

TEXTE

38/2026

**Abschlussbericht**

# **Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland und deren Beitrag zum Klimaschutz zur Vorbereitung der Arbeiten für ein BVT-Merkblatt Deponien**

**von:**

Kai-Uwe Heyer, Karsten Hupe, Philipp Benkus

IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft  
*Prof. R. Stegmann und Partner*  
Hamburg

Marco Ritzkowski

HiiCCE - Hamburg Institute for Innovation,  
Climate Protection and Circular Economy GmbH  
Hamburg

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



TEXTE 38/2026

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und  
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3722 29 301 1  
FB001975

Abschlussbericht

## **Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland und deren Beitrag zum Klimaschutz zur Vorbereitung der Arbei- ten für ein BVT-Merkblatt Deponien**

von:

Kai-Uwe Heyer, Karsten Hupe, Philipp Benkus

IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft  
*Prof. R. Stegmann und Partner*  
Hamburg

Marco Ritzkowski

HiiCCE - Hamburg Institute for Innovation,  
Climate Protection and Circular Economy GmbH  
Hamburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

## Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

## Durchführung der Studie:

IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft  
*Prof. R. Stegmann und Partner*  
Schellerdamm 19  
21079 Hamburg

HiiCCE - Hamburg Institute for Innovation, Climate  
Protection and Circular Economy GmbH  
Bullerdeich 19  
20537 Hamburg

## Abschlussdatum:

Oktober 2025

## Redaktion:

Fachgebiet III2.4 Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer  
Anne Bachmann, Kathrin Brand, Wolfgang Butz

## DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8210>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland und deren Beitrag zum Klimaschutz zur Vorbereitung der Arbeiten für ein BVT-Merkblatt Deponien**

Die Industrieemissionsrichtlinie (IED) bildet EU-weit die Grundlage für die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrien. Sie orientiert sich am Leitbild der nachhaltigen Produktion und setzt dabei auf das Konzept der besten verfügbaren Techniken. Auch Deponien fallen in den Geltungsbereich der IED.

Die EU-Kommission hat am 5.4.2022 den Vorschlag für eine EU-Richtlinie zur Änderung der IE-Richtlinie und der Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien vorgelegt. Nach intensiven Verhandlungen im Rat und Parlament der Europäischen Union ist die neue Industrieemissionsrichtlinie (IED 2.0) am 15.07.2024 im EU-Amtsblatt erschienen. Im Artikel 2 zu Änderungen der Richtlinie 1999/31/EG wird der dortige Artikel 1 Absatz 2 gestrichen. Dieses bedeutet, dass der Stand der Technik auch im Bereich der Deponien künftig über ein BVT-Merkblatt geregelt werden soll.

Vor diesem Hintergrund wird mit dem ReFoPlan-Vorhaben das Ziel verfolgt, den Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland systematisch zu erfassen und zu dokumentieren, um so die Erarbeitung des BVT-Merkblatts Deponien vorzubereiten. Technische und organisatorische Maßnahmen zur Verminderung oder Verhinderung von Emissionen sollen beschrieben werden. Die Vorbereitung des BVT-Merkblatts erfordert ferner eine umfangreiche Bestandsaufnahme der Deponien in Deutschland.

Das Forschungsprojekt wurde dazu in mehrere Arbeitspakete strukturiert, u.a. der Einrichtung eines Fachbeirats, der Bestandsaufnahme von Deponien in Deutschland, der Dokumentation des Standes der Technik für Deponien und der Ermittlung von praxisgerechten Faktoren für die Berechnung des Gasbildungspotentials von Deponien.

### **Abstract: State of the art of waste disposal in landfills in Germany and its contribution to climate protection in preparation for work on a BAT reference document on landfills**

The Industrial Emissions Directive (IED) forms the basis for the authorisation of particularly environmentally relevant industries throughout the EU. It is orientated towards the principle of sustainable production and is based on the concept of best available techniques. Landfills also fall within the scope of the IED.

On 5 April 2022, the EU Commission presented the proposal for an EU directive to amend the IED Directive and Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Following intensive negotiations in the Council and Parliament of the European Union, the new Industrial Emissions Directive (IED 2.0) was published in the EU Official Journal on 15 July 2024. In Article 2 on amendments to Directive 1999/31/EC, Article 1(2) has been deleted. This means that the state of the art in the area of landfills will also be regulated by a BAT reference document in future.

The aim of the ReFoPlan project is to systematically record and document the state of the art of waste disposal in landfills in Germany in order to prepare the drafting of the BAT reference document on landfills. Technical and organisational measures to reduce or prevent emissions are to be described. The preparation of the BREF also requires a comprehensive inventory of landfills in Germany.

The research project was structured into several work packages, including the establishment of an advisory board, the inventory of landfills in Germany, the documentation of the state of the art for landfills and the determination of practical factors for calculating the potential of gas formation in landfills.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildungsverzeichnis.....                                                                                          | 9  |
| Tabellenverzeichnis .....                                                                                           | 11 |
| Abkürzungsverzeichnis.....                                                                                          | 14 |
| Zusammenfassung.....                                                                                                | 17 |
| Summary .....                                                                                                       | 29 |
| 1    Veranlassung und Aufgabenstellung.....                                                                         | 39 |
| 2    EU-Richtlinie zur Novelle der IED, Vorbereitung für das BVT-Merkblatt Deponien.....                            | 40 |
| 3    Arbeitsprogramm und Arbeitsergebnisse .....                                                                    | 41 |
| 3.1    Einrichtung eines Fachbeirates - Arbeitspaket 1 .....                                                        | 41 |
| 3.2    Bestandsaufnahme Deponien in Deutschland - Arbeitspaket 2 .....                                              | 42 |
| 3.2.1    Aufgabenstellung, Ergebnisse.....                                                                          | 42 |
| 3.2.2    Erstellung einer Deutschlandkarte zur Übersicht über die Deponiestandorte .....                            | 44 |
| 3.2.3    Datenerhebung über die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA).....                                  | 49 |
| 3.2.3.1    Gesamtanzahl der erfassten Deponien .....                                                                | 51 |
| 3.2.3.2    Verfügbare Restvolumina der erfassten Deponien .....                                                     | 53 |
| 3.2.3.3    Geologische Barriere und Basisabdichtungen .....                                                         | 54 |
| 3.2.3.4    Oberflächenabdichtungen .....                                                                            | 55 |
| 3.2.3.5    Sickerwasserfassung, -reinigung und -ableitung .....                                                     | 57 |
| 3.2.3.6    Festlegung von Auslöseschwellen im Grundwasser .....                                                     | 62 |
| 3.2.3.7    Deponiegasfassung, -behandlung und -verwertung.....                                                      | 63 |
| 3.2.3.8    Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen zur Verbesserung des<br>Deponieverhaltens.....             | 64 |
| 3.2.3.9    Betriebliche Einrichtungen .....                                                                         | 65 |
| 3.2.4    Vergleich zur Datenerhebung der LAGA-Länderabfrage 2023 mit Angaben von<br>Destatis .....                  | 67 |
| 3.2.5    Fazit zu den Datenerhebungen.....                                                                          | 70 |
| 3.3    Ermittlung des Stands der Technik für Deponien - Arbeitspaket 3.....                                         | 71 |
| 3.3.1    Aufgabenstellung, Ergebnisse.....                                                                          | 71 |
| 3.3.2    Anforderungen an abzulagernde Abfälle und eine Abfallvorbehandlung zum<br>Emissions- und Klimaschutz ..... | 72 |
| 3.3.2.1    Abfallannahmekriterien – Vorgaben der EU und Vorgaben in Deutschland.....                                | 73 |
| 3.3.2.2    Auswirkungen unterschiedlicher Regelungen auf die klimarelevanten<br>Treibhausgasemissionen.....         | 80 |
| 3.3.3    Unterarbeitspaket 3.1 – Grundwasserschutz .....                                                            | 86 |

|         |                                                                                                                                                   |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.3.1 | Geologische Barriere.....                                                                                                                         | 86  |
| 3.3.3.2 | Basisabdichtungen.....                                                                                                                            | 91  |
| 3.3.3.3 | Oberflächenabdichtungen.....                                                                                                                      | 102 |
| 3.3.3.4 | Multifunktionale Abdichtung.....                                                                                                                  | 112 |
| 3.3.3.5 | Sickerwasserfassung und –ableitung sowie Reinigungsverfahren.....                                                                                 | 122 |
| 3.3.4   | Unterarbeitspaket 3.2 – Erfassung, Behandlung und Verwertung von Deponiegas.....                                                                  | 151 |
| 3.3.4.1 | Deponiegasfassung.....                                                                                                                            | 152 |
| 3.3.4.2 | Deponiegasbehandlung und -verwertung.....                                                                                                         | 159 |
| 3.3.4.3 | Deponiebelüftung zur Reduktion des Deponiegasbildungspotentials.....                                                                              | 168 |
| 3.3.5   | Unterarbeitspaket 3.3 – Deponiebetrieb, Überwachungen und Kontrollen.....                                                                         | 179 |
| 3.3.5.1 | Abfallannahme auf Deponien.....                                                                                                                   | 179 |
| 3.3.5.2 | Abfallablagerung auf Deponien.....                                                                                                                | 183 |
| 3.3.5.3 | Emissionskontrollen.....                                                                                                                          | 185 |
| 3.3.5.4 | Berichts- und Dokumentationspflicht.....                                                                                                          | 188 |
| 3.3.5.5 | Qualitätsmanagement für Deponien.....                                                                                                             | 192 |
| 3.3.6   | Unterarbeitspaket 3.4 – Beispieldeponien nach dem Stand der Technik.....                                                                          | 202 |
| 3.4     | Ermittlung von praxismgerechten Faktoren zur Berechnung des Gasbildungspotentials und zur Prognose der Deponiegasemissionen - Arbeitspaket 4..... | 205 |
| 3.4.1   | Aufgabenstellung.....                                                                                                                             | 205 |
| 3.4.2   | Deponiegasbildung im zeitlichen Verlauf.....                                                                                                      | 207 |
| 3.4.3   | Ermittlung des Deponiegaspotentials.....                                                                                                          | 209 |
| 3.4.4   | Prognosemodelle nach der First Order Decay Methode.....                                                                                           | 211 |
| 3.4.4.1 | Grundlagen zum Abbaugesetz 1. Ordnung.....                                                                                                        | 211 |
| 3.4.4.2 | Das IPCC Waste Model.....                                                                                                                         | 212 |
| 3.4.4.3 | Deponierte Abfallmengen.....                                                                                                                      | 215 |
| 3.4.4.4 | Abfallzusammensetzung.....                                                                                                                        | 217 |
| 3.4.4.5 | Erläuterungen zu Faktoren zur Berechnung des Gasbildungspotentials und zur Prognose der Deponiegasemissionen.....                                 | 221 |
| 3.4.5   | Hinweise zur Anwendung der Gasprognosemodelle.....                                                                                                | 229 |
| 3.4.5.1 | Hinweise zur Nutzung eines vereinfachten Gasprognosemodells.....                                                                                  | 229 |
| 3.4.5.2 | Hinweis zur Nutzung des IPCC Waste Model.....                                                                                                     | 232 |
| 3.4.6   | Eignung und Voraussetzungen von Deponien zur Deponiebelüftung.....                                                                                | 235 |
| 3.4.6.1 | Eignung und Merkmale der Deponiebelüftung, Umsetzung.....                                                                                         | 235 |
| 3.4.6.2 | Mindestanforderungen.....                                                                                                                         | 235 |

|         |                                                                                                                |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.7   | Abschätzungen zur Reduzierung von Methanemissionen infolge optimierter Gaserfassung und Deponiebelüftung ..... | 241 |
| 3.4.7.1 | Stand der Deponiegasfassung und -behandlung sowie der Deponiebelüftung auf Deponien in Deutschland.....        | 241 |
| 3.4.7.2 | Potentieller Beitrag zum Klimaschutz durch die Reduzierung von Methanemissionen .....                          | 242 |
| 4       | Quellenverzeichnis .....                                                                                       | 248 |
| 5       | Glossar .....                                                                                                  | 255 |
| A       | Anhang – Fragebogen zu Deponiekenndaten, Länderabfrage über den LAGA ATA 2023 .....                            | 276 |
| B       | Anhang – Auszug Kenndaten der LAGA-Länderabfrage 2023 am Beispiel Mecklenburg-Vorpommern .....                 | 278 |
| C       | Anhang - Tabellen mit spezifischen Daten der Bundesländer aus Kap. 3.2.3 .....                                 | 283 |
| D       | Anhang - Kapitel 3.3.3 Grundwasserschutz.....                                                                  | 290 |
| E       | Anhang - Kapitel 3.3.5 Überwachungen und Kontrollen.....                                                       | 298 |

## Abbildungsverzeichnis

|               |                                                                                                                                                                        |     |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 1:  | Deponiestandorte in Deutschland differenziert nach<br>Deponieklasse und Betriebsstatus .....                                                                           | 44  |
| Abbildung 2:  | Weitergehende Informationen der Deponieübersichtskarte am<br>Beispiel der Deponie Vereinigte Ville (Stand 2023) .....                                                  | 46  |
| Abbildung 3:  | Deponiestandorte in der Ablagerungsphase differenziert nach<br>den Deponieklassen I – IV.....                                                                          | 47  |
| Abbildung 4:  | Deponiestandorte in der Stilllegungsphase differenziert nach<br>den Deponieklassen I – IV.....                                                                         | 48  |
| Abbildung 5:  | Verfahren und Verfahrenskombinationen zur<br>Sickerwasserreinigung auf Deponien der Deponieklassen I<br>(oben), II (Mitte) und III (unten) (LAGA-Länderabfrage 2023) . | 61  |
| Abbildung 6:  | Multibarrierenkonzept .....                                                                                                                                            | 71  |
| Abbildung 7:  | Reduzierung der Methanbildung und Methanemissionen auf<br>Deponien in Deutschland seit 1990 (auf Datengrundlage NIR,<br>2024).....                                     | 73  |
| Abbildung 8:  | Schema eines kombinierten Basisabdichtungssystems<br>(exemplarisch für DK II) .....                                                                                    | 92  |
| Abbildung 9:  | Schema eines Oberflächenabdichtungssystems mit zwei<br>Abdichtungskomponenten .....                                                                                    | 103 |
| Abbildung 10: | Beispielhafte Anordnung einer MFA im Rahmen des Konzepts<br>Deponie auf Deponie.....                                                                                   | 113 |
| Abbildung 11: | Querschnitt durch ein Entwässerungssystem nach DIN 19667<br>(Dränung von Deponien) .....                                                                               | 124 |
| Abbildung 12: | Zulässige Kornzusammensetzung der Korngruppe 16/32 mm<br>für Basis-Entwässerungsschichten bei der<br>Eignungsuntersuchung .....                                        | 126 |
| Abbildung 13: | Zulässige Kornzusammensetzung der Korngruppe 16/32 mm<br>für Basis-Entwässerungsschichten im eingebauten Zustand .                                                     | 126 |
| Abbildung 14: | Basisentwässerungssystem – Grundriss und Querschnitt des<br>Regelsystems .....                                                                                         | 129 |
| Abbildung 15: | Beispiel für die Ausführung eines Durchdringungsbauwerks.                                                                                                              | 130 |
| Abbildung 16: | Größenordnung verschiedener Sickerwasserinhaltsstoffe und<br>Durchlässigkeiten unterschiedlicher<br>Membranfiltrationsverfahren .....                                  | 139 |
| Abbildung 17: | Konzentrationsverlauf ausgewählter Parameter von<br>Siedlungsabfalldeponien (DK II) in der Stilllegungs- und<br>Nachsorgephase .....                                   | 141 |
| Abbildung 18: | Trend der mittleren CSB- und Stickstoff-Konzentration im<br>Sickerwasser von Siedlungsabfalldeponien in der Stilllegungs-<br>und Nachsorgephase .....                  | 142 |
| Abbildung 19: | Grundelemente einer Deponieentgasungsanlage.....                                                                                                                       | 152 |

|               |                                                                                                                                                                                |     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 20: | Gasbehandlungs- und Nutzungsverfahren; von links nach rechts mit abnehmendem exergetischen Verwertungspotenzial der im Deponiegas enthaltenen Energie.....                     | 160 |
| Abbildung 21: | Aerobisierungstechnik Übersaugung .....                                                                                                                                        | 173 |
| Abbildung 22: | Aerobisierungstechnik Niederdruckbelüftung mit und ohne Ablufterfassung .....                                                                                                  | 175 |
| Abbildung 23: | Aerobisierungstechnik Hochdruckbelüftung.....                                                                                                                                  | 176 |
| Abbildung 24: | Vorgaben zu den Kontrolluntersuchungen (Regelfall) durch Abfallerzeuger und Deponiebetreiber nach DepV .....                                                                   | 182 |
| Abbildung 25: | Gaskonzentrationen im Deponiekörper im zeitlichen Verlauf für die Hauptgase des Deponiegases und Luft (modifiziert nach VDI 3790, Blatt 2, 2016).....                          | 207 |
| Abbildung 26: | Trend in der Zusammensetzung des Hausmülls mit gasbildungsrelevanten Anteilen zwischen 1990 und 2013 (NIR, 2023).....                                                          | 218 |
| Abbildung 27: | Exemplarische Entwicklung der Halbwertszeit eines Siedlungsabfallgemischs über die Ablagerungszeit, normierte Entwicklung der Methanbildung .....                              | 231 |
| Abbildung 28: | Beispiel zur Prognose der Methanbildung einer Siedlungsabfalldeponie mit organischen Abfallfraktionen bei 100.000 Mg FM Ablagerungsmenge pro Jahr im Zeitraum 1984 - 2004..... | 233 |
| Abbildung 29: | Entwicklung der zukünftigen Methanabsaugvolumina bei optimierter Gasfassung, zusätzliche Emissionsreduktionspotentiale über einen Zeitraum von 15 Jahren .....                 | 244 |
| Abbildung 30: | Entwicklung der potenziell reduzierbaren klimarelevanten Methanemissionen durch die Deponiebelüftung über einen Zeitraum von 25 Jahren.....                                    | 247 |

## Tabellenverzeichnis

|             |                                                                                                                                                                                            |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1:  | Anzahl der Deponiestandorte sowie deren Deponieklasse in den Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023).....                                                                                  | 51 |
| Tabelle 2:  | Verfügbare Restvolumina in den Bundesländern differenziert nach Deponieklassen, Stand 31.12.2022 (NRW 31.12.2021) (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                          | 54 |
| Tabelle 3:  | Anzahl und Aufbau der geologischen Barriere und Basisabdichtungen differenziert nach den Deponieklassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                            | 55 |
| Tabelle 4:  | Anzahl und Aufbau der Oberflächenabdichtungen differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                                                            | 56 |
| Tabelle 5:  | Anzahl der vorhandenen Sickerwasserfassungssysteme differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                                                       | 57 |
| Tabelle 6:  | Art und Ort der Sickerwasserreinigung differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023).....                                                                                     | 59 |
| Tabelle 7:  | Sickerwasserbehandlungsverfahren differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023).....                                                                                          | 60 |
| Tabelle 8:  | Anzahl der festgelegten Auslöseschwellen auf Deponien der Klasse I bis III (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                                                                 | 62 |
| Tabelle 9:  | Art und Anzahl der Gasfassung auf Deponien der Klassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                                                                             | 63 |
| Tabelle 10: | Deponiegasbehandlung und -verwertung auf Deponien der Klassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                                                                      | 64 |
| Tabelle 11: | Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen auf Deponien der Klassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                                                             | 65 |
| Tabelle 12: | Anzahl der vorhandenen betrieblichen Einrichtungen differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023) .....                                                                       | 66 |
| Tabelle 13: | Vergleich der verfügbaren Restvolumina über die Deponieklassen I – III zwischen dem Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 und den Angaben von Destatis zum Jahr 2022 (Destatis, 2024)..... | 67 |
| Tabelle 14: | Vergleich der Anzahl und des Aufbaus von Basisabdichtungen anhand der LAGA-Länderabfrage 2023 und der Angaben von Destatis zum Jahr 2022 (Destatis, 2024) .....                            | 68 |
| Tabelle 15: | Vergleich der Anzahl und des Aufbaus von Oberflächenabdichtungen anhand der LAGA-Länderabfrage 2023 und der Angaben von Destatis zum Jahr 2022 (Destatis, 2024).....                       | 69 |
| Tabelle 16: | Vergleich EU-Deponieklassen mit Deponieklassen gemäß der Deponieverordnung .....                                                                                                           | 74 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 17: | Vergleich der Annahmekriterien EU-Deponieklassen mit deutschen Deponieklassen.....                                                                                                                                                                     | 76  |
| Tabelle 18: | Methanbildungspotential aufgrund der Deponierung biologisch abbaubarer Abfälle, Bezug auf das Jahr 1995 (Daten aus Nationalem Inventarbericht 2024, Kapitel 7.2.1.2.2 – 7.2.1.2.8) .....                                                               | 81  |
| Tabelle 19: | Methanbildungspotential aufgrund der Deponierung biologisch abbaubarer Abfälle, Bezug auf das Jahr 2022 (Daten aus Nationalem Inventarbericht 2024, Kapitel 7.2.1.2.2 – 7.2.1.2.8) .....                                                               | 82  |
| Tabelle 20: | Methanbildungspotential bei einer Deponierung von 35% an biologisch abbaubaren Abfällen, Bezug auf Zusammensetzung des Jahres 1995 (Angaben abgeleitet aus Nationalem Inventarbericht 2023).....                                                       | 83  |
| Tabelle 21: | Anforderungen (Auszug) an die geologische Barriere.....                                                                                                                                                                                                | 87  |
| Tabelle 22: | Anforderungen (Auszug) an die geologische Barriere.....                                                                                                                                                                                                | 88  |
| Tabelle 23: | Anforderungen an das Basisabdichtungssystem.....                                                                                                                                                                                                       | 92  |
| Tabelle 24: | Aufbau des Oberflächenabdichtungssystems .....                                                                                                                                                                                                         | 103 |
| Tabelle 25: | Leistungsfähigkeit einer Oberflächenabdichtung anhand der Permeationsraten.....                                                                                                                                                                        | 109 |
| Tabelle 26: | Leistungsfähigkeit einer Oberflächenabdichtung anhand eines fünfjährigen Mittels.....                                                                                                                                                                  | 109 |
| Tabelle 27: | Anforderungen an die MFA bei unterschiedlichen Konstellationen bezüglich der Deponieklassen.....                                                                                                                                                       | 115 |
| Tabelle 28: | Technische Anforderungen an mineralische Entwässerungsschichten .....                                                                                                                                                                                  | 125 |
| Tabelle 29: | Technische Anforderungen (Auszug) an die Entwässerungsschicht und die Sickerwasserrohre.....                                                                                                                                                           | 128 |
| Tabelle 30: | Anwendbarkeit und Eignung unterschiedlicher Sickerwasserreinigungsverfahren im Hinblick auf die unterschiedlichen Inhaltsstoffe.....                                                                                                                   | 136 |
| Tabelle 31: | Konzentrationen von Sickerwasserinhaltsstoffen in deutschen Siedlungsabfalldeponien mit nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen unterschiedlicher Ablagerungsdauer sowie Anforderungswerte für die Einleitung von Deponiesickerwasser in Gewässer ..... | 140 |
| Tabelle 32: | Organik und Stickstoff – DK I-Deponien .....                                                                                                                                                                                                           | 143 |
| Tabelle 33: | Salzbildner – DK I-Deponien .....                                                                                                                                                                                                                      | 143 |
| Tabelle 34: | Schwermetalle – DK I-Deponien.....                                                                                                                                                                                                                     | 144 |
| Tabelle 35: | Organik und Stickstoff – Siedlungsabfalldeponien DK II .....                                                                                                                                                                                           | 145 |
| Tabelle 36: | Salzbildner – Siedlungsabfalldeponien DK II .....                                                                                                                                                                                                      | 145 |
| Tabelle 37: | Schwermetalle – Siedlungsabfalldeponien DK II .....                                                                                                                                                                                                    | 146 |
| Tabelle 38: | Organik und Stickstoff – Deponieklasse III .....                                                                                                                                                                                                       | 146 |
| Tabelle 39: | Salzbildner – Deponieklasse III .....                                                                                                                                                                                                                  | 147 |

|             |                                                                                                                                                                                                                      |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 40: | Schwermetalle – Deponieklasse III .....                                                                                                                                                                              | 147 |
| Tabelle 41: | Einsatzbereich verschiedener Deponiegasbehandlungs- und<br>Verwertungsverfahren .....                                                                                                                                | 161 |
| Tabelle 42: | Konzepte zur Deponiebelüftung, wesentliche<br>Anwendungsgebiete und dabei eingesetzte<br>Abluftreinigungsverfahren .....                                                                                             | 171 |
| Tabelle 43: | Deponien als “Musteranlagen” mit BVT-Pilotcharakter zur<br>Umsetzung des Stands der Technik (vorläufige Übersicht in<br>Frage kommender Deponiestandorte).....                                                       | 202 |
| Tabelle 44: | Referenzangaben zu Deponiegaspotentialen des<br>organikhaltigen, früher unvorbehandelt deponierten<br>Hausmülls oder kommunalen Mischmülls .....                                                                     | 210 |
| Tabelle 45: | Pro-Kopf-Mengen an deponiertem Hausmüll im Zeitraum 1990<br>– 2022 (NIR 2020 und 2024) .....                                                                                                                         | 216 |
| Tabelle 46: | Pro-Kopf-Mengen an Siedlungsabfall im Zeitraum 1995 – 2022<br>(NIR 2020 und 2024).....                                                                                                                               | 217 |
| Tabelle 47: | Referenzangaben zu Anteilen organischer Abfallfraktionen im<br>Hausmüll, hausmüllartigen Gewerbeabfällen und Sperrmüll im<br>Zeitraum 1975 – 2020 (abgeleitet aus NIR, 2024).....                                    | 219 |
| Tabelle 48: | Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, die zwischen 1990<br>und 2022 deponiert wurden, aufgeteilt nach Abfallfraktionen<br>(NIR, 2024, Destatis, 2024, Destatis A, 2024).....                                     | 220 |
| Tabelle 49: | DOC- und DOC <sub>f</sub> -Werte, Halbwertszeiten und resultierende k-<br>Werte organischer Abfallfraktionen gemäß BQS 10-1<br>„Deponiegas“ und NIR 2024 (Klammerwerter sind<br>abweichende IPCC-Defaultwerte) ..... | 223 |
| Tabelle 50: | Anteil CH <sub>4</sub> am Deponiegas, Entwicklung im Zeitraum 2004 –<br>2022 bei Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase<br>sowie in der Nachsorgephase (NIR, 2024, Destatis, 2024).....                  | 224 |
| Tabelle 51: | DOC-Defaultwerte und Bandbreiten, Bezug auf Feuchtmasse<br>.....                                                                                                                                                     | 227 |
| Tabelle 52: | Anteil W <sub>i</sub> organischer Abfallfraktionen, DOC-Defaultwerte und<br>Halbwertszeiten.....                                                                                                                     | 230 |
| Tabelle 53: | Deponiegasfassung, -verwertung und -beseitigung auf<br>Deponien in Deutschland 2022 (Destatis, 2024).....                                                                                                            | 242 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                        |                                                                                      |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AEL</b>             | Assoziierte Emissionswerte (engl.: Associated Emission Level)                        |
| <b>BAT</b>             | Best Available Techniques                                                            |
| <b>BAM</b>             | Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung                                     |
| <b>BetrSichV</b>       | Betriebssicherheitsverordnung                                                        |
| <b>BHKW</b>            | Blockheizkraftwerk                                                                   |
| <b>BImSchV</b>         | Rechtsverordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz                              |
| <b>BMUV</b>            | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz |
| <b>BMWK</b>            | Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz                                     |
| <b>BQS</b>             | Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard                                                |
| <b>BREF</b>            | BAT (Best Available Techniques) Reference Documents                                  |
| <b>BSB<sub>5</sub></b> | Biologischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen                                  |
| <b>BVT</b>             | Beste verfügbare Techniken                                                           |
| <b>CFC</b>             | Fluorchlorkohlenwasserstoffe (engl.: Chlorofluorocarbons) = FCKW                     |
| <b>CH<sub>4</sub></b>  | Methan                                                                               |
| <b>C<sub>org</sub></b> | organischer Kohlenstoff                                                              |
| <b>CO</b>              | Kohlenstoffmonoxid                                                                   |
| <b>CO<sub>2</sub></b>  | Kohlenstoffdioxid                                                                    |
| <b>CSB</b>             | Chemischer Sauerstoffbedarf                                                          |
| <b>DESTATIS</b>        | Statistisches Bundesamt, Wiesbaden                                                   |
| <b>DepV</b>            | Deponieverordnung                                                                    |
| <b>DGUV</b>            | Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung                                              |
| <b>DIN</b>             | Deutsche Industrienorm                                                               |
| <b>DK</b>              | Deponieklasse                                                                        |
| <b>DOC</b>             | Anteil des organisch abbaubaren Kohlenstoffs (engl.: Degradable Organic Carbon)      |
| <b>DOC<sub>F</sub></b> | Anteil des in Deponiegas umgewandelten DOC (engl.: Fraction of DOC dissimilated)     |
| <b>ECB</b>             | Ethylen-Copolymerisat-Bitumen                                                        |
| <b>EEA</b>             | Europäische Umweltagentur (engl.: European Environment Agency)                       |
| <b>ELV</b>             | Emissionsgrenzwert (engl.: Emission Limit Value)                                     |
| <b>EU</b>              | Europäische Union                                                                    |
| <b>FCKW</b>            | Fluorchlorkohlenwasserstoffe                                                         |
| <b>FKW</b>             | Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Perfluorocarbons, PFC)                     |
| <b>FKZ</b>             | Forschungskennzahl                                                                   |
| <b>FM</b>              | Feuchtmasse                                                                          |
| <b>FOD</b>             | First Order Decay                                                                    |
| <b>FWL</b>             | Feuerungswärmeleistung                                                               |

|                       |                                                                                                      |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GefStoffV</b>      | Gefahrstoffverordnung                                                                                |
| <b>GMKW</b>           | Gasmotorenkraftwerk                                                                                  |
| <b>GV</b>             | Glühverlust, Gehalt an organischer Substanz (engl. Volatile Solids, VS)                              |
| <b>GWP</b>            | Globales Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential)                                        |
| <b>HiiCCE</b>         | Hamburg Institute for Innovation, Climate Protection, and Circular Economy                           |
| <b>IEA</b>            | Internationale Energie Agentur (engl. International Energy Agency)                                   |
| <b>IED</b>            | Industrieemissionsrichtlinie (engl. Industrial Emissions Directive)                                  |
| <b>IFAS</b>           | Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, <i>Prof. R. Stegmann und Partner</i>                             |
| <b>IPCC</b>           | Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (engl.: Intergovernmental Panel on Climate Change) |
| <b>JRC</b>            | Gemeinsame Forschungsstelle (engl.: Joint Research Centre)                                           |
| <b>k.A.</b>           | keine Angabe                                                                                         |
| <b>KDB</b>            | Kunststoffdichtungsbahn                                                                              |
| <b>KS</b>             | Klärschlamm                                                                                          |
| <b>LAGA</b>           | Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall                                                                    |
| <b>LCKW</b>           | Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe                                                        |
| <b>MBA</b>            | Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung                                                              |
| <b>MCF</b>            | Methankonversionsfaktor (engl.: Methane Conversion Factor)                                           |
| <b>MSW</b>            | Municipal Solid Waste                                                                                |
| <b>MVA</b>            | Müllverbrennungsanlage                                                                               |
| <b>N</b>              | Stickstoff                                                                                           |
| <b>N<sub>2</sub>O</b> | Distickstoffoxid, Lachgas                                                                            |
| <b>NH<sub>3</sub></b> | Ammoniak                                                                                             |
| <b>NIR</b>            | Nationaler Inventarbericht (engl.: National Inventory Report)                                        |
| <b>NMVOC</b>          | Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (engl.: Non Methane Volatile Organic Compounds)        |
| <b>OFA</b>            | Oberflächenabdichtung                                                                                |
| <b>OX</b>             | Oxidationsfaktor                                                                                     |
| <b>PAK</b>            | Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (engl.: Polycyclic aromatic hydrocarbons), auch PAH     |
| <b>PCDD/F</b>         | Polychlorierte Dibenzodioxine und –furane                                                            |
| <b>PFAS</b>           | Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen                                                              |
| <b>QS</b>             | Qualitätssicherung                                                                                   |
| <b>ReFoPlan</b>       | Ressortforschungsplan                                                                                |
| <b>RTO</b>            | Regenerative Thermische Oxidation                                                                    |
| <b>SGF</b>            | Schwachgasfackel                                                                                     |
| <b>TA</b>             | Technische Anleitung                                                                                 |
| <b>THG</b>            | Treibhausgase                                                                                        |
| <b>TM</b>             | Trockenmasse                                                                                         |
| <b>TS</b>             | Trockensubstanz                                                                                      |

|                |                                                                                                                                   |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TOC</b>     | Gesamtkohlenstoff (engl.: Total Organic Carbon)                                                                                   |
| <b>UAG</b>     | Unterarbeitsgruppe                                                                                                                |
| <b>UBA</b>     | Umweltbundesamt                                                                                                                   |
| <b>UMS</b>     | Umweltmanagementsystem                                                                                                            |
| <b>UN</b>      | Vereinte Nationen (engl.: United Nations)                                                                                         |
| <b>UN FCCC</b> | Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen<br>(engl.: United Nations Framework Convention on Climate Change) |
| <b>VDI</b>     | Verein Deutscher Ingenieure e.V.                                                                                                  |
| <b>VOC</b>     | Flüchtige organische Verbindungen (engl.: Volatile Organic Compounds)                                                             |
| <b>WG</b>      | Wassergehalt                                                                                                                      |

## **Zusammenfassung**

### **Einleitung und Hintergrund**

Die Industrieemissionsrichtlinie (IED) bildet EU-weit die Grundlage für die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrien. Sie orientiert sich am Leitbild der nachhaltigen Produktion und setzt dabei auf das Konzept der besten verfügbaren Techniken. Auch Deponien fallen in den Geltungsbereich der IED.

