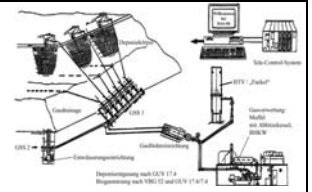


DAS – IB GmbH
DeponieAnlagenbauStachowitz

Biogas-, Klärgas- und Deponiegastechnologie:

- Beratung, Planung, Projektierung
- Schulung von Betriebspersonal
- Sachverständigentätigkeit (u.a. § 29a nach BImSchG und „öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger“ bei der IHK zu Kiel)

Flintbeker Str. 55
D 24113 Kiel
Tel. und Fax # 49 / 431 / 683814
www.das-ib.de
email: info@das-ib.de



**Rettenberger / Tabasaran oder Dr. Weber / Dr. Doedens –
Gasprognose – Modelle ?**

**„Berechnung“ oder Abschätzungen von
Gasproduktionsmengen - > „Gasprognose“**

Kommentare und Anmerkungen

Einleitung

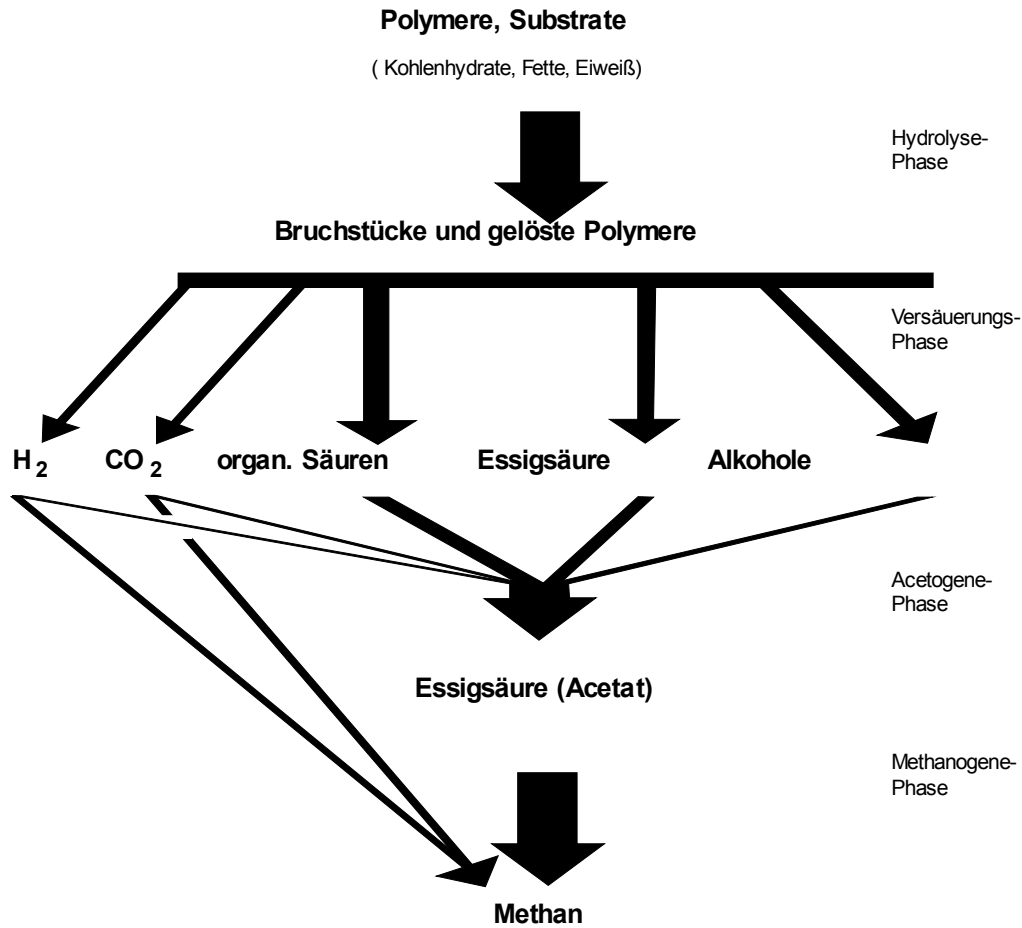
Die Methangärung, die auch die Grundlage für die Entstehung von Deponiegas darstellt, ist ein wichtiges Glied im Stoffkreislauf der Natur. Sie ist die letzte Stufe einer Kette von Gärungen, die die Umwandlung komplexer, hochmolekularer organischer Substanz in gasförmige Endprodukte, wie Methan und Kohlendioxid zum Ergebnis hat.

