b>Konzentration TASi, Anh. B DK. I</b>	<b>Konzentration TASi, Anh. B DK. II</b>
<b>pH-Wert</b>	-	7,7 - 8,1	7,2 - 7,9	5,5 - 13,0	5,5 - 13,0
<b>Leitfähigkeit</b>	mS/cm	0,6 - 1,6	0,9 - 1,5	10	50
<b>TOC</b>	mg/l	92 – 320	91 - 250 (2050)	20	100
<b>BSB<sub>5</sub></b>	mg/l	41 – 150	55 - 194 (1100)	-	-
<b>CSB</b>	mg/l	303 – 971	263 - 696 (4606)	-	-
<b>TKN<sup>1)</sup></b>	mg/l	38 – 79	9,8 - 54 (295)	4 <sup>1)</sup>	200 <sup>2)</sup>
<b>Chlorid</b>	mg/l	70 – 224	18 - 71	-	-
<b>Sulfat</b>	mg/l	99 – 191	132 - 330	-	-
<b>AOX</b>	mg/l	0,44	-	0,3	1,5
<b>Blei</b>	mg/l	0,2 – 0,3	< 0,004 - 0,14	0,2	1
<b>Cadmium</b>	mg/l	0,001 – 0,005	< 0,004	0,05	0,1
<b>Chrom<sup>3)</sup></b>	mg/l	0,1	0,002 - 0,041	0,05	0,1
<b>Kupfer</b>	mg/l	< 0,05 - 0,18	0,04 - 0,39	1	5
<b>Nickel</b>	mg/l	< 0,1 – 0,12	-	0,2	1
<b>Quecksilber</b>	mg/l	<0,001 –0,0024	-	0,005	0,02
<b>Zink</b>	mg/l	< 0,1 - 1,2	-	2	5

<sup>1)</sup> Total Kjeldahl Nitrogen = Konzentration an Gesamt-Stickstoff als Summe aus organisch gebundenem Stickstoff und Ammonium-Stickstoff

<sup>2)</sup> Grenzwerte für Ammonium-Stickstoff

<sup>3)</sup> Analysenergebnisse für Chrom-III und Chrom-VI

Die Anforderungen an die Eluatkriterien der Deponiekategorie II werden mit Ausnahme des Parameter TOC erfüllt. Die organischen Konzentrationen insbesondere der jüngeren Abfälle

liegen meistens deutlich über dem Grenzwert und weisen auf zu erwartende Restemissionen biologisch verfügbarer Abfallbestandteile hin.

Die Konzentrationen der organischen Parameter und die Stickstoff-Konzentrationen liegen bei der Deponie M tendenziell etwas niedriger als bei der Deponie AA, was z.T. die Abhängigkeit vom Ablagerungszeitraum widerspiegelt. Eine Ausnahme bilden die Werte in Klammern, die aus einer Feststoffprobe der Deponie M aus 11 m Tiefe stammen. Diese Werte (sowie der zugehörige Glühverlust von 41% und der Kohlenstoffgehalt von 24%) zeigen, dass hier noch ein relativ hohes Emissionspotenzial vorliegt, d.h. dass während der Ablagedauer von 28 Jahren in dieser Ablagerungsschicht biologische Abbauprozesse nur in eingeschränktem Maße stattgefunden haben können.

Die Schwermetallkonzentrationen sind sehr gering, nur beim Blei werden die Grenzwerte der Deponieklasse I stellenweise überschritten.

Die Ergebnisse der **Mehrfachelution** zeigen, dass auch nach 19 Auslaugungen immer noch Organik- und Stickstoffverbindungen mobilisiert werden und eine vollständige Auslaugung nicht erreicht ist, siehe Abbildung 8.1. Auffällig ist, dass die TKN-Konzentrationen in Relation zu den übrigen Parametern nicht kontinuierlich abnehmen, sondern großen Schwankungen unterliegen. Dies konnte auch bei den Stickstoffkonzentrationen der Deponiesickerwässer beobachtet werden (vgl. Kapitel 3.7). Das langfristige Elutionsverhalten von Schwermetallen ist vom pH-Wert abhängig: Je niedriger der pH-Wert, desto höher die Mobilisierungsrate. Im neutralen pH-Bereich nahmen die Schwermetallkonzentrationen auch nach 10 Auslaugungszyklen nicht ab.

