



Publikationen des
Umweltbundesamtes

**Deponienachsorge -
Handlungsoptionen, Dauer,
Kosten und quantitative
Kriterien für die Entlassung
aus der Nachsorge**

Forschungsprojekt im Auftrag
des Umweltbundesamtes
FuE-Vorhaben
Förderkennzeichen 204 34 327

März 2006

**Rainer Stegmann
Kai-Uwe Heyer
Karsten Hupe
Achim Willand**

**Umwelt
Bundes
Amt** 
Für Mensch und Umwelt

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Abfallwirtschaft

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 204 34 327

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und
quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“

ABSCHLUSSBERICHT

von:	in Zusammenarbeit mit:
Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann	Dr. Achim Willand
Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer	
Dr.-Ing. Karsten Hupe	

Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft	Rechtsanwälte Gaßner,
<i>Prof. R. Stegmann und Partner</i>	Groth, Siederer & Coll.
Hamburg	Berlin

IM AUFTRAG DES UMWELTBUNDESAMTES

März 2006

Berichtsblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge	
3b. Titel der Publikation -	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Stegmann, Rainer; Heyer, Kai-Uwe; Hupe, Karsten; Willand, Achim	5. Abschlussdatum des Vorhabens März 2006
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) -	6. Veröffentlichungsdatum -
	7. Form der Publikation -
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft <i>Prof. R. Stegmann und Partner</i> Schellerdamm 19 – 21 21079 Hamburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen UFOPLAN-Nr. 204 34 327
	11a. Seitenzahl Bericht 172
	11b. Seitenzahl Publikation -
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Umweltbundesamt Postfach 1406, 06813 Dessau	12. Literaturangaben 61
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 12 06 29, 53048 Bonn	14. Tabellen 20
	15. Abbildungen 10
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen bedürfen Deponien der Nachsorge. In der Studie werden konkrete Handlungsoptionen geeigneter Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen aufgezeigt und Abschätzungen resultierender Nachsorgezeiträume vorgenommen. Weiterhin werden Vorschläge zur Ableitung quantitativer Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge unterbreitet, wobei nicht nur das Emissionsverhalten und die technischen Anforderung an Deponien, sondern auch die rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen einbezogen werden. Neben MBA-Deponien, MVA-Schlacke-deponien, Boden und Bauschuttdeponien werden insbesondere herkömmliche Siedlungsabfall-deponien, wie sie in Deutschland bis zum Mai 2005 betrieben wurden, betrachtet. Zum Ende der Nachsorge sollten Deponien derart beschaffen sein, dass die biologischen Prozesse und sonstigen Umsetzungs- oder Reaktionsprozesse nicht nur aktuell weitgehend abgeklungen sind, sondern dass grundsätzlich sichergestellt ist, dass derartige Prozesse durch ungünstige Umstände auch zukünftig nicht wieder reaktiviert werden können. Eine Wasserinfiltration und eine aerobe in situ Stabilisierung können diesbezüglich zu einer positiven Beeinflussung des Emissionsverhaltens führen. Die Vorschläge für Nachsorgekriterien zur Beendigung der Deponienachsorge werden für das Emissionsverhalten, die technischen Barrieren und Untergrundbedingungen und die zulässigen Immissionen entwickelt. Sie ermöglichen eine Entlassung aus der Deponienachsorge in überschaubaren Zeiträumen bei Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Grundwasserschutzes.	
19. Schlagwörter Deponienachsorge, Stilllegungsmaßnahmen, Emissionsverhalten, in situ Stabilisierung, Rückstellungen, Nachsorgezeiträume, Entlassungskriterien, Nachsorgefreiheit, Grundwasserschutz	
20. Verlag -	21. Preis -

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN UBA-FB	2. Type of Report Final Report
3a. Report Title Landfill aftercare – options for action, duration, costs and quantitative criteria regarding the release from aftercare	
3b. Title of Publication -	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Stegmann, Rainer; Heyer, Kai-Uwe; Hupe, Karsten; Willand, Achim	5. End of Project March 2006
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) -	6. Publication Date -
	7. Form of Publication -
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft Consultants for Waste Management <i>Prof. R. Stegmann und Partner</i> Schellerdamm 19 – 21 21079 Hamburg	9. Originator's Report No. -
	10. Reference No. UFOPLAN-Nr. 204 34 327
	11a. No. of Pages Report 172
	11b. No. of Pages Publication -
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Postfach 1406, 06813 Dessau	12. No. of References 61
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 12 06 29, 53048 Bonn	14. No. of Tables 20
	15. No. of Figures 10
16. Supplementary Notes -	
17. Presented at (Title, Place, Date) -	
18. Abstract Subsequent to site-closure measures, landfills require aftercare. This study presents concrete options for action in view of suitable site-closure and aftercare measures and assessments of the resulting aftercare periods. Furthermore, proposals regarding the deduction of quantitative criteria for the release from aftercare are submitted. These proposals do not only consider the emission behaviour and technical demands on landfills, but also general legal and economic conditions. Besides MBT landfills, waste incineration slag landfills, soil and construction waste landfills and particularly conventional residential waste landfills, which have been operated in Germany until May 2005, are examined. At the end of aftercare measures, landfills should be in such a state that biological processes and other conversion or reaction processes are not only currently completed to the largest possible extent, but also that it is basically ensured that such processes may not be reactivated in the future as a result of unfavourable circumstances. In this respect, water infiltration and aerobic in situ aeration may exert a positive influence on the emission behaviour. The proposals for aftercare criteria for the termination of landfill aftercare are developed for the emission behaviour, technical barriers, subsoil conditions and permissible immissions. They enable the release from landfill aftercare within reasonable periods of time, preserve the collective good and, in particular, maintain groundwater protection.	
19. Keywords Landfill aftercare, site-closure measures, emission behaviour, in situ stabilisation, reserves, aftercare periods, release criteria, freedom from aftercare, groundwater protection	
20. Publisher -	21. Price -

Inhalt

Berichtsblatt

Document Control Sheet

	Inhaltsübersicht	1
	Verzeichnis der Abbildungen	5
	Verzeichnis der Tabellen	6
	Abkürzungen	8
1	Einleitung	10
1.1	Aufgabenstellung	10
1.2	Problemanalyse und einführende Thesen	12
1.3	Schwerpunkte der Studie	16
1.4	Planung und Ablauf des Vorhabens	17
1.5	Wissenschaftlicher und technischer Stand	17
1.6	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	18
2	Methodik der Vorgehensweise	19
2.1	Deponietypen und Fallgruppen	19
2.2	Schutzgutbetrachtung und –abwägung	19
2.3	Methodisches Vorgehen	21
2.4	Allgemeine Nachsorgeziele	22
3	Technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen	24
3.1	Technische Rahmenbedingungen der Stilllegung und Nachsorge	24
3.1.1	Stilllegungsmaßnahmen	24
3.1.2	Nachsorgemaßnahmen	27
3.2	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen zur Stilllegung und Nachsorge	28

4	Stand des Wissens und Prognosen zum Deponieverhalten	32
4.1	Emissionsverhalten von Deponien	32
4.1.1	Erläuterung zu den Deponietypen	33
4.1.2	Stoffzusammensetzung unterschiedlicher Abfallgruppen	33
4.1.3	Eluate unterschiedlicher Abfallgruppen	35
4.1.4	Sickerwasser	37
4.1.5	Deponiegas	42
4.2	Setzungen	45
4.3	Prognose und Beeinflussung des Langzeitemissionsverhaltens	48
4.3.1	Prognose langfristiger Sickerwasseremissionen bei Hausmülldeponien	50
4.3.2	Prognostizierte Sickerwasseremissionen im Vergleich	55
4.3.3	Beeinflussung der Sickerwasseremissionen durch Infiltration	58
4.3.4	Beeinflussung der Emissionen und Setzungen durch aerobe in situ Stabilisierung	60
5	Rechtliche Rahmenbedingungen der Deponienachsorge	65
5.1	Allgemeine Schutzerfordernisse und technische Standards	65
5.2	Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge nach § 13 Abs. 5 DepV	68
5.3	Normatives Leitbild der „stillgelegten Deponie“	72
5.3.1	Emissionsverhalten	72
5.3.2	Nachsorgezeitraum und –ressourcen	73
5.4	Allgemeine Erfordernisse des Gewässerschutzes	75
5.4.1	Gefahrenabwehr und Vorsorge zur Verhinderung von Gewässerbeeinträchtigungen	76
5.4.2	Untergesetzliche Standards des Gewässerschutzes	78
5.4.2.1	Grundwasserschutz	79
5.4.2.2	Schutz von Oberflächengewässern	81
5.4.3	Kriterium für das Ausmaß von Gewässerbeeinträchtigungen: Konzentrations- oder Frachtwerte?	82

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

5.5	Abwägung zwischen Belangen des Gewässerschutzes und der Abfallbeseitigung	87
5.6	Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen zum Gewässerschutz im Zuge der Deponiestilllegung und –achsorge	88
5.6.1	Notwendigkeit einer Gesamtbewertung des Stilllegungs- und Nachsorgekonzepts	89
5.6.2	„Erforderlichkeit“ von Stilllegungs- und Nachsorgemodellen	91
5.6.3	„Angemessenheit“ von Stilllegungs- und Nachsorgemodellen	92
5.7	Spielräume zur Realisierung von Alternativkonzepten (Stabilisierung) im Rahmen des geltenden Rechts	93
5.7.1	Zeitpunkt des Aufbringens der Oberflächenabdichtung	94
5.7.2	Infiltration	96
5.7.3	Belüftung	97
5.7.4	Modifizierung der Oberflächenabdichtung (§ 14 Abs. 6 DepV)	98
5.8	Ergebnisse der rechtlichen Betrachtungen (Schwerpunkt Gewässerschutz)	99
5.8.1	Rechtliche Maßstäbe für die Entwicklung von quantitativen Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge	99
5.8.2	Rechtlich-methodische Hinweise zur Gewinnung quantitativer Kriterien	101
6	Beispielhafter Vergleich zwischen DepV-Modell und Alternativkonzepten	103
6.1	Randbedingungen für unterschiedliche Szenarien zur Stilllegung und Nachsorge	103
6.2	Ergebnisse zum Vergleich des Emissionsverhaltens	108
6.3	Ergebnisse zum Vergleich der Stilllegungs- und Nachsorgekosten	113
6.4	Zusammenfassender Vergleich zwischen „DepV-Modell“ und Alternativkonzepten	118
7	Leitsätze für die Entwicklung der quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge	121

8	Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge	123
8.1	Struktur der Nachsorgekriterien	123
8.1.1	Generelle Vorgaben, Abfallkörper und Emissionsverhalten	123
8.1.2	Standortspezifische Randbedingungen	124
8.2	Vorschläge für quantitative Nachsorgekriterien zum Emissionsverhalten	125
8.2.1	Sickerwasser	125
8.2.2	Deponiegas	137
8.2.3	Abfallfeststoff	142
8.2.4	Setzungen / Sackungen	148
8.3	Technische Anforderungen	153
8.3.1	Untergrund und hydrologische Randbedingungen	153
8.3.2	Basisabdichtung	153
8.3.3	Sickerwasserfassung	154
8.3.4	Gaserfassung	155
8.3.5	Oberflächenabdichtung und Rekultivierung	155
8.3.6	Infrastruktur, Rückbau entbehrlicher Anlagen	157
8.3.7	Standicherheit und geomechanische Stabilität des Deponiekörpers	157
8.3.8	Beurteilung der Kriterien an technische Barrieren und Notwendigkeit zur Fortschreibung	158
9	Zusammenfassung, Handlungsbedarf und Ausblick	159
9.1	Zusammenfassung	159
9.2	Ausblick	161
9.2.1	Überlegungen zu Rechtsänderungen	161
9.2.2	Zukünftige Bearbeitungsschritte	165
10	Literatur	167

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 2.1:	Konzeptschema „Emission, Transmission, Immission“ (Leitfaden „Bewertungshilfe für Deponien“, MUNLV NRW, 2001)	21
Abb. 3.1:	Regelaufbau der Oberflächenabdichtungssysteme gemäß Deponieklassen 0 – III der Deponieverordnung (DepV, 2002)	25
Abb. 4.1:	Hauptkomponenten im Deponiegas, Konzentrationsverläufe während der Abbauphasen im Deponiekörper (nach Rettenberger et al., 1992)	44
Abb. 4.2:	Emissionsverhalten des CSB im Sickerwasser, zeitliche Abschätzung über Bezug auf klimatische Sickerwasserbildung und Ablagerungsmächtigkeit	53
Abb. 4.3:	Kohlenstoffaustrag infolge der aeroben in situ Stabilisierung: Vergleich mit prognostiziertem Kohlenstoffaustrag unter anaeroben Milieubedingungen (Deponie Milmersdorf)	61
Abb. 4.4:	Qualitativer Verlauf der Setzungen im Böschungs- und Kuppenbereich eines 30 m mächtigen Deponieabschnitts unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen	64
Abb. 6.1:	Kohlenstoffpotenzial im Jahr 2005 und Kohlenstoffreduzierung bis 2020 in Abhängigkeit unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen, Szenarienvergleich anhand einer Modelldeponie	110
Abb. 6.2:	Stickstoffpotenzial im Jahr 2005 und Stickstoffreduzierung bis 2020 in Abhängigkeit unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen, Szenarienvergleich anhand einer Modelldeponie	111
Abb. 6.3:	Stilllegungs- und Nachsorgekosten in Abhängigkeit verschiedener Stilllegungsmaßnahmen (RWI: Unterhaltungskosten für Reparatur/ Wartung/ Instand- setzung; Nominalkostenvergleich)	114
Abb. 6.4:	Kumulierte Nachsorgekosten in Abhängigkeit verschiedener Stilllegungsmaßnahmen zur Beeinflussung des Deponieverhaltens (Nominalkostenvergleich)	115

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 3.1:	Kostenblöcke zur Stilllegung und Nachsorge	30
Tab. 3.2:	Mittlere Verteilung des Kostenaufwands für Stilllegung und Nachsorge (Bartl, 2005)	31
Tab. 4.1:	Zusammensetzung unterschiedlicher Abfallstoffe, Mittelwerte und Bandbreiten	34
Tab. 4.2:	Eluatkonzentrationen unterschiedlicher Abfallarten	36
Tab. 4.3:	Sickerwassermengen bezogen auf den Niederschlag in Abhängigkeit der Oberflächenabdeckung/-abdichtung (Krümpelbeck, 2000, Huber et al., 2002)	37
Tab. 4.4:	Sickerwasserinhaltsstoffe von Siedlungsabfalldeponien (Minimum – Maximum – Mittelwert)	39
Tab. 4.5:	Sickerwasserkonzentrationen verschiedener MBA-Deponien (Minimum – Maximum)	40
Tab. 4.6:	Sickerwasser aus MVA-Schlacken (Mittelwerte)	41
Tab. 4.7:	Sickerwasserkonzentrationen von Bauschutt-Deponien (Minimum – Maximum)	42
Tab. 4.8:	Abschätzung des Zeitraumes bis zum Erreichen einer Grenzkonzentration C_E für die Parameter CSB, TKN, AOX und Cl, Ergebnisse aus Laborversuchen (DSR) zum Langzeitverhalten	54
Tab. 4.9:	Prognose zum Langzeitemissionsverhalten verschiedener Deponietypen über den Sickerwasserpfad (C_E gemäß 51. Anhang AbwV)	57
Tab. 4.10:	Einfluss der Infiltration auf das Emissionsverhalten herkömmlicher Hausmülldeponien über den Sickerwasserpfad	59
Tab. 4.11:	Einfluss der aeroben in situ Stabilisierung auf das Emissionsverhalten über den Sickerwasserpfad	62
Tab. 6.1:	Szenarien A – F für Kombinationen unterschiedlicher Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen	108
Tab. 6.2:	Vergleich der erforderlichen Rückstellungen im Jahr 2005 für Szenarien A-F auf der Grundlage der Barwertmethode (Zinssatz abzüglich Inflationsrate: 3%)	116

Tab. 8.1:	Relevante Leitparameter für das Erkennen deponiebürtiger Beeinflussungen, Differenzwerte zur Festlegung der Auslöseschwellen (Leitfaden Abfallwirtschaftsfakten 9, Niedersachsen, 2004)	126
Tab. 8.2:	Vorschlag zu quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge für Sickerwasser- und Grundwasserbelastungen sowie bei Direkt- und Indirekteinleitung	132
Tab. 8.3:	Literaturangaben zur Methanoxidation in Böden und Deponieabdeckungen	139
Tab. 8.4:	Deponiegasemissionen über die Oberfläche und deren Auswirkungen (nach Rettenberger et al., 1997)	140
Tab. 8.5:	Zuordnungswerte von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen gemäß Anhang 2 der AbfAbIV, der Deponieklasse 0 der DepV und Zielwerte bzw. quantitative Kriterien an Abfallfeststoffproben aus Deponien zur Beendigung der Nachsorge	144

Abkürzungen

A_B	Sickerwasserabfluss an der Deponiebasis
AbwV	Abwasserverordnung
AOX	halogenierte organische Kohlenwasserstoffverbindungen
AT_4	Atmungsaktivität in 4 Tagen
BHKW	Blockheizkraftwerk
C	Kohlenstoff
$C_{bio.}$	Biologisch verfügbarer Kohlenstoff
C_0	Anfangskonzentration
C_E	Grenzkonzentration
CH_4	Methan
Cl	Chlor
CO_2	Kohlendioxid
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
C_t	Konzentration zur Zeit t
Dep.	Deponie
DepV	Deponieverordnung
DK	Deponieklasse
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
DSR	Deponiesimulationsreaktor
FID	Flammenionisationsdetektor
FM	Feuchtmasse
GB_{21}	Gasbildungspotenzial in 21 Tagen
GV	Glühverlust
GW	Grundwasser
k	Abbaukonstante
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MVA	Müllverbrennungsanlage
N	Niederschlag
$N_{ges.}$	Gesamtstickstoff

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NO ₂ -N	Nitritstickstoff
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
O ₂	Sauerstoff
OFAD	Oberflächenabdichtung
oTS	organische Trockensubstanz
RTO	regenerative thermische Oxidation
RWI	Reparatur, Wartung, Instandsetzung/-haltung
S _b	klimatische Sickerwasserbildung
Siwa	Sickerwasser
t	Zeit
T _½	Halbwertszeit
T _E	Emissionszeitraum bis zum Erreichen einer Grenzkonzentration
TASi	Technische Anleitung Siedlungsabfall
TKN	Stickstoffgehalt nach Kjeldal
TOC	gesamter organisch gebundener Kohlenstoff
TS	Trockensubstanz
Vol.-%	Volumen-Prozent
w	Wassergehalt
w _{kmax.}	maximale Wasserhaltekapazität
W/F	Wasser/Feststoff-Verhältnis



1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen wie Aufbringung einer Oberflächenabdichtung und Rekultivierung bedürfen Deponien einer unbestimmten Zeit der Nachsorge. Noch entstehendes Sickerwasser und Deponiegas müssen erfasst und behandelt werden. Das Deponieverhalten, d.h. technische Einrichtungen, Bauteile und insbesondere die Emissionen sind zu überwachen.

Die erforderliche Dauer der Nachsorge ist bisher nur eingeschränkt prognostizierbar. Unterschiedliche Prognosen reichen von 30 bis weit über 200 Jahre. Einzelne behördliche Stimmen schließen eine Entlassung von herkömmlichen Hausmülldeponien aus der Nachsorge sogar ganz aus.

Die Kosten der Nachsorge sind über Abfallentgelte in Form von Rückstellungen, gemäß KrW-/AbfG für eine Nachsorgedauer von mindestens 30 Jahren, abzudecken. Ungeklärt ist die Finanzierung, wenn die Nachsorge darüber hinaus noch erforderlich bleibt. Eine solide Finanzierung setzt daher möglichst konkrete Handlungsoptionen geeigneter Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen und Abschätzungen resultierender Nachsorgezeiträume voraus. Hierfür soll die Studie Grundlagen bereitstellen und Vorschläge unterbreiten.

Die „zuständige Behörde“ kann die Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen aufheben und den Abschluss der Nachsorge feststellen, wenn sie nach Prüfung aller vorliegenden Ergebnisse zu dem Schluss kommt, dass aus dem Verhalten der Deponie zukünftig keine Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu erwarten sind. Der Prüfung sind gemäß Deponieverordnung bestimmte Kriterien zugrunde zu legen, die allerdings nur **qualitativer** Natur und damit interpretationsfähig sind. Konkrete, in dieser Studie vorgeschlagene **quantitative** Kriterien sollen dazu beitragen, den Zeitpunkt für den Abschluss der Nachsorge im Vorwege besser eingrenzen zu können und Entscheidungen hinsichtlich der

erforderlichen bzw. geeigneten Stilllegungsmaßnahmen für alle Beteiligten (zuständige Behörde(n) und Deponiebetreiber) zu erleichtern.

Voraussetzung zur Umsetzung solcher Kriterien zur Beendigung der Nachsorge im Vollzug ist deren rechtliche Sicherheit und deren Akzeptanz bei Behörden und Deponiebetreibern.

Die quantitativen Kriterien müssen folglich mess- und nachweisbar sein. Belastbare Schätzungen, durch welche Maßnahmen und nach welcher Dauer diese Kriterien erreichbar sind, sollen den Deponiebetreibern die Ermittlung der Nachsorgekosten und deren Absicherung ermöglichen.

Die Studie basiert auf einer Vielzahl von Messungen, Erfahrungen und Forschungsergebnissen zum Verhalten unterschiedlicher Deponietypen. Sie bilden unter Einbeziehung rechtlicher Betrachtungen die Vorschläge für quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge.

Gemäß Abfallablagerungsverordnung dürfen ab Juni 2005 nur noch Abfälle abgelagert werden, wenn sie alle Anforderungen der Verordnung erfüllen. Dies hat am 31. Mai 2005 zur Schließung einer Vielzahl an Hausmülldeponien sowie Betriebs- und Boden-/ Bauschuttdeponien geführt. Über deren weitere Stilllegungsmaßnahmen ist daher in Kürze von Deponiebetreibern und Behörden zu entscheiden.

Die Wahl bestimmter Stilllegungsmaßnahmen wie eine in situ Stabilisierung oder die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung hat sowohl auf die Dauer der Nachsorge als auch auf die Gesamtkosten der Stilllegung und Nachsorge wesentliche Auswirkungen. Die Auswahl und Festlegung der Stilllegungsmaßnahmen wird folglich von den Bedingungen des Deponiestandorts, des Deponietyps und den konkreten Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge bestimmt.

1.2 Problemanalyse und einführende Thesen

Den derzeit geltenden rechtlichen Grundlagen für die Nachsorge können Nachsorgeaufgaben, Nachsorgemaßnahmen und Nachsorgeziele entnommen werden. Wenn diese Ziele erreicht sind, kann die Nachsorgephase beendet werden. Insofern legen die geltenden Vorschriften **qualitative Kriterien für die Beendigung der Nachsorge** fest. Nach § 13 Abs. 5 DepV soll die Behörde bei der Prüfung der Voraussetzungen für die **Entlassung aus der Nachsorge** insbesondere die nachfolgenden **Kriterien** zu Grunde legen:

1. Biologische Prozesse, sonstige Umsetzungs- oder Reaktionsvorgänge sind weitgehend abgeklungen,
2. eine Gasbildung ist soweit zum Erliegen gekommen, dass keine aktive Entgasung erforderlich ist und schädliche Einwirkungen auf die Umgebung durch Gasmigrationen ausgeschlossen werden können,
3. Setzungen sind soweit abgeklungen, dass verformungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystems für die Zukunft ausgeschlossen werden können,
4. die Oberflächenabdichtung und die Rekultivierungsschicht sind in einem funktionstüchtigen und stabilen Zustand, der durch die derzeitige und geplante Nutzung nicht beeinträchtigt werden kann; es ist sicherzustellen, dass dies auch bei Nutzungsänderungen gewährleistet ist,
5. Oberflächenwasser wird von der Deponie sicher abgeleitet,
6. die Deponie ist insgesamt dauerhaft standsicher,
7. die Unterhaltung baulicher und technischer Einrichtungen ist nicht mehr erforderlich; ein Rückbau ist gegebenenfalls erfolgt,
8. gegebenenfalls anfallendes Sickerwasser kann entsprechend den wasserrechtlichen Vorschriften eingeleitet werden und
9. die Deponie verursacht keine Grundwasserbelastungen, die eine weitere Beobachtung oder Sanierungsmaßnahmen erforderlich machen.

Ein wesentliches Ziel dieser Studie ist es, diese **qualitativen** Kriterien mit Vorschlägen zu **quantitativen** Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge zu unterlegen.

Zur Entwicklung dieser Vorschläge sind folgende Aspekte und Thesen maßgebend:

Ad 1. These: Der abgelagerte Abfall sollte zum Ende der Nachsorge derart beschaffen sein, dass die biologischen Prozesse und sonstigen Umsetzungs- oder Reaktionsprozesse nicht nur aktuell weitgehend abgeklungen sind, sondern dass grundsätzlich sichergestellt ist, dass derartige Prozesse durch ungünstige Umstände auch zukünftig nicht wieder soweit reaktiviert werden können, dass das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere der Grundwasserschutz dadurch gefährdet wird.

Diese These hat insbesondere bei den herkömmlichen Hausmülldeponien zur Konsequenz, dass der nicht vorbehandelte Abfall nicht nur konserviert werden darf (z.B. durch Oberflächenabdichtung Austrocknung infolge Verhinderung der Wasserzufuhr, d.h. Unterbrechung des Transmissionspfads zum Stoffaustrag), sondern dass in der Stilllegungs- und Nachsorgephase ein emissionsarmer Zustand der abgelagerten Abfälle erreicht wird. Der biologisch verfügbare organische Gehalt der Abfälle sollte in der Stilllegungsphase soweit wie möglich reduziert werden, so dass das 1. Kriterium erreicht wird. Dazu können Deponiestabilisierungsverfahren wie die Infiltration und die Belüftung beitragen.

Im Umkehrschluss bedeutet diese These, dass bei „trockenkonservierten“ Hausmülldeponien eine Entlassung aus der Deponienachsorge nicht möglich ist. Es treten zwar keine aktuellen Prozesse und Reaktionen mehr auf, es ist aber noch ein Potenzial im Deponiekörper vorhanden, das einer ständigen, „ewigen“ Überwachung bedarf. Sonst bestünde die Gefahr, dass aufgrund ungünstiger Entwicklungen die biologischen Prozesse reaktiviert und schutzgutrelevante Emissionen

freigesetzt werden. Dieses könnte zudem unerkannt und unkontrolliert zu einem Zeitpunkt geschehen, der nicht prognostizierbar ist.

- Ad 2) Das Kriterium bezieht sich unmittelbar auf die biologischen Abbauprozesse und den biologisch verfügbaren Organikgehalt der abgelagerten Abfälle, so dass die grundsätzliche These des 1. Kriteriums gilt. Biologisch stabilisierte Abfälle können eine derart geringe Restgasproduktion aufweisen, dass eine aktive Entgasung verzichtbar wird und passive Gasbehandlungsmaßnahmen, z.B. die Methanoxidation in der Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung, ausreichen.
- Ad 3) Mittel- und langfristige Setzungen eines Deponiekörpers stehen wiederum im unmittelbaren Zusammenhang mit den biologischen Abbauprozessen. Auch hier gilt die These, dass der Deponiekörper biologisch stabilisiert sein sollte, so dass kein Setzungspotenzial mehr vorhanden ist, das bei einer Reaktivierung der Prozesse im Deponiekörper zu nachträglichen (Haupt-) Setzungen führen kann. Nur bei derart stabilisierten und emissionsarmen Deponien können setzungs- bzw. verformungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystems nicht nur aktuell, sondern gerade auch für die Zukunft ausgeschlossen werden. Diese Ausrichtung auf die zukünftige Funktionstüchtigkeit wird im 3. Kriterium explizit gefordert.
- Ad 4) Der funktionstüchtige und stabile Zustand der Oberflächenabdichtung und der Rekultivierungsschicht wird langfristig viel eher erhalten bleiben, wenn der Abfallkörper als „Auflager“ der Oberflächenabdichtung keinen wesentlichen Veränderungen mehr unterliegt. Dieses betrifft auch Nutzungsänderungen, deren Auswirkungen auf die Oberflächenabdichtung und das Deponieverhalten nicht mehr kontrolliert werden.
- Ad 5-7) Es handelt sich um grundsätzliche Anforderungen zur Beendigung der Nachsorge, unabhängig von der Zielrichtung der Stilllegungsmaßnahmen. Sollte langfristig Oberflächenwasser in die Deponie eindringen, so wären die Auswirkungen auf die Schutzgüter bei einer vorab stabilisierten Deponie deutlich geringer als bei einer „trockenkonservierten“

Deponie. Gleiches gilt für die Standsicherheit, z.B. aufgrund der Setzungen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist der mögliche Aufstau von Sickerwasser im Deponiekörper, wenn die Unterhaltung baulicher und technischer Einrichtungen zur Erfassung und Ableitung des Sickerwassers oberhalb der Basisabdichtung eingestellt wird. Dieses kann zu erhöhten Sickerwasseremissionen ins Grundwasser und zu geotechnischen Problemen wie seitlichem Austreten von Sickerwasser über die Böschungen oder Standsicherheitsgefährdungen der Böschungen führen.

- Ad 8) Gegebenenfalls anfallendes Sickerwasser kann viel früher ohne weitere Behandlungsmaßnahmen eingeleitet werden, wenn sowohl die Konzentration wie auch die Fracht im Sickerwasser reduziert sind. Zudem kann die Entscheidung über die Entlassung aus der Nachsorge um so eher positiv ausfallen, je wahrscheinlicher ist, dass künftig keine Erhöhung der Umweltbelastungen mehr zu erwarten ist. Letzteres ist durch Stabilisierungsverfahren früher erreichbar.
- Ad 9) In Analogie zum 8. Kriterium kann die Kombination von Stilllegungsmaßnahmen wie die Stabilisierung und die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung zu so geringen Grundwasserbelastungen führen, dass keine weitere Beobachtung oder Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich werden. Die Bewertung dieses Kriteriums ist schutzgut- bzw. standortbezogen zu führen.

Fazit der qualitativen Anforderungen:

Um die Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge erfüllen zu können, ist es erforderlich, dass zukünftige negative Einflüsse auf die Schutzbarrieren wie die Oberflächenabdichtung nicht zu einer Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit führen können. Dieses ist insbesondere bei Hausmülldeponien nicht nur über die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung, sondern durch ergänzende Verfahren zur Verbesserung des Emissions- bzw. Deponieverhaltens der

abgelagerten Abfälle zu erreichen. Quantitative Kriterien sollten folglich die grundsätzliche Reaktions- und Emissionsarmut des Deponiekörpers belegen.

Zur Erfüllung der Kriterien sind überwiegend geeignete Kombinationen von Maßnahmen bereits in der Stilllegungsphase zu ergreifen, die an die Randbedingungen der Deponie wie z.B. an die Schutzbarriere Basisabdichtung angepasst werden müssen.

Die Studie will daher Vorschläge zur Quantifizierung der Kriterien unterbreiten und technische, wirtschaftliche und rechtlich gangbare Wege aufzeigen, um diese in überschaubaren Zeiträumen zu erreichen.

1.3 Schwerpunkte der Studie

Die Studie umfasst folgende Themenbereiche und Fragestellungen:

- Emissionsverhalten von Deponien (mit und ohne beeinflussende Maßnahmen wie z.B. in situ Stabilisierungsverfahren)
- Stilllegung und Nachsorge bei Deponieabschnitten mit qualifizierter Basisabdichtung und Sickerwasserfassung
- Stilllegung und Nachsorge bei Deponieabschnitten ohne Basisabdichtung
- Kostenschätzungen und Kostenvergleiche
- Rechtliche Betrachtungen
- Vorschläge für konkrete, quantitative Kriterien für die Entlassung von Deponien aus der Nachsorge

1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war auf einen kurzen Bearbeitungszeitraum von 11 Monaten angelegt. Zu Beginn der ersten Phase des Vorhabens erfolgte ein Arbeitstreffen mit Vertretern des Umweltbundesamts, Herrn Dr. B. Engelmann und Herrn Dipl.-Ing. W. Butz, um die inhaltlichen Schwerpunkte der Studie abzustimmen.

Anschließend wurde der Stand des Wissens zum Deponieverhalten unterschiedlicher Deponietypen aufbereitet. Auf dieser Grundlage wurden in der zweiten Projektphase die vertiefte rechtliche Betrachtung vorgenommen und Vorschläge für die quantitativen Kriterien zur Beendigung der Deponienachsorge erarbeitet. In einem zweiten Arbeitstreffen wurden die Zwischenergebnisse mit den Fachvertretern des Umweltbundesamts und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit diskutiert.

Die vorläufigen Ergebnisse der Studie wurden bei einem Fachtreffen beim Bundesumweltministerium in Bonn am 26. Oktober 2005 mit Vertretern aus Behörden, Verbänden, der Wissenschaft und Deponiebetreibern vorgestellt und diskutiert. Wesentliche Ergebnisse der Diskussion sind in die abschließende Überarbeitung der Studie eingeflossen.

1.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Da die Aufarbeitung und Zusammenfassung des rechtlichen, wissenschaftlichen und technischen Stands zur Stilllegung und Nachsorge von Deponien wesentlicher Bestandteil des Vorhabens war, wird hierauf vertieft im Ergebnisteil (Kapitel 3 ff.) eingegangen.

Die genutzte Fachliteratur ist in Kapitel 10 aufgeführt.

1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Es erfolgte eine Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen und Personen:

- im Bereich der rechtlichen Fragestellungen als Unterauftragnehmer im UFOPLAN-Vorhaben mit der Rechtsanwaltskanzlei Gaßner, Groth, Siederer & Coll., Berlin, die auch die juristischen Teile dieses Schlussberichts verfasst hat,
- im Bereich der technisch-naturwissenschaftlichen Fragestellungen der Stoffausbreitung im Sickerwasser- und Grundwasserpfad mit dem BMBF-Verbundvorhaben KORA, Teilvorhaben 4 „Deponien, Altablagerungen“,
- für die übergeordneten Fragestellungen die fachliche Abstimmung mit dem Auftraggeber (Herr Dr. B. Engelmann, Umweltbundesamt Dessau, Herr BD K. Wagner, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Bonn).

2 Methodik der Vorgehensweise

2.1 Deponietypen und Fallgruppen

Betrachtete Deponietypen:

- Stillgelegte und in der Stilllegung befindliche Deponien für unvorbehandelte Siedlungsabfälle (Verfüllung bis längstens 31.05.2005)
- MBA-Deponien (bzw. MBA-Deponieabschnitte)
- Hausmüllverbrennungsasche-Deponien
- Boden-/Bauschuttdeponien

Fallgruppen in Abhängigkeit der technischen Sicherungseinrichtungen und Barrieren:

- Deponien mit Basisabdichtung nach Stand der Technik, d.h. u.a. mit Sickerwasserfassung
- Deponien ohne bzw. mit durchlässiger Basisabdichtung:
 - Geologie: mit durchlässigem oder undurchlässigem Untergrund
 - (teilweise) mit oder ohne Sickerwasserfassung

2.2 Schutzgutbetrachtung und -abwägung

Schutzgüter sind grundsätzlich:

- Mensch (Wirkungspfad Boden – Mensch)
- Pflanzen und Tiere (Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze)
- Grundwasser (Wirkungspfad Boden – Gewässer)
- Oberflächengewässer (Wirkungspfad Boden – Gewässer)
- Boden (schädliche Bodenveränderungen)
- Luft / Atmosphäre
- Landschaft

In der Studie wird hauptsächlich auf das Schutzgut Grundwasser, das für die Nachsorgeanforderungen und deren Dauer eine Schlüsselstellung einnimmt, und daneben auf die Schutzgüter Oberflächengewässer, Boden und Luft / Atmosphäre eingegangen. Schutzgutabwägungen ergeben sich aus den allgemeinen Anforderungen, den individuellen Gegebenheiten sowie den standortspezifischen Bedingungen der Deponie wie der Geologie und der Hydrogeologie.

Aus dieser Strukturierung ergibt sich die Betrachtung der Kette „Emission, Transmission, Immission“ zur Einschätzung des Langzeitverhaltens einer Deponie unter Berücksichtigung der schutzgutrelevanten Aspekte:

- Emissionspotenzial (Betrachtung des Deponietyps bzw. der abgelagerten Abfälle mit ihren über den Wasser- und Gaspfad mobilisierbaren Anteilen)
- Transmissionspotenzial (Betrachtung der technischen Sicherungseinrichtungen und Barrieren, welche die Stoffmobilisierung und den Stoffaustrag bestimmen, einschließlich geologischer und hydrologischer Gegebenheiten sowie Untergrundstabilität)
- Immissionsempfindlichkeit (Betrachtung der Schutzgüter und Abwägung der möglichen Beeinträchtigungen, u.a. Nutzungs- und Naturfunktionen des Grundwassers, siedlungsspezifische Aspekte)

Abbildung 2.1 zeigt den Zusammenhang zwischen Emissionspotenzial, Transmissionspotenzial und Immissionsempfindlichkeit.

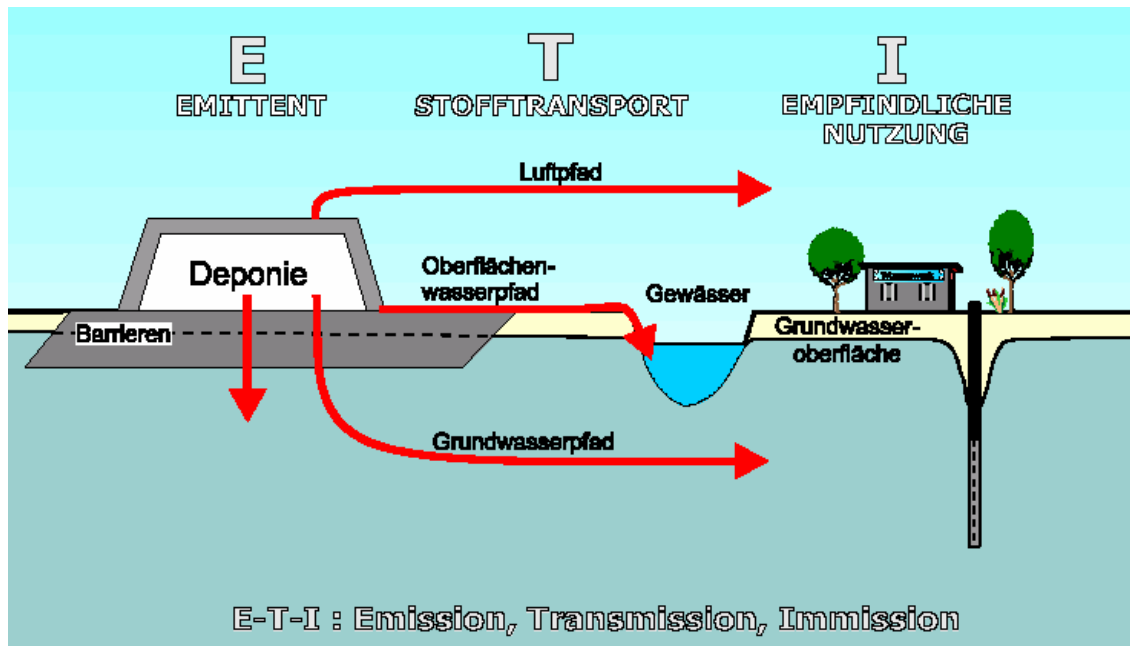


Abb. 2.1: Konzeptschema „Emission, Transmission, Immission“ (Leitfaden „Bewertungshilfe für Deponien“, MUNLV NRW, 2001)

2.3 Methodisches Vorgehen

Folgende Aspekte bestimmen die weitere Vorgehensweise und aufbereiteten Fragestellungen:

- Technische Rahmenbedingungen zur Stilllegung und Nachsorge
- Erkenntnisse und Prognosen zum Deponieverhalten: die Deponie als Bauwerk, Emissions- und Setzungsverhalten
- Rechtliche Rahmenbedingungen: Anforderungen und Verhältnismäßigkeitsbetrachtung
- Wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Kosten der Stilllegung und Nachsorge
- Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung von Deponien aus der Nachsorge

2.4 Allgemeine Nachsorgeziele

Wie in der Betriebsphase mit der Stilllegungsphase besteht ein vordringliches Ziel der Deponienachsorge darin, Gefahren abzuwehren und Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu verhindern (vgl. § 13 Abs. 1 DepV). Im Zentrum der Nachsorgeaufgaben stehen die Kontrolle des Emissionsverhaltens der Deponie und ggf. die Durchführung oder Fortführung von Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung. Andere Nachsorgeaufgaben betreffen z.B. die Kontrolle der Standsicherheit oder den Erfolg von Rekultivierungsmaßnahmen.

Die Nachsorgephase ist vom Gesetzgeber grundsätzlich als endliche ausgestaltet: Nach § 36 Abs. 5 KrW-/AbfG hat die zuständige Behörde auf Antrag den Abschluss der Nachsorgephase festzustellen. Es wird nicht etwa vom Deponiebetreiber verlangt, das Emissionsverhalten einer Deponie und die Funktionsfähigkeit der Sicherungselemente so lange zu kontrollieren, wie überhaupt noch ein Schadstoffpotenzial im Deponiekörper vorhanden ist. Es kommt vielmehr darauf an, ob durch das Verhalten der Deponie zukünftig noch Beeinträchtigungen des Wohles der Allgemeinheit zu erwarten sind (§ 13 Abs. 4 DepV).

Für die Nachsorgephase gilt grundsätzlich dasselbe wie für die Betriebs- und Stilllegungsphase: Es muss nach einem Weg gesucht werden, wie Allgemeinwohlbeeinträchtigungen durch die Abfalldeponierung zu wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen vermieden werden können. Hierzu gehört auch, dass die Nachsorge möglichst innerhalb eines überschaubaren Zeitraums abgeschlossen werden soll.

Ziel der Nachsorge ist demnach

- die dauerhafte Vermeidung bzw. Minimierung von Allgemeinwohlbeeinträchtigungen, insbesondere von Schadstoffemissionen
- mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand und
- binnen eines überschaubaren Nachsorgezeitraums.

Diese Ziele konfliktieren untereinander. Methodisch können solche Zielkonflikte nur durch Optimierung sachgerecht gelöst werden. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang, dass die konfliktierenden Ziele ihrem jeweiligen Gewicht entsprechend berücksichtigt werden. Hierauf haben die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Deponienachsorge maßgeblichen Einfluss (Näheres siehe Kap. 5).

3 Technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

3.1 Technische Rahmenbedingungen der Stilllegung und Nachsorge

3.1.1 Stilllegungsmaßnahmen

Die technischen Regelanforderungen an die Stilllegung und Nachsorge von Deponien sind in § 12 Stilllegung und § 13 Nachsorge der Deponieverordnung (DepV) geregelt. Die Anforderungen an die Stilllegung und Nachsorge von Altdeponien nehmen über den § 14 Abs. 4 der DepV Bezug auf die §§ 12 und 13 sowie auf Nummer 11.2.1 h) (Aufbringung eines Oberflächenabdichtungssystems) der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi). Anhang 1 Nr. 2 DepV (Aufbau Oberflächenabdichtungssystem) ist zu beachten. In der Stilllegungsphase hat der Betreiber einer Deponie unverzüglich alle erforderlichen Maßnahmen durchzuführen, um zukünftige negative Auswirkungen der Deponie oder des Deponieabschnitts auf die in § 10 Abs. 4 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes genannten Schutzgüter zu verhindern (§ 12 Abs. 3 DepV). Zu den Maßnahmen zählt insbesondere die Aufbringung der Oberflächenabdichtung nach Anhang 1 Nr. 2 der DepV, wobei bei der Ausführung der Rekultivierungsschicht Anhang 5 der DepV zu beachten ist.

