

# Deponieemissionen in Luft und Wasser im Rahmen des Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER)

Carsten Cuhls

Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer, gewitra mbH

## 1 Einleitung

Durch die KOM-Entscheidung vom 17.7.2000 über den Aufbau eines Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER) gemäß Artikel 15 der Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IPPC) wurden Einzelheiten der Emissionserklärung verbindlich festgelegt. Gemäß Anhang I Nr. 5.4 ist für Deponien mit einer Aufnahmekapazität von über 10 t pro Tag oder einer Gesamtkapazität von über 25.000 t/a im Jahr 2003 der erste Bericht vorgelegt worden. Diese vorgelegte Emissionserklärung enthält Angaben über Emissionen aus dem Jahr 2001. Wenn zu erwarten ist, dass die Emissionen die in Tab. 1 vorgegebenen Schwellenwerte überschreiten, sind die von der Deponie ausgehenden Schadstoffemissionen in die Luft (gefasste und diffuse Emissionen) und über das Sickerwasser, soweit es gefasst und abgeleitet wird, zu dokumentieren. Die aufgeführte Parameterliste ist allgemein für das EPER-Programm gültig und somit nicht nur deponiespezifisch. Daher umfasst die Parameterliste auch Parameter, die für Emissionen aus Deponien nicht relevant sind. Der Parameterumfang des Schadstoffemissionsregisters geht sowohl beim Sickerwasser als auch beim Deponiegas über die durch die aktuellen Rechtsvorschriften geforderte Überwachungsmaßnahmen hinaus. Über die Konzentrationen der bisher nicht überwachten Stoffe im Deponiegas und im Sickerwasser liegen derzeit keine ausreichenden Informationen vor. Prognosen, bei welcher Größe der Deponie oder bei welchen Werten für Summenparameter davon ausgegangen werden kann, dass die Schwellenwerte für einzelne Parameter überschritten werden, sind derzeit allgemein für Deponien pauschal nicht möglich. Die vorliegenden Ergebnisse für das erste Berichtsjahr 2001 resultieren im wesentlichen aus einer Vorgabe des Umweltbundesamtes (UBA), die hier vorgestellt wird. Die Emissionserklärung in die Luft wurde vereinfacht auf den Parameter **Methan** (CH<sub>4</sub>) reduziert. Die Emissionen aus Deponien für Siedlungsabfälle in das Wasser konzentrieren sich auf die Parameter **TOC** (als ges.C oder CSB/3) und **Summe-Stickstoff** (als N).

## 2 European Pollutant Emission Register (EPER)

**Tabelle 1** Verzeichnis der bei Überschreitung des Schwellenwertes zu meldenden Schadstoffe (Anhang A1 der KOM-Entscheidung, 2000/479/EG)

Schadstoffe / Stoffe	Feststellung	Luft	Wasser	Schwellenwert Luft in kg/Jahr	Schwellenwert Wasser in kg/Jahr
<b>1. Umweltprobleme</b>					
CH <sub>4</sub>		x		100 000	
CO		x		500 000	
CO <sub>2</sub>		x		100 000 000	
HFC		x		100	
N <sub>2</sub> O		x		10 000	
NH <sub>3</sub>		x		10 000	
NMVOG		x		100 000	
NO <sub>x</sub>	als NO <sub>2</sub>	x		100 000	
PFC		x		100	
SF <sub>6</sub>		x		50	
SO <sub>x</sub>	als SO <sub>2</sub>	x		150 000	
Summe – Stickstoff	als N		X		50 000
Summe – Phosphor	als P		X		5 000
<b>2. Metalle und ihre Verbindungen</b>					
As und Verbindungen	als As – ges.	x	X	20	5
Cd und Verbindungen	als Cd – ges.	x	X	10	5
Cr und Verbindungen	als Cr – ges.	x	X	100	50
Cu und Verbindungen	als Cu- ges.	x	X	100	50
Hg und Verbindungen	als Hg – ges.	x	X	10	1
Ni und Verbindungen	als Ni – ges.	x	X	50	20
Pb und Verbindungen	als Pb- ges.	x	X	200	20
Zn und Verbindungen	als Zn – ges.	x	X	200	100
<b>3. Chlorhaltige organische Stoffe</b>					
1,2-Dichlorethan (DCE)		x	X	1 000	10
Dichlormethan (DCM)		x	X	1 000	10
Chloralkane (C10-13)			X		1
Hexachlorbenzol (HCB)		x	X	10	1
Hexachlorbutadien (HCBd)			X		1
Hexachlorcyclohexan (HCH)		x	X	10	1
Halogenhaltige org. Verbindungen	als AOX		X		1000
PCDD+PCDF (Dioxine + Furane)	als Teq	x		0.001	
Pentachlorphenol (PCP)		x		10	
Tetrachlorethen (PER)		x		2 000	
Tetrachlormethan (TCM)		x		100	
Trichlorbenzol (TCB)		x		10	
1,1,1-Trichlorethan (TCE)		x		100	
Trichlorethen (TRI)		x		2 000	
Trichlormethan		x		500	
<b>4. Sonstige org. Verbindungen</b>					
Benzol		x		1 000	
Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole	als BTEX		X		200
Bromierte Diphenylether			X		1
Organische Zinnverbindungen	als ges. Sn		X		50
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe		x	X	50	5
Phenole	als ges. C		X		20
Organischer Kohlenstoff insgesamt (TOC)	als ges. C oder COD/3		X		50 000
<b>5. Sonstige Verbindungen</b>					
Chloride	als ges. Cl		X		2 000 000
Chlor und anorganische Chlorverbindungen	als HCl	x		10 000	
Cyanide	als ges. CN		X		50
Fluoride	als ges. F		X		2 000
Fluor und anorganische Fluorverbindungen	als HF	x		5 000	
HCN		x		200	
PM10		x		50 000	