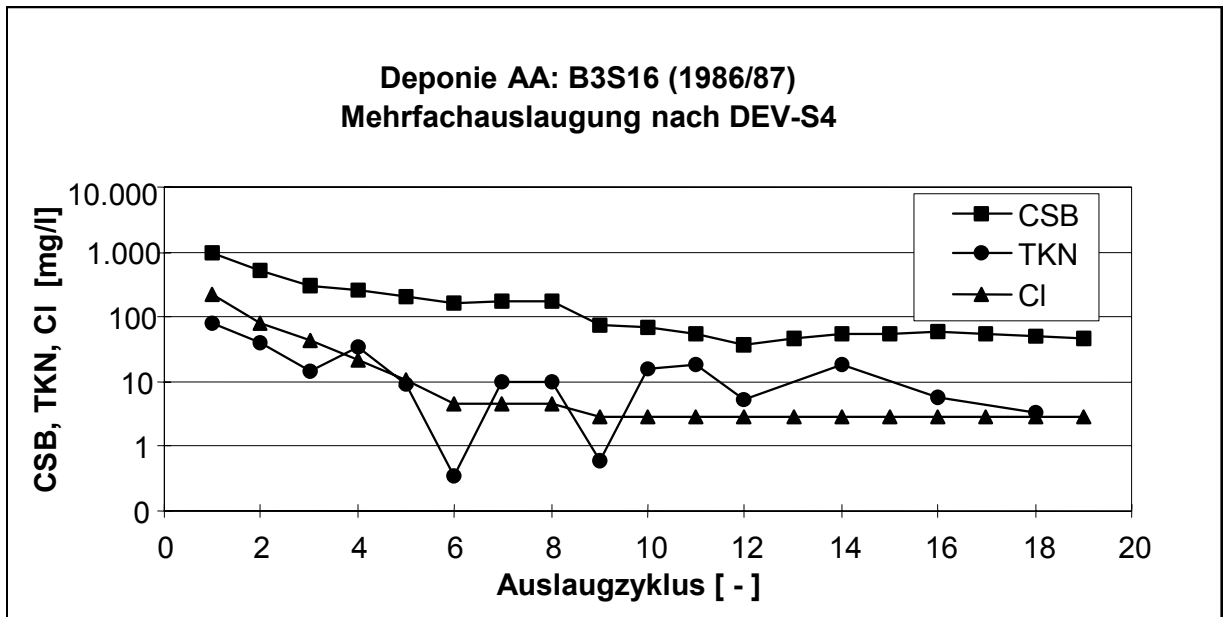


Abbildung 8.1: Auslaugverhalten der Feststoffprobe der Deponie AA am Beispiel der Parameter CSB, TKN und Chlorid, (STEGMANN, HEYER, 1997)

## 8.2 Ergebnisse der Versuche in den Deponiesimulationsreaktoren

Mit Hilfe von so genannten DeponieSimulationsReaktoren (DSR) können die im Deponiekörper ablaufenden Prozesse unter optimalen Bedingungen im Zeitraffer simuliert werden. Dabei werden die Sickerwasser- und Gasemissionen beobachtet. Die nachfolgend beschriebenen Versuche wurden im Arbeitsbereich Abfallwirtschaft an der TU Hamburg-Harburg im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens Deponiekörper durchgeführt. Für die Versuche wurde Abfall der Deponie AA verwendet.

Wichtige Ergebnisse der DSR-Versuche sind in der Abbildung 8.2 und der Abbildung 8.3 zu sehen. Dort sind die für die Parameter CSB, Kohlenstoff und Stickstoff die jeweiligen Feststoffgehalte, deren auslaugbarer Anteil bei der Mehrfachelution sowie die langfristig auftretenden Emissionen, die aufgrund der DSR-Versuche ermittelt wurden, aufgetragen. Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die organischen Verbindungen, bestimmt als chemischer Sauerstoffbedarf CSB und Kohlenstoffgehalt C, werden auch langfristig nur in geringen Anteilen (10 - 20 % des Feststoffgehalts) aus der Feststoffmatrix mobilisiert und über den Gas- oder Wasserpfad ausgetragen.
- Der Anteil des aus dem Feststoff mobilisierten Stickstoffs ist mit 20 bis 40% höher als bei den organischen Anteilen. Die Emissionsfreisetzung hängt wie beim Chlorid entscheidend vom Wasserhaushalt ab.

- Das leicht lösliche Chlorid wurde zu über 60% mit dem Sickerwasser ausgetragen. Der Chloridaustrag ist vergleichsweise schon am weitesten fortgeschritten und erreicht bald die Höhe des Auslaugpotenzials.

Der Emissionsverlauf der Deponiesimulationsreaktoren weist darauf hin, dass im Deponiekörper noch über lange Zeiträume eine Stofffreisetzung zu erwarten ist. Auf die Zeiträume, die bis zum Erreichen von vorgegebenen Konzentrationen und den korrespondierenden Emissionsfrachten u.U. auftreten, soll daher im folgenden Kapitel eingegangen werden.