Mit nur wenigen Ausnahmen können alle organischen Naturstoffe diesem anaeroben Umsetzungsprozess unterworfen werden. An diesem Vorgang ist eine große Anzahl, in komplexer Abhängigkeit stehender Mikroorganismen (Bakterien) beteiligt. Natürliche Standorte solcher Mischpopulationen sind in der Natur Sümpfe, Moore, Schlammschichten in Seen, Flüssen und Meeren, der Pansen von Kühen, etc. Jährlich werden auf diese Weise ca. 300 bis 400 Mio Mg Methan gebildet. Nach einer Abschätzung des IPCC (International Panel on Climate Change) entfallen davon auf Deponien etwa 10 %, was einem Energiepotenzial nur für Deponien von rd. 500 Mio. GWh/a entspricht (Dichte von Methan $\rho=0,7143$ kg/m³; Heizwert von Methan $H_u= 10$ kWh/m³).

Deponiegas entsteht im Deponiekörper, d.h. alle im Deponiekörper durch mikrobielle Umsetzungsprozesse entstandenen gasförmigen Stoffwechselprodukte, sowie die in die Gasphase übergegangenen abgelagerten Stoffe werden unter dem Begriff Deponiegas zusammengefasst. Gemäß dieser Definition gehört Deponiegas ebenso wie die Faul- und Sumpfgase in die Gruppe

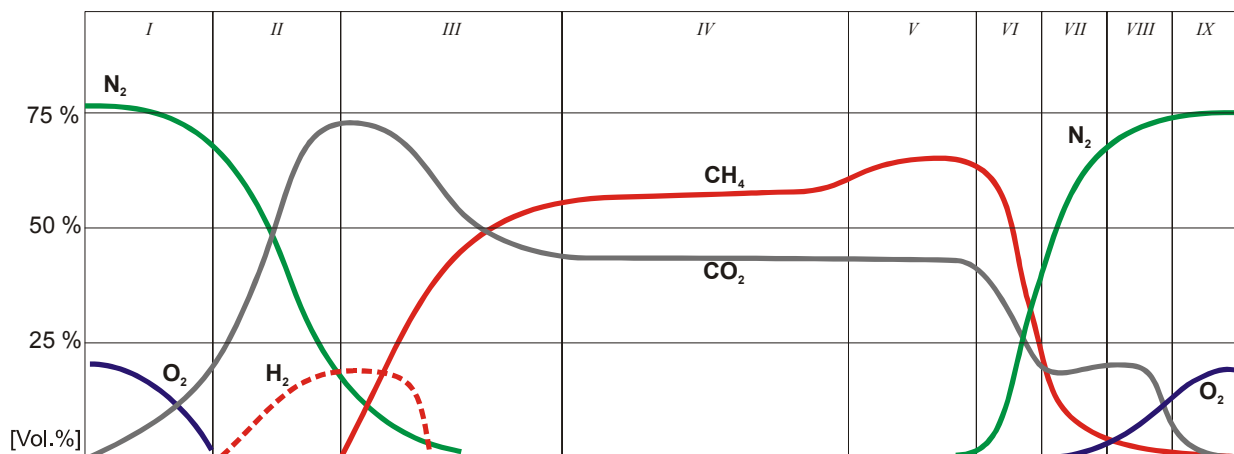
der Biogase, die sich überwiegend aus Methan und Kohlendioxid zusammensetzen.

Entstehung:



Die Deponiegaszusammensetzung ändert sich im Laufe der Zeit. Kurz nach der Ablagerung herrschen oberflächennah aerobe Bedingungen. Später etablieren sich dann die einzelnen Abbauschritte nacheinander, bis in der vierten Zeit-Phase alle Stufen im Gleichgewicht sind (Stabile Methangärung). Das Deponiegas besteht dann aus 55 bis 60 % Methan sowie 40 bis 45 % Kohlendioxid. Im Zeitraum von Jahrzehnten kommen weitere Phasen hinzu.