**Tabelle 2** Verzeichnis der bei Überschreitung des Schwellenwertes zu meldenden Schadstoffe (Anhang A1 der KOM-Entscheidung, 2000/479/EG)

IPPC	Anhang I-Tätigkeiten (Quellenkategorien)	NOSE-P	NOSE-P Verfahren (Zuordnung zu NOSE-P Gruppen)	SNAP 2
5.	<b>Abfallbehandlung</b>			
5.1./5.2.	Anlagen zur Entsorgung oder Verwertung von gefährlichen Abfällen (>10 t / Tag) oder Siedlungsmüll (>3 t / Stunde)	109.03 <b>109.06</b> 109.07 105.14	Verbrennung von gefährlichen Abfällen oder Siedlungsmüll (Müllverbrennung und Pyrolyse) <b>Deponien</b> (Entsorgung fester Abfälle an Land) Physikalisch-chemische und biologische Abfallbehandlung (Sonstige Abfallbehandlung) Rückgewinnung/Verwertung von Abfallstoffen (Recycling-Industrie)	0902 <b>0904</b> 0910 0910
5.3./5.4.	Anlagen zur Beseitigung ungefährlicher Abfälle (>50 t / Tag) und Deponien (>10 t / Tag)	<b>109.06</b> 109.07	<b>Deponien</b> (Entsorgung fester Abfälle an Land) Physikalisch-chemische und biologische Abfallbehandlung (Sonstige Abfallbehandlung)	<b>0904</b> 0910

**Schwellenwerte Luft**

**a) Ermittlung der diffus entweichenden Gasmenge**

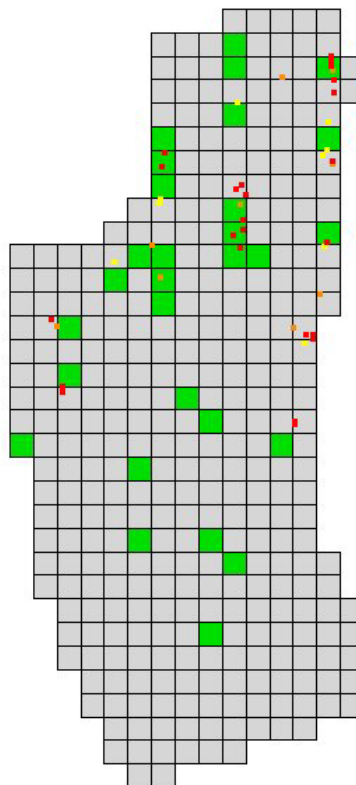


Abb. 1: Ergebnisdarstellung einer FID-Begehung einer Deponieoberfläche

Die Ermittlung der Oberflächenemissionen von Deponien erfolgt in 2 Arbeitsstufen. In der ersten Stufe erfolgt mit Hilfe eines tragbaren Flammenionisationsdetektors (FID) eine Lokalisierung von Emissionsschwerpunkten. Dieser Teilschritt wird allgemein als „FID-Begehung“ bezeichnet und ist bereits in der TA Siedlungsabfall als Forderung enthalten (Abb. 1). Bisher gibt es jedoch für diese Art der Messung keine einheitliche Vorgehensweise.

Im Rahmen der FID-Begehung wird ein Messraster über die Deponieoberfläche projiziert, und es werden in jedem Rasterfeld mindestens 2 punktuelle Methankonzentrationsmessungen unmittelbar an der Deponieoberfläche durchgeführt. Die ermittelten Konzentrationswerte werden verschiedenen Emissionsklassen zugeordnet und in einen Lageplan eingetragen. Das Ergebnis dieser Vorgehensweise ist der in Abb.1 dargestellte Übersichtsplan mit Lage der Emissionsbereiche und aufgetretenen Emissionsklassen. Näherungsweise können diese Emissionsklassen zur Abschätzung der Emissionsrate herangezogen werden.