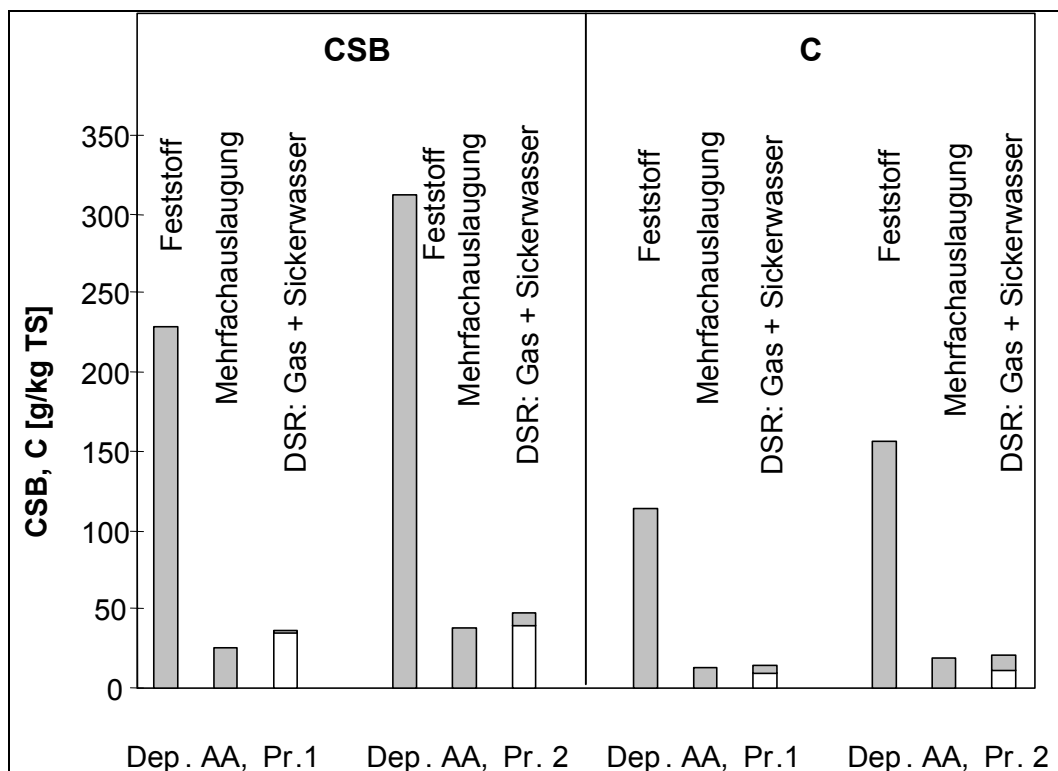


Abbildung 8.2: Vergleich der Feststoffgehalte, der maximal auslaugbaren Frachten sowie der Emissionen aus den Deponiesimulationsversuchen für die Parameter CSB und Kohlenstoff, (STEGMANN, HEYER, 1997).

helle Schraffur: Gas, dunkle Schraffur: Sickerwasser

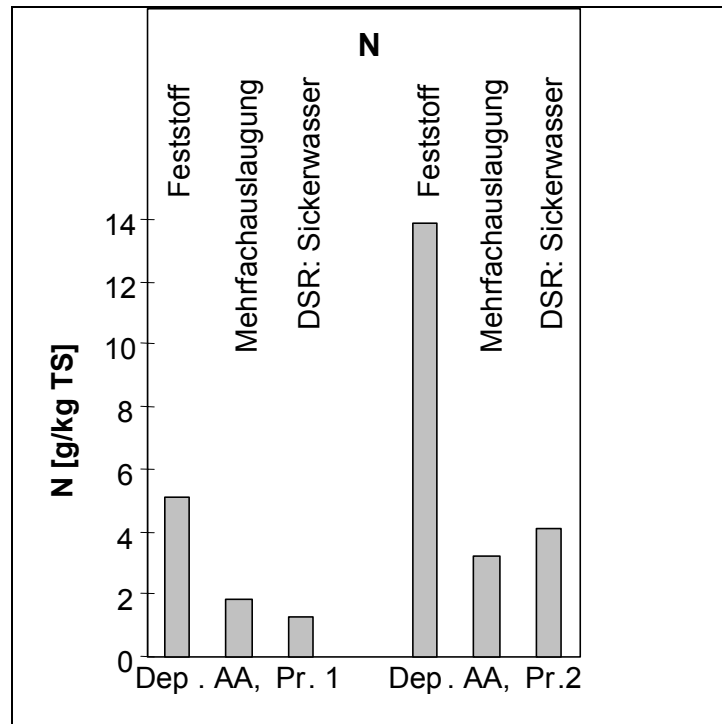


Abbildung 8.3: Vergleich der Feststoffgehalte, der maximal auslaugbaren Frachten sowie der Emissionen aus den Deponiesimulationsversuchen für den Parameter Stickstoff, (STEGMANN, HEYER, 1997)

## 9 Prognosen

Um die Ergebnisse aus den DSR-Versuchen auf die Verhältnisse im Deponiekörper übertragen zu können, müssen die Einflussfaktoren auf den zeitlichen Verlauf der Emissionen bekannt sein. Dies sind im wesentlichen:

- das Stoffpotenzial,
- der Wasserhaushalt im Deponiekörper und
- das Mobilisierungsverhalten.

