

Gezielte Befeuchtung/Bewässerung von Altdeponien zur Beschleunigung der biologischen Umsetzungsprozesse

K. Hupe, K.-U. Heyer, R. Stegmann

IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner

Schellerdamm 19-21, 21079 Hamburg;

Tel.: 040 / 7711 0741 (42); Fax: 040 / 7711 0743

Email: info@ifas-hamburg.de; Internet: www.ifas-hamburg.de

1 EINLEITUNG

Bereits wenige Monate nach Aufbringen einer Oberflächenabdichtung konnte auf verschiedenen Deponiestandorten ein bisweilen drastischer Einbruch der Deponiegasproduktion festgestellt werden. Als wesentliche Gründe werden die eingeschränkte Wasserbewegung im Deponiekörper und Austrocknungseffekte vermutet. Auch an Deponiestandorten mit geringem Niederschlagseintrag (geringer klimatischer Sickerwasserbildung) oder auf denen der Abfall vergleichsweise trocken (Wassergehalt unterhalb des Feuchteoptimums) eingebaut wurde, zeigen eine geringere Deponiegasproduktion als aufgrund der Abfallzusammensetzung und somit des Gasbildungspotenzial zu erwarten wäre. Um das Emissionspotenzial des Deponiekörpers in möglichst kurzen Zeiträumen nachhaltig zu minimieren und somit eine langfristige Umweltverträglichkeit zu erreichen, sollte jedoch ein weit gehender und kontrollierter Abbau der organischen Inhaltsstoffe erfolgen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich zum einen die Frage, ob durch Befeuchungsmaßnahmen unterhalb der Oberflächenabdichtung die biologischen Abbauprozesse und damit die Gasproduktion aufrechterhalten bzw. sogar optimiert werden können. Der Bereich der optimalen Abfallfeuchte für frisch verfüllte Deponien liegt bei 40-50% (nachfolgend immer bezogen auf die Feuchtmasse), bei älteren Ablagerungen um 40%. Mit abnehmender Abfallfeuchte unter das Feuchteoptimum sinken die biologische Umsetzungsaktivität der bioverfügbaren Abfallinhaltsstoffe und damit die Gasproduktionsrate. Unter diesen Umständen kann erst durch eine erneute



Befeuchtung des Deponiekörpers die mikrobielle Aktivität gesteigert werden. Erfolgt die Befeuchtung unkontrolliert nach Beendigung der Deponienachsorge durch eine defekte Oberflächenabdichtung, kann die zunehmende mikrobielle Aktivität zu unerwünschten und unkontrollierten Emissionen von Sickerwasser und Deponiegas und somit zu Belastungen der standortspezifischen Schutzgüter führen. Um dieses zu vermeiden, ist eine möglichst frühzeitige Stabilisierung des Deponiekörpers notwendig.

Als technische Systeme zur Befeuchtung und Bewässerung kommen grundsätzlich horizontale oder vertikale Infiltrationssysteme in Frage. Eine Sonderstellung nimmt die bedingt kontrollierte Infiltration über klimatische Sickerwasserbildung durch schwachdurchlässige Oberflächenabdichtungen ein. Die Auswahl und die Auslegung derartiger Systeme muss grundsätzlich standortspezifisch erfolgen.

2 ZIELE

Mit einer kontrollierten Befeuchtung und Bewässerung abgedichteter und trockener Deponiebereiche werden generell folgende Ziele verfolgt:

- Vermeidung einer unerwünschten Verzögerung der Reaktionsprozesse im Deponiekörper durch Wassermangel und Austrocknungseffekte
- Beschleunigte Stabilisierung der abgelagerten Abfälle zur nachhaltigen Reduzierung des Emissionspotenzials der Deponie: Dies geschieht über die Initiierung biochemischer Umsetzungsprozesse, die zu einem beschleunigten Abbau der organischen Abfallbestandteile zu Deponiegas führen sollen.
- Die kontrollierte Reduzierung des Emissions- und Gefährdungspotenzials reduziert den Aufwand in der langfristigen Nachsorgephase, d.h.
 - geringerer Aufwand an Nachsorgemaßnahmen über einen kürzeren Zeitraum,
 - deutlich reduziertes Risiko, dass durch erneute Schadstoffmobilisierung langfristig ein kostenintensiver Sanierungsbedarf entsteht
 - Nutzung des Deponiekörpers als Festbettreaktor zur Verringerung der Sickerwasserbelastung (Bräcker, 2000)

Während bei der Befeuchtung nur soviel Wasser in den nicht wassergesättigten Deponiekörper gegeben wird, wie er aufnehmen kann, ohne dass es zu nennenswerten Sickerwasserabflüssen zur Deponiebasis kommt, wird bei der Bewässerung das Wasserhaltevermögen des Deponiekörpers gezielt überschritten, um diesen als Perkolationsreaktor zu verwenden. Bei der Bewässerung dient das Wasser als Transport-, Absorptions- und Extraktionsmedium zur Abreicherung mobilisierbarer Deponie- bzw. Abfallinhaltsstoffe, die in der Sickerwasserbehandlungsanlage extern abgetrennt und reduziert werden. Auf diese Weise erfolgt im Vergleich zum Regelbetrieb eine beschleunigte Mobilisierung von Schadstoffen bzw. Abfallinhaltsstoffen, was erhöhte Anforderungen an das Sickerwasserfassungs- und -behandlungssystem stellt. Der erhöhte Behandlungsaufwand ist jedoch nur für einen überschaubaren Zeitrahmen notwendig. Es werden durch dieses Vorgehen Auslaugprozesse vorweggenommen, die mittel- bis langfristig zu einer Reduktion des Behandlungsaufwands und der damit verbundenen Kosten führen. Praktische Beispiele stellten u.a. die sogenannten "high rate flushing bioreactor"-Verfahren (Walker et al., 1997) dar, bei denen die Sickerwasserbildungsrate und damit der Mobilisierungseffekt durch Zugabe von gereinigtem Abwasser oder Brauchwasser künstlich sehr stark erhöht wird, um die Dauer der Schadstofffreisetzung nachhaltig zu verkürzen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Infiltrationsrate durch die Wasserdurchlässigkeit des Abfallkörpers beeinflusst/begrenzt wird.

3 RANDBEDINGUNGEN

3.1 Standortbedingungen

Ob eine Sickerwasserrückführung befürwortet werden kann, bedarf grundsätzlich einer standortspezifischen Einzelfallprüfung unter rechtlichen, ökologischen, technischen und ökonomischen Gesichtspunkten. Dabei sind gemäß der Deponieverordnung (DepV, 2003) folgende Voraussetzungen zu beachten:

- **qualifizierte Basisabdichtung:** mineralische Abdichtung in einer Stärke von mindestens 60 cm, mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k < 1 \times 10^{-8}$ m/s; Maßgeblich sind hierbei die nach Einbau gemessenen und in den Berichten zur Abnahme festgehaltenen Werte.

- **funktionierendes Entwässerungssystem:** Nachweis anhand der Ergebnisse der regelmäßigen Befahrungen in Verbindung mit den in den letzten Jahren abgeleiteten Sickerwassermengen **oder** eine andere Möglichkeit der gesicherten Sickerwassererfassung, z.B. vertikale Umschließung der Deponie mittels Dichtwand in Verbindung mit einer Wasserhaltung, die einen nach innen gerichteten Gradienten erzeugt
- **Standicherheit des Deponiekörpers:** Überprüfung freier Böschungen, wenn im böschungsnahen Bereich infiltriert wird und die Böschungsneigungen steiler sind als 1:5
- **relevante Mengen an nativ-organischer Substanz (Sinnhaftigkeit der Maßnahme):** Diese Voraussetzung liegt vor, wenn im betreffenden Abschnitt in den Jahren zuvor überwiegend Hausmüll eingelagert wurde.
- **funktionierende Aktiventgasungsanlage (zur Gasfassung bei gesteigerter Gasproduktion):** Nachweis über den ordnungsgemäßen Zustand und Betrieb der Anlage über das Betriebstagebuch oder den Jahresbericht.
- **kontrollierte Infiltration:** Eingabe über Sickerrigolen oder rasterförmig angeordnete Infiltrationslanzen, möglichst flächig verteilt und mit Mengemessgeräten versehen.
- **Kontrolle des Gas- und Wasserhaushalts:** Ausreichend vorhandene Daten über Sickerwasser- und Deponiegashaushalt des betreffenden Deponieabschnitts vor Aufnahme der Infiltration; Begrenzung der zugeführten Wassermenge auf das zur nachhaltigen Aktivierung der biologischen Abbauprozesse notwendige Maß, Kontrolle der Sickerwasser- und Gasmengen während der Infiltration

Bei der Durchführung von Infiltrationsmaßnahmen ist standortspezifisch ein maßnahmenbegleitendes Monitoringprogramm zu installieren. Dieses dient einerseits der Erfolgskontrolle und andererseits als Instrument, um zeitnah auf mögliche Probleme reagieren zu können. Folgende Kenngrößen sind dabei in regelmäßigen Zeitintervallen zu erfassen:

- Deponiegasproduktion und Gaszusammensetzung
- Zugeführte Wassermengen – ggf. getrennt nach Deponieabschnitten
- Sickerwassererfassungsmenge und Sickerwasserqualität
soweit erforderlich

- Auswirkungen der Infiltrationsmaßnahmen auf den Deponiekörper selbst, z.B.
 - Feuchtegehalt und Wasserverteilung im Deponiekörper
 - mechanische Stabilität des Deponiekörpers – insbesondere Setzungsverhalten und Standsicherheit in den Böschungsbereichen

3.2 Abschätzungen zum Wasserhaushalt des Deponiekörpers

Die Betrachtung des Wasserhaushalts bildet die Grundlage zur Planung der Maßnahmen zur kontrollierten Befeuchtung/Bewässerung eines Deponiekörpers. Der Wasserhaushalt einer Deponie kann über die Wasserhaushaltsgleichung beschrieben werden:

$$N - V_E - V_T - A_O - S \pm R \pm W_B + W_K = A_B$$

mit

N	Niederschlag, ggf. kontrollierte Wasserzugabe	R	Rückhalt
V_E	Evaporation	W_B	Wasserbedarf/-freisetzung aus biologischer Umsetzung
V_T	Transpiration	W_K	Konsolidation
A_O	Oberflächenabfluss	A_B	Sickerwasserabfluss an der Deponiebasis (in Drainagesystem bzw. Untergrund bei fehlender Basisabdichtung)
S	Speicherung		

Die Anteile

$$N - V_E - V_T - A_O (= S_b)$$

werden auch als sogenannte klimatische Sickerwasserbildung S_b bezeichnet (Ramke, 1993). S_b kennzeichnet den Niederschlagsanteil, der nach Abzug der Verdunstung und des Oberflächenabflusses tatsächlich in den Deponiekörper eindringt. In Abbildung 1 sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt der Deponie schematisch dargestellt.

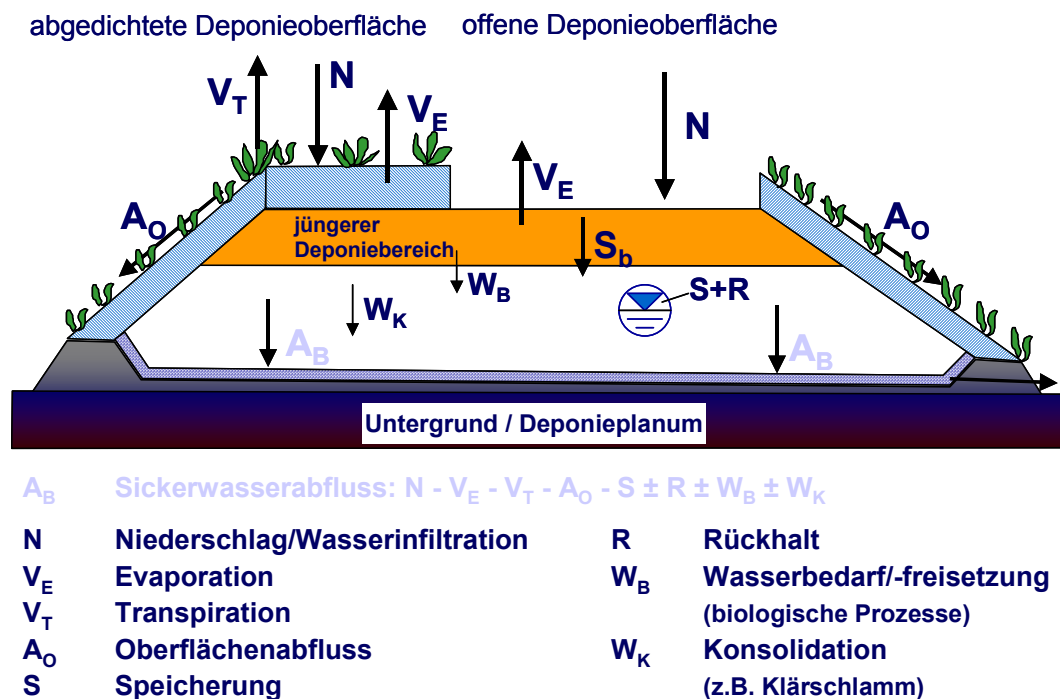


Abb. 1: Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt einer Deponie (schematische Darstellung nach Heyer et al., 2000)

Auf diese Faktoren sollte standortspezifisch, d.h. unter den Bedingungen der Abfallablagerung vertieft eingegangen werden, um schon im Vorwege den Einfluss der Infiltration abschätzen zu können, Infiltrationsmaßnahmen mit negativen Randerscheinungen zu vermeiden und die Maßnahmen kostengünstig auszuführen.

3.3 Abschätzungen der Wasserzugabemenge zur kontrollierten Infiltration

Durch die kontrollierte Befeuchtung soll der Wassergehalt mit dem Ziel optimiert werden, die mikrobielle Umsetzungsaktivität und damit verbunden die Deponiegasproduktion zu steigern. Auch wenn der optimale Wassergehalt von der Abfallzusammensetzung und dem -alter abhängig ist, so zeigen die praktischen Erfahrungen, dass der Wassergehalt die anaeroben Abbauprozesse im Deponiekörper folgendermaßen beeinflusst:

- biologische Abbauprozesse verlaufen z.T. deutlich gehemmt bei Wassergehalten < 30 %

- biologische Abbauprozesse verlaufen eingeschränkt bei Wassergehalten < 40 % (abhängig vom Alter und Abbaugrad der Abfälle)
- optimaler biologischer Abbau bei Wassergehalten > 40 %

Somit ist ein Wassergehalt von mehr als 35 % anzustreben. Für eine kontrollierte Auslaugung des Abfallkörpers (Bewässerung) ist ein Wassergehalt deutlich oberhalb der Wasserhaltekapazität des Abfalls anzustreben. Die spezifische Wasserzugabemenge kann nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = W / FM_{\text{IST}} = (w_{\text{erf.}} - w_{\text{IST}}) / ((1 - w_{\text{erf.}}) \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}})$$

- $m_{\text{H}_2\text{O}}$ spezifische Wasserzugabemenge zum Erreichen der gewünschten Abfallfeuchte [m³/Mg Abfallfeuchtmasse]
- W Wasservolumen, um einen erforderlichen Wassergehalt einzustellen [m³]
- FM_{IST} Abfallfeuchtmasse, deren Wassergehalt erhöht werden soll [Mg]
- $w_{\text{erf.}}$ erforderlicher Wassergehalt (z.B. maximale Wasserhaltekapazität) [-]
- w_{IST} vorhandener Wassergehalt vor einer Wasserzugabe [-]
- $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ Dichte von Wasser 1 Mg/m³

Die erforderliche bzw. optimale Wasserzugabemenge und Infiltrationsrate ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig:

- Standortbedingungen
 - klimatische Verhältnisse
 - Deponiegeometrie (u.a. Ablagerungsvolumen, -höhe, Deponieoberfläche insbesondere Oberflächenabdichtung und Böschungsneigung)
 - Abfallbeschaffenheit (ggf. Berücksichtigung unterschiedlicher Deponiebereiche): Abfallzusammensetzung, Ablagerungsdichte bzw. Wasserdurchlässigkeit, Deponiegasbildungspotenzial
- Behandlungsziel
 - Befeuchtung zur Steigerung der Deponiegasproduktion - Wasserzugabemenge: 100 – 200 l/m³ Ablagerungsvolumen (Erfahrungswerte / durchschnittliche Zugabemenge bei zahlreichen Deponien)

- Bewässerung zur beschleunigten Auslaugung des Abfallkörpers – Wassermenge: bis zu einem Faktor 10 über der Zugabemenge bei der Befeuchtung

Berechnungsbeispiel - Befeuchtung: Wenn bei einem 20 m hohen Deponieabschnitt (durchschnittliche Feuchtdichte 1 Mg/m^3) der Wassergehalt innerhalb eines Jahres von 30 % auf 40 % gesteigert werden soll, wäre eine Bewässerungsrate von 3,220 mm/a oder etwa 9 mm/d erforderlich. Die Bewässerungsrate von $3.22 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ entspricht umgerechnet $1,02 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. Theoretisch wäre bei dieser Bewässerungsrate eine Mindestdurchlässigkeit von etwa $1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ ausreichend, damit es im Deponiekörper nicht zu einem Wasseraufstau kommt. In der Praxis sind aus Stabilitätsanforderungen insbesondere bei Haldendeponien jedoch höhere Durchlässigkeiten erforderlich (Heyer, 2003).

Im Vergleich zur Befeuchtung mit dem Hauptziel der Intensivierung der biologischen Abbauprozesse werden für die Entfrachtung der wasserlöslichen Schadstoffe und der schwer bzw. nicht abbaubaren organischen Verbindungen deutlich höhere Wasserdurchsätze notwendig.