Wird eine noch festzulegende Häufigkeit der einzelnen Emissionsklassen überschritten, ist ein zweiter Arbeitsschritt mit der Quantifizierung der emittierten Massenströme erforderlich. Da bei der Emissionserklärung für Deponien insbesondere auch die diffusen Emissionen in die Luft zu berücksichtigen sind, ist es eigentlich notwendig den diffus emittierende Gasvolumenstrom zu bestimmen. Hierzu erfolgen Vergleichsmessungen mit statischen Hauben und durchströmten Windtunneln bzw. dynamischen Hauben (vgl. VDI 3790, Blatt 2).

Bei der statischen Haubenmessung wird aus der Konzentrationsänderung des zu messenden Stoffes die Quellstärke der durch die Haube überdeckten Fläche abgeschätzt. Hierbei wird zunächst eine Haube auf die Oberfläche aufgesetzt und mit Neutralluft gespült. Unmittelbar nach Aufsetzen der Haube wird eine Gasprobe zur Konzentrationsbestimmung entnommen. Nach einer vorgegebenen Zeit wird eine 2. Gasprobe entnommen, in der ebenfalls der Konzentrationswert bestimmt wird. Durch Differenzbildung der beiden Konzentrationswerte kann die Quellstärke ermittelt werden:

$$\dot{q} = (c_2 - c_1) \cdot V_H / (A_H \cdot \Delta t) \quad \text{Dabei ist}$$

$\dot{q}$	flächenbezogene Quellstärke
$c_t$	Konzentrationswerte zum Zeitpunkt $t$ ; $t = 1, 2$
$V_H$	Volumen der Haube
$A_H$	die von der Haube abgedeckte Fläche
$\Delta t$	Zeitspanne zwischen den beiden Konzentrationsmessungen in

Die Anwendung der Methode ist auf den Bereich des linearen Konzentrationsanstieges beschränkt. Je nach der zu untersuchenden Komponente kann die Konzentrationsbestimmung auch als direktanzeigende online Messung erfolgen. Hierbei ist der dem Analysator zugeführte Gasstrom entweder im Kreislauf zu führen, oder es sind die geometrischen Verhältnisse so anzupassen, dass die kontinuierliche Entnahmerate nicht zu einer relevanten Beeinflussung der zu ermittelnden Konzentrationen führen kann.

Im Unterschied zu den statischen Haubenmessungen erfolgt beim Windtunnel die Simulation des Windes durch einen mittels Gebläse erzeugten Luftstrom (Abb. 2). Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel sollte hierbei im Bereich zwischen 0,5 bis 1 m/s liegen. Die aus der Fläche emittierten Stoffe werden vom Luftstrom aufgenommen und fortgeleitet.

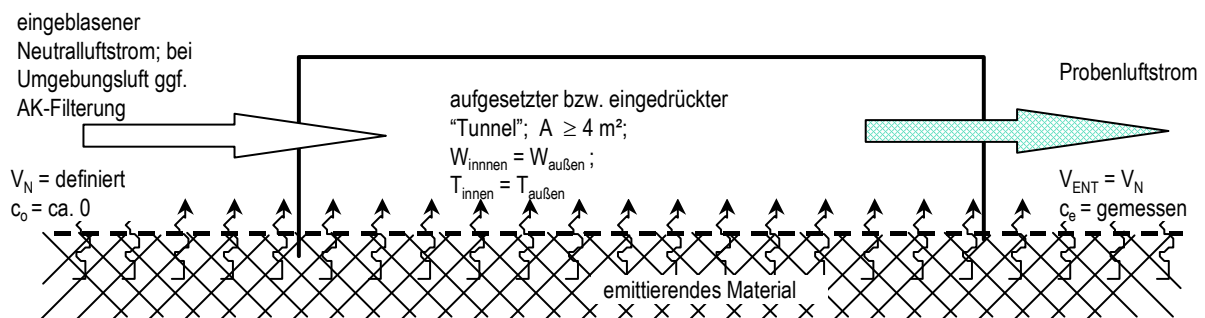


Abb. 2: Prinzip Windtunnelmessung

Der Tunnel wird auf den zu untersuchenden Flächen aufgesetzt und an der Basis rundherum gegen unkontrollierte Luftaus- bzw. -zutritte abgedichtet. Über eine Zuleitung wird ein in Abhängigkeit des Tunnelquerschnittes festgelegter Luftstrom zugeführt. Am Ende des Tunnels befindet sich ein Abluftrohr aus dem entweder eine Gasprobe zur Konzentrationsbestimmung entnommen wird oder eine kontinuierliche Gaskonzentrationsmessung erfolgt. Auf Grund der hohen Verdünnungsrate ergeben sich für kontinuierliche Messgeräte jedoch sehr hohe Anforderungen an die Messempfindlichkeit. Zur Erzielung reproduzierbarer Ergebnisse ist eine kontinuierliche Messung des eingestellten Volumenstromes erforderlich. Die flächenbezogene Emissionsrate kann dann aus der am Abluftrohr ermittelten Konzentration, der gewählten Grundfläche und dem eingestellten Volumenstrom ermittelt werden:

$$\dot{q} = c \cdot \dot{V} / A \quad \text{Dabei ist}$$

$\dot{q}$  flächenbezogene Emissionsstärke

- c Konzentrationswert im Abluftrohr
- $\dot{V}$  eingestellter Luftvolumenstrom
- A Grundfläche des Tunnels