Anhand von vereinfachenden Annahmen und mit Hilfe von Extrapolationen der Daten aus den DSR-Versuchen wurden durch Stegmann/Heyer die Zeiträume  $T_E$  abgeschätzt, ab denen die Konzentrationen des Anhangs 51 der Allgemeinen Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer unterschritten werden (vgl. LANDESUMWELTAMT, 2000). Die Zeiträume  $T_E$  sind in Tabelle 9.1 für die Parameter CSB, TKN, AOX und Cl angegeben. Außerdem sind die Konzentrationen des Anhangs 51, Konzentrationen zu Versuchsbeginn sowie die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  aufgeführt.



Tabelle 9.1: Abschätzung des Zeitraums  $T_E$  für die Parameter CSB, TKN, AOX und CI bis zum Erreichen der Grenzwerte des Anhangs 51 anhand der Ergebnisse aus den DSR-Versuchen, (STEGMANN, HEYER, 1997)

<b>Parameter</b>	<b><math>C_E</math></b> <b>Grenzwert</b>	<b><math>C_0</math></b> <b>Konzentration zu Ver-</b> <b>suchsbeginn</b>	<b><math>T_{1/2}</math></b> <b>Halbwertszeit</b>	<b><math>T_E</math></b> <b>Zeitraum</b>
	<b>[mg/l]</b>	<b>[mg/l]</b>	<b>[a]</b>	<b>[a]</b>
<b>CSB</b>	200 mg/l <sup>2)</sup>	500 - 49.000 Mittelwert: 5.100	25 - 96	<b>80 - 360</b> <b>Mittelwert: 160</b>
<b>TKN</b> <sup>1)</sup>	70 mg/l <sup>2)</sup>	200 - 4.700 Mittelwert: 1.200	40 - 150	<b>120 - 450</b> <b>Mittelwert: 250</b>
<b>CI</b>	100 mg/l <sup>3)</sup>	340 - 2.950 Mittelwert: 1.200	40 - 90	<b>90 - 250</b> <b>Mittelwert: 160</b>
<b>AOX</b>	500 µg/l <sup>2)</sup>	390 - 2.380 µg/l Mittelwert: 1.600µg/l	10 - 80	<b>30 - 210</b> <b>Mittelwert: 80</b>

<sup>1)</sup> Gesamtstickstoff, als Summe aus Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Stickstoff

<sup>2)</sup> Grenzwert des Anhang 51 (NN, 1998)

<sup>3)</sup> Immissionsgrenzwert der Schweiz, 1989

Für die einzelnen Parameter ergeben sich Zeiträume mit großer Bandbreite. Dies ist hauptsächlich auf die unterschiedlichen Ausgangskonzentrationen zurückzuführen. Für den CSB-Verlauf im Sickerwasser werden Zeiträume von 80 - 360 Jahren abgeschätzt, bis umweltverträgliche Konzentrationen erreicht werden. Bei Chlorid liegen die Zeiträume bei 90 bis 250 Jahren. Die AOX-Belastungen, die mit dem Rest-CSB einen erhöhten technischen Aufwand bei der Sickerwasserreinigung erfordern, werden in kürzeren Zeiträumen (Mittelwert: 80 Jahre) die im Anhang 51 geforderte Konzentration von 500 µg/l unterschreiten.

Der Stickstoffgehalt, bestimmt als TKN, beansprucht bis zum Erreichen der gewählten Konzentration von 70 mg/l den größten Zeitraum von 120 bis zu etwa 450 Jahren. Auch im relativen Vergleich der Mittelwerte aus der Bandbreite der zeitlichen Abschätzungen liegt der Zeitraum für den TKN mit etwa 250 Jahren deutlich über den Zeiträumen aller anderen untersuchten Parameter.

Diese Ergebnisse aus den DSR-Versuchen können mit den Ergebnissen der Sickerwasserkonzentrationen aus Kapitel 3 verglichen werden und sind in Tabelle 9.2 zusammengestellt. Aus den Tabellen geht hervor, dass der Austrag der Stickstoffkonzentrationen im Vergleich zu den anderen untersuchten Parametern am längsten dauert. Damit ist Stickstoff der für die Dauer der Nachsorgephase maßgebliche Parameter.