Oberflächenabdichtungen können entsprechend den Regelanforderungen der DepV und TASi aufgebracht werden (Abbildung 3.1). Daneben besteht eine große Anzahl an einsetzbaren Materialien und Systemaufbauten. Deren Bewertung im Hinblick auf die Regelanforderungen und die Gleichwertigkeit sowie Empfehlungen zur Anwendung wurden z.B. von der LAGA ad-hoc Arbeitsgruppe „Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen“ erarbeitet (LAGA, 1999). Weiterhin gibt es zahlreiche Pilotmaßnahmen, Versuchsfelder und wissenschaftliche Untersuchungen für neue Dichtungsmaterialien, ein- und mehrschichtige Dichtungssysteme und zu Dichtungskontrollsystemen. Auf deren Funktion, ggf. Restdurchlässigkeit und Auswirkung auf das Deponieverhalten wird in der Studie noch näher eingegangen.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

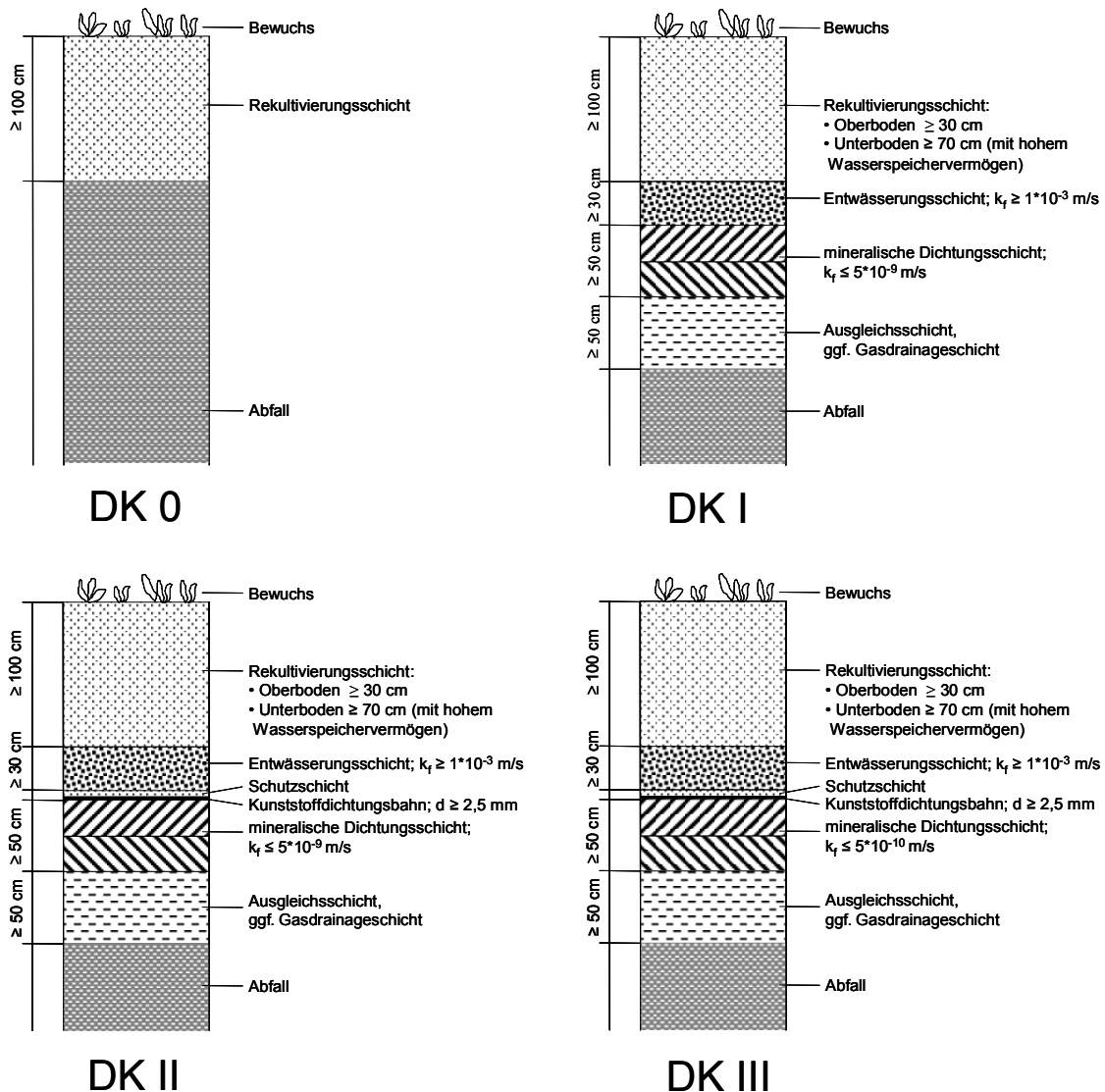


Abb. 3.1: Regelaufbau der Oberflächenabdichtungssysteme gemäß Deponieklasse 0 – III der Deponieverordnung (DepV, 2002)

Unter den Voraussetzungen des § 14 Abs. 6 Deponieverordnung (DepV) kann von den technischen Regelanforderungen – insbesondere an das Oberflächenabdichtungssystem – abgewichen werden (Näheres s.u. 5.2).

Neben der Aufbringung einer Oberflächenabdichtung kommen je nach Deponietyp, Deponieverhalten und technischen Randbedingungen grundsätzlich weitere Stilllegungsmaßnahmen in Betracht, um negative Auswirkungen der Deponie auf die Schutzgüter zu verhindern:

- Fortführung der Sickerwasserfassung und -behandlung
- Fortführung der Deponiegasfassung und -behandlung
- Aufbringung einer temporären Oberflächenabdeckung (§ 14 Abs. 7 DepV). Wenn große Setzungen zu erwarten sind, kann sie bis zum Abklingen der Hauptsetzungen eingesetzt werden. Die temporäre Abdeckung soll die Sickerwasserbildung minimieren und die Deponiegasmigration verhindern.
- Infiltrationsmaßnahmen zur gezielten Befeuchtung des Deponiekörpers (§ 14 Abs. 8 DepV). Einsatz bei Abfallablagerungen mit signifikanten organischen Anteilen zur Verhinderung der Austrocknung und Konservierung bzw. zur Beschleunigung biologischer Abbauprozesse und zur Verbesserung des Langzeitverhaltens.
- Aerobe in situ Stabilisierung (Belüftung) zur beschleunigten Reduzierung biologisch abbaubarer organischer Anteile zur Verbesserung des Langzeitverhaltens (Reduzierung der Schwachgasproduktion, der Sickerwasserbelastungen und der Restsetzungen) (z.B. i.V.m. § 14 Abs. 6 DepV)
- Fortführung der Kontrollmaßnahmen zur Überwachung des Deponieverhaltens, insbesondere als eine Voraussetzung zur Feststellung des Abschlusses der Stilllegung (§ 12 Abs. 4 DepV)
- Grundwassersanierungsmaßnahmen (z.B. vertikale Dichtwände oder Grundwasserreinigung, jedoch nur in Ausnahmefällen)
- Deponierückbau, jedoch nur in Ausnahmefällen, wenn über andere Stilllegungsmaßnahmen standortbezogen keine ausreichende Reduzierung der negativen Auswirkungen der Deponie auf die betroffenen Schutzgüter erreicht werden kann

3.1.2 Nachsorgemaßnahmen

Der Betreiber einer Deponie hat in der Nachsorge alle Maßnahmen durchzuführen, die zur Abwehr von Gefahren und zur Verhinderung von Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit erforderlich sind (§ 13 Abs. 1 DepV). Die Nachsorgephase beginnt, nachdem der Abschluss der Stilllegung festgestellt wurde.

Die Nachsorgemaßnahmen umfassen insbesondere Langzeitsicherungsmaßnahmen und Kontrollen des Deponieverhaltens, die gemäß TASI 10.7.2 (Nachsorge) nach 10.6.6 (Kontrollen) sowie nach Anhang G der TA Abfall (Mess- und Kontrollprogramm) durchzuführen und zu dokumentieren sind.

Die Kontrolle von Emissionen in das Grundwasser und ggf. Maßnahmen zur Verhinderung von Grundwasserbeeinträchtigungen erfolgen auf Grundlage von Auslöseschwellen und Maßnahmenplänen (§ 13 Abs. 3 Satz 2 und § 9 Abs. 2 und Abs. 3 DepV). Auslöseschwellen sind Grundwasserüberwachungswerte, bei deren Überschreitung Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers eingeleitet werden müssen (§ 2 Nr. 3 DepV). Sie gelten für geeignete und von der zuständigen Behörde festzulegende Grundwassermessstellen im Abstrom der Deponie (§ 9 Abs. 1 Satz 2 DepV). Der Betreiber einer Deponie hat die zuständige Behörde unverzüglich über alle festgestellten nachteiligen Auswirkungen der Deponie auf die Umwelt während der Nachsorgephase zu unterrichten (§ 13 Abs. 3 DepV).

Kommt die zuständige Behörde nach Prüfung aller vorliegenden Ergebnisse der Kontrollen unter Berücksichtigung von Prüfkriterien zu dem Schluss, dass aus dem Verhalten einer Deponie zukünftig keine Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu erwarten sind, kann sie auf Antrag des Deponiebetreibers die Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen aufheben und nach § 36 Abs. 5 KrW-/AbfG den Abschluss der Nachsorgephase feststellen (§ 13 Abs. 4 DepV).

3.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen zur Stilllegung und Nachsorge

Die erforderlichen Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen erfordern erhebliche finanzielle Mittel, die durch Rückstellungen während des Ablagerungsbetriebs gebildet werden sollen.

Nach § 36 KrW-/AbfG ist der Inhaber einer Deponie verpflichtet, das Deponiegelände im Rahmen der Stilllegung zu rekultivieren und alle Vorkehrungen zu treffen, um Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu vermeiden. Da die für diese Aufgabe erforderlichen Aufwendungen durch den Betrieb der Deponie verursacht werden, ist hierfür nach § 32 Abs. 3 KrW-/AbfG i.V.m. § 19 DepV Sicherheit zu leisten. Die Sicherheitsleistung erfolgt in der Praxis meist durch Bildung von Rückstellungen nach § 19 Abs. 4 Satz 1 DepV. Rechtlich handelt es sich um Rückstellungen für „ungewisse Verbindlichkeiten“ (§ 249 Abs. 1 Satz 1 Handelsgesetzbuch (HGB)). Für die Bemessung der Sicherheitsleistungen bzw. der Rückstellungen ist ein Nachsorgezeitraum bei Deponien der Klasse 0 von zehn Jahren, bei anderen Deponien von 30 Jahren zugrunde zu legen, sofern nicht behördlicherseits ein anderer Zeitraum festgelegt worden ist. Steuerlich sind in der Stilllegungs- und Nachsorgephase anfallende Aufwendungen als abzugsfähige Betriebsausgaben einzustufen. Dies gilt auch für die während der Betriebsphase zur Erfüllung der Stilllegungs- und Nachsorgeverpflichtungen gebildeten Rückstellungen. Das Bundesministerium der Finanzen hat in einem Erlass¹ Grundsätze für die steuerliche Anerkennung solcher Rückstellungen aufgestellt. Danach erfolgt die Ansammlung der Rückstellungen nach dem Grad der Verfüllung, ferner sind sie abzuzinsen. Künftige Vorteile (z.B. aus der Gasverwertung) sind zu berücksichtigen.

¹ Vom 25.07.2005 – GZ IV B 2 – S 2137 – 35/05.

Vor diesem Hintergrund ist die zeitliche Staffelung für die Umsetzung entsprechender technischer und baulicher Maßnahmen im Zuge der Stilllegung und Nachsorge von maßgeblicher Bedeutung. Grundsätzlich sind folgende Maßnahmen bei der Nachsorgekostenberechnung, bei der im Allgemeinen auch die Stilllegungsmaßnahmen einbezogen werden, relevant:

- Temporäre Oberflächenabdeckung
- Endgültige Oberflächenabdichtung
- Sickerwasserfassung und Sickerwasserbehandlung
- Deponiegasfassung und Deponiegasbehandlung
- Stabilisierungsmaßnahmen: Wasserinfiltration und aerobe in situ Stabilisierung
- Infrastruktur und Rückbau entbehrlicher Anlagen
- Monitoringmaßnahmen zur Überwachung: Vermessungsarbeiten, Sickerwasser- und Grundwassermonitoring, Deponiegasmonitoring, Wetteraufzeichnung
- Dokumentation
- Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten für alle technischen und baulichen Einrichtungen sowie Pflege des Oberflächenbewuchses
- Versicherungen

Die nachfolgend zusammengestellten Kostenblöcke zur Stilllegung und Nachsorge basieren auf aktuellen Praxiserfahrungen sowie Markt- und Literaturrecherchen (Tabelle 3.1). Die Nachsorgekosten können davon in Abhängigkeit der Deponiegröße, der vorhandenen technischen Einrichtungen und/oder der regionalen Situation abweichen. Zudem sind sie über die Dauer der Nachsorge aufwands- und marktbedingten Veränderungen unterworfen.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 3.1: Kostenblöcke zur Stilllegung und Nachsorge

<i>Oberflächenabdeckung/abdichtung</i>		
• Profilierung	[€/m ²]	2 – 10
• temporäre Oberflächenabdeckung inkl. Infrastruktur	[€/m ²]	15 – 45
• endgültige Oberflächenabdichtung inkl. Infrastruktur	[€/m ²]	60 – 100
• Rückbaumaßnahmen im Rahmen der Stilllegung	[€/m ²]	1 – 3
<i>Sickerwasserbehandlung (Betrieb und Kapitaldienst)</i>		
• Sickerwasserbehandlung vor Ort	[€/m ³]	20 – 50
• externe Sickerwasserbehandlung inkl. Transport	[€/m ³]	20 – 60
• vereinfachte Reinigung, z.B. Pflanzenkläranlagen	[€/m ³]	2 – 10
<i>Deponiegasbehandlung (Betrieb und Kapitaldienst)</i>		
• aktive Gasfassung und thermische Gasbehandlung	[€/a ha]	8.000 - 12.000
• aktive Gasfassung und Biofiltereinsatz	[€/a ha]	4.000 – 8.000
• passive Methanoxidation über Rekultivierungsschicht	[€/a ha]	0 - 200
<i>In situ Stabilisierung</i>		
• Infiltrationssystem	[€/a ha]	4.000 – 6.000
• aktive in situ Belüftung (ohne Abluftbehandlung)	[€/a ha]	2.000 – 4.000
<i>Sonstige laufende Kosten</i>		
• Unterhaltung Oberflächenabdichtung (RWI)	[€/a ha]	4.000 – 10.000
• Unterhaltung aktive Gasfassung (RWI)	[€/a ha]	5.000 – 7.000
• Unterhaltung Sickerwasserfassung (RWI)	[€/a ha]	4.000 – 6.000
• Unterhaltung Infrastruktur (RWI)	[€/a ha]	4.000 – 6.000
• Gasmonitoring	[€/a ha]	1.000 – 3.000
• Setzungsmessungen	[€/a ha]	500 – 1.000
• Sickerwassermonitoring	[€/a ha]	2.000 – 4.000
• Grundwassermonitoring	[€/a ha]	1.000 – 3.000
• Umfeldüberwachung inkl. Wetterdaten etc.	[€/a ha]	1.000 – 2.000
• Versicherungen etc.	[€/a ha]	2.000 – 4.000
• Nachsorgemanagement, Berichtswesen und Dokumentation	[€/a ha]	4.000 – 6.000

RWI: Reparatur, Wartung, Instandsetzung/-haltung

Nach statistischen Auswertungen von Rückstellungskostenermittlungen 2000 - 2004 stellt sich die mittlere Verteilung des Kostenaufwands für Stilllegung und Nachsorge wie in Tabelle 3.2 zusammengefasst dar (Bartl, 2005).

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 3.2: Mittlere Verteilung des Kostenaufwands für Stilllegung und Nachsorge (Bartl, 2005)

Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahme	Stilllegungskosten (Investitionen)	Nachsorge Betriebskosten	Anteil Gesamtkosten
Oberflächenabdichtung und Rekultivierung	73%	18%	45%
Oberflächenentwässerung	5%	2%	3%
Grundwasser	1%	3%	1%
Sickerwasser	14%	47%	32%
Deponiegas	4%	10%	7%
Rückbau entbehrlicher Anlagen	2%	-	1%
weitere Nachsorgemaßnahmen und Einrichtungen	1%	20%	11%
	100%	100%	100%

Hinweis: Stabilisierungsmaßnahmen wie Infiltration oder Belüftung wurden nicht betrachtet. Sie können 2 – 10% der Gesamtkosten ausmachen, andererseits Einsparungen z.B. bei der Sickerwasser- und Restgasbehandlung ermöglichen. Bei den Betriebskosten der Nachsorge wurden insbesondere auch Standorte berücksichtigt, die nicht über eine qualifizierte Oberflächenabdichtung nach dem Stand der Technik verfügen, so dass die Investitions- und Betriebskosten nicht unmittelbar den gleichen Randbedingungen zuzuordnen und damit nur bedingt vergleichbar sind.



4 Stand des Wissens und Prognosen zum Deponieverhalten

4.1 Emissionsverhalten von Deponien

Zum Deponieverhalten, bei dem hauptsächlich die Emissionen und Setzungen betrachtet werden, und zur Abschätzung des langfristigen Emissionsverhaltens von Deponien liegen Erkenntnisse vor von:

- Messungen und Untersuchungen an Deponien durch Überwachungsmaßnahmen und Sonderuntersuchungen
- Messungen und Untersuchungen im Deponieumfeld insbesondere im Untergrund und im Grundwasserleiter
- von Laboruntersuchungen, u.a. in „Deponiesimulationsreaktoren“ (DSR), ferner Auslaugversuche, Biotests, ökotoxikologische Untersuchungen, Abfallfeststoffuntersuchungen etc.
- von theoretischen Betrachtungen und rechnergestützten Simulationsprogrammen, die z.T. die o.g. Ergebnisse einbeziehen

Ausführliche Angaben zur Literatur sind in Kapitel 8 aufgeführt.

Es werden folgende Deponietypen betrachtet:

- Altdeponien, die überwiegend mit nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen verfüllt wurden („herkömmliche Siedlungsabfalldeponien“)
- MBA-Deponien bzw. MBA-Deponieabschnitte
- MVA-Aschedeponien bzw. MVA-Aschen Deponieabschnitte
- Boden- und Bauschuttdeponien

Weiterhin werden die Auswirkungen von Maßnahmen zur Beeinflussung des Deponieverhaltens dargestellt, insbesondere:

- Infiltrationsmaßnahmen
- Belüftungsmaßnahmen zur aeroben in situ Stabilisierung

4.1.1 Erläuterung zu den Deponietypen

Auf herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien (Altdeponien) wurden bis zum Mai 2005 überwiegend Siedlungsabfälle ohne Vorbehandlung abgelagert. Sie enthalten nennenswerte Anteile an organischen, biologisch verfügbaren Fraktionen, die das Emissionsverhalten im Sickerwasser und Deponiegas durch Umsetzungs- und Abbauprozesse maßgeblich prägen. Die Heterogenität der deponierten Abfälle führt zu beträchtlichen Schwankungsbreiten in der stofflichen Zusammensetzung und dem Emissionsverhalten.

Zum Verhalten von MBA-Deponien liegen erst wenige Erkenntnisse vor, da diese Vorbehandlung und die Deponierung der Reststoffe erst seit ca. 10 Jahren erfolgt. Die Einhaltung der Anforderungen der AbfAbIV ab Juni 2005 wird voraussichtlich nochmals zu einer Veränderung bzw. Verbesserung des Deponieverhaltens von abgelagerten MBA-Abfällen führen.

Bei der Ablagerung von MVA-Aschen, die auch unter dem Begriff Schlacken geführt werden, stehen wie beim Boden und Bauschutt die anorganischen Inhaltsstoffe und deren Deponieverhalten im Vordergrund. Bei MVA-Aschendeponien werden die Sickerwasseremissionen insbesondere in Bezug auf Salze und z.T. Schwermetalle untersucht.

4.1.2 Stoffzusammensetzung unterschiedlicher Abfallgruppen

Tabelle 4.1 fasst Einzelwerte und Bandbreiten von Untersuchungen unterschiedlicher Abfallstoffe zusammen:

- Frischmüll
- Abfall aus Deponien nach 5 – 35 Jahren Ablagerungsdauer
- Rohschlacke aus MVA
- MVA-Schlacke nach Alterung

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

- Bauschutt
- Bodenaushub

Tab. 4.1: Zusammensetzung unterschiedlicher Abfallstoffe, Mittelwerte und Bandbreiten

Parameter (Bezug auf Trockensubstanz)	Siedlungsabfälle (Frischmüll) (BHMA 1985)	Siedlungsabfälle (Frischmüll) (Bay. LfU, 2003; Heil, 1996)	Siedlungsabfälle aus Deponien (Alter 5 - 35 Jahre) (Heyer, 2003)	MBA-Output (Kaartinen et al., 2005)	Rohschlacke (Faulstich, 1996; Klein, 2002)	Schlacke (nach Lagerung) (Hirschmann et al., 1997; MBT, 1992)	Bauschutt (Bode, 2005; Düser, 2003)	Bodenaushub (Bode, 2005)
Glühverlust [%]	5 – 40	>60	5 – 38		1,9 – 6,4		2,0 – 3,0	
Kohlenstoff [g/kg]	308	220 150 – 250	16–237	240	5,0 – 50,0 (28,0)	4,7 – 18,4 (10,3)	13	7
Stickstoff [g/kg]	4,0 – 9,0 ¹⁾	8,48 3 – 5	4 – 9		n.n.			
Chlorid [g/kg]	8	3,93 7 – 8		5,9	0,27 – 6,3 (2,8)	2,7		
Fluorid [g/kg]	0,18	0,1 – 0,2			0,02 – 1,1 (0,31)	0,76		
Natrium [g/kg]		4,56		16	5,0 – 31,1 (23,4)	(6,3)	4,35	3,08
Magnesium [g/kg]		3,33		6,7	3,9 – 18,2 (9,4)	(7,5)	3,2	0,84
Aluminium [g/kg]		6,40		24	4,6 – 92,8 (54,3)	5,3 – 36 (20,7)	18,72	11,45
Silizium [g/kg]				95	143 – 320 (200)	487		
Phosphor [g/kg]		0,90		3,9	3,46 – 33,7 (13,7)	2,48		
Schwefel [g/kg]	3	1,74 2 – 5		6,8	2,0 – 4,1 (3,3)	6,66		
Kalium [g/kg]		4,23		10	2,9 – 21,4 (9,6)	(2,6)	9,91	6,59
Calcium [g/kg]		21,43		39	33,2 – 134 (76,8)	8,31 – 86 (47,2)	59,6	17,0
Chrom [g/kg]		0,336 0,25 – 0,60	0,0953 – 0,144	0,2	0,15 – 9,6 (1,2)	0,12 – 0,45 (0,229)	0,019	0,005
Mangan [g/kg]		0,293 0,2 – 0,3		0,4	0,513–0,917 ²⁾	0,817 – 1,5 (1,114)	0,184	0,091
Eisen [g/kg]	43	min. 3,5 25 – 50		16	37,1 – 86,0 (59,6)	10,4 – 92 (51,2)	9,4	4,2
Nickel [g/kg]		0,038 0,03 – 0,08	0,0237– 0,0516	0,1	0,039 – 0,76 (0,21)	0,17 – 0,25 (0,202)	0,016	0,003
Kupfer [g/kg]	0,37	0,353 0,2 – 0,6	0,0655– 0,623	0,8	0,4 – 7,0 (2,2)	2,0 – 5,6 (3,7)	0,021	0,009
Zink [g/kg]	3	0,505 1 – 2	0,351 – 2,738	1,7	0,53 – 21,0 (4,7)	2,3 – 8,9 (4,2)	0,071	0,042
Arsen [g/kg]		0,009 0,004–0,005	0,0143– 0,0689		0,002–0,035 ²⁾	0,0017–0,018 (0,0085)	0,004	0,002
Blei [g/kg]	0,97	0,208 0,4 – 1,2	0,135 – 2,872	0,6	0,33 – 5,2 (2,0)	0,6 – 1,6 (0,9)	0,039	0,014
Cadmium [g/kg]	0,02	0,0096 0,002 – 0,02	0,00058– 0,0042		0,0001–0,079 (0,021)	0,0005–0,009 (0,0043)	0,0003	0,0002
Zinn [g/kg]		0,0265		< 0,1	0,2 – 1,7 (0,45)	0,2	0,0036	0,0007
Quecksilber [g/kg]	0,006	0,00019 0,003 – 0,005	0,00037 –0,0051		0,00007–0,002 (0,0007)	(<0,0003)		

Einzelwerte in Klammern sind Mittelwerte; n.n.: nicht nachweisbar; ¹⁾: Leikam, 2001; ²⁾: Hirschmann et al., 1997



Unterschiede in der Zusammensetzung bestehen hauptsächlich bei den organischen Anteilen. Darüber hinaus werden diese auch beim Stickstoff, den Salzen und den Schwermetallen deutlich. Bei den Siedlungsabfällen ist die Veränderung der organischen Anteile infolge der Abbauvorgänge während der Deponierung zu erkennen.

4.1.3 Eluate unterschiedlicher Abfallgruppen

In Tabelle 4.2 sind Einzelergebnisse von Eluatkonzentrationen nach DEV S4 für unterschiedliche Abfallarten zusammengestellt:

Bei den Siedlungsabfällen ist wie beim Feststoff eine Reduzierung der Eluatkonzentrationen infolge der Ablagerungsdauer zu erkennen. Die in der ehemaligen DDR betriebenen Deponien unterscheiden sich in ihrem Emissions- und auch Elutionsverhalten von den in den alten Bundesländern betriebenen Deponien aufgrund ihrer Abfallbeschaffenheit und der damaligen Deponietechnik. So weisen Abfälle aus älteren DDR-Deponien geringere eluierbare organische und stickstoffhaltige Verbindungen auf als Deponien in den alten Bundesländern.

Weiterhin sind erhöhte Salz- und Schwermetallgehalte in den Eluaten der MVA-Schlacken festzustellen.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 4.2: Eluatkonzentrationen unterschiedlicher Abfallarten

Parameter	Eluate von unbehandelten Restabfällen (Ehrig et al., 1998)	Siedlungsabfälle Fraktion <20 mm (Dohmann, 1997)	Eluate von mechanisch vorbehandeltem Restabfall (LUA NRW, 2005)	Eluate von Siedlungsabfällen aus Deponien (Alter 5 - 35 Jahre) (Heyer, 2003)	Eluate von Siedlungsabfällen aus DDR-Deponien (Andreas, 2000)	Eluate aus MBA-Material (IGW, 2005 und Meul et al., 1998/99)	Eluate aus Rohschlacke und nach 3 Monaten Alterung (Hirschmann et al., 1997)
pH [-]	4,7 – 7,0	6,95 – 8,37	6,8 – 7,6	7,0 – 8,5	7,0 – 8,2	7,0 – 7,8	10,9 – 12,9 9,9 – 11,9
CSB [mg/l]	1.714–12.200	1.000 – 2.000	1.442 – 2.942	263 – 3.828	67 – 370		12,4 – 207 7,5 – 42
BSB [mg/l]	320 – 5.150	900 – 1.500		41 – 1.933			
DOC [mg/l]	537 – 3.929 (TOC)	350 – 850 (TOC)	645 – 1.127 (TOC)	91 – 1.323	12 – 140	64 – 545 (gesamt C)	0,05 – 81 0,02 – 167 (gesamt C)
TKN [mg/l]	81 – 435	80 – 190		5 – 79	2,4 – 29		
NH ₄ -N [mg/l]			6,57 – 69,17		0,8 – 18	6,4 - 56	0,09 – 1,63 0,05 – 0,86
Lf [mS/cm]	1,8 – 4,3	1,8 – 3,21	2,80 – 4,77	0,4 – 2,7	1,9 – 4,3	1,6 – 2,6	1,13 -8,53 0,76 – 2,18
Cl [mg/l]	230 – 571			2 – 224			100 – 1.648 71 – 1.250
SO ₄ [mg/l]				40 – 370	0,5 – 4,9		k.A. 77 – 445
AOX [µg/l]	<500	13 – 23,4	280 – 1.580	440	2 – 60	60 – 528	10 – 600 10 – 200
Arsen [µg/l]		<10	20		1 – 35	<10 – 10 8 – 68	<60 <10
Blei [µg/l]		<10 – 2.000	2.000	4 – 140	0,2 – 7,0	110 – 590 1 – 220	3 – 14.850 <300
Cd [µg/l]		<5 – 690	1 – 46	<1 – 5	0,06 – 4,0	<5 – 26 0,2 – 3,0	<5 <20
Chrom _{ges.} [µg/l]		<70 – 2.900	40 (Cr VI)	2 - 41	0,7 – 18	<10 (Cr VI) <5 – 260	0,1 – 170 5 – 260
Kupfer [µg/l]		<20 – 1.400	160 – 1.280	38 – 390	0,4 – 47	440 – 1.110 90 – 810	30 – 9.840 30 – 1.000
Nickel [µg/l]		40 – 540	150	60 – 120	5 – 71	80 – 150 40 – 135	<100 4 – 50
Hg [µg/l]		0,5 – 3	<1 – 5.683	<1 – 2,4	1 – 4	<0,5 <0,4 – 1,4	<8 0,2 – 5
Zink [µg/l]		40 – 8.400	1.500	120 – 290	1 - 80	700 – 2.710 130 – 2.900	20 – 1.360 30 – 250

k.A.: keine Angaben



4.1.4 Sickerwasser

Sickerwassermengen

Neben der Menge und Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle ist insbesondere der Wasserhaushalt für das Emissionsverhalten von Deponien bestimmend.

Zur Durchlässigkeit von Oberflächenabdeckungen und Oberflächenabdichtungen von Deponien liegen erst wenige längerfristige Erfahrungen vor. Je nach Deponiekörperform (Verhältnis Plateau- zu Böschungsbereichen), Gestaltung und Qualität der Abdeckung oder Abdichtung wird die Sickerwasserentstehung mehr oder weniger deutlich reduziert. Dazu sind Auswertungen vorgenommen worden, in denen das Abdeckungs-/Abdichtungssystem mit dem Sickerwasserabfluss bezogen auf den Niederschlag verglichen wurde (Tabelle 4.3).

Tab. 4.3: Sickerwassermengen bezogen auf den Niederschlag in Abhängigkeit der Oberflächenabdeckung/-abdichtung (Krümpelbeck, 2000, Huber et al., 2002)

Oberflächenabdeckung/-abdichtung	Anzahl untersuchter Standorte	Sickerwasser abfluss [als % von N]
geringmächtige Bodenabdeckung < 1m	22	25 – 60
Bodenabdeckung mit stärkerer Mächtigkeit > 1m	29	15 – 40
mineralische Oberflächenabdichtung	17	10 – 40
mineralische Oberflächenabdichtung	17	13 – 15
Kunststoffdichtungsbahn, Bentonitmatte	8	k.A.

Bei den qualifizierten Abdichtungen gemäß TASI bzw. DepV liegen noch keine belastbaren Angaben vor, da sie erst seit wenigen Jahren aufgebracht werden.

Der Sickerwasserabfluss abgedichteter Deponieabschnitte mit vollständig undurchlässiger Oberflächenabdichtung kann auf den weiteren biologischen Abbau organischer Substanz – und damit wasserspeichernder Materialien – und auf Konsolidierungsprozesse zurückgeführt werden. Als Konsolidierung des Abfallkörpers infolge seines Eigengewichts und der Auflast aus der Oberflächenabdichtung wird die zeitlich verzögerte Abgabe von Porenwasser und die daraus resultierende Volumenverminderung verstanden. Es ist zu erwarten, dass neben der Abfallzusammensetzung und der Geometrie des Abfallkörpers insbesondere der Sättigungszustand der Deponie einen erheblichen Einfluss auf die Höhe und den Verlauf des Sickerwasserabflusses nach dem Aufbringen der Oberflächenabdichtung haben wird (Ramke, 2006).

Aus der Abflusssummenlinie einer Deponie, bei der in den ersten drei Jahren nach Aufbringung der Oberflächenabdichtung etwa 50 mm/a an Sickerwasserabfluss auftraten, wird von Ramke (2006) ein Zeitraum von ca. 10 Jahren prognostiziert, indem aufgrund von Konsolidierungsvorgängen noch Sickerwasser abgegeben wird.

Sickerwasserzusammensetzung

Bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien wird die Sickerwasserbeschaffenheit folglich von den Abbauprozessen im Deponiekörper und von der Wasserinfiltration über den Ablagerungszeitraum bestimmt. In Tabelle 4.4 sind Sickerwasserkonzentrationen in Abhängigkeit der Ablagerungsdauer zusammengestellt. Die tendenzielle Abnahme der Belastung ist bei der Auswertung von Krümpelbeck und Ehrig, 1999, zu erkennen. Zur Prognose der zukünftigen Sickerwasserbeschaffenheit in der Stilllegungs- und Nachsorgephase in Abhängigkeit des Wasserhaushalts sind die Belastungen des hohen Deponiealters bzw. der Methanphase von Bedeutung.

In den Tabellen 4.4 bis 4.7 sind Literaturdaten zur Sickerwasserqualität von unterschiedlichen Siedlungsabfall-, MBA-, MVA-Schlacke- und Bauschuttdeponien zusammengestellt.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 4.4: Sickerwasserinhaltsstoffe von Siedlungsabfalldeponien (Minimum – Maximum - Mittelwert)

Parameter	Einheit	Deponiealter 1 – 5 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig, 1999)	Deponiealter 6 – 10 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig, 1999)	Deponiealter 11 – 20 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig, 1999)	Deponiealter 21 – 30 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig, 1999)	Methanphase westdeutscher Deponien (Ehrig, 1989)	Methanphase niedersächsischer Deponien (Kruze 1994)
pH-Wert	[-]	5,4 – 8,7 (7,3)	6,4 – 8,7 (7,5)	6,4 – 8,9 (7,6)	7,0 – 9,0 (7,7)	7,5 – 9,0 (8,0)	7,0 – 8,3 (7,6)
Lf	[mS/cm]	1,37 – 23,3 (9,28)	1,03 – 51,4 (12,16)	1,1 – 40,3 (10,61)	1,602 – 109 (12,93)		
CSB	[mg/l]	303–22.700 (3.810)	194–22.500 (3.255)	120–29.150 (1.830)	123–6.997 (1.225)	500 – 4.500 (3.000)	460 – 8.300 (2.500)
BSB ₅	[mg/l]	103–16.000 (2.285)	20 – 64.880 (1.210)	10 – 25.800 (465)	12 – 1.100 (290)	20 – 550 (180)	20 – 700 (230)
TOC	[mg/l]	159 – 7.725 (1.235)	65 – 4.930 (845)	41 – 2.600 (520)	35 – 1.120 (475)	200 – 5.000 (1.300)	150 – 1.600 (660) ¹⁾
NH ₄ -N	[mg/l]	18 – 7.000 (405)	71 – 2.360 (600)	33 – 2.870 (555)	66,5 – 1.571 (445)	30 – 3.000 (750)	17 – 1.650 (740)
NO ₃ -N	[mg/l]	0,08 – 26 (3,6)	0,08 – 160 (7,6)	0,08 – 200 (11,7)	0,113 – 64 (9,2)	0,1 – 50 (3)	
NO ₂ -N	[mg/l]	0,01 – 0,3 (0,064)	0,01 – 11,7 (0,63)	0,01 – 9,1 (0,54)	0,036 – 7,18 (0,84)	0 – 25 (0,5)	
AOX	[µg/l]	452 – 7.500 (2.765)	282 – 6.200 (1.930)	130 – 5.300 (1.505)	130 – 5.600 (1.130)	524 – 2.010 (1.040)	195 – 3.500 (1.725)
Cl	[mg/l]	140–11.950 (1.300)	172–28.000 (2.135)	154–3.000 (1.760)	157 – 2.880 (1.025)	100 – 5.000 (2.100)	315–12.400 (2.150)
Sulfat	[mg/l]	19 – 400 (98)	4 – 1.810 (146)	2,2 – 556 (93)	5,2 – 490 (83)	10 – 420 (80)	25 – 2.500 (240)
Sulfid	[mg/l]	0,532 – 21 (5,6)	0,04 – 47 (6,1)	0,04 – 40 (2)	0,04 – 4,8 (1,1)		
Na	[mg/l]	112 – 2.200 (815)	146 – 4.700 (1.125)	100 – 4.400 (905)	74 – 1.500 (645)	50 – 4.000 (1.350)	1 – 6.800 (1.150)
K	[mg/l]	240 – 2.200 (1.220)	110 – 1.850 (910)	100 – 1.900 (695)	97 – 1.268 (595)	10 – 2.500 (1.100)	170 – 1.750 (880)
Mg	[mg/l]	98 – 612 (290)	32 – 1.167 (205)	50 – 593 (145)	43 – 221 (115)	40 – 350 (180)	25 – 300 (150)
Ca	[mg/l]	46 – 2.290 (375)	44 – 10.000 (465)	12 – 5.000 (325)	71 – 863 (155)	20 – 600 (60)	50 – 1.100 (200)
Mn	[mg/l]	0,055 – 43 (3,9)	0,12 – 95 (2,5)	0,05 – 38,4 (1,1)	0,21 – 5,7 (0,91)		
Fe	[mg/l]	0,1 – 550 (50)	0,35 – 1.383 (29,5)	0,56 – 825 (16,5)	0,4 – 189 (12,5)	3 – 280 (15)	4 – 125 (25)
Pb	[µg/l]	5 – 920 (156)	5 – 317 (56)	5 – 1.300 (67)	5 – 190 (34)	8 – 1.020 (90)	8 – 400 (160)
Zn	[mg/l]	0,02 – 24 (1,1)	0,016 – 125 (1,5)	0,01 – 43,5 (0,53)	0,05 – 9,0 (0,538)	0,03 – 4,0 (0,6)	0,09 – 3,5 (0,6)
Cd	[µg/l]	0,2 – 50 (11)	0,2 – 190 (5,8)	0,13 – 70 (3,9)	0,2 – 18 (2,8)	0,5 – 140 (6,0)	0,7 – 525 (37,5)
Ni	[µg/l]	20 – 1.400 (199)	12 – 10.600 (249)	7 – 1.930 (135)	8 – 348 (115)	20 – 2.050 (200)	10 – 1.000 (190)
Cu	[µg/l]	3 – 40.000 (711)	2 – 3.300 (115)	2,5 – 1.030 (62)	4 – 270 (36)	4 – 1.400 (80)	5 – 560 (90)
Cr	[µg/l]	13 – 480 (156)	20 – 2.570 (224)	6 – 1.160 (164)	5 – 1.620 (177)	300 – 1.600 (300)	2 – 520 (155)
As	[µg/l]	3 – 30 (15)	2 – 97 (21)	1 – 370 (42)	2,6 – 182 (36)	5 – 1.600 (160)	5,3 – 110 (25,5)
Bor	[mg/l]	0,4 – 15 (5,9)	0,26 – 43 (6)	0,36 – 18 (5,6)	0,96 – 58 (9,1)		

¹⁾ DOC



„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 4.5: Sickerwasserkonzentrationen verschiedener MBA-Deponien (Minimum – Maximum)

	Sickerwasser MBA-Versuchsfeld Buchen (IGW, 2005)	Sickerwasser nach mech.-biol. Vorbeh. (Müll und Abfall, Beiheft 33 S.102)	Sickerwasser MBA Bad Tölz-Wolfratshausen (Containerrotte, 16 Wo. Intensiv-, 8 Wo. Nachrotte) (Hermann et al., 2001)	Sickerwasser MBA Lohfelden (Boxenrotte, 4 Wo. Intensiv-, 9 Wo. Nachrotte) (Hermann et al., 2001)	Sickerwasser MBA Lohfelden (Boxenrotte, 4 Wo. Intensiv-, 43 Wo. Nachrotte) (Hermann et al., 2001)	Sickerwasser MBA-Material (LUA NRW, 2005)
pH-Wert [-]	6,9 – 7,2	7,5 – 8,3 ¹⁾				7,48 – 8,39
BSB ₅ [mg/l]	13 – 40	<3 – 139	14 – 502	2 – 89	2 – 22	30 – 400
CSB [mg/l]	2.670 – 3.450	326 – 1.100 (414 – 1.200) ¹⁾	1.570 – 8.280	450 – 4.370	200 – 1.920	390 – 1.000
TOC [mg/l]			780 – 5.800	160 – 1.900	36 – 970	140 – 580
NH ₄ -N [mg/l]	11,1 – 33	24 – 226 (0,1 – 250) ¹⁾				150 – 620
Nitrat [mg/l]	<10 - 500	0 – 31				
Chlorid [mg/l]		716 – 1.971				420 – 980
SO ₄ -S [mg/l]		bis 455				
Arsen [µg/l]			4 – 18	6 – 19	2 – 16	1,1 – 6
Blei [mg/l]	<0,1 – 0,1		0,032 – 1,6	0,11 – 0,5	0,03 – 0,32	0,005 – 0,092
Cadmium [µg/l]	<100		6 – 730	6 – 18	<2 – 33	0,5 – 10
Chrom ges. [µg/l]	<100		60 – 340	55 – 190	22 – 76	50 – 100 (Cr VI)
Kupfer [mg/l]	0,54 – 0,98		0,05 – 2,3	0,08 – 1,7	0,13 – 1,23	0,012 – 0,064
Nickel [mg/l]	0,18 – 0,3		0,09 – 1,6	0,05 – 0,39	0,047 – 1,82	0,013 – 0,11
Quecksilber [µg/l]	n.b.		<0,1 – 126	0,3 – 7,5	<0,1 – 5,0	0,2 – 4,0
Zink [mg/l]	3,2 – 4,0		0,32 – 4,0	0,66 – 7,5	0,38 – 1,88	0,049 – 0,25
AOX [mg/l]	n.b.	0,4 – 1 (0,3 – 1,5) ¹⁾	0,646 – 2,61	0,2 – 2,5	0,278 – 1,14	<0,1 – 1,2

¹⁾ Münnich et al., 2005



„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 4.6: Sickerwasser aus MVA-Schlacken (Mittelwerte)

	MVA-Schlacke, 11 Jahre alt, Freiland-Lysimeter Versuch (Lechner, 2005)	MVA-Schlacke, 11 bis 14 Jahre alt, Freiland-Lysimeter Versuch (Lechner, 2005)	Schlacke-/Aschedeponie Vestskoven (DK), 0 bis 2 Jahre alt (Hjelmar, 1995/96)	Schlacke-/Aschedeponie Vestskoven (DK), 18 bis 19 Jahre alt (Hjelmar, 1995/96)	Schlackedeponie Lostorf (CH), 3 Jahre alt mit 6-9 Monate Zwischenlagerung (Johnson et al, 1999)	Sickerwasser aus MVA-Schlackedeponie Großmehring (Klein 2002)	Sickerwasser aus MVA-Schlackedeponien (Müll und Abfall, Beiheft 33, S.102)
pH	6,97 – 8,19	7,24 – 8,28	8,8 – 10,1	8,9 – 10,2	10,28	6,4 – 8,7	
Lf [mS/cm]	4,9	5,7	31	19			
NH ₄ -N [mg/l]			39	3,9			0,18 – 190
BSB ₅ [mg/l]							<1 – 1.700
CSB [mg/l]							14 – 560
DOC [mg/l]					10		10 – 400
Nitrat [mg/l]						560 – 2.627	<20 – 190
Nitrit [mg/l]							0,16
Al [mg/l]	0,043	0,026			0,8		
B [mg/l]	4,2	1,8			2,4		
Ba [mg/l]	0,039	0,022					
Pb [mg/l]	0,003	0,002	0,0013	0,007	0,003	0,025 – 0,1	<0,0001 – 0,9
Cd [mg/l]	0,002	0,005	<0,003	<0,0002	0,0013		<0,00005 – 0,15
Cr [mg/l]	0,007	0,003	0,03	<0,002	0,011		<0,0001 – 0,1
Fe [mg/l]	0,118	0,043	0,21	0,055			
Cu [mg/l]	0,037	0,043	0,013	0,018	0,101		<0,0005 – 0,46
Mn [mg/l]	0,112	0,066			0,005		
Ni [mg/l]	0,057	0,027					<0,02 – 0,6
Si [mg/l]	4,1	3,3			3,8		
Zn [mg/l]	0,081	0,266	0,05	0,09	0,006	0,18 – 0,25	<0,1 – 2,5
Ca [mg/l]	428	614	670	58	330		
Mg [mg/l]	366	360			15		
Na [mg/l]	584	568	5.600	3.600	1.023		
K [mg/l]	225	296	3.900	800	461		
Cl [mg/l]	514	820	9.300	3.300	1.670	2.204 – 12.373	290 – 19.600
SO ₄ [mg/l]	2.912	3.026	3.100	6.100	1.191	536 – 2.600	70 – 5.800
As [mg/l]	0,004	0,006	0,014	0,01			0,0034 – 0,025
Hg [mg/l]	0,0003	0,0003	0,00008	0,0004			<0,00005 – 0,160
AOX [mg/l]							0,128
Sb [mg/l]	0,029	0,021			0,032		
Co [mg/l]	0,003	0,001					
Mo [mg/l]	0,496	0,075			0,52		
V [mg/l]	0,004	0,004			0,022		
Ag [mg/l]	0,002	0,001					



Tab. 4.7: Sickerwasserkonzentrationen von Bauschutt-Deponien (Minimum – Maximum)

	Einheit	Sickerwasser aus Bauschuttdeponien (Schenk et al., 2003)	Sickerwasser aus Bau- schuttdeponien (BMU-/ LAGA, 2002)
pH-Wert	[-]	6,5 – 12	7 – 8,5
BSB ₅	[mg/l]		bis 100
CSB	[mg/l]		100 – 250
TKN	[mg/l]		20 – 200
NH ₄ -N	[mg/l]		bis 30
Chlorid	[mg/l]		100-600
SO ₄ -S	[mg/l]		bis 450
Arsen	[mg/l]	<0,004 – 0,112	0,01 – 0,04
Blei	[mg/l]		bis 0,006
Cadmium	[mg/l]		n.n.
Chrom ges.	[mg/l]	0,008 – 0,058	bis 0,008
Kupfer	[mg/l]	0,01 – 0,028	bis 0,011
Nickel	[mg/l]	0,003 – 0,033	
Zink	[mg/l]		0,1 – 0,6
AOX	[mg/l]		bis 0,02

4.1.5 Deponiegas

Der anaerobe Abbau biologisch verfügbarer organischer Abfallanteile führt zur Deponiegasproduktion. Dabei werden vorwiegend Methan und Kohlendioxid produziert. Im Gas sind weiterhin Stickstoff, etwas Sauerstoff, Schwefelwasserstoff sowie Spurenstoffe (darunter organische Metallverbindungen, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Fluorchlorkohlenwasserstoffe, Chlorkohlenwasserstoffe und siliziumorganische Verbindungen) enthalten.

