

Umweltbundesamt, FG III 3.3	März 2006
Wolfgang Butz	Tel.: 0340 2103-3021

Ansatz für die Schätzung der luftseitigen Deponieemissionen für das E-PRTR

Einleitung:

Im Jahre 2002 wurde vom Umweltbundesamt der „Ansatz für die Schätzung der luftseitigen Deponieemissionen für den ersten Berichtszeitraum“ (Anlage) als Arbeitshilfe zur Ermittlung der Methanemissionen aus Deponien für die Emissionsberichterstattung zum EPER (European Pollutant Emission Register) erstellt. Auf dieser Basis berechneten die Deponiebetreiber und die zuständigen Landesbehörden die deponieseitigen Methanemissionen für den ersten EPER-Berichtszeitraum im Jahre 2003.

Der UBA-Ansatzes von 2002 beruht auf der Default-Methode. Berechnungsansätze auf Basis der Default-Methode bestimmen nicht die im Berichtsjahr tatsächlich emittierten Methanemissionen, sondern das Emissionspotential der im Berichtsjahr abgelagerten Abfälle. Bei gleich bleibendem Deponiebetrieb (annähernd gleich bleibender Abfallmengen und –zusammensetzungen) wird nach diesem Modell die rückläufige Methanbildung älterer Deponieabschnitte durch die frisch abgelagerten Abfallmengen ausgeglichen, so dass das errechnete Emissionspotential näherungsweise die tatsächlichen Methanemissionen beschreibt. Im normalen Deponiebetrieb mögliche Schwankungen der Ablagerungsmengen oder der Abfallzusammensetzung können im UBA-Ansatz durch die Mittelwertbildung der Ablagerungsmengen über mehrere Jahre und durch eine geringere Gewichtung älterer Ablagerungen ausgeglichen werden. Für den in Deutschland bis Juni 2005 praktizierten Deponiebetrieb liefert der UBA-Ansatz von 2002 hinreichend genaue Ergebnisse.

Seit dem 1. Juni 2005 ist die Ablagerung biologisch abbaubarer Abfälle nicht mehr zulässig. Das Methanbildungspotential der Abfälle, die nach diesem Zeitpunkt abgelagert werden, ist vernachlässigbar, so dass die Deponiegasemissionen der Deponien nahezu ausschließlich von älteren Abfallablagerungen bestimmt werden. Eine Ermittlung der Emissionen nach der Default-Methode (UBA-Ansatz 2002) ist daher für den Zeitraum nach 2005 nicht mehr möglich. Hierzu sind deutlich aufwändigere Ansätze

nach der First Order Decay Methode (FOD-Methode) erforderlich, die den zeitlichen Verlauf der Methanemissionen als Reaktion erster Ordnung beschreiben.

Der zweite EPER-Bericht im Jahre 2006 erfolgt auf der Datengrundlage des Jahres 2004. Die Emissionsberechnung für diesen Berichtszeitraum kann daher noch mit dem UBA-Ansatz von 2002 erfolgen.

Für die nachfolgenden Emissionsberichte, die auf Datengrundlagen nach dem Jahr 2005 erfolgen, wird eine Weiterentwicklung des Berechnungsansatzes erforderlich. Das E-PRTR (European Pollutants Release and Transfer Register) wird zum Berichtsjahr 2007 des EPER komplett ablösen. Der weiterentwickelte Ansatz wird daher zur Abgrenzung vom UBA-Ansatz von 2002 als „Ansatz für die Schätzung der luftseitigen Deponieemissionen für das E-PRTR“ bezeichnet.

Grundlagen zur Ermittlung der Methanemissionen nach der FOD-Methode

Der Berechnungsansatz der FOD - Methode ist deutlich komplizierter als die Default Methode. Der zeitliche Verlauf der Methanbildung wird näherungsweise als Reaktion 1. Ordnung beschrieben. Zur Bestimmung der Methanemission wird in einem ersten Schritt das Emissionspotential für ein Megagramm Abfall errechnet.