### **b) Ermittlung der Spurenstoffe im Deponiegas**

Neben der Massenstromermittlung ist zur Überprüfung der für die verschiedenen Einzelsubstanzen vorgegebenen Schwellenwerte die Kenntnis der aufgetretenen Konzentrationen erforderlich. Gemeinsames Kennzeichen vieler im Deponiegas auftretender und im Anhang A1 der KOM-Entscheidung (2000/479/EG) aufgeführter Einzelverbindungen ist das Vorhandensein von Chlor oder Fluor. Um bei den regelmäßig durchzuführenden Routineuntersuchungen den Aufwand zu reduzieren, sollten im ersten Arbeitsschritt zunächst nur Summenmessungen für Chlor und Fluor durchzuführen. Aufgrund der für Wickboldbestimmungen erforderlichen Gasvolumina und des bei geringen Volumina hohen Unsicherheitsbereiches, ist es empfehlenswert, das Aufschlussverfahren bereits vor Ort bei der Probenahme durchzuführen. Hierbei werden z.B. 100 Normliter Gas entnommen und unter definierten Temperatur- und Luftbedingungen oxidiert. Die Oxidationsprodukte werden vor-Ort in Absorptionslösungen überführt und aus diesen die Chlor- bzw. Fluorkonzentration ermittelt. Diese Methode ist im Rahmen spezieller Untersuchungen weiterzuentwickeln und zu validieren. Überschreiten die mit dieser Methode ermittelten Fluor- und Chlorkonzentrationen bestimmte Sollwerte (ca. 30 mg/m<sup>3</sup> bei Fluor und ca. 5 mg/m<sup>3</sup> bei Chlor) ist eine Überschreitung der in Anhang A1 aufgeführten Schwellenwerte möglich und im Rahmen der Routineuntersuchungen ein zweiter Arbeitsschritt zur Bestimmung der in Anhang A1 aufgeführten Einzelkomponenten erforderlich. In Abhängigkeit im ersten Arbeitsschritt ermittelten Chlor- bzw. Fluorkonzentration kann sich der Umfang der Parameterliste (HFC, PFC, SF<sub>6</sub>) entsprechend verringern.

Auf Grund der chemischen Vorgänge und physikalischen Randbedingungen ist davon auszugehen, dass die Gruppe der Metallverbindungen im eigentlichen Deponiegas nicht auftritt. Untersuchungen des Deponiegases der Deponie Aßlar (Feldmann, 1994) zeigen jedoch, dass flüchtige Spezies der Metalle Arsen (max. 49 µg/m<sup>3</sup>), Antimon (max 72 µg/m<sup>3</sup>) und Zinn (max. 35 µg/m<sup>3</sup>) vorkommen, die vermutlich biologisch gebildet werden. Die Elemente liegen hauptsächlich als methylierte Verbindungen im Deponiegas vor. Theoretisch könnten zusätzlich bei der Deponiegasverwertung durch mechanischen Abrieb bzw. durch Additive im Motoröl Schwermetallverbindungen ins Abgas gelangen. Als potentielle Parameter wären hierbei die Substanzen Cd, Cr, Cu und Ni zu sehen. Diesbezügliche Untersuchungen wurden bisher nur in wenigen Einzelfällen (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 1991 und 1994) durchgeführt und erfassten nicht alle im Anhang A1 Nr.2 aufgeführten Metallverbindungen. Insgesamt ist jedoch

davon auszugehen, dass die Schwellenwerte (min. 10 kg/a) für Metalle sicher nicht erreicht werden.

Eine weitere mögliche Emissionsquelle für Schwermetallverbindungen und möglicherweise PM10 Emissionen sind windinduzierte Staubverwehungen von der Deponieoberfläche. Daten hierzu liegen ebenfalls nur spärlich vor. Zieht man die in der VDI-Richtlinie 3790 aufgeführten Emissionsfaktoren für eine Modellrechnung heran, erkennt man, dass bereits bei mittleren Emissionsansätzen für die Staubbefreiung (300g/Ablade- bzw. Einbauvorgang und 3g/lfm Meter Fahrstrecke) und 100 täglichen Anlieferungen bei einer Deponiefahrstrecke von 400 m eine theoretische jährliche Staubemission (Deposition und Feuchteinflüsse unberücksichtigt) von ca. 60.000 kg/a hervorgerufen wird. Wie hoch hierbei der Feinstaubanteil liegt, ist derzeit unbekannt. Ebenso liegen keine belastbaren Daten hinsichtlich der realen Staubbefreiung bei unterschiedlichen Deponietypen vor.