Berechnungsbeispiel – Bewässerung: Bei gezielter Bewässerung würde eine Bewässerungsrate von 2 m/a bei einem 20 m hohen Deponieabschnitt (Feuchtdichte 1 Mg/m^3) und einem Wassergehalt von 40 % (Abfall ist wassergesättigt, keine freie Wasserspeicherkapazität mehr vorhanden) eine hydraulische Retentionszeit (= Zeitraum zum vollständigen Austausch des Wasservolumens) von 4 Jahren bedeuten. Die Bewässerungsrate läge in diesem Beispiel mit 6 mm/d überschlägig um einen Faktor 7 höher als die durchschnittliche klimatische Sickerwasserbildung in Deutschland (Heyer, 2003).

Berechnungsbeispiel – Auslaugung: Um durch eine Bewässerungsmaßnahmen eine Sickerwasserkonzentration von 1000 mg/l allein über den Verdünnungseffekt um zwei Zehnerpotenzen auf 10 mg/l zu reduzieren, muss das Wasservolumen W nahezu 5 mal ausgetauscht werden. Bei einem Wassergehalt von 40 % würde das einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von $W/F = 3,3$ entsprechen (Abb. 2). Die

allmähliche Stoffmobilisierung über die Zeit infolge biologischer und chemischer Prozesse ist dabei nicht berücksichtigt, so dass der tatsächlich erforderliche Wasserdurchsatz für einige Sickerwasserinhaltsstoffe höher liegen wird, wie es Versuche in Deponiesimulationsreaktoren (DSR) zeigen (Heyer, 2003).

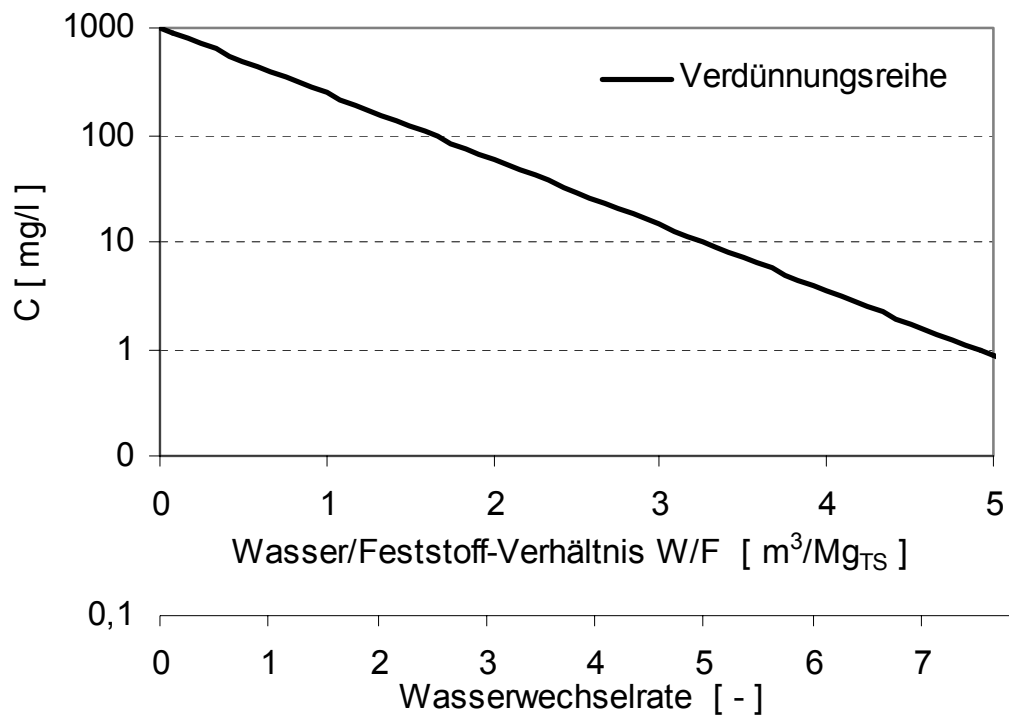


Abb. 2: Abnahme der Sickerwasserkonzentrationen infolge Verdünnung (Heyer, 2003)

Zur Berücksichtigung der chemischen und biologischen Prozesse auf den Stoffaustrag über den Wasserpfad können die Ergebnisse der DSR herangezogen werden. In Tabelle 1 sind Konzentrationsbereiche der Sickerwässer in den DSR, die in etwa der Sickerwasserbeschaffenheit der beprobten Deponieabschnitte entsprechen, aufgeführt. Darüber hinaus sind die Grenzkonzentrationen und die erforderlichen Wasser/Feststoff-Verhältnissen bis zu deren Erreichen für folgende Betrachtungen angegeben:

- erforderliche Wasser/Feststoff-Verhältnisse allein infolge physikalischer Prozesse (Verdünnung)
- erforderliche Wasser/Feststoff-Verhältnisse infolge physikalischer und biochemischer Prozesse (aus DSR Ergebnissen)

Aus dem Vergleich wird deutlich, dass der Stoffaustrag über den Wasserpfad nicht allein eine Frage der physikalischen Auslaugung, sondern auch der Mobilisierungsprozesse infolge chemischer Reaktionen und biologischer Abbauprozesse ist. Die mittel- und langfristigen Mobilisierungsprozesse von organischen Verbindungen, Stickstoff und z.T. auch Chlorid und AOX haben ein größeres Wasser/Feststoff-Verhältnis gegenüber der alleinigen Verdünnung zur Folge, bis die Grenzkonzentrationen erreicht werden.

Table 1 - Stoffaustrag über den Wasserpfad: erforderliche Wasser/Feststoff-Verhältnisse (W/F) infolge physikalischer Prozesse (Verdünnung) und bei Berücksichtigung langfristiger biochemischer Prozesse (Heyer, 2003)

Parameter	C_E Grenzkonzentration [mg/l]	C_0 Konzentration zu Bewässerungsbeginn [mg/l]	W/F bis C_E Verdünnung [m ³ /Mg TS]	W/F bis C_E im DSR [m ³ /Mg TS]
CSB	$C_{E-51.Anhang} = 200$ mg/l Mittelwert	500 – 12.700 3.000	0,7 – 3,0 1,9	1,0 – 6,0 2,4
N_{gesamt}	$C_{E-51.Anhang} = 70$ mg/l Mittelwert	200 – 2.100 900	0,8 – 2,4 1,8	2,6 – 7,7 4,4
AOX	$C_{E-51.Anhang} = 500$ µg/l Mittelwert	390 - 2.380 µg/l 1.600 µg/l	0,0 – 1,1 0,8	0,1 – 3,5 1,4

Mittelwerte: gebildet aus Ergebnissen aller DSR unter anaeroben Milieubedingungen

4 INFILTRATIONSVERFAHREN

4.1 Infiltrationsmedien

Bei der Wahl des Infiltrationsverfahrens ist die Qualität sowie die Quantität des Infiltrationsmediums maßgebend. Die wesentlichen Parameter, die das Infiltrationsvermögen und -verhalten bestimmen, sind:

- die Inhaltsstoffe des Infiltrationsmediums (u.a. organische Belastung, Stickstoffgehalt, Salzgehalt)
- der Trockensubstanzgehalt,
- die Partikelgrößenverteilung der Trockensubstanz,

- das Inkrustations- (bestimmt vor allem durch den Karbonatanteil) und Ausfällungsverhalten und
- das Korrosionsverhalten, das vor allem bei der Materialauswahl für das Infiltrationssystem zu berücksichtigen ist.

In erster Linie sind diese Parameter für eine Verstopfung und innere Schädigung des Systems verantwortlich, was die Funktionstüchtigkeit des Infiltrationssystems beeinträchtigt und den Wartungs- und Instandhaltungsaufwand erhöht.

Folgende Infiltrationsmedien kommen in Abhängigkeit der Standortbedingungen und des gewählten Infiltrationssystems zum Einsatz:

- Brauchwasser
- Oberflächenwasser
- Deponiesickerwasser:
 - Vorbehandelt/gereinigt (unterschiedliche Behandlungsintensitäten),
 - unvorbehandelt (Rohsickerwasser),
 - flüssige Sickerwasserreinigungsrückstände – nur bedingt geeignet
- ggf. Prozesswasser aus am Standort vorhandenen Abfallbehandlungsanlagen (z.B. Vergärung) oder Sickerwasser aus der Kompostierung – kann i.d.R. nicht empfohlen werden

Die Infiltration von unbelastetem Brauch- oder Oberflächenwasser, aber auch von gereinigtem Sickerwasser bietet die Vorteile, dass es zu keiner Teilrückführung von löslichen Sickerwasserinhaltsstoffen in den Deponiekörper kommt und negative Auswirkungen des Infiltrationsmediums auf das Infiltrationssystem kaum zu erwarten sind. Darüber hinaus wird der Anschein einer „kostengünstigen Schadstoff- bzw. Sickerwasserentsorgung“ auf diese Weise von vornherein ausgeschlossen. Die Nutzung dieser Medien ist jedoch erst nach deren Fassung und ggf. Vorbehandlung möglich.