Gleichung 1:

$$L_0 = DOC * DOC_F * C * F$$

L₀: Methanbildungspotential (aus einem Megagramm Abfall) in Mg CH₄ / Mg Abfall

DOC: Gehalt an biologisch abbaubaren Kohlenstoff in Mg C / Mg Abfall

DOC_F: Anteil des unter Deponiebedingungen zu Deponiegas umgewandelten DOC (ohne Dimension)

C: Methananteil im Deponiegas (ohne Dimension)

F: Stöchiometrischer Faktor zur Umrechnung des umgesetzten Kohlenstoffs zu Methan in Mg CH₄ / Mg C

In einem zweiten Schritt wird zunächst der Beitrag zur Methanbildung aus der Abfallablagerung jedes vorausgegangenen Ablagerungsjahres in einem separaten Rechenschritt aus der in diesem Zeitraum abgelagerten Abfallmenge und dem zeitlichen

Verlauf der Methanbildung ermittelt. Die Gesamtemission im Berichtsjahr ergibt sich durch die Summenbildung der Emissionsbeiträge der Ablagerungsjahre. Belastbare Ergebnisse erfordern hierbei einen Betrachtungszeitraum von mindestens 4 Halbwertszeiten der Gasbildung, d.h. von über 20 Jahren.

Gleichung 2:

$$MB = \sum_a [(A * k * M(x) * L_0 * e^{-k(t-x)}]$$

Für $x =$ erstes Jahr bis t

mit:

t : Inventarjahr

a : Jahr, ab welchem die Betrachtung beginnt

MB : Methanbildung in Mg CH₄ / Jahr

$M(x)$: Im jeweiligen Jahr abgelagerte Menge Siedlungsabfall in Mg Abfall / Jahr

A : $(1-e^{-k})/k =$ Normalisierungsfaktor, der die Summe korrigiert (ergibt sich durch Lösung eines Integrales bei Herleitung der Formel)

k : Reaktionsgeschwindigkeit der Methanbildung ($k = \ln 2/T_{1/2}$ mit $T_{1/2}$: Halbwertszeit)

L_0 : Methanbildungspotential in Mg CH₄ / Mg Abfall

Zur Ermittlung der Methanemissionen wird die Menge des gebildeten Methans um jene Methanmengen gemindert, die auf Deponien erfasst und verbrannt sowie im Deponiekörper oder Oberflächenschichten biologisch oxidiert wurden.

Gleichung 3:

$$ME = MB * D$$

ME : Methanemission in Mg CH₄ / Mg Abfall

MB : Methanbildung in Mg CH₄ / Mg Abfall

D : Anteil des nicht gefassten und nicht biologisch oxidierten Methan (ohne Dimension)

Nach der Beendigung der Ablagerung biologisch abbaubarer Abfälle zum 01.06.2005 erfolgt die Methanbildung ausschließlich aus den vor diesem Zeitpunkt abgelagerten Abfällen. Unter diesen Voraussetzungen kann bei näherungsweise konstant

angenommener Ablagerungsmenge und Abfallzusammensetzung für den Zeitraum vor 2005 die Berechnungsformel für den Zeitraum nach 2005 sehr weitgehend vereinfacht werden.

Gleichung 4:

$$ME(T) = M * \underbrace{DOC * DOC_F * C * F * D}_{\text{}} * e^{-(T-2005)k}$$

ME(T): Methanemission im Jahr T (T ≥ 2005) in Mg CH₄ / Jahr

T: Berechnungsjahr ≥ 2005

M: Durchschnittliche jährliche Abfallablagerungsmenge in Mg Abfall / Jahr

DOC: Gehalt an biologisch abbaubaren Kohlenstoff in Mg C / Mg Abfall

DOC_F: Anteil des unter Deponiebedingungen zu Deponiegas umgewandelten DOC (ohne Dimension)

C: Methananteil im Deponiegas (ohne Dimension)

F: Stöchiometrischer Faktor zur Umrechnung des umgesetzten Kohlenstoffs zu Methan (ohne Dimension)

D: Anteil des nicht gefassten und nicht biologisch oxidierten Methan (ohne Dimension)

k: Reaktionsgeschwindigkeit der Methanbildung (k = ln2/T_{1/2} mit T_{1/2}: Halbwertszeit)

In Gleichung 4 wird die Methanemission einer Deponie im Jahr 2005 wie im UBA-Ansatz von 2002 nach Default-Methode als Ausgangsbasis ermittelt. Diese Emission klingt in den Folgejahren exponentiell ab. Der Beschreibung des zeitlichen Verlaufes der Emission erfolgt durch die Ergänzung mit der Funktion $e^{-(T-2005)k}$.

Berechnung/Schätzung

Die Emissionsberechnung für den zweiten EPER-Bericht im Jahre 2006 kann, wie im ersten EPER-Berichtszeitraum nach dem UBA-Ansatz von 2002 erfolgen, da die Berichtserstattung auf der Datengrundlage von 2004 erfolgt. Die Veränderungen im Deponiebetrieb nach dem 01.06.2005 erfordern eine Anpassung der Berechnungs-

methode. Für die zukünftige Berichtserstattung – die auf einer Datengrundlage nach 2005 erfolgt – wird der vereinfachte kinetische Ansatz nach Gleichung 4 vorgeschlagen.