Bei Überschreitung des Schwellenwertes für Methan (100.000 kg/a) können für eine Deponie zur Orientierung folgende Deponiegaskonzentrationen eines Stoffes des Anhangs A1 als kritisch betrachtet werden:

Konzentrationen von ca. 50 mg/m<sup>3</sup> im Deponiegas bei einem Schwellenwert von 1 kg/a.

### **c) Ermittlung von PM10 Stäuben aus diffusen Quellen**

Wie die zuvor beschriebene Erstabschätzung zeigte, kann es im Deponiebereich zu Staubbefreiungen in relevanten Größenordnungen kommen. Als Emissionsquellen sind hier vornehmlich Fahrzeugbewegungen, Ablade- und Einbauvorgänge zu sehen. Derzeit existieren keine Erkenntnisse hinsichtlich der hierbei auftretenden PM10 Staubanteile.

### **d) Emissionen in die Luft aus gefassten Quellen**

Hierbei handelt es sich um die Abgasemissionen aus der Deponieentgasung. Zu berücksichtigen sind Abgase aus Gasmotoren zur energetischen Deponiegasnutzung und Abgase aus Gasfackeln zur schadlosen Deponiegasentsorgung. Für die Erstellung der Emissionserklärung sind neben den in der TA Luft geforderten Parametern CO, Ges-C, NO<sub>x</sub>, HCl und HF noch folgende weitere Parameter erforderlich: N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>-Schlupf, PAK sowie Dioxine/Furane. Um eine Abschätzung der Relevanz der in Anhang A1 aufgeführten Einzelverbindungen zu ermöglichen, wurde in einem ersten Arbeitsschritt eine Modellrechnung für eine Deponie mit 2 Motorenkraftwerken á 250 kW<sub>elektr</sub> (Normabgasvolumenstrom ca. 3.000 m<sup>3</sup>/h) und einer geschätztem diffusen Emissionsrate von ca. 200 m<sup>3</sup>/h (realistischer Wert für mittelmäßige Deponiegaserfassung) durchgeführt. Anhand der bei der Deponiegasverwertung entstehenden Abgasmenge, des angesetzten diffusen Emissionsanteils und der vorgegebenen Jahresschwellenwerte konnten so

die im Deponiegas maximal zulässigen Stoffkonzentrationen bzw. bei Methan die maximal zulässige diffuse Emissionsrate ermittelt werden. Anhand dieser Modellrechnung zeigte sich, dass bei allen organischen Spurenstoffen mit einem Schwellenwert von 100 kg/a und kleiner relevante Konzentrationen im Rohgas vorliegen können. Anzumerken ist noch, dass die Gruppe der HFC und PFC sowie die Einzelverbindungen SF<sub>6</sub>, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Hexachlorcyclohexan, Pentachlorphenol, Trichlorbenzol und HCN bisher bei Deponiegasuntersuchungen nicht routinemäßig analysiert werden und von daher für diese Stoffe keine bekannten Konzentrationswerte vorliegen.

### **Schwellenwerte Wasser**

Bezüglich der gefassten Sickerwasseremissionen ist die verfügbare Datenlage abgesehen von TOC, N, P, Schwermetallen und Chlorid nur für den Parameter AOX als gesichert zu bezeichnen. Hierzu liegen umfangreiche Datenauswertungen von EHRIG / KRÜMPELBECK vor. Demnach ist in Sickerwässern von Siedlungsabfalldeponien mit AOX-Werten zwischen 500 und 1.500 µg/L zu rechnen, Spitzenwerte liegen im Bereich von 6.000 bis 8.000 µg/L. Die derzeit in Betrieb befindlichen Sickerwasserreinigungsanlagen erreichen AOX-Eliminationsgrade von ca. 90%. Einzelstoffbezogene Untersuchungen von chlorhaltigen organischen Stoffen stellten bislang eher die Ausnahme dar, so dass die Emissionssituation für die in Anhang A1 aufgeführten Einzelverbindungen sowie für den AOX als unklar zu bezeichnen ist.

Ähnlich ist die Situation für die sonstigen organischen Stoffe im Sickerwasser (Anhang 9, Nr. 4). Während die Datenlage für den Summenparameter TOC (bzw. CSB) als sehr gut zu bezeichnen ist, liegen für die Einzelverbindungen weniger brauchbare bis gar keine Analyseergebnisse vor. Insbesondere über PBDE und Zinnorganika im Sickerwasser ist äußerst wenig bekannt. Organische Zinnverbindungen sind seit etwa 1994 zumindest in Oberflächengewässern, Sedimenten und Klärschlämmen relativ gut untersucht.