Für das vorbehandelte Sickerwasser einer Sickerwasserbehandlungsanlage (z.B. Permeat aus einer Umkehrosmoseanlage) ist zu prüfen, ob es in ausreichender Menge zur Verfügung steht, um eine Optimierung der Abfallfeuchte durch Infiltration

gewährleisten zu können. Dieses gilt in gleicher Weise für das Rohsickerwasser, die flüssigen Sickerwasserreinigungsrückstände und Prozesswasser. Sollte die verfügbare Menge entsprechender Infiltrationsmedien zu gering sein, können unterschiedliche Infiltrationsmedien „parallel“ verwendet werden.

Der zeitlich befristete Einsatz unvorbehandelter Infiltrationsmedien (z.B. Rohsicker- oder Prozesswasser) oder flüssiger Sickerwasserreinigungsrückstände in jüngeren Deponieabschnitten bietet über die Optimierung der Abfallfeuchte hinaus die Möglichkeit, dass durch die Infiltration der nährstoffreichen Medien das Angebot an bereits wassergelösten und somit bioverfügbaren Stoffen im Deponiekörper steigt. Dies wirkt sich zusätzlich positiv auf die zu steigernde Deponiegasproduktion aus und kann insbesondere bei jüngeren biologisch aktiven Deponieabschnitten von Bedeutung sein. Es kann ein weitergehender Abbau der organischen Verbindungen (BSB, „Rest-CSB“ und AOX) erreicht werden. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei der Infiltration von hochbelasteten Medien um zeitlich befristete Maßnahmen handelt, die maximal solange durchgeführt werden sollten, wie noch eine ausreichende biologische Aktivität im Deponiekörper vorhanden ist. Es besteht sonst die Gefahr, dass lösliche Infiltratbestandteile bei einer Infiltration den Deponiekörper schnell passieren, an der Deponiebasis anfallen und erneut aufwendig gereinigt werden müssen. Dieses würde nicht nur die Sickerwasserreinigungskosten erhöhen, sondern vor allem auch die Deponienachsorgephase verlängern, da der Deponiekörper erst später in einen emissionsarmen Zustand überführt werden kann.

Insgesamt kann im Zeitraum der Infiltrationsmaßnahmen durch die Verwendung unterschiedlicher Infiltrationsmedien eine auf das Verhalten des Deponiekörpers angepasste Infiltration erfolgen, deren Art, Dauer und Umfang kontinuierlich über ein begleitendes Monitoringprogramm aktualisiert wird.

4.2 Technische Verfahren zur Infiltration von Wasser in Deponieabschnitte

Technische Verfahren zur Wasserinfiltration sind so zu gestalten, dass eine kontrollierte und gleichmäßige Durchfeuchtung des Deponiekörpers gewährleistet

wird. So sind durch entsprechende standortspezifische Maßnahmen Kurzschlussströmungen und bevorzugte Sickerbahnen zu vermeiden.

Es gibt unterschiedliche technische Verfahren, um Wasser in den Deponiekörper zu infiltrieren. Dabei ist von großer Bedeutung, welche Auswirkungen die Infiltrationsanlagen auf bestehende oder noch zu installierende Oberflächenabdichtungssysteme ausüben. Sie können teilweise erheblich beschädigt werden, so dass nach Abschluss der Infiltrationsmaßnahme aufwendige Reparaturen notwendig werden können. Um dies zu vermeiden, sind die Oberflächenabdichtung und das technische Infiltrationsverfahren eng aufeinander abzustimmen. Die Wahl des Infiltrationssystems wird darüber hinaus bestimmt durch die Qualität des Infiltrationsmediums (s.o.) und von der Infiltrationsmenge.

In Abhängigkeit der standortspezifischen Randbedingungen und Ziele der Wasserinfiltration können folgende Infiltrationsverfahren für abgedichtete Deponien eingesetzt werden (Bothmann, 1997; Bauer und Meisinger, 1999; Stegmann et al., 2001, Drexler, 2001):

- horizontale Infiltrationssysteme unter der Oberflächenabdichtung
 - flächige Infiltrationsverfahren
 - linienförmige Infiltrationsverfahren
- vertikale Infiltrationssysteme
 - Nutzung vorhandener vertikaler Gaskollektoren
 - vertikale Schluckbrunnen
 - Infiltrationslanzen in kürzeren Rasterabständen

Auch Kombinationen der einzelnen Infiltrationssysteme können standortspezifisch oder deponieabschnittsweise sinnvoll sein. Im Folgenden werden mehrere Infiltrationsmaßnahmen erläutert und anschließend in ihren Vor- und Nachteilen abgewogen. Dabei wird auch die bedingt kontrollierte Befeuchtung über die klimatische Sickerwasserbildung berücksichtigt.

4.2.1 Bedingt kontrollierte Befeuchtung über klimatische Sickerwasserbildung durch schwachdurchlässige Oberflächenabdeckung

Bei dieser Verfahrensvariante wird im Infiltrationsbereich eine bedingt kontrollierte klimatische Sickerwasserbildung zugelassen. Dies bedeutet, dass Niederschläge über eine Oberflächenabdeckung wie bisher in den Deponiekörper eindringen können, allerdings in geringerem Ausmaß und vergleichmäßigt. Wesentliche Steuerungselemente sind die Neigung des Infiltrationsbereichs an der Oberfläche und die Ausgestaltung des ggf. temporären Oberflächenabdecksystems wie:

- Wahl der Abdeckmaterialien und Schichtenaufbau,
- Dicke der Abdeckschichten, Neigung
- optimale Ableitung unbelasteten Oberflächenwassers, ggf. temporärer Einsatz von zusätzlichen Zwischenabdeckungen zur Reduzierung des Wassereintrags in die Abdeckschichten

4.2.2 Horizontale Infiltrationsverfahren

Bei den horizontalen Infiltrationsverfahren können flächige und linienförmige Verfahren unterschieden werden. Diese Verfahren stammen vornehmlich aus landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Anwendungsbereichen sowie aus dem Bereich der alternativen Abwasserreinigung.

Flächige Infiltrationsverfahren

Zu den flächigen Infiltrationsverfahren zählen Sickerbecken und Bewässerungsfelder. Die Sickerbecken stellen zwar sehr kostengünstige Systeme dar, sind jedoch nur bedingt kontrollier- und steuerbar (Dörr et al., 1995).

Erfahrungen mit Infiltrationsfeldern liegen z.B. aus Bayern von der Deponie „Im Dienstfeld“ vor (Drexler, 2001). Dabei werden auf ebenen Deponieflächen ohne relevante Neigung unter der Abdeckung mit Kunststoffdichtungsbahnen großflächige Bewässerungsfelder als Kies- oder Schotterschicht angelegt, die zur besseren

Steuerung in mehrere Abschnitte unterteilt sind. Die Felder werden ebenfalls über Bewässerungsleitungen mit Wasser beschickt.

Linienförmige Infiltrationsverfahren

Im Infiltrationsbereich können horizontale Infiltrationsleitungen in der gaswegigen Ausgleichsschicht unter der Oberflächenabdichtung verlegt werden. Über diese Leitungen wird das Wasser strangweise nahezu parallel zu den Höhenlinien eingebracht. Die Infiltration kann weit gehend flächendeckend erfolgen und somit, in Abhängigkeit der horizontalen und vertikalen Durchlässigkeiten des Deponieabschnitts, das gesamt zu bewässernde Abfallvolumen erreichen.

Für die bauliche Ausführung werden in der gasgängigen Ausgleichsschicht Gräben oder Rigolen angelegt, in denen die Drainageleitungen verlegt werden. Die gasgängige Ausgleichsschicht dient als Filterkörper. Sollte nach Abschluss der Infiltrationsmaßnahme ein Rückbau der horizontalen Infiltrationsleitungen notwendig werden, z.B. aufgrund bodenmechanischer Stabilitätsanforderungen an die Oberflächenabdichtung, dann ist der zusätzliche bauliche Aufwand zu berücksichtigen.

Linienförmige Systeme bieten sich an, wenn die Infiltration des Abfallkörpers als dauerhafte Einrichtung vorgesehen ist. Da sie unter der Oberflächenabdichtung mit definiertem Gefälleverhältnis einzubauen sind, kann die Planung des Graben- bzw. Rigolensystems nur gemeinsam mit der Planung der Oberflächenabdichtung erfolgen.