Die EU-Kommission hat am 5.4.2022 den Vorschlag für eine EU-Richtlinie zur Änderung der IE-Richtlinie und der Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien vorgelegt. Nach intensiven Verhandlungen im Rat und Parlament der Europäischen Union ist die neue Industrieemissionsrichtlinie (IED 2.0) am 15.07.2024 im EU-Amtsblatt erschienen. Im Artikel 2 zu Änderungen der Richtlinie 1999/31/EG wird der dortige Artikel 1 Absatz 2 gestrichen. Dieses bedeutet, dass der Stand der Technik auch im Bereich der Deponien künftig über ein BVT-Merkblatt geregelt werden soll.

### **Ziele und Inhalt des Forschungsberichts**

Vor diesem Hintergrund wird mit dem Ressort-Forschungsplan-Vorhaben (ReFoPlan-Vorhaben) das Ziel verfolgt, den Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland systematisch zu erfassen und zu dokumentieren, um so die Erarbeitung des BVT-Merkblatts Deponien im Rahmen des so genannten „Sevilla-Prozesses“ vorzubereiten. Technische und organisatorische Maßnahmen zur Verminderung oder Verhinderung von Emissionen sollen beschrieben werden. Die Vorbereitung des BVT-Merkblatts erfordert ferner eine umfangreiche Bestandsaufnahme der Deponien in Deutschland.

Das Forschungsprojekt wurde dazu in mehrere Arbeitspakete strukturiert, u.a. der Einrichtung eines Fachbeirats, der Bestandsaufnahme von Deponien in Deutschland, der Dokumentation des Standes der Technik für Deponien und der Ermittlung von praxisgerechten Faktoren für die Berechnung des Gasbildungspotentials von Deponien. Die Ergebnisse der Aufgabenstellung und der Arbeitspakete werden im Folgenden zusammengefasst.

### **Einrichtung eines Fachbeirates - Arbeitspaket 1**

Zu Beginn des Vorhabens wurde ein Fachbeirat eingerichtet, der das Umweltbundesamt bei der Steuerung und Kontrolle der Arbeiten der ausführenden Projektgemeinschaft IFAS und HiiCCE unterstützt. Der Fachbeirat bestand aus 11 Mitgliedern aus den Bereichen Wissenschaft, Fachbehörden, Ministerien, Verbänden und Ingenieurbüros, die auch in der erweiterten nationalen Expertengruppe zum BVT-Prozess mitwirken.

Im ReFoPlan-Vorhaben wurden in halbjährlichen Sitzungen des Fachbeirats die Arbeitsergebnisse zu den Aufgabenstellungen vorgestellt und diskutiert, um die weiteren Bearbeitungsinhalte abzustimmen. So konnte über den Fachbeirat insbesondere eine Abfrage zu aktuellen Kennwerten der Deponien, die der IED unterliegen, über die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) und deren ad-hoc-AG „Deponietechnik“ durchgeführt werden. Sie bildete eine wesentliche Grundlage für das Arbeitspaket 2 zur Bestandsaufnahme der Deponien in Deutschland. Im weiteren Verlauf des Vorhabens wurden aus dem Fachbeirat heraus Unterarbeitsgruppen gebildet, die durch externe Fachleute erweitert wurden. In diesen Unterarbeitsgruppen wurden die einzelnen Berichtsergebnisse zum Stand der Technik (z. B. Multibarrierenkonzept, Grundwasser- und Klimaschutz) und zur Anpassung von IPCC-Default-Werten zur Deponiegasbildung im Detail abgestimmt. Ferner wurden vom Fachbeirat ergänzend Deponiestandorte als „Musterdeponien“, wo technische Maßnahmen bereits nach dem Stand der Technik modellhaft umgesetzt werden, benannt.

## **Bestandsaufnahme Deponien in Deutschland - Arbeitspaket 2:**

### **Methodische Vorgehensweise**

Im Rahmen einer Ist-Analyse über den Anlagenbestand in Deutschland sollten die in Betrieb befindlichen und stillgelegten Deponien differenziert nach Deponieklassen und mit ihren Kenn-  
daten erfasst werden. Die Standorte der Deponien für die Deponieklassen DK I, II, III und IV, die  
der IED-Richtlinie unterliegen, sollten grafisch anhand einer Deutschlandkarte dargestellt  
werden.

Für diese Bestandsaufnahme wurden unterschiedliche Wege beschritten. Im ersten Schritt  
wurden alle öffentlich zugänglichen Angaben zusammengeführt und für die Bestandsaufnahme  
strukturiert. Dabei zeigte sich, dass eine Erfassung aller gewünschten Deponiedaten mit aktuel-  
lem Stand allein auf Grundlage der öffentlich zugänglichen Quellen nicht vollumfänglich reali-  
sierbar war.

Um einen einheitlichen Datenstand zu erhalten, wurde 2023 eine Abfrage über die LAGA  
(Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall) in allen Bundesländern veranlasst. Anhand eines  
Fragebogens wurden detaillierte Kenndaten zu Deponiestandorten und –abschnitten zum Stich-  
tag 31.12.2022 abgefragt. Zur Auswertung wurden die Deponiestandorte anonymisiert.

### **Gesamtanzahl und Restvolumina der erfassten Deponien**

Insgesamt wurden Angaben von 556 Deponiestandorten der Deponieklassen I – III, die gemäß  
der IED-Richtlinie überprüft werden, übermittelt. Davon weisen 20 Standorte genehmigungs-  
rechtlich mehr als eine Deponieklasse auf. Es gehören 203 Deponien/Deponieabschnitte der  
Klasse DK I, 338 der Klasse DK II und 38 der Klasse DK III an. Ferner befinden sich in allen  
Deponieklassen weniger Deponien in der Ablagerungsphase als in der Stilllegungsphase.

Die verfügbaren Restvolumina der erfassten Deponien (Stand 31.12.2022) betrugen insgesamt  
für DK I 164.907.158 m<sup>3</sup>, für DK II 66.767.161 m<sup>3</sup> und für DK III 22.208.714 m<sup>3</sup>.

### **Barrieren, Entwässerungs- und Sickerwasserreinigungssysteme**

Die Auswertung ergab detaillierte Angaben zum Aufbau der Barrieren, der Entwässerungs- und  
Sickerwasserreinigungssysteme.

Basisdichtungen: Von den erfassten Deponien/Deponieabschnitten der Klassen DK I bis DK III  
sind 728 mit und 296 ohne eine Basisabdichtung ausgestattet. Der Aufbau der Basisabdichtung  
variiert häufig nach Deponieklasse, Betriebsstatus und Zeitpunkt des Baus und Inbetriebnahme.  
Bei den Deponieklassen II und III stellt sich die Kombinationsdichtung aus mineralischer  
Abdichtung und einer Kunststoffdichtungsbahn als "Standardsystem" nach Stand der Technik  
gemäß den Anforderungen der Deponieverordnung und der Vorgängerregelungen heraus.  
Bezüglich der geologischen Barriere sind am häufigsten natürliche geologische Barrieren  
vorhanden, welche teilweise auch künstlich aufgewertet wurden, in der Regel mit mineralischen  
Materialien.

Oberflächenabdichtungen: Insgesamt besitzen 476 DK I – DK III Teilabschnitte von Deponien in  
der Ablagerungs- sowie Stilllegungsphase eine „endgültige“ Abdichtung, während die weiteren  
Teilabschnitte noch verfüllt werden (keine Abdeckung) oder mit einer temporären Oberflächen-  
abdeckung versehen wurden.

Als erste und in der Regel alleinige Abdichtungskomponente für die Deponieklasse I werden  
eine mineralische Abdichtung, in geringerer Anzahl geosynthetische Tondichtungen oder Kunst-  
stoffdichtungsbahnen eingesetzt.

Bei der Deponieklasse II bildet in der Regel die mineralische Abdichtungsschicht die erste Abdichtungskomponente und eine Kunststoffdichtungsbahn die zweite obligatorische Abdichtungskomponente.

Dichtungskontrollsysteme sind gemäß der Deponieverordnung bei Deponien der Klasse III als Bestandteil der Oberflächenabdichtung obligatorisch. Dennoch weist eine größere Anzahl an oberflächengedichteten DK III-Deponien kein Dichtungskontrollsystem auf.

Sickerwasserfassung, -reinigung und -ableitung: 462 von 579 Deponien der Klassen DK I bis DK III verfügen über ein Sickerwasserfassungssystem, insbesondere die jüngeren, d.h. in der Ablagerungsphase befindlichen Deponien. Die Sickerwasserreinigung erfolgt häufig extern in kommunalen Kläranlagen (Deponieklasse I) oder in standorteigenen Sickerwasserbehandlungsanlagen.

Die Verfahren zur Sickerwasserreinigung unterscheiden sich in den Deponieklassen nach der Beschaffenheit des Sickerwassers. Die Auswertung zeigt, dass die biologische Behandlung noch das am häufigsten angewandte Verfahren bei den älteren DK II-Deponien ist, auf denen unvorbehandelte, organikhaltige Abfälle abgelagert wurden. Zur Erfüllung der Anforderungen an das gereinigte Sickerwasser als Indirekt- oder Direkteinleitung werden sie häufig als Teil einer Verfahrenskombination wie mit einer nachgeschalteten Adsorptionsstufe (Aktivkohle) eingesetzt. Weitere eingesetzte Verfahren sind u.a. die chemische Oxidation, Filtration, Umkehrosmose und Fällung/Flockung.

#### **Deponiegasfassung, -behandlung und -verwertung**

Bezüglich der Gaserfassung und -behandlung bzw. -verwertung stehen in Deutschland die Deponien der Deponieklasse II, auf denen bis 2005 unvorbehandelte Siedlungsabfälle mit größeren Anteilen biologisch abbaubarer Abfallfraktionen abgelagert wurden, im Vordergrund.

Insgesamt verfügen 256 der erfassten Deponien über eine aktive Gasfassung, während 32 passiv entgast werden. Am häufigsten werden vertikale Entgasungssysteme (Gasbrunnen) eingesetzt, gefolgt von horizontalen Systemen.

Als häufigste Behandlungstechnik wird die Hochtemperaturfackel eingesetzt, sei es als alleinige Behandlungsstufe oder in Redundanz zu einer Gasverwertungsanlage, vor allem einem Blockheizkraftwerk (BHKW). Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren zunehmend Schwachgasfackeln in Betrieb genommen, um das Deponiegas bei abnehmender Gasproduktion und rückläufigen Methangehalten ordnungsgemäß zu beseitigen.

Weitere Behandlungsarten sind u.a. die regenerative thermische Oxidation (RTO) oder Flox-Verbrennungsanlagen als autotherme Hochtemperatur-Oxidationsverfahren, ferner passive Gasbehandlungsanlagen wie Biofilter oder die Methanoxidation in Gasfenstern oder integriert in die Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung.

Bezüglich der Gasverwertung sind trotz abnehmender Deponiegasbildung weiterhin viele Blockheizkraftwerke (BHKW) im Einsatz. Sie dienen der Verstromung und soweit möglich der Abwärmenutzung. Weitere Verwertungsverfahren wie eine Einspeisung von Deponiegas zu einer anderen thermischen Verwertungsanlage oder die Nutzung in einer Gasturbine sind von der Anzahl von untergeordneter Bedeutung.

#### **Klimaschutzmaßnahmen**

Neben der Gasfassung und -verwertung wurden auch Angaben zur optimierten Gaserfassung und Deponiebelüftung zur Verbesserung des Emissionsverhaltens und des Klimaschutzes abgefragt. Der Rücklauf mit Angaben von nur 33 Deponien ist vermutlich unvollständig und auch darauf zurückzuführen, dass ausschließlich Anlagen auf Deponien erfasst wurden, die unter die Richtlinie über Industrieemissionen (IED) fallen. Im Rahmen der Nationalen Klima-

schutzinitiative zur Deponiebelüftung und optimierten Gaserfassung wurden dagegen mit Stand 18.12.2024 unter Berücksichtigung weiterer Siedlungsabfallablagerungen 125 Deponiebelüftungsmaßnahmen und 36 Maßnahmen zur optimierten Deponiegasfassung genannt, die beantragt oder bereits bewilligt sind.

### **Vergleich mit Angaben von Destatis**

Zur Plausibilitätsprüfung erfolgte ein Abgleich der Daten aus der LAGA-Länderabfrage 2023 mit vergleichbaren Angaben des Statistischen Bundesamts (Destatis) zum Jahr 2022. Beim verfügbaren Restvolumen der Deponieklassen I bis III zeigten sich tendenziell und in der Größenordnung vergleichbare Ergebnisse bei den Datensätzen. Auch beim Vergleich der Angaben zu Basis- und Oberflächenabdichtungen sowie zu Entgasungsanlagen ergab sich insgesamt eine plausible Übereinstimmung. Der Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 war in einigen Bereichen detaillierter und bot somit einen etwas umfassenderen Überblick. Insgesamt weist der Datenabgleich eine gute Grundlage für die statistische Auswertung der Deponien aus.

### **Ermittlung des Stands der Technik für Deponien - Arbeitspaket 3:**

An die statistische Erhebung zu Deponien knüpft die Ermittlung des Stands der Technik insbesondere im Hinblick auf die Aspekte Grundwasserschutz, Klimaschutz sowie Überwachungen und Kontrollen an. Die Aufbereitung lehnt sich dabei an das Multibarrierenkonzept an.

### **Abfallvorbehandlung und Methanbildungspotential**

Ein wesentlicher Bestandteil des Multibarrierenkonzepts auf Deponien ist die Qualität der abzulagernden Abfälle. Für organikhaltige Siedlungsabfälle ist nach der bundesdeutschen Deponieverordnung (DepV) in der Regel eine Abfallvorbehandlung erforderlich, um die Zuordnungskriterien insbesondere für die Deponieklasse II zu erfüllen. Hauptsächlich wird zur Beseitigung in Deutschland eine thermische oder mechanisch-biologische Vorbehandlung eingesetzt.

Dieses Vorgehen hat dazu geführt, dass sowohl der Anteil an deponierten Siedlungsabfällen als auch deren Gehalt an organischen Bestandteilen, die biologisch abbaubar sind und zur Deponiegasbildung führen, erheblich abgenommen haben. So hat sich die Methanbildung auf Deponien seit 1993 um ca. 89% reduziert. Der Anteil der Methanemissionen, der nicht erfasst wurde, hat sich in diesem Zeitraum aufgrund eines erhöhten Gasfassungsgrads sogar um 94% vermindert.

Die EU-Richtlinie von 1999 definiert drei Deponieklassen für Inertabfälle, nicht gefährliche Abfälle und gefährliche Abfälle. Die Deponieverordnung unterscheidet die Deponieklassen (DK 0, I, II, III sowie DK IV für untertägige Deponien) nach den Anforderungen an die Abfallqualität und die technischen Barrieren. Für die Unterklasse der nicht gefährlichen Abfälle der DK I gelten erhöhte Anforderungen an die Abfallqualität/Zuordnungswerte, während die Anforderungen an die Abdichtung reduziert sind. Die DK II ist vergleichbar mit der EU-Deponieklasse für nicht gefährliche Abfälle, und die DK III mit der für gefährliche Abfälle.

Die Zuordnungswerte für die verschiedenen Deponieklassen sind in Anhang 3 der DepV aufgeführt. Im Vergleich zu den EU-Vorgaben gelten in Deutschland strengere Anforderungen an den TOC und den Glühverlust im Feststoff sowie bei mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen an die Zuordnungswerte  $AT_4/GB_{21}$  in Verbindung mit dem TOC im Eluat.

Die Methanbildung auf Deponien in Deutschland hat seit 1993 erheblich abgenommen, was auf die abfallwirtschaftlichen Maßnahmen und die Regelungen der DepV zurückzuführen ist. Die derzeitigen Methanemissionen stammen überwiegend aus der Deponierung biologisch abbaubarer Abfallfraktionen bis 2005. Ein Vergleich des Methanbildungspotentials der in den Jahren 1995 und 2022 abgelagerten Siedlungsabfälle unter Berücksichtigung ihrer unterschiedlichen Anteile an biologisch abbaubaren Abfallfraktionen zeigt eine deutliche Reduzierung. Bezogen auf 100.000 Tonnen Feuchtmasse (FM) betrug das Methanbildungspotenzial im Jahr 1995 ca.

3.600 Mg Methan, während es im Jahr 2022 nur noch bei ca. 35 Mg Methan liegt. Dies verdeutlicht die Auswirkungen der reduzierten Abfallmengen zur Deponierung durch getrennte Erfassung und durch die Vorbehandlung der Abfälle. Im Gegensatz dazu hätte die Deponierung von 35% bezogen auf die 1995 deponierten biologisch abbaubaren Siedlungsabfälle gemäß den EU-Regelungen noch ein deutlich höheres Methanbildungspotential zur Folge.

### **Stand der Technik zur Deponierung**

Der Stand der Technik im Bereich der Abfallablagerung auf Deponien umfasst verschiedene Aspekte des Multibarrierenkonzepts wie die Abfallqualität, geologische Barriere, Abdichtungssysteme und die Erfassung und Behandlung von Sickerwasser und Deponiegas. Für alle Bereiche werden beispielhaft Deponiestandorte als „Musterdeponien“ genannt.

#### **Geologische Barriere:**

Der Untergrund von Deponien stellt im Sinne des Multibarrierenkonzepts die geologische Barriere dar, die aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften (Grundwasserdeckschicht, Homogenität und Schadstoffrückhaltevermögen) eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers dauerhaft verhindern soll.

Anforderungen an die geologische Barriere sind in Anhang 1 der DepV festgelegt. Dazu gehören ein ausreichendes Rückhaltevermögen und ein Mindestabstand von 1 m zum höchsten zu erwartenden freien Grundwasserspiegel. Die Wirksamkeit der geologischen Barriere wird anhand der hydraulischen Durchlässigkeit bewertet.

Ist eine natürliche geologische Barriere grundsätzlich vorhanden, die jedoch die Mindestanforderungen an Wasserdurchlässigkeit und Dicke nicht (vollständig) erfüllt, kann sie durch technische Maßnahmen vervollständigt oder verbessert werden. Verfügt ein Deponiestandort über keine geologische Barriere, kann sie durch technische Maßnahmen geschaffen werden.

#### **Basisabdichtungen:**

Das Basisabdichtungssystem dient in der Kombination mit der unterlagernden geologischen Barriere sowie der integrierten Sickerwasserfassung dem dauerhaften Schutz des Bodens und des Grundwassers gegenüber dem Eindringen von Sickerwasser aus dem Deponiekörper sowie dessen geordneter Ableitung und Überführung zur Sickerwasserbehandlungsanlage.

Die Basisabdichtung besteht in der Regel aus mineralischen und/oder Kunststoffdichtungskomponenten und einer Entwässerungsschicht. Eine mineralische Abdichtungskomponente muss eine Mindestdicke von 0,5 m und einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$  m/s einhalten. Die mechanische Widerstandsfähigkeit der mineralischen Abdichtung muss verschiedenen Einwirkungen standhalten.

Eine Konvektionssperre wird in der Regel aus Kunststoffdichtungsbahnen aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) in einer Schichtstärke von mindestens 2,5 mm hergestellt. Sie ist entsprechend vollkommen gas- und wasserdicht sowie chemiekalorienbeständig.

Die Entwässerungsschicht muss eine Mindestdicke sowie eine bestimmte Körnung und hydraulische Durchlässigkeit aufweisen. Zwischen der Entwässerungsschicht und der Abdichtungskomponente werden Schutzschichten aus Geotextil oder Sand angeordnet, wenn das unmittelbare Aufliegen der Entwässerungsschicht auf der Abdichtungskomponente diese in ihrer Funktion beeinträchtigen würde. Das Basisentwässerungssystem ist zur Ableitung des Sickerwassers mit einem Längs- und Quergefälle zu versehen.

Es dürfen nur Materialien verwendet werden, die dem Stand der Technik und bundeseinheitlichen Qualitätsstandards entsprechen. Die Einhaltung der Anforderungen wird durch Qualitätsmanagementmaßnahmen kontrolliert. Im Qualitätsmanagementplan werden die Anforde-

rungen an die zu verwendenden Materialien, den Einbau und die durchzuführenden Kontrollen (Überwachungswerte, -maßnahmen, -intervalle, Prüfmethoden) festgelegt.

#### **Oberflächenabdichtungen:**

Oberflächenabdichtungen dienen dazu, das Eindringen von Niederschlagswasser in den Deponiekörper zu minimieren und die Emission von Deponiegasen zu reduzieren. Das Oberflächenabdichtungssystem besteht in der Regel aus mehreren Komponenten, darunter eine Trag- und Ausgleichsschicht, eine mineralische und/oder Kunststoffabdichtung, einer Dränageschicht und eine Rekultivierungsschicht. Die Trag- und Ausgleichsschicht dient zum Ausgleich von Unebenheiten und zur Stabilisierung. Bei Deponien, die aufgrund des abgelagerten Abfalls Deponiegas bilden können, ist es ggf. erforderlich, eine Gasdränschicht zu ergänzen oder mit der Trag- und Ausgleichsschicht zu kombinieren. Auf die Trag- und Ausgleichsschicht kann, soweit es die darüber liegende Abdichtungskomponente erfordert, eine Schutzschicht aufgebracht werden.

Die mineralische Abdichtung, meistens eine Tondichtung oder geosynthetische Tondichtungsbahn, muss bestimmte Anforderungen an den Durchlässigkeitsbeiwert und/oder die Schichtdicke erfüllen. Die Kunststoffdichtungsbahn (KDB) muss ebenfalls spezifische mechanische und chemische Beständigkeitseigenschaften aufweisen. Auf der Abdichtungskomponente kann eine Schutzschicht erforderlich werden, insbesondere um Beschädigungen beispielsweise durch grobkörniges Dränmaterial zu vermeiden oder um die Austrocknungsgefahr der Abdichtungskomponente zu verringern.

Die Dränageschicht in der Oberflächenabdichtung dient zur Ableitung von Wasser, das die Rekultivierungsschicht durchdringt. Sie kann aus einer mineralischen Entwässerungsschicht (Kies oder geeignetes mineralisches Recyclingmaterial) oder geotextilen Filtermaterialien (Dränmatten) bestehen.

Die Rekultivierungsschicht bildet den oberen Abschluss und dient der Begrünung und dem Schutz der darunterliegenden Schichten. Für Wasserhaushaltsschichten gelten besondere Anforderungen an die Mindestdicke und die nutzbare Feldkapazität. Bei Nutzung einer endgültig stillgelegten Deponie für Verkehr, Parkplätze, Bebauung, Energiegewinnung oder ähnliche Zwecke kann die Rekultivierungsschicht durch eine technische Funktionsschicht ersetzt werden.

Dichtungskontrollsysteme sollen die flächige Überwachung einer Oberflächenabdichtung anhand des Nachweises ermöglichen, dass kein unzulässiger Wasserdurchtritt durch eine Abdichtungskomponente auftritt. Sie sind als Bestandteil des Oberflächenabdichtungssystems der Deponieklasse DK III für gefährliche Abfälle vorgeschrieben.

Die Wirksamkeit einer Oberflächenabdichtung mit diesen Elementen oder auch alternativ mit einer Kapillarsperre wird primär an der Abdichtungswirkung gemessen, die sich in maximal zulässigen Permeationsraten ausdrückt. In der Deponiepraxis zeigt sich die Wirksamkeit oft an signifikanten Abnahmen der Sickerwasserneubildung.

#### **Multifunktionale Abdichtung:**

Um den Flächenverbrauch zu reduzieren, kann eine Deponieerweiterung nach dem Prinzip „Deponie auf Deponie“ sinnvoll sein. Hierbei wird eine neue Deponie oder ein Deponieabschnitt auf bereits verfüllte und ggf. stillgelegte Deponieabschnitte errichtet, die durch eine multifunktionale Abdichtung voneinander getrennt sind. Sie stellt eine Kombination aus einer Oberflächenabdichtung des unteren Deponiekörpers sowie ggf. einer geologischen Barriere und einem Basisabdichtungssystem des oberen Deponiekörpers dar. Die unterschiedlichen Funktionen der Komponenten beider Systeme können ganz oder teilweise in gemeinsamen Komponenten zusammengefasst werden. Die Rekultivierungsschicht als Bestandteil der Oberflächenabdichtung des unteren Deponiekörpers entfällt hierbei und die Schutzfunktionen dieser Schicht (z. B. gegen Frost und Austrocknung) werden durch die überlagernde Ablagerung erbracht.

### **Sickerwasserfassung und –ableitung, Reinigungsverfahren:**

Das Sickerwasserfassungssystem als Bestandteil des Basisabdichtungssystems dient dazu, anfallendes Sickerwasser zu sammeln, im freien Gefälle abzuleiten und ggf. einer Reinigung zuzuführen.

Die Fassung und Ableitung von Deponiesickerwässern ist für Deponien der Klassen I, II und III durchzuführen. Ergänzend zur Entwässerungsschicht sind Sickerrohre (Vollwandrohrleitungen und perforierte Rohre) zu installieren, Durchdringungsbauwerke im basisgedichteten Deponierandbereich (Randdamm) und Schächte (Kontroll-, Pump und Speicherschächte) anzulegen. Das Entwässerungssystem ist so zu gestalten, dass es Setzungen und Verformungen widerstehen kann und auch dann noch ausreichend funktioniert, wenn Teilbereiche des Systems, z. B. infolge von Inkrustationen, nicht mehr voll wirksam sind. Zur Beurteilung und ggf. Beseitigung der Inkrustationen sind die Sickerleitungen regelmäßig zu inspizieren und ggf. zu reinigen.

Die hydraulische Belastung des Entwässerungssystems wird maßgeblich durch die während des Betriebszustands bei offener Einbaufläche anfallenden Sickerwasserspenden bestimmt. Die Sickerwasserfassung muss vor Beginn der ersten Ablagerungen betriebsbereit sein.

Der Anfall von Sickerwasser ist so gering zu halten, wie dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Sickerwassermengen, die nicht vermieden werden können, sind zu erfassen und ordnungsgemäß zu entsorgen, wobei in Abhängigkeit von der spezifischen Schadstoffkonzentration vor einer Einleitung in ein Gewässer oder vor der Vermischung mit anderem Abwasser eine Reinigung zur Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte vorzusehen ist.

Die chemische Zusammensetzung von Deponiesickerwasser ist komplex und die Inhaltsstoffe variieren je nach Abfallzusammensetzung, dem Grad des biologischen Abbaus über die Ablagedauer (Alter der Deponie), dem Klima (Temperatur, Niederschlag), dem Grad der Verdichtung und der Art des Deponiebetriebs. Zu den abzutrennenden Schadstoffen zählen vor allem organische Verbindungen, Schwermetalle, Salzbildner, Stickstoffverbindungen, Sulfate, wobei mittlerweile auch per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) zunehmend in den Blickpunkt geraten.