Bezogen auf das Berichtsjahr 2001 liegen die Emissionen für TOC bei 658,9 t/a und für Summe-Stickstoff bei 715,4 t/a ([www.eper.de](http://www.eper.de)).

## **3 Ansatz für die Schätzung der luftseitigen Deponieemissionen für den ersten Berichtszeitraum, Erarbeitet durch das Umweltbundesamt - Berlin**

### **3.1 Schätzung der Methanemissionen für den ersten Bericht**

**Deponien mit annähernd gleichbleibenden Abfallmengen und Abfallqualitäten**



Der Ansatz zur Schätzung der Methanemissionen aus Deponien basiert weitgehend auf dem Bericht zum UBA-Vorhaben F&E-Vorhaben 299 42 245, "Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien", Teilbereich: Abfall/Abwasser Forschungsnehmer: ifeu und Öko-Institut e.V.

Die Berechnung erfolgt dort nach dem „Tier-1-Ansatz“ der ICCP-Methode. Dieser Ansatz bestimmt nicht die im Berichtsjahr tatsächlich emittierten Methanmengen, sondern die Emissionen, die aus den in diesem Jahr abgelagerten Abfallmengen erwartet werden. Bei Deponien mit gleichbleibenden Abfallmengen und Abfallqualitäten kann dieser Ansatz jedoch gleichermaßen zur Ermittlung der tatsächlichen Emissionen einer Deponie genutzt werden. Die rückläufige Methanbildung älter Deponieteile wird bei gleichbleibenden Deponiebetrieb durch die frisch abgelagerten Abfälle ausgeglichen.

### **Berechnung/Schätzung**

Die Berechnung der diffusen Methanemissionen (**Me**) wird nach folgender Gleichung durchgeführt:

$$\text{Formel 1: } \mathbf{Me \text{ (Mg/a)} = \mathbf{M \times DOC \times DOC_f \times F \times D \times C}}$$

M: Menge der jährlich abgelagerten Abfälle die zur Gasbildung beiträgt (Hausmüll, unbehandelter Siedlungsabfall oder ähnlicher Abfälle)

DOC: Anteil biologisch abbaubarer Kohlenstoff im Abfall (Mg C pro Mg Abfall)

DOC<sub>f</sub>: Anteil des unter Deponiebedingungen zu Deponiegas umgewandelten Kohlenstoffs

F: Faktor zur Umrechnung des umgesetzten Kohlenstoffs zu Methan

D: Anteil des nicht gefassten oder biologisch oxidierten Methans

C: Methankonzentration im Deponiegas

Für die Variablen werden zur Abschätzung der Deponiesituation folgende Werte bzw. Wertebereich vorgeschlagen:

DOC: 0,180 Mg biologisch abbaubarer Kohlenstoff pro Mg Hausmüll oder ähnlicher Siedlungsabfälle (Literaturangabe). Für andere Abfälle die zur Deponiegasentwicklung beitragen, können auch abweichende Kohlenstoffgehalte angesetzt werden.

DOC<sub>f</sub>: 50 % = 0,50; Literaturangaben (Rettenberger/Stegmann 1997)

F: Das Verhältnis der Molekulargewichte von Kohlenstoff (12 g/mol) und Methan (16 g/mol) ergibt den Faktor F= 1,33.

- D: Wird vom UBA für Deponie mit aktiver Entgasung und offenen Einbaubereichen durchschnittlicher Größe auf 40 % = 0,40 geschätzt. Für betriebene Deponien ohne Gasfassung wird die biologische Methanoxidation auf etwa 10 % geschätzt, so dass die Emission mit 90 % = 0,90 angenommen werden kann. Durch eine Oberflächenabdichtung erhöhen sich die möglichen Erfassungsgrade, so dass für D auch Werte kleiner 40 % möglich sind. Unter optimalen Bedingungen (z.B. aktive Deponiegasfassung, vollständig gedichtete Deponie, keine offenen Einbaubereiche) könnten die diffusen Methanemissionen auf unter 10 % reduziert werden.
- C: Die Literatur nennt für Deponiegas Methangehalte in einer bandbreite von 40 % - 60 %. Sofern der tatsächliche Methangehalt nicht bekannt ist, wird vorgeschlagen mit dem Mittelwert 55 % = 0,55 zu arbeiten.

### Beispiel 1:

Berechnung für eine Ablagerung von 1 Mg Abfall pro Jahr mit Werten für die Durchschnittsdeponie mit aktiver Deponiegasfassung

$$Me = M \times DOC \times DOC_f \times F \times D \times C$$

$$= 1 \text{ Mg/a} \times 0,180 \text{ Mg/Mg} \times 0,50 \times 1,33 \times 0,40 \times 0,55 = \underline{0,026 \text{ Mg/a}}$$

Ergebnis: Die diffusen Methanemissionen einer durchschnittlichen Deponie mit Gasfassung betragen jährlich 0,026 Mg CH<sub>4</sub> pro Mg abgelagerter Abfall.

