

# Langfristige Entgasungs-/Aerobisierungsstrategien für Siedlungsabfalldeponien vor dem Hintergrund neuer VDI Richtlinien

Gerhard Rettenberger

1.	Ausgangssituation .....	484
2.	Deponiegastechnische Grundlagen .....	485
3.	Entgasungs- und Aerobisierungsstrategie .....	489
4.	Zusammenfassung .....	491
5.	Literatur .....	492

Derzeit werden im Rahmen einer VDI Richtlinie die wesentlichen technischen Anforderungen an eine Deponieentgasung und eine Deponiebelüftung erarbeitet und beschrieben. Die Richtlinienreihe VDI 3899 wird dann den aktuellen Entwicklungsstand von Deponiegaserfassung, -verwertung und -behandlung zusammenfassen. Insgesamt umfasst die VDI 3899 folgende Blätter:

Blatt 1: Behandlung und Verwertung von Deponiegas,

Blatt 2: Auslegung von Deponiegaserfassungssystemen und die Anpassung des Betriebes an die Veränderungen bei Qualität und Quantität.

Man kann sich natürlich mit Recht die Frage stellen, ob die Fachwelt eine VDI Richtlinie zu diesem Thema nach so vielen Jahren erfolgreicher Deponiegastechnik wirklich noch braucht. Aber es ist zu bedenken, dass es nach der Aufhebung der TA Siedlungsabfall und dem darin enthaltenen Anhang C keine Beschreibung des Standes der Technik der Deponieentgasung mehr gibt. Zudem haben sich die Verhältnisse auf den Deponien drastisch verändert, die Stichworte Schwachgas, zurückgehende Gasmenge und Aerobisierung bzw. Deponiebelüftung mögen dies deutlich machen. Daher besteht nicht nur rechtlich ein Bedarf für solch eine Richtlinie, sondern auch in technischer Hinsicht, denn neue Technologien ziehen derzeit auf den Deponien ein.

Daher sind die VDI Richtlinien für den Gesetzgeber ein wichtiges Instrument der nachgeordneten *Normsetzung* und werden daher umfangreich unterstützt und gefördert.

Es soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass bereits verschiedene VDI-Richtlinien erlassen wurden bzw. sich derzeit in der Überarbeitung und teilweise im Gelbdruckverfahren im Themenbereich Deponiegas befinden. Hierbei handelt es sich um:

- VDI 3790 Blatt 2: Diffuse Emissionen von Deponien wurde im Dezember 2000 im Weißdruck veröffentlicht und ist derzeit in der Einspruchsphase der Überarbeitung,

- VDI 3860 Blatt 1: Messen von Deponiegas-Grundlagen,
- VDI 3860 Blatt 2: Messungen im Gaserfassungssystem,
- VDI 3860 Blatt 3: Messungen von Methan an der Deponieoberfläche ist derzeit in der Überarbeitung und im Einspruchsverfahren,
- VDI 3860 Blatt 4: Messungen im Untergrund.

## 1. Ausgangssituation

Wie ist die Situation bezüglich des Deponiegases derzeit an Deponien und worauf muss sich die Deponiegastechnik einstellen:

- auf die klassische Deponie DK II mit noch wesentlicher Gasbildung, notwendiger Deponieentgasung und Gasverwertung,
- auf zahlreiche Deponien, bei denen es Deponieabschnitte mit deutlich zurückgegangener Gasbildung gibt, aber auch solche mit noch deutlich aktiven Deponieabschnitten,
- auf Deponien, die insgesamt ein ausgeprägtes Schwachgasauftreten zeigen,
- auf Deponien, bei denen sich eine Gasverwertung nicht mehr wirtschaftlich rechnet und bei denen eine Stabilisierung durch Belüftung Sinn macht.

Insgesamt ist dabei die Relevanz der Deponiegaserfassung eindeutig durch den Klimaschutz gegeben. Damit steht die Emissionsvermeidung von Treibhausgasen mit Abstand im Vordergrund, da Deponien und Altablagerungen noch immer eine Hauptemissionsquelle für das Treibhausgas Methan sind.