Für herkömmliche Siedlungsabfalldeponien bildet das Deponiegas die Hauptemissionsquelle für die Kohlenstoffverbindungen.

Von Rettenberger et al. (1992) wurde eine mögliche langfristige Entwicklung der Deponiegaszusammensetzung beschrieben, wobei eine Einteilung des Gashaushalts in zehn Phasen vorgenommen wurde. Die mittel- und langfristige Entwicklung des Gashaushalts wird mit den Phasen V bis X charakterisiert:

- I. Aerobe Phase
- II. Anaerobe saure Gärung
- III. Anaerobe instabile Methangärung
- IV. Anaerobe stabile Methangärung
- V. Methanphase: Es ist ein Anstieg des Methangehalts und eine Abnahme des Kohlendioxidgehalts festzustellen.
- VI. Langzeitphase: Kennzeichnend ist ein hoher Methangehalt bei weiter abnehmenden Kohlendioxidgehalten. Das Verhältnis Methan zu Kohlendioxid kann bis etwa 4 betragen.
- VII. Lufteindringphase: Die Gasbildung nimmt soweit ab, dass zeitweilig oder örtlich Luft in die Deponie eindringen kann. Der Methangehalt geht zurück, während der Kohlendioxid- und der Stickstoffgehalt leicht ansteigen.
- VIII. Methanoxidaionsphase: Bei weiter abnehmender Gasbildung dringt Luft in den Deponiekörper ein, Methan wird zu Kohlendioxid oxidiert.
- IX. Kohlendioxidphase: Der Methangehalt geht gegen Null, der Kohlendioxidgehalt liegt zwischen 5 und 20 Vol.-%. Der Stickstoffgehalt erreicht Werte wie in normaler Bodenluft, und der Sauerstoffgehalt steigt an.
- X. Luftphase: Der Kohlendioxidgehalt fällt weiter, der Methangehalt geht gegen Null. Sauerstoff und Stickstoff erreichen die für Bodenluft normalen Werte.

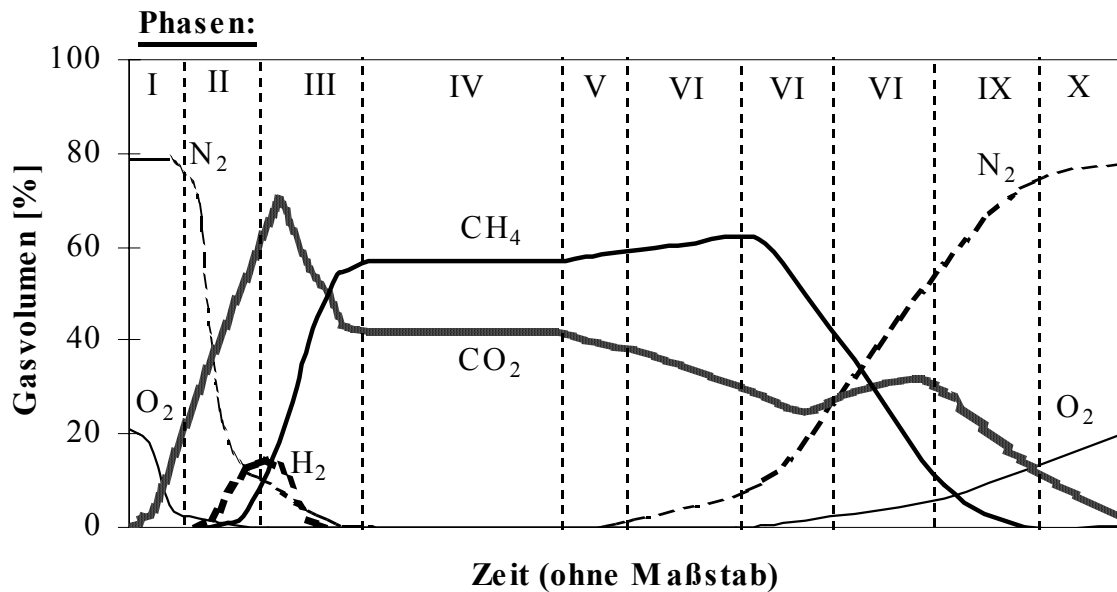


Abb. 4.1: Hauptkomponenten im Deponiegas, Konzentrationsverläufe während der Abbauphasen im Deponiekörper (nach Rettenberger et al., 1992)

Für Abfälle einer herkömmlichen Hausmülldeponie werden aufgrund von Laboruntersuchungen, Messungen an Deponien und Berechnungen häufig Gaspotenziale im Bereich von etwa 120 – 280 m³/Mg TS angegeben. Der Verlauf der Gasproduktion weist auf Halbwertszeiten zwischen 4 und 8 Jahren hin.

Von Krümpelbeck (2000) wurde eine Auswertung erfasster Gasmengen zahlreicher Deponien in Abhängigkeit der Ablagerungsdauer vorgenommen:

- bis zu 20 m³/MgTS*a unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung
- bis zu 12 m³/MgTS*a nach 5 Jahren Ablagerungsdauer
- bis zu 5 m³/MgTS*a nach 10 Jahren Ablagerungsdauer
- etwa 1 – 2 m³/MgTS*a nach 15 bis 20 Jahren Ablagerungsdauer

Mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle weisen ein Gaspotenzial von etwa 10 – 45 m³/Mg TS auf (Münnich, 2006). Die Halbwertszeit wird sich gegenüber herkömmlichen Deponien vermutlich erhöhen, da der verdichtete

Einbau und der reduzierte Wassereintrag eine Verzögerung der biologischen Abbauprozesse nach sich ziehen wird.

In Schlackedeponien tritt keine Gasproduktion infolge biologischer Abbauprozesse auf. Aufgrund chemischer Reaktion sind in Einzelfällen kurzzeitig erhöhte Wasserstoffgehalte festgestellt worden.

In Boden- und Bauschuttdeponien sind ebenfalls keine nennenswerten biologischen Abbauprozesse zu erwarten, die zu einer Gasproduktion führen. Dennoch können vereinzelt erhöhte Methan- und Kohlendioxidgehalte nachgewiesen werden, wenn z.B. Gartenabfälle oder organische Siedlungsabfälle in geringen Mengen mit abgelagert wurden.

4.2 Setzungen

Bei vereinfachter Darstellung sind folgende Setzungserscheinungen zu unterscheiden:

- Sofortsetzungen (Anfangssetzungen): Setzungen infolge des Einbaus
- Kurz- und mittelfristige Setzungen (Primäre Setzungen): Setzungen infolge wachsender Auflast und einsetzender biologischer Abbauprozesse (Sackungen), z.T. Auspressen von Porenwasser
- Mittel- und langfristige Setzungen (Sekundäre Setzungen): Setzungen infolge biologischer Abbauprozesse und Gefügeveränderungen bis zum Abschluss der Mineralisation, Kriecherscheinungen
- Setzungsstillstand

Das Absolutmaß der Setzungen und der Setzungsverlauf werden im Wesentlichen beeinflusst durch (Ramke, 1992):

- Deponiegeometrie und -betriebstechnik
- Verdichtungsarbeit

- Abfallarten und Zusammensetzung
- Ausmaß der biologischen Umsetzungsprozesse

Eine Differenzierung in Setzungs- und Sackungskomponenten ist kaum möglich (Ramke, 1992). Wiemer (1983) stellte einen Zusammenhang zwischen dem Verdichtungsgrad und dem Setzungsmaß dar. Danach sinkt die jährliche auf die Deponiehöhe bezogene Setzung von 11 auf $< 1,2$ mm/m mit verbessertem Verdichtungsgrad von schlecht bis sehr gut. Für eine detaillierte Betrachtungsweise und zur Abschätzung des Setzungsverhaltens werden generell folgende Grunddaten benötigt:

- Deponiegeometrie (abschnittsweise) und Einbaudichte
- zeitlicher und örtlicher Verlauf des Abfalleinbaus
- Abfallzusammensetzung

Durch Einbau und Auflast kommt es bei hausmüllähnlichen Siedlungsabfällen ohne Vorbehandlung zu relativ kurzzeitigen Setzungen, die während des Betriebes einer Deponie andauern. Langfristige Setzungen entstehen vor allem durch biologische Abbauprozesse.

Als Richtwert für das Ausmaß der Setzungen und Sackungen in Siedlungsabfalldeponien werden allgemein 20% der Ausgangshöhe genannt (Ramke, 1992). Nach Untersuchungen von Kölsch (1994) über einen Zeitraum von 5 Jahren können bei unverdichtet eingebauten Abfällen Gesamtsetzungen (inkl. Sackungen) von über 40% der Ausgangshöhe auftreten. Ähnliche Ergebnisse beschreiben auch Ziehmann et al. (2000): In einem Zeitraum von 8 Jahren wurden Setzungsuntersuchungen wiederholt durchgeführt. Die Gesamtsetzungen betrugen ca. 37% der Ausgangshöhe des unverdichteten Abfalls. Da sie noch nicht abgeschlossen waren, wurden Setzungen von mehr als 40% erwartet. Es wurde im Rahmen dieser Untersuchungen jedoch auch eine Abnahme der Setzungsgeschwindigkeit im Verlauf des betrachteten Zeitraumes festgestellt: So betrugen die Setzungen im ersten Jahr der Untersuchungen nach

der Abfalleinlagerung 50-90 cm/a (bei einer Mächtigkeit des unverdichteten Abfallkörpers von 6 m). Während die mittlere Setzungsgeschwindigkeit nach 5 Jahren auf 12 cm/a abgeklungen war, lag sie nach 7 Jahren nur noch bei 6 cm/a.

Maximale Sackungen aufgrund biologischer Umsetzungsprozesse im Deponiebetrieb sind in der Phase hoher Gasbildung zu erwarten. Als Maß für die biologische Aktivität im Deponiekörper kann die Gasproduktion herangezogen werden. Die gebildete bzw. zu erwartende Gasmenge kann über den bioverfügbaren Kohlenstoffgehalt abgeschätzt, experimentell ermittelt oder über Atmungsaktivitätstests unter Berücksichtigung des organischen Abfallanteils prognostiziert werden.

Durch die mikrobielle Umsetzung unvorbehandelter Siedlungsabfälle werden auch tragende bzw. Struktur bildende Abfallbestandteile abgebaut bzw. umgesetzt, was ein Nachsacken von Abfallmaterial in Hohlräume zur Folge hat. Ferner kann die Materialfestigkeit durch die mikrobiellen Umsetzungsprozesse geschwächt werden, so dass es durch die veränderte Kompressibilität des Abfalls auch ohne Änderung der Belastung/Auflast zu vertikalen Verformungen und somit Sackungen/Setzungen kommen kann (Kölsch, 1994). Insbesondere durch die mikrobielle Umsetzung von bewehrungsähnlich wirkenden Materialien wie Fasern, Textilien etc. oder den Festigkeitsverlust von zugfesten Folien können Hohlraumnachsackungen verursacht werden. Sie sind aufgrund der inhomogenen Abfallzusammensetzung herkömmlicher Deponien jedoch kaum quantifizier- bzw. prognostizierbar (Collins et al., 1997).

Eine endgültige Oberflächenabdichtung sollte in der Regel in der Stilllegungsphase erst aufgebracht werden, wenn die Hauptsetzungen abgeklungen sind, der Deponie- bzw. Abfallkörper also in einen emissions- und damit auch setzungsarmen Zustand überführt wurde. Da im Wesentlichen mikrobielle Umsetzungsprozesse das weitere Setzungs-/Sackungsverhalten in der Nach-

sorgephase bestimmen, sind damit verbundene Folgeerscheinungen bei weitgehender Stabilisierung des Abfallkörpers gering. Eine Stabilisierung wurde bei der Ablagerung von MVA-Schlacken/-Aschen “vollständig” und bei der Ablagerung von MBA-Behandlungsrückständen weitgehend vor dem Deponieeinbau vorweggenommen. Dieses gilt jedoch nicht für herkömmliche Siedlungsabfalldeponien.

4.3 Prognose und Beeinflussung des Langzeitemissionsverhaltens

In der Diskussion um das langfristige Ablagerungsverhalten von Abfällen werden Begriffe wie „Inertisierung“ und „Stabilisierung“ sowie die „nachsorgearme“ oder „nachsorgefreie“ Deponie häufig in unterschiedlicher Bedeutung verwendet.

Eine **Inertisierung** führt zu biologisch, chemisch und physikalisch derart reaktionsträgen Stoffen, dass Wechselwirkungen mit der Umwelt weitgehend ausgeschlossen sind. Wirklich inerte Abfälle können ohne weitere Schutzmaßnahmen in die Umwelt abgegeben werden. Die bislang eingesetzten Verfahren zur Behandlung und Beseitigung von Abfällen können diesen weitgehenden Anforderungen an eine Inertisierung nicht gerecht werden.

Eine **Stabilisierung** unterbindet dagegen für einen technisch überschaubaren Zeitraum Umsetzungs- und Lösungsreaktionen (Bilitewski et al., 1994). Im Falle einer z.B. aeroben biologischen Abfallbehandlung vor oder während der Ablagerung tragen verschiedene Vorgänge zur Stabilisierung bei:

- die Mineralisierung von organischem Kohlenstoff zu Kohlendioxid und Wasser
- die Humifizierung leicht verfügbarer Verbindungen zu schwer abbaubaren Polymerisaten

- die Immobilisierung von Schadstoffen durch Einbindung in Huminstoffkomplexe

Die **nachsorgefreie Deponie** weist theoretisch einen stabilen, emissionsfreien Zustand auf, der sich im Gleichgewicht mit seiner Umgebung befindet. Kontroll- und Wartungsmaßnahmen sind weder gegenwärtig noch zukünftig nötig.

Die „Null-Emission“ einer herkömmlich betriebenen Siedlungsabfalldeponie ist sicherlich nicht zu erreichen, zumal wenn Zeitmaßstäbe von wenigen Jahrzehnten angestrebt werden, in denen sich ein „nachsorgefreier“ Zustand einstellen soll. Um eine Deponie in der Nachsorge in einen umweltverträglichen Zustand zu überführen, ist es notwendig, den Anteil der mobilisierbaren Schadstoffe im Deponiekörper soweit wie möglich zu reduzieren. Die unkontrollierte Freisetzung der verbleibenden mobilisierbaren Restanteile darf zu keinen bedeutenden Beeinträchtigungen der natürlichen Umgebung führen. Die Beurteilung der Beeinträchtigung bzw. Gefährdung kann nur schutzgutbezogen und damit standortspezifisch erfolgen.

Da es nicht möglich ist, bestehende Siedlungsabfalldeponien in der Nachsorge in einen gänzlich emissionsfreien Zustand (inert Deponiekörper) zu überführen, ist der Schwerpunkt der Stilllegungsmaßnahmen auf einen weitgehend emissionsarmen Zustand (stabilisierter Deponiekörper) zu legen.

Nachfolgend werden die mittel- und langfristigen Emissionen von Siedlungsabfalldeponien erläutert, die gemeinsam mit den Standortbedingungen und der Schutzgutsituation die Maßnahmen und die Dauer der Nachsorge bestimmen. Daran anknüpfend wird der Frage nachgegangen, wie weit die Prozesse im Deponiekörper im Sinne einer beschleunigten Stabilisierung beeinflusst werden können, um mögliche Umweltgefährdungen kontrolliert zu reduzieren, damit den Aufwand der Deponienachsorge zu senken und die Nachsorgedauer zu verkürzen.

4.3.1 Prognose langfristiger Sickerwasseremissionen bei Hausmülldeponien

Der Stoffaustrag über das Sickerwasser ist bei Deponien unmittelbar vom Wasserhaushalt abhängig, der wiederum von der klimatischen Sickerwasserbildung, dem durchströmten Abfallkörper und der Ablagerungsmächtigkeit bestimmt wird. Hieraus kann das „Wasser-Feststoffverhältnis“ W/F ermittelt werden.

Nach Abschluss der Deponierung kann in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen bei nicht oder geringfügig abgedeckten Deponien mit einer Sickerwasserspende von 3 bis 20 m³/(ha*d) (ca. 10-25% des Jahresniederschlags) gerechnet werden. Untersuchungen von über 50 Deponien zeigten, dass ein durchschnittliches Sickerwasseraufkommen von ca. 5 ± 2 m³/(ha*d) auftritt, welches zum Ende der Ablagerung, bedingt durch die Erschöpfung der Speicherkapazität der Abfälle, deutlich ansteigen kann.

Je nach Ausführung der aufgetragenen Oberflächenabdeckung wird eine Abnahme des Sickerwasseraufkommens auf 0,5 bis 5 m³/(ha*d) erreicht. Jahreszeitlich bedingt und in Abhängigkeit der Vegetationsentwicklung sowie der Mächtigkeit der gewählten Oberflächenabdeckung kann es zu Schwankungen der Sickerwassermengen kommen. Bei kombinierten Oberflächenabdichtungen gemäß den Anforderungen der Deponieverordnung müsste die klimatische Sickerwasserbildung theoretisch bis auf 0 m³/(ha*d) zurückgehen, so dass es in einer Übergangsphase zu einer allmählichen Austrocknung des Deponiekörpers kommt. Langzeiterfahrungen liegen dazu noch nicht vor.

Der zeitliche Verlauf der Emissionen über den Wasserpfad wird im Wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst:

- dem mobilisierbaren Stoffpotenzial
- dem Wasserhaushalt im Deponiekörper

- dem Mobilisierungsverhalten aufgrund der Verfügbarkeit
- den Milieubedingungen (anaerob, aerob, Hemmeinflüsse etc.)

Sofern noch Niederschlagswasser in den Deponiekörper eindringen kann, sind die Konzentrationen der biochemisch beeinflussten Sickerwasserinhaltsstoffe (z.B. CSB) generell rückläufig, was hauptsächlich in der Änderung und Art der stattfindenden Umsetzungsprozesse begründet liegt. Mit dem Übergang in die Methanphase und dem damit verbundenen stabilen anaeroben Milieu verlagern sich die Emissionen ins Deponiegas. Im Sickerwasser steigt der relative Anteil der schwer abbaubaren eluierbaren organischen Stoffe an (u.a. huminstoff-ähnliche Verbindungen). In der Nachsorge muss bei der langfristigen Entsorgung des Sickerwassers mit einem zunehmend geringer belasteten, aber biologisch kaum noch abbaubaren Wasser gerechnet werden. Deutlich ist dies auch am Quotienten des BSB_5/CSB -Verhältnisses zu erkennen. Er liegt während der sauren Gärung bei ca. 0,5 und fällt auf unter 0,1 in der stabilen Methanphase ab.

Der Stickstoff ist mit seinem unsteten Verlauf schwerer abzuschätzen. Zu Beginn der Deponierung ist der Stickstoffgehalt im Sickerwasser häufig etwas niedriger als mit zunehmendem Deponiealter. Im weiteren Verlauf kann eine leichte Abnahme beobachtet werden, die vielfachen Schwankungen unterworfen ist.

Weiterhin besteht ein Zusammenhang zwischen der Deponiehöhe und der Sickerwasserbelastung: Je höher eine Deponie ist, d.h. je länger dadurch die Fließwege und Aufenthaltszeiten im Deponiekörper sind, desto größer ist i.d.R. die Belastung des austretenden Sickerwassers (Kruse, 1994).

Aus Überwachungsmaßnahmen auf Deponien und in DSR-Versuchen wurde für die organischen Sickerwasserinhaltsstoffe ein asymptotischer zeitlicher Verlauf mit hohen Werten zu Beginn der Ablagerung und stetiger Abnahme festgestellt. Diese Situation ergibt als Folge der biologischen Abbauprozesse,

aus Verdünnungsvorgängen und neu mobilisierten Stoffen. Ähnlich verhält es sich bei den Stickstoffemissionen, deren Abnahme jedoch langsamer verläuft als bei den organischen Parametern. Salze hingegen nehmen im Sickerwasser schneller ab, da sie hauptsächlich der Auslaugung unterliegen (Heyer, 2003).

Die Auslaugung von Schwermetallen ist neben deren Gesamtgehalt und der vorliegenden Bindungsform, vor allem als Sulfide, insbesondere von den Milieubedingungen wie Redoxpotenzial und pH-Wert abhängig. Bei neutralem pH-Wert und negativem Redoxpotenzial (-100 mV bis -300 mV) wurde in DSR-Versuchen eine geringe Löslichkeit der meisten Schwermetalle festgestellt. In Deponien liegen in etwa ähnliche Verhältnisse in der Methanphase vor. Es kommt i.d.R. nur zu relativ geringen Schwermetallkonzentrationen im Sickerwasser.

Bei einer Prognose der Zeiträume bis zum Erreichen von Restbelastungen im Sickerwasser handelt es sich nicht um exakt festzulegende Zeitintervalle, sondern um Zeithorizonte, in denen das Erreichen von Grenz- bzw. Anforderungswerten als realistisch betrachtet wird. Dazu können Extrapolationsrechnungen für die Konzentrationsverläufe im Sickerwasser durchgeführt werden (Abbildung 4.2):

$$C_t = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

mit: C_t = Konzentration zur Zeit t [mg/l]

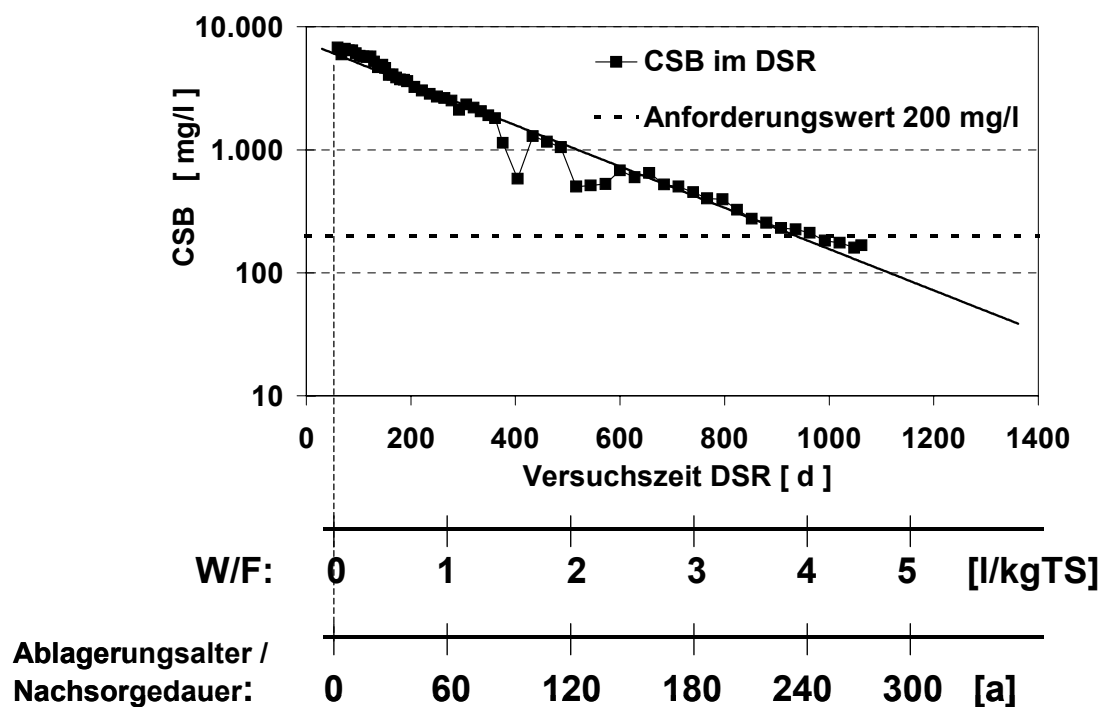
C_0 = Konzentration zu Beginn der Deponiestilllegung und Nachsorge [mg/l]

k = Faktor = $\ln 2 / T_{1/2}$ [-]

$T_{1/2}$ = Halbwertszeit [a]

t = Ablagerungsdauer in der Stilllegung und Nachsorge [a]

Für den CSB-Verlauf im Sickerwasser werden bei durchschnittlichen Deponiebedingungen (konstante klimatische Sickerwasserbildung von 250 mm pro Jahr, Deponiehöhe von 20 m) Zeiträume von 80 - 360 Jahren mit durchschnittlich 140 Jahren und einem durchschnittlichen Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2,4 abgeschätzt, bis Grenzkonzentrationen von z.B. 200 mg/l erreicht werden (Tabelle 4.8). Beim Chlorid liegen die Zeiträume bei 90 bis 250 Jahren mit ebenfalls 140 Jahren im Durchschnitt, bis eine Konzentration von 100 mg/l unterschritten wird.



(BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“: exemplarischer CSB-Verlauf aus DSR-Versuchen / orientierender Grenzwert: 200 mg/l gemäß 51. Anhang AbwV; Ablagerungsmächtigkeit: 20 m)

Abb. 4.2: Emissionsverhalten des CSB im Sickerwasser, zeitliche Abschätzung über Bezug auf klimatische Sickerwasserbildung und Ablagerungsmächtigkeit

Tab. 4.8: Abschätzung des Zeitraumes bis zum Erreichen einer Grenzkonzentration C_E für die Parameter CSB, TKN, AOX und CI, Ergebnisse aus Laborversuchen (DSR) zum Langzeitverhalten

Parameter	C_E Grenzkonzentration [mg/l]	C_0 Ausgangskonzentration im DSR [mg/l]	DSR W/F bis C_E [m ³ /Mg TS]	DSR Zeitraum bis C_E [a]	Deponien Zeitraum bis C_E Krümpelbeck et al. (2000) [a]
CSB	$C_{E-51.Anh.} = 200$ mg/l Mittelwert	500 – 12.700 3.000	1,0 – 6,0 2,4	80 - 360 140	65 – 320 Jahre
TKN	$C_{E-51.Anh.} = 70$ mg/l Mittelwert	200 – 2.100 900	2,6 – 7,7 4,4	120 - 450 220	Jahrzehnte bis Jahrhunderte
CI	$C_E = 100$ mg/l Mittelwert	340 - 2.950 1.200	1,4 – 4,1 2,4	90 - 250 140	25 – 60 Jahre
AOX	$C_{E-51.Anh.} = 500$ µg/l Mittelwert	390 - 2.380 µg/l 1.600 µg/l	0,1 – 3,5 1,4	30 - 210 80	40 – 100 Jahre

Stickstoff, gesamt, als Summe aus Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Stickstoff

W/F Wasser/Feststoff-Verhältnis

Mittelwerte aus Ergebnissen von DSR-Versuchen unter anaeroben Bedingungen (Heyer, 2003)

Grenzkonzentrationen C_E gemäß Anforderungswerten 51. Anhang AbwV

Der Stickstoffgehalt stellt sich bei allen Untersuchungen in den DSR wie auf Deponien als der Parameter heraus, der bis zum Erreichen des Anforderungswerts von 70 mg/l den größten Zeitraum von 120 bis zu etwa 450 Jahren beansprucht. Auch im relativen Vergleich der Mittelwerte aus der Bandbreite der zeitlichen Abschätzungen liegt der Zeitraum für den TKN mit etwa 220 Jahren deutlich über den Zeiträumen aller anderen Parameter.

Die AOX-Belastungen, die mit dem Rest-CSB den erhöhten technischen Aufwand bei der Sickerwasserreinigung erfordern, werden aufgrund der oben beschriebenen Abschätzungen in kürzeren Zeiträumen (Mittelwert 80 Jahre) den geforderten Anforderungswert von 500 µg/l unterschreiten.

Ein Vergleich der Ergebnisse der DSR-Versuche mit denen von Untersuchungen und Monitoringmessungen an Deponien zeigt, dass sich die Ergebnisse der DSR auf die Verhältnisse in Deponien grundsätzlich übertragen lassen. So kann mit DSR-Versuchen das langfristige Verhalten von Deponien beschrieben werden (Kruse 1994, Heyer, 2003).

4.3.2 Prognostizierte Sickerwasseremissionen im Vergleich

Die Prognose des Langzeitemissionsverhaltens im Sickerwasserpfad der unterschiedlichen Deponietypen erfolgt auf der Grundlage der verfügbaren Sickerwasserdaten der Tabellen 4.4 ff. Für die Prognosen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Ausgangskonzentrationen im Sickerwasser für die jeweiligen Parameter als Bandbreiten mittlerer Konzentrationen unterschiedlicher Untersuchungen von Deponien (bei Hausmülldeponien: Mittelwerte am Ende des Ablagerungsbetriebes und in der Stilllegungs-/Nachsorgephase)
- Klimatische Sickerwasserbildung von 250 mm/a, d.h. es wird von einer nennenswerten Restdurchlässigkeit der aufgetragenen Oberflächenabdeckung/-abdichtung ausgegangen.
- Ablagerungsmächtigkeit: 20 m
- Die Konzentrationsabnahme über die Zeit ist im Wesentlichen auf Auslaugungsprozesse durch den Niederschlagseintrag in den Deponiekörper zurückzuführen.
- Zur Prognose der Emissionsdauer wurde als Zielwert der jeweilige Anforderungswert gemäß 51. Anhang AbwV verwendet.

In Tab. 4.9 sind die Ergebnisse der Prognosen für Hausmüll-, MBA, MVA-Asche- und Bauschutt-Deponien getrennt nach den vier Parametern CSB, TKN, Cl und AOX dargestellt:

- Erwartungsgemäß ist es die herkömmliche Hausmülldeponie, die mit nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen verfüllt wurde, die gemäß der Prognose die längste Nachsorge mit dem höchsten Nachsorgeaufwand erfordern wird.
- Bei MBA-Deponien weisen die ersten Ergebnisse zur Sickerwasserbeschaffenheit darauf hin, dass die Stickstoffbelastungen infolge der Vorbehandlung deutlich reduziert wurden, so dass sie gegen-

über den organischen Verbindungen nicht mehr die Dauer der Nachsorge bestimmen.

- MVA-Asche-Deponien weisen relativ geringe Sickerwasserbelastungen hinsichtlich der stickstoffhaltigen und organischen Verbindungen auf, was auf entsprechend kürzere Nachsorgedauern und einen reduzierten Nachsorgeaufwand hindeutet. Es ist zu klären, wie mit den teilweise sehr hohen Salzgehalten, die über längere Zeiträume freigesetzt werden können, zu verfahren ist und welchen Nachsorgeaufwand sie erfordern.
- Bauschuttdeponien erfordern im relativen Vergleich den geringsten Nachsorgezeitraum, für den vermutlich die Salze wie die Chloride und Sulfate bestimmend werden.

Es handelt sich bei der Prognose um einen relativen Vergleich, bei dem sowohl die gewählten Annahmen als auch die Unsicherheiten bezüglich der Datenlage und der Erfahrungen zum langfristigen Emissionsverhalten der unterschiedlichen Deponietypen zu berücksichtigen sind:

- Die klimatische Sickerwasserbildung ist mit 250 mm noch beträchtlich. Die prognostizierten Zeiträume verändern sich in direktem Verhältnis zum Wassereintrag, d.h. eine deutliche Reduzierung des Wassereintrags aufgrund einer undurchlässigen Oberflächenabdichtung führt zu einer entsprechend verzögerten Stoffmobilisierung bzw. verzögerten Abnahme der Belastungen. Eine Wasserinfiltration unterstützt dagegen die Stoffmobilisierung und den Abbau bzw. Austrag.
- Zum Emissionsverhalten von MBA-Deponien, die nach den Anforderungen der AbfAbIV betrieben werden, liegen erst wenige Ergebnisse über einen kurzen Zeitraum vor. Dementsprechend sind die Prognosen des langfristigen Emissionsverhaltens noch mit höheren Unsicherheiten behaftet. So kann der verdichtete Einbau der MBA-Rückstände zu eingeschränkten Wasserbewegungen im Deponiekörper führen, was sich eher verzögernd auf die Mobilisierung von löslichen Stoffen auswirkt.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 4.9: Prognose zum Langzeitemissionsverhalten verschiedener Deponietypen über den Sickerwasserpfad (C_E gemäß 51. Anhang AbwV)

Parameter	C_E Anforderungs- wert [mg/l]	C_0 Ausgangs- konzentration [mg/l]	Zeitraum bis zum Erreichen von C_E [a]
CSB	200		
Hausmülldeponie		1.200 – 3.800	75 - 120
MBA-Deponie		450 – 2.000	35 - 100
MVA-Asche-Deponie		15 - 600	0 – 50
Bauschutt-Deponie		100 - 250	0 – 10
TKN	70		
Hausmülldeponie		400 – 800	110 – 160
MBA-Deponie		150 - 250	45 – 80
MVA-Asche-Deponie		4 – 200	0 – 65
Bauschutt-Deponie		20 - 200	0 – 65
CI	(100)		
Hausmülldeponie		1.000 – 2.100	110 – 150
MBA-Deponie		420 - 980	70 - 110
MVA-Asche-Deponie		290 – 12.000	50 – 230
Bauschutt-Deponie		100 - 600	0 – 90
AOX	500 µg/l	[µg/l]	
Hausmülldeponie		1.000 – 2.800	25 – 55
MBA-Deponie		200 – 1.500	0 – 35
MVA-Asche-Deponie		0 – 130	0
Bauschutt-Deponie		0 – 20	0

Ablagerungsmächtigkeit: 20 m; Sickerwasserneubildungsrate: 250 mm/a

Die Prognosen zum Sickerwasserhaushalt unterschiedlicher Deponietypen zeigen erneut: Sickerwasseremissionen können durch eine vollständige Kapselung des Deponiekörpers (Trockenkonservierung) zwar vermieden werden, solange die Funktionstüchtigkeit der Oberflächenabdichtung nicht beeinträchtigt wird. Sobald wieder Wasser in den Deponiekörper eindringt, werden die Mobilisierungs- und Umsetzungsprozesse jedoch wieder aktiviert,



was zu Sickerwasser- und Deponiegasemissionen sowie Setzungen führen kann. Das Ausmaß dieser Reaktivierung ist abhängig vom verbliebenen Emissions- und Setzungspotenzial und dem Volumen des erneut eindringenden Wassers. Daher werden im Folgenden für herkömmliche Siedlungsabfalldeponien die Möglichkeiten der Beeinflussung des Emissionsverhaltens und die möglichen Auswirkungen auf den Umfang und die Dauer der Nachsorge erläutert.

4.3.3 Beeinflussung der Sickerwasseremissionen durch Infiltration

Laboruntersuchungen im DSR-Maßstab zeigen, dass durch eine kontrollierte Wasserzuführung bzw. Sickerwasserkreislaufführung und die damit verbundene Steigerung des Wasser-/Feststoffverhältnisses eine beschleunigte Mobilisierung von Abfallinhaltsstoffen möglich ist. Diese führt zu einer schnelleren Reduzierung der Sickerwasserbelastungen und des Emissionspotenzials über den Sickerwasserpfad. Um vergleichbare Effekte in Deponien zu erzielen, wäre das Wasser-/Feststoffverhältnis in der Deponie im gleichen Maße zu steigern wie im Laborversuch. Dieses bedeutet insbesondere bei abgedichteten Deponien, dass Infiltrationsmaßnahmen mit Zugaben sehr großer Wassermengen durchgeführt werden müssten. Dabei sind folgende Probleme zu berücksichtigen:

- Die Inhomogenität und unterschiedlichen Fließbewegungen im Deponiekörper führen bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien zu einer ungleichmäßigen Wasserverteilung.
- Die notwendigen Wassermengen können zu technischen Problemen der Wasserverteilung, des Sickerwasseranfalls (Auslegung des Drainagesystems und der Sickerwasserreinigungsanlage), aber auch zu Standesicherheitsproblemen führen.

In Tab. 4.10 sind die Ergebnisse von Prognosen zum Emissionsverhalten über den Sickerwasserpfad in Abhängigkeit der infiltrierten Wassermengen und der

Infiltrationsdauer zusammengefasst. Dabei wurden die gleichen Randbedingungen wie in Kap. 4.3.2 berücksichtigt. Darüber hinaus wurden folgende Annahmen getroffen:

- infiltrierte Wassermengen: 400 bzw. 600 mm/a
(ohne Infiltration: 250 mm/a)
- Infiltrationsdauer: 5 bzw. 15 Jahre

Tab. 4.10: Einfluss der Infiltration auf das Emissionsverhalten herkömmlicher Hausmülldeponien über den Sickerwasserpfad

Parameter und infiltrier- tes Wasser- volumen	C_E Anforderungs- wert [mg/l]	C_0 Ausgangs- konzentration [mg/l]	Zeitraum bis zum Erreichen von C_E	
			ohne Infiltration	bei Infiltration über: 5 a 15 a
CSB 400 mm/a 600 mm/a	200	1.200 - 3.800	75 - 120 a	65 - 110 a 50 - 90 a 60 - 105 a 40 - 80 a
TKN 400 mm/a 600 mm/a	70	400 – 800	110 – 160 a	100 - 150 a 90 - 140 a 95 - 145 a 80 - 130 a
CI 400 mm/a 600 mm/a	(100)	1.000 – 2.100	110 – 150 a	100 - 140 a 85 - 125 a 95 - 135 a 75 - 115 a
AOX 400 mm/a 600 mm/a	500 µg/l	1.000 – 2.800 µg/l	25 - 55 a	15 - 45 a 5 - 25 a 10 - 40 a 0 – 15 a

Eine Infiltration in der beschriebenen Größenordnung hätte somit einen gewissen Einfluss auf eine beschleunigte Abnahme der Sickerwasserbelastungen und könnte zu einer Reduzierung der Nachsorgedauer beitragen. Hierfür wären allerdings größere infiltrierte Wassermengen in der o.g. Größenordnung über einen längeren Infiltrationszeitraum erforderlich. Sie würden nicht nur zur Befeuchtung des Deponiekörpers beitragen, sondern zum Ausspülen der mobi-

lisierbaren Verbindungen über den Wasserpfad führen. Der zusätzliche Aufwand zur Sickerwasserfassung und –reinigung wäre beträchtlich.

Infiltrationsmaßnahmen mit geringeren Wasserzugaben können jedoch im Hinblick auf eine verbesserte Deponiegasproduktion von Bedeutung sein, wenn dadurch die Abfallfeuchte für anaerobe Umsetzungsvorgänge optimiert wird. Dieses kann an Abfallablagerungen, die noch beträchtliche biologisch verfügbare Organik enthalten und somit über ein signifikantes energetisch verwertbares Gasbildungspotenzial verfügen, erforderlich sein

- bei klimatisch bedingt trockenen Standorten oder
- wenn aufgrund der aufgebrachten bzw. aufzubringenden temporären Oberflächenabdeckung oder endgültigen Oberflächenabdichtung eine Trockenkonservierung vermieden werden soll.

Die Voraussetzungen zur Infiltration sind in § 14 Abs. 8 DepV festgelegt worden.

4.3.4 Beeinflussung der Emissionen und Setzungen durch aerobe in situ Stabilisierung

Die bisherigen Erkenntnisse aus der aeroben in situ Stabilisierung von Deponien zeigen eine beschleunigte Reduktion der Emissionen sowohl über den Gas- und Sickerwasserpfad als auch der Setzungen. Da es sich bei der aeroben in situ Stabilisierung um ein neueres Verfahren handelt, liegen noch keine abschließenden, verallgemeinerbaren Ergebnisse aus der großtechnischen Anwendung vor. Die ersten großtechnischen Projekte mit umfassender wissenschaftlicher Begleitung (Niederdruckbelüftung der Altdeponie Kuhstedt im Landkreis Rotenburg (Wümme) und der Deponie Milmersdorf im Landkreis Uckermark) werden erst 2006 und 2007 abgeschlossen. Die Zwischenergebnisse der Monitoringmaßnahmen und die Ergebnisse begleitender Unter-

suchungen zeigen jedoch eindeutig die positive Beeinflussung des Emissionsverhaltens und den Beschleunigungseffekt insbesondere der biologischen Umsetzungsprozesse an.

Emissionen über den Gaspfad

Der Kohlenstoffumsatz und –austrag über den Gaspfad kann als Maß für die Intensität und die Beschleunigung der biologischen Abbauprozesse herangezogen werden. Zum Vergleich und zur Einordnung der Auswirkungen der aeroben in situ Stabilisierung am Beispiel der Deponie Milmersdorf wird der Kohlenstoffaustrag abgeschätzt, der sich unter durchschnittlichen anaeroben Milieubedingungen ergeben würde. Dazu werden Ergebnisse von Gasprognoserechnungen herangezogen (Abb. 4.3).

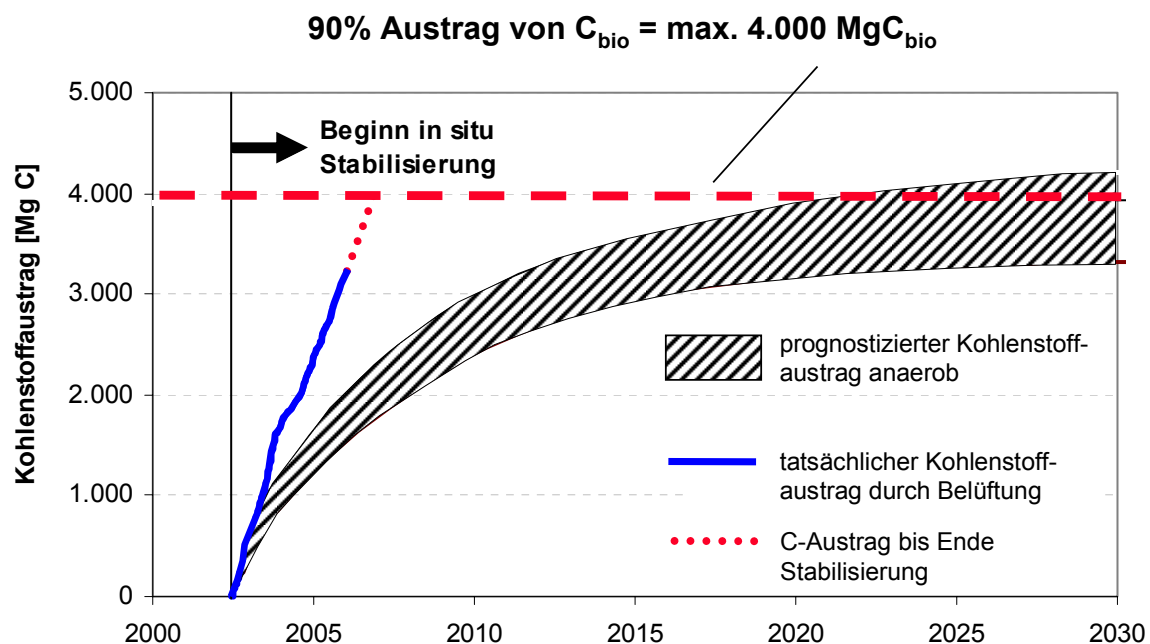


Abb. 4.3: Kohlenstoffaustrag infolge der aeroben in situ Stabilisierung: Vergleich mit prognostiziertem Kohlenstoffaustrag unter anaeroben Milieubedingungen (Deponie Milmersdorf)

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Der Kohlenstoffaustrag infolge der aeroben in situ Stabilisierung der Deponie Milmersdorf liegt nach 3 Jahren Stabilisierungsbetrieb bei etwa 3.200 Mg C_{bio}. (bioverfügbarer Kohlenstoff im Abfallfeststoff). Diese Kohlenstofffracht zeigt, dass:

- eine beschleunigte Umsetzung der bioverfügbaren Restorganik im Deponiekörper stattfindet,
- seit April 2002 bereits ein nennenswerter Anteil des insgesamt noch verfügbaren Kohlenstoffs kontrolliert mobilisiert und ausgetragen wurde. Die innerhalb kurzer Zeit mobilisierte Kohlenstofffracht beträgt ca. 65% – 80% des gesamten bioverfügbaren Kohlenstoffpotenzials im Deponiekörper von 3.800 bis max. 4.300 Mg C_{bio},
- der Beschleunigungsfaktor, ausgedrückt als Kohlenstoffaustrag pro Zeiteinheit, mindestens bei etwa 2 bis 3 gegenüber anaeroben Milieubedingungen liegt.