Eine Zwischenspeicherung zur Vergleichmäßigung des Sickerwasserzuflusses zur Reinigungsanlage und mechanische Vorbehandlung ist oft der erste Schritt zur Sickerwasserbehandlung. Aufgrund der früheren Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle mit einem hohen Anteil an biologisch abbaubaren Substanzen führt dies im Sickerwasser zu hohen CSB-, BSB<sub>5</sub>- und NH<sub>4</sub>-N-Konzentrationen. Zur Reinigung werden häufig Kombinationen aus biologischer (Belebung und Nitrifikation / Denitrifikation) und mechanischer Behandlung (Druckfiltration) sowie einer nachgeschalteten Aktivkohleadsorption genutzt, um die Anforderungswerte an das gereinigte Sickerwasser zu erreichen. Alternativ oder in Kombination werden chemisch-physikalische Verfahren (Fällung/Flockung, Adsorption, chemische Oxidation) und Membranverfahren (Umkehrosmose, Nanofiltration, Ultrafiltration, Mikrofiltration) eingesetzt.

Sickerwasser aus überwiegend mit mineralischen Abfällen oder Reststoffen einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung verfüllten Deponien kann ggf. ausschließlich mit Filtrationsverfahren gereinigt werden. Gering belastetes Sickerwasser aus Deponien der Deponiekategorie I für nicht gefährliche Abfälle wird häufig auch ohne Vorbehandlung am Deponiestandort indirekt abgeleitet.

Da die Konzentrationen verschiedener Sickerwasserinhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Deponiealter variieren, müssen das Reinigungsverfahren und die Behandlungskapazität an die sich ändernden Sickerwassermengen und -qualitäten angepasst werden.

### **Deponiegasfassung und -behandlung:**

Neben Methan und Kohlenstoffdioxid enthalten Deponiegase andere Spurenstoffe wie flüchtige organische Verbindungen und Schwefelwasserstoff, die Gerüche verursachen und gesundheitsschädlich sein können. Die Erfassung und Behandlung von Deponiegasen dient hauptsächlich dem Klimaschutz durch die Reduzierung von Methanemissionen und darüber hinaus der Energiegewinnung. Ein ordnungsgemäßer Umgang mit Deponiegas umfasst eine an die jeweiligen Standortverhältnisse angepasste Gaserfassung, eine der Zusammensetzung und erfassten Menge des Gases entsprechende Behandlung oder Verwertung sowie optional eine anschließende aerobe in-situ Stabilisierung des Deponiekörpers. Langfristig sind darüber hinaus etwaige Restgasemissionen durch geeignete passive Maßnahmen wie z.B. Methanoxidationsschichten zu minimieren.

Zur Erfassung von Deponiegas werden horizontale und/oder vertikale Gasfassungssysteme in den Deponiekörper eingebracht und an Gassammelleitungen angeschlossen. Diese Elemente können sowohl während der Verfüllung als auch nachträglich installiert werden. In Gassammelstationen werden die Gassammelleitungen mit Mess- und Regelstrecken an Gassammelbalken angeschlossen. Gassammelstationen können als Einkreis- oder Zweikreisystem ausgebildet werden. Bei Zweikreisystemen ist im Gasabsaugbetrieb eine Trennung zwischen unterschiedlichen Gasqualitäten möglich, um parallel unterschiedliche Verfahren zur Behandlung und Verwertung betreiben zu können. Über Gastransportleitungen und Kondensatabscheideeinrichtungen gelangt das Deponiegas zu Gasverdichterstationen und von dort zu den Gasbehandlungs- oder Gasverwertungsanlagen. Diese umfassen thermische und biologische Verfahren. Bei der Gasverwertung wird Deponiegas in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung, in Gasmotoren oder Gasturbinen genutzt. Bei abnehmenden Gasmengen oder -qualitäten ist eine Gasbehandlung möglich, wobei zwischen konventionellen Fackeln, Schwachgasfackel, Hochtemperaturoxidationsanlagen und weiteren Verfahren unterschieden wird. Bei den biologischen Verfahren wird Methan durch Mikroorganismen u.a. in Biofiltern, Methanoxidationsfenstern und Methanoxidationsbereichen als Teil der Rekultivierungsschicht einer Oberflächenabdichtung abgebaut.

Im Zusammenhang mit der Erfassung und Behandlung von Deponiegas sind stets die Anforderungen an den Arbeitsschutz und die Sicherheitstechnik, insbesondere zum Explosionsschutz zu beachten.

### **Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen:**

Zur Verbesserung des Deponieverhaltens können Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen eingesetzt werden. Die Belüftung dient der Intensivierung biologischer Abbauprozesse und der Reduzierung von Methanemissionen. Sie wird zunehmend auf älteren Deponien mit abnehmender Gasbildung eingesetzt, wenn eine herkömmliche Gasbehandlung technisch und wirtschaftlich nicht mehr durchführbar ist. Verschiedene Belüftungsverfahren wie Druckbelüftung, Saugbelüftung und Übersaugung kommen zum Einsatz. Durch die Belüftung kann der aerobe Abbau gefördert und die verbleibende Methanbildung beschleunigt reduziert werden. Die Maßnahmen können so zu einer Reduzierung des Nachsorgeaufwands und der Nachsorgedauer beitragen.

Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen zur Deponiebelüftung umfassen unter anderem die Messung von Gaszusammensetzung und -mengen, die Überprüfung der Sauerstoffversorgung und Emissionskontrollen.

### **Deponiebetrieb, Überwachungen und Kontrollen:**

Sämtliche Phasen einer Deponie, Errichtung, Betrieb, Stilllegung sowie die Nachsorge unterliegen bestimmten Anforderungen hinsichtlich der Betrieblichen Maßnahmen, notwendigen Überwachungen und Kontrollen.

Aspekte des Deponiebetriebs betreffen u.a.:

- ▶ Bei der Abfallablagerung ist sicherzustellen, dass Abfälle, die erheblich stauben, so gehandhabt werden, dass von ihnen keine erheblichen Emissionen ausgehen.
- ▶ Unverpackte und verpackte asbesthaltige Abfälle sowie Abfälle, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten, sind arbeitstäglich oder mindestens einmal wöchentlich mit geeigneten Materialien abzudecken.
- ▶ Abfälle sind in der Deponie hohlraumarm einzubauen, so dass langfristig nur geringe Setzungen des Deponiekörpers zu erwarten sind.
- ▶ Die Deponie ist so aufzubauen, dass keine nachteiligen Reaktionen der Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe untereinander oder mit dem Sickerwasser erfolgen. Erforderlichenfalls sind getrennt zu entwässernde oder getrennt zu entgasende Bereiche für Abfälle, bei denen Reaktionen zu besorgen sind, einzurichten.
- ▶ Die Standsicherheit des Deponiekörpers ist in allen Deponiephasen zu gewährleisten, was z.B. den Einfluss von eingestautem Sickerwasser oder schlammigen Abfällen auf die Standsicherheit anbetrifft.
- ▶ Sofern aufgrund biologischer Abbauprozesse Deponiegas in relevanten Mengen entsteht, ist dieses Deponiegas schon in der Ablagerungsphase zu fassen und zu behandeln.
- ▶ Die klimatische Sickerwasserbildung ist durch geeignete Einbautechnik und auf den Bedarf angepasste offene Einbaubereiche zu reduzieren.

Überwachungen und Kontrollen erstrecken sich u.a. auf folgende Maßnahmen:

- ▶ Die Annahme von Abfällen auf Deponien beinhaltet die Pflicht zur Charakterisierung der Abfälle. Sie dürfen nur abgelagert werden, wenn die jeweiligen Annahmekriterien einer Deponieklasse für gefährliche und nicht gefährliche Abfälle bereits bei der Anlieferung eingehalten werden.
- ▶ Zur Ermittlung der notwendigen Überwachungsdaten sind über geeignete Messeinrichtungen regelmäßige Messungen und Kontrollen am Standort durchzuführen:
  - Grundwasserüberwachung
  - Überwachung der Setzungen und Verformungen der Deponieabdichtungssysteme
  - Überwachung der Setzungen und Verformungen sowie Verfüllzustände des Deponiekörpers
  - Menge und Qualität von in einer Entwässerungsschicht gefasstem Sickerwasser und sonstigem von Oberflächen stammenden gefasstem Niederschlagswasser oder Abwasser
  - Überwachung von Deponiegas und Deponiegasemissionen
  - Erfassung von meteorologischen Daten

Die Messungen und Kontrollen sind in der Betriebsphase und bis zum Ende der Nachsorgephase durchzuführen. Ziel der langfristigen Kontrollen ist die Feststellung des Abschlusses der Nachsorgephase.

Berichts- und Dokumentationspflichten eines Deponiebetreibers umfassen:

- ▶ Betriebsordnung mit den für einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb notwendigen Vorschriften.
- ▶ Betriebshandbuch zu erforderlichen Maßnahmen, die für den Normalbetrieb, für die Instandhaltung und für Betriebsstörungen für eine gemeinwohlverträgliche Ablagerung der Abfälle und für die Betriebssicherheit der Deponie erforderlich sind.
- ▶ Führung eines Abfallkatasters, in dem detaillierte Angaben zu den abgelagerten Abfällen dokumentiert werden.
- ▶ Betriebstagebuch zur fortlaufenden Dokumentation aller für den Deponiebetrieb wesentlichen Angaben wie Kontrollen oder besondere Vorkommnisse.
- ▶ Jahresbericht zu den Stammdaten der Deponie, zur Auswertung der durchgeführten Messungen und Kontrollen, zu angenommenen und abgegebenen Abfällen und einer Erklärung zum Deponieverhalten.

#### **Qualitätsmanagement:**

An die Errichtung und den Betrieb von Deponien werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Das Qualitätsmanagement (QM) soll diese hohen Qualitätsstandards nach dem Stand der Technik gewährleisten. Es umfasst alle Prozesse von der Vorfertigung bis zum Betrieb, insbesondere bei Abdichtungssystemen und Emissionskontrollen, und dient der Planung, Lenkung und Überwachung.

Der Qualitätsmanagementplan (QMP) definiert Anforderungen und Maßnahmen etwa für Deponieabdichtungen (z. B. Probefelder) oder einer ordnungsgemäßen Deponieentgasung und bedarf einer behördlichen Genehmigung.

Die Qualitätsüberwachung erfolgt durch Eigen- und Fremdprüfungen akkreditierter Stellen sowie behördliche Kontrollen. Ziel aller Maßnahmen zum Qualitätsmanagement einschließlich der Dokumentationen und Abnahmen ist die Gewährleistung der langfristigen Funktionalität.

#### **Ermittlung von praxisgerechten Faktoren für die Berechnung des Gasbildungspotentials von Deponien und zur Prognose der Deponiegasemissionen - Arbeitspaket 4:**

Die Ermittlung praxisgerechter Faktoren für die Berechnung des anaeroben Gasbildungspotentials dient dazu, den Gashaushalt näher beschreiben und die resultierenden Methanemissionen belastbarer quantifizieren zu können. Siedlungsabfalldeponien weisen sowohl in der Verfüllphase als auch in der anschließenden Stilllegungs- und Nachsorgephase eine veränderliche Beschaffenheit des Deponiegases auf. Deponien, auf denen die Verfüllung biologisch abbaubarer Abfälle abgeschlossen wurde, zeigen eine abnehmende Deponiegasbildung über die Zeit.

Dazu erfolgt eine Übersicht zur Abschätzung des Gasbildungspotentials und zur Prognose des zeitlichen Verlaufs der Deponiegasbildung. Prognosemodelle basieren in der Regel auf der First Order Decay (FOD) Methode, wobei das IPCC Waste Model international am weitesten verbreitet ist. Aufgrund umfangreicher Auswertungen zum Gashaushalt wurden für dieses Modell die Standardparameter einiger Abfallfraktionen ( $\text{DOC}_t$ , Halbwertszeit für Papier und Holz) an durchschnittliche deutsche Deponiebedingungen angepasst. Diese Anpassungen haben mittlerweile auch in den Nationalen Inventarbericht für Deutschland und mehrere Regelwerke Eingang gefunden.

Weitere Anpassungsmöglichkeiten von Faktoren für das IPCC Waste Model wie der Methankorrekturfaktor (MCF) wurden näher betrachtet, um die Deponiegasbildung auf Deponien in Deutschland praxisgerecht zu erfassen. Dazu sind auch die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Faktoren und weitere Einflussfaktoren auf biologische Abbauprozesse, z.B. Austrocknungseffekte durch Oberflächenabdichtungen oder Hemmungen des anaeroben Abbauprozesses, zu berücksichtigen.

Zur Deponiegasprognose wurden ferner Referenzwerte zu deponierten Abfallmengen und zur Abfallzusammensetzung aufbereitet, wie sie auch für den Nationalen Inventarbericht herangezogen werden. Auf dieser Grundlage werden Hinweise zur Nutzung der Gasprognosemodelle gegeben.

Ergänzend oder im Anschluss an eine Erfassung und Behandlung oder Verwertung des Deponiegases kann eine Deponiebelüftung bzw. aerobe in situ Stabilisierung eingesetzt werden.

Durch die Überführung der anaeroben zu überwiegend aeroben biologischen Abbauprozessen kann eine beschleunigte und kontrollierte Umsetzung bioverfügbarer Restorganik im Deponiekörper erreicht werden. In Verbindung mit der Steigerung des Gasfassungsgrads im Belüftungsbetrieb können klimaschädigende Deponiegasemissionen, die sonst langfristig infolge anaerober Methanbildung entstehen, signifikant reduziert werden. Dieses Verfahren wird in Deutschland in den letzten 25 Jahren zunehmend als Klimaschutzmaßnahme und zur Reduzierung der Dauer und des Aufwands zur Deponienachsorge eingesetzt. Zur Anwendung werden die Mindestanforderungen, unterschiedliche Verfahrensmöglichkeiten mit ihren technischen Einrichtungen sowie Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen aufbereitet.

Auf der Grundlage der Aufbereitung des Stands der Technik zur Gaserfassung und -verwertung und zur Deponiebelüftung werden Abschätzungen vorgenommen, welche Reduzierungen an Methanemissionen als klimaschädigendes Treibhausgas auf Deponien in Deutschland erreichbar sind. Danach ergibt sich für beide Vorgehensweisen noch ein beträchtliches Emissionsminderungspotential. Für den Klimaschutz ist es entscheidend, diese Maßnahmen nun möglichst zeitnah auf eine größere Anzahl von Deponien auszudehnen.

## **Fazit**

Das ReFoPlan-Vorhaben bietet eine umfassende Darstellung des aktuellen Stands der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland. Die Datenerhebung und -auswertung, insbesondere der LAGA-Länderabfrage 2023 liefert umfangreiche Einblicke in die technische Ausstattung und den Betriebsstatus der deutschen Deponien, die der Industrieemissionsrichtlinie unterliegen. Der Bericht beleuchtet sowohl die etablierten technischen Standards als auch innovative Ansätze zur Minderung von Umweltauswirkungen, insbesondere der Methanemissionen. Die Ergebnisse dieses Berichts können somit einen wichtigen Beitrag zur Erstellung des BVT-Merkblatts Deponien leisten.

## Summary

### Introduction

The Industrial Emissions Directive (IED) forms the basis for the authorisation of particularly environmentally relevant industries throughout the EU. It is based on the principle of sustainable production and focuses on the concept of best available techniques. Landfills also fall within the scope of the IED.

On 5 April 2022, the EU Commission presented a proposal for an EU directive amending the IE Directive and Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. After intensive negotiations in the Council and Parliament of the European Union, the new Industrial Emissions Directive (IED 2.0) was published in the EU Official Journal on 15 July 2024. In Article 2 on amendments to Directive 1999/31/EC, Article 1 (2) is deleted. This means that the state of the art in the field of landfills will also be regulated by a BAT reference document in future.

### Objectives and content of the research report

Against this background, the departmental research plan project (ReFoPlan project) aims to systematically record and document the state of the art of waste disposal in landfills in Germany in order to prepare the development of the BAT reference document on landfills within the framework of the so-called 'Seville Process'. Technical and organisational measures to reduce or prevent emissions are to be described. The preparation of the BAT reference document also requires a comprehensive inventory of landfills in Germany.

The research project was structured into several work packages, including the establishment of an advisory board, the inventory of landfills in Germany, the documentation of the state of the art for landfills and the determination of practical factors for calculating the gas formation potential of landfills. The results of the task and the work packages are summarised below.

### Establishment of an advisory board – work package 1

At the start of the project, an advisory board was set up to support the Federal Environment Agency in managing and monitoring the work of the project consortium IFAS and HiiCCE. The advisory board consisted of 11 members from the fields of science, specialist authorities, ministries, associations and engineering firms, who are also involved in the extended national expert group on the BAT process.

In the ReFoPlan project, the results of the work on the tasks were presented and discussed at half-yearly meetings of the advisory board in order to coordinate the further work content. In particular, the advisory board was able to conduct a survey on current parameters for landfills subject to the IED via the "Länderarbeitsgemeinschaft Abfall" (LAGA) and its ad hoc working group on „LAGA-Ad-hoc AG Deponietechnik" (landfill technology). This formed an essential basis for work package 2 on the inventory of landfills in Germany. In the further course of the project, sub-working groups were formed from the advisory board, which were expanded by external experts. In these sub-working groups, the individual report results on the state of the art (e.g. multi-barrier concept, groundwater and climate protection) and the adaptation of IPCC default values for landfill gas formation were coordinated in detail. In addition, the advisory board identified landfill sites as 'model landfills' where state-of-the-art technical measures have already been implemented in an exemplary manner.

## **Inventory of landfills in Germany – work package 2:**

### **Methodological approach**

As part of an analysis of the current situation regarding the number of facilities in Germany, the landfills in operation and those that have been closed were to be recorded, differentiated according to landfill classes and with their key data. The locations of the landfills for landfill classes DK I, II, III and IV, which are subject to the IED Directive, were to be shown graphically on a map of Germany.

Various approaches were taken to compile this inventory. In the first step, all publicly available information was collated and structured for the inventory. It became apparent that it was not possible to record all the desired landfill data with the current status based solely on publicly available sources.

In order to obtain a uniform data set, a survey was conducted in all federal states in 2023 via the LAGA (Federal/State Working Group on Waste). A questionnaire was used to collect detailed data on landfill sites and sections as of 31 December 2022. The landfill sites were anonymised for evaluation purposes.

### **Total number and residual volumes of the landfills recorded**

In total, information was provided on 556 landfill sites in landfill classes I to III that are reviewed in accordance with the IED Directive. Of these, 20 sites have more than one landfill class under licensing law. There are 203 landfills/landfill sections in class DK I, 338 in class DK II and 38 in class DK III. Furthermore, in all landfill classes, there are fewer landfills in the deposition phase than in the closure phase.

The available residual volumes of the recorded landfills (as of 31 December 2022) totalled 164,907,158 m<sup>3</sup> for DK I, 66,767,161 m<sup>3</sup> for DK II and 22,208,714 m<sup>3</sup> for DK III.

### **Barriers, drainage and leachate treatment systems**

The evaluation provided detailed information on the design of the barriers, drainage and leachate treatment systems.

**Base sealing:** Of the landfills/landfill sections recorded in classes DK I to DK III, 728 are equipped with a base seal and 296 are not. The structure of the base seal often varies according to landfill class, operating status and time of construction and commissioning. In landfill classes II and III, the combination seal consisting of a mineral seal and a geomembrane is the 'standard system' in accordance with the state of the art and the requirements of the Landfill Ordinance ("Deponieverordnung") and its predecessor regulations. With regard to the geological barrier, natural geological barriers are most common, some of which have been artificially enhanced, usually with mineral materials.

**Surface sealing:** A total of 476 DK I – DK III sections of landfills in the operational and closure phase have a 'final' seal, while the remaining sections are still being filled (no cover) or have been provided with a temporary surface cover.

A mineral seal, or in a smaller number of cases geosynthetic clay seals or geomembranes, are used as the first and usually only sealing component for landfill class I.

In landfill class II, the mineral sealing layer usually forms the first sealing component and a geomembrane the second mandatory sealing component.

Sealing control systems are mandatory for Class III landfills as part of the surface sealing in accordance with the Landfill Ordinance. Nevertheless, a large number of surface-sealed DK III landfills do not have a sealing control system.

Leachate collection, treatment and discharge: 462 of 579 landfills in classes DK I to DK III have a leachate collection system, especially the newer ones, i.e. those in the operational phase. Leachate treatment is often carried out externally in municipal sewage treatment plants (landfill class I) or in on-site leachate treatment plants.

The methods used for leachate treatment vary in the different landfill classes depending on the composition of the leachate. The evaluation shows that biological treatment is still the most commonly used method in older DK II landfills where untreated organic waste was deposited. In order to meet the requirements for treated leachate as indirect or direct discharge, they are often used as part of a combination of processes, such as with a downstream adsorption stage (activated carbon). Other processes used include chemical oxidation, filtration, reverse osmosis and precipitation/flocculation.

#### **Landfill gas collection, treatment and utilisation**

With regard to gas collection, treatment and utilisation, the focus in Germany is on Class II landfills, where untreated municipal waste with a high proportion of biodegradable fractions was deposited until 2005.

A total of 256 of the landfills surveyed have active gas collection systems, while 32 are passively degassed. Vertical degassing systems (gas wells) are the most commonly used, followed by horizontal systems.

The most common treatment technique is high-temperature flaring, either as the sole treatment stage or in conjunction with a gas utilisation plant, primarily a combined heat and power plant (CHP). In addition, lean gas flares have been increasingly put into operation in recent years to properly dispose of landfill gas as gas production declines and methane levels fall.

Other types of treatment include regenerative thermal oxidation (RTO) or Flox combustion plants as autothermal high-temperature oxidation processes, as well as passive gas treatment plants such as biofilters or methane oxidation layers integrated into the recultivation layer of the surface sealing.

Despite declining landfill gas formation, many combined heat and power plants (CHP) are still in use for gas utilisation. They are used to generate electricity and, where possible, to utilise waste heat. Other utilisation methods, such as feeding landfill gas into another thermal utilisation plant or using it in a gas turbine, are of minor importance in terms of numbers.

#### **Climate protection measures**

In addition to gas collection and utilisation, information was also requested on optimised gas collection and landfill aeration to improve emissions behaviour and climate protection. The response rate of only 33 landfills is probably incomplete and can also be attributed to the fact that only facilities at landfills covered by the Industrial Emissions Directive (IED) were included. However, as part of the National Climate Protection Initiative on landfill aeration and optimised gas collection, 125 sites with landfill aeration and 36 sites with measures for optimised landfill gas collection were reported as having been applied for or already approved as of 18 December 2024, taking into account additional municipal waste deposits.

### **Comparison with data from Destatis**

For the purpose of plausibility checking, the data from the LAGA state survey 2023 was compared with comparable data from the Federal Statistical Office (Destatis) for 2022. The data sets showed a similar trend and order of magnitude for the available residual volume of landfill classes I to III. A comparison of the data on base and surface sealing and degassing systems also revealed a plausible overall consistency. The data set from the LAGA state survey 2023 was more detailed in some areas and thus provided a slightly more comprehensive overview. Overall, the data comparison provides a good basis for the statistical evaluation of landfills.

### **Determination of the state of the art for landfills – work package 3:**

The statistical survey of landfills is followed by the determination of the state of the art, particularly with regard to groundwater protection, climate protection, monitoring and control. The processing is based on the multi-barrier concept.

### **Waste pre-treatment and methane formation potential**

An essential component of the multi-barrier concept for landfills is the quality of the waste to be deposited. According to the "Deponieverordnung (DepV)" (German Landfill Ordinance), organic municipal waste generally requires pre-treatment in order to meet the allocation criteria, particularly for landfill class II. Thermal or mechanical-biological pre-treatment is mainly used for disposal in Germany.

This approach has led to a significant reduction in both the proportion of municipal waste sent to landfills and its content of organic components that are biodegradable and lead to landfill gas formation. As a result, methane formation in landfills has been reduced by approximately 89% since 1993. The proportion of methane emissions that was not collected has even fallen by 94% because of an increased gas collection rate over this period.

The 1999 EU Directive defines three landfill classes for inert waste, non-hazardous waste and hazardous waste. The Landfill Ordinance DepV distinguishes between landfill classes (DK 0, I, II, III and DK IV for underground landfills) according to the requirements for waste quality and technical barriers. For the subclass of non-hazardous waste in DK I, increased requirements apply to waste quality/allocation criteria, while the requirements for sealing are reduced. DK II is comparable to the EU landfill class for non-hazardous waste, and DK III to that for hazardous waste.

The allocation values for the various landfill classes are listed in Annex 3 of the DepV. Compared to the EU requirements, Germany has stricter requirements for TOC and ignition loss in solids and, for mechanically-biologically pre-treated waste, for the allocation values  $AT_4/GB_{21}$  in conjunction with the TOC in the eluate.

Methane formation in landfills in Germany has decreased significantly since 1993, which is attributable to waste management measures and the provisions of the DepV. Current methane emissions originate mainly from the landfilling of biodegradable waste fractions until 2005. A comparison of the methane formation potential of municipal waste deposited in 1995 and 2022, taking into account their different proportions of biodegradable waste fractions, shows a significant reduction. Based on 100,000 tonnes of wet mass (WM), the methane formation potential in 1995 was approximately 3,600 Mg of methane, while in 2022 it is only approximately 35 Mg of methane. This illustrates the impact of reduced waste quantities for landfill through separate collection and pre-treatment of waste. In contrast, landfilling 35% of the biodegradable municipal waste landfilled in 1995 would still result in a significantly higher methane formation potential in accordance with EU regulations.

### **State of the art in landfill**

The state of the art in the field of waste disposal in landfills encompasses various aspects of the multi-barrier concept, such as waste quality, geological barriers, sealing systems and the collection and treatment of leachate and landfill gas. Landfill sites are cited as examples of 'model landfills' for all areas.

#### **Geological barrier:**

In terms of the multi-barrier concept, the subsoil of landfills represents the geological barrier which, due to its specific properties (groundwater cover layer, homogeneity and pollutant retention capacity), is intended to permanently prevent harmful contamination of the groundwater.

Requirements for the geological barrier are specified in Annex 1 of the DepV. These include sufficient retention capacity and a minimum distance of 1 m from the highest expected free groundwater level. The effectiveness of the geological barrier is assessed on the basis of hydraulic permeability.

If a natural geological barrier is present but does not (fully) meet the minimum requirements for water permeability and thickness, it can be supplemented or improved by technical measures. If a landfill site does not have a geological barrier, one can be created by technical measures.

#### **Base sealing:**

The base sealing system, in combination with the underlying geological barrier and the integrated leachate collection system, serves to permanently protect the soil and groundwater from the ingress of leachate from the landfill body and to ensure its orderly discharge and transfer to the leachate treatment plant.

The base sealing usually consists of mineral and/or geomembrane components and a drainage layer. A mineral sealing component must have a minimum thickness of 0.5 m and a permeability coefficient of  $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$  m/s. The mechanical resistance of the mineral seal must be able to withstand various influences.

A convection barrier is usually made of geomembrane sealing sheets made of high-density polyethylene (PEHD) with a layer thickness of at least 2.5 mm. It is completely gas- and water-tight and resistant to chemicals.

The drainage layer must have a minimum layer thickness, a specific grain size and hydraulic permeability. Protective layers made of geotextile or sand are placed between the drainage layer and the sealing component if the drainage layer lying directly on the sealing component would impair its function. The basic drainage system must be provided with a longitudinal and transverse slope to drain off leachate.

Only materials that comply with the state of the art and federal quality standards may be used. Compliance with the requirements is monitored by quality management measures. The quality management plan specifies the requirements for the materials to be used, the installation and the checks to be carried out (monitoring values, measures, intervals, test methods).

#### **Surface sealing:**

Surface sealings serve to minimise the penetration of precipitation water into the landfill body and to reduce the emission of landfill gases. The surface sealing system usually consists of several components, including a base and levelling layer, a mineral and/or geomembrane, a drainage layer and a recultivation layer. The base and levelling layer serves to level out unevenness and provide stability. In landfills that may produce landfill gas due to the waste deposited, it may be necessary to add a gas drainage layer or combine it with the base and levelling layer. A

protective layer may be applied to the base and levelling layer if required by the sealing component above.

The mineral sealing, usually a clay seal or geosynthetic clay sealing membrane, must meet certain requirements in terms of permeability coefficient and/or layer thickness. The geomembrane must also have specific mechanical and chemical resistance properties. A protective layer may be required on the sealing component, in particular to prevent damage, for example from coarse-grained drainage material, or to reduce the risk of the sealing component drying out.

The drainage layer in the surface seal serves to drain water that penetrates the recultivation layer. It can consist of a mineral drainage layer (gravel or suitable mineral recycled material) or geotextile filter materials (drainage mats).

The recultivation layer forms the upper boundary and serves to planting and protect the underlying layers. Special requirements apply to the minimum thickness and usable field capacity of water management layers. If a permanently closed landfill is used for traffic, parking, construction, energy generation or similar purposes, the recultivation layer can be replaced by a technical functional layer.

Sealing control systems are designed to enable the monitoring of a surface seal over a large area by verifying that no impermissible water penetration occurs through a sealing component. They are mandatory as part of the landfill surface sealing system for landfill class DK III for hazardous waste.

The effectiveness of a surface seal with these elements or, alternatively, with a capillary barrier is primarily measured by the sealing effect, which is expressed in maximum permissible permeation rates. In landfill practice, effectiveness is often demonstrated by significant reductions in the formation of new leachate.

#### **Multifunctional sealing:**

In order to reduce land consumption, it may be advisable to expand a landfill according to the 'landfill on landfill' principle. This involves constructing a new landfill or landfill section on top of already filled or closed landfill sections, which are separated from each other by a multifunctional sealing system. This is a combination of a surface sealing for the lower landfill body and, if necessary, a geological barrier and a base sealing system for the upper landfill body. The different functions of the components of both systems can be combined in whole or in part in common components. The recultivation layer as part of the surface sealing of the lower landfill body is omitted here, and the protective functions of this layer (e.g. against frost and drying out) are provided by the overlying deposit.

#### **Leachate collection and drainage, cleaning procedures:**

The leachate collection system, as part of the base sealing system, serves to collect leachate, drain it away by gravity and, if necessary, feed it to a cleaning system.

The collection and drainage of landfill leachate must be carried out for landfills of the classes I, II and III. In addition to the drainage layer, leachate pipes (solid-wall pipes and perforated pipes) must be installed. Penetration structures must be installed in the base-sealed landfill edge area (edge dam) and shafts (inspection, pumping and storage shafts). The drainage system must be designed so that it can withstand settlement and deformation and still function adequately even if parts of the system are no longer fully effective, e.g. due to incrustations. The drainage pipes must be inspected regularly and cleaned if necessary to assess and, if necessary, remove incrustations.