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

M: Zur Vereinfachung wird vorgeschlagen, wie beim zweiten EPER-Bericht im Jahre 2006 mit der im Jahr 2004 auf der Deponie abgelagerten Menge an Siedlungsabfällen zu rechnen. Sofern beim zweiten EPER-Bericht aufgrund größerer Schwankungen bei der abgelagerten Abfallmenge oder der Abfallzusammensetzung die im UBA-Ansatz von 2002 vorgeschlagenen Mittlung oder Gewichtung erfolgte, so sind die gemittelten oder gewichteten Abfallmengen zu übernehmen.

DOC: 0,180 Mg biologisch abbaubarer Kohlenstoff pro Mg Hausmüll oder ähnlicher Siedlungsabfälle. Für Abfälle können auch abweichende Kohlenstoffgehalte angesetzt werden, wenn diese durch Messungen oder qualifizierte Schätzung ermittelt wurden.

DOC_F: 50 % = 0,50; (Rettenberger/Stegmann 1997)

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

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 rechnen.

D: Wird vom UBA für Deponien 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 oder eine Abdeckung 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.

$e^{-(T-2005)k}$: Funktion für den zeitlichen Verlauf der Methanbildung. Zur Berechnung des zeitlichen Emissionsverlaufes wird eine Halbwertszeit von 5 Jahren

vorgeschlagen, die für den zeitlichen Verlauf der Methanbildung eine Konstante k von 0,13863 ergibt. In folgenden Tabelle sind die Faktoren für die Funktion $e^{-(T-2005)k}$ für die Jahre bis 2014 berechnet.

Jahr T	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
$e^{-(T-2005)k}$	1	0,87	0,76	0,66	0,57	0,50	0,44	0,38	0,33	0,29

Berechnungsbeispiel:

Methanemissionen einer Deponie im Jahr 2010 bei mittlerer jährlicher Ablagerungsmenge von 10.000 Mg Siedlungsabfälle bis Jahr 2005. Für die Deponie wird angenommen, dass 60 % des Methans ($D = 0,4$) erfasst oder biologisch oxidiert werden.

$$ME(T) = M * DOC * DOC_F * C * F * D * e^{-(T-2005)k}$$

$$ME(2010) = 10.000 \text{ Mg/a} * 0,180 * 0,5 * 0,55 * 1,33 * 0,4 * 0,5 = 131,67 \text{ Mg/a}$$

Literatur:

Deutsches Treibhausgasinventar 1990 – 2002, Nationaler Inventarbericht 2005, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen; Umweltbundesamt; Berlin, Juli 2005

Ergebnisse zur Ersten Berichterstattung zum Europäischen Schadstoffemissionsregister EPER; Umweltbundesamt und LfU Baden-Württemberg, Juni 2004, <http://www.eper.de/eper1/ergebnisse/>

“Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien“, Teilbereich: Abfall/Abwasser, F + E-Vorhaben 299 42 245, ifeu und Öko-Institut e.V., Juli 2002

„Antropogene N₂O- und CH₄-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland“
UFOPLAN-Vorhaben 104 01 108/02, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und
Innovationsforschung, Karlsruhe, Januar 1995

Ansatz für die Schätzung der luftseitigen Deponieemissionen für den ersten Berichtszeitraum (UBA-Ansatz 2002)

Erarbeitet durch das Umweltbundesamt - Berlin

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 noch unveröffentlichten Berichtsentwurf (Stand Dez. 2002) 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:

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

- M: Menge des jährlich abgelagerten Abfälle der zur Gasbildung beiträgt (Hausmüll, unbehandelter Siedlungsabfall oder ähnlicher Abfälle)
- DOC: Anteil biologisch abbaubarer Kohlenstoff im Abfall (Mg C pro Mg Abfall)
- DOC_f: 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_f: 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 Einbau-bereichen durchschnittlicher Größe auf 40 % = 0,40 geschätzt. Für betriebene Deponien ohne Gasfassung wird die biologische Methan-oxidation 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 CH₄ pro Tonne abgelagerter Abfall.

Beispiel 2:

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

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

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

Ergebnis: Die diffusen Methanemissionen einer durchschnittlichen Deponie ohne Gasfassung betragen jährlich 0,059 Mg CH₄ 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.