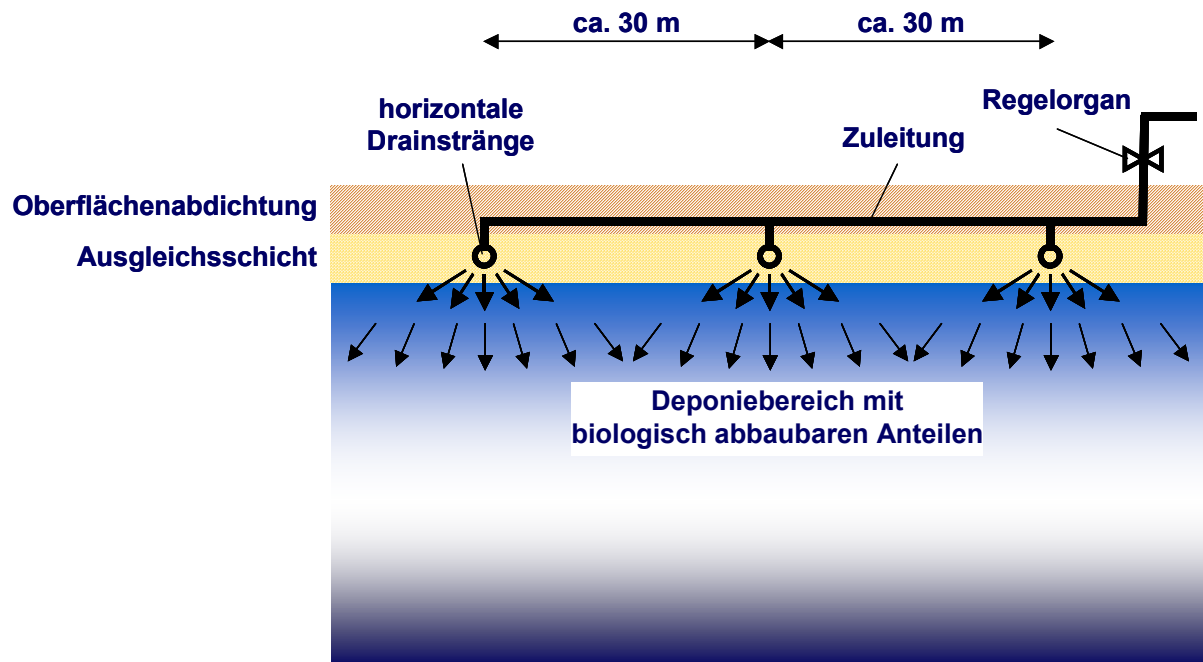


Abb. 3: Schema eines horizontalen Infiltrationsverfahrens

4.2.3 Vertikale Infiltrationsverfahren

Eine vertikale Einleitung des Infiltrats in den Deponiekörper kann über

- vorhandene Gaskollektoren,
- Schluckbrunnen oder
- Infiltrationslanzen

erfolgen.

Nutzung vorhandener vertikaler Gaskollektoren

Vorhandene vertikale Gaskollektoren können als Schluckbrunnen für die Wasserinfiltration eines Deponieabschnitts eingesetzt werden. Die Einleitung des Wassers erfolgt über den Brunnenkopf in das vertikale Filterrohr und damit in den Filterkörper des Kollektors. Die Infiltration erfolgt punktuell und erfasst in Abhängigkeit der horizontalen Durchlässigkeit des Deponiekörpers einen kegelförmigen Bereich. Um eine Verteilung des Wassers in radialer Richtung zu erreichen, ist ein Wasseraufstau im Gaskollektor notwendig. Wenn neben Oberflächen- oder Brauchwasser z.B.

Sickerwasser zur Befeuchtung eingesetzt werden soll, können Inkrustationen in den Rohren und dem Filterkörper auftreten.

Einrichtung vertikaler Schluckbrunnen

Im Infiltrationsbereich können in einem standortspezifischen Raster Schluckbrunnen errichtet werden, über die Brauch- oder Sickerwasser über eine Rohrleitungs-konstruktion (Vollrohr und vertikales Filterrohr) eingebracht wird. Die Infiltration des Deponieabschnitts erfolgt punktuell und erfasst radial zum Filterkörper einen kegel-förmigen Bereich. Nach Abschluss der Infiltrationsmaßnahme sollten die Schluck-brunnen bis auf die gasgängige Filterschicht rückgebaut werden, so dass Reparatur-arbeiten an der Oberflächenabdichtung zur Wiederherstellung ihrer Funktions-fähigkeit notwendig werden.

Befeuchtung mittels Lanzen in kürzeren Rasterabständen

Vertikale Infiltrationslanzen werden im Infiltrationsbereich werden in einem an den Standort angepassten Raster (z.B. 15-20 m) durch die u.U. bereits bestehende Oberflächenabdichtung in den Deponiekörper gerammt. Über die Lanzen wird Wasser über Regelorgane dosiert in den Deponiekörper eingebracht. Mehrere Lanzen können über eine gemeinsame Infiltrationsleitung versorgt werden (analog zu Brunnengruppen und Sammelleitungen).

Für die bauliche Ausführung können Stahlrohre bis zu einer Tiefe von 1 bis 2 m in die Müllschicht gerammt werden. Die Stahlrohre sind im unteren Bereich perforiert, so dass Wasser flächig in den Deponiekörper einströmen kann (s. Abb. 4). Nach Abschluss der Infiltrationsmaßnahme werden die Lanzen gezogen und die entstandenen Löcher in der Oberflächenabdichtung abgedichtet.

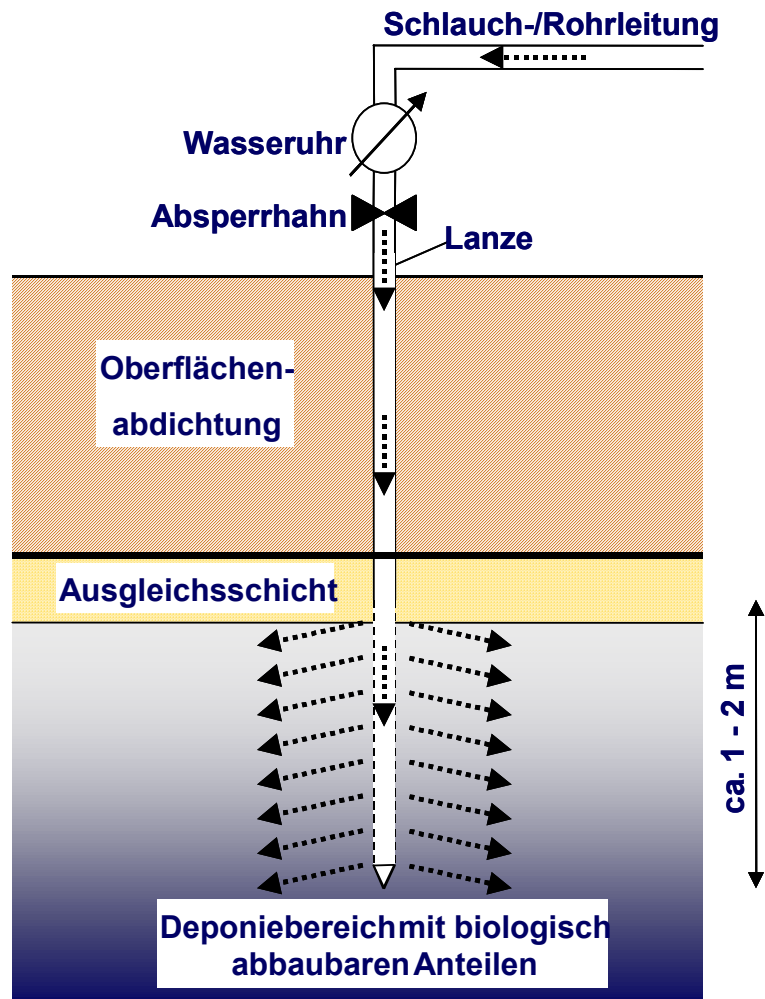


Abb. 4: Schema einer Infiltrationslanze

4.2.4 Vergleich der Infiltrationssysteme

In Tabelle 2 sind die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Infiltrationssysteme gegenübergestellt.

Tab. 2: Vergleich der unterschiedlichen Infiltrationssysteme – Erfahrungen bisheriger Anlagen/Projekte

Infiltrationssystem	Vorteile	Nachteile
Bedingt kontrollierte Befeuchtung über klimatische Sickerwasserbildung durch schwachdurchlässige Oberflächenabdeckung	<ul style="list-style-type: none"> • „natürliche“ Infiltration mit Niederschlagswasser • keine unmittelbare Beeinträchtigung des Entgasungssystems • flächige Einbringung und gleichmäßige Verteilung des Wassers möglich • geringer technischer Aufwand, geringere Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserzugabe und Wasserhaushalt nur bedingt steuer- und kontrollierbar • kaum Erfahrungen zur Gestaltung des Oberflächenabdecksystems vorhanden • u.U. ungleichmäßige Wasserzugabe durch ungleichmäßige Setzungen des Deponiekörpers • erneute Bearbeitung der Gesamtfläche der Oberflächenabdeckung nach Abschluss der Infiltrationsmaßnahme erforderlich
Horizontale Infiltrationsverfahren	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltration mit Brauch- und Sickerwasser (geringe Inkrustationsgefahr) beim Einsatz von Infiltrationsgräben/-rigolen zeitlich befristet möglich • keine unmittelbare Beeinträchtigung des Entgasungssystems • definierte Bauausführung • flächige Einbringung und gleichmäßige Verteilung des Wassers möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • gleichmäßige Befeuchtung über die Länge des Drainagestranges in der Praxis häufig nur bedingt erreichbar, d.h. oft erhöhte Einleitung im ersten Abschnitt des Drainagestrangs • gleichmäßiger Eintrag geringer Wasservolumina mit geringem Druck kaum möglich • große Anzahl an Drainagesträngen zur gleichmäßigen Befeuchtung erforderlich • Eingriffe in bestehende Oberflächenabdichtung vor und ggf. nach Infiltrationsmaßnahme erforderlich • Aufwand zur Wiederherstellung der Oberflächenabdichtung u.U. erheblich • Setzungsempfindlichkeit horizontaler Systeme: Abscheren/Bruch/Knicken von Leitungen, veränderte Fließwege bei ungleichmäßigen Setzungen in einem Leitungssystem