### Beispiel 2:

Berechnung für eine Ablagerung von 1 Mg Abfall pro Jahr mit Werten für die Durchschnittsdeponie ohne Deponiegasfassung

$$Me = M \times DOC \times DOC_f \times F \times D \times C$$

$$= 1 \text{ Mg/a} \times 0,180 \text{ Mg/Mg} \times 0,50 \times 1,33 \times 0,90 \times 0,55 = \underline{0,059 \text{ Mg/a}}$$

Ergebnis: Die diffusen Methanemissionen einer durchschnittlichen Deponie ohne Gasfassung betragen jährlich 0,059 Mg CH<sub>4</sub> pro Mg abgelagerter Abfall.

### Deponien mit Ablagerung von wechselnden Abfallmengen

Für solche Deponien gestaltet sich die Berechnung schwierig. Zur Vereinfachung wird daher vorgeschlagen, im Rechenansatz (Formel 1) für M die durchschnittliche jährliche Ablagerung von gasbildenden Abfällen der letzten 10 Jahre anzusetzen. Dieser stark vereinfachende Ansatz berücksichtigt nicht den zeitlichen Verlauf (Abnahme) der Deponiegasbildung.

Die Halbwertszeit für die Deponiegasbildung beträgt etwa 5 Jahre. Nach 5 Jahren beträgt die Gasbildung noch 50 % und nach 10 Jahren noch 25 % des ursprünglichen Wertes. Dieser Verlauf kann bei Schätzung durch eine zeitliche Gewichtung berücksichtigt werden (Siehe Beispiel 4).

**Beispiel 3:**

Auf einer Deponie wurden folgende Abfallmengen abgelagert:

Jahr	Ablagerungsmenge (Mg/Jahr)
2001	10.000
2000	50.000
1999	10.000
1998	50.000
1997	10.000
1996	50.000
1995	10.000
1994	50.000
1993	10.000
1992	50.000
Summe	300.000

Die durchschnittliche Ablagerungsmenge beträgt 30.000 Mg/Jahr. Dieser Wert wäre für M in Formel 1 anzusetzen.

**Beispiel 4:**

Jahr	Ablagerungsmenge (Mg/Jahr)
2001	0
2000	0
1999	0
1998	0
1997	0
1996	100.000
1995	100.000
1994	100.000
1993	100.000
1992	100.000
Summe	500.000

Auf einer Deponie wurde bis 1996 Hausmüll und ab 1997 nur noch Inertabfälle abgelagert. Die abgelagerten Abfallmengen betragen über den gesamten Zeitraum 100.000 Mg pro Jahr. Die Inertabfälle tragen nicht zur Gasbildung bei und werden daher mit 0 Mg/Jahr berücksichtigt. Die durchschnittliche Ablagerungsmenge beträgt 50.000 Mg/Jahr. Dieser Wert wäre für M in Formel 1 anzusetzen. Da die Ablagerung der gasbildenden Abfälle mehr als 5 Jahre zurückliegt, könnte z.B. für M nur die halbe Menge (25.000 Mg/Jahr) angesetzt werden.

### 3.2 Schätzung der Kohlendioxidemissionen für den ersten Bericht

Der Ansatz zur Schätzung der Methanemissionen ist zur Ermittlung der Kohlendioxidemissionen übertragbar. Der nachfolgend beschriebene Ansatz setzt voraus, dass nur das CO<sub>2</sub> aus diffusen Deponiegasemissionen der Deponie zugeordnet wird. Das CO<sub>2</sub> im gefassten Deponiegas und CO<sub>2</sub>, das bei der Verbrennung des Methans entsteht, wird den Deponiegasbehandlungsanlagen zugeordnet.

#### 1 Berechnung/Schätzung

Die Berechnung der diffusen Kohlendioxidemissionen ( $M_{CO_2}$ ) wird nach folgender Gleichung durchgeführt:

$$\text{Formel 1: } M_{CO_2} \text{ (Mg/a)} = M \times DOC \times DOC_f \times F \times D \times C$$

M: Menge der jährlich abgelagerten Abfälle die zur Gasbildung beiträgt (Hausmüll, un behandelter Siedlungsabfall oder ähnlicher Abfälle)

DOC: Anteil biologisch abbaubarer Kohlenstoff im Abfall (Mg C pro Mg Abfall)

DOC<sub>f</sub>: Anteil des unter Deponiebedingungen zu Deponiegas umgewandelten Kohlenstoffs

F: Faktor zur Umrechnung des umgesetzten Kohlenstoffs zu Kohlendioxid

D: Anteil des nicht gefassten oder durch biologische Methanoxidation erzeugten Kohlendioxid

C: Kohlendioxidkonzentration im Deponiegas

Für die Variablen werden zur Abschätzung der Deponiesituation folgende Werte bzw. Wertebereich vorgeschlagen:

DOC: 0,180 Mg biologisch abbaubarer Kohlenstoff pro Mg Hausmüll oder ähnlicher Siedlungsabfälle (Literaturangabe). Für andere Abfälle die zur Deponiegasentwicklung beitragen, können auch abweichende Kohlenstoffgehalte angesetzt werden.