The hydraulic load on the drainage system is largely determined by the amount of leachate water that accumulates during operation with the open surface. The leachate collection system must be operational before the first deposits begin.

The amount of leachate must be kept as low as possible in accordance with the state of the art. Leachate that cannot be avoided must be collected and disposed of properly, whereby, depending on the specific pollutant concentration, purification must be provided to comply with legal requirements before discharge into a stretch of water or before mixing with other wastewater.

The chemical composition of landfill leachate is complex and the constituents vary depending on the waste composition, the degree of biological degradation over the storage period (age of the landfill), the climate (temperature, precipitation), the degree of compaction and the type of landfill operation. The pollutants to be separated include primarily organic compounds, heavy metals, salt formers, nitrogen compounds and sulphates, with per- and polyfluorinated alkyl compounds (PFAS) also increasingly coming under scrutiny.

Intermediate storage to equalise the inflow of leachate to the treatment plant and mechanical pre-treatment are often the first steps in leachate treatment. Due to the earlier disposal of untreated municipal waste with a high proportion of biodegradable substances, this leads to high COD, BOD<sub>5</sub> and NH<sub>4</sub>-N concentrations in the leachate. To meet the requirements for treated leachate, combinations of biological (activation and nitrification/denitrification) and mechanical treatment (pressure filtration) are often used, followed by activated carbon adsorption. Alternatively, or in combination, chemical-physical processes (precipitation/flocculation, adsorption, chemical oxidation) and membrane processes (reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration) are used.

Leachate from landfills filled mainly with mineral waste or residues from mechanical-biological pre-treatment can, if necessary, be treated exclusively by filtration processes. Low-contaminated leachate from Class I landfills for non-hazardous waste is often discharged indirectly without pre-treatment at the landfill site.

Since the concentrations of various leachate constituents vary depending on the age of the landfill, the treatment process and treatment capacity must be adapted to the changing leachate quantities and qualities.

#### **Landfill gas collection and treatment:**

In addition to methane and carbon dioxide, landfill gases contain other trace substances such as volatile organic compounds and hydrogen sulphide, which cause odours and can be harmful to health. The collection and treatment of landfill gases mainly serves to protect the climate by reducing methane emissions and, in addition, to generate energy. Proper handling of landfill gas includes gas collection adapted to the specific site conditions, treatment or utilisation appropriate to the composition and quantity of the gas, and, optionally, subsequent aerobic in-situ stabilisation of the landfill body. In the long term, any residual gas emissions must also be minimised by suitable passive measures such as methane oxidation layers.

To collect landfill gas, horizontal and/or vertical gas collection systems are installed in the landfill body and connected to gas collection pipes. These elements can be installed both during filling and retrospectively. In gas collection stations, the gas collection pipes are connected to gas collection beams with measuring and control sections. Gas collection stations can be designed as single-circuit or dual-circuit systems. In dual-circuit systems, it is possible to separate different gas qualities during gas extraction in order to operate different treatment and utilisation processes in parallel. The landfill gas is transported via gas transport pipes and condensate separation devices to gas compressor stations and from there to gas treatment or gas utilisation plants. These include thermal and biological processes. In gas utilisation, landfill gas is used in combi-

ned heat and power plants (CHP) to generate electricity and heat, in gas engines or gas turbines. If gas quantities or qualities decrease, gas treatment is possible, whereby a distinction is made between conventional flares, lean-gas flares, high-temperature oxidation plants and other processes. In biological processes, methane is broken down by microorganisms in biofilters, methane oxidation windows and methane oxidation areas, among other places, as part of the recultivation layer of a surface sealing.

In connection with the collection and treatment of landfill gas, occupational health and safety requirements and safety technology, in particular explosion protection, must always be observed.

#### **Landfill aeration and infiltration measures:**

Landfill aeration for the aerobic in situ stabilisation and infiltration measures can be used to improve landfill behaviour. Aeration serves to intensify biological degradation processes and reduce methane emissions. It is increasingly being used in older landfills with decreasing gas formation when conventional gas treatment is no longer technically and economically feasible. Various aeration methods such as pressure aeration and oversucking are used. The aeration process promotes aerobic degradation and accelerates the reduction of residual methane formation. The measures can thus contribute to a reduction in aftercare costs and the duration of aftercare.

Control and monitoring measures for landfill aeration include measuring gas composition and quantities, checking oxygen supply and emission controls.

#### **Landfill operation, monitoring and controls:**

All phases of a landfill, including construction, operation, closure and aftercare, are subject to certain requirements regarding operational measures, necessary monitoring and controls.

Aspects of landfill operation include:

- ▶ When depositing waste, it must be ensured that waste that generates significant dust is handled in such a way that it does not cause significant emissions.
- ▶ Unpackaged and packaged waste containing asbestos and waste containing other hazardous mineral fibres must be covered with suitable materials every working day or at least once a week.
- ▶ Waste must be deposited in the landfill with as few voids as possible so that only minor settlement of the landfill body is to be expected in the long term.
- ▶ The landfill shall be constructed in such a way that no adverse reactions occur between the waste or landfill substitute construction materials or with the leachate. If necessary, areas for waste that is likely to react shall be set up for separate drainage or degassing.
- ▶ The stability of the landfill body must be ensured in all phases of the landfill, e.g. with regard to the influence of accumulated leachate or sludge on stability.
- ▶ If landfill gas is produced in relevant quantities as a result of biological degradation processes, this landfill gas must be collected and treated during the deposition phase.
- ▶ The climatic leachate formation has to be reduced through suitable installation technology and open installation areas adapted to requirements.

Monitoring and controls shall include the following measures, among others:

- ▶ The acceptance of waste at landfills includes the obligation to characterise the waste. They may only be deposited if the respective acceptance criteria for a landfill class for hazardous and non-hazardous waste are already met upon delivery.
- ▶ To determine the necessary monitoring data, regular measurements and checks must be carried out on site using suitable measuring equipment:
  - Groundwater monitoring
  - Monitoring of settlement and deformation of the landfill sealing systems
  - Monitoring of settlement and deformation as well as the filling status of the landfill body
  - Quantity and quality of leachate collected in a drainage layer and other collected precipitation water or wastewater originating from surfaces
  - Monitoring of landfill gas and landfill gas emissions
  - Recording of meteorological data

The measurements and checks must be carried out during the operational phase and until the end of the aftercare phase. The aim of the long-term checks is to determine when the aftercare phase has been completed.

The reporting and documentation obligations of a landfill operator include:

- ▶ Operating regulations with the rules necessary for safe and proper operation.
- ▶ Operating manual on the measures required for normal operation, maintenance and operational disruptions to ensure that waste is deposited in a manner compatible with the public interest and that the landfill site is safe to operate.
- ▶ Maintenance of a waste register documenting detailed information on the waste deposited.
- ▶ Operating logbook for the continuous documentation of all information essential for landfill operation, such as checks or special incidents.
- ▶ Annual report on the landfill's master data, evaluation of the measurements and checks carried out, waste accepted and delivered, and a statement on landfill behaviour.

#### **Quality management:**

High quality requirements are imposed on the construction and operation of landfills. Quality management (QM) is intended to ensure these high quality standards in accordance with the state of the art. It covers all processes from prefabrication to operation, in particular for sealing systems and emission controls, and serves the purposes of planning, control and monitoring.

The quality management plan (QMP) defines requirements and measures for landfill sealings (e.g. test fields) or proper landfill degassing and requires official approval.

Quality monitoring is carried out by internal and external audits by accredited bodies and official inspections. The aim of all quality management measures, including documentation and approvals, is to ensure long-term functionality.

#### **Determination of practical factors for calculating the gas formation potential of landfills and for forecasting landfill gas emissions - work package 4:**

The determination of practical factors for calculating the anaerobic gas formation potential serves to describe the gas balance in more detail and to quantify the resulting methane emissions more reliably. Municipal waste landfills exhibit variable landfill gas properties both during the filling phase and in the subsequent closure and aftercare phase. Landfills where the filling of biodegradable waste has been completed show a decrease in landfill gas formation over time.

For this purpose, an overview is provided to estimate the gas formation potential and to predict the temporal evolution of landfill gas formation. Prediction models are usually based on the First Order Decay (FOD) method, with the IPCC Waste Model being the most widely used internationally. Based on extensive evaluations of the gas balance, the standard parameters of some waste fractions ( $\text{DOC}_f$ , half-life for paper and wood) were adjusted to average German landfill conditions for this model. These adjustments have now also been incorporated into the National Inventory Report for Germany and several sets of regulations.

Further possibilities for adjusting factors for the IPCC Waste Model, such as the methane correction factor (MCF), were examined in more detail in order to record landfill gas formation at landfills in Germany in a practical manner. The uncertainties in determining the factors and other factors influencing biological degradation processes, e.g. drying effects due to surface sealing or inhibition of the anaerobic degradation process, must also be taken into account.

Reference values for deposited waste quantities and waste composition, as used in the National Inventory Report, were also prepared for landfill gas forecasting. On this basis, guidance on the use of gas forecasting models is provided.

In addition to or following the collection and treatment or recovery of landfill gas, landfill aeration respectively aerobic in situ stabilisation can be used.

By converting anaerobic biological degradation processes to predominantly aerobic ones, accelerated and controlled conversion of bioavailable residual organic matter in the landfill body can be achieved. In conjunction with an increase in the gas capture rate during aeration, climate-damaging landfill gas emissions, which would otherwise arise in the long term as a result of anaerobic methane formation, can be significantly reduced. This process has been increasingly used in Germany over the last 25 years as a climate protection measure and to reduce the duration and cost of landfill aftercare. The minimum requirements, different process options with their technical equipment, and control and monitoring measures are being explained for application.

Based on the preparation of the state of the art in gas collection and utilisation and landfill aeration, estimates are made of the reductions in methane emissions, a climate-damaging greenhouse gas that can be achieved at landfills in Germany. This shows that there is still considerable emission reduction potential for both approaches. For climate protection, it is crucial that these measures are now extended to a larger number of landfills as soon as possible.

#### **Conclusion**

The ReFoPlan project provides a comprehensive overview of the current state of the art in waste disposal in landfills in Germany. The data collection and analysis, in particular the LAGA state survey 2023, provides extensive insights into the technical equipment and operating status of German landfills that are subject to the Industrial Emissions Directive. The report highlights both established technical standards and innovative approaches to reducing environmental impacts, in particular methane emissions. The results of this report can therefore make an important contribution to the preparation of the BAT reference document on landfills.

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Umweltbundesamt hat mit der Leistungsbeschreibung vom 22.07.2022 das Forschungsprojekt „Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland und deren Beitrag zum Klimaschutz zur Vorbereitung der Arbeiten für ein BVT-Merkblatt Deponien“ ausgeschrieben. Ziel des Forschungsprojekts ist die systematische Erfassung und Dokumentation der besten verfügbaren Techniken für Deponien in Deutschland, um so die Erarbeitung eines BVT-Merkblatts vorzubereiten. Auf dieser Grundlage will Deutschland einen Beitrag zum Vorgehen der EU leisten, durch Streichung von Artikel 1 Absatz 2 der Richtlinie 1999/31/EC die Anforderungen an Deponien über BVT-Schlussfolgerungen zu regeln.

Das Forschungsprojekt wurde in mehrere Arbeitspakete strukturiert:

- ▶ Arbeitspaket 1 (AP 1) – Einrichtung eines Fachbeirates
- ▶ Arbeitspaket 2 (AP 2) – Bestandsaufnahme Deponien in Deutschland
- ▶ Arbeitspaket 3 (AP 3) – Ermittlung des Standes der Technik für Deponien
- ▶ Arbeitspaket 4 (AP 4) – Ermittlung von praxisgerechten Faktoren für die Berechnung des Gasbildungspotentials von Deponien
- ▶ Arbeitspaket 5 (AP 5) – Übersetzung der erarbeiteten Texte in die englische Sprache

Die Projektgemeinschaft IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg, und HiiCCE, Hamburg Institute for Innovation, Climate Protection, and Circular Economy, Hamburg, wurde am 20.10.2022 mit der Ausführung des ReFoPlan-Vorhabens beauftragt.

In diesem Bericht der Projektgemeinschaft werden die Ergebnisse der Arbeitspakete 1, 2, 3 und 4 dokumentiert. Gemäß Arbeitspaket 5 wurde der Bericht abschließend in die englische Sprache übersetzt.

## 2 EU-Richtlinie zur Novelle der IED, Vorbereitung für das BVT-Merkblatt Deponien

Die Industrieemissionsrichtlinie (IED) bildet EU-weit die Grundlage für die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrien. Sie orientiert sich am Leitbild der nachhaltigen Produktion und setzt dabei auf das Konzept der besten verfügbaren Techniken. In Deutschland entspricht dies dem Konzept des Stands der Technik.

Ende 2019 kündigte die EU-Kommission im Kontext des Europäischen Green Deal die Revision der Industrieemissionsrichtlinie 2010/75/EU (IE-RL) an. Die EU-Kommission hat am 5.4.2022 den Vorschlag für eine EU-Richtlinie zur Änderung der IE-Richtlinie und der Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien vorgelegt. Nach intensiven Verhandlungen im Rat und Parlament der Europäischen Union ist die neue Industrieemissionsrichtlinie (IED 2.0) am 15.07.2024 im EU-Amtsblatt erschienen:

*„Richtlinie (EU) 2024/1785 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 zur Änderung der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) und der Richtlinie 1999/31/EG des Rates über Abfalldeponien“.*

Auch wenn Deponien zum Geltungsbereich der IED gehören, gab es für sie bisher kein BVT-Merkblatt. Stattdessen genügte bisher die Einhaltung der technischen Anforderungen der o.g. Deponierichtlinie der EU.

Im Artikel 2 zu Änderungen der Richtlinie 1999/31/EG wird der dortige Artikel 1 Absatz 2 gestrichen. Dieses bedeutet, dass der Stand der Technik auch im Bereich der Deponien künftig über ein BVT-Merkblatt geregelt werden soll, um so Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit dem Deponiebetrieb wie zum Beispiel die Freisetzung von klimarelevanten Methanemissionen zu minimieren.

Der Zeitplan zur Änderung der IED sah ursprünglich vor, dass vom 2. Quartal 2024 bis zum 4. Quartal 2027 die Erarbeitung neuer BVT-Merkblätter, die aufgrund der vorgeschlagenen Ausweitung des Geltungsbereichs erstellt werden sollen, vorgenommen wird. Der Prozess ist eine Kombination aus technischen Arbeiten und Überprüfung durch Interessenträger und wird größtenteils dem JRC (Joint Research Centre) zugewiesen.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Umweltbundesamt mit dem ReFoPlan-Vorhaben das Ziel, den Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien systematisch zu erfassen und zu dokumentieren, um so die Erarbeitung eines BVT-Merkblatts Deponien vorzubereiten. So sollen technische und organisatorische Maßnahmen zur Verminderung oder Verhinderung von Emissionen beschrieben und praxisgerechte Faktoren für die Berechnung des Gasbildungspotenzials von Deponien ermittelt werden. Die Vorbereitung des BVT-Merkblatts erfordert ferner die Bereitstellung umfangreicher Daten. Diese liegen noch nicht als zusammenfassende Übersicht in der erforderlichen Detailtiefe vor, so dass eine Bestandsaufnahme der Deponien in Deutschland eine der wesentlichen Aufgaben des Forschungsprojekts ist.

## 3 Arbeitsprogramm und Arbeitsergebnisse

### 3.1 Einrichtung eines Fachbeirates - Arbeitspaket 1

Im 4. Quartal 2022 wurde der Fachbeirat eingerichtet, um das Umweltbundesamt bei der Steuerung und Kontrolle der Arbeiten der Projektgemeinschaft IFAS und HiiCCE zu unterstützen. Der Fachbeirat bestand aus 11 Mitgliedern aus den Bereichen Wissenschaft, Fachbehörden, Ministerien, Verbänden und Ingenieurbüros, die unter anderem auch in der erweiterten nationalen Expertengruppe im BVT-Prozess mitwirken. Die Mitglieder wurden im November 2022 bis Januar 2023 ausgewählt und in der konstituierenden Sitzung im März 2023 bestätigt.

Die Projektgemeinschaft bereitete halbjährliche Sitzungen des Fachbeirats vor. Die erste Sitzung fand am 21. März 2023 in Dessau-Roßlau beim Umweltbundesamt statt, weitere folgten am 27. September 2023 in Köln, am 5. März 2024 in Berlin, am 15. Oktober 2024 in Karlsruhe und am 10. März 2025 in Leipzig. Die Inhalte umfassten zur Vorbereitung des BVT-Merkblatts „Deponien“ eine Vorstellung und Abstimmung der Ergebnisse zur Bestandsaufnahmen von Deponien, zum Stand der Technik (z. B. Multibarrierenkonzept, Grundwasser- und Klimaschutz) und in diesem Zusammenhang eine Datenabfrage über die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Ferner wurde die Frage der Klimarelevanz von Deponien und des Vermeidungspotentials an Methanemissionen mit Anpassungen von IPCC-Default-Werten zur Deponiegasbildung aufgegriffen. Im weiteren Verlauf des Vorhabens wurden aus dem Fachbeirat heraus Unterarbeitsgruppen gebildet, die durch externe Fachleute erweitert wurden. In diesen Unterarbeitsgruppen wurden die einzelnen Berichtsergebnisse zum Stand der Technik und zur Klimarelevanz von Deponien im Detail abgestimmt.

## 3.2 Bestandsaufnahme Deponien in Deutschland - Arbeitspaket 2

### 3.2.1 Aufgabenstellung, Ergebnisse

Im Rahmen einer Ist-Analyse über den Anlagenbestand in Deutschland sollten die in Betrieb befindlichen und stillgelegten Deponien differenziert nach Deponieklassen und mit ihren Kenn-  
daten erfasst werden. Hierzu wurden für die (anonymisierten) Standorte u.a. die genehmigte  
Kapazität und das Restvolumen ermittelt. Die Standorte der Deponien für die Deponieklassen  
DK I, II, III und IV, die der IED-Richtlinie unterliegen, sollten grafisch anhand einer Deutschland-  
karte dargestellt werden.

Für diese Bestandsaufnahme wurden seit Beginn der Bearbeitung im November 2022 unter-  
schiedliche Wege beschritten. Im ersten Schritt wurden alle öffentlich zugänglichen Angaben  
zusammengeführt und für die Bestandsaufnahme entsprechend strukturiert:

- ▶ Es wurden die verfügbaren Angaben der Bundesländer aufbereitet, wie sie von den Statis-  
tischen Landesämtern erhoben und u.a. an das Statistische Bundesamt (Destatis) übermittelt  
werden (insbesondere Destatis – Datenbank GENESIS-Online, vormals Destatis Fachserie 19  
– Umwelt – Abfallentsorgung, Kapitel 2 Deponien und ergänzend Kap. 3 Thermische Abfall-  
behandlungsanlagen und Kap. 8 Mechanisch (-biologische) Behandlungsanlagen). Diese  
Angaben umfassen allerdings nicht alle Deponiekenndaten, die vom UBA über die oben  
genannten Grunddaten Deponiestandort, genehmigte Kapazität und Restvolumen hinaus  
gewünscht werden. Weiterhin werden die Daten von Destatis nicht für jeden konkreten  
Deponiestandort, sondern nur allgemein nach Deponieklasse und Bundesland zur Verfügung  
gestellt.
- ▶ Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV), Fachbereich 72:  
Abfalltechnik, wassergefährdende Stoffe, hat im März 2023 mit Unterstützung des UBA der  
Projektgemeinschaft einen Teilzugang zum System ADDISweb gewährt. In diesem Daten-  
banksystem werden umfangreiche Angaben zu Deponien in Nordrhein-Westfalen zusam-  
mengestellt und aktualisiert. Es wurden Rechte bzw. Dateneinsicht der „Stufe 2“ gewährt.  
Zur Gruppe der darüber nicht einsehbaren Daten gehören allerdings die Daten zur Deponie-  
gasfassung und zum Sickerwasser.
- ▶ Es wurden die Angaben des regelmäßig aktualisierten Nationalen Inventarberichts zum  
Deutschen Treibhausgasinventar ausgewertet, insbesondere zu Kapitel 7.2 Abfalldeponie-  
rung mit den Angaben zu den methanbürtigen Deponieemissionen in der Quantität und zeit-  
lichen Entwicklung (u.a. Verknüpfung zu Arbeitspaket AP4).
- ▶ Weiterhin wurden die Verbände und Institutionen angefragt, die vergleichbare Daten erhe-  
ben bzw. anfragen und sammeln. Hier ist insbesondere der Verband InwesD zu nennen, der  
für seine Mitglieder ein so genanntes „Deponiebuch“ erstellt und regelmäßig fortschreibt  
(InwesD 2025). Dort sind mehr als 140 Deponien der Mitglieder mit Angaben und  
Kenndaten gelistet. Weiterhin führt der InwesD eine regelmäßige Abfrage bei allen Bundes-  
ländern hinsichtlich der Anzahl der Deponien je Deponieklasse, dem noch verfügbaren Rest-  
volumen und dem geplanten oder im Genehmigungsverfahren befindlichen Deponievolumen  
durch.
- ▶ Die Projektgemeinschaft hat aufgrund ihrer langjährigen Tätigkeiten auf diesem Gebiet eine  
große Anzahl an veröffentlichten Deponiekenndaten zur Verfügung, die ebenfalls in die  
statistische Erhebung einfließen. Dies betrifft sowohl in Betrieb befindliche als auch bereits  
stillgelegte Deponien. So wurden in mehreren UFOPLAN-Vorhaben zahlreiche Deponien  
näher untersucht und ausgewertet, was Größe, Ablagerungsvolumina, Zusammensetzung

der abgelagerten Abfälle, Gasbildungspotenziale und klimarelevante Emissionen etc. anbe-  
trifft, u.a.:

- Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien, UFOPLAN-Projekt FKZ 3714343170
- Durchführung von Cross-Checks für die deutschen Emissionsinventare: Validierung der modellierten Methanbildungsraten durch Untersuchungen von Abfallproben aus Depo-  
nien, UFOPLAN-Projekt FKZ 371541110
- Emissionen aus der Abfalldeponierung: Umsetzung der Ergebnisse der UFOPLAN Vorha-  
ben FKZ 3714343170 und FKZ 371541110 in die Berichterstattung 2020

Nach Auswertung der oben genannten öffentlich verfügbaren Daten konnte bereits eine grund-  
legende und umfassende Datensammlung erstellt werden. Es ist jedoch anzumerken, dass diese  
Zusammenstellung nicht den Anspruch erhebt, vollständig zu sein. Dies liegt daran, dass in eini-  
gen Bundesländern keine weiterführenden oder spezifischen Informationen zu den Deponien  
über öffentlich zugängliche Quellen zur Verfügung standen. Zusätzlich zu den unbekannten oder  
nicht beschriebenen Spezifikationen, wie beispielsweise das Vorhandensein einer Sickerwasser-  
reinigung und deren Verfahrenstechnik, sind teilweise nur ältere Angaben verfügbar. Dies  
erschwerte die Vergleichbarkeit der Daten untereinander, insbesondere was Gesamtvolumina  
und noch verfügbare Restvolumina von Deponien anbelangt.

Obwohl die vorliegenden Daten für eine Kartendarstellung geeignet sind, stießen sie daher im  
Hinblick auf ihre Vollständigkeit und Aktualität an ihre Grenzen. Es zeigte sich, dass eine Erfas-  
sung aller gewünschten Deponiedaten gemäß der Zielstellung des Arbeitspakets 2 allein auf  
Grundlage der öffentlich zugänglichen Quellen nicht vollumfänglich realisierbar war. Dennoch  
wurden entsprechende Daten und Angaben zu den Deponien soweit wie möglich recherchiert  
und im Zuge der Kartenerstellung genutzt.

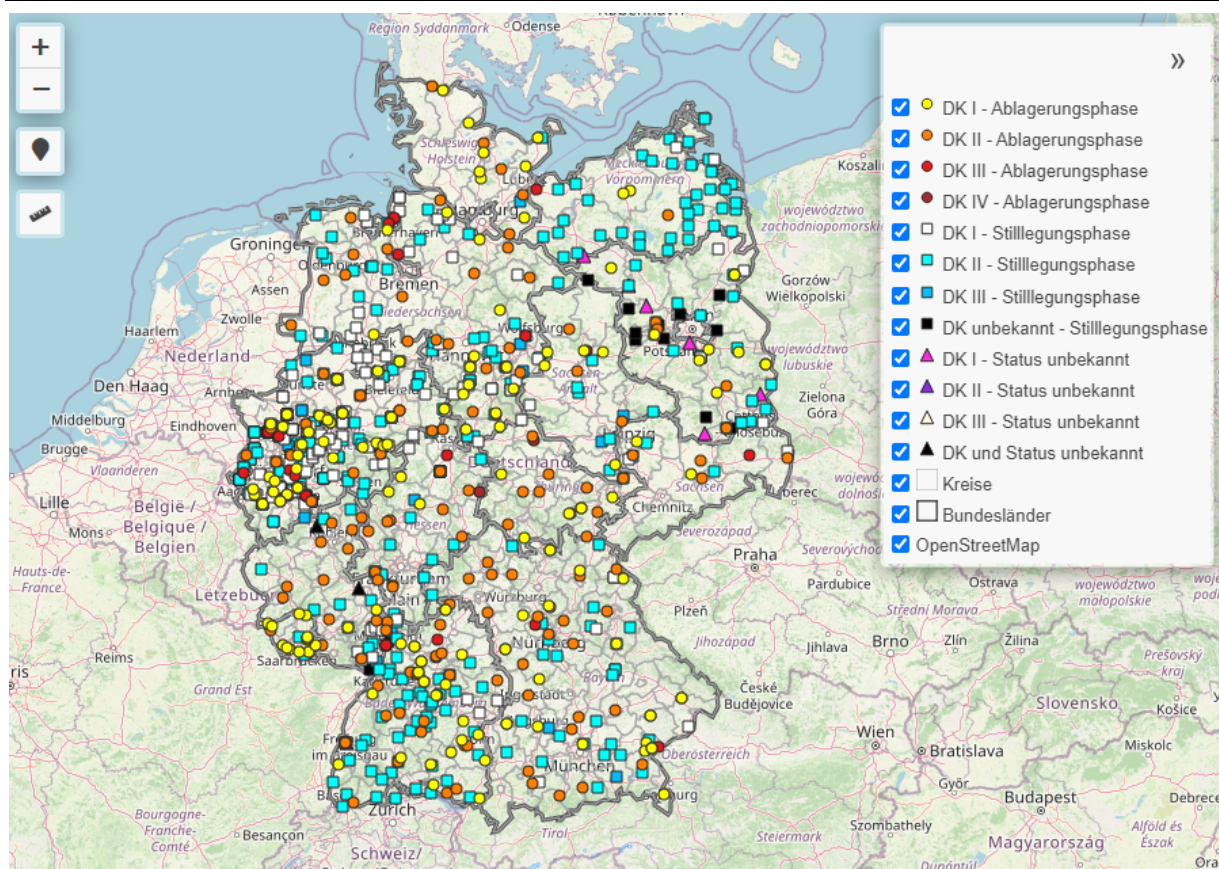
Aufgrund der begrenzten Zugänglichkeit der Deponieangaben hat das Fachbeiratsmitglied Herr  
Fabian in seiner Funktion als Obmann der LAGA Ad-hoc AG Deponietechnik angeboten, eine  
Datenabfrage bei den Ländern über die LAGA vorzunehmen. Dazu wurde ein Fragebogen von  
der Projektgemeinschaft IFAS/HiiCCE erstellt und mit dem UBA und Mitgliedern des Fachbeirats  
abgestimmt (siehe Kapitel 3.2.3). Das Anliegen wurde bei der 101. Sitzung des Abfalltechnik-  
ausschusses (ATA) der LAGA am 13./14.06.2023 vorgestellt. Dazu wurde folgender Beschluss  
gefasst: „5. Der ATA erklärt sich bereit im Rahmen des Arbeitspaketes 2 des ReFoPlan-Projektes  
*„Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland und deren Beitrag zum  
Klimaschutz zur Vorbereitung der Arbeiten für ein BVT-Merkblatt Deponien“* dahingehend zu  
unterstützen, dass Daten durch die einzelnen Länder – vorzugsweise über die Ländervertreter:-  
innen der Ad-hoc AG Deponietechnik – dem UBA zur Verfügung gestellt werden können. Die  
Anonymisierung der Daten vor der Weitergabe an den Auftragnehmer erfolgt durch das UBA.“

Diese technischen Kenndaten wurden nach der Anonymisierung durch das UBA für eine länder-  
bezogene statistische Betrachtung ausgewertet und, soweit es die Anonymisierung erlaubt, für  
die Evaluierung und statistischen Referenzangaben herangezogen.

### 3.2.2 Erstellung einer Deutschlandkarte zur Übersicht über die Deponiestandorte

Im Folgenden wird das Vorgehen zur Erstellung der Übersicht der Deponiestandorte anhand einer Deutschlandkarte erläutert. Die Kartenerstellung erfolgt aus dem Datensatz der öffentlich zugänglichen Quellen, welche im Excel-Dateiformat in digitaler Form zusammengestellt wurden. Dazu wurden insgesamt 227 Quellen ausgewertet, von denen jeweils die Deponiestandorte und deren Kenndaten, soweit sie verfügbar waren, aufbereitet wurden. Die wesentlichen öffentlich zugänglichen Quellen sind im Kapitel 4 aufgeführt. Eine Kartendarstellung mit dem Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 war aufgrund der Anonymisierung der Daten nicht möglich. Die eigentliche Kartenerstellung erfolgt mit dem Software-Programm QGIS. Darüber kann über ein Add-On (Leaflet) eine browserbasierte Kartendarstellung generiert werden, die auf den Datensatz der Excel-Datei zugreift. Auf diese Weise können je nach Darstellungsebene (Layer) in QGIS die Standorte mit ihren Kenndaten nach Deponieklasse und Betriebsstatus ein- und ausgeblendet werden. Abbildung 1 zeigt die Karte der Deponiestandorte, differenziert nach den Deponieklassen I - IV und dem Betriebsstatus Ablagerungsphase und Stilllegungsphase. Ferner sind einige Deponien, deren Betriebsstatus bzw. deren Deponieklasse nicht bekannt sind, mit aufgeführt.