Emissionen über den Sickerwasserpfad

Eine Prognose der beschleunigten Reduzierung der Emissionen über den Sickerwasserpfad kann derzeit nur aufgrund umfangreicher Untersuchungen im DSR-Maßstab und einer Übertragung auf Deponieverhältnisse über den Wasserhaushalt erfolgen (Tab. 4.11).

Tab. 4.11: Einfluss der aeroben in situ Stabilisierung auf das Emissionsverhalten über den Sickerwasserpfad

Parameter	C _E	C ₀	Zeitraum	
	Anforderungswert	Ausgangskonzentration	bis zum Erreichen von	
	[mg/l]	[mg/l]	C _E [a]	
			unbelüftet	belüftet [#]
CSB	200	1.800 - 3.260	150 - 190	25 - 35
TKN	70	180 – 720	110 – 215	10 – 50

[#]: Belüftungsdauer 3-6 Jahre



Die Prognosen zeigen, dass durch die aerobe in situ Stabilisierung über einen Zeitraum von 3 – 6 Jahren eine Beschleunigung der Konzentrationsabnahme beim

- CSB um einen Faktor 5-6 und
- Stickstoff um einen Faktor 4-11

über den Sickerwasserpfad erwartet werden kann. Somit kann frühzeitiger auf eine technisch aufwändige und kostenintensive Sickerwasserbehandlung verzichtet und eine Entlassung aus der Nachsorge erreicht werden.

Einfluss der Aerobisierung auf das Setzungsverhalten

Die Setzungen infolge der biologischen Abbauprozesse bei der Belüftung setzen sich aus zwei Anteilen zusammen:

- Setzungen/Sackungen durch Volumenreduzierungen bei Überführung der biologisch verfügbaren organischen Abfallbestandteile in die Gasphase
- Setzungen/Sackungen durch Schwächung des Stützgerüsts, das die Abfallmatrix darstellt

Prognosen der Auswirkungen einer aeroben in situ Stabilisierung erlauben eine Abschätzung der Setzungen bzw. Sackungen während der Belüftung. Im späteren Belüftungsbetrieb werden die Setzungen über das begleitende Monitoringprogramm erfasst.

In Abbildung 4.4 ist der bisherige Setzungsverlauf einer herkömmlichen Siedlungsabfalldeponie unter anaeroben Milieubedingungen für einen Deponieabschnitt von 30 m Ablagerungsmächtigkeit im Kuppenbereich aufgetragen. In der Belüftungsphase ab 2007 sind z.B. im oberen Bereich bei 30 m Ablagerungsmächtigkeit noch bis zu 3 m Setzungen zu erwarten. Diese Setzungen

würden sich unter anaeroben Milieubedingungen sonst über sehr lange Zeiträume ausbilden und könnten u.a. die Funktionsfähigkeit einer endgültigen Oberflächenabdichtung beeinträchtigen.

Bisher hat es an allen Standorten, wo die aerobe in situ Stabilisierung durchgeführt wird, nennenswerte Setzungen im Dezimeterbereich gegeben. Nach drei bis vier Jahren Belüftung auf der Altdeponie Kuhstedt und der Deponie Milmersdorf sind Setzungen bzw. Sackungen von 2 - 10% der Deponiehöhe aufgetreten.

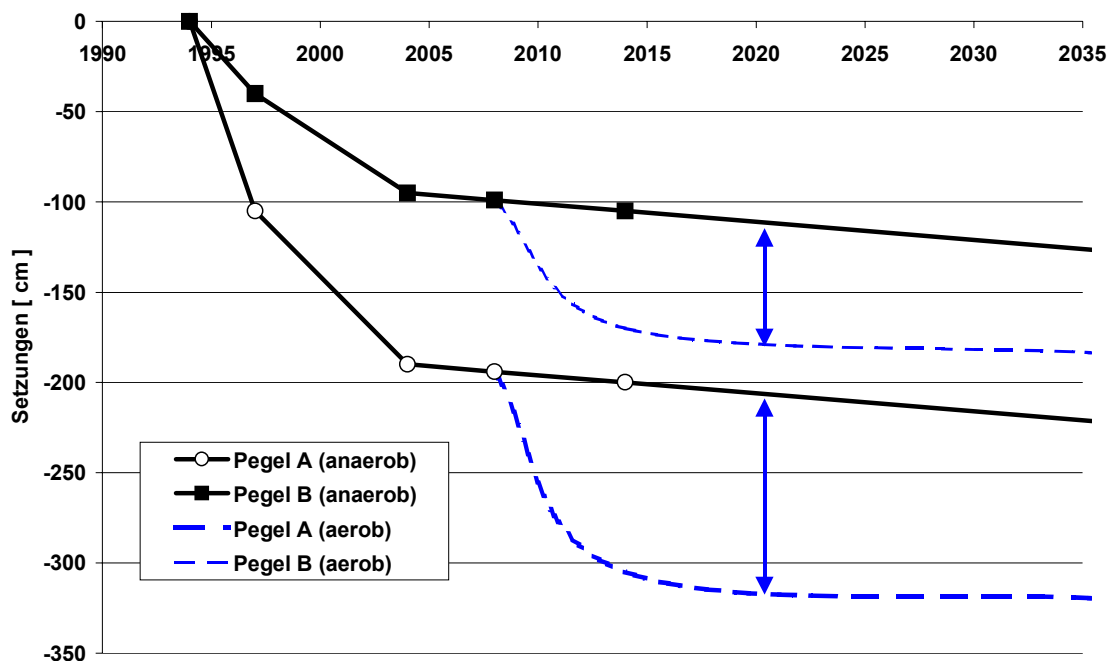


Abb. 4.4: Qualitativer Verlauf der Setzungen im Böschungs- und Kuppenbereich eines 30 m mächtigen Deponieabschnitts unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen

5 Rechtliche Rahmenbedingungen der Deponienachsorge

5.1 Allgemeine Schutzerfordernisse und technische Standards

Die Anforderungen an die Deponiestilllegung und -achsorge sind in § 36 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) sowie §§ 12, 13 DepV geregelt. Hieraus resultieren zum einen materiell-rechtliche Anforderungen an den Schutz von Gewässern und anderen Rechtsgütern (§ 10 Abs. 4 KrW-/ AbfG). Danach muss nicht nur während der Ablagerungsphase, sondern auch während der Stilllegungsphase, in der Nachsorgephase und nach dem Abschluss der Nachsorge gewährleistet sein, dass von einer Deponie keine Gefahren ausgehen und Vorsorge gegen die Beeinträchtigung von Schutzgütern getroffen wird (§ 36 Abs. 2 Nr. 2 i.V.m. § 32 Abs. 1 Nr. 1 KrW-/ AbfG).

Diese allgemeinen gesetzlichen Schutzerfordernisse werden durch vielfältige technische, anlagen- und betriebsbezogene Standards ergänzt. Insoweit beschränkt sich der Gesetzgeber nicht auf die Normierung von Schutzzielen, sondern standardisiert diese durch die Regelung der technischen Ausgestaltung, des Verfahrens und der Betriebsorganisation. Hierher gehören beispielsweise die Vorschriften zum Stilllegungs- und Nachsorgeverfahren: Stilllegungsanzeige, Stilllegungskonzept, Feststellung der endgültigen Stilllegung, Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen während der Nachsorgephase, Feststellung des Abschlusses der Nachsorgephase (§ 36 KrW-/AbfG i.V.m. §§ 12, 13 DepV).

Zu den technischen Standards der Deponiestilllegung gehören insbesondere das Aufbringen der Oberflächenabdichtung (§ 12 Abs. 3 Satz 2 und Satz 3 DepV), Sickerwasserfassung und -entsorgung (§ 13 Abs. 1 DepV i.V.m. Nr. 10.7.2 und anderen Vorgaben der TASi) und ein Überwachungsprogramm (Grundwassermessstellen und Auslöseschwellen, § 13 Abs. 3 Satz 2 und § 9 Abs. 2 und Abs. 3 DepV).

Die allgemeinen Schutzerfordernisse und die technischen Standards ergänzen einander, können aber in atypischen Fällen oder bei neuen Erkenntnissen und Entwicklungen zueinander in Konflikt treten. Die Funktion der Standards besteht letztlich darin, Vollzugssicherheit auf Basis des Standes der Technik zu gewährleisten und dadurch ein hohes Schutzniveau für die Umwelt und für andere Rechtsgüter zu gewährleisten. Aus Sicht der Betroffenen können technische Standards zur Vorhersehbarkeit behördlichen Handelns, zur Kalkulierbarkeit des Aufwandes und zur Wirtschaftlichkeit beitragen. Sie bestimmen das Anforderungsniveau und begrenzen es hierdurch zugleich.

Standards können jedoch nur aufrechterhalten werden, wenn die vorgeschriebene technische Lösung realisierbar ist und den vom Gesetzgeber angestrebten Zweck – hier: Erlangung der Nachsorgefreiheit – erreicht. So ist im Kontext dieses Vorhabens zu hinterfragen, ob die technischen Anforderungen der DepV an die Stilllegung von Deponien i.V.m. den Anforderungen an die Funktionsfähigkeit der Oberflächenabdichtung und an die Behandlung von anfallendem Sickerwasser bei typischen Siedlungsabfalldeponien binnen überschaubarer Zeiträume das Erreichen der Nachsorgefreiheit ermöglichen.

Ferner können technische Standards ggf. in Frage gestellt werden durch neue Erkenntnisse und innovative Entwicklungen, wenn diese bessere Ergebnisse als die praktische Umsetzung der geltenden Standards erzielen können. In solchen Fällen stellt sich dann die Frage, ob hinreichend rechtlicher Spielraum besteht, um zum Zwecke einer optimierten Nachsorge und Stilllegung von den vorhandenen Standards abzuweichen und ob die vorhandenen Standards weiterentwickelt werden müssen. Diese Frage stellt sich beispielsweise im Zusammenhang mit der Anwendung von Stabilisierungsverfahren (Infiltration, Belüftung) in der Stilllegungsphase.

Auf die technischen Standards der Deponiestilllegung und -achsorge wird bereits an anderer Stelle eingegangen (vgl. insbesondere Kap. 3.1).

Die für die Entlassung von Deponien aus der Nachsorge zentrale Vorschrift des § 13 Abs. 5 DepV verbindet technikbezogene Vorgaben mit qualitativen Kriterien. Einige der dort geregelten Voraussetzungen für die Entlassung aus der Nachsorge werfen im Zusammenhang mit den fachlichen Erkenntnissen über das langfristige Emissionsverhalten von stillgelegten Deponien die Frage auf, unter welchen Randbedingungen eine Entlassung aus der Nachsorge binnen überschaubarer Zeiträume möglich ist. Die diesbezüglichen Auslegungsfragen zu einigen Kriterien des § 13 Abs. 5 DepV werden nachfolgend (5.2) entwickelt.

Die Gesamtschau der Vorgaben des § 13 Abs. 5 DepV und weiterer abfallrechtlicher Vorschriften kann zu einem normativen Leitbild für das Emissionsverhalten stillgelegter Deponien zusammengefasst werden (dazu 5.3).

Der Konflikt zwischen dem Leitbild für das Emissionsverhalten einerseits und dem fachlichen Erkenntnisstand zum langfristigen Emissionsverhalten stillgelegter Deponien sowie den daraus resultierenden Nachsorgezeiträumen andererseits muss unter Berücksichtigung der allgemeinen Maßstäbe, die im Rahmen der Deponiestilllegung und –achsorge für den Schutz von Gewässern anzulegen sind, gelöst werden (dazu 5.4).

Für die Abwägung zwischen den Belangen des Gewässerschutzes und der Abfallbeseitigung (dazu 5.5) ist der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz maßgeblich (dazu 5.6).

Unter 5.7 werden Spielräume zur Realisierung von Alternativkonzepten, die von dem Stilllegungs- und Nachsorgemodell der DepV abweichen (z.B. Anwendung von Stabilisierungsverfahren) untersucht.

Die Ergebnisse der rechtlichen Betrachtungen werden unter 5.8 mit Hinweisen zur Methode der Gewinnung quantitativer Kriterien aus rechtlicher Sicht zusammengefasst.

5.2 Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge nach § 13 Abs. 5 DepV

Nach § 13 Abs. 4 DepV kann die zuständige Behörde auf Antrag des Deponiebetreibers den Abschluss der Nachsorgephase feststellen, wenn sie zu dem Schluss gekommen ist, dass aus dem Verhalten der Deponie zukünftig keine Beeinträchtigungen des Wohles der Allgemeinheit zu erwarten sind. Diese Beurteilung erfolgt nach Prüfung aller vorliegenden Erkenntnisse der Kontrolle nach § 13 Abs. 2 DepV und **unter Berücksichtigung der Prüfkriterien nach § 13 Abs. 5 DepV**.

Nach § 13 Abs. 5 DepV **soll** die Behörde in Abhängigkeit der jeweiligen Deponieklasse insbesondere die in Ziffern 1. – 9. genannten Kriterien zu Grunde legen. Die Prüfung anhand der Kriterien in Abs. 5 bestimmt maßgeblich die Prognose, ob Allgemeinwohlbeeinträchtigungen zu erwarten sind oder nicht. Dies ergibt sich aus der Formulierung des Eingangssatzes des Absatzes 5, wonach die Behörde die Kriterien zu Grunde legen „soll“. Nur in atypischen Fällen wird die Behörde die Entlassung aus der Nachsorge verweigern können, wenn alle Prüfkriterien erfüllt sind. Umgekehrt wird die Behörde nur in atypischen Fällen die Entlassung aus der Nachsorge feststellen können, obwohl eine oder mehrere der in § 13 Abs. 5 aufgeführten Kriterien nicht erfüllt sind. Deshalb hat die Erfüllung der Prüfkriterien nach § 13 Abs. 5 DepV aus rechtlicher Sicht entscheidende Bedeutung für die Frage, ob eine Deponie aus der Nachsorge entlassen werden kann oder nicht.²

Bei den Prüfkriterien nach § 13 Abs. 5 DepV handelt es sich um qualitative Kriterien, die insbesondere das Emissionsverhalten der Deponie verbal und teils mit unbestimmten Rechtsbegriffen umschreiben („*Abbauprozesse ... weit-*

² Noch nicht absehbar ist allerdings, wie sich die administrative Praxis entwickeln wird, insbesondere im Hinblick auf die Frage, ob sie sich ausschließlich an den in § 13 Abs. 5 DepV genannten Kriterien orientieren wird.

gehend abgeklungen“, „Gasbildung soweit zum Erliegen gekommen, dass ... schädliche Einwirkungen ... ausgeschlossen“, „Oberflächenabdichtung ... in einem funktionstüchtigen und stabilen Zustand“, „keine Grundwasserbelastungen, die ... Sanierungsmaßnahmen erforderlich machen“). Maßgeblich aus diesen qualitativen Kriterien des § 13 Abs. 5 DepV sind die quantitativen Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge zu entwickeln.

Allerdings dürfen die Prüfkriterien des Absatzes 5 nicht losgelöst von den allgemeinen gesetzlichen Vorgaben und Anforderungen verstanden werden. Sie dienen letztlich der Operationalisierung der Prüfung, ob Allgemeinwohlbeeinträchtigungen zu erwarten sind oder nicht. Deshalb sind die Kriterien im Zweifelsfalle so zu interpretieren, dass sie als erfüllt anzusehen sind, wenn tatsächlich keine Allgemeinwohlbeeinträchtigungen zu erwarten sind. Außerdem wird man bei der Auslegung und Anwendung der Kriterien den allgemeinen Verhältnismäßigkeitsgrundsatz berücksichtigen müssen.

Dies vorausgeschickt, stellen sich im Zusammenhang mit § 13 Abs. 5 DepV angesichts der nachfolgend zusammengefassten fachlichen Erkenntnisse insbesondere diese Auslegungsfragen:

Zu Ziffer 4:

Über welchen zukünftigen Zeitraum müssen Oberflächenabdichtung und Rekultivierungsschicht in einem „funktionstüchtigen und stabilen“ Zustand sein? Schließt das Erfordernis einer Kontrolle der Dichtwirkung der Oberflächenabdichtung und ggf. ihre Reparatur (eventuell nach mehreren Jahrzehnten oder Jahrhunderten) die Entlassung aus der Nachsorge aus?

Man kann nicht davon ausgehen, dass die Oberflächenabdichtung von Deponien auf unabsehbare Zeit – über Jahrhunderte – ihre anfängliche Funktionsfähigkeit im vollen Umfang behält. Wenn die Oberflächenabdichtung auf unbegrenzte Zeit den Anforderungen der DepV entsprechen sollte, müsste ihre

Dichtwirkung von Zeit zu Zeit kontrolliert, es müssten ggf. Schadstellen ermittelt und repariert werden. Es stellt sich die Frage, ob ein solcher Kontroll- und ggf. Reparaturaufwand gefordert wird und ob dieser der Entlassung aus der Nachsorge entgegensteht. Wäre dies der Fall, so könnten Deponien, bei denen das Schadstoffpotenzial sich unter den Bedingungen der Kapselung kaum reduziert, nicht oder ggf. erst nach mehreren Jahrhunderten aus der Nachsorge entlassen werden.

Zu Ziffer 7:

Schließt die dauerhafte Vorhaltung und ggf. Funktionserhaltung einer Sickerwasserfassung und -ableitung die Erfüllung dieses Prüfkriteriums (keine Unterhaltung baulicher oder technischer Einrichtungen erforderlich) aus?

Nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen lässt sich der Anfall von Sickerwasser – zumindest bei Deponien mit wirksamer Basisabdichtung und/oder geologischer Barriere – kaum vollständig vermeiden. Nicht zuletzt aus Gründen der Standsicherheit ist es erforderlich, dieses ggf. anfallende Sickerwasser kontrolliert abzuleiten. Hierzu müssen die entsprechenden Ableitungseinrichtungen vor- und ggf. unterhalten werden, damit ein freier Abfluss gewährleistet ist. Wie bei der Funktionserhaltung der Oberflächenabdichtung, stellt sich auch hinsichtlich des Sickerwassers die Frage, ob die Vor- und Unterhaltung dieser Einrichtungen notwendig ist und ob dies einer Entlassung aus der Nachsorge entgegensteht. Wäre dies der Fall, so könnten Deponien, bei denen der Anfall von Sickerwasser nicht ausgeschlossen werden kann, ebenfalls nicht (d.h. niemals) aus der Nachsorge entlassen werden.

Möglicherweise kann der Anfall von Sickerwasser vollständig und sicher unterbunden werden, wenn die Oberflächenabdichtung dauerhaft (d.h. zeitlich unbegrenzt) voll funktionsfähig bleibt. Dann mag die Vor- und Unterhaltung entsprechender Einrichtungen zur Sickerwasserfassung und -ableitung nach Ziffer 7 entbehrlich sein. Um so wichtiger ist es dann aber, dass die Oberflächen-

abdichtung dauerhaft erhalten bleibt, so dass die zu Ziffer 4 aufgeworfenen Fragen sich um so drängender stellen.

Zu Ziffer 8:

Ist die Erfüllung des Kriteriums in Ziffer 8 ausgeschlossen, wenn ggf. anfallendes Sickerwasser vor der Einleitung behandelt werden muss?

Besonders bei Deponien, die weitgehend gekapselt sind, fallen nur begrenzte Sickerwassermengen an. Findet nach der Kapselung kein oder nur noch ein geringer biologischer Abbau im Deponiekörper statt, so wird das Schadstoffpotenzial praktisch nur noch über den Sickerwasserpfad reduziert. Über einen entsprechend langen Zeitraum – ggf. Jahrhunderte – fällt belastetes Sickerwasser an, das die einschlägigen wasserrechtlichen Einleitgrenzwerte überschreitet. Wenn verlangt wird, dass das anfallende Sickerwasser über einen entsprechend langen (z.T. unabsehbaren) Zeitraum gereinigt wird, dehnen sich Nachsorgezeitraum und -aufwand entsprechend aus.

Zu Ziffer 9:

Unter welchen Bedingungen ist davon auszugehen, dass im Hinblick auf mögliche Grundwasserbelastungen keine weitere Beobachtung oder Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind?

Nach dem wasserrechtlichen Besorgnisgrundsatz liegt eine Grundwassergefahr bereits dann vor, wenn auf Grund greifbarer Anhaltspunkte die entfernte Wahrscheinlichkeit einer Grundwasserbeeinträchtigung nicht ausgeschlossen werden kann.³ Eine Abfalldeponie wird regelmäßig ein ausreichender tatsächlicher Anhaltspunkt sein, um eine solche Besorgnis zu begründen. Es ist nur schwerlich vorstellbar, dass ein derart konzentriertes Schadstoffpotenzial, das über unabsehbare Zeit bestehen bleiben soll, unter der Geltung dieses Besorg-

³ Vgl. Czychowski/Reinhardt, WHG, 8. Aufl., § 34, Rn. 17.

nisgrundsatzes unbeobachtet bleiben kann. Es stellt sich deshalb die Frage, wieweit der Besorgnisgrundsatz bei fortbestehendem Schadstoffpotenzial einer Entlassung von Deponien aus der Nachsorge entgegensteht.

5.3 Normatives Leitbild der „stillgelegten Deponie“

Aus den qualitativen Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge nach § 13 Abs. 5 DepV und aus weiteren Vorschriften lässt sich ein normatives Leitbild für die stillgelegte und aus der Nachsorge entlassene Abfalldéponie ableiten. Dieses Leitbild kann helfen, den Zielkonflikt genauer zu fassen, der sich zwischen den vorgenannten Kriterien und den nach fachlicher Erkenntnis daraus resultierenden Nachsorgezeiträumen ergibt. Das normative Leitbild wird im Wesentlichen bestimmt einerseits durch Vorgaben zum Emissionsverhalten, andererseits durch die Vorstellung, dass Abfalldéponien nach Durchführung zweckentsprechender Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen binnen überschaubarer Zeiträume nachsorgefrei werden.

5.3.1 Emissionsverhalten

Hinsichtlich des Emissionsverhaltens wird aus § 13 Abs. 5 DepV deutlich, dass Emissionen möglichst unterbunden oder zumindest minimiert werden müssen. So kann die Déponie nur aus der Nachsorge entlassen werden, wenn der Sickerwasseranfall durch eine dauerhaft funktionsfähige Oberflächenabdichtung minimiert wird und ggf. anfallendes Sickerwasser entsprechend den wasserrechtlichen Vorschriften eingeleitet werden kann. Dass Emissionen in Gewässer möglichst vermieden werden müssen, ergibt sich auch aus den allgemeinen Maßstäben, die für das Emissionsverhalten von Déponien gelten (z.B. § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG). Man kann insofern von der Leitvorstellung der **emissionsfreien bzw. -armen Déponie** sprechen.

Der entscheidende Gesichtspunkt ist, dass sich aus den abfallrechtlichen Vorgaben keinerlei Anhaltspunkt dafür ergibt, dass diese Leitvorstellung im langfristigen Zeitverlauf relativiert wird. Danach könnte eine Deponie nur aus der Nachsorge entlassen werden, wenn auch in mehreren Jahrhunderten noch gewährleistet ist, dass das Emissionsverhalten den vorstehend skizzierten Kriterien entspricht. Wenn z.B. absehbar ist, dass die Oberflächenabdichtung in mehreren Jahrhunderten nicht mehr voll funktionsfähig sein wird, könnte die Deponie nicht aus der Nachsorge entlassen werden.

5.3.2 Nachsorgezeitraum und -ressourcen

Die einschlägigen Vorschriften gestalten die Nachsorge als endliche, zeitlich begrenzte Aufgabe aus. Die zeitliche Begrenzung der Nachsorge ergibt sich auch aus dem übergeordneten Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Die Nachsorgeaufgaben, die der Deponiebetreiber zu erfüllen hat, müssen – zumindest bei typischen Deponien – innerhalb eines überschaubaren Zeitraums abgeschlossen werden können.

Zunächst sieht § 36 Abs. 5 KrW-/AbfG vor, dass die zuständige Behörde auf Antrag den Abschluss der Nachsorgephase feststellt. Es handelt sich also um eine zeitlich begrenzte Phase, nach deren Abschluss der Betreiber von allen deponiebezogenen Verpflichtungen frei wird. Zum Zeitraum der Nachsorge existieren keine konkreten gesetzlichen oder untergesetzlichen Vorgaben. Die zeitliche Vorstellung des Ordnungsgebers wird jedoch deutlich in § 19 Abs. 3 DepV, wonach für die Berechnung der Höhe der Sicherheitsleistung bei Deponien der Klassen I bis IV ein Nachsorgezeitraum von mindestens 30 Jahren, bei Deponien der Klasse 0 ein Nachsorgezeitraum von mindestens zehn Jahren zugrunde zu legen ist. Die Nachsorgeaufgaben werden jedoch nicht unmittelbar

von der Höhe der Sicherheitsleistung bzw. der Rückstellungen⁴ bestimmt, sondern von den Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge nach § 13 Abs. 5 DepV. Die Erschöpfung der Rückstellungen und anderer Reserven des Deponiebetreibers ist ebenfalls kein Grund für die Entlassung aus der Nachsorge. „Wirtschaftliches Unvermögen“ kann allenfalls die Durchsetzbarkeit der Nachsorgepflichten begrenzen, lässt die Pflichten selbst aber unberührt. Insofern sind die in § 19 Abs. 3 DepV genannten Mindestzeiträume lediglich ein Indiz für die Vorstellung des Verordnungsgebers.

Die einschlägigen Regelungen des KrW-/AbfG und der DepV kann man deshalb so zusammenfassen: Die Nachsorge endet erst, wenn alle Aufgaben erledigt und die Bedingungen des § 13 Abs. 5 DepV dauerhaft gewährleistet sind. Eine fixe oder generelle Zeit- oder Kostengrenze vertrüge sich mit dieser Pflichtenlage des Betreibers nicht.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Nachsorgeaufgaben und ein langer Nachsorgezeitraum mit erheblichen Belastungen für den Deponiebetreiber verbunden sein können. Nach dem allgemeinen Verhältnismäßigkeitsgrundsatz dürfen diese Belastungen nicht außer Verhältnis zu dem Nutzen stehen, den die Nachsorgeleistungen erbringen. Der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz hat Verfassungsrang und ist insofern Maßstab für Gesetzgebung und Gesetzesanwendung. Dem gemäß verlangt der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit, Nachsorgeaufwand und -zeitraum grundsätzlich auf ein zumutbares Maß zu begrenzen. Diese Zumutbarkeitsgrenzen werden maßgeblich bestimmt von den Erfordernissen des Gewässerschutzes (nachfolgend 5.4) und von der Abwägung zwischen diesen Erfordernissen und den wirtschaftlichen Belangen der Abfallbeseitigung nach Maßgabe der Verhältnismäßigkeitsbetrachtung (dazu s.u. 5.5).

⁴ Dazu s.o., 3.2.

5.4 Allgemeine Erfordernisse des Gewässerschutzes

Nicht nur in der Ablagerungsphase, sondern auch in der Stilllegungs- und Nachsorgephase müssen alle erforderlichen Maßnahmen getroffen und alle notwendigen Einrichtungen vorhanden sein, um negative Auswirkungen auf Gewässer und andere Schutzgüter zu verhindern (§ 22 Abs. 4 DepV, § 36 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 i.V.m. § 32 Abs. 1 Nr. 1 und § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG). Im Folgenden wird auf die Erfordernisse des Gewässerschutzes abgehoben, weil diese nach den fachlichen Erkenntnissen die bestimmende Größe für den Nachsorgeaufwand und -zeitraum sind.

Das Gebot der gemeinwohlverträglichen Abfallbeseitigung verlangt insbesondere, eine schädliche Beeinflussung von Gewässern zu vermeiden (§ 10 Abs. 4 Satz 2 Nr. 3 KrW-/AbfG). Für die Beurteilung, ob den Erfordernissen des Gewässerschutzes Rechnung getragen wird, sind grundsätzlich die Maßstäbe des Wasserrechts anzuwenden⁵, auf die in verschiedenen Vorschriften des Abfallrechts explizit verwiesen wird.⁶ Bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, muss die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt angewendet werden, um insbesondere eine Verunreinigung des Wassers zu verhüten (§ 1 a Abs. 2 WHG). Für das Ablagern von Stoffen im Einwirkungsbereich von oberirdischen Gewässern und von Grundwasser stellen die §§ 26 Abs. 2 und 34 Abs. 2 WHG strenge Anforderungen. So ist wegen der hohen Bedeutung des Grundwasserschutzes nach dem wasserrechtlichen Besorgnisgrundsatz eine Ablagerung bereits dann unzulässig, wenn auf Grund tatsächlicher Anhaltspunkte die entfernte Wahrscheinlichkeit einer Grundwasserbeeinträchtigung nicht auszuschließen ist.⁷

⁵ Vgl. Hösel/von Lersner, § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG, Rn. 50.

⁶ Vgl. Nr. 7.1.5 TASI, wonach für die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer die Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes zu beachten sind.

⁷ Czychowski/Reinhardt, WHG, 8. Aufl., § 34, Rn. 17.

5.4.1 Gefahrenabwehr und Vorsorge zur Verhinderung von Gewässerbeeinträchtigungen

Die Erfordernisse des Gewässerschutzes werden u.a. davon geprägt, inwieweit die Abwehr von Gefahren für Gewässer ausreicht, oder ob weitergehende Vorsorge vor Gewässerbeeinträchtigungen getroffen werden muss. Die allgemeinen Grundsätze der gemeinwohlverträglichen Abfallbeseitigung nach § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG verlangen, Beeinträchtigungen zu vermeiden. Insoweit sind die Verantwortlichen nur zur Gefahrenabwehr verpflichtet. **Deponiebetreiber** müssen jedoch auch im Rahmen der Stilllegung und Nachsorge die erforderlichen Vorkehrungen treffen, damit **Vorsorge** gegen die Beeinträchtigung der Schutzgüter, insbesondere durch bauliche, betriebliche oder organisatorische Maßnahmen **entsprechend dem Stand der Technik** getroffen wird [§ 36 Abs. 2 Nr. 2 i.V.m. § 32 Abs. 1 Nr. 1 b) KrW-/AbfG]. Daher muss im Zuge der Deponiestilllegung und -achsorge auch Vorsorge gegen Gewässerbeeinträchtigungen getroffen werden.⁸ Wenn zu den Anforderungen an Deponien nach dem KrW-/AbfG auch gehört, Vorsorge gegen die Beeinträchtigung von Schutzgütern zu treffen, so entspricht dies zunächst den Vorsorgeanforderungen, wie sie aus anderen Umweltgesetzen bekannt sind.

Im Allgemeinen versteht man unter Vorsorge die Begrenzung von Risiken im Vorfeld der Gefahrenabwehr. Es soll also möglichst verhindert werden, dass überhaupt eine Gefahrensituation entsteht. Dem Vorsorgeprinzip tragen die Anforderungen an Deponiebetrieb, -stilllegung und -achsorge in vielfältiger Weise dadurch Rechnung, dass sie mehrere, unabhängig voneinander wirkende Sicherungselemente fordern (Multibarrierenkonzept). So wird das Grundwasser in der Nachsorgephase bei nach dem Stand der Technik errichteten und stillgelegten Deponien geschützt durch Anforderungen an die abzula-

⁸ Vgl. Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 36, Rn. 20; Nicklas, in: Gaßner/Siederer, Deponierecht, AT, Rn. 204.

gernden Abfälle, an die geologische Barriere und an die Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung und an die Sickerwasserfassung/-reinigung.

Die konkreten Anforderungen der DepV zur Deponiestilllegung und -achsorge stellen jedoch keine expliziten Vorsorgeanforderungen dar. Vielmehr nehmen die §§ 12 und 13 DepV mehrfach auf § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG, auf das Erfordernis der Abwehr von Gefahren und der Verhinderung von Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit Bezug.⁹ Es hat insofern den Anschein, als stände bei den konkreten Standards der Stilllegung und Nachsorge in §§ 12, 13 DepV die Gefahrenabwehr im Vordergrund. Der Vorsorge dienen die Kriterien nach § 13 Abs. 5 DepV implizit insofern, als sie die Entlassung aus der Nachsorge daran knüpfen, dass die verschiedenen Barrieren im Rahmen des Multibarrierekonzepts dauerhaft funktionsfähig sind.

Die Abgrenzung zwischen Anforderungen der Gefahrenabwehr und der Vorsorge im Kontext der Anforderungen an Deponien ist problematisch. Der Gesetz- und Verordnungsgeber geht von einem Multibarrierenkonzept aus. Es ist schwerlich bestimmbar, welche dieser Barrieren (noch) der Gefahrenabwehr, welche (schon) der Vorsorge dient. Eine solche Aufgliederung von Einzelpflichten brächte – zumindest im Rahmen dieses Vorhabens – keinen Erkenntnisgewinn. Es kommt letztlich darauf an, dass die vom Gesetz- und Verordnungsgeber geforderten Maßnahmen durchgeführt werden, unabhängig davon, ob sie der Gefahrenabwehr oder der Vorsorge zuzuordnen wären.

Für die Erfordernisse des Gewässerschutzes im Zuge der Deponiestilllegung und -achsorge sind die **wasserrechtlichen Vorschriften maßgeblich**. Insofern ist festzuhalten, dass **auch solche wasserrechtlichen Anforderungen eingehalten werden müssen, die aus Gründen der Vorsorge geregelt sind**. Im Wasserrecht ist der Vorsorgegrundsatz durch gesetzliche und untergesetzli-

⁹ Vgl. § 12 Abs. 3 Satz 1, § 12 Abs. 6 Satz 1, § 13 Abs. 1 Satz 1, § 13 Abs. 4, § 13 Abs. 5 Nr. 9 DepV.

che Vorschriften ausgestaltet, insbesondere § 26 Abs. 2 und § 34 Abs. 2 WHG.¹⁰ Für den Bereich des Gewässerschutzes erübrigen sich infolge dieses Verweises in das Wasserrecht Überlegungen zu den Konsequenzen, die sich aus der Anwendung des Vorsorgegrundsatzes auf stillgelegte Deponien im Rahmen des Abfallrechts ergeben könnten.

Zusammenfassend ist Folgendes festzuhalten:

- Im Zuge der Deponiestilllegung und -achsorge muss Vorsorge gegen die Beeinträchtigung von Schutzgütern getroffen werden. Eine Entlassung aus der Nachsorge ist nur möglich, wenn diese Vorsorge – d.h. die Funktionserhaltung der entsprechenden Vorkehrungen – dauerhaft gewährleistet ist.
- Das geforderte Maß der Vorsorge für die Verhinderung von Gewässerbeeinträchtigungen ergibt sich aus den diesbezüglichen Vorschriften des Wasserrechts (insbesondere §§ 26 Abs. 2, 34 Abs. 2 WHG) und aus den untergesetzlichen Vorschriften.

5.4.2 Untergesetzliche Standards des Gewässerschutzes

Die allgemeinen Anforderungen des Gewässerschutzes werden konkretisiert durch Verordnungen und Verwaltungsvorschriften des Bundes, durch Verwaltungsvorschriften der Länder und durch verschiedene Handlungsempfehlungen, u.a. der LAWA und der LAGA.

Hierzu zählen die Grundwasserverordnung vom 18.03.1997¹¹, die Abwasserverordnung¹², die Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift über Anforderungen

¹⁰ Zum Vorsorgecharakter der Vorschriften siehe Czychowski/Reinhardt, WHG, § 34, Rn. 12.

¹¹ Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG vom 17.12.1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe, BGBl. I, S. 542.

¹² Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer in der Fassung vom 17.06.2004, BGBl. I, S. 1108, berichtet S. 2625.

zum Schutz des Grundwassers bei der Lagerung und Ablagerung von Abfällen vom 31.01.1990¹³, Richtlinien der Bundesländer zu Auslöseschwellen für Maßnahmen zum Grundwasserschutz nach § 2 Nr. 3 DepV¹⁴ und die Geringfügigkeitsschwellen (GFS) der LAWA.¹⁵

5.4.2.1 Grundwasserschutz

Die Grundwasserverordnung sowie die Verwaltungsvorschrift zum Grundwasserschutz bei der Lagerung und Ablagerung von Abfällen regeln vorrangig die Berücksichtigung des Grundwasserschutzes im Genehmigungs- und Stilllegungsverfahren. Ferner legen diese beiden Regelwerke fest, welche Stoffe bzw. Stoffgruppen möglichst überhaupt nicht in das Grundwasser gelangen dürfen (Liste I) und bei welchen Stoffen die Einträge in das Grundwasser möglichst begrenzt werden sollen (Liste II). Abgesehen davon werden die Maßstäbe des § 34 Abs. 2 WHG durch diese beiden Regelwerke kaum konkretisiert. Insbesondere geben sie keine Fracht- oder Konzentrationswerte vor, die für die Stoffe der Liste II eingehalten werden müssen.¹⁶

Konkrete Werte für das Grundwasser hat die LAWA mit ihrem Konzept der Geringfügigkeitsschwellen für eine Reihe von Stoffen festgelegt. Die Geringfügigkeitsschwelle markiert bei lokalen Stoffeinträgen die Grenze zwischen einer geringfügigen Belastung und einem Grundwasserschaden (Grundwasser-Verunreinigung). Diese Geringfügigkeitsschwellen sind seit Jahren Grundlage des Vollzugs in den Bundesländern und fachlich weithin anerkannt.

¹³ GMBL, S. 74.

¹⁴ Z.B. Bayern und Niedersachsen.

¹⁵ LAWA, Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Dezember 2004.

¹⁶ Ausführlich zu den rechtlichen Vorgaben und Standards des Grundwasserschutzes Willand, Altlasten spektrum 2005, S. 76 ff.

Legt man die allgemeinen wasserrechtlichen Maßstäbe an, so ergibt sich: Im Zuge der Abfalldeponierung – auch während und nach der Nachsorgephase – muss dafür Sorge getragen werden, dass die Geringfügigkeitsschwellenwerte im unmittelbar betroffenen Grundwasser nicht überschritten werden. Allerdings sind für die meisten der bei Siedlungsabfalldeponien besonders relevanten Schadstoffe im Zuge der Deponienachsorge (beispielsweise für Stickstoff) keine Geringfügigkeitsschwellen festgelegt.

Von größerer praktischer Bedeutung sind deshalb die Auslöseschwellen, die von der zuständigen Behörde festgelegt werden und die auch während der Nachsorgephase gelten (§ 13 Abs. 3 Satz 2 und § 9 Abs. 2 und Abs. 3 DepV). Diese Auslöseschwellen sind Grundwasserüberwachungswerte, bei deren Überschreitung Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers eingeleitet werden müssen (§ 3 Nr. 2 DepV). Sie gelten für geeignete und von der zuständigen Behörde festzulegende Grundwassermessstellen im Abstrom der Deponie (§ 9 Abs. 1 Satz 2 DepV). Die Auslöseschwellen sind im Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort und der Grundwasserqualität festzulegen. Dabei sind die Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser und die Anwendungsregeln der BBodSchV zu berücksichtigen (§ 9 Abs. 1 Sätze 2 und 3 DepV). Die Bundesländer haben z.T. Handlungsempfehlungen und Richtlinien veröffentlicht, nach denen diese Auslöseschwellen festgelegt werden. U.a. werden Differenzwerte für Anstrom/Abstrom für eine Reihe von typischen deponiebürtigen Schadstoffen angegeben, die im Regelfall festgelegt werden sollen.¹⁷

Eine Überschreitung dieser Auslöseschwellen zieht nicht unbedingt das Erfordernis zusätzlicher Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen am Deponiekörper oder im Grundwasser nach sich. Vielmehr sehen die einschlägigen Leitfäden zunächst vor, dass Ursache und Ausmaß der Belastung weiter untersucht

¹⁷ Vgl. z.B. aus dem niedersächsischen Leitfaden: NH₄: 0,3 mg/l, Cl: 30 mg/l, DOC: 4 mg/l.

werden. Erst auf dieser Grundlage soll über weitergehende Maßnahmen entschieden werden.

Folgendes Zwischenfazit kann man für den Grundwasserschutz ziehen:

- Mit dem Geringfügigkeitsschwellen- und dem Auslöseschwellen-Konzept werden Belastungsgrenzen für das Grundwasser in Form von Konzentrationsschwellenwerten für Schadstoffe bestimmt.
- Die Auslöseschwellen müssen nicht in jedem Falle zwingend eingehalten werden, ihre Überschreitung ist zunächst Auslöser für weitergehende Untersuchungen.
- Die Geringfügigkeitsschwellenwerte sind für die Nachsorgeaufgaben im Zuge der Deponiestillegung nur von begrenzter praktischer Relevanz. Die LAWA hat keine Geringfügigkeitsschwellenwerte für diejenigen stofflichen Parameter festgelegt, die für typische Siedlungsabfalldeponien charakteristisch sind.

5.4.2.2 Schutz von Oberflächengewässern

Ungleich größere praktische Bedeutung als diese Vorgaben zum Grundwasserschutz hat die **Abwasserverordnung**, die die Anforderungen nach dem Stand der Technik an die Einleitung von Sickerwasser in Oberflächengewässer regelt. Es handelt sich um **Mindestanforderungen** nach dem Stand der Technik. Dies bedeutet, dass die Behörde im Einzelfall zum Schutz des betroffenen Oberflächengewässers die Schadstoffeinträge noch weitergehend begrenzen kann. Anhang 51 der Abwasserverordnung, der die Anforderungen nach dem Stand der Technik bei der Einleitung von Sickerwasser aus Deponien regelt, enthält zum einen allgemeine Anforderungen an die Begrenzung des Volumenstroms und der Schadstofffracht. Zum anderen bestimmt er konkrete Anforderungswerte für die Schadstoffkonzentration im einzuleitenden Sickerwasser. Generell müssen **Volumenstrom und Schadstofffracht des Sickerwassers**

so gering gehalten werden, wie es nach dem Stand der Technik möglich ist. Das Sickerwasser muss dann – ohne Vermischung mit anderem Wasser oder Abwasser – die festgelegten Anforderungswerte einhalten (z.B. CSB: 200 mg/l, Stickstoff (gesamt): 70 mg/l).

Diese Werte können bei herkömmlichen Siedlungsabfalldéponien überwiegend nur nach Reinigung des gefassten Sickerwassers eingehalten werden. Für Nachsorgeaufwand und -zeitraum ist es von entscheidender Bedeutung, wann ggf. anfallendes Sickerwasser ohne aufwändige Reinigung diese Einleitgrenzwerte einhalten kann.

Diese Anforderungen der Abwasserverordnung sind zwingend: Wenn sie nicht eingehalten werden, ist die Einleitung nicht genehmigungsfähig, d.h. die Behörde darf die Genehmigung nicht erteilen.

5.4.3 Kriterium für das Ausmaß von Gewässerbeeinträchtigungen: Konzentrations- oder Frachtwerte?

Der vorstehende Überblick über Standards des Gewässerschutzes, die im Zuge von Abfalldéponien relevant sind, gibt keine eindeutig Auskunft darüber, inwieweit Gewässerbeeinträchtigungen tolerabel sind oder nicht. Nur die Grenzwerte der Abwasserverordnung markieren eine zwingende Anforderung, die nach geltendem Recht in jedem Fall eingehalten werden muss.

Andere Werte – insbesondere diejenigen zum Schutz des Grundwassers – stellen keine in jedem Falle zu unterschreitende, verbindliche Belastungsgrenze dar. Dies liegt im Kern daran, dass solche Standards zum Grundwasserschutz als genereller Maßstab naturgemäß streng sein müssen, weil sie z.B. die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser und ökotoxikologische Wirkungen für empfindliche Organismen einkalkulieren müssen. Eine andere Frage ist, ob

die Einhaltung dieser Werte unter allen Umständen und unabhängig von den technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten verlangt werden kann. Dies hängt maßgeblich davon ab, wie weit Belange des Gewässerschutzes durch gegenläufige Erfordernisse – hier: das Interesse an einer geordneten Abfallentsorgung zu wirtschaftlichen Bedingungen – relativiert werden können. Hierauf wird unten (5.5) eingegangen. Zuvor ist aber zu überlegen, wie das Ausmaß von Gewässerbeeinträchtigungen zu erfassen ist. In diesem Zusammenhang stellt sich insbesondere die Frage, ob die Überschreitung von Konzentrationsschwellen im Verlaufe des Emissionspfades oder im betroffenen Grundwasser bzw. Oberflächengewässer maßgeblich sind oder ob es auf die Schadstoffmengen (Fracht) ankommt.