Tabelle 9.2: Abschätzung des Zeitraums  $T_E$  für die Parameter CSB, TKN, AOX und CI bis zum Erreichen der Grenzwerte anhand der Ergebnisse aus den Sickerwasseruntersuchungen

<b>Parameter</b>	<b><math>C_E</math></b> <b>Grenzwert</b>	<b><math>C_0</math></b> <b>Konzentration zu Versuchs-</b> <b>beginn</b>	<b><math>T_{1/2}</math></b> <b>Halbwertszeit</b>	<b><math>T_E</math></b> <b>Zeitraum</b>
	<b>[mg/l]</b>	<b>[mg/l]</b>	<b>[ a ]</b>	<b>[ a ]</b>
<b>CSB</b>	200 mg/l <sup>2)</sup>	800-10.000	6-20	<b>33-106</b>
<b>TKN</b> <sup>1)</sup>	70 mg/l <sup>2)</sup>	0-2.500	> 20	<b>Jahrzehnte</b>
<b>CI</b>	100 mg/l <sup>3)</sup>	500-4.000	10-20	<b>Jahrzehnte</b>
<b>AOX</b>	500 µg/l <sup>2)</sup>	µg/l	> 10	<b>30-40</b>

Insgesamt sind die Zeiträume  $T_E$  aus den Sickerwasseruntersuchungen etwas geringer als die Zeiträume aus den DSR-Versuchen. Zum Vergleich seien die Untersuchungsergebnisse von KRUSE (1994) sowie BELEVI/BACCINI (1989) zitiert. Die Ergebnisse von Kruse stimmen mit den Ergebnissen aus den DSR-Versuchen relativ gut überein. Ähnliche Werte ermittelten BELEVI/BACCINI, jedoch mit Ausnahme des Zeitraum  $T_E = 1.700$  Jahre für den CSB. Ob die geringe Halbwertszeit für den CSB (BELEVI/BACCINI) den Deponiebedingungen gerecht werden, ist jedoch fraglich.

## 10 Schlussfolgerungen

### 10.1 Setzungsverhalten

Nach der TA Siedlungsabfall ist auf Altdeponien nach Verfüllung eines Deponieabschnitts ein Oberflächenabdichtungssystem aufzubringen (Nr. 11.2.1 h), das den Anforderungen für Deponien der Klasse II nach den Nummern 10.4.1.1 Abs. 2ff, 10.4.1.2 und 10.4.1.4 entsprechen muss. Ausnahmen werden unter Nummer 11.2.4 h genannt:

- *„Wenn große Setzungen erwartet werden, kann bis zum Abklingen der Hauptsetzungen eine Abdeckung vorgenommen werden. Die Abdeckung soll Sickerwasserbildung minimieren und Deponiegasmigration verhindern.“*
- *„Für Deponieabschnitte, die ... bereits rekultiviert sind, sind Ausnahmen zulässig, wenn nachgewiesen wird, dass das anfallende Sickerwasser hinsichtlich Menge und Qualität zu keiner Gewässerbeeinträchtigung führt.“*

Aus den Ergebnissen der Setzungsmessungen ist bekannt (vgl. Kapitel 7), dass bei den Deponien über mehrere Jahrzehnte hinweg mit Setzungen zu rechnen ist. Um Schäden an der Oberflächenabdichtung zu vermeiden, sollte nach Ende des Schüttnetriebs zunächst eine temporäre Abdeckung der Oberfläche vorgenommen werden. Nach den hier vorliegenden Daten sollten bis zum Aufbringen einer Endabdichtung bei Siedlungsabfalldeponien mit  $\geq 40\%$  Siedlungsabfällen mindestens zehn Jahre vergehen. Währenddessen muss der Rück-

gang der Setzungen anhand von Messungen dokumentiert werden. Ein Vorteil dieses relativ langen Zeitraums besteht darin, dass sich die Ursache für die Setzungen, d.h. die Volumenreduktion infolge der Gasproduktion, bei aktiver Entgasung nach zehn Jahren nur noch auf einem geringen Niveau befindet (siehe Abbildung 6.1). Deponien, bei denen der Anteil an Siedlungsabfällen gering ist, haben insgesamt geringere Setzungen zu erwarten. Hier kann die Zeit bis zum Aufbringen der endgültigen Oberflächenabdichtung unter zehn Jahre verkürzt werden. Aber auch in diesen Fällen müssen Setzungsmessungen zur Dokumentation des Setzungsverhaltens durchgeführt werden.