**Abbildung 1: Deponiestandorte in Deutschland differenziert nach Deponieklasse und Betriebsstatus**



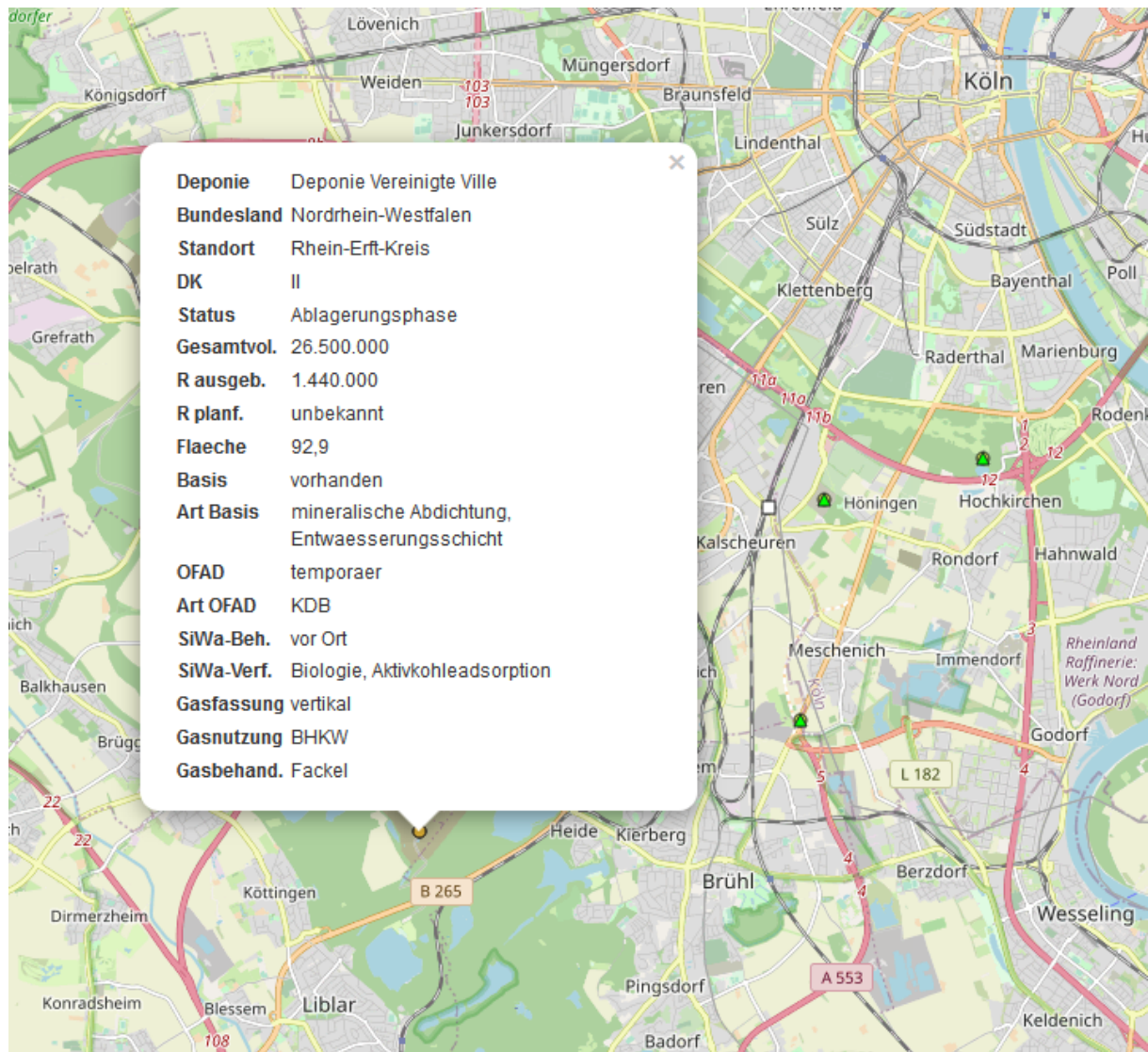
Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

Die Karte ist beliebig vergrößer- oder verkleinerbar, und die Symbole der Deponiestandorte lassen sich anklicken, um weitergehende Informationen (sofern verfügbar) zu erhalten. Nach aktuellem Stand werden folgende weitergehende Angaben angezeigt (Hinweis: Aufgrund einer softwarebedingten Limitierung auf 10 Buchstaben sind einige Rubriken gekürzt aufgeführt, siehe auch Begriff in den Klammern):

- ▶ Name der Deponie (Deponie)
- ▶ Bundesland
- ▶ Standort / Landkreis
- ▶ Deponieklasse (DK)
- ▶ Betriebsstatus (Status)
- ▶ Gesamtvolumen in m<sup>3</sup> (Gesamtvolumen)
- ▶ Restvolumen ausgebaut in m<sup>3</sup> (R ausgebaut)
- ▶ Restvolumen planfestgestellt in m<sup>3</sup> (R planf.)
- ▶ Fläche in ha (Fläche)
- ▶ Basisabdichtung (Basis)
- ▶ Art der Basisabdichtung (Art Basis)
- ▶ Oberflächenabdichtung (OFAD)
- ▶ Art der Oberflächenabdichtung (Art OFAD)
- ▶ Sickerwasserbehandlung (SiWa-Beh.)
- ▶ Sickerwasserbehandlungsverfahren (SiWa-Verf.)
- ▶ Art der Gasfassung (Gaserfassung)
- ▶ Art der Gasnutzung (Gasnutzung)
- ▶ Art der Gasbehandlung (Gasbehand.)

Abbildung 2 zeigt diese standortbezogenen Angaben am Beispiel der Deponie Vereinigte Ville bei Köln.

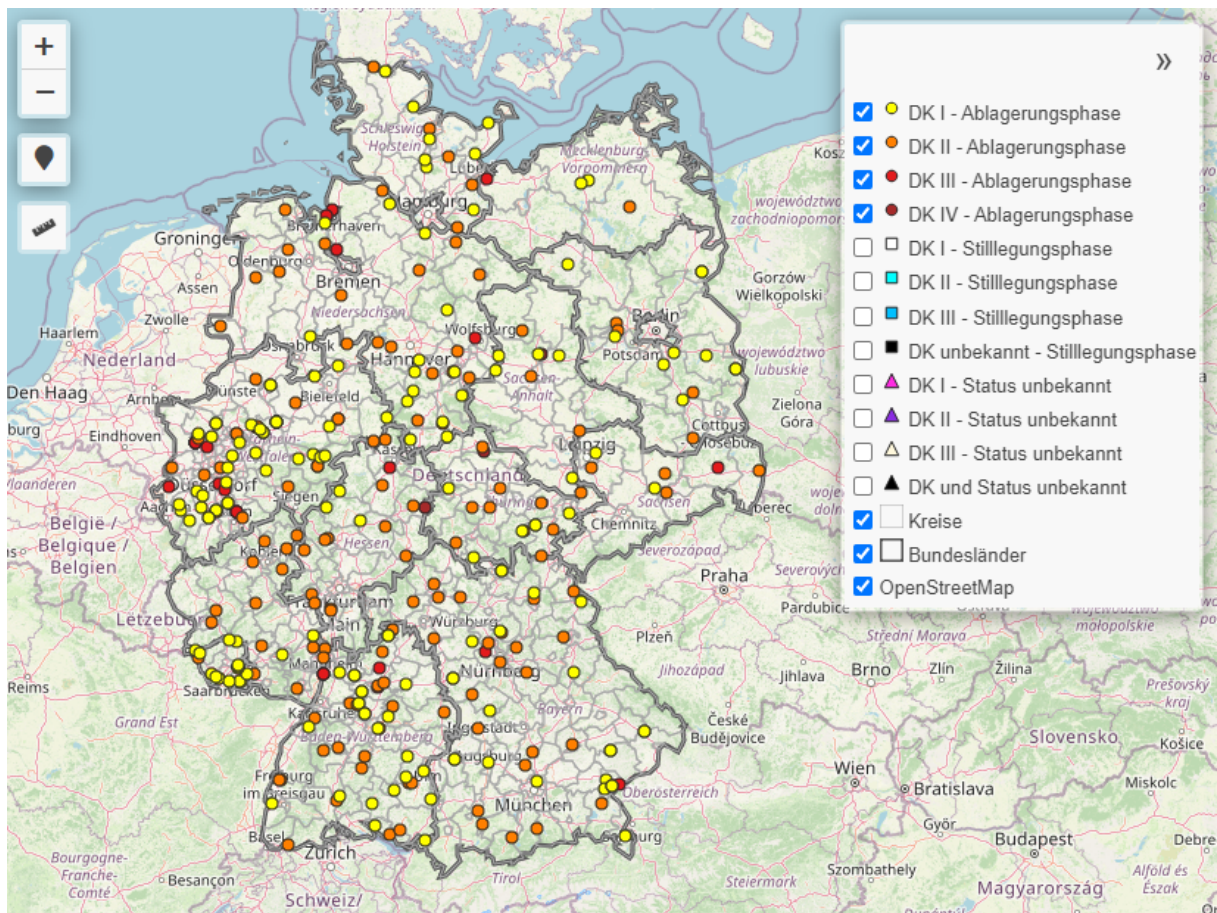
**Abbildung 2: Weitergehende Informationen der Deponieübersichtskarte am Beispiel der Deponie Vereinigte Ville (Stand 2023)**



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

Im Folgenden wird eine Übersicht über alle Deponien in der Ablagerungsphase, d.h. im aktuellen Verfüllbetrieb befindlichen Deponien gegeben (Abbildung 3). Es handelt sich um 319 erfasste Deponiestandorte.

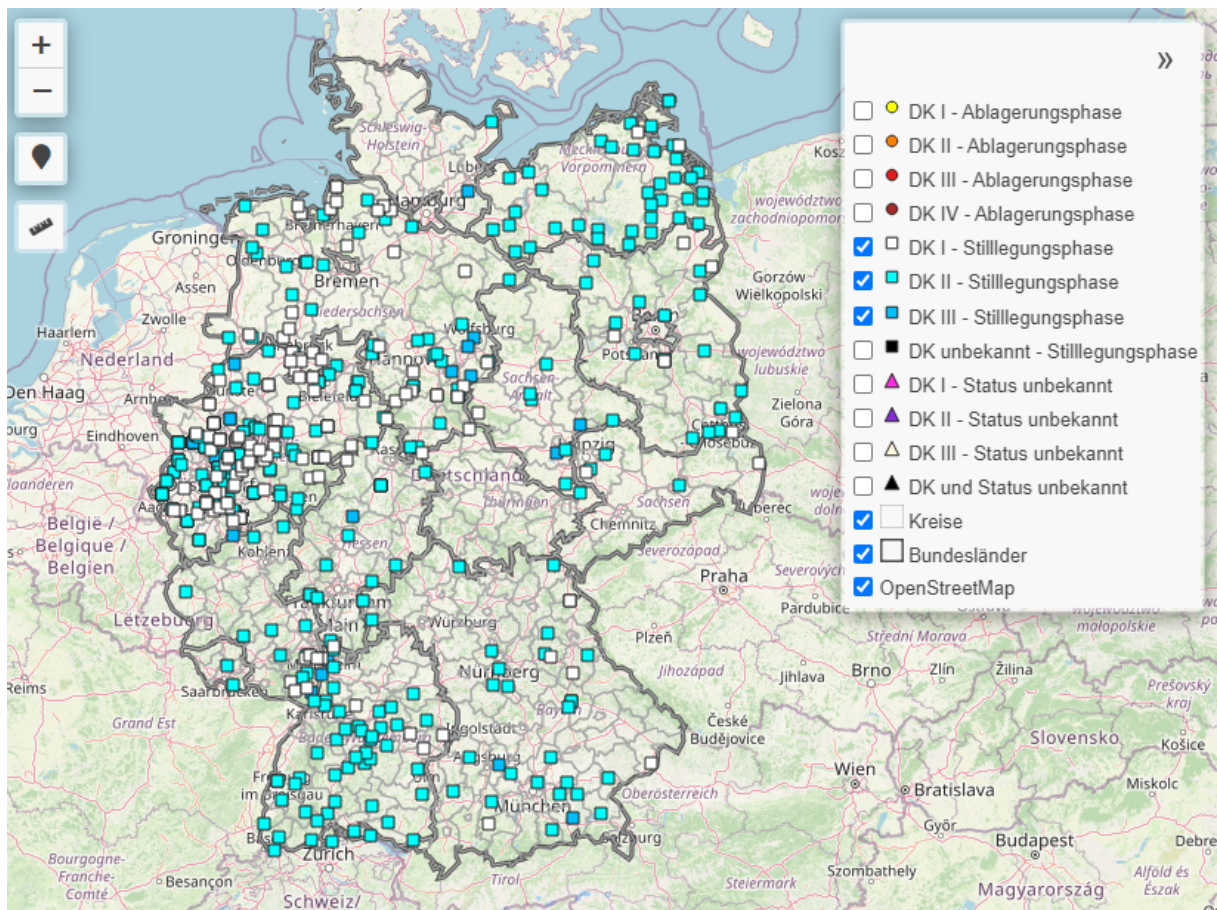
**Abbildung 3: Deponiestandorte in der Ablagerungsphase differenziert nach den Deponieklassen I – IV**



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

Eine Übersicht über alle in der Stilllegungsphase befindlichen Deponiestandorte zeigt Abbildung 4. Insgesamt konnten aus den öffentlich zugänglichen Angaben 488 stillgelegte Deponien identifiziert werden. Für Thüringen konnten keine öffentlich zugänglichen Daten für stillgelegte Deponien ermittelt werden.

**Abbildung 4: Deponiestandorte in der Stilllegungsphase differenziert nach den Deponieklassen I – IV**



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

Es ist zu erkennen, dass die Datengrundlage der öffentlich verfügbaren Daten nicht in allen Bundesländern die gleiche Qualität aufweist. Vor allem in den Bundesländern Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Brandenburg ist die Datengrundlage gut.

### 3.2.3 Datenerhebung über die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)

Gemäß den Erläuterungen zur Datenaufbereitung von Deponien aus öffentlich verfügbaren Quellen hat sich gezeigt, dass sehr viele Angaben nicht verfügbar waren, um ein möglichst umfassendes Bild zur Ausstattung der Deponien im Hinblick auf den Stand der Technik zur Emissionserfassung und -behandlung sowohl des Sickerwassers als auch des Deponiegases zu erhalten. Daher wurde die Datenabfrage über die Länderbehörden über den LAGA ATA im Juni 2023 veranlasst, um so einen einheitlichen Bezugszeitraum der Daten insbesondere zu verfügbaren Restvolumina sowie eine weitergehende Übersicht standortbezogener Einzelangaben zu erhalten (nachfolgend als “LAGA-Länderabfrage 2023” bezeichnet).

Herr Fabian hatte als Fachbeiratsmitglied und in seiner Funktion als Obmann der LAGA Ad-hoc AG Deponietechnik wie bereits erwähnt die Abfrage initiiert, die im August 2023 begonnen wurde. Hierfür wurde von der Projektgemeinschaft ein Fragebogen erarbeitet und mit dem Fachbeirat inhaltlich abgestimmt, bevor er an die Länder übermittelt wurde. Bezugszeitpunkt der abgefragten Daten war der 31.12.2022. Neben den wesentlichen Deponiekenndaten wurden insbesondere zu den Deponien in der Ablagerungsphase weitere Angaben erhoben, sofern sie auf den Standort zutrafen.

Zur Wahrung des Datenschutzes und Vermeidung einer standortbezogenen Zuordnung ggf. sensibler Daten wurden die Angaben im Fragebogen zum Deponiestandort vom Umweltbundesamt vor der weiteren Datenaufbereitung anonymisiert. Dementsprechend kann keine Verbindung zum Datensatz der öffentlich verfügbaren Quellen geschaffen werden, so dass sich diese Daten nicht gegenseitig ergänzen oder untereinander abgeglichen werden konnten.

Der Fragebogen besteht aus insgesamt 10 Unterabschnitten A0-A9, in denen allgemeine und deponiespezifische Angaben abgefragt werden:

- ▶ A0: Bundesland
- ▶ A1: Deponie / Kenndaten
  - Name der Deponie (anonymisiert) Adresse (anonymisiert)
  - Betriebsstätten-Nummer (anonymisiert)
  - Deponieklasse
  - Monodeponie
  - Ablagerungsfläche [ha]
  - Gesamtvolumen [m<sup>3</sup>]
  - Verfügbares Restvolumen [m<sup>3</sup>] (optional)
  - Jährliche Ablagerungsmasse [m<sup>3</sup>] (optional)
  - Jährliches Ablagerungsvolumen [m<sup>3</sup>] (optional)
  - Restlaufzeit [a] (optional)
  - Ende Abfalleinbau [a] (optional)
- ▶ A2: Deponiebetreiber
  - Name (anonymisiert)
  - Adresse (anonymisiert)
- ▶ A3: Zuständige Behörde
  - Name (anonymisiert)
  - Adresse (anonymisiert)

- ▶ A4: Betriebliche Einrichtungen
  - Fahrzeugwaage
  - Sozialgebäude mit Schwarz/Weiß-Bereich
  - Labor
  - Kleinanlieferbereich
  - Weitere Einrichtungen
- ▶ A5: Sickerwasserfassung und -behandlung
  - Sickerwasserfassungssystem
  - Sickerwasserbehandlung
  - Behandlungstechnik
  - Sickerwasservolumen [m<sup>3</sup>]
  - Abwasserableitung aus der Sickerwasserbehandlungsanlage (direkt/indirekt)
- ▶ A6: Deponieentgasung
  - Entgasungsanlage
  - Art der Entgasung / Gasfassung
  - Art der Gasbehandlung
  - Art der Gasverwertung
- ▶ A7: Auslöseschwellen Grundwasserüberwachung
  - Auslöseschwellen festgelegt (optional)
- ▶ A8: In situ Stabilisierung
  - Deponiebelüftung
  - Infiltration
- ▶ A9: Dichtungselemente
  - Basisabdichtung / Aufbau
  - Oberflächenabdichtung / Aufbau

Die detaillierte Tabelle mit den entsprechend angefragten Angaben, wie sie an die Länderbehörden über die LAGA Ad-hoc AG Deponietechnik übermittelt wurde, ist als Anhang A beigelegt.

Die Abfrage der Deponiekenndaten wurde im Mai 2024 abgeschlossen. Eine Übersicht über die Datenauswertung der LAGA-Länderabfrage 2023 am Beispiel von Mecklenburg-Vorpommern ist als Anhang B beigelegt.

Aufgrund der Anonymisierung mit der Festlegung, standortbezogene Geodaten nicht offen zu legen, war eine Kartenübersicht wie in Kap. 3.2.2 der vorangegangenen Recherche zu den öffentlich verfügbaren Daten nicht möglich. Die Bundesländer Bremen, Hamburg, Schleswig-Holstein und Sachsen wurden bei der Datenübermittlung zusammengefasst, da aufgrund der geringen Anzahl an Deponien sonst eine einfache Standortzuordnung möglich gewesen wäre. So wurde weiterhin die Anonymisierung aller Deponien gewährleistet. Berlin wird in den folgenden Tabellen nicht aufgeführt, da keine Deponien für das Bundesland Berlin über die LAGA-Länderabfrage 2023 erfasst wurden.

Im Folgenden wird die Auswertung der anonymisierten Daten aus der Länderabfrage über die LAGA zum Stand der Deponien mit Stichtag 31.12.2022 dokumentiert. Sofern Bundesländer abgekürzt wurden, wurden folgende Kürzel verwendet:

- ▶ BW -> Baden-Württemberg
- ▶ BY -> Freistaat Bayern
- ▶ BB -> Brandenburg
- ▶ HB -> Freie Hansestadt Bremen
- ▶ HE -> Hessen

- ▶ HH -> Freie und Hansestadt Hamburg
- ▶ MV -> Mecklenburg-Vorpommern
- ▶ NI -> Niedersachsen
- ▶ NRW -> Nordrhein-Westfalen
- ▶ RP -> Rheinland-Pfalz
- ▶ SH -> Schleswig-Holstein
- ▶ SL -> Saarland
- ▶ SN -> Freistaat Sachsen
- ▶ ST -> Sachsen-Anhalt
- ▶ TH -> Freistaat Thüringen

### 3.2.3.1 Gesamtanzahl der erfassten Deponien

Die Tabelle 1 zeigt für alle Bundesländer die Anzahl der Deponien differenziert nach den Deponieklassen I – III:

- ▶ Insgesamt wurden Angaben von 556 Deponiestandorten, die gemäß der IED-Richtlinie überprüft werden, übermittelt. Die 556 Deponiestandorte umfassen insgesamt 579 eigenständige Deponiebereiche, da einige Deponien mehrere Deponieklassen an einem Standort aufweisen. Zusätzlich wurden von den zuständigen Behörden einiger Bundesländer auch Daten über einzelne Deponieabschnitte übermittelt.
- ▶ Unter den 556 erfassten Deponiestandorten sind insgesamt 20 Standorte aufgeführt, die genehmigungsrechtlich mehr als eine Deponiekategorie aufweisen. Unter diesen 20 Deponien sind:
  - 17 Deponiestandorte, die sowohl als DK I als auch DK II geführt werden.
  - 2 Standorte, die sowohl als DK II als auch DK III geführt werden.
  - 1 Standort, der als DK I, DK II und DK III geführt wird.
- ▶ Insgesamt gehören 203 Deponien/Deponieabschnitte zur Klasse DK I, 338 zur Klasse DK II und 38 zur Klasse DK III.
- ▶ Aus Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz wurden die o.g. differenzierten Angaben übermittelt, dass einige Deponiestandorte Bereiche unterschiedlicher Deponieklassen aufweisen, weshalb deren Gesamtanzahl jene der Deponiestandorte übersteigt.
- ▶ Nordrhein-Westfalen weist mit 151 Deponiestandorten die höchste Anzahl auf.
- ▶ Die Anzahl der Deponiestandorte weist neben dem Bezug zur Größe eines Bundeslands auch auf regionale Unterschiede hin. So verfügt der Stadtstaat Hamburg nicht mehr über eigene Betriebsdeponien.
- ▶ Insgesamt befinden sich weniger Deponien in der Ablagerungsphase als in der Stilllegungsphase, dies ist über alle Deponieklassen der Fall.

**Tabelle 1: Anzahl der Deponiestandorte sowie deren Deponiekategorie in den Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)**

---

| Ablagerungsphase       | Deponiestandorte<br>Gesamtanzahl | DK I<br>Anzahl | DK II<br>Anzahl | DK III<br>Anzahl | Deponieklassen<br>Gesamtanzahl | DK I<br>Anzahl | DK II<br>Anzahl | DK III<br>Anzahl |
|------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Baden-Württemberg      | 35                               | 14             | 20              | 1                | 36                             | 15             | 20              | 1                |
| Bayern                 | 37                               | 11             | 24              | 2                | 37                             | 11             | 24              | 2                |
| Brandenburg            | 10                               | 4              | 6               | 0                | 10                             | 4              | 6               | 0                |
| Hessen                 | 16                               | 4              | 11              | 1                | 16                             | 4              | 11              | 1                |
| Mecklenburg-Vorpommern | 3                                | 2              | 1               | 0                | 3                              | 2              | 1               | 0                |
| Niedersachsen          | 20                               | 10             | 10              | 0                | 20                             | 10             | 10              | 0                |
| Nordrhein-Westfalen    | 52                               | 30             | 16              | 6                | 56                             | 30             | 17              | 9                |
| Rheinland-Pfalz        | 14                               | 4              | 9               | 1                | 15                             | 4              | 10              | 1                |
| Saarland               | 10                               | 7              | 3               | 0                | 10                             | 7              | 3               | 0                |
| Sachsen-Anhalt         | 9                                | 4              | 4               | 1                | 9                              | 4              | 4               | 1                |
| Thüringen              | 16                               | 3              | 10              | 3                | 16                             | 3              | 10              | 3                |
| HB, HH, SH und SN      | 6                                | 2              | 3               | 1                | 6                              | 2              | 3               | 1                |
| <b>GESAMT</b>          | <b>228</b>                       | <b>95</b>      | <b>117</b>      | <b>16</b>        | <b>234</b>                     | <b>96</b>      | <b>119</b>      | <b>19</b>        |

| Stilllegungsphase      | Deponiestandorte<br>Gesamtanzahl | DK I<br>Anzahl | DK II<br>Anzahl | DK III<br>Anzahl | Deponieklassen<br>Gesamtanzahl | DK I<br>Anzahl | DK II<br>Anzahl | DK III<br>Anzahl |
|------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Baden-Württemberg      | 43                               | 5              | 37              | 1                | 44                             | 5              | 38              | 1                |
| Bayern                 | 36                               | 8              | 26              | 2                | 36                             | 8              | 26              | 2                |
| Brandenburg            | 13                               | 6              | 6               | 1                | 13                             | 6              | 6               | 1                |
| Hessen                 | 16                               | 3              | 12              | 1                | 16                             | 3              | 12              | 1                |
| Mecklenburg-Vorpommern | 29                               | 3              | 24              | 2                | 29                             | 3              | 24              | 2                |
| Niedersachsen          | 17                               | 8              | 8               | 1                | 17                             | 8              | 8               | 1                |
| Nordrhein-Westfalen    | 99                               | 47             | 48              | 4                | 115                            | 50             | 61              | 4                |
| Rheinland-Pfalz        | 18                               | 5              | 12              | 1                | 18                             | 5              | 12              | 1                |
| Saarland               | 6                                | 5              | 1               | 0                | 6                              | 5              | 1               | 0                |
| Sachsen-Anhalt         | 25                               | 2              | 18              | 5                | 25                             | 2              | 18              | 5                |
| Thüringen              | 13                               | 4              | 8               | 1                | 13                             | 4              | 8               | 1                |
| HB, HH, SH und SN      | 13                               | 8              | 5               | 0                | 13                             | 8              | 5               | 0                |
| <b>GESAMT</b>          | <b>328</b>                       | <b>104</b>     | <b>205</b>      | <b>19</b>        | <b>345</b>                     | <b>107</b>     | <b>219</b>      | <b>19</b>        |

| Ablagerungs- und Stilllegungsphase | Deponiestandorte Gesamtanzahl | DK I Anzahl | DK II Anzahl | DK III Anzahl | Deponieklassen Gesamtanzahl | DK I Anzahl | DK II Anzahl | DK III Anzahl |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|---------------|-----------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Baden-Württemberg                  | 78                            | 19          | 57           | 2             | 80                          | 20          | 58           | 2             |
| Bayern                             | 73                            | 19          | 50           | 4             | 73                          | 19          | 50           | 4             |
| Brandenburg                        | 23                            | 10          | 12           | 1             | 23                          | 10          | 12           | 1             |
| Hessen                             | 32                            | 7           | 23           | 2             | 32                          | 7           | 23           | 2             |
| Mecklenburg-Vorpommern             | 32                            | 5           | 25           | 2             | 32                          | 5           | 25           | 2             |
| Niedersachsen                      | 37                            | 18          | 18           | 1             | 37                          | 18          | 18           | 1             |
| Nordrhein-Westfalen                | 151                           | 77          | 64           | 10            | 171                         | 80          | 78           | 13            |
| Rheinland-Pfalz                    | 32                            | 9           | 21           | 2             | 33                          | 9           | 22           | 2             |
| Saarland                           | 16                            | 12          | 4            | 0             | 16                          | 12          | 4            | 0             |
| Sachsen-Anhalt                     | 34                            | 6           | 22           | 6             | 34                          | 6           | 22           | 6             |
| Thüringen                          | 29                            | 7           | 18           | 4             | 29                          | 7           | 18           | 4             |
| HB, HH, SH und SN                  | 19                            | 10          | 8            | 1             | 19                          | 10          | 8            | 1             |
| <b>GESAMT</b>                      | <b>556</b>                    | <b>199</b>  | <b>322</b>   | <b>35</b>     | <b>579</b>                  | <b>203</b>  | <b>338</b>   | <b>38</b>     |

### 3.2.3.2 Verfügbare Restvolumina der erfassten Deponien

Die Tabelle 2 zeigt das noch vorhandene Restvolumen für die Deponieklassen I - III in den Bundesländern zum Zeitpunkt Ende 2021 (NRW) bzw. 2022 (alle anderen Bundesländer). Darin nicht enthalten sind genehmigte, aber noch nicht errichtete sowie geplante Deponievolumina, welche sich noch im Genehmigungsverfahren befinden. Die Übersicht weist große noch vorhandene Gesamtvolumina für die weitere Abfalldeponierung bei z.T. deutlichen Unterschieden in den einzelnen Bundesländern aus:

- Nordrhein-Westfalen verfügt über das größte Restvolumen für die Deponieklassen I und III. Die großen Restvolumina für die Deponiekategorie I sind dort auf die Verfüllung von Tagebau-restlöchern und großen Kraftwerksreststoffdeponien zurückzuführen. So weist allein eine Deponie ein DK I-Restvolumen von 60,2 Mio. m<sup>3</sup> auf.
- Baden-Württemberg verfügt über das höchste Restvolumen der Klasse II.
- Mehrere Bundesländer wie Hamburg, Schleswig-Holstein, Brandenburg, das Saarland und Sachsen-Anhalt haben entweder keine eigenen DK III-Deponien oder lediglich bereits stillgelegte DK III-Deponien.

**Tabelle 2: Verfügbare Restvolumina in den Bundesländern differenziert nach Deponieklassen, Stand 31.12.2022 (NRW 31.12.2021) (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Verfügbares Restvolumen | DK I<br>[m³]       | DK II<br>[m³]     | DK III<br>[m³]    |
|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Baden-Württemberg       | 4.288.944          | 16.605.941        | 88.054            |
| Bayern                  | 1.874.520          | 8.249.482         | 373.062           |
| Brandenburg             | 460.000            | 1.128.600         | 0                 |
| Hessen                  | 1.962.424          | 6.091.238         | 425.010           |
| Mecklenburg-Vorpommern  | 2.440.000          | 4.500.000         | 920.000           |
| Niedersachsen           | 17.619.669         | 5.477.144         | 55.607            |
| Nordrhein-Westfalen     | 112.249.738        | 9.568.597         | 12.748.446        |
| Rheinland-Pfalz         | 3.105.513          | 5.557.044         | 2.500.000         |
| Saarland                | 5.868.164          | 574.977           | 0                 |
| Sachsen-Anhalt          | 10.776.444         | 2.007.544         | 0                 |
| Thüringen               | 1.163.212          | 1.840.294         | 78.165            |
| HB, HH, SH und SN       | 3.098.530          | 5.166.300         | 5.020.370         |
| <b>GESAMT</b>           | <b>164.907.158</b> | <b>66.767.161</b> | <b>22.208.714</b> |

### 3.2.3.3 Geologische Barriere und Basisabdichtungen

In Tabelle 3 sind die Angaben zur geologischen Barriere und zu den Basisabdichtungssystemen nach Anzahl, Aufbau und Betriebsstatus auf den Deponien bzw. Deponieabschnitten aufbereitet. Dazu wurden die verschiedenen Elemente abgefragt, unter anderem das Vorhandensein von Entwässerungsschichten, der 1. und 2. Abdichtungskomponente und der natürlichen oder künstlichen geologischen Barriere.