Tab. 2: Vergleich der unterschiedlichen Infiltrationssysteme - Erfahrungen bisheriger Anlagen/Projekte - Fortsetzung

System	Vorteile	Nachteile
Vertikale Infiltrationsverfahren		
<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung vorhandener vertikaler Gaskollektoren 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Eingriffe in die Oberflächenabdichtung erforderlich • geringer Aufwand und damit geringe Kosten bei Einrichtung und Betrieb • kein Rückbau im Deponiekörper nach Ende der Infiltrationsmaßnahme erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • punktuelle Einleitung, ggf. nur geringer Bereich des gesamten Deponieabschnitts erreichbar • Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Entgasungssystems (reduzierte Gaswegigkeit) • ggf. direkter Abfluss des eingeleiteten Wassers in untere Deponieabschnitte – erhöhtes Risiko des unkontrollierten Austritts in den Untergrund
<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtung vertikaler Schluckbrunnen 	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltration mit Brauch- und Sickerwasser zeitlich befristet möglich • keine unmittelbare Beeinträchtigung des Entgasungssystems • definierte Bauausführung • Wartung und Instandhaltung mit vergleichsweise (zu allen anderen Systemen) geringem Aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> • punktuelle Einleitung, ggf. nur geringer Bereich des gesamten Deponieabschnitts erreichbar – insbesondere bei geringer Deponiehöhe • Eingriffe in die Oberflächenabdichtung vor und nach der Infiltrationsmaßnahme erforderlich • ggf. erheblicher Aufwand zur Wiederherstellung der Oberflächenabdichtung
<ul style="list-style-type: none"> • Befeuchtung mittels Lanzen in kürzeren Rasterabständen 	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltration mit Brauch- und Sickerwasser zeitlich befristet möglich • keine unmittelbare Beeinträchtigung des Entgasungssystems • definierte Bauausführung, flexibel und ggf. relativ kostengünstig • weitgehend flächige und gleichmäßige Verteilung des Wassers möglich, Wasserzugabe auf jeweiligen Deponiebereich optimal abstimmbare • relativ geringer Eingriff in die Oberflächenabdeckung/-dichtung 	<ul style="list-style-type: none"> • bei engem Raster zur gleichmäßigen Durchfeuchtung relativ große Lanzenanzahl • erhöhter Regelungsaufwand bei unterschiedlicher Wasserzugabe je Deponiebereich • Verstopfungs- und Inkrustationsgefahr ggf. groß in Abhängigkeit vom Infiltrationsmedium und der Ausführung der Lanzenperforation



Bei der Auswahl des für den jeweiligen Deponiestandort geeignetsten Infiltrationssystems ist zu berücksichtigen, dass die Infiltration in den Deponiebereichen erfolgen wird, in denen noch die größten biologischen Prozesse und mithin Setzungen zu erwarten sind. Vor diesem Hintergrund sollten langfristig sehr robuste Systeme gewählt werden, die oberflächennah installiert werden können, um eine Wartung und Instandhaltung mit möglichst geringem Aufwand zu ermöglichen. So sind linienförmige horizontale Infiltrationssysteme nur bedingt geeignet, da sie einerseits im erhöhten Maße setzungsempfindlich sind und andererseits eine größere Anfälligkeit gegenüber Infiltrationsmedien mit erhöhten Trockensubstanzgehalten und Inhaltsstoffen, die zu Ausfällungen neigen, besitzen (Versagen des Infiltrationssystems und Zusetzen/Inkrustation der Dränschlitze der Infiltrationsrohre). Letzteres gilt auch für Infiltrationslanzen.

4.3 IFAS-Konzept zur Wasserinfiltration

In der Regel sollen technisch „einfachere“, aber langfristig stabile und kostengünstige Systeme installiert werden, die eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Deponiekörpers gewährleisten. Aufgrund der Erfahrungen von verschiedenen Deponiestandorten und des Systemvergleichs in Tabelle 2 wurde ein Kombinationsverfahren aus flächigen (z.B. Infiltrationsfelder) und vertikalen Infiltrationssystemen (z.B. Brunnenschächte) entwickelt, das optimal erscheint, um obigen Anforderungen gerecht zu werden. Das kombinierte Infiltrationssystem ist wie folgt gestaltet:

- Brunnenschächte werden zur kontrollierten Wasserzugabe im Plateaubereich installiert (Abbildung 5).
- Unterhalb der Brunnenschächte werden Infiltrationsfelder (Kiesfelder) zur weitgehend flächigen Verteilung des Infiltrationsmediums angeordnet.
- Die Beschickung der Brunnenschächte/Infiltrationsfelder kann über Tankwagen (Abbildung 6) oder über ein weitgehend automatisiertes Wasserverteilungssystem bestehend aus Verteilungsbauwerken und einem Rohrleitungssystem (Abbildung 7) erfolgen. Bei langfristigen Infiltrationsmaßnahmen sollte das aufwendigere Rohrleitungs- und Verteilungssystem erst installiert werden, wenn die Hauptsetzungen weitgehend abgeklungen sind, um eine Schädigung des

Rohrleitungssystem zu vermeiden. Damit bei einer automatisierten Beschickung die Schächte bei der Befüllung nicht überlaufen, ist das System ggf. mit einer Zulaufsteuerung zu versehen.

- Erfolgt nach Installation eines entsprechenden Infiltrationssystems eine Aufhöhung des Deponiekörpers mit emissionsrelevantem Abfall, so ist ggf. eine Aufstockung der vorhandenen Brunnenschächte notwendig. Darüber hinaus können nach Verfüllende auf dem aufgehöhten Deponiebereich weitere Infiltrationseinheiten bestehend aus Brunnenschacht und Infiltrationsfeld installiert werden (ebenfalls in Abbildung 7 dargestellt).

Dieses Infiltrationskonzept bietet im Vergleich zu den in Kap. 4.2 (s.a. Tab. 2) beschriebenen und in der Praxis bereits angewandten Verfahren Vorteile, die standortspezifisch optimiert zu verifizieren sind. Die Festlegung der Abmessungen für die Brunnenschächte und Infiltrationsfelder (Durchmesser und Höhe) sowie des Abstandes zwischen den einzelnen Brunnenschacht/Infiltrationsfeld-Einheit kann nur standortspezifisch erfolgen.

Abbildung 5 zeigt das Schema eines Brunnenschacht/Infiltrationsfeld-Systems. Um unkontrollierte Gasemissionen zu vermeiden, kann der Bereich des Infiltrationsfeldes mit einer gasdichten Abdeckung/Abdichtung versehen werden. Der Brunnenschacht wird wasser- und gasdicht ausgeführt. Über den Brunnenschacht ist auch eine Wartung und Instandhaltung des Systems möglich. Der Schachtdeckel kann optional mit einem Befüllungsrohr versehen werden, so dass eine Beschickung mittels Tankwagen erfolgen kann. Die Beschickung kann jedoch auch über eine Druckleitung erfolgen. Zur Vermeidung von Auskolkungen des Kiesbettes im Bereich des Wassereintrags sind entsprechende bauliche Maßnahmen vorzusehen. Für eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Abfallkörpers ist ein zeitlich begrenzter Wassereinstau im Infiltrationsfeld erforderlich, um eine flächige Verteilung des Infiltrationsmediums innerhalb des Infiltrationsfeldes zu gewährleisten. Die Möglichkeit des Wassereinstaus ist in der Planungsphase zu berücksichtigen und kann baulich und verfahrenstechnisch realisiert werden.

Der Schachtdeckel kann zusätzlich mit einem Füllstandsanzeiger zur Kontrolle des Wassereinstaus und einem Entlüftungsventil versehen werden, was aufgrund der gasdichten Ausführung des Brunnenschachtes insbesondere während des Beschickungsvorgangs von Bedeutung ist.