Das eingesetzte mineralische Abdichtungsmaterial muss in der Lage sein, die auftretenden Verformungen bei voller Funktionsfähigkeit aufzunehmen. Nach TA Siedlungsabfall ist ein Verformungsnachweis für das mineralische Abdichtungsmaterial zu führen. Der Verformungsnachweis erfolgt gemäß den Empfehlungen des AK GDA, E 2-13 (GDA, 1997). Nach der Richtlinie „Mineralische Deponieabdichtungen“ (LWA, 1993) kann dieser Nachweis entfallen, „wenn bei mindestens mittelplastischem, feinkörnigem Boden der zu erwartende Krümmungsradius den Wert von  $R = 200$  m nicht unterschreitet“.

## **10.2 Einfluss von Oberflächenabdichtungen/-abdeckungen auf das Emissionsverhalten von Deponien**

Die vorrangige Aufgabe der Oberflächenabdichtung ist es, die Sickerwasserbildung zu minimieren sowie die Deponiegasmigration zu verhindern. Unter den oben genannten Gesichtspunkten sind auch temporäre Oberflächenabdeckungen möglich, die jedoch den Anforderungen der TA Siedlungsabfall an die Oberflächenabdichtung nicht genügen und daher je nach konstruktiver Ausbildung auch wasser- bzw. gasdurchlässig sein können.

Die vorgestellten Deponien verfügen über keine TA Siedlungsabfall-konforme Oberflächenabdichtung, sondern wurden mit Oberflächenabdeckungen unterschiedlicher Qualität versehen. Die Ergebnisse aus Kapitel 4 zeigen, dass Oberflächenabdeckungen mit niedrigen Wasserleitfähigkeiten zur Reduzierung der Sickerwasserbildung führen können. Eine weitere Reduktion kann erreicht werden, wenn die Oberfläche profiliert, d.h. mit einem entsprechenden Gefälle versehen wurde, sodass das der Hauptteil des Niederschlags als Oberflächenwasser abgeführt werden kann und nicht in den Abfallkörper eindringt. Mit einer qualifizierten Oberflächenabdeckung ist es auch möglich, die Gasfassungsrate deutlich zu erhöhen und damit die Gasemissionen zu reduzieren (vgl. Kapitel 6).

Der Zeitpunkt für das Aufbringen einer temporären Oberflächenabdeckung ist von den Randbedingungen der einzelnen Deponie abhängig. Bei fehlender Basisabdichtung ist anzustreben, die temporäre Abdeckung sofort nach Ende der Verfüllung aufzubringen. Des

Weiteren ist in diesem Fall die temporäre Abdeckung nahezu wasserundurchlässig auszuführen (vgl. LAGA-Arbeitspapier „Temporäre Oberflächenabdeckungen“ (LAGA, 2000)).

Eine funktionstüchtige Oberflächenabdichtung (-deckung) mit geringer Wasserleitfähigkeit kann langfristig zu einer Austrocknung des Abfallkörpers führen. Dadurch verlangsamt sich der Wasseraustausch im Deponiekörper, der mikrobiologische Abbau reduziert sich und kommt u.U. zum Erliegen. Dies ist bei Deponien, die noch über einen großen Anteil an biologisch abbaubarer Substanz verfügen, nicht wünschenswert. Hier besteht das Interesse, die mikrobiologischen Abbauprozesse sowie den Wassertransport weiterhin aufrecht zu erhalten, um die Schadstoffe über den Gas- und Sickerwasserpfad auszuschleusen und den Abfallkörper innerhalb eines kontrollierbaren Zeitraumes zu stabilisieren und das langfristige Emissionspotenzial der Deponie zu reduzieren.

### **10.3 Nachsorgedauer**

Die TA Siedlungsabfall sieht keine Qualitätskriterien vor, wonach das Ende der Nachsorge festgelegt werden kann. Grundvoraussetzung für die Entlassung der Deponie aus der Nachsorge ist, dass über die verschiedenen Emissionspfade keine umweltgefährdende Wirkung mehr ausgeht.

Den Untersuchungsergebnissen zufolge werden Schadstoffe über den Gas- und Sickerwasserpfad noch nach mehreren Jahrzehnten aus dem Deponiekörper ausgetragen. Nach Ende des Schüttnbetriebs wird zunächst eine intensive Nachsorgephase von ca. 20 bis 30 Jahren erforderlich sein, während der die bestehenden Entgasungs- und Sickerwasserreinigungsanlagen noch weiter betrieben werden. Danach ist mit nennenswerten Emissionen nur noch über den Sickerwasserpfad zu rechnen.