Verlauf:



Verlauf der Deponiegaszusammensetzung in Abhängigkeit von der Zeit (Farquhar/Rovers 1973) mit Langzeitmodell Franzius 1981 sowie Rettenberger & Mezger 1992

Einführung in die Gasprognose

Als Gaspotenzial wird jene Gasmenge definiert, die aus einer Gewichtseinheit Abfall unter optimalen Bedingungen in der Deponie (Reaktor) entsteht. Die theoretische spezifische Gasproduktion G_e als Volumenangabe pro Megagramm Abfall (m^3/Mg) kann aus dem Kohlenstoffgehalt des Substrates Abfall errechnet werden. Nach dem Gesetz der idealen Gase werden bei der biochemischen Umsetzung von 1 kg Kohlenstoff (TC) 1,868 m^3 Gas gebildet, unabhängig von den dabei entstehenden Anteilen an Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄).

Sowohl zur Dimensionierung von Entgasungs- und Verwertungsanlagen als auch zur Abschätzung der Emissionen auf einer Deponie sind die (aktuell) erzeugten Deponiegasmengen von Wichtigkeit. Neben den momentanen Werten interessiert in der Regel vor allem aber auch deren zukünftige Entwicklung. Somit kann eine Prognose nur mit all den dabei verbundenen Unsicherheiten erstellt werden. Sinnvollerweise wird man die Prognosen entsprechend den Betriebsergebnissen oder auf Grundlage eines Absaugversuches ($t > 6$ Monate, eingeschwungener Zustand) einer Anpassung

unterziehen müssen. Die sog. Gasprognosen können somit nur als Modell aufgrund von zahlreichen Unzulänglichkeiten (Im Wesentlichen: Einbaumaterial in Menge und Zeit, Temperatur, Wasserhaushalt etc.) begriffen werden. In den 80 er – Jahren des 20. Jahrhundert wurden in Deutschland aufgrund der unkritisch übernommen Modelle fast alle Entgasungsanlagen zu Groß gebaut. Trotzdem haben sich in der Praxis in Westeuropa (Kontinent!) idR zwei Gasprognose Modelle durchgesetzt:

- Dr. Weber / Dr. Doedens aus seiner Dr. Arbeit
- Prof. Rettenberger / Tabasaran

Die Prognose der Gasproduktion, also der insgesamt zu erwartenden Gasmenge (Gaspotential), wird in der Praxis überwiegend auf der Basis eines physikalischen Modells durchgeführt, während die Aufspaltung dieser Gasmenge auf eine zeitliche Abfolge in einem mathematischen Modell erfolgt.

Das bedeutet, dass einerseits die in der Deponie ablaufenden Prozesse erkannt und quantitativ beschrieben werden müssen, und andererseits ein Funktionstyp gefunden und ausgewählt werden muss, der sich für ein mathematisches Modell eignet.

Als Gaspotential wird diejenige Gasmenge bezeichnet, die aus einer Tonne Abfall bei den an einer bestimmten Deponie angetroffenen Bedingungen entsteht. Im Labor lässt sich diese Gasmenge in relativ kurzen Zeiträumen bestimmen. Dabei zeigt sich, dass aus einer Tonne Hausabfall im Labor zwischen 120 und 300 m³ Biogas (Deponiegas) gewonnen werden.

Diese Gasmengen müssen als Obergrenze dessen angesehen werden, was in einer Deponie erzeugt werden kann. In realen Deponien werden diese Gasmengen nur in langen Zeiträumen zu erwarten sein, da der zeitliche Verlauf der Gasmengenentwicklung auf eine Reaktionskinetik nach 1. Ordnung schließen lässt.

- Nach Dr. Weber & Dr. Doedens:

$$Q_{a,t} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{a}} \right) = 1,868 \cdot M \cdot TC \cdot f_{a0} \cdot f_a \cdot f_o \cdot f_s \cdot k \cdot e^{-k \cdot t}$$

- Nach Prof. Rettenberger:

$$G_t = 1,868 \times C_{\text{org}} \times (0,014 \times \vartheta + 0,28) \times (1 - 10^{-k \times t})$$

Es ist ersichtlich, dass die Ergebnisse der Gasprognosemodelle stark abhängig davon sind, welche Parameter gewählt werden. Vor allem muss auch die Angabe des Deponiebetreibers zu den Abfallmengen M stimmen, denn M bzw. C_{org} geht linear in die Berechnung ein. Als Ergebnis dieses Prognosemodells erhält man eine Aussage über die voraussichtliche Gasproduktion einer Deponie innerhalb eines bestimmten Zeitraums.