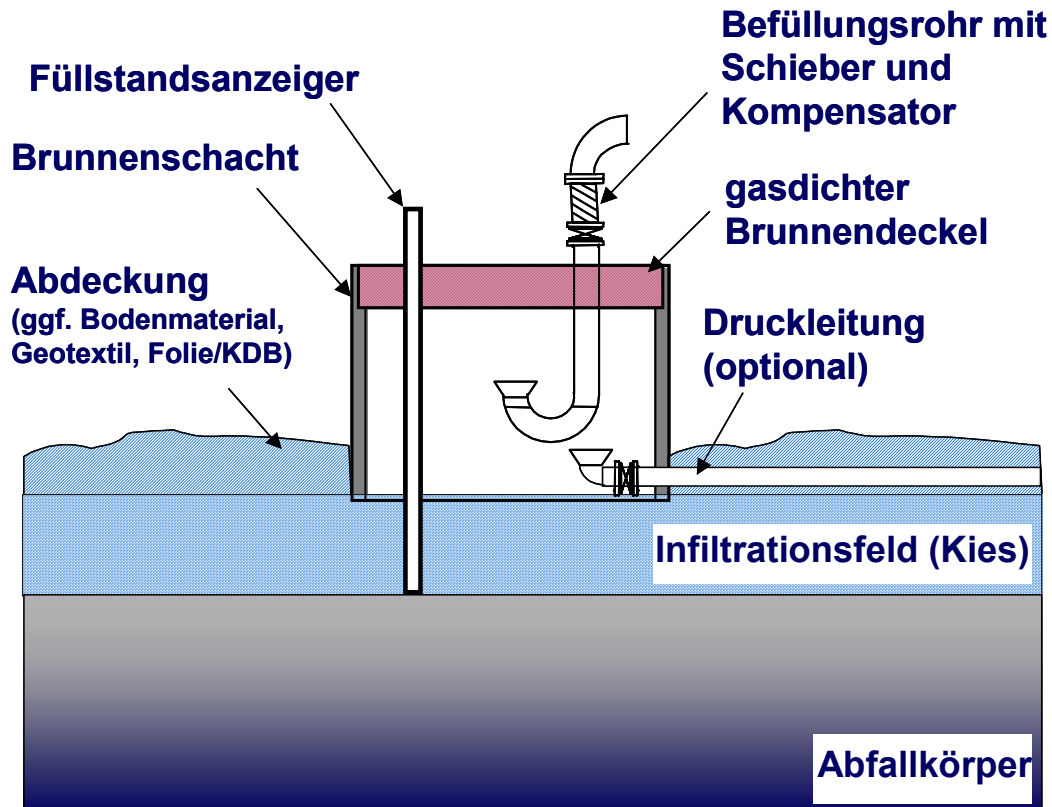


Abb. 5: Schema eines Brunnenschachtes mit Infiltrationsfeld (unmaßstäblich)

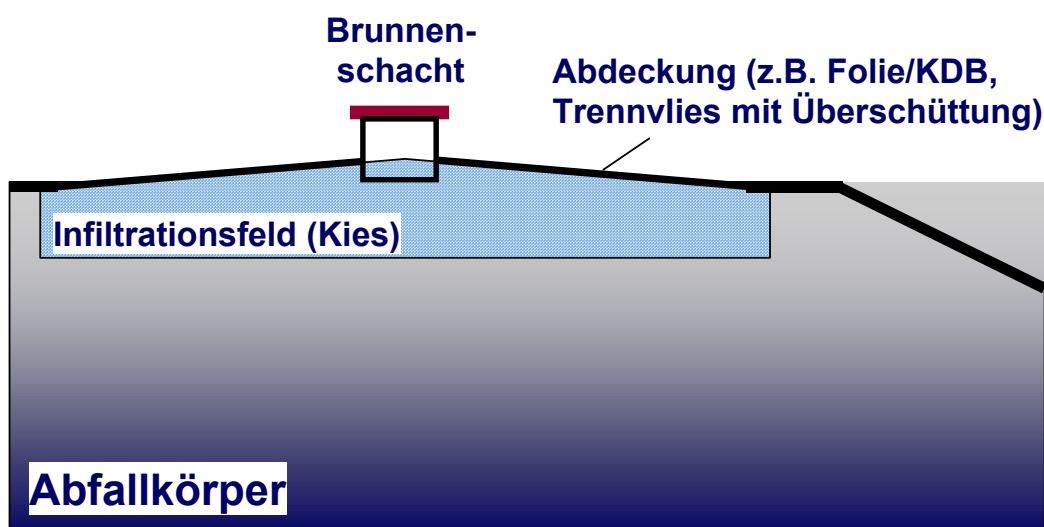


Abb. 6: Schematische Darstellung eines Brunnenschacht/Infiltrationsfeld-Systems – ohne automatisiertes Wasserverteilungssystem

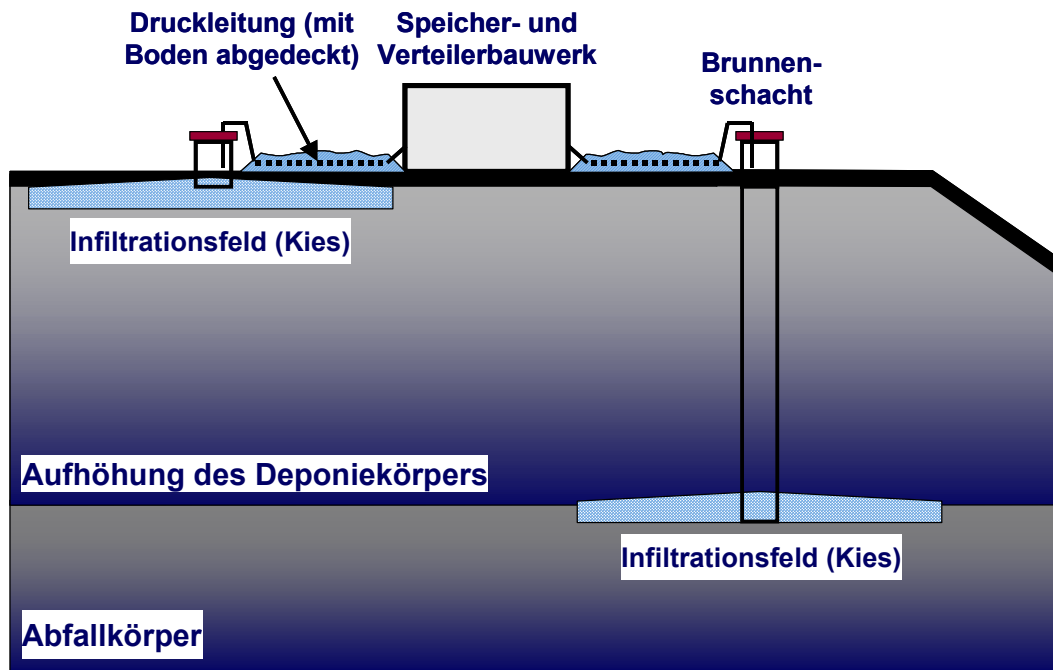


Abb. 7: Aufstockung eines bestehenden Brunnenschachtes und Installation eines neuen Brunnenschacht/Infiltrationsfeld-Systems mit Wasserverteilungssystem (ggf. integriert in eine Oberflächenabdichtung)

Zur Verminderung bzw. Vermeidung der Probleme, die durch das Infiltrationsmedium selbst verursacht werden, wie Verstopfungen, Inkrustationen oder Ausfällungen, sollten entweder nur unbelastete oder vorbehandelte Wässer eingesetzt werden. Bei einer Rückführung von Sickerwasser oder auch Prozesswasser in das Infiltrationssystem sollten diese spezifisch aufbereitet werden. Neben einer biologischen Stabilisierung ist die weit gehende Abtrennung von Feststoffen aus dem Infiltrationsmedium notwendig.

Zur Reduzierung des BSB₅, CSB, des Eisen- und Karbonatgehaltes sowie anderer Stoffe im Sickerwasser ist eine kostengünstige, aber effektive Vorbehandlung des Wassers vor der Einleitung in das Infiltrationssystem anzustreben. Während bei „jungen“ Sickerwässern eine biologische Vorbehandlung sinnvoll ist, reicht bei „alten“ Sickerwässern in der Regel eine Belüftung aus. Belüftungsaggregate mit Tauchmotor sind hierfür geeignet. Für die Feststoffabtrennung können neben Absetzbecken, Sand- und Kiesfiltern auch Flockungs-/Fällungs- oder kostengünstige Flotationsanlagen mit einer hohen Reinigungsleistung eingesetzt werden. Die

entsprechenden Vorbehandlungsverfahren sind auf das gewählte Infiltrationssystem abzustimmen.

5 ERFAHRUNGEN ZUR WASSERINFILTRATION

Umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss einer Infiltration insbesondere von Sickerwasser wurden sowohl im Labor- und Technikumsmaßstab als auch in der technischen Umsetzung durchgeführt (z.B. Stegmann und Spendlin, 1986; Cord-Landwehr, 1986; Blakey et al., 1997; Bauer et al., 1997; Drees, 2000; Barina et al., 2001). Aufgrund dieser Untersuchungen stellte sich die Infiltration unter Berücksichtigung der abfall- bzw. standortspezifischen Randbedingungen großteils positiv hinsichtlich der beschleunigten Stabilisierung des Abfall-/Deponiekörpers dar.

In der Deponiepraxis erfolgt seit über 20 Jahren eine beschleunigte in situ Stabilisierung des Deponiekörpers mit Hilfe von Wasserinfiltrationsmaßnahmen. Zunächst erfolgte die Wasserzugabe über die Deponieoberfläche (Cord-Landwehr, 1986). Dabei wurden unterschiedliche einfache Systeme (z.B. Regner oder Feuerwehrschläuche) eingesetzt, um Sickerwasser

- in den Deponiekörper zurückzuführen – Ziel: Vorbehandlung des in der „sauren Phase“ einer Deponie anfallenden organisch hochbelasteten Sickerwassers, indem der Müllkörper als Festbettreaktor genutzt wurde
- auf der Deponieoberfläche zu verregnen – Ziel: Erhöhung der Verdunstungsrate und somit Reduktion des Sickerwasserbehandlungsaufwandes (Stegmann, 1979).