Für die Parameter CSB, TKN, AOX sowie Chlorid wurden auf der Grundlage der Deponieüberwachungsdaten sowie der DSR-Versuche Nachsorgezeiträume berechnet. Als Grenzwerte wurden die Konzentrationen des Anhangs 51 bzw. für den Parameter Chlorid der Schweizer Grenzwert zu Grunde gelegt. Es zeigt sich, dass mit einem Nachsorgezeitraum von 40 bis 450 Jahren gerechnet werden muss (vgl. Tabelle 9.1 und Tabelle 9.2), wobei der Parameter Stickstoff die mit Abstand längste Zeit benötigen wird, bis er die Konzentration unterschritten haben wird. Die Summenparameter CSB und AOX werden im Regelfall bereits früher die Grenzwerte für die Direkteinleitung einhalten. Dies bedeutet, dass Stickstoff derjenige Parameter ist, der die Dauer der Nachsorge bestimmen wird.

Das Ende der Nachsorge für den Sickerwasserpfad kann angenommen werden, wenn die Sickerwasserkonzentrationen aus der langjährigen Überwachung die Grenzwerte des Anhangs 51 dauerhaft unterschreiten (Voraussetzung: Abfluss des Sickerwassers in freiem Gefälle!). Dann ist eine Direkteinleitung des Sickerwassers in einen Vorfluter möglich. In der Regel ist der Betrieb von herkömmlichen Sickerwasserreinigungsanlagen kostenintensiv. Es ist daher zu prüfen, ob diese Anlagen für die Reinigung der noch verbleibenden Stoffe (v.a. CSB, NH<sub>4</sub>, AOX) weiterhin notwendig sind oder ob mit kostengünstigeren, alternativen Reinigungsverfahren der gleiche Behandlungserfolg erzielt werden kann.

Über den Gaspfad ist nach Ende der Verfüllung noch mehrere Jahrzehnte mit einem Austrag an umweltrelevanten Stoffen zu rechnen. Dabei werden die Gasproduktion und die Methankonzentration im Laufe der Zeit abnehmen. Es wird für mehrere Jahrzehnte Deponiegas mit Produktionsraten unter 0,5 bis 1,0 m<sup>3</sup> Gas pro t Abfall und Jahr und/oder einer Methankonzentration unter 25 bis 38 Vol.-% erwartet (vgl. EHRIG, 1999). Dieses Gas wird als Schwachgas bezeichnet. Die Behandlung des langfristig entstehenden Schwachgases mit Hilfe thermischer oder biologischer Methanoxidation wird derzeit kontrovers diskutiert. Unstrittig ist der große finanzielle Aufwand für die Behandlung des Schwachgases.

Ziel sollte es daher sein, das Emissionspotenzial von Altdeponien durch entsprechende Maßnahmen frühzeitig zu minimieren. Dazu gehört die Schadstoffentfrachtung durch optimale mikrobiologische Abbaubedingungen und gezielte Ausschleusung der Stoffe über den Gas- und Sickerwasserpfad. Konstruktive Maßnahmen biologische Stabilisierung des Abfalls (z.B. durch Belüftung) können zu einer raschen Reduktion des Emissionspotenzials und zur Verkürzung der Nachsorgedauer eingesetzt werden.

## 11 Literatur

BELEVI, H, BACCINI, P. (1989): Longterm Behaviour of Municipal Solid Waste Landfills, Waste Management and Research 7, S. 483-499.

DRITTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM ABFALLGESETZ (TA SIEDLUNGSABFALL), Bundesratsdrucksache 594/92 vom 31.08.1992.

EHRIG, H.-J. (1980): Beitrag zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt von Mülldeponien, Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig, Heft 26, 2. erweiterte Auflage.

EHRIG, H.-J. (1999): Beseitigung von Schwachgas aus Altdeponien unter Einbeziehung konkreter Fallbeispiele in NRW. Bericht des Fachgebiets Abfall- und Siedlungswasserwirtschaft der BUGH Wuppertal im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen.

EHRIG, H.-J., BRINKMANN, U. (1999): Verbundvorhaben Deponiekörper. Zusammenfassender Abschlußbericht zum Arbeitsgebiet Siedlungsabfälle (Teilvorhaben 3-7) in: Nachsorge von Deponien, Maßnahmen, Dauer, Kosten. Hrsg. Rettenberger et al., Reihe abfall aktuell, Band 2, Verlag Abfall aktuell.

GDA (1997): Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.

KLOKE, A. (1993): Bewertungskriterien für die Beurteilung schwermetallkontaminierter Böden. Handbuch der Altlastensanierung, Band 2, 4.1.3.1, 1993.

KRUSE, K. (1994): Langfristiges Emissionsgeschehen von Siedlungsabfalldeponien. Dissertation im Fachbereich 6 der Technischen Universität Braunschweig. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Heft 54.

LAGA (2000): LAGA-Arbeitsgruppe zu Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen sowie weiteren Fragen. Arbeitspapier „Themenbereich Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen: Temporäre Oberflächenabdeckungen“. Erlass des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen vom 14.04.2000, Az. IV A 4-541.1.