Die meisten Regelwerke stellen auf die Konzentration von Schadstoffen in der Emission oder am betroffenen Schutzgut ab. Dies gilt beispielsweise für die Geringfügigkeitsschwellenwerte und die Auslöseschwellen im Bereich des Grundwasserschutzes, für Gewässergüteziele bei den Oberflächengewässern und für Zuordnungswerte für Abfälle, für Einleitgrenzwerte von Abfall oder für die Prüfwerte nach Anhang 2 der BBodSchV.

Die Schadstoffmengen bzw. -frachten sind zwar nach den einschlägigen Vorschriften ebenfalls von Bedeutung – z.B. nach § 7 a Abs. 1 Satz 1 WHG – § 3 Abs. 3 und § 6 Abs. 1 Nr. 3 GrundwV, Anhang 51 AbwV, § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV. Es werden aber in den einschlägigen Regelwerken Konzentrationswerte und nicht Frachtwerte festgelegt.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass die verschiedenen Werte in den vorgenannten Regelwerken Kriterien für höchst unterschiedliche Beurteilungsaufgaben sind. Deshalb haben die Werte auch einen unterschiedlichen rechtlichen Status. So konkretisiert die Abwasserverordnung den Stand der Technik bei der Begrenzung von **Emissionen**. Zur Konkretisierung der Anforderungen legt die Abwasserverordnung überwiegend Konzentrations- teilweise auch

Frachtwerte fest. In Anhang 51, der die Anforderungen an Deponieabwässer regelt, verfolgt die Abwasserverordnung einen zweigleisigen Ansatz: Zum einen verlangt sie, den Sickerwasserstrom – unabhängig von der spezifischen Schadstoffkonzentration – entsprechend dem Stand der Technik zu begrenzen. Insoweit geht es um die technische Leistungsfähigkeit der Vorkehrungen zur Sickerwasserbegrenzung, insbesondere die Oberflächenabdichtung (bzw. temporäre Oberflächenabdeckung). Konkrete Werte für Höchstmengen werden nicht festgelegt. Zum anderen werden Konzentrationsgrenzwerte an der Einleitstelle festgelegt. Sie sind ein Indikator für die Leistungsfähigkeit der Reinigungsanlage, der naturgemäß unabhängig von der Sickerwassermenge sein muss. Insofern muss die Abwasserverordnung sich an dem aktuellen technischen Entwicklungsstand von Reinigungsverfahren orientieren. Deren Leistungsfähigkeit wird anhand der Restkonzentrationen nach Reinigung bestimmt.

Im Unterschied dazu markieren Geringfügigkeitsschwellen oder Auslöseschwellen eine Belastungsgrenze für das jeweilige Schutzgut. Es handelt sich also um Immissionswerte. Die Konzentration der Schadstoffe wird insoweit als ein Indikator für Gewässerbelastungen herangezogen. Aus der Überschreitung eines solchen Konzentrationswertes ergibt sich jedoch nicht unter allen Umständen eine Pflicht zur Verbesserung des Gewässerzustandes (Sanierungspflicht). So sehen beispielsweise die einschlägigen Richtlinien der Bundesländer bei Überschreitung der Geringfügigkeitsschwellen im Grundwasser vor, zunächst Art und Umfang des Schadens und seine konkreten Auswirkungen näher zu untersuchen. Gleiches gilt für die bodenschutzrechtlichen Regelungen im Falle der Überschreitung eines Prüfwertes im Sickerwasser oder im unmittelbar betroffenen Grundwasser (§ 8 Abs. 1 Nr. 1 BBodSchG, § 4 Abs. 3 BBodSchV i.V.m. Anhang 2 Nr. 3). Bei der Überschreitung von Auslöseschwellen sehen die einschlägigen Richtlinien der Bundesländer ebenfalls vor, dass zunächst weitere Untersuchungen über das Ausmaß der Grundwasserbelastung notwendig sind.

Diese Überlegungen zeigen, dass die Überschreitung eines bestimmten Immissionsgrenzwertes im Grundwasser (oder Sickerwasser) zwar das Vorliegen eines Grundwasserschadens indiziert, das Erfordernis von Maßnahmen aber von einer näheren Untersuchung abhängig gemacht wird, die sich insbesondere auf den Umfang des Schadens bezieht. Ob und wie groß der Handlungsbedarf ist, hängt maßgeblich von dem Ausmaß der Belastung des betroffenen Schutzguts ab.

In dieser Hinsicht ist die Schadstoffkonzentration nur von sehr begrenzter Aussagekraft. Ein Konzentrationswert gibt an, ob überhaupt eine Belastung vorliegt, aber zeigt deren Ausmaß nur bedingt an. Eine hohe Schadstoffkonzentration kann aber Indikator sein für eine größere Belastung (wenn unter den gegebenen Umständen anzunehmen ist, dass eine gemessene Konzentrationsüberschreitung nicht ganz kleinräumig ist).

Die Funktion der Konzentrationsgrenzwerte ergibt sich aus § 7 a) WHG, zu dessen Konkretisierung die Abwasserverordnung dient. Nach § 7 a) Abs. 1 Satz 1 WHG darf die Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser nur erteilt werden, wenn die **Schadstofffracht des Abwassers so gering gehalten wird, wie** dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem **Stand der Technik möglich** ist. Die Vorgaben der Abwasserverordnung dienen also im Wesentlichen dazu, das Ziel der Minimierung der Schadstoff**frachten** zu erreichen. Soweit in der Abwasserverordnung Konzentrationsgrenzwerte festgelegt werden, dienen diese gewissermaßen als Vehikel oder Mittel zur Begrenzung der Schadstofffrachten.

Die schädliche Beeinflussung von Gewässern ist dagegen maßgeblich abhängig von den Schadstoffmengen, die im Zeitverlauf in sie gelangen. Schadstoffkonzentrationen – z.B. im Sickerwasser oder im ablaufenden Oberflächenwasser – haben im Kontext mit Deponien lediglich sekundäre Bedeutung als Indikator für das mobilisierbare Schadstoffpotenzial und für die ausgetragene

Schadstoffmenge. Im Übrigen sind die Konzentrationswerte dort von Relevanz, wo die Schadstoffe in hochkonzentrierter Form auf ein bisher unbelastetes Schutzgut treffen. Dies ist jedoch im unmittelbaren Umfeld sehr vieler Deponien insbesondere bei fehlender Basisabdichtung nicht der Fall.

Konzentrationsgrenzwerte dienen also z.B.

- als Maßstab für die Leistungsfähigkeit von Reinigungsanlagen (Stand der Technik)/Emissionsbegrenzung,
- als Beeinträchtigungs-/Schadensschwelle,
- als Indikator für das Ausmaß einer Belastung.

Zur Bewertung des Ausmaßes einer Belastung und zur Beurteilung von Handlungserfordernissen muss neben der Konzentration auch die Schadstoffmenge bzw. -fracht ermittelt und bewertet werden.

Aus diesen Überlegungen sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

- Trotz Einhaltung von Konzentrationsgrenzwerten (auf dem Emissionspfad oder im Umweltmedium) können erhebliche Belastungen auftreten (Verdünnungseffekt).
- Für das Ausmaß von Gewässerbeeinträchtigungen mag die Überschreitung bestimmter Konzentrationsgrenzen ein Indikator sein; entscheidend kommt es jedoch darauf an, welche Schadstoffmengen bzw. -frachten in das Gewässer gelangen.
- Die Einhaltung von Konzentrationsgrenzwerten allein verspricht deshalb keine Minimierung der Schadstoffbelastungen, die von stillgelegten Deponien ausgehen.
- Ein hoher technischer Aufwand und ein langer Nachsorgezeitraum zur Sicherstellung der Unterschreitung bestimmter Konzentrationsgrenzwerte ist unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit um so weniger gerechtfertigt, je geringer die Reduktion der Schadstofffrachten ausfällt.

5.5 Abwägung zwischen Belangen des Gewässerschutzes und der Abfallbeseitigung

In Literatur und Rechtsprechung wird die – allerdings bestrittene – Auffassung vertreten, dass die strengen Anforderungen des Gewässerschutzes bei Abfalldeponien relativiert werden müssen.¹⁸ Im Interesse einer geordneten Abfallbeseitigung müssen danach bestimmte Gewässerbeeinträchtigungen hingenommen werden, die gewöhnlich wasserrechtlich unzulässig sind. Andernfalls wäre entgegen den Vorstellungen des Gesetzgebers jedenfalls für zugelassene und auch nach In-Kraft-Treten des KrW-/AbfG rechtmäßig weiterbetriebene Altdeponien eine mit verhältnismäßigen Mitteln durchführbare Stilllegung nicht möglich. Denn bei diesen Anlagen kann zumindest langfristig eine Gefährdung des Grundwassers durch Sickerwässer kaum jemals mit der aus wasserrechtlicher Perspektive allgemein geforderten Sicherheit ausgeschlossen werden.¹⁹

Soweit Rechtsprechung und Literatur für eine Auflockerung der strengen wasserrechtlichen Maßstäbe für die Abfalldeponierung plädieren, wird durchgängig eine Abwägung zwischen den widerstreitenden Belangen gefordert. Die wasserrechtlichen Maßstäbe sind also nicht etwa generell abgeschwächt. Vielmehr muss im Einzelfall geprüft werden, inwieweit die Belange des Gewässerschutzes gegenüber vorrangigen abfallwirtschaftlichen Belangen zurücktreten müssen.²⁰ Dies gilt insbesondere für die strengen Anforderungen der §§ 26 Abs. 2 und 34 WHG, die mit den Erfordernissen einer geordneten Abfallbeseitigung abgewogen werden müssen.

¹⁸ Vgl. statt vieler Paetow in: Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 32, Rn. 21.

¹⁹ Vgl. OVG Schleswig, NVwZ-RR 1994, S. 75 ff.; offen gelassen von BVerwGE 89, S. 138 ff. unter 1.

²⁰ Vgl. zusammenfassend zum Streitstand Wagner/Cardenal, in: Fluck, § 10 KrW-/AbfG, Rn. 216 f.

Die gleiche Abwägung zwischen Belangen des Gewässerschutzes und der Abfallbeseitigung ist notwendig, wenn im Zuge der Abfalldeponierung über die Erteilung wasserrechtlicher Genehmigungen zu entscheiden ist. Deponiebetrieb und -stilllegung gehen mit genehmigungsbedürftigen Gewässerbenutzungen einher, wenn z.B. gereinigtes Sickerwasser eingeleitet werden soll. Eine solche Genehmigung ist zu versagen, soweit von ihr eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu erwarten ist, die nicht durch Auflagen verhütet oder ausgeglichen wird (§ 6 WHG). Unter dem Merkmal der „Allgemeinwohlbeeinträchtigung“ ist das – abfallwirtschaftliche – Interesse an der Gewässerbenutzung mit den Erfordernissen des Gewässerschutzes abzuwägen.

5.6 Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen zum Gewässerschutz im Zuge der Deponiestilllegung und -achsorge

Die Abwägung zwischen den Belangen des Gewässerschutzes und der Abfallbeseitigung erfolgt nach Maßgabe des allgemeinen Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes. Nach ihm dürfen nur solche belastenden Maßnahmen verlangt werden, die zur Erreichung eines gesetzlich legitimierten Zwecks geeignet, erforderlich und angemessen sind. Die Kriterien können wie folgt zusammengefasst und schrittweise konkretisiert werden:

- Im Interesse einer geordneten und wirtschaftlichen Abfallbeseitigung müssen gewisse Gewässerbelastungen hingenommen werden.
- Der Gewässerschutz muss jedoch nur insoweit zurücktreten, wie überwiegende Belange der Abfallbeseitigung dies erfordern.
- Die danach erforderliche Abwägung erfolgt nach Maßgabe des Verhältnismäßigkeitsprinzips.²¹ Belastende Maßnahmen – hier: zum Zwecke des Gewässerschutzes – können nur verlangt werden, wenn sie

²¹ Zu den einzelnen Elementen des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes im Kontext der Sanierung s. Willand/Großmann, altlasten spektrum, 2002, S. 277 (281 f., 285 f).

- geeignet sind (technisch machbar),
- erforderlich sind (Gebot des „mildesten Mittels“): unter gleich geeigneten Maßnahmen muss immer diejenige ausgewählt werden, die mit den geringsten Belastungen für den Einzelnen und die Allgemeinheit verbunden ist) und
- angemessen (verhältnismäßig im engen Sinne) sind.
- Erhebliche Schadstoffausträge in Gewässer stehen deshalb mit den abfall- und wasserrechtlichen Anforderungen nur im Einklang, wenn und soweit
 - ihre Vermeidung technisch nicht möglich oder
 - technisch möglich, aber unangemessen wäre.

Die Prüfung der technischen Machbarkeit, Erforderlichkeit und Angemessenheit von Vermeidungsmaßnahmen muss auf Grundlage einer konkreten, einzelfallbezogenen Bewertung der verfügbaren Handlungsalternativen erfolgen.²²

5.6.1 Notwendigkeit einer Gesamtbewertung des Stilllegungs- und Nachsorgekonzepts

Die Nachsorgeaufgaben werden in hohem Maße geprägt von der vorhergehenden Stilllegungsphase und von dem realisierten Stilllegungskonzept. Wenn unmittelbar nach Ende der Ablagerungsphase eine wasserundurchlässige Oberflächenabdichtung aufgebracht wird und das Schadstoffpotenzial so dauerhaft konserviert wird, dann resultieren daraus andere Nachsorgeaufgaben als bei einer Deponie, bei der das Schadstoffpotenzial zunächst durch Stabilisierungsverfahren reduziert und erst anschließend eine Oberflächenabdichtung mit ggf. geringerer Dichtwirkung aufgebracht wird. Wenn eine vollständige Kapselung angestrebt wird, dann ist die Nachsorge dementsprechend ausgerichtet auf die dauerhafte Funktionserhaltung der Dichtelemente. Wird das

²² Vgl. BVerwG, Beschluss vom 06.09.2004, Az. 7 B 42/04, unter II.1. a.

Schadstoffpotenzial im Deponiekörper nicht abgebaut, so verlängert sich die Nachsorge entsprechend auf einen nicht prognostizierbaren Zeitraum. Wird dagegen das Schadstoffpotenzial durch stabilisierungs- bzw. inertisierungs-fördernde Maßnahmen reduziert und sind die Dichtelemente ggf. durch eine höhere Restdurchlässigkeit gekennzeichnet, so resultieren hieraus andere Nachsorgeaufgaben und insbesondere ein kürzerer Nachsorgezeitraum.

Deshalb muss auch aus rechtlicher Sicht für die Verhältnismäßigkeitsprüfung das Nachsorgekonzept immer im Zusammenhang mit dem Stilllegungskonzept betrachtet und bewertet werden.

Bei der Deponiestilllegung und -achsorge handelt es sich im Regelfall nicht um „eine“ Maßnahme oder um eine Vielzahl unabhängiger Einzelmaßnahmen. Vielmehr handelt es sich um ein Bündel von Maßnahmen, die durch ein einheitliches Konzept verbunden sind und in ihrem Zusammenwirken die gewünschten Ziele (dazu s.o. 2.1) realisieren sollen. Jedes Konzept für die Stilllegung oder Nachsorge einer Deponie hat unterschiedliche Bausteine, die in ihrer Gesamtwirkung zu betrachten sind (z. B. Oberflächengestaltung/-abdichtung, Sickerwasserfassung mit/ohne Basisabdichtung). Nicht nur für die Leistungsfähigkeit von Nachsorgemaßnahmen, sondern auch aus Sicht des Betroffenen kommt es auf die Belastungswirkung aller von ihm verlangten Maßnahmen im Zusammenhang mit Nachsorgeaufgaben an.

Aus diesen Gründen muss auch die Gesamtheit der Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen Gegenstand der Verhältnismäßigkeitsbetrachtung sein.

5.6.2 „Erforderlichkeit“ von Stilllegungs- und Nachsorgemodellen

Ein bestimmtes Maßnahmenbündel ist nur dann „erforderlich“, wenn keine andere, gleichermaßen geeignete Alternative verfügbar ist, die mit geringeren Belastungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verbunden wäre. Die verlangten Maßnahmen müssen in diesem Sinne also das „mildeste Mittel“ sein. Dies ist ein Element des Verhältnismäßigkeitsprinzips, das das gesamte Ordnungsrecht prägt.

Die Erforderlichkeitsprüfung für Stilllegungs- und Nachsorgekonzepte erlangt besondere Bedeutung im Kontext der DepV, weil diese sehr ins Detail gehende technische Standards für Stilllegung und Nachsorge festlegt, insbesondere hinsichtlich der Oberflächenabdichtung und der Anforderungen an die Sickerwasserfassung und -behandlung. Die DepV begnügt sich insofern nicht damit, Ziele für die Stilllegung und Nachsorge vorzugehen, sondern legt zugleich die technischen Lösungen fest. Andererseits sind die Spielräume für Alternativverfahren – z. B. für die Infiltration von Wasser (vgl. § 14 Abs. 8 DepV) – begrenzt. Man kann angesichts des hohen Standardisierungsgrades von einem „DepV-Modell“ sprechen. Dieses ist vor allem gekennzeichnet durch das Aufbringen einer möglichst wasserundurchlässigen Oberflächenabdichtung möglichst direkt im Anschluss an die Beendigung der Ablagerungsphase. Der Anfall von Sickerwasser soll möglichst unterbunden werden. Zusammen mit der Basisabdichtung liegt dem das Konzept einer vollständig gekapselten und hydraulisch deaktivierten Deponie zu Grunde. Die hohen Anforderungen an die Dichtwirkung der Barrieren bei sich kaum verringерndem Schadstoffpotenzial haben einen entsprechend langen Nachsorgezeitraum zur Folge.

In dem Maße, in dem die Nachsorgeziele auch mit Alternativkonzepten, die mit weniger Belastungen verbunden sind, erreicht werden, muss das Stilllegungs- und Nachsorgemodell der DepV unter dem Gesichtspunkt der „Erforderlichkeit“ in Frage gestellt werden. Im Einzelnen kann dies jedoch erst auf Grundlage

eines Leistungsvergleichs zwischen dem „DepV-Modell“ und in Betracht kommenden Alternativkonzepten beurteilt werden.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Gesetz- und Verordnungsgeber einen gewissen Einschätzungsspielraum bei der Beurteilung der Erforderlichkeit und Angemessenheit von Standards der Deponiestilllegung und -achsorge hat. Insbesondere ist er zur „Typisierung“ befugt: Er darf durch bestimmte Merkmale gekennzeichnete Fallgruppen von Deponien einheitlichen Anforderungen unterwerfen. Im Interesse der Schaffung allgemeinverbindlicher und vollzugstauglicher Standards muss es hingenommen werden, dass diese Standards ggf. für einzelne Deponien nicht die optimale – d.h. am geringsten belastende – Variante darstellen. Allerdings überschreitet der Verordnungsgeber seinen Standardisierungsspielraum, wenn die von ihm festgelegten generellen Anforderungen deutlich belastender sind als Alternativkonzepte, die bei geringerer Belastung mindestens die gleiche Leistungsfähigkeit (hinsichtlich Emissionsminimierung) aufweisen.

5.6.3 „Angemessenheit“ von Stilllegungs- und Nachsorgemodellen

Das Stilllegungs- und Nachsorgekonzept muss angemessen (verhältnismäßig im engen Sinne) sein. Auch für die Angemessenheitsprüfung kommt es nicht auf eine einzelne Maßnahme, sondern auf die Gesamtheit der geforderten Maßnahmen an. Im Zentrum der Angemessenheitsprüfung steht die Frage, welcher Aufwand wirtschaftlich vertretbar ist und welche sonstigen Nachteile in Kauf genommen werden müssen, um Gefährdungen oder Belastungen von Gewässern durch stillgelegte Deponien zu minimieren (s.o. 5.2.2). In die Angemessenheitsprüfung fließen insbesondere folgende Abwägungsgesichtspunkte ein:

- Leistungsfähigkeit der technischen Vorkehrungen zur Emissionsreduzierung, z.B. Maß der Verringerung der Schadstoffausträge (Fracht, ggf. auch Konzentrationsbetrachtung im Zeitverlauf);
- Kosten der technischen Vorkehrungen und ihrer Kontrolle und ggf. Reparatur oder Erneuerung;
- sonstige Belastungen/Nachteile der technischen Vorkehrungen (z.B. hinsichtlich des Nachsorgezeitraums, Ressourcenverbrauchs, Umweltbelastungen, Einschränkungen der Nachnutzung etc.).

Die Berücksichtigung von sonstigen Belastungen/Nachteilen der Maßnahme bedeutet: technisch mögliche und wirtschaftlich vertretbare Maßnahmen zum Gewässerschutz im Rahmen der Stilllegung und Nachsorge können unterbleiben, wenn sie mit gravierenden Nachteilen verbunden wären, die in der Abwägung gegenüber den Belangen des Gewässerschutzes überwiegen.

5.7 Spielräume zur Realisierung von Alternativkonzepten (Stabilisierung) im Rahmen des geltenden Rechts

In den vorhergehenden Abschnitten wurde herausgearbeitet, dass die technischen Standards der DepV für die Stilllegung und Nachsorge von Deponien – insbesondere die Vorgaben zur Sickerwasserfassung und -behandlung und zur Oberflächenabdichtung – ein standardisiertes Konzept („DepV-Modell“) bilden, das vom Leitbild der gekapselten, emissionsfreien (bzw. -armen) Deponie ausgeht. Nach fachlichen Erkenntnissen hat eine Konservierung des Schadstoffpotenzials bei typischen Siedlungsabfalldeponien durch Aufbringen einer Oberflächenabdichtung kurz nach Beendigung der Ablagerungsphase zur Folge, dass langfristig erneut erheblich belastetes Sickerwasser anfallen kann oder – über nicht absehbare Zeiträume – die Oberflächenabdichtung kontrolliert und ggf. repariert werden muss.

Maßnahmen zur Reduktion des Schadstoffpotenzials im Deponiekörper während der Stilllegungsphase – z.B. Sickerwasserinfiltration und Belüftung – zählen nicht zu den Regelanforderungen nach DepV. Nach fachlichen Erkenntnissen können solche Stabilisierungsverfahren jedoch das Restschadstoffpotenzial verringern und infolgedessen den Nachsorgeaufwand und -zeitraum verkürzen. Ferner erscheinen sie prinzipiell geeignet, an die Stelle anderer Sicherungsvorkehrungen zu treten und diese teilweise zu ersetzen. So ist zu prüfen, ob solche Maßnahmen es rechtfertigen können, anstelle eines Regeloberflächenabdichtungssystems eine Oberflächengestaltung mit geringerer Dichtwirkung zu installieren.

Vor diesem Hintergrund soll nachfolgend geprüft werden, welche Spielräume für die Realisierung von Alternativkonzepten die DepV lässt im Hinblick auf:

- die zeitliche Verschiebung des Aufbringens der Oberflächenabdichtung (um nach Beendigung der Ablagerungsphase Stabilisierungsverfahren anzuwenden),
- die Infiltration wie Reinfiltration von gefasstem Sickerwasser in den Deponiekörper,
- die Belüftung des Deponiekörpers,
- das Aufbringen einer alternativen Oberflächenabdeckung (mit größerer Restdurchlässigkeit als eine Oberflächenabdichtung nach Anhang 1 Nr. 2 DepV).

5.7.1 Zeitpunkt des Aufbringens der Oberflächenabdichtung

Stabilisierungsmaßnahmen am Deponiekörper – wie Sickerwasserinfiltration und Belüftung – können insbesondere dann effektiv eingesetzt werden, wenn noch keine endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht wurde. Nach § 12 Abs. 3 DepV hat der Deponiebetreiber in der Stilllegungsphase **unverzüglich** alle erforderlichen Maßnahmen durchzuführen, um zukünftig negative Auswir-

kungen der Deponie zu verhindern. Hierzu zählt ausdrücklich das Aufbringen eines Oberflächenabdichtungssystems.

Nach § 12 Abs. 5 DepV kann vor der Aufbringung des endgültigen Oberflächenabdichtungssystems eine temporäre Oberflächenabdeckung vorgenommen werden, wenn bei der Deponie große Setzungen erwartet werden.

Aus dem systematischen Zusammenhang der Absätze 3 und 5 des § 12 DepV ergibt sich: Die Aufbringung des endgültigen Oberflächenabdichtungssystems nach Beendigung der Ablagerungsphase darf nur verschoben werden, wenn große Setzungen erwartet werden.

Bei Altdeponien, auf denen Hausmüll oder andere Abfälle mit hohen organischen Anteilen abgelagert wurden, ist **unmittelbar** nach Abklingen der Hauptsetzungen die endgültige Oberflächenabdichtung herzustellen. Auch § 14 Abs. 8 DepV, der die Voraussetzungen für eine gezielte Befeuchtung des Abfallkörpers durch Infiltration regelt, gewährt keinen Aufschub beim Aufbringen der Oberflächenabdichtung. Im Gegenteil ist eine Oberflächenabdichtung – oder zumindest eine temporäre dichte Abdeckung – explizite Bedingung für die Anwendung dieses Verfahrens (§ 14 Abs. 8 Ziff. 4 DepV).

Nach Wortlaut und Systematik der einschlägigen Vorgaben der DepV muss deshalb die Oberflächenabdichtung unverzüglich nach Stilllegung aufgebracht werden. Sie darf nur im Falle erwarteter, größerer Setzungen hinausgeschoben werden.

Dieses Ergebnis deckt sich auch mit dem mutmaßlichen Willen des Verordnungsgebers. Nach Beendigung der Ablagerungsphase sollen die Stilllegungsmaßnahmen möglichst schnell realisiert werden, um die Umweltauswirkungen zu minimieren. Hierzu zählt auch eine Oberflächenabdichtung, die den Sickerwasseranfall – auch gegenüber temporärer Abdeckungen in der Ablagerungs-

phase – deutlich reduziert. Insoweit wurde der bei Verordnungserlass ermittelte Stand der Technik zu Grunde gelegt, der Stabilisierungsverfahren noch nicht einbezogen hat.

5.7.2 Infiltration

§ 14 Abs. 8 DepV regelt die Bedingungen, unter denen eine gezielte Befeuchtung des Abfallkörpers durch Infiltration von Wasser oder deponieeigenem Sickerwasser zugelassen ist. Zunächst gilt diese Vorschrift nur für Altdeponien i.S.d. § 14 Abs. 1 DepV (die sich also am 01.08.2002 in der Ablagerungsphase befanden).

Die Sickerwasserinfiltration ist nur zulässig, wenn geeignete Voraussetzungen vorhanden sind und mögliche nachteilige Auswirkungen auf den Deponiekörper und die Umwelt verhindert werden. Neben diesen allgemeinen Anforderungen ist in § 14 Abs. 8 Satz 2 DepV ein Katalog von spezifischen Bedingungen geregelt, die kumulativ erfüllt werden müssen. Hierzu zählen technische Vorkehrungen (funktionierendes Sickerwasserfassungssystem, funktionierendes aktives Entgasungssystem, Einrichtungen zur geregelten und kontrollierten Infiltration, Kontrolleinrichtungen etc.) und Abfall- und deponiebezogene Vorgaben (z.B. zur Standsicherheit).

Darüber hinaus ist das Vorhandensein einer **qualifizierten Basisabdichtung** eine Voraussetzung für die Infiltration. Zahlreiche in der Stilllegungsphase befindliche Siedlungsabfalldeponien verfügen jedoch nicht über eine solche (technische) Basisabdichtung. Sie scheiden deshalb von vornherein für die Anwendung dieses Verfahrens aus, obwohl im Einzelfall Gefährdungen für den Wasserhaushalt auch ohne künstliche Basisabdichtung ausgeschlossen sein können (z.B. durch geologische Barriere oder Wasserfassung).

Ferner ist die Infiltration nur zulässig, wenn eine Oberflächenabdichtung oder temporäre dichte Abdeckung aufgebracht ist. Die Verfahren der In situ Stabilisierung entfalten jedoch ihre höchste Wirksamkeit vor der Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung, weil sie zu nennenswerten und beschleunigten Hauptsetzungen des Deponiekörpers, die von den intensivierten biologischen Abbauprozessen hervorgerufen werden, beitragen.

Die geltenden Vorschriften der DepV zur Sickerwasserrückführung ermöglichen dieses Verfahren also nur bei einem begrenzten Kreis von Deponien (Altdeponien mit qualifizierter Basisabdichtung, Abdeckung/Abdichtung zur Reduzierung des Niederschlagseintrags).

5.7.3 Belüftung

Das geltende Abfallrecht enthält keine Regelungen zur Belüftung abgelagerter Abfälle. So ist dieses Verfahren weder explizit erlaubt noch verboten. Ob, bei welchen Deponien und unter welchen Umständen die Belüftung zulässig ist, richtet sich deshalb nach den allgemeinen Vorschriften.

Belüftungsverfahren sind nach fachlichen Erkenntnissen geeignet, in Folge der stabilisierenden Wirkung das Schadstoff- und Emissionspotenzial zu reduzieren. Deshalb sind Belüftungsverfahren im Rahmen des Stilllegungskonzepts prinzipiell geeignet, Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten. Sie erscheinen deshalb grundsätzlich geeignet, das Erreichen der Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge nach § 13 Abs. 5 DepV zu unterstützen. Es handelt sich bei der Belüftung deshalb um ein Verfahren, das in geeigneten Fällen Bestandteil eines Stilllegungskonzepts im Einklang mit § 36 Abs. 2 KrW-/AbfG und § 12 DepV sein kann.

Insofern besteht rechtlich ausreichender Spielraum, um Belüftungsmaßnahmen zu realisieren. Allerdings wird die Anwendung dieses Verfahrens praktisch dadurch behindert, dass nach Beendigung der Ablagerungsphase unverzüglich die Oberflächenabdichtung aufgebracht werden muss (s.o., 5.7.1). Gerade bei der Belüftung werden die Hauptsetzungen jedoch beschleunigt vorweg genommen, so dass die Oberflächenabdichtung erst nach Abschluss der Belüftung aufgebracht werden sollte.

5.7.4 Modifizierung der Oberflächenabdichtung (§ 14 Abs. 6 DepV)

Besonders in Kombination mit der Anwendung von Stabilisierungsverfahren (s.o., 5.7.2 und 5.7.3) ist aus fachlicher Sicht in Betracht zu ziehen, anstelle einer Oberflächenabdichtung nach § 12 Abs. 3 i.V.m. Anhang 1 Nr. 2 DepV („TASi-OFAD“) eine Oberflächenabdichtung mit reduziertem Aufbau an Dichtungsschichten oder ggf. mit größerer Restdurchlässigkeit zu realisieren. Der Grund hierfür ist, dass durch die Anwendung von Stabilisierungsverfahren am Deponiekörper das Emissionspotenzial der abgelagerten Abfälle deutlich reduziert werden kann, so dass eine Oberflächenabdichtung mit mehrschichtigen Dichtungselementen nicht mehr erforderlich erscheint.

Anstelle der Oberflächenabdichtung nach Anhang 1 Nr. 2 DepV können unter den Voraussetzungen des § 14 Abs. 6 DepV andere geeignete Maßnahmen zugelassen werden. Für diese Maßnahmen wird nicht der Nachweis einer systembezogen Gleichwertigkeit verlangt. Die von den Regelanforderungen abweichende Oberflächenabdichtung muss also nicht dieselbe Dichtwirkung wie eine Oberflächenabdichtung aufweisen.

Allerdings muss die alternative Konzeption den Anforderungen des § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG entsprechen, insbesondere im Hinblick auf die Vermeidung von Beeinträchtigungen von Gewässern. Die Anwendung von Stabilisierungsverfah-

ren (Infiltration/Belüftung) in Verbindung mit einer (ggf. gering durchlässigen) Oberflächenabdichtung kommen als „andere geeignete Maßnahmen“ i.S.d. § 14 Abs. 6 DepV in Betracht. Voraussetzung ist, dass Allgemeinwohlbeeinträchtigungen i.S.d. § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG ausgeschlossen sind. Dies gilt insbesondere für Gewässerbeeinträchtigungen. Für die Beurteilung, ob diesen Anforderungen genüge getan ist, kann die Leistungsfähigkeit der Regelanforderungen (TASi-OFAD) als Indiz herangezogen werden.²³

Die Regelung ist allerdings nur auf Altdeponien i.S.d. § 14 Abs. 1 DepV anwendbar – also solche Deponien, die sich am 01.08.2002 in der Ablagerungsphase befanden. Weitere Voraussetzung für eine alternative Oberflächengestaltung ist, dass bei der Deponie die Ablagerungsphase vor dem 15.07.2005 beendet worden ist. Überdies errichtet § 14 Abs. 6 Verfahrenshürden: Der Deponiebetreiber muss im Einzelfall den Nachweis erbringen, dass sein Alternativkonzept Allgemeinwohlbeeinträchtigungen aufschließt, die Behörde hat auch im Falle der Zulassungsfähigkeit des Alternativkonzepts einen Ermessensspielraum, sie kann also ggf. an der TASi-OFAD festhalten.²⁴

5.8 Ergebnisse der rechtlichen Betrachtungen (Schwerpunkt Gewässerschutz)

5.8.1 Rechtliche Maßstäbe für die Entwicklung von quantitativen Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge

Die rechtlichen Analysen haben ergeben:

- Es existieren keine unmittelbar durch Rechtsvorschriften vorgegebenen quantitativen Kriterien (Grenzwerte o.ä.) für die Entlassung aus der Nachsorge.

²³ Vgl. Nicklas, in: Gaßner/Siederer, § 14 DepV, Rn. 32.

²⁴ Zu Einzelheiten siehe Nicklas, in: Gaßner/Siederer, § 14 DepV, Rn. 33 ff.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

- Auch aus den qualitativen Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge (z.B. § 13 Abs. 5 DepV) lassen sich nicht unmittelbar quantitative Kriterien „ableiten“.
- Stattdessen muss die Entwicklung quantitativer Kriterien auf Grundlage folgender rechtlicher Vorgaben erfolgen:
 - Minimierung von Gewässerbelastungen nach Maßgabe des Standes der Technik;
 - Verhältnismäßigkeit;
 - Gegenstand der Prüfung ist die Gesamtheit der Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen (ganzheitliche Betrachtung).
- Das Nachsorgekonzept muss dem Betreiber die Perspektive geben,
 - binnen eines überschaubaren Zeitraums und
 - zu angemessenen Kostenaus der Nachsorge entlassen zu werden.

Diese Maßstäbe gelten sowohl für das in der DepV zu Grunde gelegte Stilllegungs- und Nachsorgemodell als auch für Alternativkonzepte (z.B. mit Stabilisierungsverfahren).

In diesem Zusammenhang ist auch geprüft worden, ob für Alternativkonzepte mit innovativen Verfahren, die bei gleicher Leistungsfähigkeit gegenüber dem DepV-Modell eine Verkürzung der Nachsorgedauer erwarten lassen, hinreichend rechtliche Spielräume bestehen. Insoweit hat sich ergeben:

Die rechtlichen Spielräume für den Einsatz von Stabilisierungsverfahren (Belüftung, Infiltration) und für alternative Oberflächenabdichtungen (ggf. mit Restdurchlässigkeit) sind eng begrenzt. Die restriktiven Vorgaben schließen die Anwendung von Stabilisierungsverfahren insbesondere zur Infiltration bei zahlreichen Siedlungsabfalldeponien aus. Die DepV enthält – über die aufgezeigten, engen Spielräume hinaus – keine weitergehenden Befugnisse zur Realisierung von Alternativkonzepten.

5.8.2 Rechtlich-methodische Hinweise zur Gewinnung quantitativer Kriterien

Ausgangspunkt zur Gewinnung quantitativer Kriterien müssen die vorstehend zusammengefassten Maßstäbe sein.

Die Vorgaben können – vereinfacht – dahin zusammengefasst werden, dass ein optimales Nutzen-Kosten-Verhältnis anzustreben ist: Stilllegung und Nachsorge müssen bei hoher Leistungsfähigkeit (dauerhafte Emissionsminderung) einen möglichst geringen Nachsorgeaufwand und -zeitraum erfordern. Die quantitativen Kriterien ergeben sich dann aus den Leistungsmerkmalen des für den jeweiligen Deponietyp im vorgenannten Sinne optimalen Konzepts.

Dieses kann nur auf Grundlage eines **konkreten** Leistungsvergleichs zwischen verschiedenen in Betracht kommenden Konzepten und bezogen auf bestimmte Fallgruppen von Deponien (z.B. Siedlungsabfalldeponien mit/ohne Basisabdichtung) vergleichend zu bewerten sein. Es bietet sich an, diese **vergleichende Bewertung** für folgende Konzepte vorzunehmen:

- Stilllegungs- und Nachsorgekonzept nach DepV („DepV-Modell“):
 - Basisabdichtung (bei Altdeponien: ohne),
 - OFAD nach Ende der Ablagerung,
 - hohe Anforderungen an Dichtelemente (Ziel: vollständige Kapselung).
- „Alternativkonzept“:
 - Anwendung von Stabilisierungsverfahren in der Stilllegungsphase.
 - Oberflächenabdichtung mit standortangepasstem, ggf. reduziertem Systemaufbau.

Bei dieser vergleichenden Bewertung sind zu berücksichtigen:

- Leistungsfähigkeit (Emissionsminderung)
- Kosten und sonstige Belastungen/Nachteile
- Kosten-Nutzen-Relation:

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

- o Geringfügige Restimmissionen rechtfertigen keinen wesentlich höheren Aufwand.
- o Eine erhebliche Verminderung von Gewässerbelastungen rechtfertigt auch einen entsprechend höheren Aufwand/Nachsorgezeitraum.

Quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge hinsichtlich der Emissionsbegrenzung können dann auf Grundlage der Leistungsfähigkeit des effizientesten Konzepts entwickelt werden (ggf. differenziert nach unterschiedlichen Deponietypen/standörtlichen Bedingungen).

6 Beispielhafter Vergleich zwischen DepV-Modell und Alternativkonzepten

Trotz der unterschiedlichen Randbedingungen, unter denen herkömmliche Siedlungsabfalldeponien betrieben wurden, soll im Sinne des vorangegangenen Abschnitts 5.8.2 ein Vergleich der möglichen Vorgehensweisen zur Stilllegung und Nachsorge im Hinblick auf das Emissions- und Deponieverhalten sowie die dafür erforderlichen Kosten bzw. Rückstellungen vorgenommen werden. Dabei sind zahlreiche Vereinfachungen unumgänglich, und es ist nochmals zu betonen, dass derartige Betrachtungen für jeden Einzelfall durchgeführt werden müssen, um zu belastbaren Ergebnissen zu kommen. Die anschließende Ableitung quantitativer Kriterien erfolgt in Kapitel 8.

6.1 Randbedingungen für unterschiedliche Szenarien zur Stilllegung und Nachsorge

Nachfolgend werden unterschiedliche Vorgehensweisen zur Stilllegung und Nachsorge von herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien auf der Grundlage prognostizierter Emissionsentwicklungen und entsprechender Stilllegungs- und Nachsorgekosten verglichen. Bei der Szenarienbetrachtung werden die folgenden Phasen, die für das Emissionsverhalten und die Berechnung der Nachsorgekosten von Bedeutung sind, unterschieden:

- Stilllegungsphase
- Phase intensiver Nachsorge
- Phase reduzierter Nachsorge mit reduziertem Aufwand

Um eine Vergleichbarkeit der Emissionen und der verbleibenden Emissionspotenziale sowie der Kosten für die unterschiedlichen Nachsorgekonzepte bzw. Szenarien zu ermöglichen, erfolgt die Betrachtung der szenarienspezifischen Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten für einen Modellstandort. Der

gewählte Modellstandort sowie die Randbedingungen der Szenarienbetrachtung sind nachfolgend charakterisiert.

Randbedingungen für eine Modelldeponie:

- herkömmliche Siedlungsabfall-/Hausmülldeponie
- Deponiefläche: 10 ha
- Deponieablagerungsvolumen: 1 Mio. m³
- Ablagerungsmasse 1 Mio. Mg Mülltrockensubstanz (TS)
- durchschnittliche Ablagerungsmächtigkeit 20 m
- Bioverfügbarer organischer Anteil, der das Emissionsverhalten maßgeblich bestimmt, ausgedrückt als bioverfügbarer Kohlenstoffanteil zum Verfüllende 31.05.2005: 50.000 Mg C für gesamten Deponiekörper bzw. durchschnittlich 50 kg C/MgTS
- Mobilisierbares Stickstoffpotenzial zum Verfüllende 31.05.2005: 3.000 Mg N für gesamten Deponiekörper bzw. durchschnittlich 3 kg/MgTS (Referenzwert aus BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“, Heyer et al., 1997)
- 01.06.2005: Beginn der Stilllegungsphase und Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung bzw. endgültigen Oberflächenabdichtung inkl. Profilierung ab 2006 (Bauzeit: jeweils 2 Jahre)
- mittlere Niederschlagsmenge: 800 mm/a
- Sickerwassermenge:
 - ohne Oberflächenabdichtung: 30% der Niederschlagsmenge
 - mit temporärer Oberflächenabdeckung: 15% der Niederschlagsmenge
 - mit endgültiger Oberflächenabdichtung: 3% der Niederschlagsmenge über 10 Jahre (Sickerwasserabfluss u.a. aus Konsolidierungsprozessen)

Emissionsspezifische Randbedingungen:

Halbwertszeiten (H) für biologischen Abbau des Kohlenstoffs

- bei anaeroben Abbauprozessen und klimatischer Sickerwasserbildung von
 - 30% der Niederschlagsmenge: $H = 4 \text{ a}$
 - 15% der Niederschlagsmenge: $H = 6 \text{ a}$
 - 3% der Niederschlagsmenge: $H = 10 \text{ a}$
 - 0% (Trockenkonservierung): $H = \text{unendlich}$ (keine Gasproduktion)
- bei Wasserinfiltration: $H = 3 \text{ a}$
- bei aerober in situ Stabilisierung: $H = 2 \text{ a}$

Kostenspezifische Randbedingungen:

- Durch die energetische Deponiegasverwertung kann zeitlich begrenzt und in Abhängigkeit der Gasproduktionsrate (und des Wasserhaushalts) bei der Gasfassung und Behandlung ein Überschuss erzielt werden.
- Die Investitionskosten zur Profilierung, Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung und der endgültigen Oberflächenabdichtung werden jeweils zu gleichen Teilen über einen Zeitraum von 2 Jahren angesetzt.
- Baunebenkosten und Kosten für Infrastrukturmaßnahmen werden mit 50% der Investitionskosten für die jeweilige Abdichtungsmaßnahme (temporär bzw. endgültig) berücksichtigt.
- In Abhängigkeit des Konservierungs- bzw. Stabilisierungsgrades des Abfallkörpers werden die Betriebs- und Unterhaltungskosten angepasst (abnehmende Tendenzen).
- Die Berechnung des Kapitaldienstes für die Investitionen zur Aufbringung der temporären und endgültigen Abdeckungs-/Abdichtungssysteme erfolgt über 30 Jahre.
- Die Restlaufzeit für Kapitaldienstkosten von Investitionen der Betriebsphase wird beim Szenarienvergleich nicht berücksichtigt. Ebenfalls werden Versicherungskosten, die Inflationsrate und Rückbaukosten außer Acht gelassen.
- Die Kostenansätze wurden gemäß Tabelle 3.1 in Kapitel 3.2 gewählt.