Tatsächlich ist der Erfassungsgrad für Deponiegase, also die Relation von erfasstem zu gebildetem Gas, leider relativ gering. Bei einer statistischen Betrachtung mit Daten des Statistischen Bundesamtes liegt dieser in der Größenordnung von nur 26 Prozent, was allerdings nicht der Realität entsprechen dürfte. Aber selbst unter Benutzung eines überarbeiteten Modells [3] wird er kaum über 55 bis 60 Prozent liegen, was eher realistisch ist, das heißt noch immer werden 40 bis 45 Prozent der gebildeten Gase in die Atmosphäre emittiert (tatsächlich sind es wegen der Methanoxidation etwas weniger, siehe unten). Grund genug also über eine verbesserte Entgasungs- bzw. Belüftungstechnik nachzudenken.

Im Grundsatz eignen sich fünf Methoden zur Verbesserung des Erfassungsgrades:

- a. Abdichtung der Deponie an der Oberfläche und vollständige Ableitung und Behandlung des Gases.
- b. Verbesserung der Gaserfassung durch Regeneration des Entgasungssystems und deutliche Erhöhung des abgesaugten Gasvolumenstroms im Vergleich zum gebildeten Gasvolumenstrom. In der Praxis werden hier Relationen etwa um 1:4 betrieben. Dies führt zu einem schwachen Einsaugen von Luft in die Deponie (Übersaugung). Gleichwohl tritt noch deutlich Methan im abgesaugten Gas auf.

- c. Wie b aber mit einer Relation etwa bis zu 1:15. Dies führt zu einem starken Einströmen von Luft in die Deponie (Übersaugung). Gleichwohl tritt noch Methan im abgesaugten Gas auf.
- d. Einblasen von Luft in die Deponie. Dies führt zu einer weitgehenden Unterdrückung einer Methanbildung in der Deponie. Das abgesaugte Gas ist fast vollständig frei von Methan.
- e. passive Entgasung, das heißt Abdichtung und gezielte Gasableitung bzw. Behandlung z.B. mit einer Methanoxidation.

Dementsprechend müssen bei der Technikauswahl diese fünf Fälle unterschieden werden.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass von der rechtlichen Seite folgende Punkte beachtet werden müssen bzw. können:

- § 12 DepV fordert von dem Betreiber, eine aktive Gaserfassung nach dem Stand der Technik, sofern relevante Deponiegasmengen entstehen,
- passive Entgasungsverfahren können zugelassen werden,
- § 13 DepV verlangt Informations- und Dokumentationspflichten,
- § 25 DepV lässt gezielte Befeuchtungs- und Belüftungsmaßnahmen zu.

## 2. Deponiegastechnische Grundlagen

Eine gute Deponieentgasung erfordert eine umfassende Auseinandersetzung mit den Anforderungen:

- Ermittlung der Grunddaten: Auswahl der geeigneten Deponiegastechnik, Ermittlung des Gaspotenzials, Durchführung der Gasprognose,
- Planung und Dimensionierung der Entgasungselemente: Gaserfassung, Leitungen, Maschinenteknik, Deponiebelüftung, passive Entgasung, Sicherheitstechnik,
- Bau und Inbetriebnahme: Qualitätssicherung sowie Ermittlung der Einstellungs-werte,
- Betrieb: Inbetriebnahme, Funktionsprüfungen, betriebliches Monitoring, Wartung und Instandhaltung, Beseitigung von Schäden,
- Laufende Anpassung und Optimierung: Benchmarks, Optimierungs- und Ertüchtigungsbedarf.

Wichtig bei der Deponiegastechnik ist, dass über die Laufzeit unterschiedliche Bedingungen sowohl bei dem gebildeten Gasvolumenstrom als auch bei der Gaszusammensetzung gegeben sind [4]. Dies wird aus nachstehendem Bild 1 deutlich.

Dementsprechend lassen sich in den einzelnen Deponiegasphasen folgende Deponie-gastypen unterscheiden (Tabelle 1):