Hinsichtlich der Anzahl in den Rubriken ist anzumerken:

- Erfasst wurden Deponien einer Deponieklasse in ihrer Gesamtheit wie auch differenziert nach Deponieabschnitten, sofern dort über die Ablagerungszeit unterschiedliche Basisabdichtungssysteme installiert wurden.
- Erfasst wurden ferner Deponien, die Deponiebereiche unterschiedlicher Deponieklassen und demzufolge unterschiedliche Basisabdichtungssysteme aufweisen.
- Der Datenrücklauf war nicht immer vollständig, so dass z.B. Diskrepanzen zwischen der Anzahl der Basisabdichtungen und jener der Entwässerungsschichten bestehen.

Der Aufbau der Basisabdichtung hängt häufig vom Alter bzw. Betriebsstatus der Deponie wie auch der Deponieklasse ab. Die Angaben zeigen, dass über die Deponieklassen DK I bis DK III 728 erfasste Deponien/Deponieabschnitte mit und 296 ohne eine Basisabdichtung ausgestattet sind. Die Daten zeigen:

- In der Ablagerungsphase sind in allen Deponieklassen deutlich mehr Deponien/Deponieabschnitte mit einer Basisdichtung ausgestattet als ohne Basisdichtung. In der Stilllegungsphase steigt die Anzahl der Deponien ohne Basisabdichtung dagegen an, was erwartungsgemäß daran liegt, dass diese Deponien in der Regel älter sind und dort eine Basisdichtung nach dem heutigen Stand der Technik nicht ausgeführt wurde.
- Für nahezu alle basisgedichteten Deponieabschnitte wurde auch eine Dränschicht zur Fassung und Ableitung des Sickerwassers ausgewiesen.
- Bei der 1. und 2. Abdichtungskomponente stellt sich für die Deponieklassen II und III die Kombinationsdichtung aus mineralischer Dichtung und einer Kunststoffdichtungsbahn als "Standardsystem" nach Stand der Technik gemäß den Anforderungen der Deponieverordnung und der Vorgängerregelungen heraus.
- Bezüglich der geologischen Barriere sind am häufigsten natürliche geologische Barrieren vorhanden, welche teilweise auch künstlich aufgewertet wurden, in der Regel mit mineralischen Materialien wie Tondichtungen. Auch hier zeigt sich ein vergleichsweise geringer Anteil an künstlichen geologischen Barrieren für DK II und DK III-Deponien in der Stilllegungsphase, was dem durchschnittlich höheren Deponiealter zuzuschreiben ist.
- Es wurden auch Deponien mit Dichtwänden erfasst, welche allerdings zahlenmäßig nur eine untergeordnete Rolle spielen.
- Unter "Sonstige" der 1. und 2. Abdichtungskomponente wurden überwiegend Asphaltabdichtungen, jedoch in geringer Anzahl angegeben. Die bei der geologischen Barriere unter "Sonstige" aufgeführten Barrieren umfassen ECB-Bahnen oder Bitumenschweißbahnen.
- Darüber hinaus sind einige Deponien mit einer Zwischenabdichtung ausgestattet worden, die für den überlagernden jüngeren Deponieabschnitt als Basisabdichtung fungiert.

**Tabelle 3: Anzahl und Aufbau der geologischen Barriere und Basisabdichtungen differenziert nach den Deponieklassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Status            | Deponieklasse | Basisabdichtung vorhanden |      |          | Basisabdichtung Aufbau            |          |                          |          |                               |          | Geologische Barriere            |                                 |           |          |
|-------------------|---------------|---------------------------|------|----------|-----------------------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|----------|
|                   |               |                           |      |          | mineralische Entwässerungsschicht |          | 2. Abdichtungskomponente |          | 1. Abdichtungskomponente      |          |                                 |                                 |           |          |
|                   |               | ja                        | nein | Sonstige | Dränschicht                       | Sonstige | KDB                      | Sonstige | mineralische Dichtungsschicht | Sonstige | natürliche geologische Barriere | künstliche geologische Barriere | Dichtwand | Sonstige |
| Ablagerungsphase  | DK I          | 137                       | 24   | 0        | 113                               | 3        | 68                       | 3        | 89                            | 2        | 72                              | 56                              | 8         | 5        |
|                   | DK II         | 207                       | 49   | 1        | 181                               | 4        | 155                      | 12       | 197                           | 6        | 100                             | 101                             | 9         | 8        |
|                   | DK III        | 49                        | 17   | 0        | 46                                | 0        | 34                       | 2        | 33                            | 0        | 40                              | 26                              | 0         | 1        |
| Stilllegungsphase | DK I          | 51                        | 66   | 2        | 45                                | 2        | 28                       | 4        | 32                            | 1        | 18                              | 20                              | 1         | 1        |
|                   | DK II         | 258                       | 128  | 8        | 242                               | 9        | 120                      | 8        | 229                           | 3        | 126                             | 58                              | 8         | 13       |
|                   | DK III        | 26                        | 12   | 2        | 22                                | 0        | 17                       | 1        | 26                            | 0        | 15                              | 3                               | 1         | 1        |

### 3.2.3.4 Oberflächenabdichtungen

Zu Oberflächenabdichtungen wurden vergleichbare Angaben wie zur Basisabdichtung abgefragt. Sie beziehen sich ausschließlich auf „endgültige“ Oberflächenabdichtungen und nicht auf temporäre Oberflächenabdeckungen. Die Anzahl der erfassten Deponien bzw. Deponieabschnitte mit Oberflächenabdichtungen unterscheidet sich von denen mit Basisdichtungen, sodass die Zahlenangaben nicht identisch sind. Dies liegt daran, dass viele Standorte im Laufe der Zeit unterschiedliche Dichtungssysteme installiert haben. Zudem können Deponiebereiche/-abschnitte mit Basisdichtung anders ausgelegt sein als Bereiche mit Oberflächenabdichtung. Ebenfalls

wurden die Angaben auf Deponieabschnitte in der Ablagerungsphase und Stilllegungsphase aufgeteilt (Tabelle 4):

- Insgesamt besitzen bereits 175 DK I – DK III Teilabschnitte von Deponien in der Ablagerungsphase eine endgültige Abdichtung. Dem stehen 301 DK I – DK III oberflächengedichtete Abschnitte in der Stilllegungsphase gegenüber. In der Ablagerungsphase sind erwartungsgemäß noch deutlich weniger Teilbereiche endgültig abgedichtet als bei Standorten in der Stilllegungsphase, wo der Ablagerungsbetrieb beendet wurde.
- In der Stilllegungsphase sind gemäß Datenrücklauf anteilig mehr Oberflächenabdichtungen mit einer Rekultivierungsschicht ausgestattet als in der Ablagerungsphase.
- Für die Entwässerungsschicht werden die beiden Systeme Dränagematte sowie mineralische Dränschicht ähnlich häufig genutzt.
- Zudem ist zu berücksichtigen, dass für die drei Deponieklassen unterschiedliche Anforderungen an den Aufbau gestellt werden (siehe auch Erläuterungen zum Stand der Technik im Arbeitspaket 3):
  - Als erste und in der Regel alleinige Abdichtungskomponente für die Deponiekategorie I werden eine mineralische Dichtung, in geringerer Anzahl geosynthetische Tondichtungen oder Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt.
  - Bei der Deponiekategorie II bildet in der Regel die mineralische Dichtungsschicht die erste Abdichtungskomponente und eine Kunststoffdichtungsbahn die zweite obligatorische Abdichtungskomponente.
  - Dichtungskontrollsysteme sind gemäß der Deponieverordnung bei Deponien der Kategorie III als Bestandteil der Oberflächenabdichtung obligatorisch. Dennoch weist eine größere Anzahl an oberflächengedichteten DK III-Deponien kein Dichtungskontrollsystem auf.
  - Gemäß den rechtlichen Anforderungen und der technischen Notwendigkeit kann bei Deponien der Kategorie I – III eine Trag- und Ausgleichsschicht erforderlich werden. Sie kann bei ausreichender Gasdurchlässigkeit und Dicke die Funktion der Gasdränschicht mit erfüllen. Gemäß Datenrücklauf wird eine Trag- und Ausgleichsschicht bei 26 – 67% der Oberflächenabdichtungen eingebaut, um die darüber liegenden Abdichtungskomponenten ordnungsgemäß einbauen zu können.

**Tabelle 4: Anzahl und Aufbau der Oberflächenabdichtungen differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Status            | Deponieklasse | OFAD vorhanden |      | Rekultivierungsschicht | Entwässerungsschicht |                          | 2. Abdichtungskomponente |          | 1. Abdichtungskomponente      |                             |          | Dichtungskontrollsystem | Trag- und Ausgleichsschicht |
|-------------------|---------------|----------------|------|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|
|                   |               | ja             | nein |                        | Dränagematte         | mineralische Dränschicht | KDB                      | Sonstige | mineralische Dichtungsschicht | geosynthetische Tondichtung | Sonstige |                         |                             |
| Ablagerungsphase* | DK I          | 48             | 76   | 36                     | 16                   | 26                       | 19                       | 1        | 19                            | 6                           | 1        | 0                       | 15                          |
|                   | DK II         | 104            | 102  | 78                     | 40                   | 44                       | 65                       | 1        | 62                            | 22                          | 9        | 1                       | 51                          |
|                   | DK III        | 23             | 11   | 17                     | 6                    | 15                       | 18                       | 0        | 19                            | 1                           | 3        | 5                       | 6                           |
| Stilllegungsphase | DK I          | 61             | 48   | 46                     | 21                   | 24                       | 24                       | 1        | 23                            | 6                           | 5        | 2                       | 31                          |
|                   | DK II         | 225            | 108  | 212                    | 90                   | 107                      | 132                      | 2        | 145                           | 6                           | 14       | 10                      | 112                         |
|                   | DK III        | 15             | 5    | 15                     | 9                    | 5                        | 9                        | 0        | 12                            | 5                           | 0        | 6                       | 10                          |

\*Deponie bereits in Teilabschnitten endabgedichtet

### 3.2.3.5 Sickerwasserfassung, -reinigung und -ableitung

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Anzahl der Deponien mit einem Sickerwasserfassungssystem bezogen auf die Deponieklassen jeweils als Absolutwert und in Prozentanteilen. Insgesamt sind auf 462 von 579 Deponiestandorten der Deponieklassen I - III (davon wie erläutert 20 gemeldete Deponien mit mehreren Deponieklassen) Sickerwasserfassungssysteme vorhanden.

Einige Bundesländer wie Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen oder das Saarland weisen einen hohen Anteil von Deponien mit Sickerwasserfassungssystemen in den Klassen DK I - DK III auf. Nordrhein-Westfalen wie auch Sachsen-Anhalt oder Mecklenburg-Vorpommern haben hingegen einen größeren Anteil an Deponien in den jeweiligen Deponieklassen ohne bzw. ohne vollständiges Sickerwasserfassungssystem angegeben (Details zu den Bundesländern siehe Anhang C). Soweit es aus dem Zeitpunkt zum Abschluss der Abfallablagerung ablesbar ist, sind es eher ältere Deponiestandorte in der Stilllegungsphase, die teilweise nicht über ein Sickerwasserfassungssystem nach Stand der Technik verfügen. Im bundesweiten Mittel besitzen 72 - 84% aller erfassten DK I – DK III-Deponien und die überwiegend jüngeren, d.h. in der Ablagerungsphase befindlichen Deponien zu 87 – 100% ein Sickerwasserfassungssystem.

**Tabelle 5: Anzahl der vorhandenen Sickerwasserfassungssysteme differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Sickerwasserfassung                | Anzahl<br>Gesamt<br>DK I - DK<br>III | Anzahl<br>DK I | Anzahl<br>DK II | Anzahl<br>DK III | Anteil<br>in %<br>DK I | Anteil<br>in %<br>DK II | Anteil<br>in %<br>DK III |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Vorhanden gesamt*</b>           | 462                                  | 147            | 283             | 32               | 72%                    | 84%                     | 84%                      |
| Ablagerungsphase                   | 221                                  | 84             | 118             | 19               | 87%                    | 98%                     | 100%                     |
| Stilllegungsphase                  | 241                                  | 63             | 165             | 13               | 59%                    | 76%                     | 68%                      |
| <b>Nicht vorhanden<br/>gesamt*</b> | 117                                  | 56             | 55              | 6                | 28%                    | 16%                     | 16%                      |
| Ablagerungsphase                   | 16                                   | 13             | 3               | 0                | 13%                    | 2%                      | 0%                       |
| Stilllegungsphase                  | 101                                  | 43             | 52              | 6                | 41%                    | 24%                     | 32%                      |

\*Anzahl der Deponieklassenabschnitte mit Sickerwasserfassungssystem geringer als Gesamtanzahl aller Deponieklassenabschnitte, da einige Standorte für mehrere Deponieklassenabschnitte dasselbe Sickerwasserfassungssystem ausweisen.

Die Tabelle 6 bietet für alle Standorte mit einem Sickerwasserfassungssystem eine Aufschlüsselung zu Art und Ort der Sickerwasserbehandlung je Deponiekategorie. Das Sickerwasser wird an den Deponiestandorten zur Direkt- oder Indirekteinleitung vor- oder endbehandelt, ohne Vorbehandlung am Standort extern in dafür zugelassenen Abwasserbehandlungsanlagen oder in kommunalen Kläranlagen behandelt oder ohne eine Vorbehandlung direkt abgeleitet. Die Auswertung zeigt:

- Bei den DK I-Deponien ist eine alleinige Behandlung in kommunalen Kläranlagen ohne vorgeschaltete eigene Sickerwasserreinigung die am häufigsten genutzte Behandlungsoption (64 von 149 erfassten DK I-Deponiestandorten). An 15 DK I-Standorten wird das Sickerwasser an eine externe Sickerwasserbehandlungsanlage abgegeben.

- ▶ 32 DK I-Deponiestandorte bzw. Deponiebereiche verfügen über eine eigene Sickerwasserreinigungsanlage. In mehreren Fällen kann es sich um Standorte handeln, die Deponieabschnitte sowohl der Deponieklasse I als auch II aufweisen und deren Sickerwasser gemeinsam behandelt wird.
- ▶ Bei den DK II-Deponien weisen 135 Deponien eine eigene Sickerwasserreinigungsanlage am Standort auf (ohne „Sonstige“). Sofern es sich um eine Vorbehandlung handelt, erfolgt anschließend eine Ableitung zu einer kommunalen Kläranlage (91) oder einer externen Sickerwasserreinigungsanlage (7).
- ▶ Auf 132 von 283 DK II-Deponien wird das Sickerwasser ohne eine Behandlung am Standort entweder an externe Sickerwasserbehandlungsanlagen (55) oder kommunalen Kläranlagen (77) abgegeben.
- ▶ 13 DK III-Deponien verfügen über eine eigene Sickerwasserbehandlungsanlage am Standort, wovon 6 das Sickerwasser so weitgehend reinigen, dass es als Direkteinleitung abgegeben werden kann.
- ▶ An weiteren 10 DK III-Standorten wird das Sickerwasser einer externen Sickerwasserreinigung und an 5 Standorten einer kommunalen Kläranlage zugeführt.
- ▶ Eine direkte Einleitung in Gewässer ohne Vorbehandlung ist aufgrund geringer Belastungen bei 24 DK I-Deponien möglich, jedoch lediglich bei 5 DK II-Deponien und einer DK III-Deponie.
- ▶ Unter sonstigen Behandlungsverfahren wurden u.a. die Verdunstung sowie häufiger die Zumischung in einer Müllverbrennungsanlage genannt.

Art und Ort der Sickerwasserbehandlung hängen demnach von mehreren Faktoren wie der Beschaffenheit des Abfalls, der resultierenden Sickerwasserinhaltsstoffe und -mengen, der Verfügbarkeit von geeigneten Anlagen und Behandlungskapazitäten in der Umgebung und Synergieeffekten mit anderen Anlagen ab, was die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen mit bestimmt. Insgesamt verdeutlicht die Übersicht, dass unterschiedliche Möglichkeiten zur Sickerwasserbehandlung genutzt werden.

**Tabelle 6: Art und Ort der Sickerwasserreinigung differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Sickerwasserbehandlung<br>Ort der Behandlung                                                          | Anzahl<br>Gesamt<br>DK I - DK III | DK I       | DK II      | DK III    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|-----------|
| Vorbehandlung am Standort mit anschließender Behandlung in kommunaler Kläranlage (Indirekteinleitung) | 114                               | 17         | 91         | 6         |
| Vorbehandlung am Standort mit anschließender Behandlung in externer Sickerwasserreinigungsanlage      | 10                                | 2          | 7          | 1         |
| Endbehandlung am Standort und Direkteinleitung                                                        | 56                                | 13         | 37         | 6         |
| (Abtransport und) externe Behandlung in Sickerwasserbehandlungsanlage                                 | 80                                | 15         | 55         | 10        |
| externe Behandlung in kommunaler Kläranlage (Indirekteinleitung)                                      | 146                               | 64         | 77         | 5         |
| Direkteinleitung ohne Sickerwasserbehandlung                                                          | 30                                | 24         | 5          | 1         |
| Sonstige                                                                                              | 27                                | 14         | 11         | 2         |
| <b>GESAMT</b>                                                                                         | <b>463</b>                        | <b>149</b> | <b>283</b> | <b>31</b> |

Tabelle 7 bietet einen weiteren Überblick zu Art und Anzahl der eingesetzten Reinigungsverfahren in Bezug auf die standorteigenen Reinigungsanlagen und die Deponieklasse. Der Einsatz der Verfahren unterscheidet sich in den Deponieklassen nach der Beschaffenheit bzw. Belastung des Sickerwassers mit den unterschiedlichen Inhaltsstoffen. Die Übersicht zeigt, dass die biologische Behandlung das am häufigsten angewandte Verfahren ist, insbesondere bei den älteren DK II-Deponien, auf denen unvorbehandelte, organikhaltige Abfälle abgelagert wurden, die ein entsprechend mit organischen Verbindungen belastetes Sickerwasser produzieren.

**Tabelle 7: Sickerwasserbehandlungsverfahren differenziert nach Deponieklassen (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Sickerwasserbehandlung<br>Art der Behandlung | Anzahl<br>Gesamt<br>DK I - DK III | DK I | DK II | DK III |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|------|-------|--------|
| Biologischer Abbau                           | 154                               | 31   | 117   | 6      |
| Adsorption (Aktivkohle)                      | 113                               | 17   | 91    | 5      |
| Filtration                                   | 69                                | 7    | 59    | 3      |
| Umkehrosmose                                 | 51                                | 12   | 35    | 4      |
| Chemische Oxidation                          | 18                                | 3    | 13    | 2      |
| Flockung/Fällung                             | 47                                | 12   | 31    | 4      |
| Flotation                                    | 6                                 | 2    | 4     | 0      |
| Sonstige                                     | 55                                | 20   | 28    | 7      |

Zur Erfüllung der Anforderungen an das gereinigte Sickerwasser als Indirekt- oder Direkteinleitung (Anhang 51 der Abwasserverordnung, näheres siehe Arbeitspaket 3 zum Stand der Technik) werden häufig Verfahrenskombinationen eingesetzt. So folgen der biologischen Behandlung in der Regel eine weitere oder auch mehrere Verfahrensstufen:

- 93 Anlagen/Verfahrenskombinationen mit einer Filtration und einer nachgeschalteten Adsorptionsstufe (Aktivkohle) der Klasse I – III, wovon allein 80 auf die Deponieklasse II entfallen.
- 57 Anlagen/Verfahrenskombinationen mit einer Filtration (Mikro-, Nano-, Ultrafiltration), auch hier befindet sich die Mehrzahl auf DK II-Deponiestandorten (51).
- 15 Anlagen/Verfahrenskombinationen mit einer chemischen Oxidation.
- 27 Anlagen/Verfahrenskombinationen mit einer Flockung und Fällung.
- 2 Anlagen/Verfahrenskombinationen mit einer Flotation.

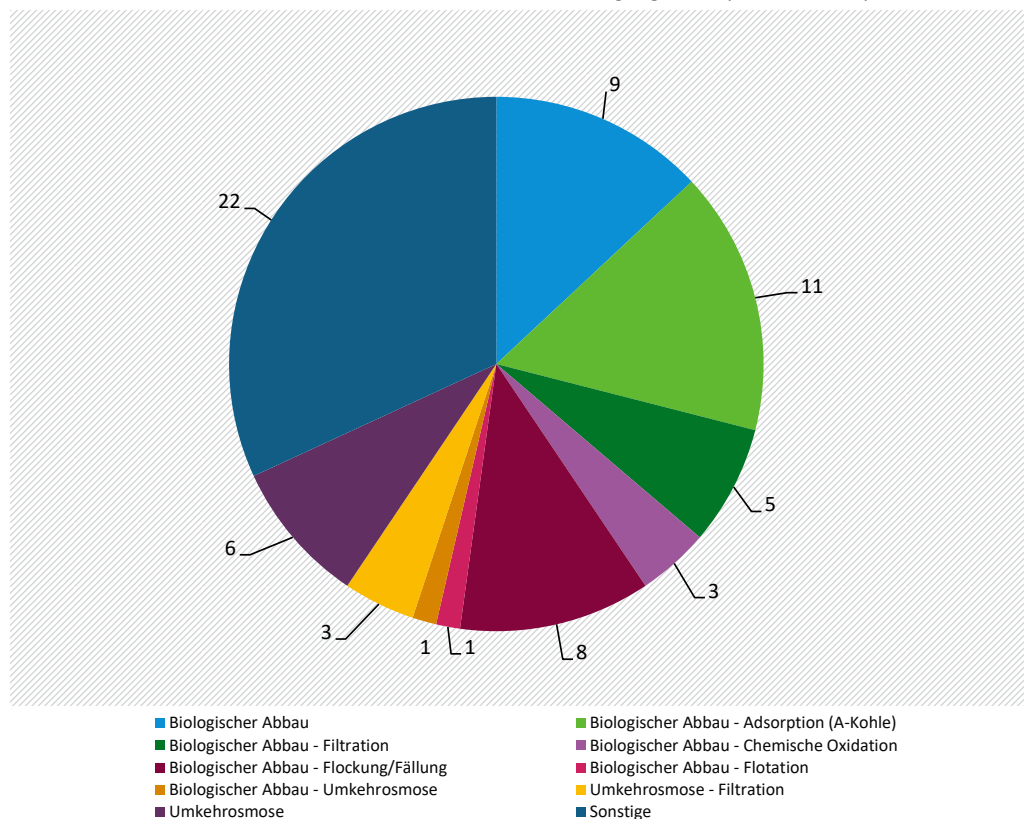
Diese Verfahrenskombinationen machen deponieklasseübergreifend ca. 75 % aller Anlagenkonfigurationen aus (Abbildung 5).

Daneben gibt es mit der Umkehrosmose ein Behandlungsverfahren, das sowohl als alleinige Behandlungsstufe (34, ggf. nach einer Vorfiltration) als auch in der Kombination mit einer biologischen Vorbehandlung (6) sowie der Filtration (6) eingesetzt wird. Nach der statistischen Auswertung der Daten wird die Umkehrosmose offenbar häufig auf Deponien mit vergleichsweise geringem Sickerwasseranfall eingesetzt. Insgesamt machen Umkehrosmose-Verfahren ca. 10% der Gesamtverfahren aus.

Weitere, eher seltener angewandte Reinigungsverfahren (in der Tabelle unter „Sonstige“ (57), ca. 10% der Gesamtverfahren) sind z.B. die Eindampfung, Absetzbecken, Ionenaustausch, Pflanzenkläranlagen oder die thermische Mitbehandlung in einer Müllverbrennungsanlage. Diese unter „Sonstige“ aufgeführten Verfahren werden häufig bei DK III-Deponien eingesetzt, da dort die unterschiedlichen Inhaltsstoffe daran angepasste Behandlungsverfahren erfordern.

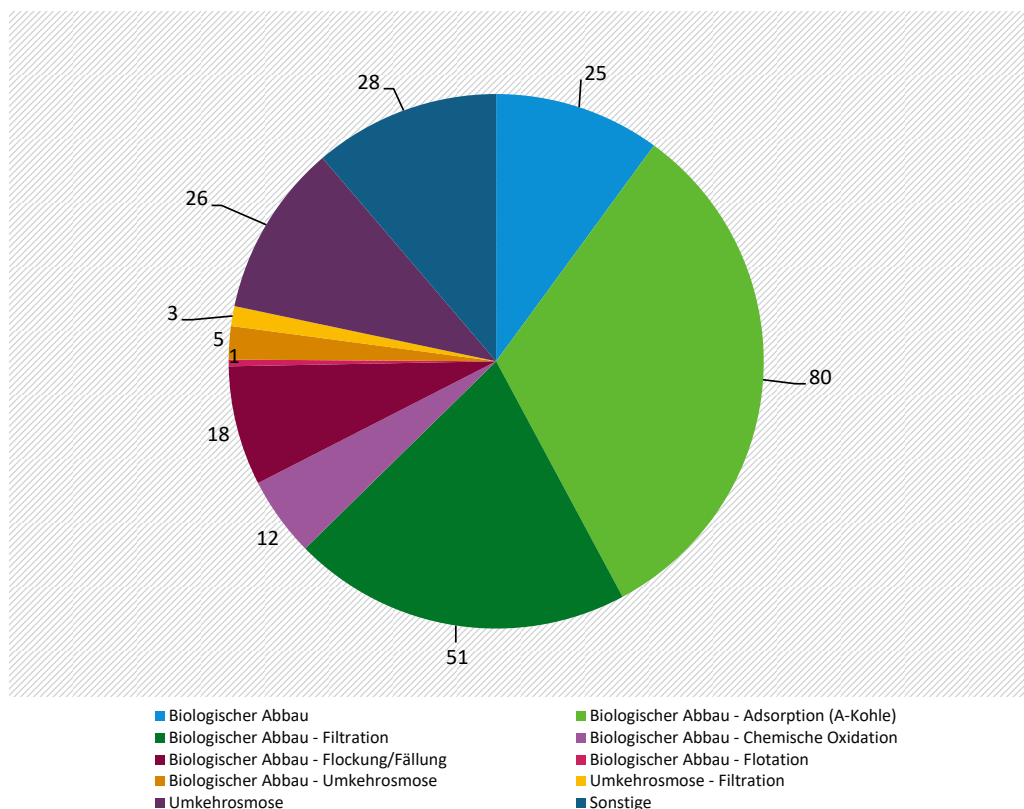
**Abbildung 5: Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Sickerwasserreinigung auf Deponien der Deponieklassen I (oben), II (Mitte) und III (unten) (LAGA-Länderabfrage 2023)**

Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Sickerwasserreinigung auf Deponien der Deponiekategorie I



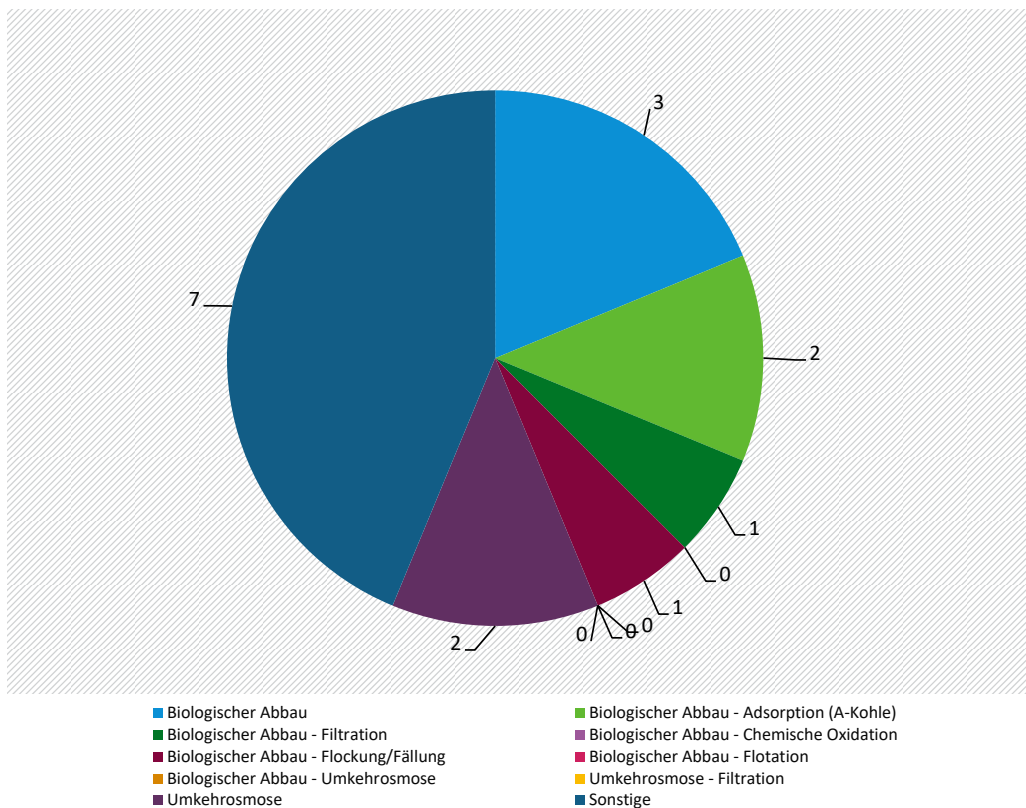
Quelle: eigene Datstellung, IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Sickerwasserreinigung auf Deponien der Deponiekategorie II



Quelle: eigene Datstellung, IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

#### Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Sickerwasserreinigung auf Deponien der Deponieklasse III



Quelle: eigene Datstellung, IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

#### 3.2.3.6 Festlegung von Auslöseschwellen im Grundwasser

In der LAGA-Länderabfrage 2023 wurde auch die Festlegung von Auslöseschwellen für die Grundwasserüberwachung abgefragt. Die Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über die Festlegung von Auslöseschwellen auf Deponiestandorten der Klassen I – III. Aus dem Rücklauf der Angaben zu den Auslöseschwellen geht hervor, dass bei den Deponieklassen I und II für mehr Deponiestandorte keine Auslöseschwellen festgelegt wurden als dass dies der Fall ist. Nur bei den Deponien der Klasse III wurden für mehr Standorte Auslöseschwellen festgelegt im Verhältnis zu jenen ohne eine Festlegung.