Folgende Szenarien werden betrachtet:

- **Szenario A (ohne Basis, OFAD sofort, GW-Erfassung)** – Deponie ohne Basisabdichtung; Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung (Kombinationsdichtung) ab 2006; Erfassung und Indirekteinleitung des verunreinigten Grundwassers sowie Deponiegaserfassung und thermische Gasbehandlung jeweils bis 2012 (Ende: 10 Jahre nach Aufbringung der Kombinationsdichtung aufgrund der Trockenkonservierung des Deponiekörpers)
- **Szenario B (TASi-OFAD sofort)** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2006; anschließend 5 Jahre Sickerwasserfassung und -behandlung sowie Deponiegasfassung und thermische Behandlung (Ende: 10 Jahre nach Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung aufgrund der Trockenkonservierung des Deponiekörpers)
- **Szenario C (SiWa-Behandlung, TASi-OFAD nach 10 a)** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung ab 2006; Sickerwasserfassung und -behandlung bis zur Fertigstellung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2016; Deponiegasverwertung bis zur Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2015 (endgültige Oberflächenabdichtung gemäß DepV/TASi); anschließend 10 Jahre Sickerwasserfassung und -behandlung mit reduziertem technischen Aufwand sowie Deponiegasfassung und thermische Behandlung (Ende: 10 Jahre nach Aufbringung der DepV-/TASi-Dichtung aufgrund der Trockenkonservierung des Deponiekörpers)
- **Szenario D (SiWa-Behandlung, Infiltration und Belüftung)** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung mit integriertem Infiltrationssystem ab 2006; Infiltrationsmaßnahmen über 5 Jahre, Sickerwasserfassung und -behandlung bis zur Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2020; Deponiegasverwertung bis 2 Jahre nach Beendigung der Infiltrationsmaßnahmen; anschließend 7 Jahre Aerobisierung zur beschleunigten Stabilisierung des Deponiekörpers;

Aufbringung der endgültigen standortangepassten Oberflächenabdichtung nach Beendigung der aktiven in situ Stabilisierung; anschließend 10 Jahre Sickerwasserfassung und -behandlung mit reduziertem Aufwand (z.B. in Pflanzenkläranlage); passive Behandlung von Deponiegas mittels Methanoxidation in der Rekultivierungsschicht der standortangepassten Oberflächenabdichtung (*Infiltration bewirkt eine bessere Gasverwertungsleistung und damit höhere Erlöse*)

- **Szenario E (SiWa-Behandlung, Belüftung)** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung ab 2006; Sickerwasserfassung und -behandlung bis zur Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2020; Deponiegasverwertung bis zum Beginn der Aerobisierungsmaßnahmen; 7 Jahre Aerobisierung zur beschleunigten Stabilisierung des Deponiekörpers; Aufbringung der endgültigen standortangepassten Oberflächenabdichtung nach Beendigung der aktiven in situ Stabilisierung; anschließend 10 Jahre Sickerwasserfassung und -behandlung mit reduziertem Aufwand; passive Behandlung von Deponiegas mittels Methanoxidation in der Rekultivierungsschicht der standortangepassten Oberflächenabdichtung (*Aerobisierung bewirkt eine beschleunigte Reduzierung des bioverfügbaren Kohlenstoffgehaltes und damit eine Beschleunigung der Hauptsetzungsphase*)
- **Szenario F (SiWa-Behandlung, Infiltration und Belüftung, TASi-OFAD nach 15 Jahren)** – Deponie mit Basisabdichtung; Aufbringung der temporären Oberflächenabdeckung mit integriertem Infiltrationssystem ab 2006; Infiltrationsmaßnahmen über 5 Jahre, Sickerwasserfassung und -behandlung bis zur Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung 2020; Deponiegasverwertung bis 2 Jahre nach Beendigung der Infiltrationsmaßnahmen; anschließend 7 Jahre Aerobisierung zur beschleunigten Stabilisierung des Deponiekörpers; Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung nach Beendigung der aktiven in situ Stabilisierung; anschließend 5 Jahre Sickerwasserfassung und -behandlung mit reduziertem Aufwand; passive Behandlung von Deponiegas mittels Methan-

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

oxidation in der Rekultivierungsschicht – das Schwachgas wird über bauliche Einrichtung in die Rekultivierungsschicht passiv eingeleitet (*Infiltration bewirkt eine bessere Gasverwertungsleistung und damit höhere Erlöse*)

In Tabelle 6.1 sind die Szenarien zusammengefasst dargestellt.

Tab. 6.1: Szenarien A – F für Kombinationen unterschiedlicher Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen

Maßnahme	Szenario A	Szenario B	Szenario C	Szenario D	Szenario E	Szenario F
Basisabdichtung	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Grundwassersanierung	bis 2012	nein	nein	nein	nein	nein
Temporäre Abdeckung	nein	nein	ab 2006	ab 2006	ab 2006	ab 2006
Oberflächenabdichtung	ab 2006	ab 2006	ab 2015	ab 2020	ab 2020	ab 2020
Deponiegaserfassung	bis 2012	bis 2016	bis 2025	bis 2012	bis 2012	bis 2012
Sickerwasserfassung	nein	bis 2016	bis 2025	bis 2030	bis 2030	bis 2025
Infiltration	nein	nein	nein	2006 - 2010	nein	2006 - 2010
Belüftung	nein	nein	nein	2013 - 2019	2013 - 2019	2013 - 2019

6.2 Ergebnisse zum Vergleich des Emissionsverhaltens

Zum Vergleich des Emissionsverhaltens werden zum einen die Reduzierung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen betrachtet, zum anderen die Reduzierung des mobilisierbaren Stickstoffanteils. Beides wird maßgeblich von den gewählten Stilllegungsmaßnahmen und dem resultierenden Wasserhaushalt im Deponiekörper bestimmt.

Reduzierung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen

In Abbildung 6.1 ist die Abnahme des biologisch verfügbaren Kohlenstoffs im Deponiekörper in Abhängigkeit der gewählten Stilllegungsmaßnahmen dargestellt. Neben dem Ausgangspotenzial von 50.000 Mg Kohlenstoff im Jahr 2005 sind die noch vorhandenen Kohlenstoffpotenziale der Szenarien A – F im Jahr 2020 dargestellt, nachdem in allen Fällen die endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht wurde.

Bei sofortiger Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung (Szenario A und B) kommen die biologischen Abbauprozesse aufgrund eines allmählichen Wassermangels und Austrocknungsprozesses voraussichtlich zum Erliegen, so dass nur etwa 40% des Kohlenstoffpotenzials reduziert werden. Dieser Kohlenstoffabbau und -austrag ist jedoch nur zu erwarten, wenn der Wassergehalt im Deponiekörper zum Zeitpunkt der Aufbringung der Oberflächenabdichtung ausreichend hoch ist.

Eine temporäre Abdeckung erlaubt noch einen reduzierten Wassereintrag in den Deponiekörper, so dass die anaeroben Abbauprozesse länger andauern und bis zu 80% des biologisch verfügbaren Kohlenstoffpotenzials umgesetzt werden können (Szenario C). Die Stabilisierungsmaßnahmen der Infiltration und der Belüftung führen nochmals zu einer deutlich Reduzierung des Kohlenstoffs, da sie zu einem beschleunigten biologischen Abbau beitragen, so dass bei den gewählten Annahmen mehr als 95% des bioverfügbaren Kohlenstoffs kontrolliert abgebaut werden (Szenario D - F).

Während bei bisherigen Infiltrationsmaßnahmen die Auswirkungen auf die biologischen Abbauprozesse unterschiedlich sind und nicht in allen Fällen mit ausreichenden Monitoringmaßnahmen erfasst wurden, können die beschleunigten

nigten Kohlenstoffreduzierungen infolge der aeroben in situ Stabilisierung eindeutig belegt werden (siehe u.a. Kap. 4.3).

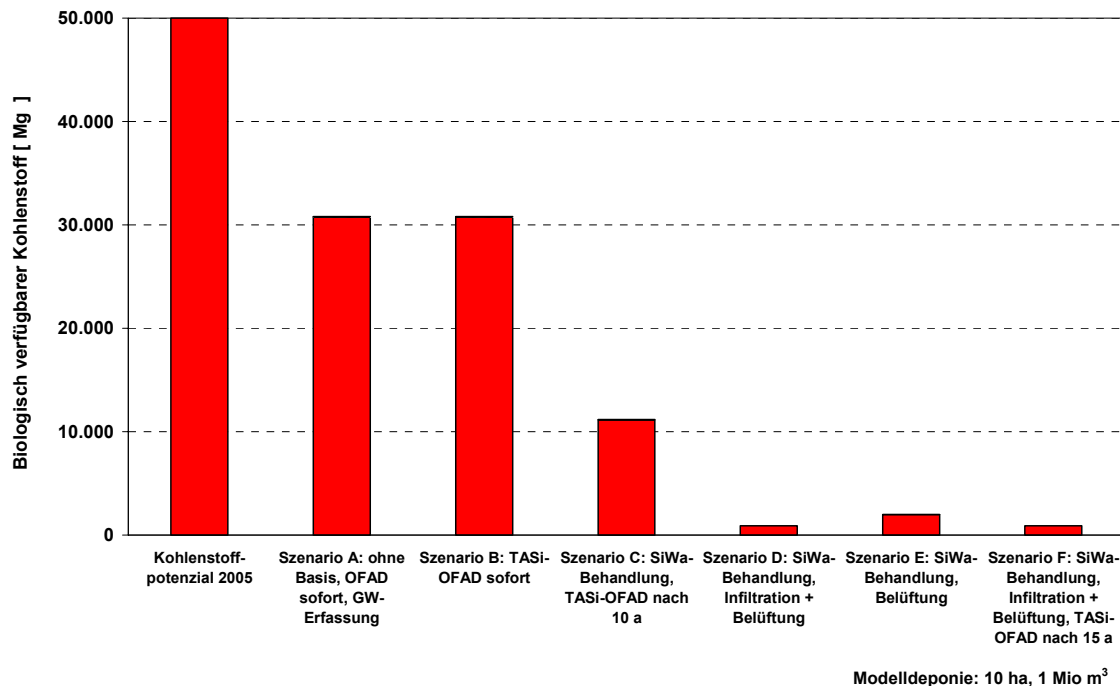


Abb. 6.1: Kohlenstoffpotenzial im Jahr 2005 und Kohlenstoffreduzierung bis 2020 in Abhängigkeit unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen, Szenarienvergleich anhand einer Modelldeponie

Reduzierung des Stickstoffpotenzials im Deponiekörper unter anaeroben und aeroben Milieubedingungen

In Abbildung 6.2 sind neben dem Ausgangspotenzial von 3.000 Mg Stickstoff im Jahr 2005 wiederum die noch vorhandenen Stickstoffpotenziale der Szenarien A – F im Jahr 2020 dargestellt, nachdem in allen Fällen die endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht wurde und der Stoffaustrag über den Wasserpfad nahezu zum Erliegen kommt.

Bei sofortiger Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung (Szenario A und B) wird das Stickstoffpotenzial, was unter anaeroben Milieubedingungen ausschließlich über den Wasserpfad freigesetzt werden kann, nur noch sehr geringfügig ($< 5\%$) reduziert. Das Wasser-/Feststoffverhältnis W/F als Verhältnis des klimatisch gebildeten Sickerwassers in Bezug zum durchströmten Abfallvolumen, liegt bei den Szenarien A und B unter $0,03 \text{ l/kgTS}$.

Eine temporäre Abdeckung erlaubt noch einen reduzierten Wassereintrag in den Deponiekörper, so dass der Stoffaustrag über den Wasserpfad länger andauern und ggf. bis zu 15% des mobilisierbaren Stickstoffs ausgetragen werden können (Szenario C). Das Wasser-/Feststoffverhältnis von 2005 – 2020 beträgt bei Szenario C etwa $0,1 \text{ l/kgTS}$.

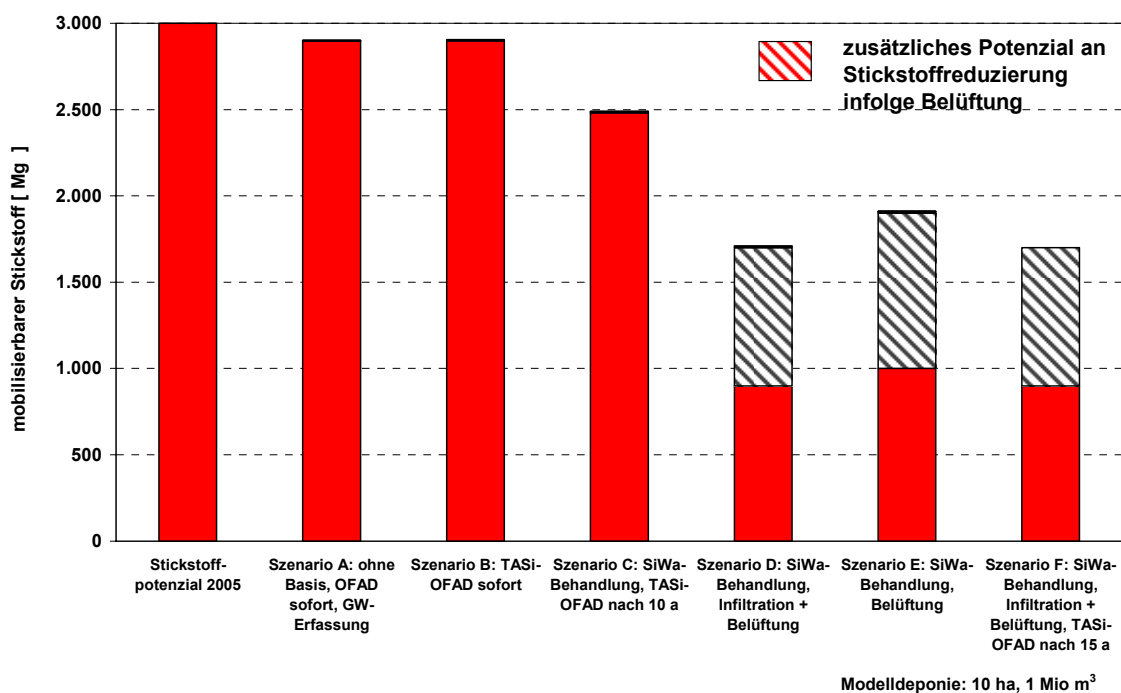


Abb. 6.2: Stickstoffpotenzial im Jahr 2005 und Stickstoffreduzierung bis 2020 in Abhängigkeit unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen, Szenarienvergleich anhand einer Modelldeponie

Die Stabilisierungsmaßnahmen der Infiltration und der Belüftung führen auch bei der Stickstoffmobilisierung zu einer weiteren Reduzierung des im Deponiekörper befindlichen Stickstoffpotenzials, das ansonsten noch langfristig freigesetzt werden könnte. Durch die Infiltration kann der Wasserdurchsatz nochmals etwas gesteigert werden, so dass das Wasser-/Feststoffverhältnis von 2005 – 2020 bei Szenario D und F etwa 0,15 l/kgTS beträgt. Entscheidender ist allerdings, dass bei der Belüftung Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgänge im Deponiekörper intensiviert werden, so dass die Stickstoffreduzierung nicht mehr allein über den Wasserpfad, sondern auch durch biologische Stoffumwandlungsprozesse und zum Teil durch einen Austrag über den Gaspfad erfolgt. In Kapitel 4 wurden die möglichen Konsequenzen hinsichtlich der beschleunigten Abnahme der Sickerwasserbelastungen und der Reduzierung der Nachsorgezeiträume aufgezeigt. Es liegen dazu allerdings noch keine abgesicherten Erfahrungen von Stabilisierungsmaßnahmen an größeren Deponien vor. Die bisherigen Ergebnisse auf herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien und Altablagerungen sowie weiterführende Laboruntersuchungen weisen darauf hin, dass die zusätzliche Reduzierung des mobilisierbaren Stickstoffpotenzials bei der Belüftung je nach den Randbedingungen zwischen 15% und 75% betragen kann. Für den Szenarienvergleich wurde eine Reduktionsrate infolge der Belüftung von 20% als konservative Abschätzung gewählt. Zudem wurde in Abbildung 6.2 für die Szenarien D – F ein möglicher zusätzlicher Stickstoffaustrag infolge der Belüftung auf bis zu 60% des mobilisierbaren Stickstoffpotenzials eingetragen.

Erwartungsgemäß können die Stickstofffrachten, deren Mobilisierung überwiegend den chemisch-physikalischen Prozessen und dem korrespondierenden Wasserhaushalt im Deponiekörper unterliegt, in der Stilllegungsphase nicht in dem gleichen Maße reduziert werden wie die Kohlenstofffracht, die hauptsächlich von den biologischen Abbauprozessen bestimmt wird. Gleichwohl zeigt der Szenarienvergleich, da mit Maßnahmen zur Beeinflussung des Deponieverhal-

tens aller Voraussicht nach noch nennenswerte Reduzierungen der mobilisierbaren Stickstoffverbindungen erreicht werden können.

6.3 Ergebnisse zum Vergleich der Stilllegungs- und Nachsorgekosten

Mit den Kostenblöcken gemäß Tab. 3.1 können unter Berücksichtigung der zeitlich gestaffelten Umsetzung entsprechender Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen unterschiedliche Konzepte und Szenarien betrachtet werden. Als Zeithorizonte zur Nachsorgekostenberechnung werden zum einen eine Minstdauer von 30 Jahren und zum anderen „emissionsrelevante“ Nachsorgezeiträume von 100 Jahren gewählt.

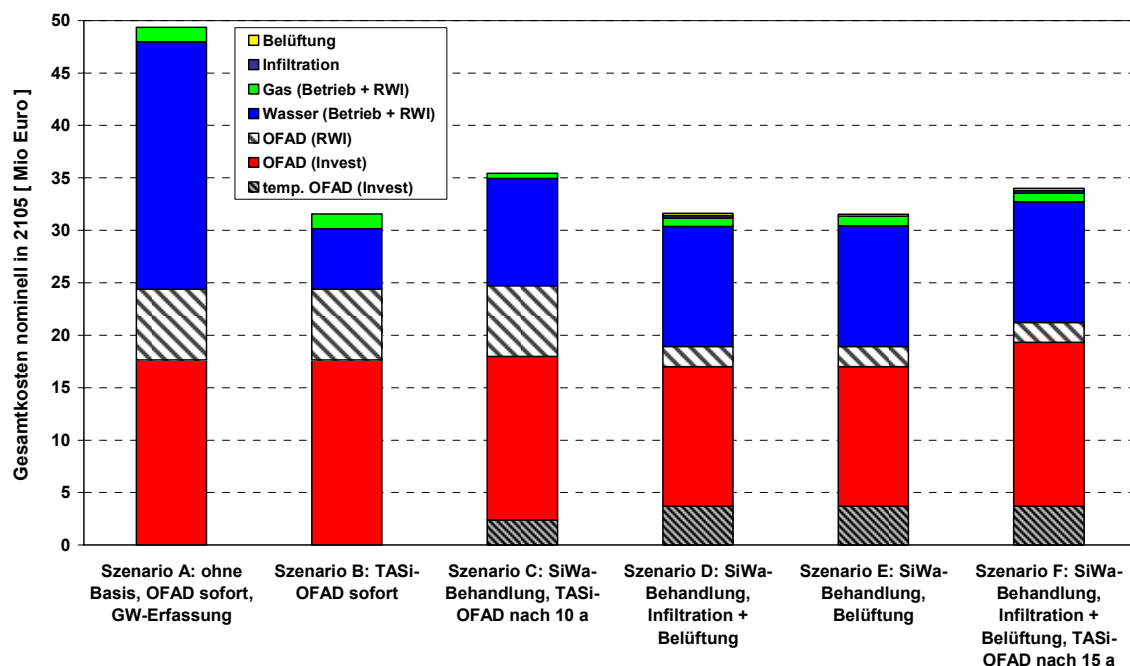
Die Abbildungen 6.3 und 6.4 zeigen für die Szenarien A-F den Gesamtkostenvergleich und den Verlauf der kumulierten Nachsorgekosten über einen Zeitraum von bis zu 100 Jahren nach Beginn der Stilllegungsphase 2005. Dabei erfolgt der Szenarienvergleich der Nachsorgekosten auf der Grundlage der Nominalwertmethode. In Tabelle 6.2 sind die Szenarien unter Berücksichtigung einer Kapitalisierung der Rückstellungen nach der Barwertmethode gegenübergestellt.

Es werden folgende Kostenblöcke unterschieden:

- Oberflächenabdichtung OFAD (Invest): Investitionskosten für Profilierung und Aufbringung des Dichtungssystems inkl. Baunebenkosten als Kapitaldienst
- Oberflächenabdichtung OFAD (RWI): Kosten für die Funktionskontrolle der Dichtwirkung der Oberflächenabdichtung inkl. Reparatur, Wartung und Instandsetzung (RWI)

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

- Wasser (Betrieb + RWI): Kosten für die Fassung und Behandlung des Sickerwassers (bzw. des Grundwassers für das Szenario A) sowie der RWI-Maßnahmen für das Wasserfassungs- und Behandlungssystem
- Gas (Betrieb + RWI): Kosten für die Fassung und Behandlung des Deponiegases sowie der RWI-Maßnahmen für das Gasfassungs- und Behandlungssystem
- Infiltration: Kapitaldienst für das Infiltrationssystem und Betriebskosten für die Durchführung der Infiltrationsmaßnahmen
- Belüftung: Kapitaldienst für das Belüftungssystem und Betriebskosten für die Durchführung der Belüftungsmaßnahmen (im Wesentlichen Energiekosten)



10 ha, 1 Mio m³: mit RWI, Kapitaldienst und Infiltrationsrate

Abb. 6.3: Stilllegungs- und Nachsorgekosten in Abhängigkeit verschiedener Stilllegungsmaßnahmen (RWI: Unterhaltungskosten für Reparatur/ Wartung/ Instandsetzung; Nominalkostenvergleich)

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Bei den Szenarien D-F werden in den Kostenblöcken für die Belüftungs- und/oder Infiltrationsmaßnahmen die damit verbundenen, zeitlich begrenzten Folgekosten für die Gasbehandlung und Sickerwasserreinigung den Kostenblöcken „Gas (Betrieb + RWI)“ bzw. „Wasser (Betrieb + RWI)“ zugeordnet. Ferner wird davon ausgegangen, dass die vorhandene Infrastruktur zur Gas- und Sickerwasserfassung im Rahmen der Belüftungs- und/oder Infiltrationsmaßnahmen genutzt werden kann. Kosten für ergänzende bauliche Maßnahmen wie z.B. zusätzliche Belüftungsbrunnen und -leitungen oder Umrüstungsmaßnahmen von Gassammel- zu Gasverteilerstationen wurden berücksichtigt.

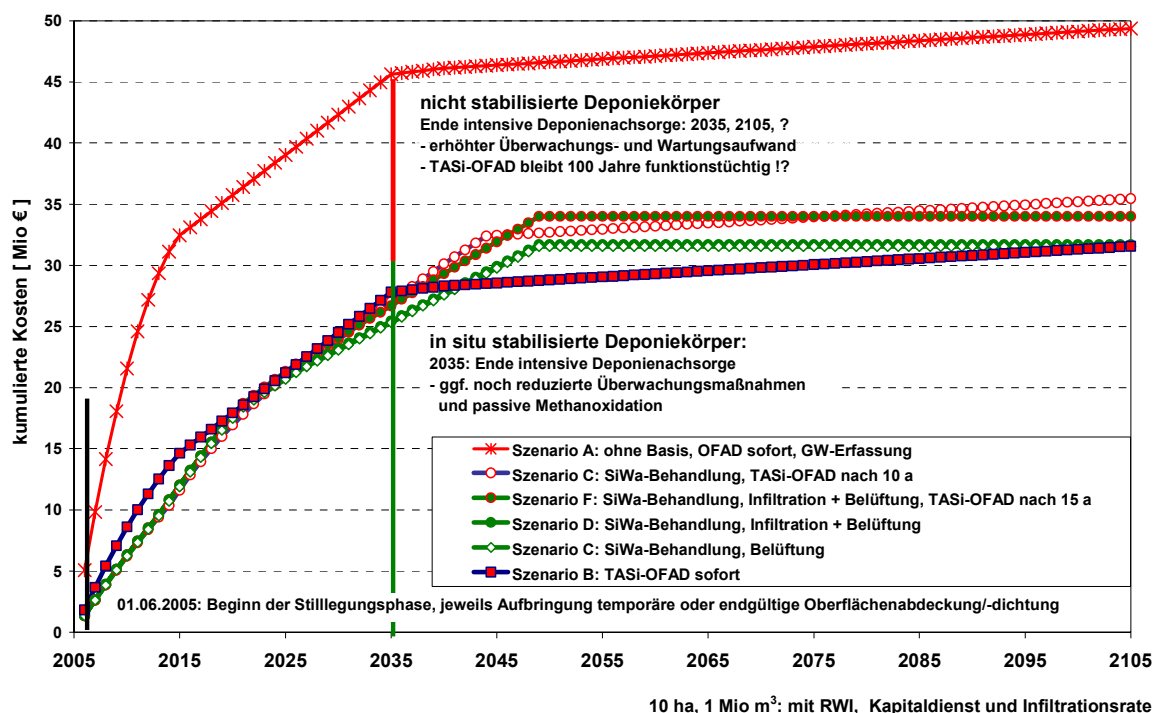


Abb. 6.4: Kumulierte Nachsorgekosten in Abhängigkeit verschiedener Stilllegungsmaßnahmen zur Beeinflussung des Deponieverhaltens (Nominalkostenvergleich)

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Tab. 6.2: Vergleich der erforderlichen Rückstellungen im Jahr 2005 für Szenarien A-F auf der Grundlage der Barwertmethode (Zinssatz abzüglich Inflationsrate: 3%)

Szenario	für 30 Jahre Nachsorge [Mio. €]	für 100 Jahre Nachsorge [Mio. €]
A – ohne Basis, TASI-OFAD sofort	36,92	37,64
B – TASI-OFAD sofort	20,57	21,29
C – SiWa-Behandlung, TASI-OFAD nach 10 a	19,39	21,82
D – SiWa-Behandlung, Infiltration + Belüftung	18,72	20,86
E – SiWa-Behandlung, Belüftung	18,63	20,76
F – SiWa-Behandlung, Infiltration + Belüftung, TASI-OFAD	19,43	21,93

Wie der Kostenvergleich zeigt, liegen die erforderlichen Nachsorgekosten bzw. die notwendigen Rückstellungen, die bis zum Ende der Ablagerungsphase gebildet werden müssen, für die Szenarien B-F in einer ähnlichen Größenordnung. Es fallen für die Durchführung aktiver, das Emissionspotenzial mindernde Maßnahmen zur Belüftung und/oder Infiltration zwar geringfügige zusätzliche Kosten an, diese werden jedoch durch Kosteneinsparungen nach Abschluss entsprechender Maßnahmen kompensiert. Nachfolgend werden die Szenarien mit und ohne Stabilisierungsmaßnahmen hinsichtlich der Folgekosten und des Langzeitverhaltens gesondert betrachtet.

Für die Szenarien A-C (ohne in situ Stabilisierung) sind aufgrund des verbleibenden Emissions- und Setzungspotenzials folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Der Zeitpunkt der Beendigung der intensiven Deponienachsorge ist fraglich: 30 Jahre oder 100 Jahre nach Beginn der Stilllegung oder sogar noch deutlich später.
- Auch 30 Jahre nach Beginn der Stilllegung kann noch ein erhöhter Überwachungs- und Wartungsaufwand erforderlich sein im Vergleich zu den Szenarien D-F.

Anmerkung: Entsprechende Kosten sind bei obigem Szenarienvergleich im RWI-Kostenblock für die Oberflächenabdichtung berücksichtigt.

- Beim Versagen des Dichtungssystems (technisches Bauwerk) können eine erneute Erfassung und Behandlung von Emissionen oder zusätzliche Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden. Es besteht folglich ein größeres finanzielles Risiko in der Nachsorge.

Anmerkung: Entsprechende Kosten sind bei obigem Szenarienvergleich nicht berücksichtigt, da weder die Eintrittswahrscheinlichkeit noch der Umfang entsprechender Maßnahmen prognostiziert und monetär bewertet werden kann.

Für die Szenarien D-F (Oberflächenabdichtung ab 2020 nach Abschluss der in situ Stabilisierung) ist aufgrund des stabilisierten, mithin emissions- und setzungsarmen Abfallkörpers

- das Ende der intensiven Deponienachsorge 30 Jahre nach Beginn der Stilllegung sehr viel wahrscheinlicher,
- früher eine reduzierte Deponienachsorge mit einem geringen Überwachungsaufwand und Maßnahmen zur passiven Methanoxidation oder einfacheren Sickerwasserreinigung bzw. Direkteinleitung möglich,
- die Aufbringung eines standortangepassten Dichtungssystems möglich, was für die Szenarien D und E berücksichtigt wurde.

Die quantitativen Nachsorge- und qualitativen Folgekostenbetrachtungen zeigen, dass die Alternativkonzepte im Vergleich zum „DepV-Modell“ eine ökonomisch gleichwertige und unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit bzw. des

Langzeitverhaltens sogar eine bessere Lösung darstellen. Selbst bei der Betrachtung eines Nachsorgezeitraums von 30 Jahren bleibt der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz für die Alternativkonzepte gewahrt. Die Alternativkonzepte weisen hinsichtlich einer Langzeitbetrachtung von 100 und mehr Jahren insgesamt wirtschaftliche Vorteile auf im Vergleich zum „DepV-Modell“, da durch die aktive, beschleunigte Reduzierung des Emissionspotenzials wirtschaftliche Risiken und Folgekosten abschätzbar sowie minimiert werden.

Grundsätzlich muss die Bewertung der in Frage kommenden Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen unter Berücksichtigung der standortbezogenen Randbedingungen und Erfordernisse sowie der Verfügbarkeit der gebildeten Rücklagen erfolgen.

6.4 Zusammenfassender Vergleich zwischen „DepV-Modell“ und Alternativkonzepten

Das Stilllegungs- und Nachsorgemodell der DepV schöpft wie erläutert nicht alle Möglichkeiten zur Reduktion des Schadstoffpotenzials der abgelagerten Abfälle aus. Es stellt zwar i.V.m. der AbfAbIV hohe Anforderungen an die Qualität der abzulagernden Abfälle und an den Einbau. Weitergehende Maßnahmen zur Stabilisierung der Abfälle (Infiltration, Belüftung) gerade bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien sind zwar mit Einschränkungen möglich, sie werden zur bestmöglichen Reduktion des Schadstoffpotenzials jedoch nicht gefordert.

Stattdessen stellt die DepV hohe Anforderungen an die Funktionsfähigkeit der Dichtelemente, insbesondere an Basisabdichtung und Oberflächenabdichtung.

Da mit der Kapselung der Deponie die biologischen Abbauprozesse weitgehend zum Erliegen kommen, reduziert sich das Emissionspotenzial der Abfälle auch

in der Folgezeit nicht. Sofern die Kapselung nicht dauerhaft und vollständig gelingt, entstehen Restemissionen zu einem Zeitpunkt und in einer Größenordnung, die nicht prognostizierbar sind.

Entsprechend langfristig muss die Funktionsfähigkeit der Dichtelemente erhalten werden. Es müssen also für einen sehr langen Zeitraum die Dichtwirkung kontrolliert und Schäden repariert werden. Soweit Restsickerwasser austritt, ist dieses – ggf. auch noch nach Jahrhunderten – relativ hoch belastet und bedarf ggf. einer entsprechenden Fassung und Reinigung. § 12 Abs. 6 DepV gibt zwar der zuständigen Abfallbehörde die Befugnis, bei Deponien der Klasse 0, III oder IV von der Sammlung und Behandlung von Sickerwasser abzusehen, wenn dies aufgrund einer Bewertung der Umweltrisiken nicht erforderlich erscheint. Diese Regelung vermag aber insbesondere für herkömmliche Siedlungsabfalldeponien der Klasse II das Problem nicht zu lösen, dass für anfallendes Sickerwasser regelmäßig eine wasserrechtliche Einleitgenehmigung erforderlich ist oder die Bedingungen für die indirekte Einleitung erfüllt sein müssen (vgl. § 13 Abs. 5 Nr. 8 DepV sowie oben, 5.4.2.2).

Gerade bei Deponien mit Basisabdichtung und einer entsprechend hohen Wirksamkeit der Dichtelemente wird der Nachsorgezeitraum damit unabsehbar.

Das Alternativmodell ist unter Verwendung von Stabilisierungsverfahren in der Lage,

- das Schadstoffpotenzial rascher zu reduzieren,
- binnen kürzerer Zeiträume Anforderungswerte für Sickerwasser auch bei Ablagerungen nicht vorbehandelter Abfälle zu erreichen.

Das DepV-Modell vermag nach den fachlichen Erkenntnissen und der vergleichenden Betrachtung die allgemeinen Anforderungen an ein Nachsorgekonzept nicht zu erfüllen. Bei typischen Siedlungsabfalldeponien gewährleistet es nicht, dass der Betreiber binnen eines überschaubaren Zeitraums (hierfür kann man

je nach Deponietyp von einem Zeitraum zwischen ca. 10 - 50 Jahren ausgehen) und zu angemessenen Kosten aus der Nachsorge entlassen werden kann.

Gründe hierfür sind:

- Das DepV-Modell stützt sich vornehmlich auf die Unterbindung (zumindest) Minimierung auch geringfügiger Sickerwasseraustritte (ggf. Fassung und Reinigung).
- Es erfordert die langfristige Kontrolle/ggf. Reparatur der Dichtelemente.
- Es erfordert die langfristige Unterhaltung/Vorhaltung der o.g. Einrichtungen.
- Infolge der „Konservierung“ müssen die o.g. Funktionen über einen sehr langen Zeitraum erfüllt und vorgehalten werden. Der Nachsorgezeitraum wird (in vielen Fällen) unüberschaubar.

7 Leitsätze für die Entwicklung der quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge

Aus den vorstehenden Überlegungen ergibt sich: Es wäre nicht zielführend, die quantitativen Kriterien allein auf Grundlage des Stilllegungs- und Nachsorgemodells der DepV und aus den Anforderungen der verschiedenen Regelwerke des Wasserrechts (Einleitgrenzwerte für Sickerwasser nach AbwV, Auslöseschwellen für Grundwasser) abzuleiten. Auf Grundlage des DepV-Modells wären solche Kriterien in vielen Fällen nicht binnen überschaubarer Zeiträume zu erfüllen.

Als Ausgangsbasis für quantitative Kriterien soll vielmehr ein flexibles Maßnahmenkonzept dienen, das Anforderungen an die abzulagernden Abfälle und das Emissionsverhalten, die Möglichkeit zur Anwendung von Stabilisierungsverfahren (Belüftung und/oder Infiltration) und zur Aufbringung einer qualifizierten Oberflächenabdichtung, die von den Regelanforderungen der DepV abweichen kann, einschließt.

Ein solches Konzept bleibt in seiner Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Restemissionen nicht oder zumindest nicht wesentlich hinter dem DepV-Modell zurück. Es weist aber den großen Vorteil auf, dass das Emissionspotenzial wesentlich rascher und kontrollierter reduziert wird und deshalb deutlich früher Nachsorgefreiheit erlangt werden kann.

Hierbei wird von folgenden Grundsätzen ausgegangen:

- Strenge Einleitgrenzwerte für Konzentrationen im Deponiesickerwasser (Direkt- oder Indirekteinleitung) sind ohne Berücksichtigung der Frachten aus ökologischer Sicht und unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit nicht sachgerecht, wenn sie zu einem unabsehbaren Nachsorgezeitraum ($>> 30 - 50$ Jahre) führen. Gleiches gilt für Konzentrationsschwellenwerte für Grundwasserbelastungen.

- Deshalb sollten die Konzentrationsschwellenwerte unter Berücksichtigung der Schutzgutsituation so festgelegt werden, dass sie bei typischen Siedlungsabfalldéponien binnen eines Nachsorgezeitraums von 10 - 50 Jahren ohne weitere Behandlung des Sickerwassers nach dem Stand der Technik (Ablagerungskriterien, Stabilisierungsverfahren) erreichbar sind.
- Diese Konzentrationswerte sollen durch Frachtwerte ergänzt werden, die das Maß der Gewässerbelastung begrenzen (für Direkt- und Indirekt-einleitung in Oberflächengewässer und für Stoffeinträge in das Grundwasser).
- Bei der Festlegung der Frachtwerte sollten die Umstände des Einzelfalls berücksichtigt werden, insbesondere
 - standörtliche oder technische Merkmale (z.B. mit/ohne Basisabdichtung), Déponieinventar
 - geltende rechtliche Anforderungen an die Déponie (z.B. Stilllegung nach dem aktuellen Stand der Technik oder Altdéponie nach § 14 DepV, spezifische Zulassungsbedingungen)
 - Verhältnismäßigkeit (vgl. insbesondere 5.6.3)

Auch bei den gasförmigen Emissionen sollten die emittierbaren Frachten bei der Entwicklung quantitativer Kriterien berücksichtigt werden.

Die folgenden Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Déponienachsorge basieren auf diesen Leitsätzen, den dargestellten fachlichen Grundlagen sowie auf den rechtlichen Betrachtungen zur Erforderlichkeit und Verhältnismäßigkeit der Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen.

8 Vorschläge für quantitative Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge

8.1 Struktur der Nachsorgekriterien

Nachsorgekriterien können vor dem Hintergrund des § 13, Abs. 5 DepV aus einer Kombination genereller Anforderungen, die standortbezogen anzupassen und nachzuweisen sind, bestehen. Zur Beendigung der Deponienachsorge können Kriterien für

- das Emissionsverhalten,
 - die technischen Barrieren und Untergrundbedingungen,
 - die zulässigen Immissionen
- entwickelt werden.

8.1.1 Generelle Vorgaben, Abfallkörper und Emissionsverhalten

Bezüglich des Emissionsverhaltens ist zu unterscheiden zwischen:

- dem aktuellen Emissionsverhalten
- potenziellen zukünftigen Emissionen, d.h. dem noch verbliebenen mobilisierbaren Stoffpotenzial (das nach Abschluss der Nachsorge unkontrolliert mobilisiert und ausgetragen werden kann)

Nachsorgekriterien zum aktuellen und zukünftigen **Emissions- und Deponieverhalten** werden vorgeschlagen für:

- Sickerwasser
- Deponiegas
- Abfallfeststoff (Probenahme aus Deponiekörper mit Untersuchungen gemäß AbfAbIV)
- Setzungen

8.1.2 Standortspezifische Randbedingungen

Standortspezifische Randbedingungen und Vorgaben zum Stofftransport und den Immissionen umfassen:

- technische Randbedingungen, wobei sich die Betriebsabschnitte größerer Deponien in ihrer Ausstattung altersbedingt oft unterscheiden
- die Schutzgutsituation, welche die zulässigen Restemissionen, Konzentrationen und Frachten, mitbestimmt. Z.B. Abstand der Deponiesohle zum Grundwasserleiter, Vorbelastung und Schutzwürdigkeit des Grundwasserleiters

Nachsorgekriterien für **technische Randbedingungen**, die hauptsächlich der Emissionserfassung und Verhinderung des unkontrollierten Stofftransports dienen, beurteilen den Zustand:

- der Basisabdichtung (in Einzelfällen vertikale Dichtwände)
- der Sickerwasserdrainage und -ableitung
- des Gaserfassungssystems und ggf. die Umrüstung auf Passiventgasung und passive Gasbehandlung
- der Oberflächenabdichtung
- des Deponiekörpers hinsichtlich geomechanischer Stabilität bzw. Stand-sicherheit
- der Infrastruktur, des Rückbaus entbehrlicher Anlagen zur Einpassung in das Landschaftsbild bzw. zur Folgenutzung

Nachsorgekriterien hinsichtlich der **Schutzgutsituation** und der **Immissionen** sind zu entwickeln für:

- eine akzeptable bzw. zulässige Belastung des Grundwassers durch Stoffeinträge aus dem Deponiekörper, z.B. orientiert an Maßnahmenschwellenwerten bzw. Auslöseschwellen gemäß DepV oder Geringfügigkeitsschwellenwerten gemäß BBodSchV (u.a. standortspezifische Berücksichtigung

der Lage der Deponie zu Trinkwasser- oder Heilquellen-Schutzgebieten, wasserwirtschaftlichen Nutzungen und ökologischen Schutzgebieten)

- eine zulässige Belastung von Oberflächengewässern, wobei die Anforderungswerte des 51. Anhangs der Abwasserverordnung orientierend herangezogen und ergänzt werden können
- eine zulässige Belastung der Atmosphäre mit gasförmigen Emissionen, die u.a. zum Treibhauseffekt beitragen
- die Vermeidung von unmittelbaren Gefährdungen des Deponieumfeldes, z.B. Explosions- und Gesundheitsgefahren oder die Schädigung von Pflanzen durch migrierendes Deponiegas

8.2 Vorschläge für quantitative Nachsorgekriterien zum Emissionsverhalten

8.2.1 Sickerwasser

Kriterium zur Begrenzung der Emissionsquelle (Deponiekörper)

Der Wasserhaushalt bestimmt maßgeblich die Sickerwassermenge und –beschaffenheit. Konzentration und Fracht in Abhängigkeit des Sickerwasseranfalls kennzeichnen das aktuelle Emissionsverhalten und erlauben Rückschlüsse auf das noch vorhandene mobilisierbare Stoffpotenzial. Unter „Fracht“ wird der Massenstrom als Produkt von Konzentration und Sickerwasseranfall pro Hektar Ablagerungsfläche verstanden.

Kriterium zur Begrenzung der Immissionen (Schutzgut Oberflächengewässer, Grundwasser)

Auslöseschwellen Grundwasser: Für das Grundwasser im Umfeld von Deponien sind Auslöseschwellen nach §§ 2, 9 und 25 DepV festzulegen. Sie sollen die jeweiligen hydrologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten am Deponiestandort berücksichtigen. Zur Festlegung sind gemäß DepV ferner die

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zu berücksichtigen.

Der Mindestumfang der Parameter für die Auslöseschwellen umfasst die in Tabelle 8.1 aufgeführten Parameter, die z.T. auf LAWA-Empfehlungen (LAWA, 2004) beruhen und in den Bundesländern per Erlass oder Arbeitshilfe eingeführt wurden (z.B. Leitfaden Abfallwirtschaftsfakten 9, Niedersachsen, 2004 oder Arbeitshilfe Nr. 3.6/1, Bayern 2005). Die Auslöseschwellen ergeben sich als Differenzwerte der Zustrom- zu den Abstromkonzentrationen.

Tab. 8.1: Relevante Leitparameter für das Erkennen deponiebürtiger Beeinflussungen, Differenzwerte zur Festlegung der Auslöseschwellen (Leitfaden Abfallwirtschaftsfakten 9, Niedersachsen, 2004)

Parameter	Einheit	Mindeständerung im Vergleich zum Anstrom, Differenzwert
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
Sulfat	mg/l	± 30
Nitrat	mg/l	± 10
DOC bzw. TOC	mg/l	+ 4
AOX	µg/l	+ 20
Bor	mg/l	+ 0,1

Als Leitparameter für Deponiesickerwasser werden gewählt:

- CSB: Summenparameter organischer Inhaltsstoffe über den chemischen Sauerstoffbedarf
- N_{ges.}: Summenparameter stickstoffhaltiger Inhaltsstoffe (Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff, organisch gebundener Stickstoff, wobei im Sickerwasser ca. 90% des Stickstoffs als Ammoniumstickstoff vorliegt)
- Cl: Chlorid als Vertreter der anorganischen Salzbildner
- AOX: halogenierte organische Kohlenwasserstoffverbindungen

Die Leitparameter können auf die Basisparameter der Auslöseschwellen und die Eluatparameter des Anhangs 2 der AbfAbIV ausgeweitet werden.

Für die vier Leitparameter werden folgende Szenarien zum Sickerwasser-austrag in Hinblick auf die Entlassung aus der Nachsorge betrachtet:

- Direkteinleitung in Oberflächengewässer
- Indirekteinleitung
- Versickerung in den Untergrund

CSB:

- **Bei Direkteinleitung in Oberflächengewässer:**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: CSB 200 mg/l maximale Konzentration, es besteht keine Frachtenbegrenzung. Ggf. ist keine Entlassung aus der Nachsorge möglich, sofern ein langfristiger Unterhaltungsaufwand für Sickerwasserableitung bestehen bleibt.

Vorschlag: Der Konzentrationswert von 200 mg/l kann wie in Kap. 4.3 erläutert sehr lange Nachsorgezeiträume nach sich ziehen, obwohl die emittierte Fracht aufgrund eines geringen Sickerwasseranfalls bereits sehr gering sein kann. Es wird daher vorgeschlagen zu prüfen, ob standort-bezogen bzw. im Einzelfall eine zulässige Fracht für die Direkteinleitung von 50-200 kgCSB/ha*a festgelegt werden könnte. So könnte bei gerin-

gem Sickerwasseranfall eine Direkteinleitung erfolgen, auch wenn der Anforderungswert des 51. Anhangs noch überschritten wird.

- **Bei Indirekteinleitung:**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: bei Einleitung in Kanalisation CSB 400 mg/l maximale Konzentration, es besteht keine Frachtenbegrenzung. Bei Indirekteinleitung ist keine vollständige Entlassung aus der Nachsorge möglich, da ein Unterhaltungsaufwand für die Sickerwasserableitung bestehen bleibt.

Vorschlag: wie bei der Direkteinleitung wird vorgeschlagen zu prüfen, ob standortbezogen bzw. im Einzelfall eine zulässige Fracht für die Indirekteinleitung festgelegt werden könnte. Auch in diesem Fall könnte bei geringem Sickerwasseranfall bereits eine Indirekteinleitung erfolgen, wenn der Anforderungswert des 51. Anhangs noch überschritten wird.