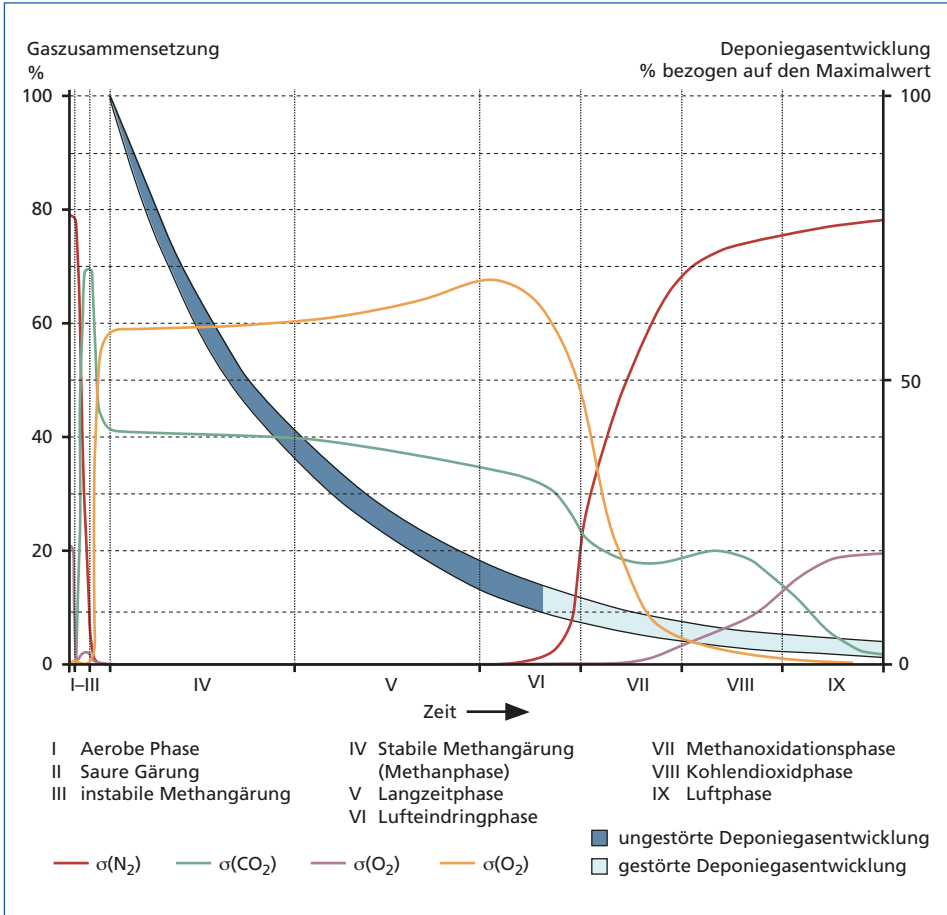


Bild 1: Deponiegasbildung und -zusammensetzung über die Zeit (qualitativ)

Tabelle 1: Deponiegastypen in den einzelnen Deponiegasphasen

Phase	$\sigma(\text{CH}_4)$	$\sigma(\text{CO}_2)$	$\sigma(\text{O}_2)$	$\sigma(\text{N}_2)$
1	56	43		
2	34	25	1	38
3	34	25	8	32
4	34	25	3	37
5	12	14	5	69
6	3	5	8	84

Hieraus ist zu ersehen, dass neben dem nicht mit Luftgasen verdünnten Deponiegas, andere Gaszusammensetzungen an Deponien auftreten. Dies ist vor allen Dingen ein Schwachgas durch Übersaugen (Typ 2) bzw. durch Undichtigkeiten (Typ 3) bzw. durch schwaches (Typ 5) oder starkes (Typ 6) Übersaugen. Technisch lassen sich dazu folgende Phasen der Entgasung unterscheiden:

- Absaugung des Deponiegases bei paralleler Überwachung der verbleibenden Emissionen und Optimierung des Betriebs und der Entgasung bis zur weitgehenden Emissionsfreiheit, möglichst keine Störung der Gasentwicklung,

- Technische und betriebliche Anpassung der Gaserfassung an die zurückgehende Gasmenge, Instandhaltung und Erneuerung,
- Absaugung des Deponiegases bei leicht übersaugter Deponie und paralleler Aufbringung eines Oberflächenabdichtungssystems bei Überwachung der verbleibenden Emissionen,
- Absaugung des Deponiegases bei deutlich erniedrigten Methankonzentrationen (teilweise bis unter etwa 12 Prozent), schwache Übersaugung,
- Absaugung des Deponiegases bei deutlich erniedrigten Methankonzentrationen (teilweise bis unter etwa 3 Prozent), starke Übersaugung,
- Unterdrückung der Deponiegasbildung durch Einblasen von Luft in die Deponie,
- Nach Aufbringung einer Oberflächenabdichtung Umstellung auf passive Entgasung mit Methanoxidation bei nur noch geringen Emissionen.