DOC<sub>f</sub>: 50 % = 0,50; Literaturangaben (Rettenberger/Stegmann 1997)

F<sub>CH<sub>4</sub></sub>: Das Verhältnis der Molekulargewichte von Kohlendioxid (44 g/mol) und Kohlenstoff (12 g/mol) ergibt den Faktor F= 3,67.

D<sub>CO<sub>2</sub></sub>: Vom UBA wird vorgeschlagen, für D<sub>CO<sub>2</sub></sub> bei Deponien mit aktiver Entgasung 60 % = 0,60 und für Deponien ohne Gasfassung mit 110 % = 1,10 anzusetzen. Damit ist berücksichtigt, dass dem Wert D für Methan eine biologische Methanoxidation von 10 % zugrunde gelegt wurde. Die direkte CO<sub>2</sub>-Emission ist daher 10 % höher anzusetzen als die Methanemissionsrate. Um weitere 10 % erhöht sich der CO<sub>2</sub>-Anteil durch die zusätzliche Bildung von Kohlendioxid bei der biologischen Oxidation von Methan.

C: Die Literatur nennt für Deponiegas Methangehalte in einer Bandbreite von 40 % - 60 %. Sofern der tatsächliche Methangehalt nicht bekannt ist, wird vorgeschlagen mit dem Mittelwert 55 % = 0,55 zu arbeiten. Für Kohlendioxid wäre hier nach ein Gehalt von 45 % = 0,45 anzusetzen.

## 4 Berichtsjahr 2001

**Tabelle 3** Ergebnis der ersten Datenerhebung für die Deponien in Deutschland (www.eper.de)

Bundesland	Betriebe	Methanemission (t/a)
Baden-Württemberg	42	48.090
Bayern	40	20.245
Brandenburg	46	87.333
Bremen	1	148
Hessen	16	33.948
Mecklenburg-Vorpommern	8	22.174
Niedersachsen	38	69.012
Nordrhein-Westfalen	37	70.054
Rheinland-Pfalz	5	2.831
Sachsen	23	56.039
Sachsen-Anhalt	13	50.063
Schleswig-Holstein	10	12.850
Thüringen	21	20.117
<b>Deutschland</b>	<b>300</b>	<b>492.904</b>

Aus den unabhängig davon erhobenen „Daten zur Umwelt 2002“ geht hervor, dass im Jahr 2000 die nationalen Methanemissionen bei ca. 2.880.000 t/a lagen. Ca. 25 % davon sind der Abfallwirtschaft zuzuschreiben, d.h. etwa **720.000 t/a**. Damit liegen beide Zahlen erwartungsgemäß etwa in der gleichen Größenordnung.

## **5 Zusammenfassung**

Im Rahmen des Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER) gemäß Artikel 15 der Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IPPC) sind Einzelheiten der Emissionserklärung für Deponien verbindlich festgelegt. Wenn zu erwarten ist, dass die Emissionen bestimmte Schwellenwerte überschreiten, sind die von der Deponie ausgehenden Schadstoffemissionen in die Luft (gefasste und diffuse Emissionen) und über das Sickerwasser, soweit es gefasst und abgeleitet wird, zu dokumentieren. Die aufgeführte Parameterliste reduziert sich für Deponien in erster Näherung luftseitig auf Methan und Kohlendioxid und wasserseitig auf TOC und Summe-Stickstoff. Die Relevanz der insgesamt 50 Parameter umfassenden Schadstoffliste ist in vielerlei Hinsicht noch ungeklärt.

Für das nationale EPER hat das UBA (Wolfgang Butz) einen einfachen Ansatz zur Schätzung der Deponieemissionen erstellt, den der BMU an die Länder weitergegeben hat. Da es für die Berichterstattung zum EPER noch keine Rechtsgrundlage gibt, haben Bund und Länder eine Verwaltungsvereinbarung geschlossen. Die einzelnen Länder haben die Datenerhebung unterschiedliche organisiert, teilweise auch per Erlass. Soweit bekannt haben sich alle Länder an dem UBA-Ansatz orientiert. Für das erste Berichtsjahr 2001 ergeben sich demnach Methanemissionen, die von deutschen Deponien ausgehen, in Höhe von 493.000 t/a.

### **Anschrift des Verfassers**

Dr.-Ing. Carsten Cuhls  
Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer, gewitra mbH  
Betriebsstätte Nord  
Zur Bettfedernfabrik 1  
D-30451 Hannover  
Telefon +49 511 9990874  
Fax +49 511 3577855  
Email: [cuhls@gewitra.de](mailto:cuhls@gewitra.de)  
Website: [www.gewitra.de](http://www.gewitra.de)