- **Bei Versickerung in den Untergrund:**

- **Vorschlag zur Begrenzung der Emissionen (Deponiekörper):** z.B. 50-200 kg CSB/ha*a maximale Fracht in den Untergrund (und Grundwasserleiter), das entspricht z.B. 50-200 mg/l maximale Sickerwasserkonzentration bei 100 mm/a klimatischer Sickerwasserbildung.²⁵
- **Derzeitige Begrenzung der Immissionen (Grundwasser):** Die Auslöseschwelle im Grundwasserabstrom darf nicht überschritten werden. Differenzwert zum Zustrom ca. CSB = 12 mg/l, abgeleitet aus Differenzwert für DOC von 4 mg/l und Verhältniswert CSB : DOC von 3 : 1 (NLÖ, 2004).

²⁵ Annahme zum Wasserhaushalt: Eine (klimatische) Sickerwasserbildung an der Deponiebasis von 100 mm/a (ca. 10 – 20% des Niederschlags) ist möglich. Diese Annahme impliziert, dass eine gering durchlässige Oberflächenabdichtung aufgebracht wurde oder dass in der Nachsorge eine dichte Oberflächenabdichtung durch äußere oder setzungsbedingte Einwirkungen ihre Funktion teilweise einbüßt.

$N_{\text{ges.}}$:

- **Bei Direkteinleitung in Oberflächengewässer:**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: $N_{\text{ges.}}$ 70 mg/l maximale Konzentration, es besteht keine Frachtenbegrenzung. Ggf. ist keine Entlassung aus der Nachsorge möglich, sofern ein langfristiger Unterhaltungsaufwand für Sickerwasserableitung bestehen bleibt.

Vorschlag: Der Konzentrationswert von 70 mg/l für den gesamten Stickstoff kann wie in Kap. 4.3 erläutert die Dauer der Nachsorge maßgeblich bestimmen und folglich sehr lange Nachsorgezeiträume nach sich ziehen. Auch hier wäre zu prüfen, ob die emittierte Fracht aufgrund eines geringen Sickerwasseranfalls bereits sehr gering ist und ob standortbezogen bzw. im Einzelfall eine zulässige Fracht für die Direkteinleitung von 25-100 kg $N_{\text{ges.}}$ /ha*a festgelegt werden könnte. So könnte bei geringem Sickerwasseranfall ebenfalls eine Direkteinleitung erfolgen, auch wenn der Anforderungswert des 51. Anhangs noch überschritten wird.

- **Bei Indirekteinleitung:**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: bei einer Einleitung in die Kanalisation kann $N_{\text{ges.}}$ ggf. über 70 mg/l als maximaler Konzentration liegen. Es besteht keine unmittelbare Frachtenbegrenzung.

Vorschlag: Wenn eine kommunale Kläranlage eine ausreichende Reinigungskapazität aufweist, kann die Frachtenbegrenzung des Stickstoffeintrags darauf im Einzelfall angepasst werden. Bei Indirekteinleitung ist wie erläutert keine vollständige Entlassung aus der Nachsorge möglich, da ein Unterhaltungsaufwand für die Sickerwasserableitung bestehen bleibt.

- **Bei Versickerung in den Untergrund:**

- **Vorschlag zur Begrenzung der Emissionsquelle (Deponiekörper):** 25-100 kgN/ha*a maximale Fracht in den Untergrund (und Grundwasserleiter), d.h. z.B. 25-100 mg/l maximale Sickerwasserkonzentration bei 100 mm/a an Sickerwasseraustrag.

- **Derzeitige Begrenzung der Immissionen (Grundwasser):** Die Auslöseschwellen für Ammonium und Nitrat im Grundwasserabstrom dürfen nicht überschritten werden. Differenzwert zum Zustrom $\text{NH}_4 = 0,3 \text{ mg/l}$, $\text{NO}_3 = \pm 10 \text{ mg/l}$.
- **Vorschlag zur Begrenzung der Immissionen:** Die immissionsseitig festgelegten Differenzwerte für den Grundwasserleiter, insbesondere die sehr geringe Differenz für Ammonium von $\text{NH}_4 = 0,3 \text{ mg/l}$, werden bei vielen nicht basisgedichteten Deponien auch langfristig nicht unterschritten. Hier wäre grundsätzlich wie im standortbezogenen Einzelfall zu prüfen, ob nicht ein größerer Differenzwert für NH_4 bis zu 5 mg/l zugelassen werden könnte. Dazu sind zum einen die möglichen Auswirkungen des Stickstoffeintrags in den Untergrund und das Grundwasser zu beurteilen. Zum anderen können die Untersuchungen zum so genannten „Natural Attenuation“, die für Deponien und Altablagerungen derzeit im BMBF-Verbundvorhaben KORA durchgeführt werden, herangezogen werden (siehe unten).

Cl:

- **Direkteinleitung** in Oberflächengewässer: Cl ist gemäß 51. Anhang AbwV nicht mit einem Anforderungswert belegt
- **Indirekteinleitung:** zur Einleitung in eine Kanalisation ist Cl gemäß 51. Anhang AbwV ebenfalls nicht mit einem Anforderungswert belegt
- **Versickerung in den Untergrund:**
 - **Vorschlag zur Begrenzung der Emissionsquelle (Deponiekörper):** $100\text{-}200 \text{ kgCl/ha}\cdot\text{a}$ maximale Fracht in den Untergrund (und Grundwasserleiter), d.h. z.B. $100\text{-}200 \text{ mg/l}$ maximale Sickerwasserkonzentration bei 100 mm/a .
 - **Derzeitige Begrenzung der Immissionen (Grundwasser):** Die Auslöseschwelle für Chlorid im Grundwasserabstrom darf nicht überschritten werden. Differenzwert zum Zustrom $\text{Cl} = 30 \text{ mg/l}$

AOX:

- **Bei Direkteinleitung in Oberflächengewässer:**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: AOX 500 µg/l maximale Konzentration, es besteht keine Frachtenbegrenzung. Ggf. ist keine Entlassung aus der Nachsorge möglich, sofern ein langfristiger Unterhaltungsaufwand für Sickerwasserableitung bestehen bleibt.

Vorschlag: Es wird wie bei den anderen Parametern vorgeschlagen zu prüfen, ob standortbezogen bzw. im Einzelfall eine zulässige Fracht für die Direkteinleitung von 100-500 g AOX/ha*a festgelegt werden könnte. So könnte bei geringem Sickerwasseranfall eine Direkteinleitung erfolgen, auch wenn der Anforderungswert des 51. Anhangs noch überschritten wird.

- **Indirekteinleitung**

Derzeit gemäß 51. Anhang AbwV: bei Einleitung in Kanalisation bzw. vor Vermischung mit anderem Abwasser AOX 500 µg/l maximale Konzentration, es besteht keine Frachtenbegrenzung. Bei Indirekteinleitung ist keine vollständige Entlassung aus der Nachsorge möglich, da ein Unterhaltungsaufwand für die Sickerwasserableitung bestehen bleibt.

Vorschlag: wie bei der Direkteinleitung wird vorgeschlagen zu prüfen, ob eine zulässige Fracht für die Indirekteinleitung festgelegt werden könnte, die u.a. von der Reinigungsleistung der nachgeschalteten Abwasserreinigungsanlage abhängt.

- **Versickerung in den Untergrund:**

- **Vorschlag zur Begrenzung der Emissionsquelle (Deponiekörper):** 100-500 g AOX/ha*a maximale Fracht in den Untergrund (und Grundwasserleiter), d.h. z.B. AOX 100-500 µg/l maximale Sickerwasserkonzentration bei 100 mm/a.
- **Derzeitige Begrenzung der Immissionen (Grundwasser):** Die Auslöseschwelle für AOX im Grundwasserabstrom darf nicht überschritten werden. Differenzwert zum Zustrom AOX = 20 µg/l

Tabelle 8.2. enthält eine zusammenfassende Übersicht der vorgeschlagenen quantitativen Kriterien für den Wasserpfad hinsichtlich Sickerwasser- und Grundwasserbelastung sowie bei Direkt- und Indirekteinleitung.

Tab. 8.2: Vorschlag zu quantitativen Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge für Sickerwasser- und Grundwasserbelastungen sowie bei Direkt- und Indirekteinleitung

Parameter	Direkteinleitung		Indirekteinleitung		Versickerung	
	Konzentration [mg/l]	Fracht [kg/ha*a]	Konzentration [mg/l]	Fracht [kg/ha*a]	Konzentration Immission (Differenzwert) [mg/l]	Fracht [kg/ha*a]
CSB	200	50 – 200	400	50 - > 200	12	50 – 200
Nges.	70	25 - 100	> 70	25 - > 100	NH ₄ 0,3 – 5	25 - 100
CI	100	100 - 200	> 100	100 - > 200	30	100 - 200
AOX	0,5	0,1 – 0,5	0,5	0,1 - > 0,5	0,02	0,1 – 0,5

Für alle quantitativen Kriterien gilt:

- Die Behörde kann im Einzelfall von der Einhaltung der angegebenen Konzentrationsgrenzwerte absehen, wenn die Frachten gering sind, d.h. innerhalb der angegebenen Spannbreiten liegen, und eine weitergehende Emissionsreduzierung in Relation zu dem damit verbundenen Aufwand unangemessen erscheint.
- Im Einzelfall kann die Behörde ggf. zusätzliche Anforderungen aufgrund der Beschaffenheit des Sickerwassers oder des Zustandes des betroffenen Gewässers/Grundwasserleiters (Abstand Deponiebasis zum Grundwasserleiter, Schutzwürdigkeit) festlegen.

Fazit zu den derzeit geltenden quantitativen Kriterien an den Sickerwasserhaushalt und die Grundwasserbeeinflussung:

- Die Konzentrationsgrenzwerte sind sehr „scharf“ und können bei größeren, jüngeren Siedlungsabfalldeponien mit Ablagerungsmächtigkeiten > 20 m sehr lange Nachsorgezeiträume erforderlich machen (mehrere Jahrzehnte bis theoretisch einige Jahrhunderte, siehe Aufbereitung zum Stand des Wissens und Prognosen zum Langzeitverhalten in Kap. 4).
- Das Problem bei organikhaltigen Siedlungsabfalldeponien besteht weiter darin, dass eine Oberflächenabdeckung und -abdichtung die Deponienachsorge deutlich verlängert, weil biologische Abbauprozesse und der Austrag mobilisierbarer Stoffe wegen des reduzierten klimatischen Wassereintrags zeitlich weit gestreckt oder auf einen Zeitpunkt verschoben werden, der nicht prognostizierbar ist. Gleichwohl zeigen die erläuterten Stilllegungsmaßnahmen in Verbindung mit den quantitativen Kriterien einen Weg auf, der zur Entlassung aus der Nachsorge in überschaubaren Zeiträumen führen kann. Bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien können die Deponieemissionen zum einen in der Stilllegungsphase deutlich reduziert werden, indem Stabilisierungsmaßnahmen wie die Infiltration und/oder die Belüftung durchgeführt werden. Zum anderen führt die Aufbringung der Oberflächenabdichtung dazu, dass in der Nachsorgephase geringe Restemissionen entweder gar nicht mehr mobilisiert werden oder die Mobilisierung in so geringem Umfang und zeitlich gestreckt erfolgt, dass die Auswirkungen auf die betroffenen Schutzgüter vernachlässigbar werden.
- Es wird voraussichtlich weiterhin der Parameter $N_{\text{ges.}}$ sein, der die Dauer und den Umfang der Nachsorgemaßnahmen bestimmt. Dies betrifft sowohl die emissionsseitigen quantitativen Kriterien wie auch die immissionsseitig festgelegten Differenzwerte für den Grundwasserleiter, insbesondere die sehr geringe Differenz für Ammonium von $\text{NH}_4 = 0,3 \text{ mg/l}$. Hier wäre grundsätzlich zu prüfen, ob nicht ein größerer Differenzwert von z.B. $\text{NH}_4 = 5 \text{ mg/l}$ zugelassen werden könnte:

- Bei zahlreichen Deponien ohne Basisabdichtung erfolgte bereits im Ablagerungsbetrieb ein sehr viel höherer Stoffaustrag, der weit oberhalb der o.g. quantitativen Anforderungen liegt.
- Über den Ablauf aus kommunalen Kläranlagen gelangen häufig sehr viel höhere Stofffrachten in Gewässer als aus Siedlungsabfalldponien, selbst wenn diese keine Basisabdichtung aufweisen. Die emittierten Stofffrachten im Ablauf einer kommunalen Kläranlage werden aus technischen wie betriebswirtschaftlichen wie auch aus Gründen der Verhältnismäßigkeit akzeptiert.
- Natürliche Selbstreinigungskräfte führen im Untergrund zu einer deutlichen Schadstoffreduzierung wie z.B. einem Ammoniumabbau. Auf diesen wichtigen Sachverhalt wird im Folgenden eingegangen.

Zusammenfassende Begründung der Vorschläge für die Weiterentwicklung der quantitativen Kriterien:

- Zur Emissionsbegrenzung ist eine Kombination aus Konzentrations- und Frachtwerten unter Berücksichtigung der Belange des Gewässerschutzes und der Deponienachsorge die beste Lösung (s.o., 5.4.3). Die Konzentrationswerte müssen dabei insoweit flexibel bleiben, als sie eine Entlassung aus der Nachsorge ermöglichen, wenn nur noch geringe Umweltauswirkungen (Frachten) zu erwarten sind.
- Geringe Frachten, die immissionsseitig verträglich sind, können sich aufgrund geringer Sickerwasserbildung einstellen. Hohe Sickerwasserkonzentrationen zeigen dann noch ein hohes mobilisierbares Stoffpotenzial an, das einer Entlassung aus der Nachsorge entgegenstehen kann.
- Umgekehrt können sich aufgrund von Verdünnungseffekten geringe Sickerwasserkonzentrationen einstellen, obwohl in Verbindung mit dem Sickerwasseranfall noch erhebliche Frachten ausgetragen werden. Unter dem Aspekt der Frachten wäre eine Entlassung aus der Nachsorge nicht zuzulassen (obwohl die aktuelle Rechtslage für dieses Szenario eine Entlassung ermöglicht).

- Die vorgeschlagenen Margen für akzeptable Frachten nach Beendigung der Nachsorge liegen z.B. beim Parameter CSB deutlich unter den Frachten, die aktuell bei durchschnittlichem Sickerwasseranfall von 3 – 5 m³/ha*d und den Anforderungswerten des Anhangs 51 in Oberflächengewässer abgegeben werden können.
- Da nicht nur herkömmliche Hausmülldeponien, sondern auch weitere Deponietypen mit geregelt werden sollen, sind im Einzelfall oder für bestimmte Deponietypen ergänzende quantitative Kriterien zu entwickeln (z.B. Sulfat für Bauschutt- und Bodendeponien, Orientierung an Parameterbasisliste für Differenzwerte Auslöseschwellen).

Quantitative Kriterien an das Sickerwasser im Verhältnis zum „Natural Attenuation“ und den Erkenntnissen im BMBF-Verbundvorhaben KORA

Zur Einordnung der quantitativen Kriterien und insbesondere zur Anpassung bzw. Heraufsetzung der Differenzwerte im Grundwasser können die Erkenntnisse zum Natural Attenuation und die Zwischenergebnisse des BMBF-Verbundvorhabens KORA herangezogen werden.

Die Sickerwasserbelastungen als „Quellkonzentrationen“ vieler Altablagerungen sind in der näheren Umgehung des Abfallkörpers (10 – 20 m) häufig noch hoch. Sie nehmen jedoch durch verschiedene Retentions- und Abbauvorgänge, den sog. natürlichen Selbstreinigungskräften (Natural Attenuation), in Abstromrichtung ab. Hier haben die Effekte Verdünnung, Adsorption, Absorption und biologischer Abbau eine erhebliche positive Wirkung, so dass die Grundwasserbelastung überwiegend lokal begrenzt bleibt.

So konnten bei Untersuchungen an alten Berliner Hausmülldeponien entsprechende Konzentrationsabnahmen bzw. maximale Schadstoffausbreitungen des konservativen Tracers F12 (Dichlordifluormethan) von 600 – 800 m festgestellt werden. Die signifikante Wirkung des Natural Attenuation zeigte sich durch eine

generell starke Verringerung aller emittierten Sickerwasserinhaltsstoffe bereits auf einer Fließstrecke von nur 200 m. Besonders auffällig war die tendenzielle Erhöhung des Redoxpotenzials, die starke Verringerung von Ammonium, Sulfat, TOC, Hydrogencarbonat, Kalium, Natrium und Chlorid. Eine deutliche Verringerung der Konzentrationen auf diesen 200 m Fließstrecke ist auch bei den Spurenelementen Arsen und Bor festzustellen (Kerndorff et al., 2006). Ferner bestätigen auch die Untersuchungen im Verbundvorhaben KORA, dass es sich bei den Sickerwasseremissionen um sehr langfristige Schadstoffausträge über mehrere Jahrzehnte handelt.

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse kann prognostiziert werden, dass bei vielen Altablagerungen zwar ein Grundwasserschaden festzustellen ist, der aber lokal begrenzt ist und keine Gefährdung weiterer Schutzgüter beinhaltet, so dass in diesen Fällen das Natural Attenuation als Sanierungsvariante eingesetzt werden kann (Kerndorff et al., 2006). Daraus kann gefolgert werden, dass auch bei vielen Altdeponien ohne Basisabdichtung bzw. mit Sickerwasserabtrag nur der unmittelbare Untergrund und das Grundwasser des näheren Bereichs geschädigt werden, dass aber wie bei der überwiegenden Anzahl von Altablagerungen keine Gefährdung weiterer Schutzgüter auftritt.

Da die Schadstoffreduzierung infolge des Natural Attenuation über das Überwachungsprogramm in der Deponienachsorge nachgewiesen werden kann, sollte wie erläutert im Einzelfall und grundsätzlich geprüft werden, ob Differenzwerte für den Grundwasserabstrom heraufgesetzt werden können oder ob die Differenzwerte erst in einigen Hundert Meter Entfernung im Grundwasserabstrom eingehalten werden müssen.

8.2.2 Deponiegas

Neben der Gefährdung durch Brand und Explosionen sind die Auswirkungen der Methanemissionen am anthropogenen Treibhauseffekt ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung des Gashaushalts.

Zur Entlassung aus der Nachsorge sollen daher insbesondere die Methanemissionen, die Konzentration und der Methanvolumenstrom (Methanfracht) unter Berücksichtigung der Schutzgutsituation und der zulässigen Immissionen betrachtet werden.

Der Bezug der quantitativen Kriterien erfolgt auf die Gesamtablagerungsfläche und auf 1 Hektar, um generelle Kriterien für Deponien unterschiedlicher Größe entwickeln zu können.

Kriterium für eine aktive Erfassung und Behandlung des Deponiegases

Bei einer Deponiegasproduktion mit einem Methanvolumen $> 25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{h}$ für den gesamten Standort oder $> 5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/(\text{h} \cdot \text{ha})$ ist eine aktive Erfassung und Behandlung des Deponiegases erforderlich.

Die Behandlung kann z.B. in Abhängigkeit der Methankonzentration erfolgen:

- bei $\text{CH}_4 > 40 \text{ Vol.-%}$ Verwertung (BHKW, ggf. Zündstrahlmotor etc.)
- bei $\text{CH}_4 > 25 \text{ Vol.-%}$ schadlose Beseitigung (Fackel, RTO etc.) oder bereits aerobe in situ Stabilisierung
- bei $\text{CH}_4 < 25 \text{ Vol.-%}$ Schwachgasbehandlung oder z.B. aerobe in situ Stabilisierung zur beschleunigten und kontrollierten wie schadlosen Beseitigung der sonst langfristig auftretenden Restschwachgase

Kriterium zur Umstellung auf passive Erfassung und Behandlung des Deponiegases und zur Entlassung aus der Nachsorge

Bei einer geringeren Deponiegasproduktion mit einem Methanvolumen $\leq 25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{h}$ für den gesamten Standort und $\leq 5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/(\text{h} * \text{ha})$ können folgende Schritte eingeleitet werden:

- Prüfung, ob die Gaserfassung und Verwertung technisch und wirtschaftlich noch möglich und zumutbar ist.
- Umstellung auf passive Restgasbehandlung z.B. über Methanoxidation in der Rekultivierungsschicht mit dem Nachweis, dass weniger als $0,5 \text{ l CH}_4 / (\text{m}^2 * \text{h})$ in die Rekultivierungsschicht eindringt (nicht verlässt) und die maximale flächenhafte Ausgasung über die Rekultivierungsschicht (die in die Atmosphäre eintritt) **25 ppm** an Kohlenwasserstoffverbindungen²⁶ (hauptsächlich Methan) nicht überschreitet. Der Nachweis kann über die Begehung der Deponieoberfläche mit einem Flammenionisationsdetektor (FID) geführt werden: 80% Perzentil im 25 m Raster (= 16 Messpunkte/ha) per FID festgestellt, anfänglich 2 Begehungen pro Jahr (Sommer- und Winterhalbjahr), nach 5 a positivem Nachweis nur noch einmal pro Jahr). **Vorschlag: Bei Erfüllung dieses Kriteriums über 10 Jahre wäre gasseitig die Entlassung aus der Nachsorge möglich.**

Begründung:

- Die Anforderungen zum Emissionsverhalten ermöglichen eine wirtschaftliche Verwertung bis in den unteren Grenzbereich der verwertbaren Methanfracht (u.a. Anforderung gemäß TASI 11.2.1 f)), eine kostengünstige Beseitigung gering methanhaltiger Deponiegase und eine Kombina-

²⁶ Es besteht näherungsweise ein Zusammenhang zwischen den detektierten Kohlenwasserstoffverbindungen bei der FID-Begehung und dem Methanvolumenstrom über die Oberfläche einer Ablagerung. Bei handelsüblichen FID-Messgeräten entsprechen 25 ppm einem Methanvolumenstrom von etwa $0,5 \text{ l CH}_4 / (\text{m}^2 * \text{h})$. Weitere Erläuterungen dazu siehe Rettenberger, 2001.

tion mit Maßnahmen, die eine frühere Entlassung aus der Nachsorge verfolgen.

- Der Anforderungswert zur Methanoxidation von $0,5 \text{ l CH}_4 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$, d.h. zur technischen Barriere für eine passive Gasbehandlung, liegt in einem Bereich, der bei bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen mindestens erreicht wird (Tab. 8.3).

Tab. 8.3: Literaturangaben zur Methanoxidation in Böden und Deponieabdeckungen

Quelle	Randbedingungen	Oxidationsrate [l CH ₄ /(m ² ·h)]
Czepiel et al. (1996)	Deponieabdeckung, 5°C	1,34
	Laborversuch, 21°C	5,38
Whalen et al. (1990)	Deponieabdeckung, 5°C	0,35
	Laborversuch, 30°C	1,23
Stegmann et al. (1991)	Deponieabdeckung Rekultivierungsschicht, Laborversuch	0,64
Börjesson et al. (1997)	Deponieabdeckung Laborversuch	1,61
	Deponieabdeckung Laborversuch	3,56
	Maximum bei WG 20%	6,72
Bender (1992)	Deponieabdeckung, Laborversuch, Raumtemperatur	16,8
Kightley & Nedwell (1994)	Tondichtungsschicht Laborversuch	6,35
	nährstoffreicher, grobkörniger Sand Laborversuch	9,7
Dach et al. (1996)	Deponieabdeckung	0,1 - 4,2
Croft & Emberton (1989)	sandig-toniger Deponieabdeckboden	7,2
	Laboruntersuchung	20
Hoeks (1983)	Rekultivierungsschicht	0,57 - 2,85
Figueroa (1998)	Mutterboden Rekultivierungsschicht, 20°C, Laboruntersuchung;	0,06 – 5,24
	Geschiebemergel Rekultivierungsschicht, 20°C, Laboruntersuchung	0,06 – 3,59
IFAS (2004)	Versuchsfelder Oberflächenabdeckung	0,2 - 0,6
Lechner et al. (2000)	mineralischer Mutterboden, 18°C Labor	ca. 3
	Gartenerde, 18°C, Labor	ca. 8
	bindiger Deponieabdeckboden, 18°C, Labor	ca. 6

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

- Die Ergebnisse gemäß Tab. 8.3 und Monitoringmaßnahmen auf Deponien lassen erwarten, dass eine ausreichende Methanoxidation sowohl ohne umfangreiche Pflege der Rekultivierungsschicht als auch im Winterhalbjahr überwiegend nachgewiesen werden kann. Der Nachweis, dass weniger als $0,5 \text{ l CH}_4 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ in die Rekultivierungsschicht eindringt, ist rechnerisch unter Verwendung der Ergebnisse der Gasüberwachung in der Nachsorgephase in Verbindung mit einer Gasprognoserechnung zu führen. Der Nachweis, dass sehr wenig Restmethan die Rekultivierungsschicht verlässt, ist per FID-Begehung relativ kostengünstig und einfach möglich und in ähnlicher Form bereits im Anhang C der TA Siedlungsabfall als Überwachungsmaßnahme festgelegt.
- Die zulässigen Immissionen, d.h. die Auswirkungen von Deponiegasemissionen über die Oberfläche mit der vorgeschlagenen Festlegung von 25 ppm an Kohlenwasserstoffverbindungen bzw. Methan, können gemäß Tabelle 8.4 eingeordnet werden.

Tab. 8.4: Deponiegasemissionen über die Oberfläche und deren Auswirkungen (nach Rettenberger et al., 1997)

Emissionswert [ppm C_mH_n (CH₄)]	Auswirkungen an der Oberfläche
< 40 ppm	Keine relevanten Emissionen, keine Vegetationsschäden.
> 40 – 100 ppm	Unwesentliche Gasaustritte. Das Gas diffundiert durch die Oberfläche, ohne einen nennenswerten Vegetationsausfall zu verursachen.
> 100 – 400 ppm	Teilweise Vegetationsausfälle. Tiefwurzeln Pflanzen erhalten wenig Sauerstoff.
> 400 – 1000 ppm	Vegetationsausfall. Der Bodensauerstoff wird durch das ausströmende (migrierende) Deponiegas aus dem Wurzelbereich der Pflanzen verdrängt. Pflanzen erhalten zu wenig Sauerstoff.
> 1000 ppm	Das Deponiegas verlässt die Deponie teilweise unter Druck. Ein Wachstum der Vegetation ist kaum mehr möglich. Belästigende Gerüche können wahrnehmbar sein.



- Weitergehende Forderungen sind ökologisch wenig sinnvoll, weil langfristig aufwändige Reinigungsverfahren relativ hohe Sekundäremissionen wegen des zusätzlichen Energie- und Betriebsmittelverbrauchs verursachen.
- Spurenstoffe im Deponiegas sind mit zunehmendem Ablagerungsalter von untergeordneter Bedeutung, so dass sie bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien kein Kriterium zur Entlassung aus der Nachsorge bilden. Dieses sollte in der Nachsorge bereits im Rahmen der Überwachung des Gashaushalts gemäß TASI, Anhang C, 7. Deponiegasuntersuchungen, nachgewiesen werden.

Randbedingungen zum Gashaushalt:

- Die Angaben zur Deponiegasproduktion und zu den Methanvolumina beziehen sich auf den erfassbaren Anteil. Dabei wird vorausgesetzt, dass bereits in der Stilllegungsphase alle Gaserfassungssysteme soweit installiert oder ertüchtigt wurden, dass ein optimaler Gaserfassungsgrad erreicht wird.
- Für die meisten Deponien mit einer Fläche ≥ 5 ha wird die Anforderung an die Deponiegasproduktion mit einem Methanvolumenstrom $\leq 25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{h}$ für den gesamten Standort maßgebend.
- Es muss standortspezifisch sichergestellt sein, dass bei Einhaltung der Anforderungen keine zusätzlichen Risiken infolge von Gasmigrationsvorgängen auftreten können. Z.B. kann eine Bebauung oder Nutzung im Deponierandbereich/-umfeld weitergehende Anforderungen aus vorsorgenden Sicherheitsaspekten zur Folge haben.
- Es muss sichergestellt sein, dass die geringe aktuelle Restgasproduktion, die zur Entlassung aus der Nachsorge führen soll, nicht aufgrund von Austrocknung eingetreten ist, ansonsten aber noch ein hohes Restgaspotenzial in Form von trockenkonservierter biologisch verfügbarer Organik vorhanden ist (Nachweis über Wasser- und Gashaushaltsauswertungen,

Überwachungsprogramm in der Nachsorge). Bei Unklarheiten können Abfallfeststoffprobenahme mit Bestimmung des Wassergehalts, Kohlenstoffgehalts und der biologischen Aktivität (AT_4 oder GB_{21}) vorgenommen werden. Zur Beurteilung können die Anforderungswerte für die Nachsorgekriterien an Abfallfeststoffe herangezogen werden (Kap. 8.2.3).

- Bei Aufbringen der endgültigen Oberflächenabdichtung in der Stilllegungsphase sollte bereits die kostengünstige Umrüstung auf passive Restgasbehandlungsverfahren berücksichtigt werden. So käme z.B. eine Umrüstung des aktiven Gaserfassungssystems zur passiven Einleitung geringfügiger Restgasemissionen in die Rekultivierungsschicht in Frage.

8.2.3 Abfallfeststoff

In der TA Siedlungsabfall und der Abfallablagerungsverordnung sind Anforderungen an die zulässigen Schadstoffgehalte der abzulagernden Abfälle festgelegt. Sie sind in den Anhängen B der TASi und Anhang 2 der AbfAbIV für die Zuordnung zu den Deponieklassen I und II aufgeführt. Übergeordnetes Ziel der Anforderungen ist es, die Entsorgungsprobleme von heute nicht auf zukünftige Generationen zu verschieben, indem nachsorgearme, im Idealfall nachsorgefreie Deponien geschaffen werden.

Es kann daher angenommen werden, dass mit Einhaltung der Zuordnungswerte der Abfallfeststoff bzw. die Barriere „Deponiekörper“ eine wesentliche Voraussetzung zur nachsorgearmen/-freien Deponie erfüllt. Folglich kann im ersten Schritt gefordert werden, dass auch unvorbehandelte Siedlungsabfälle, die auf vielen Deponien bis zum 31.05.2005 abgelagert wurden, in der Ablagerungsphase durch die ablaufenden Prozesse in einen Zustand überführt werden sollten, in dem die Zuordnungswerte für die Deponieklasse II eingehalten werden. Diese Entwicklung kann durch aktive oder passive Maßnahmen beeinflusst werden, z.B. klimatischer Wassereintrag, Infiltration oder in situ Belüftung.

Auf der anderen Seite bedeutet die Einhaltung der Zuordnungskriterien nicht, dass die vorbehandelten Abfälle bereits zum Zeitpunkt der Ablagerung, beim Abfalleinbau in die Deponie, in einem nachsorgefreien Zustand sind, da sie immer noch ein mobilisierbares Stoffpotenzial aufweisen, das den Abfallkörper über den Gas- und Wasserpfad verlassen kann. So haben zahlreiche Forschungsvorhaben und Untersuchungen zum Emissionsverhalten von z.B. mechanisch-biologisch oder auch thermisch vorbehandelten Siedlungsabfällen gezeigt, dass das Emissionspotenzial und die Mobilisierungsvorgänge in Abhängigkeit der Ablagerungsbedingungen noch einen entsprechenden Nachsorgeaufwand nach sich ziehen werden (z.B. BMBF-Verbundvorhaben „Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen“, Soyez, 2001).

Vorschläge für Zielwerte als Abfallfeststoffkriterien

Im BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“ wurden umfangreiche Abfallfeststoffprobenahmen auf Deponien in unterschiedlichen Ablagerungstiefen und von unterschiedlicher Ablagerungsdauer vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass diese unvorbehandelten Siedlungsabfälle nach einigen Jahren und Jahrzehnten die Kriterien an MBA-Abfälle gemäß Anhang 2 der AbfAbIV erfüllen können, dass sie jedoch bei Langzeituntersuchungen zum Emissionsverhalten z.T. noch beträchtliche nachsorgerelevante Emissionen bezüglich der Frachten und Konzentrationen freigesetzt haben (Stegmann und Heyer, 1997).

Wenn das Sickerwasser in „Deponiesimulationsreaktoren“ in Konzentrationsbereiche kam, die den Anforderungswerten an die Sickerwasserkonzentrationen zur Entlassung aus der Nachsorge entsprachen, haben sich im Abfallfeststoff bezüglich der Eluate und der biologischen Aktivität (AT₄) Werte eingestellt, die parameterspezifisch um 33% bis 80% unterhalb der Anforderungen des Anhangs 2 der AbfAbIV liegen.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Über diese Betrachtung können in erster Näherung Anforderungswerte bzw. „Zielwerte“ an den Abfallfeststoff abgeleitet werden, die in Tabelle 8.5 aufgeführt sind. Zum weiteren Vergleich sind die Zuordnungswerte für die Deponieklasse 0 der DepV aufgeführt.

Tab. 8.5: Zuordnungswerte von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen gemäß Anhang 2 der AbfAbIV, der Deponieklasse 0 der DepV und Zielwerte bzw. quantitative Kriterien an Abfallfeststoffproben aus Deponien zur Beendigung der Nachsorge

Parameter	Zielwerte zum Nachsorgeende	Zuordnungswerte Anhang 2 AbfAbIV	Zuordnungswerte DepV DK0
Eluatkriterien			
pH-Wert	6,0 – 9,0	5,5 – 13,0	5,5-13
Leitfähigkeit	$\leq 2.500 \mu\text{S/cm}$	$\leq 50.000 \mu\text{S/cm}$	$\leq 1.000 \mu\text{S/cm}$
TOC	$\leq 150 \text{ mg/l}$	$\leq 250 \text{ mg/l}$	$\leq 5 \text{ mg/l}$
Phenole	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$	$\leq 50 \text{ mg/l}$	$\leq 0,05 \text{ mg/l}$
Arsen	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$	$\leq 0,04 \text{ mg/l}$
Blei	$\leq 0,4 \text{ mg/l}$	$\leq 1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,05 \text{ mg/l}$
Cadmium	$\leq 0,05 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,004 \text{ mg/l}$
Chrom-VI	$(\leq 0,1 \text{ mg/l})$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,03 \text{ mg/l}$
Kupfer	$\leq 1 \text{ mg/l}$	$\leq 5 \text{ mg/l}$	$\leq 0,15 \text{ mg/l}$
Nickel	$\leq 0,2 \text{ mg/l}$	$\leq 1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,04 \text{ mg/l}$
Quecksilber	$\leq 0,005 \text{ mg/l}$	$\leq 0,02 \text{ mg/l}$	$\leq 0,001 \text{ mg/l}$
Zink	$\leq 2 \text{ mg/l}$	$\leq 5 \text{ mg/l}$	$\leq 0,3 \text{ mg/l}$
Fluorid	$(\leq 25 \text{ mg/l})$	$\leq 25 \text{ mg/l}$	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$
Ammoniumstickstoff	$\leq 50 \text{ mg/l}$	$\leq 200 \text{ mg/l}$	$\leq 1 \text{ mg/l}$
Cyanide, leicht freisetzbar	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$	$\leq 0,01 \text{ mg/l}$
AOX	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$	$\leq 1,5 \text{ mg/l}$	$\leq 0,05 \text{ mg/l}$
Glühverlust	-	-	$\leq 3 \text{ Masse\%}$
TOC	-	-	$\leq 1 \text{ Masse\%}$
Biologische Abbaubarkeit des Trockenrückstands der „Originalsubstanz“			
bestimmt als Atmungsaktivität (AT_4)	$\leq 2,5 \text{ mgO}_2/\text{gTS}$	$\leq 5 \text{ mgO}_2/\text{gTS}$	
oder bestimmt als Gasbildungsrate im Gärttest (GB_{21})	$\leq 10 \text{ l/kgTS}$	$\leq 20 \text{ l/kgTS}$	

Zielwert in Klammern: es liegen keine Untersuchungsergebnisse vor, daher wurden Zuordnungswerte des Anhangs 2 AbfAbIV gewählt.

Anmerkungen zu den vorgeschlagenen Zielwerten:

- Die vorgeschlagenen Zielwerte sind aus Ergebnissen des BMBF-Verbundvorhabens „Deponiekörper“ abgeleitet worden. Sie können durch weitere Ergebnisse abgesichert und fortgeschrieben werden. Das gilt insbesondere für die Parameter, für die derartige Untersuchungen noch nicht durchgeführt wurden, z.B. Chrom-VI oder Fluorid.
- Mit dem Einsatz von Stabilisierungsverfahren soll die Barriere „Deponiekörper“ in einen emissionsarmen Zustand überführt werden, der die Nachsorgedauer und den Nachsorgeaufwand deutlich reduziert. Nach bisherigem Kenntnisstand ist jedoch nicht zu erwarten, dass mit den Stabilisierungsmaßnahmen bereits ein derart emissionsarmer Zustand erreicht wird, der eine Entlassung aus der Nachsorge unmittelbar nach Abschluss der Stabilisierung ermöglicht. Als Mindestanforderung an Stabilisierungsmaßnahmen (Einzelverfahren oder auch Kombination von Verfahren) kann die Einhaltung der Anforderungswerte gemäß Anhang 2 der AbfAbIV festgelegt werden, insbesondere der für die biologische Abbaubarkeit. Der weitere Erfolg oder die Effizienz der Verfahren kann u.a., neben den Auswirkungen auf die Gas- und Sickerwasserbeschaffenheit, daran gemessen werden, inwieweit die Zielwerte zur Beendigung der Deponienachsorge erreicht werden. Dieses ist jedoch nicht nur vom Verfahren, sondern vor allem auch von den Deponierandbedingungen, d.h. der standortspezifischen Situation abhängig.
- Die Beurteilung von Abfallfeststoffproben, die dem Deponiekörper entnommen werden, kann nicht als alleiniges Kriterium, d.h. unabhängig vom Nachweis der Gas- und Sickerwasserkriterien empfohlen werden:
 - Es gibt keine feste Korrelation zwischen der Abfallfeststoffbeschaffenheit, insbesondere den Eluatkonzentrationen und der Sickerwasserbeschaffenheit. Diese Korrelation kann nur deponiespezifisch durch das Überwachungsprogramm und die Auswertung des Wasserhaushalts hergestellt werden. Daher kann die Erfüllung der Kriterien an den Abfallfeststoff nicht den Nachweis der Kriterien an die Sicker-

wasser- und Grundwasserbeschaffenheit ersetzen. Beide Nachweise müssen geführt werden.

- Es besteht die Gefahr, dass einzelne Abfallfeststoffproben das Deponieverhalten und die mobilisierbaren Anteile nicht zutreffend beschreiben. Viele Untersuchungen an Deponien wie im BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“ haben wiederholt gezeigt, dass der Deponiekörper von herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien äußerst inhomogen aufgebaut ist. Daher ist es kaum möglich, anhand weniger Feststoffproben von einigen Kilogramm ein umfassend repräsentatives Bild über das Verhalten des gesamten Deponiekörpers zu gewinnen. Dieses ist z.B. bei mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen (vergleichsweise homogen und kleinstückig), für die die entsprechenden Anforderungswerte festgelegt wurden, möglich. Sofern Abfallfeststoffproben als Nachweiskriterium zur Beurteilung herangezogen werden, ist eine größere Anzahl aus unterschiedlichen Deponiebereichen und –tiefen zu entnehmen, um ein möglichst repräsentatives Bild der „Grundgesamtheit Deponiekörper“ zu erhalten.

Mögliches Vorgehen bei der Feststoffprobenahme:

- *Feststoffprobenahme über 50-100 m-Raster, d.h. 1-4 Beprobungspunkte je Hektar. Entnahme als Mischprobe aus mindestens zwei Tiefenhorizonten bzw. je 10 m Ablagerungsmächtigkeit.*
 - *Feststoffprobenahme gemäß Standardarbeitsvorschrift SAV 1 (BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“, Ehrig et al., 1997).*
 - *Weitere Analytik und Bewertung der Ergebnisse gemäß Anhang 4 der AbfAbIV*
- Neben den Parametern in Tabelle 8.5 ist bei einer Abfallbeprobung auch der Wassergehalt zu bestimmen. Er gibt wichtige Hinweise, ob der betreffende Deponieabschnitt trocken, feucht oder sogar intensiv durchströmt ist

(Reaktivitätsstatus, Dichtwirkung der Oberflächenabdichtung). Weiterhin gibt eine Temperaturmessung bei der Probenahme Hinweise auf den Reaktivitätsstatus.

- Wie beim Deponiegas und bei Sickerwasser sollte eine differenzierte Einzelstoffanalytik am Feststoff nur erfolgen, wenn Überschreitungen von Summenparametern vorliegen oder Angaben zu einschlägigen industriellen oder gewerblichen Abfallablagerungen vorliegen.

Fazit zu den quantitativen Kriterien an Abfallfeststoffproben aus Deponien:

- Die Kriterien an die Beschaffenheit des Abfalls zum Zeitpunkt der Entlassung aus der Nachsorge sind ebenfalls sehr „scharf“ und können bei größeren, jüngeren Siedlungsabfalldeponien mit Ablagerungsmächtigkeiten > 20m lange Nachsorgezeiträume bedingen (mehrere Jahrzehnte bis theoretisch einige Jahrhunderte).
- **Die quantitativen Kriterien an die Abfallfeststoffproben sind nicht mit dem Ansatz der Konservierung des Abfallkörpers durch Kapselung und Austrocknung bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien vereinbar. In diesem Fall finden kaum oder keine Prozesse im Deponiekörper statt, die zu einer allmählichen oder beschleunigten Reduzierung der mobilisierbaren Anteile (Eluatwerte) und der biologischen Aktivität führen. Eine Entlassung aus der Nachsorge ist dann nicht möglich, da die Barriere „Deponiekörper“ noch keinen nachsorgefreien Zustand aufweist.**
- Die Kriterien führen dahin, dass auch in MBA-Deponien noch Prozesse zugelassen werden sollten, so dass die abgelagerten MBA-Materialien über ein biologisch stabilisierendes Ausreagieren die Zielwerte erreichen können. Eine zeitlich befristete Durchfeuchtung durch Niederschlags-eintrag kann förderlich sein, eventuell entstehendes Deponiegas kann passiv abgeleitet und behandelt werden, u.a. in der Rekultivierungsschicht einer temporären oder endgültigen Abdichtung. Eine semiaerobe Deponie

mit passiver Sauerstoffversorgung würde die Prozesse ebenfalls intensivieren.

- Die umfangreichen Untersuchungen an Abfallfeststoffproben zeigen, dass eine Orientierung der Zielwerte gemäß Tab. 8.5 an den Zuordnungswerten für DK0-Deponien nicht sinnvoll ist. Die Zuordnungswerte für Inertabfälle können unabhängig vom Stabilisierungsgrad der abgelagerten Siedlungsabfälle in der Regel nicht erreicht werden.

8.2.4 Setzungen / Sackungen

Die Setzungen und Sackungen des Abfallkörpers, im Folgenden zusammenfassend als Setzung bezeichnet, werden bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien in der Stilllegungs- und Nachsorgephase hauptsächlich von den biologischen Abbauprozessen bestimmt:

- Sackungen durch Volumenreduzierungen bei Überführung der biologisch verfügbaren organischen Abfallbestandteile in die Gasphase
- Setzungen/Sackungen durch Schwächung des Stützgerüsts, das die Abfallmatrix darstellt

Monitoringergebnisse und Setzungsprognosen erlauben eine Abschätzung zukünftiger Setzungen/Sackungen. Dazu kann vereinfachend davon ausgegangen werden, dass der Abbau von 1 Masse-% Kohlenstoff bei einer Lagerungsdichte von 1 Mg/m^3 einem Volumenverlust von 1,5 – 2 Vol.-% entspricht. Zusätzliche Setzungen/Sackungen sind wie erläutert in der Schwächung des Stützgerüsts des Abfalls begründet und betragsmäßig nicht genau zu prognostizieren. Aus Untersuchungen an Abfallablagerungen kann vermutet werden, dass sie sich mindestens in einer ähnlichen Größenordnung wie die Setzungen durch Volumenverlust bewegen.

Der Verlauf der Setzungen kann folglich aus der Intensität der biologischen Abbauprozesse abgeleitet werden. Die Intensität der anaeroben Abbauprozesse im Deponiekörper kann wiederum über den Gashaushalt, d.h. die Gasproduktionsrate und ihre Abnahme mit der Halbwertszeit beschrieben werden. So wie die Halbwertszeit die Halbierung der Gasproduktionsrate in einem bestimmten Zeitintervall beschreibt, kennzeichnet sie näherungsweise auch das Setzungsmaß pro Zeiteinheit.