Somit sind die wesentlichen Voraussetzungen zur Anwendung der Modelle (Unsicherheiten s.o.) die Wahl der Parameter:

- C_{org} Dieser Wert liegt in der Regel für Hausmüll zwischen 170 und 220 kg/Mg_{Abfall}, sollte aber für jede Deponie aufgrund von vorliegenden Analysedaten des Abfalls maßgeschneidert gewählt werden.
- ϑ : Die Temperaturen in Deponien liegen im Bereich von 20° und 50° C. Wesentlich ist, dass die Anwendung der Modelle nur für den mesophilen Bereich zulässig ist.
 ϑ = Temperatur in °C
- k-Wert: Dieser wurde bislang mit 0,025 bis 0,05 (= Abbau von 75 % der org. Substanz in 24 bis 12 Jahren) gewählt. Messungen an Deponien haben Hinweise auf einen k-Wert um 0,035 bis 0,06 ergeben.
 K = Abbaukonstante
- 1,868 Faktor; gibt das Volumen von 1 kg Kohlenstoff als Deponiegas an
 1,868 = m³ Gas pro kg TC (m³/kg)
- TC = Kohlenstoffgehalt (kg/Mg)
- k = Zeitbeiwert; $k \approx 0,05$ (1/a) bei schwer umsetzbaren Rückständen z. B. aus der mech.-biol. Vorbehandlung bis 0,15 (1/a) für Deponiebereiche mit intensiver Sickerwasserkreislaufführung und optimalem Wassergehalt
- t = Zeit zwischen dem rechnerischen Beginn und dem betrachteten Jahr der Gasproduktion (a)
- f_{a0} = Anfangszeitfaktor zur Berücksichtigung der Gasproduktion während des ersten halben Jahres nach erfolgter Ablagerung; $f_{a0} = 0,8$ bis 0,95 (-) für verdichteten Einbau
- f_a = Abbaufaktor; Verhältnis von unter optimalen Bedingungen vergasbarem zu ges. TC; $f_a \approx 0,7$ (-)
- f_o = Optimierungsfaktor; Verhältnis von unter praktischen Deponiebedingungen zu unter optimalen Abbaubedingungen im Versuch vergastem T(O)C; $f_o \approx 0,7$ (-)
- f_s = systembedingter Fassungsgrad; Verhältnis der unter Deponiebedingungen bei laufender Entgasung gefassten zur tatsächlich produzierten Gasmenge; $f_s = 0$ bis 1 (-)

Abschätzungen:

Für mittlere Verhältnisse kann angenommen werden, dass der organische Kohlenstoff pro Tonne kommunaler Abfälle bei rund 200 kg liegt. Die Temperaturen in Deponien liegen meist über 30°C. Damit werden bei diesen Verhältnissen in einer Deponie pro
 DAS – IB GmbH, Flintbeker Str. 55, D 24113 Kiel, www.das-ib.de, info@das-ib.de, Tel / Fax 0431 / 683814

Tonne Abfall über einen langen Zeitraum ca. 260 m³ Deponiegas zu erwarten sein. Eine weitere Abschätzung, die sich rechnerisch aus dem Kohlenstoffgehalt bzw. dem Heizwert des Abfalls ergibt, bestätigt diese Werte bedingt, da der T(O)C-Gehalt des Abfalls nicht mit dem organischen biologisch abbaubaren Kohlenstoff übereinstimmt. Beim T(O)C werden auch Carbonate, Kunststoffe und Lignin erfasst, die nur sehr schwer oder nicht abbaubar sind.

Literaturwerte für den T(O)C in kg C_{org}/Mg Abfall:

- Hausmüll 180 - 350
- Sperrmüll 80 - 255
- Gewerbemüll, Hausmüll ähnlich 270
- Gewerbeabfall 195
- Produktionsspezifischer Gewerbeabfall 25 - 90
- Klärschlamm (kommunal) 80 - 100
- Sortierreste 60 - 100
- Inerte: Bauschutt, Bodenaushub, Asche: 0
- Baumischabfälle 20
- Kunststoffabfälle 50

Ohne Zweifel kann nicht erwartet werden, dass sich die äußerst komplexen Vorgänge in einer Deponie durch diese zwei Modelle exakt beschreiben lassen. Allein die Transportvorgänge, die die Nährstoffverteilung in dem inhomogenen Abfallkörper bewirken und die Größe des Gaspotentials unzweifelhaft beeinflussen, entziehen sich derzeit jeglichem mathematischen Erfassungsversuch. Ob sich die im Labor gefundenen bzw. die durch das angegebene Modell errechneten Werte in der Deponie tatsächlich bilden, kann prinzipiell nur durch Messungen an Deponien (z.B. FID – Begehungen) mit dem Ziel einer Gasbilanzierung bestätigt werden.