Um die Übersaugung gezielt steuern zu können, muss der Zusammenhang zwischen Methankonzentration und abgesaugtem Volumenstrom gezielt durch Einstellungen, also eine Erhöhung oder Drosselung des Volumenstroms genutzt werden [4], wie er aus Bild 2 hervorgeht. Wie aus Bild 3 hervorgeht, wird dabei trotz abnehmender Methankonzentration die Entgasungswirkung eher besser, da die Methanfracht zunimmt. Daher wird bei der Übersaugung – und dies ist von besonderer Bedeutung – die Deponiegaserfassung besser. Dies ist insbesondere wichtig bei den noch betriebenen DK II Deponien, da die überwiegend inerten Abfälle sehr durchlässig sind und sofern ein Kontakt mit alten Abfällen besteht, solche Deponien erhöhte Emissionen haben. Daher ist gerade bei solchen Deponien eine gute Gaserfassung wichtig. Eine gewisse Übersaugung der Deponie ist dort vermutlich nicht zu vermeiden. Dann wird natürlich die Sauerstoffkonzentration ansteigen, so wie dies in Bild 4 dargestellt ist, was wiederum entsprechende Anforderungen an die Sicherheitstechnik mit sich bringt.

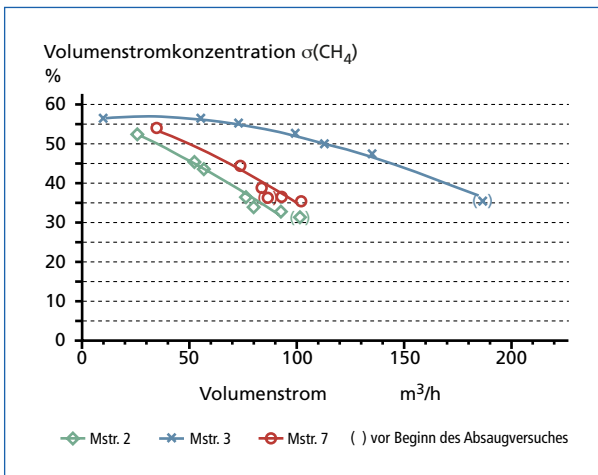


Bild 2:

Methankonzentration in Abhängigkeit des abgesaugten Volumenstroms

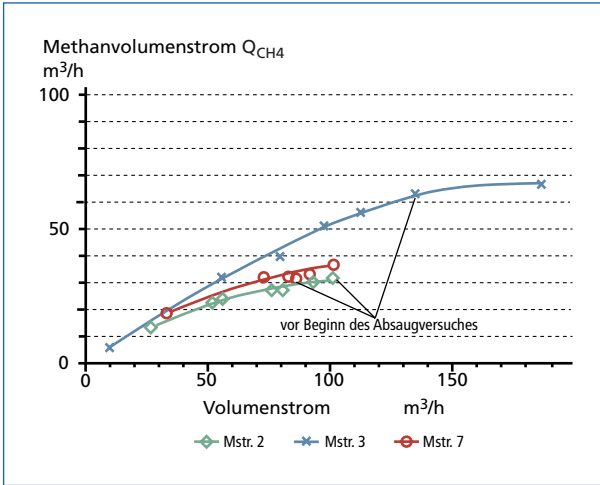


Bild 3:

Methanfracht in Abhängigkeit des abgesaugten Volumenstroms

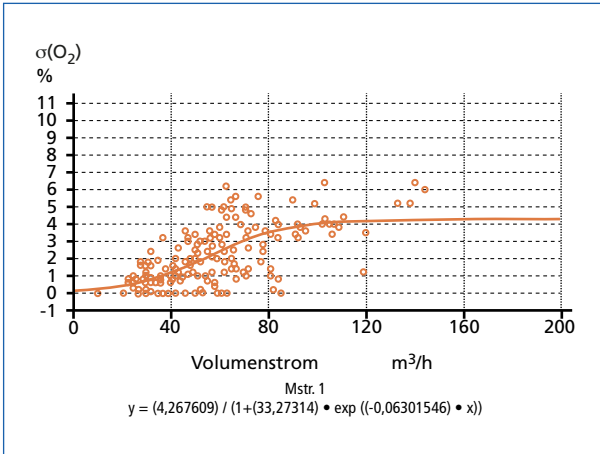


Bild 4:

Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit des abgesaugten Volumenstroms

Was die Ermittlung des erwarteten Gasvolumenstroms anbelangt, wird hinsichtlich der Gasprognose auf die VDI 3790 Blatt 2 Bezug genommen. Danach kann das Deponiegaspotenzial aus dem abbaubaren Kohlenstoff ermittelt werden und zwar entweder durch Faulversuche oder z.B. den  $GB_{21}$ . Auch besteht ein Zusammenhang zum  $AT_4$  und zwar:

$$\text{für Werte } > 10 \Rightarrow C_{ab} = 3.75 \cdot AT_4 - 7.5$$

$$\text{für Werte } < 10 \Rightarrow C_{ab} = 8 \cdot AT_4 \cdot 12/32$$

Zum Beispiel errechnet sich bei  $AT_4 = 50$  kg/t TM ein Deponiegaspotenzial von 219 m<sup>3</sup>/t FM bei einem WG von 35 Prozent. Wesentlich ist, dass in der Schwachgasphase insbesondere die Kohlenstoffbilanz in den Vordergrund rückt, wie dies z.B. mit folgendem Modellansatz, der von IPCC publiziert wurde, berücksichtigt werden kann:

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

= Masse des abbaubaren organischen Kohlenstoffs

$$\begin{aligned} \text{DDOC}_{m,\text{decomp},T} &= \text{DDOC}_{m,T-1} \cdot -1 \cdot (1 - e^{-k}) \\ &= \text{Masse des im Jahr } T \text{ abgebauten abbaubaren } \text{DDOC}_m \end{aligned}$$

Für die Berechnung wird ein Multi-Phasen-Modell verwendet, das die Abfälle in unterschiedlich schnell abbaubare Abfallfraktionen differenziert. Als weitere Modelle werden die, die auf dem Abbaugesetz 1. Ordnung basieren, in der VDI 3790 beschrieben:

$$G_t = G_e \cdot k \cdot e^{-kt} \quad \text{mit } t_{1/2} = -\ln(0,5)/k$$

Dieses Modell muss noch an die Erfordernisse einer Deponiegasberechnung angepasst werden, unter anderem durch publizierte *default values*.

Entsprechende Datensätze sind z.B. für nachstehendes Modell wie folgt publiziert worden:

$$G_t = 1.868 \cdot C_{ab} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot k \cdot e^{-kt}$$

$G_t$ : Gasentwicklung bis zum Jahr  $t$  des Abfalls aus dem Jahr 1 in  $m^3$   
 $f_1$ : Korrekturfaktor für den Kohlenstoffverlust (etwa 0,9 bis 1,0)  
 $f_2$ : Korrekturfaktor für eine verminderte Gasausbeute (etwa 0,4 bis 0,5)  
 $f_3$ : Faktor zur Berücksichtigung der Assimilation (etwa 0,7)

### 3. Entgasungs- und Aerobisierungsstrategie

Wie oben erläutert, durchläuft die Deponiegastechnik an einer Deponie zwangsläufig über die Zeit bestimmte Phasen. Nach der Konzeption und Planung, wobei zweckmäßigerweise die unterschiedlichen Phasen vorausschauend bereits berücksichtigt werden sollten, sind folgende Zustände zu unterscheiden:

- Deponie bei anfänglich hoher Gasentwicklung ohne Oberflächenabdichtung,
- Deponie noch im Schüttnbetrieb als DK II oder DK I ohne Oberflächenabdichtung,
- Deponie nach oder in der Stilllegungsphase mit Oberflächenabdeckung und geringer Gasentwicklung mit Schwachgasaufkommen,
- Deponie nach der Stilllegungsphase mit Oberflächenabdichtung und geringer Gasentwicklung,
- Deponie in der Nachsorgephase und geringer Gasentwicklung.

Entsprechend dieser unterschiedlichen Phasen ergeben sich unterschiedliche Strategien mit verschiedenen Technologieansätzen.