Aus dieser Betrachtung können abgeleitet werden:

- Verlauf der Setzungen, Abschätzung der Gesamtsetzungen und Abnahme über die Zeit
- Abschluss der „Hauptsetzungen“ als geeigneter Zeitpunkt zum Aufbringen der Oberflächenabdichtung
- Näherungsweise Abschluss der Gesamtsetzungen im Sinne § 13, Abs. 5 DepV, Kriterium 3: „Setzungen sind soweit abgeklungen, dass verfor-mungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystem für die Zukunft ausgeschlossen werden können“.

Vorschläge für Kriterien zum Setzungsverhalten:

- **Verlauf der Setzungen, Abschätzung der Gesamtsetzungen und Abnahme über die Zeit bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien:**
Abfallfeststoffuntersuchungen haben ergeben, dass etwa 5 – 10 Jahre nach Ende der Verfüllung, d.h. in der Stilllegungsphase, durchschnittlich noch etwa 5 - 20% des gesamten Kohlenstoffs biologisch verfügbar sind, was etwa 1 – 4% der Gesamtmasse entspricht (Heyer, 2003). Nach diesen Untersuchungsergebnissen und Erfahrungen zum Setzungsverhalten deutet dies noch auf Gesamtsetzungen von 4 – 16 cm je Meter Ablagerungsmächtigkeit hin. Im oberen, jüngeren Deponiebereich sind sie tendenziell höher, im unteren Deponiebereich sind sie alters- und auflast-bedingt geringer.

Die zu erwartenden Gesamtsetzungen können nur standortbezogen belastbar ermittelt werden.

Der Setzungsverlauf kann in Analogie zu den biologischen Abbauprozessen, insbesondere über die Halbwertszeit der anaeroben Abbauprozesse abgeleitet werden. Die Halbwertszeiten wurden bei vielen Deponien zwischen 4 und 8 Jahren ermittelt.

- **Abschluss der „Hauptsetzungen“ als geeigneter Zeitpunkt zum Aufbringen der Oberflächenabdichtung**

Der Begriff der „Hauptsetzungen“ ist nicht eindeutig definiert. Der Abschluss der Hauptsetzungen soll sicherstellen, dass eine Oberflächenabdichtung nach ihrer Aufbringung keine setzungsbedingten Beschädigungen bis hin zum Verlust ihrer Funktionstüchtigkeit erfährt.

Als These wird postuliert, dass im Sinne der Hauptsetzungen mindestens 75% der Gesamtsetzungen, die nach Abschluss der Verfüllung noch auftreten können, stattgefunden haben sollten, bis eine endgültige Oberflächenabdichtung aufgebracht wird. Folglich wären zwei Halbwertszeiten oder 8 – 16 Jahre nach Abschluss der Verfüllung erforderlich, bis dieser Zustand bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien erreicht ist.

- **Näherungsweise Abschluss der Gesamtsetzungen im Sinne § 13, Abs. 5 DepV**

Um der Anforderung, verformungsbedingte Beschädigungen des Oberflächenabdichtungssystem für die Zukunft auszuschließen, zu genügen, wird ein Setzungsmaß von mindestens 90% der Gesamtsetzungen vorgeschlagen. Dieses wird theoretisch nach etwa 3,5 Halbwertszeiten bzw. 14 bis 28 Jahre, nachdem der letzte Abfall eingebaut wurde, erreicht.

Alle Kriterien zum Setzungsverhalten sind standortbezogen zu konkretisieren, mit den Anforderungen an die mechanische Stabilität des Deponekörpers abzugleichen und über das Überwachungsprogramm in der Stilllegungs- und Nachsorgephase fortzuschreiben.

Anmerkungen zu den vorgeschlagenen Anforderungswerten:

- Bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien können Hemmeinflüsse und Austrocknung die biologischen Abbauprozesse verzögern, was sich in einer Erhöhung der Halbwertszeit ausdrückt. Setzungen kommen zum Erliegen oder verlaufen verzögert, obwohl noch ein beträchtliches Setzungspotenzial besteht. Andererseits beschleunigen Stabilisierungsverfahren den biologischen Abbau, verkürzen mithin die Halbwertszeit und führen zu einem früheren Abklingen der Setzungen.
- Untersuchungen an Deponien zeigten wiederholt, dass es punktuell zu größeren Setzungen als über die Herleitung abgeschätzt kommen kann, hauptsächlich infolge des Zusammenpressens von Hohlräumen (Schwächung des Stützgerüsts) und durch Inhomogenitäten im Aufbau des Deponiekörpers. Diese ungleichmäßigen Setzungen können Abdeckungen oder Abdichtungen in ihrer Funktion zusätzlich beeinträchtigen.
- Bei MBA-Deponien sollte das Setzungsverhalten zukünftig intensiv überwacht werden, da die Setzungen voraussichtlich geringer sind und verzögert ablaufen:
 - Die Abfallmatrix ist kleinstückiger, da nur mechanisch aufbereiteter und biologisch behandelter Restabfall abgelagert wird.
 - Der Einbau erfolgt stärker verdichtet als bisher.
 - Biologische Abbauprozesse verlaufen aufgrund des verdichteten Einbaus und reduzierten Wasserzutritts vermutlich verzögert ab.
- Bei MVA-Aschen-Deponien und Boden- und Bauschuttdeponien sind keine Setzungen zu erwarten, die auf biologische Abbauprozesse zurückzuführen sind. Von daher können Abdichtungen nach Abschluss der Verfüllung aufgebracht werden.

Fazit zu den quantitativen Kriterien an das Setzungsverhalten von Deponien:

- Das Setzungsverhalten wird wie der Gashaushalt weder die Dauer noch den Aufwand der Nachsorge bestimmen. Es wird eher den Beginn der Nachsorge festlegen, weil die Setzungen den Zeitpunkt der Aufbringung der Oberflächenabdichtung mitbestimmen.
- Eine verfrühte Aufbringung einer Oberflächenabdichtung bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien kann zu einer Austrocknung des Deponiekörpers mit einer unerwünschten Trockenkonservierung führen. Verzögerte biologische Abbauprozesse hätten verzögerte Setzungsvorgänge zur Folge, was langfristig zu erhöhten Setzungen führen kann, wenn erneut Wasser in die Deponie eindringt. Die Funktionsfähigkeit der Oberflächenabdichtung wäre demnach zu einem Zeitpunkt gefährdet, der schwer zu prognostizieren ist, zumal der Aufwand für die Deponienachsorge und die Unterhaltung der Oberflächenabdichtung langfristig reduziert werden soll.

8.3 Technische Anforderungen

8.3.1 Untergrund und hydrologische Randbedingungen

Im Multibarrierenkonzept hat der Untergrund als nichttechnische geologische Barriere eine wichtige Funktion, um die Freisetzung von Schadstoffen aus der Deponie (Transmission) langfristig zu vermindern oder zu vermeiden.

Zur Entlassung aus der Nachsorge ist die geologische Barriere bezüglich Durchlässigkeit und Mächtigkeit in Verbindung mit den Ergebnissen des Überwachungsprogramms abschließend zu beurteilen, um die Langzeitsicherheit zu gewährleisten. Auflastbedingte flächenhafte Setzungen des Untergrunds sollten möglichst abgeschlossen, zumindest jedoch so gering sein, dass sie zu keinen Beeinträchtigungen an der Deponiebasis führen.

In diesem Zusammenhang sind auch Veränderungen der hydrologischen Randbedingungen, die sich in der Nachsorgephase eingestellt haben, zu prüfen: Dies betrifft zum einen die Lage zum Grundwasser. Wasserhaltungsmaßnahmen zur Grundwasserabsenkung, sei es nur für den Deponiekörper oder überörtlich z.B. aus bergbaulichen Gründen, können einer Entlassung aus der Nachsorge entgegenstehen. Zum anderen ist der langfristig mögliche Zutritt von Hang-, Quell-, Schichten- oder Oberflächenwasser insbesondere bei Grubendeponien und Deponien in Tallagen, wo Fließgewässer unter der Deponie verrohrt oder am Rand vorbeigeführt werden, zu betrachten. Dieses gilt umso mehr bei Deponien ohne qualifizierte Basisabdichtung, wo kaum Kontroll- oder Reparaturmöglichkeiten bestehen.

8.3.2 Basisabdichtung

Ältere Deponien können entweder keine Basisabdichtung oder ein Abdichtungssystem aufweisen, das nicht dem Stand der Technik entspricht. Die Kombinati-

onsdichtung wurde mit der TA Abfall 1991 bzw. der TA Siedlungsabfall 1993 eingeführt, so dass insbesondere Deponien der letzten 10 – 15 Jahre über eine derartige Abdichtung oder ein gleichwertiges System verfügen.

Soweit möglich, ist die Dichtigkeit der Basisabdichtung zu prüfen und unter dem Aspekt der langfristigen Funktionstüchtigkeit zu beurteilen. Dazu sind die Ergebnisse des Überwachungsprogramms zum Wasserhaushalt und zum Grundwasser heranzuziehen.

8.3.3 Sickerwasserfassung

Die Sickerwasserdrainage und –ableitung sollte zum Ende der Nachsorge in einem Zustand sein, dass eventuell noch anfallendes Sickerwasser ohne weitere Unterhaltungsmaßnahmen abgeleitet wird. Dieses bedeutet im Idealfall gemäß der Anforderung der TA Siedlungsabfall (10.4.1.3.2) die Ableitung des Sickerwassers in freiem Gefälle zu Entwässerungsschächten, die außerhalb des Ablagerungsbereichs errichtet wurden. Sollte dies langfristig nicht gegeben sein, ist nachzuweisen, dass ein möglicher Sickerwassereinstau an der Deponiebasis nicht zu einer Grundwasserbelastung führt, die eine weitere Beobachtung oder Sanierungsmaßnahmen erforderlich macht. Ferner muss für diese Situation die Standsicherheit des Deponiekörpers nachgewiesen werden.

Diese Kriterien und Nachweise zur Sickerwasserfassung und –ableitung sind voraussichtlich bei Grubendeponien und bei einer Sickerwasserableitung unterhalb des Deponiekörpers schwer zu erfüllen, weil nach Abschluss der Nachsorge keine Kontroll- oder Wartungsmaßnahmen mehr erfolgen. So können Kolmations- und Inkrustationsvorgänge die Durchflussleistung der Entwässerungsschicht herabsetzen. Andererseits kann eine größere Neigung des Flächenfilters dessen langfristige Funktion verbessern.

8.3.4 Gaserfassung

Wie bei den Kriterien zum Emissionsverhalten dargestellt und gemäß Anforderung § 13 (5) der DepV sollte die Restgasproduktion zum Ende der Nachsorge soweit zum Erliegen gekommen sein, dass keine aktive Entgasung mehr erforderlich ist und das Gaserfassungssystem folglich nicht mehr unterhalten werden muss. Passive Entgasungseinrichtungen und eine passive Gasbehandlung ohne weiteren Kontroll- und Unterhaltungsaufwand sollen ausreichen. Technische Einrichtungen wie oberflächennahe Rohrleitungen, die eine weitere Nutzung oder die Funktion der Oberflächenabdichtung beeinträchtigen könnten, sollen rückgebaut sein.

8.3.5 Oberflächenabdichtung und Rekultivierung

Die DepV fordert in § 13 (5), dass die Oberflächenabdichtung und die Rekultivierungsschicht in einem funktionstüchtigen und stabilen Zustand sind, der durch die derzeitige und geplante Nutzung nicht beeinträchtigt werden kann. Ferner ist sicherzustellen, dass dies auch bei Nutzungsänderungen gewährleistet ist.

Zur Entlassung aus der Deponienachsorge muss die langfristige Funktionstüchtigkeit der Oberflächenabdichtung geprüft und nachgewiesen werden. Dieses kann in der Nachsorgephase grundsätzlich erfolgen über:

- Auswertung des Wasserhaushalts über das Überwachungsprogramm in der Nachsorge. Rückschluss auf die klimatische Sickerwasserbildung, d.h. den Anteil des Niederschlags, der das Oberflächenabdichtungssystem durchdringt, in den Abfallkörper eindringt und als belastetes Sickerwasser an der Basis anfällt.
- Beobachtung von Veränderungen
 - im Wasserhaushalt der Deponie oder im Grundwasserabstrom

- des Drainageabflusses unterhalb oder des Oberflächenabflusses oberhalb der Rekultivierungsschicht
- Kontrolle der Oberflächenabdichtung bei Wartungs- und Pflegearbeiten an technischen Einrichtungen und an der Rekultivierungsschicht. Kontrolle bei FID-Begehungen. Ermittlung punktueller Ausgasungen z.B. infolge von Rissen oder anderen Beschädigungen der Dichtungselemente.
- Auswertung der Horizontal- und Vertikalbewegungen der Oberflächenabdichtung im Hinblick auf Setzungen oder Scherbewegungen
- Einsatz von Dichtungskontrollsystemen in der Oberflächenabdichtung, wobei kritisch zu hinterfragen ist, ob die Dichtungskontrollsysteme in der Nachsorge genauso lange kontrollierbar und funktionstüchtig bleiben wie die eigentlichen Dichtungselemente.

Die Oberflächenabdichtungssysteme und die Regelanforderungen der DepV wurden in den letzten Jahren intensiv diskutiert. Diskussionsgegenstand war u.a. die Mindestmächtigkeit der Rekultivierungsschicht von nur einem Meter, was die Gefahr der Austrocknung, der Eignung unter land- und forstwirtschaftlichen Gesichtspunkten und der Durchwurzelung anbetrifft.

Die möglichen Gefährdungen der Rekultivierungsschicht bzw. der Oberflächenabdichtung sind zum Abschluss der Nachsorge nochmals zu prüfen, so dass die Rekultivierungsschicht für eine forstwirtschaftliche Nutzung und unter dem Blickwinkel, dass eine Unterhaltung der Oberflächenabdichtung nicht mehr erfolgen soll, ggf. auf 1,5 bis zu 4 m erhöht wird (Brauns et al., 1997, LAGA, 2000). Bodenbeschaffenheit (siehe auch Anhang 5 der DepV), Klimabedingungen, Gefälleverhältnisse und Bewuchs sind ebenfalls zu berücksichtigen. Es dürfen keine Erosionserscheinungen mehr auftreten, so dass Oberflächenwasser dauerhaft und sicher von der Deponie abgeleitet wird. Der Rekultivierungsschicht kommt folglich langfristig eine wichtige Bedeutung zu.

8.3.6 Infrastruktur, Rückbau entbehrlicher Anlagen

Zur Entlassung aus der Nachsorge müssen alle Infrastruktureinrichtungen und technischen Anlagen, die nicht mehr benötigt werden, rückgebaut worden sein. Dies betrifft z.B. Gebäude, Zäune, Betriebswege, Sickerwasserspeicher und ggf. Regenrückhaltebecken, Behandlungsanlagen oder Kontrolleinrichtungen. Die Deponie muss in das Landschaftsbild integriert oder an die Nachfolgenutzung angepasst worden sein.

8.3.7 Standsicherheit und geomechanische Stabilität des Deponiekörpers

Die Deponie muss auch nach Entlassung aus der Nachsorge dauerhaft stand-sicher sein (DepV, § 13 (5)). Zur Entlassung aus der Nachsorge ist dafür zu betrachten und nachzuweisen:

- Einstau an der Deponiebasis, wenn Sickerwasserabfluss im freien Gefälle nicht mehr möglich ist
- Wassereintritt in Deponiekörper, z.B. durch seitlichen Zufluss (defekte vertikale Dichtwand) oder über defekte Oberflächenabdichtung, der zum vertikalem Wasserfluss zur Deponiebasis oder lateralem Wasserfluss zur Deponieböschung führt
- ansteigender Grundwasserstand oder Lage der Deponie in einem Überschwemmungsgebiet
- langfristige Funktion von Stützbauwerken, z.B. Abschlussdämme bei einer Talverfüllung
- ggf. zusätzliche Nachweise zur inneren mechanischen Stabilität von MBA-Deponien und MVA-Asche-Deponien
- ggf. Nachweis der Untergrundstabilität

Für alle Szenarien ist die geomechanische Stabilität gemäß den GdA-Empfehlungen nachzuweisen.

8.3.8 Beurteilung der Kriterien an technische Barrieren und Notwendigkeit zur Fortschreibung

Die Vorschläge zu den Kriterien an die technischen Barrieren zur Entlassung aus der Nachsorge orientieren sich an den rechtlichen Vorgaben, an den Schlussfolgerungen und Vorgaben aus dem Emissionsverhalten der abgelagerten Abfälle, dem Stand des Wissens zur Deponietechnik und allgemein zum Deponieverhalten. Es fehlen jedoch noch langfristige Erfahrungen zum Emissionsverhalten in der Deponienachsorge, die eine eindeutige und abschließende Festlegung aller technischen Nachsorgemaßnahmen und der Kriterien zur Beendigung der Nachsorge erlauben. Von daher besteht die Notwendigkeit, die Vorschläge bzw. Vorgaben aufgrund der zukünftigen Erfahrungen bei der Schließung und Nachsorge fortzuschreiben. Dies bezieht sich sowohl auf die generellen Vorgaben als auch auf die Vorgaben für standortspezifische Sondersituationen und jene Deponietypen, über die bisher erst wenige Erkenntnisse verfügbar sind.

9 Zusammenfassung, Handlungsbedarf und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen bedürfen Deponien der Nachsorge. Ziel der Studie ist es, konkrete Handlungsoptionen geeigneter Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen aufzuzeigen und Abschätzungen resultierender Nachsorgezeiträume vorzunehmen. Auf dieser Grundlage können die erforderlichen Rückstellungen ermittelt werden. Weiterhin werden Vorschläge zur Ableitung quantitativer Kriterien zur Entlassung aus der Nachsorge unterbreitet, wobei nicht nur das Emissionsverhalten und die technischen Anforderung an Deponien, sondern auch die rechtlichen Rahmenbedingungen betrachtet werden.

Die Studie stützt sich auf eine Vielzahl von Messungen, Erfahrungen und Forschungsergebnissen zum Verhalten unterschiedlicher Deponietypen. Neben MBA-Deponien, MVA-Aschedeponien, Boden und Bauschuttdeponien sind dies insbesondere herkömmliche Siedlungsabfalldeponien, wie sie in Deutschland bis zum Mai 2005 betrieben wurden.

Zur thematischen Aufbereitung werden die qualitativen Anforderungen für die Beendigung der Nachsorge gemäß § 13 Abs. 5 DepV mit ihren möglichen Auswirkungen auf das Emissions- und Deponieverhalten diskutiert, und es werden Thesen abgeleitet. Die Kernthese zur Erreichung einer nachsorgefreien Deponie lautet: „Der abgelagerte Abfall sollte zum Ende der Nachsorge derart beschaffen sein, dass die biologischen Prozesse und sonstigen Umsetzungs- oder Reaktionsprozesse nicht nur aktuell weitgehend abgeklungen sind, sondern dass grundsätzlich sichergestellt ist, dass derartige Prozesse durch ungünstige Umstände auch zukünftig nicht wieder reaktiviert werden können. Etwaige noch langfristig auftretende Emissionen sollten so gering sein, dass das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere der Grundwasserschutz dadurch nicht gefährdet wird.“

Vor diesem Hintergrund werden die rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen der Stilllegung und Nachsorge und der Stand des Wissens zum Deponieverhalten aufbereitet. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse werden für die unterschiedlichen Deponietypen Prognosen zum langfristigen Verlauf der Sickerwasserbelastungen in der Stilllegungs- und Nachsorgephase abgeleitet. Eine Wasserinfiltration kann zu einer Abnahme der Sickerwasserbelastungen und Reduzierung der Nachsorgedauer beitragen. Die aerobe in situ Stabilisierung führt zu einer positiven Beeinflussung des Emissionsverhaltens und zur Beschleunigung insbesondere der biologischen Umsetzungsprozesse. Es erfolgt ein Vergleich unterschiedlicher Stilllegungsmaßnahmen bezüglich des Deponieverhaltens und der zu bildenden Rückstellungen.

Die Vorschläge für Nachsorgekriterien zur Beendigung der Deponienachsorge werden für das Emissionsverhalten, die technischen Barrieren und Untergrundbedingungen und die zulässigen Immissionen entwickelt.

Für die Emissionen und Immissionen (Sickerwasser, Grundwasser, Oberflächenwässer, Deponiegas) werden quantitative Kriterien vorgeschlagen, die im Wesentlichen auf Frachten und weniger auf Konzentrationen basieren. Weiterhin werden Anforderungen an das Setzungsverhalten und technische Randbedingungen vorgeschlagen.

Die Vorschläge für die quantitativen Nachsorgekriterien sind mit dem wachsenden Erkenntnisstand, der in den nächsten Jahren insbesondere bei den im Mai 2005 geschlossenen herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien und den neuen MBA-Deponien gewonnen wird, fortzuschreiben.

Die vorgeschlagene Vorgehensweise ermöglicht eine Entlassung aus der Deponienachsorge in überschaubaren Zeiträumen bei Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Grundwasserschutzes.

9.2 Ausblick

9.2.1 Überlegungen zu Rechtsänderungen

Aus den fachlichen Erkenntnissen in Verbindung mit den rechtlichen Analysen hat sich ergeben, dass bei den geltenden wasserrechtlichen Kriterien – insbesondere den Einleitgrenzwerten der AbwV (51. Anhang) – auf Grundlage des Stilllegungs- und Nachsorgemodells der DepV binnen überschaubarer Zeiträume keine Entlassung aus der Nachsorge möglich sein wird. Zugleich sind die Spielräume für die Anwendung von Alternativkonzepten – insbesondere durch Stabilisierungsmaßnahmen in der Stilllegungsphase – begrenzt. Deshalb besteht Anpassungsbedarf in rechtlicher Hinsicht.

In der DepV sollten zunächst größere Spielräume für die Anwendung von Stabilisierungsverfahren eröffnet werden.

Zur Realisierung des vorgeschlagenen Konzepts einer Kombination zwischen Konzentrations- und Frachtwerten im Bereich des Gewässerschutzes wären Rechtsänderungen notwendig. Dies betrifft insbesondere die Möglichkeit der Abweichung von Konzentrationsgrenzwerten bei geringer Fracht (Änderung der AbwV).

Eine Schlüsselfrage ist, ob darüber hinaus im Regelfall an der in § 12 Abs. 3 DepV vorgegebenen Oberflächenabdichtung nach Anhang 1 Nr. 2 festgehalten werden sollte. Wie aufgezeigt wurde, bewirkt die Oberflächenabdichtung in Verbindung mit einem noch hohen, quasi trockenkonservierten, aber mobilisierbaren Schadstoffpotenzial im Deponiekörper einen entsprechend zeitlich nicht überschaubaren Nachsorgebedarf. Dabei ist eine sehr langfristige Betrachtungsweise über den gesamten Zeitraum hinweg geboten, in dem mit einem relevanten Emissionspotenzial zu rechnen ist. Der Verordnungsgeber würde sich ansonsten in einen Wertungswiderspruch begeben, wenn er einerseits eine

Oberflächenabdichtung verlangte, sich aber mit einer zeitlich begrenzten Dichtwirkung zufrieden gäbe.

Aus fachlich-ökologischer Sicht sollte an dem generellen Erfordernis einer Oberflächenabdichtung nach Anhang 1 Nr. 2 DepV auch in Verbindung mit Stabilisierungsverfahren festgehalten werden, weil sie den Sickerwasserstrom und die Restemissionen weitestgehend reduziert. Die Vorgaben für die technische Gestaltung bei herkömmlichen Siedlungsabfalldeponien sollten sich jedoch mehr am Emissions- und Deponieverhalten orientieren, so dass es – über den Anwendungsbereich des § 14 Abs. 6 DepV hinaus – im Einzelfall zu Abweichungen von den Regelanforderungen der DepV kommen kann.

Weil eine Oberflächenabdichtung das Schadstoffpotenzial konservieren und deshalb zu einem unbegrenzten Nachsorgezeitraum führen kann, darf die daraus resultierende Nachsorgeaufgabe, die oftmals jedenfalls zeitlich nicht überschaubar sein dürfte, aus Gründen der Verhältnismäßigkeit nicht in der bisherigen Form und ausschließlich dem Betreiber aufgebürdet werden. Gleiches gilt, wenn die anderen angesprochenen rechtlichen Vorgaben nicht insoweit geändert werden, dass eine Entlassung aus der Nachsorge binnen überschaubarer Zeiträume mit angemessenem Aufwand möglich ist.

Dem Gesetz- und Ordnungsgeber steht es insoweit offen, die bisherigen strengen und langfristigen Anforderungen an die Minimierung von Emissionen – insbesondere zum Schutz von Gewässern – aufrecht zu erhalten. Wenn diese Anforderungen jedoch, ggf. auch unter Anwendung der hier vorgeschlagenen quantitativen Kriterien, auf eine „ewige“ Nachsorge hinauslaufen, müssen zur Wahrung der Verhältnismäßigkeit Entlastungen für die Betreiber geschaffen werden.

Zur Herbeiführung einer solchen ggf. erforderlichen Entlastung bestände die Möglichkeit, Deponien nach einem gewissen Zeitraum der kontrollierten Nach-

sorge durch eine entsprechende Gesetzesänderung in den Altlastenstatus nach BBodSchG übergehen zu lassen. Mit dem Übergang in ein anderes Rechtsregime und eine andere behördliche Zuständigkeit endet allerdings nicht notwendig die Aufgabenstellung der Deponienachsorge. Insbesondere wäre es nicht angängig, mit dem Übergang in das Bodenschutzrecht die Erwartung zu verbinden, nunmehr bestimmte Umweltrisiken hinnehmen zu können, die nach Abfallrecht ausgeschlossen werden müssen. So wäre beispielsweise kein sachlicher Grund ersichtlich, warum unter dem Regime des Bodenschutzrechts ein sukzessiver Funktionsverlust der Oberflächenabdichtung oder erhebliche Umweltbelastungen durch Sickerwasser hinnehmbar sein sollten. Denn die entsprechenden Anforderungen des Abfallrechts an Deponiestilllegung und -achsorge dienen der langfristigen und dauerhaften Verhütung von Umwelt Risiken. Wird das Schutzniveau nach Ablauf einiger Jahrzehnte zu Lebzeiten „künftiger Generationen“ gesenkt, so stellt sich unmittelbar die Gegenfrage, warum dann an dem höheren Schutzniveau zu „unseren“ Lebzeiten festgehalten werden müsste. Dies wäre nicht nur ein Wertungswiderspruch, sondern würde auch dem Grundsatz der Nachhaltigkeit zuwider laufen. Bei einer Neubestimmung der Schnittstelle zum Bodenschutzrecht mit einem früheren Übergang von stillgelegten Deponien in den Altlastenstatus wäre deshalb als generelle Anforderung zu formulieren, dass unter dem Regime des Bodenschutzrechts die Erfüllung der mit der Deponiestilllegung und -achsorge verfolgten Ziele zu kontrollieren und sicherzustellen ist. Dies hätte – insbesondere im Hinblick auf den Kreis der Verantwortlichen – verschiedene Vorteile, löst aber nicht das Problem der „ewigen“ Nachsorge.

Zwei andere Lösungsansätze sind in Betracht zu ziehen:

- Zum einen könnte durch eine entsprechende Änderung des KrW-/AbfG sowie der DepV allgemein vorgesehen werden, dass die Pflichten des Betreibers bezüglich der Funktionserhaltung der Oberflächenabdichtung und des Sickerwassermanagements nach einer bestimmten Nachsorgedauer (ggf. gestuft nach verschiedenen Deponietypen und dem vorhande-

nen Schadstoffinventar bzw. dessen mobilisierbarer Anteil) enden. Voraussetzung wäre, dass der Betreiber bis zu diesem Zeitpunkt seine Pflichten ordnungsgemäß erfüllt hat. Nach diesem Zeitpunkt wäre der Übergang der Deponieüberwachung in die Allgemeinverantwortung vorzusehen. Die Restaufgaben der Nachsorge könnten hierauf spezialisierte Unternehmen im Auftrag der öffentlichen Hand erfüllen. Der rechtfertigende Grund für eine solche Enthftung der Deponiebetreiber von den Restaufgaben liegt darin, dass der Betreiber einer Abfalldeponie letztlich für die von der Gesellschaft produzierten Abfälle nur Verantwortung auf Zeit übernehmen kann. Wird er zeitlich unbegrenzt (über mehrere Generationen und über die gewöhnliche Lebensdauer eines Unternehmens hinaus) in die Pflicht genommen, so wäre diese Aufgabe nicht mehr zu wirtschaftlichen Bedingungen zu bewältigen.

- Die zweite Alternative bestände darin, eine **gestufte** Entlassung aus der Nachsorge vorzusehen. So könnte man die Deponie nach ca. 10 - 50 Jahren (je nach Deponietyp) unter Berücksichtigung der bis dahin erledigten Nachsorgeaufgaben aus der Nachsorge entlassen. Die Nachsorge würde sich dann nur noch auf die verbleibenden Langfristaufgaben (z.B. Kontrolle der Oberflächenabdichtung, Instandhaltung der Sickerwasserableitung) erstrecken. Für diese Restaufgaben könnte u.E. durchaus weiterhin dem Betreiber die rechtliche Verantwortung zugeordnet werden. Es wäre dann aber vorzusehen, dass der Betreiber seine Verantwortung auf Dritte – z.B. geeignete Unternehmen – übertragen kann. Hierzu wären entsprechende Organisationsregelungen zu schaffen. Praktisch könnte die Übertragung in der Weise erfolgen, dass der Betreiber mit Zustimmung der zuständigen Abfallbehörde die Verantwortung auf ein geeignetes Unternehmen überträgt (das ggf. zahlreiche solche Deponien in der Region „nachsorgt“) und dem Unternehmen hierfür den kapitalisierten (abgezinsten) Betrag der geschätzten Nachsorgekosten zahlt.

9.2.2 Zukünftige Bearbeitungsschritte

Auf der Grundlage dieser Studie können zukünftig folgende Arbeitsschritte weiterverfolgt werden:

- Erweiterung der Vorschläge für die Begrenzung der zulässigen Emissionen und Immissionen um weitere Parameter. Bisher wurden die quantitativen Kriterien anhand von vier „Leitparametern“ (CSB, $N_{\text{ges.}}$, CI und AOX) entwickelt. Es kann eine Erweiterung auf die Parameter des Anhangs 2 der AbfAbIV vorgenommen werden, so dass sich eine Systematik zu den Zielwerten der Abfallfeststoffbeschaffenheit bzw. zu den Eluatwerten ergibt.
- Fortschreibung und Erweiterung der quantitativen Vorschläge auf der Grundlage neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und der umfangreichen Monitoringergebnisse, die in der Stilllegungs- und Nachsorgephase der bis zum 31.05.2005 geschlossenen Deponien erzielt werden sollten.
- Weiterverfolgung und vertiefte Ausarbeitung der rechtlichen Vorschläge im Hinblick auf eine Überarbeitung der Deponieverordnung bzw. Zusammenführung der einschlägigen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zur Abfallbehandlung und -deponierung.
- Einbeziehung der aeroben in situ Stabilisierung in eine überarbeitete Deponieverordnung vergleichbar den Regelungen zur Wasserinfiltration gemäß § 14 Abs. 8 der DepV. Dazu sollten Anforderungen an einen kontrollierten Betrieb, ein verfahrensbegleitendes Überwachungsprogramm und eine qualifizierte Abluftreinigung festgelegt werden.
- Berücksichtigung zukünftiger Empfehlungen aus dem BMBF-Verbundvorhaben KORA für eine standortspezifische Untersuchung und eine schutzgutspezifische Gefahren- und Schadensbewertung für langfristige Restemissionen.
- Festlegung von quantitativen Kriterien auf der Grundlage der Vorschläge dieser Studie und Integration in bestehende oder zukünftige Regelwerke, um das übergeordnete Ziel einer nachsorgefreien Deponie zu erreichen.

„Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“ FKZ 204 34 327, Schlussbericht März 2006

Als eine wesentliche Voraussetzung zur Entlassung aus der Nachsorge wird der emissionsarme Deponiekörper mit entsprechenden quantitativen Kriterien definiert.

10 Literatur

- Andreas, L. (2000): Langzeitemissionsverhalten von Deponien für Siedlungsabfälle in den neuen Bundesländern. Dissertation, TU Dresden 2000, unveröffentlicht
- Barghorn, M. et al. (1986): BHMA - Bundesweite Hausmüllanalyse 1983 – 1985. BMFT Forschungsbericht 10303508 im Auftrag des BMU, Berlin 1986
- Bartl, U. (2005): Deponieabschluss: Vom Deponiebetrieb zur Nachsorge: Aufgabe, Wege und Lösungen. In: Tagung und Lehrgang Potsdam, Hrsg. DAS-IB GmbH
- Bay. LfU (2003): Abschlussbericht, Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
- Bilitewski, B. Heilmann, A. (1994): Rotteverfahren als Alternative; in: Abwassertechnische Vereinigung (ATV) (Hrsg.): ATV Bundestagung 1994, Berichte der ATV e.V., Nr. 44, Hennef, 1994
- BMBF (2000): Prognose des Schadstoffeintrages in das Grundwasser mit dem Sickerwasser (Sickerwasserprognose)
- BMU/LAGA (2002): Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 51 Abwasserordnung: Oberirdische Ablagerung von Abfällen
- Bode, R. (2005): Auslaugung anorganischer Schadstoffe aus Abfall- und Altlastenmaterialien, Vergleich von Lysimeterversuchen mit Ergebnissen gängiger Prognoseverfahren. Georg-August-Universität, Göttingen
- Bräcker, W., Gerdes, G., Engeser, B. (2004): Auslöseschwellen und Maßnahmenpläne nach §9 Deponieverordnung. Abfallwirtschaftsfakten 9, NLÖ, Hildesheim
- Brauns, J. Kast, K., Schneider, H. (1997): Forstwirtschaftliche Rekultivierung von Deponien mit TA Siedlungsabfall-konformer Oberflächenabdichtung. Handbuch Abfall, Hrsg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- Collins, H.J., Kölsch, F., Ziehmann, G. (1997): Veränderung des Tragverhaltens und der mechanischen Eigenschaften von Abfällen durch Alterung und Abbau. Abschlußbericht zum DFG-Verbundvorhaben "Geotechnik der Abfallstoffe", TU Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau
- Dohmann, M., Wirtz, A., Kabbe, G., Roos, H.-J., Forge, F. (1997): Emissionsverhalten umweltrelevanter Schadstoffe in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Abfalls und der Standzeit der Deponie. BMBF-Verbundvorhaben Deponiekörper Teilvorhaben 3, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen 1997

- Düser, O. (2003): Auslaugung von Bauschutt, Vergleich von DIN-, Schnell- und naturnahen Verfahren. In: Müll und Abfall 9, S. 479 - 483
- Ehrig, H.-J., Brinkmann, U., Höring, K. Helfer, A. (1997): Untersuchung des Gefährdungspotentials, Deponie- und Langzeitverhalten vorbehandelter z.T. separierter Siedlungsabfälle. Bericht zum Teilvorhaben 6 im BMBF-Verbundvorhaben „Deponiekörper“, BUGH Wuppertal.
- Ehrig, H.-J., Brinkmann, U. (1998): Verbundvorhaben Deponiekörper, Zusammenfassender Abschlussbericht zum Arbeitsgebiet Siedlungsabfälle (Teilvorhaben 3-7).
- Faulstich (1996): Rückstände aus der thermischen Restabfallbehandlung in Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 83, Thermischer Restabfallbehandlung, Hrsg. Bilitewski/Faulstich/Urban, Erich Schmidt Verlag Berlin, 1996
- Heil, J. (1996): Konventionelle und neue thermische Verfahren im Vergleich. Aus Abfallwirtschaftsfakten 83: Thermische Restabfallbehandlung, Hrsg. Bilitewski, Faulstich, Urban, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Hermann, T., Plickert, S., Thrän, D (2001): Behandlungsverfahren. Aus Mechanisch-biologische Abfallbehandlung: Technologien, Ablagerungsverhalten und Bewertung, Hrsg. Soyezy, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Heyer, K.-U. (2003): Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge. Hamburger Berichte Band 21, Verlag Abfall aktuell, Hamburg 2003
- Hirschmann, G., Förster, U. (1997): Auswertung der Umfrage bei allen Müllverbrennungsanlagen Deutschlands
- Huber, W., Schatz, S., Quentin, A. (2002): Statistische Auswertung des Sickerwasseranfalls auf bayerischen Deponien. Projekt 3260 des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Augsburg, bearbeitet von A&U GmbH, Augsburg
- IGW (2005): Wissenschaftliche Begleitung MBA Buchen. Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen Fricke& Turk GmbH, TU Braunschweig
- Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J., Wahlström, M., Mroveh, U. (2005): Impacts of co-disposing MBP waste with MSWI bottom ash on leachate quality – lab-scale tests. In: Sardinia 2005. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium. Proceedings.
- Kerndorff, H., Kühn, S., Minden, Th., Orlikowski, D., Struppe, Th. (2006): Emissionsverhalten von Deponien und Identifikation von NA-Prozessen. In: Deponietechnik 2006, Hrsg: Stegmann, Rettenberger, Bidlingmaier, Bilitewski, Fricke. Hamburger Berichte Band 29, Verlag Abfall aktuell, Hamburg 2006
- Klein, R. (2002): Wasser-, Stoff- und Energiebilanz von Deponien aus Müllverbrennungsschlacken. Dissertation an der Fakultät für Chemie der Technischen Universität München, München 2002

- Kölsch, F. (1994): Ursachen von Sackungen und Setzungen im Deponiekörper und deren Auswirkungen auf Deponieoberflächen. In: Geotechnische Probleme im Deponie- und Dichtwandbau (Hrsg.: W. Rodatz, O. Hemker, M. Horst, J. Kayser), Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, Heft 43, 323-340
- Krümpelbeck, I. (2000): Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien. Bergische Universität Wuppertal, Heft 3
- Kruse, K. (1994): Langfristiges Emissionsgeschehen von Siedlungsabfalldeponien, Heft 54 des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Braunschweig, ISSN 0934-9731
- LAGA (1999): Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen, Themenbereich Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen, Rekultivierung
- LAGA (2000): Einsatz von Bentonitmatten. LAGA-Arbeitsgruppe „Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen“; verabschiedet von der LAGA-AG und Billigung durch den ATA und die LAGA in Hannover.
- LAGA (2000): Rekultivierung. Arbeitspapier
- LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
- Lechner, P., Humer, M. (2000): Technischer Aufbau einer Deponieabdeckschicht zum Zweck der Methanoxidation. In: Deponietechnik 2000, Hrsg. Stegmann, Rettenberger, Bidlingmaier, Ehrig. Hamburger Berichte Band 16, Verlag Abfall aktuell, Hamburg 2000
- Lechner, P. (2005): Emissionsverhalten von MVA-Aschen und MVA-Schlacken. Aus Beiträge zur Abfallwirtschaft / Altlasten Band 12, Perspektiven von Deponien – Stilllegung und Nachnutzung nach 2005, Hrsg. Bilitewski, Werner, Stegmann, Rettenberger, TU Dresden September 2005
- LUA NRW (2005): Materialien Band 69: Ablagerungs- und Emissionsverhalten von Restabfällen nach unterschiedlicher Art der Vorbehandlung – Synopse –
- MBT (1992): Emissionsabschätzung für Kehrrichtschlacke (Projekt EKESA), MBT Umwelttechnik AG, Zürich, Seite 115
- Meul, C., Merzten, M., Kollbach, J.-St. (1998/99): Sickerwasserreinigung, Deponiegasverwertung, MBA vor dem Hintergrund der Deponienachsorge. Klenks Druck und Verlag GmbH, Aachen
- Münnich, K., Fricke, K. (2005): Qualität von Sicker- und Oberflächenwasser von MBA-Deponien. In: Münsteraner Schriften zur Abfallwirtschaft – Band 8 – 9. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Hrsg. Bidlingmaier, Doedens, Gallenkemper, Stegmann, Fachhochschule Münster

- Münnich, K., Bauer, J., Fricke, K. (2006): Ablagerung von MBA-Material – Konsequenzen für Bau und Betrieb der Deponie. In: Deponietechnik 2006, Hrsg: Stegmann, Rettenberger, Bidlingmaier, Bilitewski, Fricke. Hamburger Berichte Band 29, Verlag Abfall aktuell, Hamburg 2006
- N.N. (1991): Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TAA - TA Abfall) vom 12. März 1991, GMBI. S. 139, 167, 469
- N.N. (1993): Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TASI - TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, Bundesanzeiger Nr. 99a
- N.N. (1994): Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) vom 27. September 1994, zuletzt geändert am 27. Juli 2001, Bundesanzeiger
- N.N. (1996): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer; AbwV - Abwasserverordnung, Anhang 51: Oberirdische Ablagerung von Abfällen
- N.N. (1997): Verordnung über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe - GrwV
- N.N. (1999): EG-Deponierichtlinie (EG-DeponieRL), Richtlinie 1999/31/EG vom 26. April über Abfalldeponien (ABl. EG Nr. L 182)
- N.N. (1999): Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV
- N.N. (2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen (AbfAbIV - Abfallablagerungsverordnung) vom 20. Februar 2001, BGBl I 2001, 305, geändert durch Art. 2 vom 24.07.2002, I 2807
- N.N. (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV - Deponieverordnung) vom 24. Juli 2002 BGBl I 2002, 2807
- N.N. (2002): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, WHG - Wasserhaushaltsgesetz
- Ramke, H.G. (1992): Druck-Setzungsverhalten biologisch vorbehandelten Hausmülls. In: Standsicherheiten im Deponiebau (Hrsg.: W. Rodatz), Fachseminar, Braunschweig, 81-118
- Ramke, H.G. (2006): Wasserhaushalt abgedichteter Deponien. In: Kranert (Hrsg.): Zeitgemäße Deponietechnik 2006 – Weiterbetrieb, Stilllegung und Nachsorge von Deponien –. Vertiefersseminar an der Universität Stuttgart am 14.03.2006, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 87, Oldenbourg Industrieverlag
- Rettenberger, G., Mezger, H. (1992): Der Deponiegashaushalt in Alt- ablagerungen – Leitfaden Deponiegas -. Materialien zur Altlasten- bearbeitung, 10, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

- Rettenberger, G., Urban-Kiss, S. (1997): Durchführung von Deponiegasmessungen an der Geländeoberfläche (Entwurf), Handlungsanweisung erstellt für Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- Rettenberger, G. (2001): Überwachung und Kontrolle von Methanemissionen aus Deponien. In: Hamburger Berichte 17 - Abluft 2001, Biologische Abfallbehandlung - Emissionen und deren Behandlung, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart
- Schenk, D., Hofmann, Th., Karnath, M. (2003): Elution von Schadstoffen aus Recyclingmaterialien im Bauwesen, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Universität Mainz
- Soyez, K., Hermann, T., Koller, M., Plickert, S., Thrän, D. (2001): Verbundvorhaben „Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen“ Gesamtdarstellung der wissenschaftlichen Ergebnisse, Projekt Teil 1, Teilvorhaben TV1, BMBF
- Stegmann, R., Bilitewski, B. (Hrsg.): Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallbeseitigung. Beiheft zu Müll und Abfall, Heft 33, Erich Schmidt Verlag Berlin, 1997
- Wiemer, K. (1983): Die Ablagerungsdichte von Abfällen und Setzungen von Deponien. In: Müll-Handbuch, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Willand, A./Großmann: Ermessenskriterien für die Entscheidung über die Sanierung von altlastenbedingten Grundwasserschäden, altlasten spektrum 6/2002, 277-287
- Willand, A.: Rechtliche Probleme der Grundwassersanierung: Sanierungsziele, Wirksamkeitsprognose für Maßnahmen und Natural Attenuation, altlasten spektrum 2/2005, 76-86
- Ziehmann, G., Münnich, K., Fricke, K. (2000): Setzungen des Deponiekörpers und ihre Bedeutung für die Funktionssicherheit von Oberflächenabdichtungen. Geotechnik, 23 (4), 282-288

Bearbeitung des Schlussberichts durch:

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann

Tel.: 040 / 77 11 07 41

Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer

Tel.: 040 / 77 11 07 42

Dr.-Ing. Karsten Hupe

Tel.: 040 / 77 11 07 41

Dipl.-Ing. Astrid Koop

Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft

Fax: 040 / 77 11 07 43

Prof. R. Stegmann und Partner

Schellerdamm 19 - 21

21079 Hamburg

e-mail: stegmann@ifas-hamburg.de

<http://www.ifas-hamburg.de>

Unterauftragnehmer für rechtliche Betrachtungen:

Dr. Achim Willand

Tel.: 030 / 726 10 26 - 0

Fax: 030 / 726 10 26 -10

Rechtsanwälte Gaßner, Groth, Siederer & Coll., Berlin

Energieforum Berlin

Stralauer Platz 34

10243 Berlin

e-mail: Berlin@GGSC.de

<http://www.ggsc.de>

März 2006