**Tabelle 8: Anzahl der festgelegten Auslöseschwellen auf Deponien der Klasse I bis III (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Deponieklasse | Auslöseschwellen festgelegt ja | Auslöseschwellen festgelegt nein |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------|
| DK I          | 87                             | 117                              |
| DK II         | 161                            | 191                              |
| DK III        | 21                             | 16                               |

### 3.2.3.7 Deponiegasfassung, -behandlung und -verwertung

Bezüglich der Gaserfassung und -behandlung bzw. -verwertung stehen in Deutschland die Deponien der Deponieklasse II, auf denen bis 2005 unvorbehandelte Siedlungsabfälle mit größeren Anteilen biologisch abbaubarer Abfallfraktionen abgelagert wurden, im Vordergrund.

Insgesamt 246 der erfassten DK II-Deponien verfügen über eine Entgasungsanlage (Tabelle 9). Bei 89 Deponien ohne Entgasungsanlage ist davon auszugehen, dass dort insbesondere ab 2005 nur noch mineralische Abfälle abgelagert wurden, die nicht zur Deponiegasbildung beitragen. Die meisten DK II-Deponien mit Entgasungsanlagen weisen Baden-Württemberg (56) und Nordrhein-Westfalen (43) auf, gefolgt von Bayern (41) (siehe auch Anlage D). Die Mehrzahl der Deponien wird mit einer aktiven Gaserfassung (technische Gasabsaugung) betrieben (256), lediglich 32 werden passiv entgast (Gasfluss durch Eigendruck des gebildeten Deponiegases). 150 Deponien haben ein vertikales Entgasungssystem (Gasbrunnen). Darüber hinaus werden auf 78 Deponien horizontale Entgasungssysteme eingesetzt. Insgesamt verfügen 56 Deponien sowohl über ein vertikales als auch horizontales Gasfassungssystem, wobei zu diesen Abfragen der Datenrücklauf mit den Zahlenangaben unvollständig war.

Sofern auf Deponien der Klasse I Deponiegas erfasst und behandelt wird, handelt es sich vermutlich überwiegend um Deponieabschnitte, die auf früheren Deponien der Deponieklasse II betrieben werden. Insgesamt weisen 40 als DK I deklarierte Deponien Einrichtungen zur Deponiegasfassung auf.

Bei einigen Deponien der Klasse III wird ebenfalls Deponiegas erfasst und behandelt, so dass davon auszugehen ist, dass dort biologisch abbaubare Abfallfraktionen abgelagert wurden. Insgesamt verfügen 7 DK III-Deponien über Einrichtungen zur Deponiegasfassung.

**Tabelle 9: Art und Anzahl der Gasfassung auf Deponien der Klassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Deponie-<br>klasse   | Entgasungs-<br>anlage<br>vorhanden<br>ja | Entgasungs-<br>anlage<br>vorhanden<br>nein | Entgasung*<br>aktiv | Entgasung*<br>passiv | Entgasung*<br>vertikal | Entgasung*<br>horizontal |
|----------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| DK I                 | 40                                       | 161                                        | 32                  | 6                    | 18                     | 8                        |
| DK II                | 246                                      | 89                                         | 222                 | 21                   | 128                    | 66                       |
| DK III               | 7                                        | 30                                         | 2                   | 5                    | 4                      | 4                        |
| <b>DK I - DK III</b> | <b>293</b>                               | <b>280</b>                                 | <b>256</b>          | <b>32</b>            | <b>150</b>             | <b>78</b>                |

\* Datenrücklauf unvollständig

Zusätzlich wurde die Art der Gasbehandlung sowie Gasverwertung abgefragt (Tabelle 10). Als häufigste Behandlungstechnik wird nach wie vor die Hochtemperaturfackel eingesetzt (161), sei es als alleinige Behandlungsstufe (37) oder in Redundanz zu einer Gasverwertungsanlage, vor allem einem BHKW (104 Fackelanlagen). Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren zunehmend Schwachgasfackeln in Betrieb genommen (77), um das Deponiegas bei abnehmender Gasproduktion und rückläufigen Methangehalten ordnungsgemäß zu beseitigen (näheres siehe Arbeitspaket 3 zum Stand der Technik).

Weitere Behandlungsarten sind u.a. die regenerative thermische Oxidation (RTO, 19) oder Flox-Verbrennungsanlagen als autotherme Hochtemperatur-Oxidationsverfahren, ferner passive Gasbehandlungsanlagen wie Biofilter (18) oder die Methanoxidation in Gasfenstern oder inte-

griert in die Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung (10). Die unter „Sonstiges“ gelisteten 18 Anlagen umfassen die erwähnten Flox-Systeme und die Gasbehandlung in Aktivkohlefiltern.

Bezüglich der Gasverwertung sind trotz abnehmender Deponiegasbildung weiterhin noch 142 Blockheizkraftwerke (BHKW) im Einsatz, in der Regel in Kombination mit einer redundant vorgehaltenen Fackel. Die BHKW, bei denen es sich je nach Deponiestandort um einen oder mehrere Gasmotoren handeln kann, dienen der Verstromung und soweit möglich der Abwärmeeinnutzung. Die alleinige thermische Verwertung (30) stellt die zweithäufigste Verwertungsform dar. Eine Einspeisung im Sinne einer Ableitung zu einer anderen thermischen Verwertungsanlage (7) oder die Nutzung in einer Gasturbine (7) sind von der Anzahl von untergeordneter Bedeutung.

**Tabelle 10: Deponiegasbehandlung und -verwertung auf Deponien der Klassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Deponieklasse        | Art der Gasbehandlung* |                  |           |           |                 |                     | Art der Gasverwertung* |             |             |                       |                     |
|----------------------|------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------------|---------------------|------------------------|-------------|-------------|-----------------------|---------------------|
|                      | Fackel                 | Schwachgasfackel | RTO       | Biofilter | Methanoxidation | Sonstige Behandlung | BHKW                   | Einspeisung | Gas-turbine | thermische Verwertung | Sonstige Verwertung |
| DK I                 | 20                     | 11               | 0         | 2         | 2               | 0                   | 19                     | 0           | 0           | 2                     | 1                   |
| DK II                | 140                    | 65               | 19        | 15        | 8               | 15                  | 122                    | 7           | 7           | 28                    | 4                   |
| DK III               | 1                      | 1                | 0         | 1         | 0               | 3                   | 1                      | 0           | 0           | 0                     | 0                   |
| <b>DK I - DK III</b> | <b>161</b>             | <b>77</b>        | <b>19</b> | <b>18</b> | <b>10</b>       | <b>18</b>           | <b>142</b>             | <b>7</b>    | <b>7</b>    | <b>30</b>             | <b>5</b>            |

\* Datenrücklauf unvollständig

### 3.2.3.8 Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen zur Verbesserung des Deponieverhaltens

Die Deponieabfrage richtete sich auch an Verfahren zur Verbesserung des Deponieverhaltens, was die Intensivierung biologischer Abbauprozesse in Kombination mit einer optimierten Erfassung und Behandlung der damit einhergehenden Emissionen anbetrifft.

Tabelle 11 zeigt den Rücklauf der Angaben zu Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen auf älteren Deponien, wo größere Mengen an organischen Abfällen abgelagert wurden (Erläuterungen zu Technik, Betrieb und Überwachung dieser Verfahren erfolgen im Arbeitspaket 3 zum Stand der Technik). Es wurden allerdings nur 33 Deponien angegeben, auf denen eine Deponiebelüftung durchgeführt wird. Demnach handelt sich offenbar um unvollständige Angaben, da aus anderen Quellen des Umweltbundesamts, Statistiken im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative oder des InwesD eine deutlich höhere Anzahl an Deponiebelüftungsvorhaben bekannt ist. So wurden vom Projektträger Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH, der die Förderprojekte im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative zur Deponiebelüftung und optimierten Gaserfassung koordiniert, mit Stand 18.12.2024 125 Deponiebelüftungsmaßnahmen und 36 Maßnahmen zur optimierten Deponiegasfassung genannt, die beantragt oder bereits bewilligt wurden (Seymer et. al, 2025). Die eingeschränkte Angabe von nur 33 Deponien im Fragebogen ist vermutlich auch darauf zurückzuführen, dass ausschließlich Anlagen auf Deponien erfasst wurden, die unter die Richtlinie über Industrieemissionen (IED) fallen.

Dagegen wurden nach der Länderabfrage zum Ende 2022 nur sieben geplante, aber noch nicht umgesetzte Deponiebelüftungsprojekte gemeldet. Von den 33 gemeldeten Deponien sind zwei Deponien der Deponieklasse I zuzuordnen, alle anderen Vorhaben zur Deponiebelüftung und Optimierung der Gasfassung werden auf Deponien der Klasse II umgesetzt.

In Baden-Württemberg werden mit 15 Deponiestandorten gemäß der Abfrage (und 33 gemäß der Angabe des Umweltbundesamts) die meisten Belüftungsprojekte als Klimaschutzmaßnahme durchgeführt.

38 Deponien verfügen über ein Infiltrationssystem zur Zuführung von deponieeigenem Rohsickerwasser oder Brauchwasser, davon 11 Systeme auf Deponien der Klasse I, die ggf. in hydraulischem Kontakt mit unterlagernden Deponieabschnitten der Klasse II stehen, und 27 Systeme auf Deponien der Klasse II. Damit soll möglichen Limitierungen der biologischen Abbauprozesse infolge Wassermangels begegnet werden.

**Tabelle 11: Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen auf Deponien der Klassen I – III (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Deponie-<br>klasse | Deponiebelüftung<br>ja | Deponiebelüftung<br>nein | Deponiebelüftung<br>geplant | Infiltration<br>ja | Infiltration<br>nein | Infiltration<br>geplant |
|--------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|
| DK I               | 2                      | 200                      | 0                           | 11                 | 191                  | 0                       |
| DK II              | 31                     | 299                      | 7                           | 27                 | 324                  | 0                       |
| DK III             | 0                      | 37                       | 0                           | 0                  | 37                   | 0                       |

### 3.2.3.9 Betriebliche Einrichtungen

Die Tabelle 12 zeigt eine Übersicht über betriebliche Einrichtungen, die dem eigentlichen Deponiebetrieb direkt oder indirekt zuzuordnen sind:

- ▶ Fahrzeugwaagen zur Abfallannahme und Erfassung der Ablagerungsmassen.
- ▶ Kleinanliefererstationen / Wertstoffhöfe, die häufig auf Deponien oder ehemaligen Deponiestandorten eingerichtet werden, so dass dort private und gewerbliche Abfallanlieferer unterschiedliche Abfälle zur Deponierung, Verwertung oder anderweitigen Beseitigung in Kleinmengen abgeben können.
- ▶ Betriebsgebäude als Bestandteil der Infrastruktur, insbesondere bei den in Betrieb befindlichen Deponien.
- ▶ Labore, wo je nach Deponieklasse und auch Größe des Standorts z.B. Sickerwasseranalysen im Sinne der Eigenüberwachung und des ordnungsgemäßen Betriebs der Sickerwasserreinigungsanlage durchgeführt werden.

Weitere Einrichtungen wie z.B. Tankanlagen, Werkstätten, Lagerhallen, Umschlaganlagen, Waschplätze, die der allgemeinen Infrastruktur bzw. nicht unmittelbar dem Deponiebetrieb zuzuordnen sind, wurden nicht gesondert abgefragt.

Die Daten zeigen, dass auf Deponiestandorten in der Ablagerungsphase bezogen auf deren Anzahl noch mehr Fahrzeugwaagen, Kleinanlieferstationen, Betriebsgebäude und Labore vorhanden sind als auf den stillgelegten Standorten. Insgesamt wurden über die drei Deponie- klassen verteilt 397 Standorte mit Fahrzeugwaagen, 243 mit Kleinanlieferstationen, 346 mit Betriebsgebäuden und 130 mit Labor gemeldet.

**Tabelle 12: Anzahl der vorhandenen betrieblichen Einrichtungen differenziert nach Deponie-  
klassen (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Status                 | Deponieklasse | Pro Phase<br>gesamt | Fahrzeug-<br>waage | Kleinanlieferer-<br>station | Betriebs-<br>gebäude | Labor |
|------------------------|---------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|-------|
| Ablagerungs-<br>phase  | DK I          | 96                  | 80                 | 47                          | 66                   | 22    |
| Ablagerungs-<br>phase  | DK II         | 119                 | 114                | 85                          | 93                   | 44    |
| Ablagerungs-<br>phase  | DK III        | 19                  | 15                 | 2                           | 16                   | 9     |
| Stilllegungs-<br>phase | DK I          | 107                 | 50                 | 25                          | 48                   | 11    |
| Stilllegungs-<br>phase | DK II         | 219                 | 128                | 82                          | 110                  | 38    |
| Stilllegungs-<br>phase | DK III        | 19                  | 10                 | 2                           | 13                   | 6     |

3.2.4 Vergleich zur Datenerhebung der LAGA-Länderabfrage 2023 mit Angaben von Destatis

Zum Abschluss des Arbeitspakets 2 soll ein Abgleich der Daten aus dem anonymisierten Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 und vergleichbarer Angaben des Statistischen Bundesamts (Destatis, Genesis-Online) vorgenommen werden.

Wie bereits im Kapitel 3.2.1 erwähnt, wurden die Daten der öffentlich zugänglichen Quellen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Publikationen zu unterschiedlichen Bezugszeitpunkten zusammengestellt. Sie eignen sich daher nicht für die statistische Auswertung aufgrund größerer Datenlücken und der unterschiedlichen Zeitbezüge. Die Datenabfrage in den Bundesländern über die LAGA-Länderabfrage 2023 ergab sowohl umfangreichere als auch inhaltlich und zeitlich konsistentere Angaben. Deponieangaben über Destatis beziehen sich ebenfalls auf die Deponieklassen I – III. Bezugszeitpunkt der Destatis-Angaben ist das Jahr 2022 (aus Genesis-Online mit Veröffentlichungsdatum 08.05.2024).

Vergleich der verfügbaren Restvolumina

Die Daten aus Genesis Online ergeben als Gesamtsumme aller Bundesländer für DK I-Deponien 175,2 Mio. m<sup>3</sup>, für DK II-Deponien 78,4 Mio. m<sup>3</sup> und für DK III-Deponien 25,6 Mio. m<sup>3</sup>. Dem stehen etwas geringere Restvolumina aus dem Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 mit 164,9 Mio. m<sup>3</sup> für DK I-Deponien (6% weniger), 66,8 Mio. m<sup>3</sup> für DK II-Deponien (15% weniger) und 22,2 Mio. m<sup>3</sup> für DK III-Deponien (13% weniger) gegenüber (Tabelle 13). Hier sind die Ergebnisse tendenziell und in der Größenordnung vergleichbar und somit plausibel.

Tabelle 13: Vergleich der verfügbaren Restvolumina über die Deponieklassen I – III zwischen dem Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 und den Angaben von Destatis zum Jahr 2022 (Destatis, 2024)

| Verfügbares Restvolumen        | DK I<br>[m³] | DK II<br>[m³] | DK III<br>[m³] |
|--------------------------------|--------------|---------------|----------------|
| LAGA-Länderabfrage 2023        | 164.907.158  | 66.767.161    | 22.208.714     |
| Destatis - Genesis Online 2022 | 175.160.000  | 78.364.000    | 25.597.000     |

Vergleich der Angaben zu Basisabdichtungen

Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Anzahl und den Aufbau von Basisabdichtungen in den verschiedenen Deponieklassen anhand der Angaben von Destatis (Genesis-Online) und der LAGA-Länderabfrage 2023.

Bei den Angaben erfolgten z.T. Mehrfachnennungen bei den mineralischen Abdichtungen, Kunststoffdichtungsbahnen und den Kombinationsabdichtungen. Bei der LAGA-Länderabfrage 2023 wurden alle Deponiebereiche/-standorte, welche sowohl eine mineralische Dichtungskomponente als auch eine Kunststoffdichtungsbahn aufweisen, als Kombinationsdichtung zusammengefasst. Sie werden daher nicht zusätzlich unter den Rubriken mineralische Dichtung und KDB aufgeführt.

Es zeigt sich, dass der Datensatz von Destatis mehr DK I Deponien berücksichtigt, ohne dass die Ursache dieser Diskrepanz erkennbar ist. Ein Grund hierfür könnte sein, dass im Zuge der Ummeldung vieler Deponien (vor allem im Jahr 2005) von DK II auf DK I jene Deponien bei den Behörden als DK I geführt werden (Destatis), während in den LAGA-Angaben diese Deponien weiterhin als DK II Deponien geführt werden. In der LAGA-Länderabfrage ergibt sich mit dem

Bezug auf Deponieabschnitte, wie sie von einigen Bundesländern übermittelt wurden, bei der Deponieklasse II eine große Anzahl von 465 basisgedichteten Deponieabschnitten. Hervorzuheben ist die Anzahl der Kombinationsdichtungen nach dem Stand der Technik (überwiegend KDB und mineralische Dichtungsschicht), welche in beiden Datensätzen mehr als die Hälfte der Deponien/Deponiebereiche der Klasse II ausmachen.

Insgesamt scheint der Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 etwas detaillierter zu sein und bietet somit einen umfassenderen Überblick bezüglich Anzahl und Aufbau der Basisabdichtungen, da er teilweise auch Deponiebereiche statt nur Deponiestandorte berücksichtigt.

**Tabelle 14: Vergleich der Anzahl und des Aufbaus von Basisabdichtungen anhand der LAGA-Länderabfrage 2023 und der Angaben von Destatis zum Jahr 2022 (Destatis, 2024)**

|                                     | Deponie-<br>klasse | Deponiestand-<br>orte (DESTATIS)<br>Deponiebereiche<br>(LAGA)<br>Anzahl | geologische<br>Barriere<br>Anzahl | mineralische<br>Abdichtung<br>Anzahl | Kunststoff-<br>dichtungs-<br>bahn<br>Anzahl | Kombinations-<br>abdichtung<br>Anzahl | Keine<br>Anzahl |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Daten<br>Destatis                   | DK I               | 220                                                                     | 96                                | 107                                  | 59                                          | 42                                    | 42              |
| Daten<br>Destatis                   | DK II              | 318                                                                     | 153                               | 149                                  | 93                                          | 151                                   | 50              |
| Daten<br>Destatis                   | DK III             | 41                                                                      | 20                                | 19                                   | 13                                          | 23                                    | 7               |
| LAGA-<br>Länder-<br>abfrage<br>2023 | DK I               | 188                                                                     | 168                               | 76                                   | 51                                          | 45                                    | 90              |
| LAGA-<br>Länder-<br>abfrage<br>2023 | DK II              | 465                                                                     | 390                               | 174                                  | 23                                          | 252                                   | 177             |
| LAGA-<br>Länder-<br>abfrage<br>2023 | DK III             | 75                                                                      | 88                                | 13                                   | 5                                           | 46                                    | 29              |

#### Vergleich der Angaben zu Oberflächenabdichtungen

Tabelle 15 gibt einen Überblick über die Anzahl und den Aufbau von Oberflächenabdichtungen in den verschiedenen Deponieklassen anhand der Angaben von Destatis (Genesis-Online) und der LAGA-Länderabfrage 2023. Bei den Angaben sind ebenfalls Mehrfachnennungen möglich.

Wie bei den Basisdichtungen wurden auch hier die Kombinationsdichtungen berücksichtigt, indem die mineralische Dichtungsschicht sowie die KDB beim Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 zusammengefasst wurden und die einzelnen Abdichtungssysteme KDB und mineralische Abdichtung lediglich bei einschichtigen Abdichtungssystemen getrennt ausgewiesen werden.

Über den Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 wurden für die Deponieklasse I und II weniger Deponiebereiche als Deponiestandorte über den Datensatz von Destatis ausgewiesen. Für DK III-Deponieabschnitte wurde dagegen über die LAGA-Länderabfrage ein abgedichteter Deponiebereich mehr identifiziert. Die Daten zeigen, dass bei DK II-Deponieabschnitten eine mineralische Abdichtung, eine Kunststoffdichtungsbahn oder eine Kombination dieser Abdich-

tungskomponenten (Kombinationsdichtung) installiert wurden. Insgesamt beschreibt der Destatis-Datensatz 178 mineralische Abdichtungen, 115 Kunststoffdichtungsbahnen und 155 Kombinationsabdichtungen. Der Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 weist eine insgesamt geringere Anzahl von 121 mineralischen Abdichtungen gegenüber Destatis mit 178 auf. Mit 108 Kunststoffdichtungsbahnen und 159 Kombinationsdichtungen sind die Zahlen der LAGA-Länderabfrage 2023 wiederum mit Destatis vergleichbar. Erwartungsgemäß bezieht sich die Mehrzahl der Kombinationsabdichtungen auf Deponien der Klasse II und III.

Darüber hinaus gibt es noch eine größere Anzahl an Deponien bzw. Deponieabschnitten, die sich in der Ablagerungsphase (189) oder Stilllegungsphase (161) befinden und noch keine Oberflächenabdichtung aufweisen (Datensatz LAGA-Länderabfrage 2023).

Bei diesen Auswertungen und dem statistischen Abgleich ist nochmals zu erwähnen, dass sich die Deponien und Deponieabschnitte nach dem aktuellen Stand der Technik überwiegend noch in der Ablagerungsphase befinden, so dass die älteren Standorte mit unzureichenden oder fehlenden Basis- und Oberflächenabdichtungen, die hier mit im Vergleich aufgeführt sind, nicht dem Stand der Technik entsprechen, wie er im Arbeitspaket 3 nachfolgend ausgeführt wird.

**Tabelle 15: Vergleich der Anzahl und des Aufbaus von Oberflächenabdichtungen anhand der LAGA-Länderabfrage 2023 und der Angaben von Destatis zum Jahr 2022 (Destatis, 2024)**

| Datensatz                      | Status                 | Deponie-<br>klasse | Deponiestandorte<br>(DESTATIS)<br>Deponiebereiche<br>(LAGA) | temporäre<br>Oberflächen-<br>abdeckung | Oberflächenabdichtung      |                                     |                                  |        |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------|
|                                |                        |                    | Anzahl                                                      | Anzahl                                 | mineralische<br>Abdichtung | Kunststoff-<br>abdichtungs-<br>bahn | Kombi-<br>nations-<br>abdichtung | Keine  |
|                                |                        |                    |                                                             |                                        | Anzahl                     | Anzahl                              | Anzahl                           | Anzahl |
| Daten Destatis                 | Gesamt                 | DK I               | 220                                                         | 42                                     | 68                         | 35                                  | 28                               | 90     |
|                                |                        | DK II              | 321                                                         | 149                                    | 97                         | 72                                  | 111                              | 45     |
|                                |                        | DK III             | 41                                                          | 12                                     | 13                         | 8                                   | 16                               | 12     |
| LAGA-<br>Länderabfrage<br>2023 | Ablagerungs-<br>phase  | DK I               | 48                                                          | k.A.                                   | 15                         | 15                                  | 4                                | 76     |
|                                |                        | DK II              | 104                                                         | k.A.                                   | 21                         | 24                                  | 41                               | 102    |
|                                |                        | DK III             | 23                                                          | k.A.                                   | 2                          | 1                                   | 17                               | 11     |
| LAGA-<br>Länderabfrage<br>2023 | Stilllegungs-<br>phase | DK I               | 61                                                          | k.A.                                   | 18                         | 19                                  | 5                                | 48     |
|                                |                        | DK II              | 225                                                         | k.A.                                   | 61                         | 48                                  | 84                               | 108    |
|                                |                        | DK III             | 15                                                          | k.A.                                   | 4                          | 1                                   | 8                                | 5      |

#### Vergleich der Angaben zu Entgasungsanlagen

In der LAGA-Länderabfrage 2023 wurden insgesamt 293 Standorte mit einer Entgasungsanlage erfasst, von denen 246 der Deponieklasse II zuzuordnen sind und sich 157 in der Stilllegungsphase befinden.

Bei den vergleichbaren Angaben von Destatis zum Jahr 2022 (Destatis, 2024) handelt es sich um insgesamt 279 Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase, wovon 221 der Deponieklasse II angehören und sich 153 in der Stilllegungsphase befinden.

Insgesamt scheint der Datenabgleich beider Erhebungen damit plausibel.

### **3.2.5 Fazit zu den Datenerhebungen**

Die vorgenommenen bzw. ausgewerteten Datenerhebungen zu Deponien in Deutschland basieren z.T. auf gänzlich unterschiedlichen Quellen, was zu entsprechend unterschiedlichen Ergebnissen führt.

So wurde im ersten Schritt eine Auswertung zahlreicher öffentlich zugänglicher Quellen aus den letzten 20 Jahren vorgenommen. Trotz einer aufwändigen und umfassenden Recherche bestanden weiterhin zahlreiche Datenlücken aufgrund fehlender Angaben. Ferner war eine Zusammenführung und Vergleichbarkeit vieler Angaben aufgrund unterschiedlicher Bezugszeitpunkte nicht oder nur eingeschränkt möglich, so dass auf eine statistische Auswertung verzichtet wurde. Da dieser Datensatz aber nicht anonymisiert wurde, kann er zur Übersicht der Deponiestandorte nach Deponieklasse und Betriebsphase in einer Deutschlandkarte herangezogen werden.

Über die LAGA-Länderabfrage 2023 zu den Deponien in den Bundesländern ergab sich die Möglichkeit zur deutlichen Verbesserung der Datenbasis. Die erfassten Daten sind vollständiger und hinsichtlich des überwiegend einheitlichen Betrachtungszeitpunkts zum 31.12.2022 auch aktueller. Dadurch sind sie zwischen den Bundesländern und den anonymisierten Deponiestandorten besser vergleichbar. Dennoch waren auch hier unterschiedliche Rückläufe der Detailangaben und ihrer Aussagekraft gegeben. Während einige Bundesländer Daten für einzelne Deponieabschnitte übermittelten, war dies bei anderen Bundesländern nicht der Fall.

Insgesamt bietet der Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 eine gute Grundlage für die statistische Betrachtung und stand daher im Mittelpunkt der Auswertung. So ergibt sich über die Auswertung ein plausibles Bild der wesentlichen Randbedingungen und Kenndaten der Deponien. Die aktuellen Angaben von Destatis zum Jahr 2022, die am 08.05.2024 veröffentlicht wurden, zeigen im Vergleich zum Datensatz der LAGA-Länderabfrage 2023 für viele Angaben eine tendenzielle Übereinstimmung.

Die Auswertung der Daten des Arbeitspakets 2 ergibt eine große Anzahl insbesondere an jüngeren Deponien, die bereits in vielen Bereichen dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Besonders im Fokus stehen dabei die Bereiche Sickerwasserfassung und -behandlung, Gaserfassung und -behandlung bzw. -verwertung, Klimaschutzmaßnahmen wie die Deponiebelüftung sowie Basis- und Oberflächendichtungen.

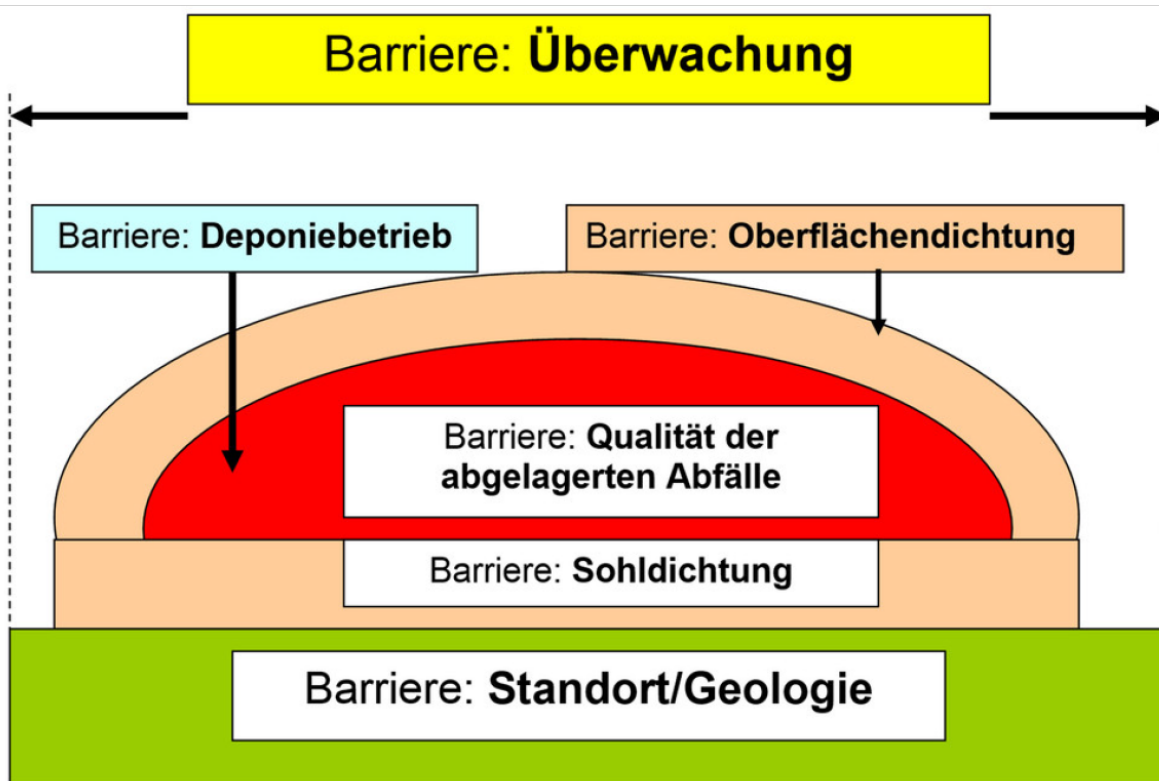
Anhand der Auswertungen können deutschlandweit geeignete Deponiestandorte identifiziert werden, die voraussichtlich als modellhafte Standorte den Stand der Technik repräsentieren. Sie werden im nachfolgenden Kapitel zum Arbeitspaket 3, in dem näher auf den Stand der Technik eingegangen wird, ausgewiesen.