Anfänglich ist eine konventionelle Deponieentgasung Stand der Technik, die mit einer leichten Übersaugung eingestellt wird und deren Entgasungserfolg mittels Funktionsprüfungen und Überprüfungen der Zielerreichung durch Bewertung der Gaserfassung im Vergleich zur Prognose, durch Bestandsaufnahme des Gaserfassungssystems, gegebenenfalls, mit nachfolgendem Neubau zusätzlicher Systeme, gegebenenfalls mit Einführung einer Sickerwasserinfiltration und gegebenenfalls einer Umstellung der Entgasungstechnik, verbunden ist. Weiterhin sind folgende Punkte laufend zu erfüllen:

- Bei der Inbetriebnahme
  - \* Prüfungen (z.B. Dichtheit) und Messungen (z.B. Nullmessung),

- Bestandsaufnahme
  - \* z.B. Wasserstand in den Brunnen, Fremdluft, Setzungsauswirkungen, Beschädigungen,
- Durchführung eines betrieblichen Monitorings
  - \* im Gaserfassungssystem, Emissionsbegehung, unkontrollierte Gasaustritte,
- Wartung und Instandhaltung nach vorher erstelltem Plan,
- Erkennen und Beseitigung von Schäden, z.B. infolge von Setzungen, Verschlüsse durch Kondensat, Korrosion, Undichtheit,
- Reparaturen und Regeneration von Gasbrunnen,
- laufende Anpassung und Optimierung,
- Gasabsaugversuche, Vergleich mit Benchmarks.

Im Falle des Aufbringens einer Oberflächenabdichtung auf einer Deponie kann diese Art der Deponieentgasung weitergeführt werden. Kombinationsabdichtungen gelten als gasdicht, so dass sich das Gas gut und komplett erfassen lässt. Kennzeichnendes Element ist, dass nur noch relativ geringe Volumenströme bei hoher Methankonzentration zu entsorgen sind. Damit ist eine Gasverwertung möglich.

Viele Deponien zeigen ein deutliches Anzeichen einer Schwachgasbildung. Dies kann betrieblich verursacht sein, kann aber auch dadurch entstehen, dass sich die Deponie mit Luft überwiegend gefüllt hat. Dadurch ist eine Aerobisierung durch Übersaugung eine konsequente Technologie. Dies wird dadurch erreicht, dass die bereits bestehende Entgasungstechnik genutzt wird, nur eben mit einem deutlich erhöhten Volumenstrom. Für diesen Fall sind dann häufig die Entgasungskapazitäten zu erhöhen (größere Gebläse, gegebenenfalls größere Rohrleitungen) und andere Entsorgungstechniken einzusetzen (Schwachgasfackel, Schwachgasbrenner, RTO). Kennzeichen einer solchen Anlage sind hohe Volumenströme, geringe Methankonzentrationen, angepasste Sicherheitstechnik. Übersaugung mit einem hohen Verhältnis eingesaugte Luft zu vorhandener Gasbildung führt auch zu einer nennenswerten Aerobisierung. Dies kann unter bestimmten Voraussetzungen auch durch Einblasen von Luft erzielt werden.

Wenn die organischen Anteile im Abfall bereits weitgehend abgebaut sind (unter  $12 \text{ g C}_{\text{org}}/\text{kg TM}$ ), d.h. die Gasentwicklung weitgehend abgeklungen ist, kann eine weitere Stabilisierung und damit Vermeidung einer Methanbildung durch Deponiebelüftung erfolgen [1]. Hierfür stehen mehrere Technologien zur Verfügung:

- Druck-Saugverfahren,
- Übersaugung mit hohem Verhältnis Luft zu Gasbildung,
- Druckbelüftung und passive Abluftbehandlung,
- Hochdruckbelüftung.



Damit wird neben einer weitgehenden Erfassung der gebildeten Deponiegase auch eine Stabilisierung der Deponie erreicht. Kennzeichnendes Element dieser Strategie ist ein hoher Gasvolumenstrom, eine geringe Methankonzentration und allenfalls eine geringfügige Gasverwertung.

Wenn die Gasentwicklung weitgehend abgeschlossen ist, die Fachwelt ist sich über einen Zielwert noch uneins, kann die Entgasung, Übersaugung, Belüftung eingestellt werden. Allerdings dürfte dann immer noch eine geringfügige Deponiegasentwicklung vorhanden sein, so dass eine passive Entgasung noch erforderlich sein dürfte. In Ausnahmefällen könnte auch eine passive Aerobisierung möglich sein, was zu einer Methanoxidation bereits im Deponiekörper führt. Bei der passiven Entgasung wäre die Gasentsorgung entweder über Filter zur biologischen Methanoxidation oder über die Abdeckschicht, so wie dies in Bild 5 dargestellt ist, möglich [2].