LANDESUMWELTAMT (2000): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Langfristiges Emissionsverhalten von Altdeponien. Studie des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen. LUA-Materialien Band Nr. xx.

LWA (1993): Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinie „Mineralische Deponieabdichtungen“, Nr. 18.

N.N. (1998): Anhang 51: Oberirdische Ablagerung von Abfällen. Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer. 2. Verordnung zur Änderung der Abwasserverordnung vom 22.12.98.

PFEIFER, S. (1989): Biogeochemische Regulation der Spurenmetalllöslichkeit während der anaeroben Zersetzung fester kommunaler Abfälle. Dissertation Universität Bayreuth.

STEGMANN, R., HEYER, K.-U. (1995): Langfristiges Gefährdungspotenzial und Deponieverhalten von Ablagerungen, in: BMBF-Statusseminar Deponiekörper, April 1995, Band 1 des Fachgebiets Abfall- und Siedlungswasserwirtschaft, Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal.

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1997): Verbundvorhaben Deponiekörper, 2. Statusseminar, Berlin.

**Seit 1. April 1994 sind bisher folgende Merkblätter im Landesumweltamt NRW erschienen:**

1	Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Bodenproben	15,00 DM
2	Betrieb und Unterhaltung von mechanisch-biologischen Kläranlagen	15,00 DM
3	Abwasserbeseitigung im Außenbereich (Kleinkläranlagen)	15,00 DM
4	Leitfaden für die Abwicklung der Luftreinhalteplanung in NRW	15,00 DM
5	Leitfaden für die Vorgehensweise bei akuten Dioxin-Schadensfällen	15,00 DM
6	Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) in Böden, Schlämmen, Sedimenten und Abfällen	15,00 DM
7	Anforderungen an die Verwendung von Stahlwerksschlacken im Wasserbau	15,00 DM
8	Anforderungen an biologische Bodenbehandlungsanlagen nach dem Mietenverfahren	20,00 DM
9	Anforderungen an Sachverständige bei der Bearbeitung von Altlasten (Stand Juli 1997)	15,00 DM
10	Geräuschimmissionsprognose von Sport- und Freizeitanlagen – Berechnungshilfen –	15,00 DM
11	Richtlinie – Schnittstellenspezifikation für die Vorlage von Betriebskenndaten bei der nach § 3 Abs. 1 zuständigen Behörde gemäß Deponieselbstüberwachungsverordnung	30,00 DM
12	Merkblatt zur Anwendung der TA Siedlungsabfall bei Deponien	30,00 DM
13	Bemessung kommunaler Kläranlagen – Hinweise für die Bemessung von Belebungsanlagen mit dem Programm ARA-BER (Version 4.0)	15,00 DM
14	Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen Kartieranleitung	30,00 DM
15	Simulation kommunaler Kläranlagen – Hinweise zur Anwendung der dynamischen Simulation am Beispiel von SIMBA –	20,00 DM
16	Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens	30,00 DM
17	Leitbilder für kleine bis mittelgroße Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen Gewässerlandschaften und Fließgewässertypen	30,00 DM
18	Ökologische Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken	20,00 DM
19	Anforderungen an raumlufttechnische Maßnahmen mit Gasabscheidung in Chemischreinigungen	20,00 DM
20	Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von Säulenversuchen gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)	20,00 DM
21	Praxisleitfaden zum Einsatz der Ionenmobilitätsspektrometrie bei der Untersuchung von Rüstungsaltlasten	25,00 DM
22	Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze	30,00 DM
23	Abwasserbehandlung in Pflanzenanlagen	20,00 DM
24	Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten – Teil I: Außenbereiche	30,00 DM
25	Leitfaden zur Prognose von Geräuschen bei der Be- und Entladung von LKW	30,00 DM
26	Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer	30,00 DM
27	Umweltgerechte Entsorgung lösemittelhaltiger Textilflusen aus Chemischreinigungen	25,00 DM
28	Analytische Qualitätssicherung (AQS) für die Wasseranalytik in NRW	30,00 DM
29	Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens Teil 2: Mittelgroße bis große Fließgewässer – Gewässerabschnitte und Referenzstrukturen	40,00 DM



30	Klassifikation der aquatischen Makrophyten der Fließgewässer von Nordrhein-Westfalen gemäß den Vorgaben der EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie	30,00 DM
31	Leitfaden zur Durchführung der Abwasserprobenahme in NRW	25,00 DM
32	Vegetationskundliche Leitbilder und Referenzgewässer für die Ufer- und Auenvegetation der Fließgewässer von Nordrhein-Westfalen	30,00 DM
33	Leitfaden für die Beurteilung des Emissionspotenzials von Altdeponien	10,00 €