Das Verregnen von Sickerwasser auf der Deponieoberfläche war z.T. mit erheblichen Geruchsemissionsproblemen aber auch Aerosolbildung verbunden. Um dieses Problem zu reduzieren und dem Anschein einer kostengünstigen Sickerwasserentsorgung vorzubeugen, wurden zunehmend in situ Infiltrationssysteme gemäß Kap. 4.2ff eingesetzt. Geruchsemissionen während des Verregnens können auch durch den alleinigen Einsatz von vorbehandeltem (aerob stabilisiertem) Sickerwasser vermieden werden, wie dieses im Rahmen von technischen Unter-

suchungen z.B. auf der Deponie Venneberg/Lingen realisiert wurde (Stegmann, 1979).

Bei der Bewässerung eines Versuchsfeldes auf der Deponie Erbenschwang mittels perforierter Stahlrohrlanzen, die durch die Oberflächenabdichtung in den Müllkörper gerammt wurden, wurde nach ca. 6-monatiger Bewässerungsdauer eine deutliche Steigerung der biologischen Aktivität gegenüber dem nichtbewässerten Vergleichsfeld festgestellt. Bis zum Versuchsende konnte im Versuchsfeld etwa die vierfache Menge an Deponiegas erfasst werden. Entscheidend war dort der Umstand, dass die abgelagerten Abfälle mit geringen Wassergehalten (ca. 28%) eingebaut und schnell mit einer Oberflächenabdichtung versehen wurden. Bei einem derart „trockenen“ Deponiekörper ist der positive Einfluss der Befeuchtung (in mehreren Intervallen wurde die Abfallfeuchte auf ca. 41% angehoben) auf die biologischen Abbauprozesse und die Deponiegasproduktion besonders gegeben. Der weitaus größere Anteil des zugegebenen Sickerwassers trug zur Erhöhung der Wassergehalte bzw. Nutzung der Wasserspeicherkapazität bei. Nur ein geringer Anteil floss auf bevorzugten Sickerwegen ab. Negative Auswirkungen auf die Sickerwasserbeschaffenheit infolge der Infiltration von Sickerwasser waren nicht feststellbar (Bauer et al., 1997; Bauer und Meisinger, 1999).

Trotz der umfangreichen Untersuchungsergebnisse bleiben weiterhin eine Reihe offener Fragen, die zum Teil standortspezifisch zu klären sind, aber auch einen gewissen Forschungs- und Entwicklungsbedarf anzeigen.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zur Aufrechterhaltung und Intensivierung der Deponiegasproduktion sollte eine Beschleunigung der biologischen Prozesse im Deponiekörper erreicht werden. Hierzu ist eine Optimierung des Wasserhaushalts des Abfallkörpers mit einer kontrollierten Befeuchtung erforderlich. Infolge der intensivierten mikrobiellen Umsetzung organischer Abfallinhaltsstoffe werden eine beschleunigte biologische Stabilisierung und eine Überführung in einen emissionsarmen Zustand erreicht. Als

Grundlage zur Durchführung von Infiltrationsmaßnahmen ist eine Ermittlung des Wasserhaushalts und Bewertung des aktuellen und zukünftigen Emissionsverhaltens erforderlich. Um die Auswirkungen sowohl eines bestehenden Wassermangels als auch einer Wasserinfiltration im Hinblick auf den Stabilisierungsprozess und die Deponienachsoorge abschätzen zu können, sind die Sickerwasser- und Deponiegasemissionen qualitativ und quantitativ zu bestimmen und zu prognostizieren. Darüber kann die erforderliche Wasserzugabemenge abgeschätzt werden und ein standortbezogenes geeignetes technisches Infiltrationssystem ausgewählt und installiert werden.

Bei der Auslegung der Infiltrationssysteme sind neben den Standortbedingungen auch die zur Verfügung stehenden Infiltrationsmedien zu berücksichtigen. Die Infiltrationssysteme sollten robust und wartungsarm so gestaltet werden, dass ihre Funktionstüchtigkeit zur gleichmäßigen, kontrollierten Befeuchtung des Deponiekörpers langfristig gewährleistet werden kann. Bei Verwendung belasteter Infiltrationsmedien wie z.B. Rohsickerwasser kann die Funktionstüchtigkeit des Systems durch eine ausreichende aerobe Vorbehandlung verbessert werden.

Obwohl im Rahmen bisheriger Untersuchungen im Labor- und technischen Maßstab die deponiespezifischen, positiven Potenziale der Wasserinfiltration dargestellt werden konnten, bestehen auch weiterhin Wissensdefizite. Für die Anlagenplanung sind auch weiterhin standortspezifische Voruntersuchungen essentiell. Aufgrund bisheriger Erfahrungen scheint der Einsatz robuster Systeme, die aus Brunnen- bzw. Beschickungsschacht und Infiltrationsfeld mit bestehen, sinnvoll zu sein, wobei eine standortspezifische Optimierung in der Praxis notwendig ist.

LITERATUR

- Barina, G., Budka, A., Gisbert, T., Guyonnet, D., Puglierin, L., Cirino, N. 2001. Identification and assessment of leachate recirculation effects at a real-scale landfill. In: Leachate and landfill gas, Sardinia 2001, vol. II (T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann eds.), CISA, Cagliari, Italy, 95-104
- Bauer, W. P., Kindsmüller, W., Meisinger, S., Rosinger, S. 1997. Infiltration von Sickerwasser – ein Weg zur Aktivierung der Deponie. Müll und Abfall, 12, 758-761
- Bauer, W., Meisinger, S. 1999. Infiltration von Deponiesickerwasser – Ein Verfahren zur Optimierung von biologischen Umsetzungsvorgängen in abgedichteten Deponien. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, 114, Erich Schmidt Verlag, Berlin

- Blakey, N.C., Bradschaw, K., Reynolds, P., Knox, K. 1997. Bio-reactor landfill - A field trial of accelerated waste stabilisation. In: Landfill processes and waste pretreatment, Sardinia '97, vol. 1 (T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann eds.), CISA, Cagliari, Italy, 375-386
- Bothmann, P. 1997. Die Befeuchtung des Deponiekörpers zur Anregung der Gasproduktion - kritische Betrachtung. In: Deponiebetrieb und Deponiekontrolle – Hinweise für die Umsetzung der TA Siedlungsabfall in der Praxis. Handbuch Abfall, Band 14, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 93-104.
- Bräcker, W. 2000. Empfehlungen zur Rückführung von Sickerwasser in Deponien. AbfallwirtschaftsFakten 1.1, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim
- Cord-Landwehr, K. 1986. Stabilisierung von Mülldeponien durch eine Sickerwasserkreislaufführung. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Heft 66
- Dörr, H. et al. 1995. Hydraulische und pneumatische in-situ Verfahren. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- Drees, K.T. 2000. Beschleunigter Stoffaustrag aus Reaktordeponien. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen, RWTH Aachen
- Drexler, K: 2001. Erfahrungen mit der Sickerwasserinfiltration in Bayern. In: Deponiegas 2001, Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 13 (Hrsg.: G. Rettenberger, R. Stegmann), Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 115-122
- Heyer, K.-U. (2003): Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge. Hamburger Berichte 21 (Hrsg.: R. Stegmann), Verlag Abfall aktuell, Stuttgart.
- Heyer, K.-U., Hupe, K., Stegmann, R. 2000: Kontrollierte Befeuchtung und Bewässerung von Abfallablagerungen. VKS-NEWS, 42 (9), 5-8
- Ramke, H.-G. 1993. Abschätzung des Sickerwasseranfalls von Siedlungsabfalldeponien. In: Sickerwasser aus Mülldeponien, Veröffentlichungen des Zentrums für Abfallforschung der Technischen Universität Braunschweig, Heft 8.
- Stegmann, R. 1979. Reinigung und Verregnen von Müllsickerwasser unter Betriebsbedingungen – Dargestellt am Beispiel der Deponie Venneberg / Lingen. Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Heft 27, TU Braunschweig.
- Stegmann, R., Heyer, K.-U., Hupe, K. 2001. Abfalltechnik. In: Taschenbuch der Wasserwirtschaft (Hrsg.: H. P. Lühr), Parey Verlag, Berlin, 989-1025
- Stegmann, R., Spendlin, H.-H. 1986. Research activities on enhancement of biochemical processes in sanitary landfills. Water Poll. Res. J. Canada, 21 (4), 572-591
- Walker, A. N., Beaven, R. P., Powrie, W. 1997. Overcoming problems in the development of a high rate flushing bioreactor. In: Landfill processes and waste pretreatment, Sardinia '97, vol. 1 (T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann eds.), CISA, Cagliari, Italy, 397-408