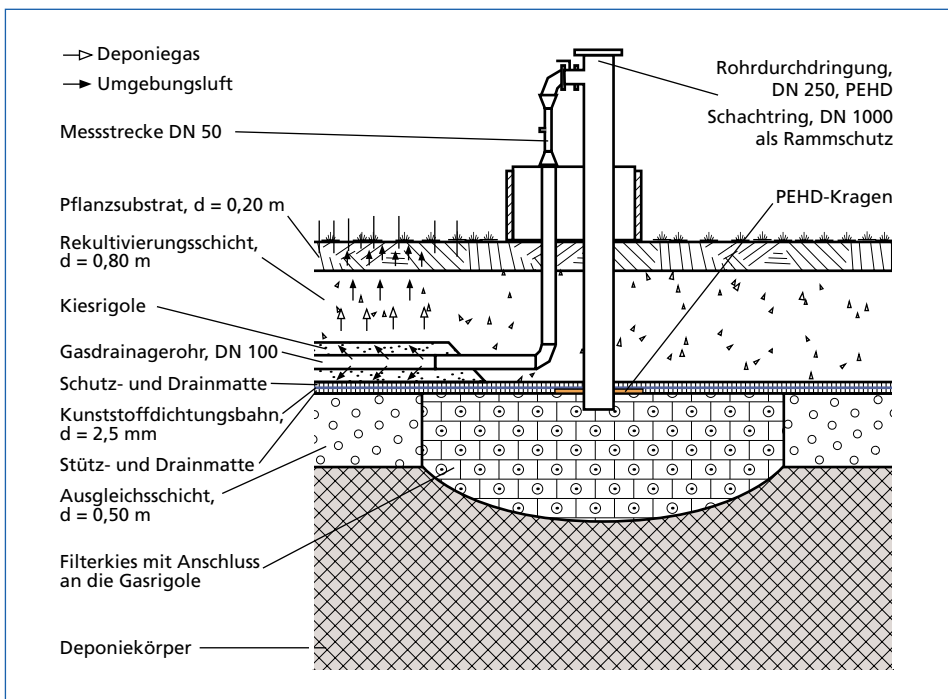


Bild 5: Passive Deponieentgasung mit Einleitung des Gases in die Abdeckschicht

## 4. Zusammenfassung

Die Entgasungstechnik muss sich über die Laufzeit einer Deponie den sich verändernden Gegebenheiten anpassen. Nur dadurch lässt sich eine optimale Gaserfassung erreichen. Die erforderlichen Technologien werden vom Markt zur Verfügung gestellt. Die Betreiber können damit auf bereits bewährte Techniken zurückgreifen.

Der Anwender kann durchaus unterschiedliche Strategien anwenden, allerdings unter entsprechenden betrieblichen Randbedingungen und Auswirkungen auf die Deponie. Die VDI 3899 Blatt 2, die vermutlich spätestens 2018 im Gelbdruck-Normentwurf erscheinen wird, wird dies ausführlich technisch beschreiben.

## 5. Literatur

- [1] Heyer, K.-U.; Hupe, K.; Ritzkowski, M.; Stegmann, R.: Stabilisierung durch Belüftung, Erfahrungen mit der großtechnischen Anwendung in Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 13. In: Rettenberger, G.; Stegmann, R. (Hrsg.): Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 2001
- [2] Rettenberger, G.: Gestaltung von Deponieoberflächen als Methanfilter in Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 12. In: Rettenberger, G.; Stegmann, R.: Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 1999
- [2] Rettenberger, G.; Haubrich, E.; Schneider, R.: Überprüfung der Emissionsfaktoren für die Berechnung der Methanemissionen aus Deponien, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 2014, [www. Umweltbundesamt.de](http://www.Umweltbundesamt.de)
- [4] Rettenberger, G.: Untersuchungen zur Charakterisierung der Gasphase in Abfallablagerungen, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 82. Kommissionsverlag Oldenbourg Industrie-verlag GmbH, München, 2004