Erfassbare Gasmengen,

* f_s =systembedingter Fassungsgrad; Verhältnis der unter Deponiebedingungen bei laufender Entgasung gefassten zur tatsächlich produzierten Gasmenge; $f_s = 0$ bis 1 und

* f_o =Optimierungsfaktor; Verhältnis von unter praktischen Deponiebedingungen zu unter optimalen Abbaubedingungen im Versuch vergastem T(O)C; $f_o \approx 0,7$ (-)

Anhand der Modellberechnung wird die im Deponiekörper theoretisch produzierbare Deponiegasmenge bestimmt. Erfahrungsgemäß liegt die tatsächlich produzierte Gasmenge unter der mit der Modellrechnung ermittelten theoretisch produzierten Gasmenge, so dass für die Auslegung einer Entgasungsanlage die voraussichtlich zu entsorgende Gasmenge mittels eines Abminderungsfaktors aus der theoretisch produzierbaren Gasmenge bestimmt wird. Dieser Abminderungsfaktor wird üblicherweise als Erfassungsgrad bezeichnet, wobei zu beachten ist, dass es sich um einen

rechnerischen Erfassungsgrad handelt. Verschiedene Untersuchungen an bestehenden noch im Betrieb befindlichen Deponien zeigen, dass die Erfassungsgrade ein Wertespektrum von ca. 10 % bis ca. 80 % umfassen. Da der Erfassungsgrad hier als ein Faktor aus tatsächlich erfasster zu theoretisch produzierbarer Gasmenge bestimmt wird, ist er von allen substrat- und milieuspezifischen, die Deponiegasprognose beeinflussenden Parametern abhängig, d.h. generell vom Deponiebetrieb incl. Abfallarten und Abfallvorbehandlung, Abfalleinbau und Entwässerungs- sowie Entgasungsbetrieb, aber auch von Transport- und Abbauvorgängen (z. B. Methanoxidation). Die Bestimmung der Erfassungsgrade bei diesen Untersuchungen erfolgte also durch Vergleich der aktuell produzierten mit den prognostizierten Werten, so dass die Unsicherheiten, wie sie für die Gasprognose aufgezeigt wurden, auch in diese Erfassungsgrade einfließen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sowohl die Werte der Gasprognose als auch die ermittelten Erfassungsgrade der Größenordnung nach richtig sind, eine wissenschaftlich exakte Verifizierung dieser Größen ist unter Deponiebedingungen jedoch nur mit einem großen Aufwand möglich, da hierbei die Restemissionen über die gesamte Deponie (Oberfläche, Basis) bestimmt werden müssten.

Die angenommenen und realen Erfassungsgrade richten sich nach unterschiedlichen Bedingungen, z. B. Deponieform, Abdichtung der Sohle, der Seitenwände, der Oberfläche, Betriebszustand der Deponie, Art und Betriebszustand (Durchführung von Optimierungen) des Entgasungssystems, Windverhältnissen u. a. Die Erfassungsgrade stützen sich dabei zum einen auf die oben erwähnten Untersuchungen an Deponien, zum anderen auf theoretische Überlegungen zum Verhalten des Deponiekörpers. Dies gilt vor allem bei der Festlegung von Erfassungsgraden von Deponien, welche über eine Oberflächenabdichtung (Wasserentzug Stichwort: „Mumifizierung“ und erneuter Gasbetrieb nach den ersten Undichtigkeiten in den Abdichtungssystemen) verfügen.

Ein weiterer Faktor, der zur Beschränkung des Erfassungsgrades führt, besteht in der Inhomogenität des Deponiekörpers, so dass trotz Entgasung noch Gase entweichen können, da nicht der gesamte Deponiekörper durch den aufgebrachten Unterdruck erfasst werden (FID – Begehungen des Deponiekörpers).

Kiel im August 2004

DAS – IB GmbH

Wolfgang H. Stachowitz