### 3.3 Ermittlung des Stands der Technik für Deponien - Arbeitspaket 3

#### 3.3.1 Aufgabenstellung, Ergebnisse

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Ermittlung des Stands der Technik für Deponien, insbesondere im Hinblick auf die Aspekte Grundwasserschutz, Klimaschutz sowie Überwachungen und Kontrollen. Diese drei Aspekte werden in dem Multibarrierenkonzept aufgegriffen, ergänzt durch die Vorbehandlung der abzulagernden Abfälle zur nachhaltigen Reduzierung des Emissionspotentials der Deponien. Für die Erarbeitung des Arbeitspakets ist es vom Ansatz her entscheidend, dass das Konzept der unabhängig voneinander wirkenden Barrieren seit seiner Entwicklung im Jahr 1986 weiterentwickelt wurde und in Deutschland seit 2005 den reaktionsarmen Abfall als zusätzliche Barriere verpflichtend einschließt (Abbildung 6).

**Abbildung 6: Multibarrierenkonzept**



Quelle: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022

Nach deutschem Deponierecht (Deponieverordnung, DepV, 2009) sind insbesondere Anforderungen an den Standort, die geologische Barriere, die Abdichtungskomponenten und -systeme sowie die Betriebsweise hinsichtlich der Qualität der abzulagernden Abfälle verbindlich und verpflichtend festgelegt. Dieser Stand der Technik, der z.T. über die Anforderungen in der EU-Deponierichtlinie hinausgeht, und der durch fachspezifische Richtlinien, bundeseinheitliche Qualitätsstandards (BQS), Empfehlungen und Spezifikationen ergänzt bzw. unterlegt wird, stellt die Basis der in den Unterarbeitspaketen 1 bis 3 aufbereiteten Maßnahmen zur Verminderung oder Verhinderung von Emissionen dar.

### **3.3.2 Anforderungen an abzulagernde Abfälle und eine Abfallvorbehandlung zum Emissions- und Klimaschutz**

Einen wesentlichen Bestandteil des Multibarrierenkonzepts bildet die Qualität der abzulagernden Abfälle („Barriere Deponiekörper“). Sie erfordert für organikhaltige Siedlungsabfälle wie Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle etc. in der Regel eine Abfallvorbehandlung, um nach der bundesdeutschen Deponieverordnung die Zuordnungskriterien insbesondere für die Deponieklasse II zu erfüllen. Neben einer getrennten Erfassung und Verwertung dieser Abfallströme wird zur Beseitigung in Deutschland hauptsächlich eine thermische oder mechanisch-biologische Vorbehandlung eingesetzt.

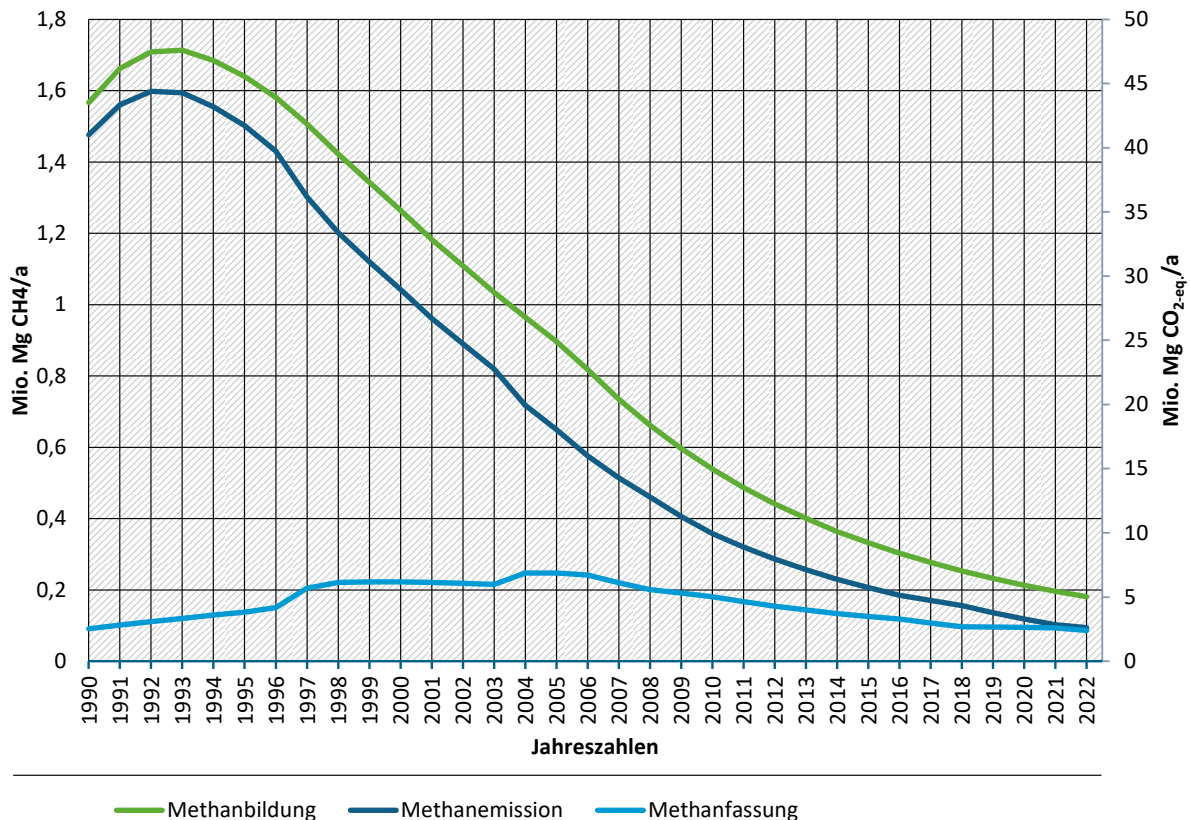
Dieses Vorgehen hat dazu geführt, dass sowohl der Anteil an deponierten Siedlungsabfällen als auch deren Gehalt an organischen Bestandteilen, die biologisch abbaubar sind und zur Deponiegasbildung führen, erheblich abgenommen haben. So hat sich die Methanbildung auf Deponien seit 1993 um ca. 89% reduziert. Der Anteil der Methanemissionen bzw. der nicht erfassten Methanbildung hat sich in diesem Zeitraum sogar um 94% vermindert. Abbildung 7 zeigt diese Entwicklung anhand der Angaben des Nationalen Inventarberichts vom September 2024, wobei für das Methan der Wert des Global Warming Potential (GWP) mit dem Faktor 28 berücksichtigt wurde.

Diese klimarelevante Reduzierung der Methanemissionen wurde insbesondere durch die Zuordnungskriterien hinsichtlich des Glühverlusts und Kohlenstoffgehalts sowie der biologischen Abbaubarkeit bei der mechanisch-biologischen Abfallvorbehandlung, die seit 2005 verbindlich einzuhalten sind, erreicht.

Die Regelungen der EU-Deponierichtlinie unterscheiden sich hinsichtlich der zulässigen deponierbaren Menge biologisch abbaubarer Siedlungsabfälle von diesen Qualitätsanforderungen der deutschen Deponieverordnung, worauf im Folgenden eingegangen wird.

**Abbildung 7: Reduzierung der Methanbildung und Methanemissionen auf Deponien in Deutschland seit 1990 (auf Datengrundlage NIR, 2024)**

**Reduzierung der Methanbildung und Methanemissionen auf Deponien in Deutschland seit 1990**



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg (Datengrundlage NIR, 2024)

### 3.3.2.1 Abfallannahmekriterien – Vorgaben der EU und Vorgaben in Deutschland

Hinsichtlich des Umweltschutzes spielen die Annahmekriterien zur Deponierung eine entscheidende Rolle bei der Beseitigung von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen. Eine Vorbehandlung insbesondere gemischter organikhaltiger Siedlungsabfälle („Restmüll“) dient dazu, deren Beschaffenheit und das Auslaug- sowie Gasbildungsverhalten so zu verändern, dass die Annahmekriterien erfüllt werden.

Die grundlegenden Anforderungen an die Deponierung von Abfällen in den Mitgliedstaaten der EU sind in der Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien festgelegt. Zudem legt die Entscheidung des Rates vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien die Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Deponien einschließlich der Anforderungswerte für das Auslaugverhalten fest.

Die EU-Richtlinie von 1999 definiert drei Deponieklassen für Inertabfälle, nicht gefährliche Abfälle und gefährliche Abfälle. Mitgliedstaaten können ferner Unterklassen sowohl für Deponien für nicht gefährliche Abfälle als auch die anderen Deponieklassen festlegen. Die deutsche Deponieverordnung nutzt diese Möglichkeit der Unterklassifizierung von Deponien und definiert die Deponieklasse I für nicht gefährliche Abfälle mit strengeren Zuordnungswerten bzw. Anforderungen an die Abfallqualität im Vergleich zur Deponieklasse II respektive der EU-Deponieklasse für nicht gefährliche Abfälle (Tabelle 16). Aufgrund des deutlich geringeren Schad-

stoffpotentials der Abfälle der Deponieklasse I gegenüber der Deponieklasse II sind einige Reduzierungen bei den technischen Barrieren möglich. Dies betrifft insbesondere den Verzicht auf das zweite Dichtungselement innerhalb der Basisabdichtung und der Oberflächenabdichtung.

Auf die Deponieklasse DK IV (Untertagedeponien) wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da schwerpunktmäßig oberirdische Deponien mit deren Sickerwasser- und Deponiegasemissionen betrachtet werden sollen.

**Tabelle 16: Vergleich EU-Deponieklassen mit Deponieklassen gemäß der Deponieverordnung**

| EU-Deponieklasse          | DepV-Deponieklasse | Bemerkung                                                                                                                                                      |
|---------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inertabfälle              | DK 0               | Vergleichbar mit EU-Deponieklasse für Inertabfälle                                                                                                             |
| Nicht gefährliche Abfälle | DK I               | Erhöhte Anforderungen an die Abfallqualität bzw. Zuordnungswerte gegenüber denen der DK II, dafür reduzierte Anforderungen an Basis- und Oberflächenabdichtung |
| Nicht gefährliche Abfälle | DK II              | Vergleichbar mit EU-Deponieklasse für nicht gefährliche Abfälle                                                                                                |
| Gefährliche Abfälle       | DK III             | Vergleichbar mit EU-Deponieklasse für gefährliche Abfälle                                                                                                      |

Im Anhang 3 der DepV sind in der dortigen Tabelle 2 die Zuordnungswerte für Deponien der Klassen 0, I, II und III aufgeführt (Tabelle 17). Für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle gelten einige abweichende Vorgaben hinsichtlich des organischen Anteils, des DOC-Gehalts im Eluat und der biologischen Abbaubarkeit:

- Der organische Anteil des Trockenrückstands der Originalsubstanz gilt als eingehalten, wenn ein TOC von 18 Masseprozent oder ein Brennwert ( $H_o$ ) von 6.000 kJ/kg TM nicht überschritten wird.
- Es gilt ein DOC im Eluat von max. 300 mg/l.
- Die biologische Abbaubarkeit des Trockenrückstands der Originalsubstanz von 5 mg/g (bestimmt als Atmungsaktivität – AT4) oder von 20 l/kg (bestimmt als Gasbildungsrate im Gärtest – GB21) wird nicht überschritten.

Damit wird diesem Behandlungsverfahren insofern Rechnung getragen, dass höhere organische Gehalte im Feststoff wie der TOC von 18 Masseprozent zugelassen werden als bei inerten oder thermisch vorbehandelten Abfällen. Um dennoch eine geringe biologische Restaktivität und Deponiegasbildung sicherzustellen, wurden die ergänzenden Vorgaben an die biologische Abbaubarkeit anhand der Gasbildungsrate oder der Atmungsaktivität festgelegt.

Im Vergleich der Zuordnungswerte des organischen Anteils, der Feststoffe und der Eluate zwischen den Deponieklassen der EU und der DepV zeigt sich ein weitgehend identisches Bild (Tabelle 17).

Nur in wenigen Ausnahmefällen wurden in der Deponieverordnung strengere Zuordnungswerte gewählt wie beim TOC im Feststoff der Deponieklasse 0 oder zusätzliche Zuordnungswerte festgelegt wie für die Summe PAK nach EPA, die extrahierbaren lipophilen Stoffe oder Cyanid:

- So gibt es bezüglich des organischen Anteils des Trockenrückstands der Originalsubstanz Abweichungen bei der Deponieklasse 0/EU-Klasse-Inert hinsichtlich des Parameters TOC mit kleiner 1 Masse% TM für die DepV im Vergleich zu 3 Masse% TM für die EU-Klasse-Inert.

Des Weiteren sind für die EU-Klasse Inert und für nicht gefährliche Abfälle keine Angaben zum Glühverlust festgelegt.

- ▶ Die Feststoffkriterien sind im Vergleich sehr ähnlich, lediglich bei den extrahierbaren lipophilen Stoffen in der Originalsubstanz sind gemäß DepV zusätzlich Zuordnungswerte einzuhalten.
- ▶ Bei den Eluatkriterien sind die Parameter im Vergleich ebenfalls nahezu identisch. Lediglich der pH-Wert für die Deponieklasse II darf gemäß der Deponieverordnung mit 5,5 etwas saurer sein als  $\geq 6$  gemäß der EU-Klassifizierung für nicht gefährliche Abfälle.

Allerdings gibt es einen deutlichen Unterschied im Anwendungsbereich der Annahmekriterien. Gemäß der DepV dürfen nur Abfälle abgelagert werden, die die Zuordnungswerte nachweislich erfüllen. Im Gegensatz dazu dürfen gemäß der Entscheidung des Rates vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien Siedlungsabfälle, die als nicht gefährlich eingestuft sind, getrennt gesammelte, nicht gefährliche Haushaltsabfallfraktionen und die gleichen, nicht gefährlichen Materialien anderen Ursprungs ohne Prüfung auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle abgelagert werden (Anhang 2.2.1).

**Tabelle 17: Vergleich der Annahmekriterien EU-Deponieklassen mit deutschen Deponieklassen**

Anhang 3, Tabelle 2  
Zuordnungswerte  
(DepV, 2009)

**Abgleich mit:** **ENTSCHEIDUNG DES RATES**  
vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und  
Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß  
Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG (2003/33/EG)

| 1        | 2                                                                                 | 3          | 5                | vgl. zu 5                | 6                                                             | 7                                                             | vgl. zu (6) und 7                          | 8                     | vgl. zu 8                    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nr       | Parameter                                                                         | Maßeinheit | DK 0             | EU inert                 | DK I                                                          | DK II                                                         | EU nicht gefährlich                        | DK III                | EU gefährlich                |
| <b>1</b> | <b>organischer Anteil des Trockenrückstands der Originalsubstanz<sup>2)</sup></b> |            |                  |                          |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 1.01     | Glühverlust                                                                       | Masse% TM  | $\leq 3^{2a)}$   |                          | $\leq 3^{2a)3)4)5)}$                                          | $\leq 5^{3)4)5)}$                                             |                                            | $\leq 10^{4)5)}$      | <b>10<sup>18)</sup></b>      |
| 1.02     | TOC                                                                               | Masse% TM  | $\leq 1^{2a)}$   | <b>3<sup>17)</sup></b>   | $\leq 1^{2a)3)4)5)}$                                          | $\leq 3^{3)4)5)}$                                             |                                            | $\leq 6^{4)5)}$       | <b>6<sup>19)</sup></b>       |
| <b>2</b> | <b>Feststoffkriterien</b>                                                         |            |                  |                          |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 2.01     | Summe BTEX                                                                        | mg/kg TM   | $\leq 6$         | <b>6</b>                 |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 2.02     | PCB                                                                               | mg/kg TM   | $\leq 1$         | <b>1</b>                 |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 2.03     | Mineralölkohlenwasserstoffe                                                       | mg/kg TM   | $\leq 500$       | <b>500</b>               |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 2.04     | Summe PAK nach EPA                                                                | mg/kg TM   | $\leq 30$        |                          |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 2.05     | Benzo(a)pyren                                                                     | mg/kg TM   |                  |                          |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 2.06     | Säureneutralisationskapazität                                                     | mmol/kg    |                  |                          | muss bei gefährlichen Abfällen ermittelt werden <sup>7)</sup> | muss bei gefährlichen Abfällen ermittelt werden <sup>7)</sup> | <b>muss ermittelt werden<sup>20)</sup></b> | muss ermittelt werden | <b>muss ermittelt werden</b> |
| 2.07     | Extrahierbare lipophile Stoffe in der Originalsubstanz                            | Masse% TM  | $\leq 0,1$       |                          | $\leq 0,4^{5)}$                                               | $\leq 0,8^{5)}$                                               |                                            | $\leq 4^{5)}$         |                              |
| <b>3</b> | <b>Eluatkriterien</b>                                                             |            |                  |                          |                                                               |                                                               |                                            |                       |                              |
| 3.01     | pH-Wert                                                                           |            | 5,5 - 13         |                          | 5,5 - 13                                                      | 5,5 - 13                                                      | $\geq 6^{20)}$                             | 4 - 13                |                              |
| 3.02     | DOC <sup>9)</sup>                                                                 | mg/l       | $\leq 50$        | <b>50<sup>21)</sup></b>  | $\leq 50^{3)10)}$                                             | $\leq 80^{3)10)11)}$                                          | <b>80<sup>22)</sup></b>                    | $\leq 100$            | <b>100<sup>23)</sup></b>     |
| 3.03     | Phenole                                                                           | mg/l       | $\leq 0,1$       | <b>0,1</b>               | $\leq 0,2$                                                    | $\leq 50$                                                     |                                            | $\leq 100$            |                              |
| 3.04     | Arsen                                                                             | mg/l       | $\leq 0,05$      | <b>0,05</b>              | $\leq 0,2$                                                    | $\leq 0,2$                                                    | <b>0,2</b>                                 | $\leq 2,5$            | <b>2,5</b>                   |
| 3.05     | Blei                                                                              | mg/l       | $\leq 0,05$      | <b>0,05</b>              | $\leq 0,2$                                                    | $\leq 1$                                                      | <b>1</b>                                   | $\leq 5$              | <b>5</b>                     |
| 3.06     | Cadmium                                                                           | mg/l       | $\leq 0,004$     | <b>0,004</b>             | $\leq 0,05$                                                   | $\leq 0,1$                                                    | <b>0,1</b>                                 | $\leq 0,5$            | <b>0,5</b>                   |
| 3.07     | Kupfer                                                                            | mg/l       | $\leq 0,2$       | <b>0,2</b>               | $\leq 1$                                                      | $\leq 5$                                                      | <b>5</b>                                   | $\leq 10$             | <b>10</b>                    |
| 3.08     | Nickel                                                                            | mg/l       | $\leq 0,04$      | <b>0,04</b>              | $\leq 0,2$                                                    | $\leq 1$                                                      | <b>1</b>                                   | $\leq 4$              | <b>4</b>                     |
| 3.09     | Quecksilber                                                                       | mg/l       | $\leq 0,001$     | <b>0,001</b>             | $\leq 0,005$                                                  | $\leq 0,02$                                                   | <b>0,02</b>                                | $\leq 0,2$            | <b>0,2</b>                   |
| 3.10     | Zink                                                                              | mg/l       | $\leq 0,4$       | <b>0,4</b>               | $\leq 2$                                                      | $\leq 5$                                                      | <b>5</b>                                   | $\leq 20$             | <b>20</b>                    |
| 3.11     | Chlorid <sup>12)</sup>                                                            | mg/l       | $\leq 80$        | <b>80</b>                | $\leq 1500^{13)}$                                             | $\leq 1500^{13)}$                                             | <b>1500</b>                                | $\leq 2500$           | <b>2500</b>                  |
| 3.12     | Sulfat <sup>12)</sup>                                                             | mg/l       | $\leq 100^{15)}$ | <b>100<sup>24)</sup></b> | $\leq 2000^{13)}$                                             | $\leq 2000^{13)}$                                             | <b>2000</b>                                | $\leq 5000$           | <b>5000</b>                  |
| 3.13     | Cyanid, leicht freisetzbar                                                        | mg/l       | $\leq 0,01$      |                          | $\leq 0,1$                                                    | $\leq 0,5$                                                    |                                            | $\leq 1$              |                              |
| 3.14     | Fluorid                                                                           | mg/l       | $\leq 1$         | <b>1</b>                 | $\leq 5$                                                      | $\leq 15$                                                     | <b>15</b>                                  | $\leq 50$             | <b>50</b>                    |
| 3.15     | Barium                                                                            | mg/l       | $\leq 2$         | <b>2</b>                 | $\leq 5^{13)}$                                                | $\leq 10^{13)}$                                               | <b>10</b>                                  | $\leq 30$             | <b>30</b>                    |
| 3.16     | Chrom, gesamt                                                                     | mg/l       | $\leq 0,05$      | <b>0,05</b>              | $\leq 0,3$                                                    | $\leq 1$                                                      | <b>1</b>                                   | $\leq 7$              | <b>7</b>                     |
| 3.17     | Molybdän                                                                          | mg/l       | $\leq 0,05$      | <b>0,05</b>              | $\leq 0,3^{13)}$                                              | $\leq 1^{13)}$                                                | <b>1</b>                                   | $\leq 3$              | <b>3</b>                     |
| 3.18a    | Antimon <sup>16)</sup>                                                            | mg/l       | $\leq 0,006$     | <b>0,006</b>             | $\leq 0,03^{13)}$                                             | $\leq 0,07^{13)}$                                             | <b>0,07</b>                                | $\leq 0,5$            | <b>0,5</b>                   |
| 3.18b    | Antimon - C <sub>0</sub> -Wert <sup>16)</sup>                                     | mg/l       | $\leq 0,1$       | <b>0,1</b>               | $\leq 0,12^{13)}$                                             | $\leq 0,15^{13)}$                                             | <b>0,15</b>                                | $\leq 1,0$            | <b>1,0</b>                   |
| 3.19     | Selen                                                                             | mg/l       | $\leq 0,01$      | <b>0,01</b>              | $\leq 0,03^{13)}$                                             | $\leq 0,05^{13)}$                                             | <b>0,05</b>                                | $\leq 0,7$            | <b>0,7</b>                   |
| 3.20     | Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen <sup>12)25)</sup>                            | mg/l       | $\leq 400$       | <b>400</b>               | $\leq 3000$                                                   | $\leq 6000$                                                   | <b>6000</b>                                | $\leq 10000$          | <b>10000</b>                 |

Auszug zu Fußnoten der Deponieverordnung, Anhang 3, Tabelle 2 (DepV, 2009):

- 2) Nummer 1.01 kann gleichwertig zu Nummer 1.02 angewandt werden.
- 2a) Für Bodenmaterial ohne Fremdbestandteile sind Überschreitungen beim Glühverlust bis 5 Masse% oder beim TOC bis 3 Masse% zulässig, wenn die Überschreitung ausschließlich auf natürliche Bestandteile des Bodenmaterials zurückgeht.
- 3) Eine Überschreitung des Zuordnungswertes ist mit Zustimmung der zuständigen Behörde bei Bodenaushub (Abfallschlüssel 17 05 04 und 20 02 02 nach der Anlage zur Abfall-

- verzeichnis-Verordnung) und bei Baggergut (Abfallschlüssel 17 05 06 nach der Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung) zulässig, wenn
- a) die Überschreitung ausschließlich auf natürliche Bestandteile des Bodenaushubes oder des Baggergutes zurückgeht,
  - b) sonstige Fremdbestandteile nicht mehr als 5 Volumenprozent ausmachen,
  - c) bei der gemeinsamen Ablagerung mit gipshaltigen Abfällen der DOC-Wert maximal 80 mg/l beträgt,
  - d) auf der Deponie, dem Deponieabschnitt oder dem gesonderten Teilabschnitt eines Deponieabschnitts ausschließlich nicht gefährliche Abfälle abgelagert werden und
  - e) das Wohl der Allgemeinheit – gemessen an den Anforderungen dieser Verordnung – nicht beeinträchtigt wird.
- 4) Der Zuordnungswert gilt nicht für Aschen aus der Braunkohlefeuerung sowie für Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe aus Hochtemperaturprozessen; zu Letzteren gehören insbesondere Abfälle aus der Verarbeitung von Schlacke, unbearbeitete Schlacke, Stäube und Schlämme aus der Abgasreinigung von Sinteranlagen, Hochöfen, Schachtofen und Stahlwerken der Eisen- und Stahlindustrie. Bei gemeinsamer Ablagerung mit gipshaltigen Abfällen darf der TOC-Wert der in Satz 1 genannten Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe maximal 5 Masseprozent betragen. Eine Überschreitung dieses TOC-Wertes ist zulässig, wenn der DOC-Wert maximal 80 mg/l beträgt.
  - 5) Gilt nicht für Asphalt auf Bitumen- oder auf Teerbasis.
  - 7) Nicht erforderlich bei asbesthaltigen Abfällen und Abfällen, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten.
  - 8) Abweichende pH-Werte stellen allein kein Ausschlusskriterium dar. Bei Über- oder Unterschreitungen ist die Ursache zu prüfen. Werden jedoch auf Deponien der Klassen I und II gefährliche Abfälle abgelagert, muss deren pH-Wert mindestens 6,0 betragen.
  - 9) Der Zuordnungswert für DOC ist auch eingehalten, wenn der Abfall oder der Deponieersatzbaustoff den Zuordnungswert nicht bei seinem eigenen pH-Wert, aber bei einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 einhält.
  - 10) Auf Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe auf Gipsbasis nur anzuwenden, wenn sie gemeinsam mit gefährlichen Abfällen abgelagert oder eingesetzt werden.
  - 11) Überschreitungen des DOC-Wertes bis maximal 100 mg/l sind zulässig, wenn auf der Deponie oder dem Deponieabschnitt keine gipshaltigen Abfälle und seit dem 16. Juli 2005 ausschließlich nicht gefährliche Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe abgelagert oder eingesetzt werden.
  - 12) Nummer 3.20 kann gleichwertig zu den Nummern 3.11 und 3.12 angewandt werden.
  - 13) Der Zuordnungswert gilt nicht, wenn auf der Deponie oder dem Deponieabschnitt seit dem 16. Juli 2005 ausschließlich nicht gefährliche Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe abgelagert oder eingesetzt werden.
  - 15) Überschreitungen des Sulfatwertes bis zu einem Wert von 600 mg/l sind zulässig, wenn der Co-Wert der Perkolationsprüfung den Wert von 1.500 mg/l bei L/S = 0,1 l/kg nicht überschreitet.

- 16) Überschreitungen des Antimonwertes nach Nummer 3.18a sind zulässig, wenn der Co-Wert der Perkulationsprüfung bei  $L/S = 0,1$  l/kg nach Nummer 3.18b nicht überschritten wird.

Auszug zu Fußnoten zu Tabellen im Anhang der Entscheidung des Rates vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien (2003/33/EG):

- 17) Bei Boden kann von der zuständigen Behörde ein höherer Grenzwert festgelegt werden, sofern für DOC der Grenzwert von 500 mg/kg ausgehend von  $L/S = 10$  l/kg beim pH-Wert des Bodens oder bei einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 eingehalten wird.
- 18) Es ist entweder der Glühverlust (LOI) oder TOC zugrunde zu legen.
- 19) Wird dieser Wert nicht eingehalten, so kann von der zuständigen Behörde ein höherer Grenzwert zugelassen werden, sofern für DOC der Grenzwert von 1 000 mg/kg ausgehend von  $L/S = 10$  l/kg beim pH-Wert des Materials oder bei einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 eingehalten wird.
- 20) Betrifft nur spezielle gefährliche Abfälle (siehe Artikel 6, Buchstabe c, Ziffer iii der DepRL), die auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle abgelagert werden können.
- 21) Hält der Abfall diese Grenzwerte für DOC bei seinem eigenen pH-Wert nicht ein, kann er alternativ bei  $L/S = 10$  l/kg und einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 untersucht werden. Der Abfall kann als die Annahmekriterien für DOC erfüllend betrachtet werden, wenn das Ergebnis dieser Untersuchung 500 mg/kg nicht überschreitet.
- 22) Hält der Abfall diese Grenzwerte für DOC bei seinem eigenen pH-Wert nicht ein, kann er alternativ bei  $L/S = 10$  l/kg und einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 untersucht werden. Der Abfall kann als die Annahmekriterien für DOC erfüllend betrachtet werden, wenn das Ergebnis dieser Untersuchung 800 mg/kg nicht überschreitet.
- 23) Hält der Abfall diese Grenzwerte für DOC bei seinem eigenen pH-Wert nicht ein, kann er alternativ bei  $L/S = 10$  l/kg und einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 untersucht werden. Der Abfall kann als die Annahmekriterien für DOC erfüllend betrachtet werden, wenn das Ergebnis dieser Untersuchung 1.000 mg/kg nicht überschreitet.
- 24) Werden bei dem Abfall diese Grenzwerte für Sulfat nicht eingehalten, können die Annahmekriterien dennoch als erfüllt gelten, wenn die Auslaugung die folgenden Werte nicht überschreitet: 15.000 mg/l als  $C_0$  bei  $L/S = 0,1$  l/kg und 6.000 mg/kg bei  $L/S = 10$  l/kg. Zur Ermittlung des Grenzwerts bei  $L/S = 0,1$  l/kg unter anfänglichen Gleichgewichtsbedingungen ist eine Perkulationsprüfung erforderlich, während der Wert von  $L/S = 10$  l/kg entweder durch einen Schüttelauslaugtest oder eine Perkulationsprüfung unter annähernd lokalen Gleichgewichtsbedingungen zu ermitteln ist.
- 25) Statt der Werte für Sulfat und Chlorid können die Werte für vollständig gelöste Feststoffe (TDS) herangezogen werden.

#### **Zielvorgaben zur Reduzierung der Abfallmengen zur Deponierung**

Neben den Anforderungen an die Beschaffenheit der abzulagernden Abfälle wurden in den EU-Regelungen Zielvorgaben zur Reduzierung der Abfallmengen, die biologisch abbaubare Abfallfraktionen aufweisen, festgelegt.

So besagt Artikel 5 Abs. (2) c) der Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien, dass spätestens 15 Jahre nach dem in Artikel 18 Absatz 1 genannten Zeitpunkt (2016) die zu deponierende Menge biologisch abbaubarer Siedlungsabfälle auf 35 (Gewichts-) Prozent der Gesamtmenge der biologisch abbaubaren Siedlungsabfälle reduziert werden muss,

die 1995 oder im letzten Jahr vor 1995, für das einheitliche Eurostat-Daten vorliegen, erzeugt wurde. Als Ausnahmeregelung wird ausgeführt, dass Mitgliedstaaten, die 1995 oder im letzten Jahr vor 1995, für das einheitliche Eurostat-Daten vorliegen, mehr als 80% ihrer eingesammelten Siedlungsabfälle in Deponien verbringen, die Erfüllung der genannten Zielvorgabe (von 15 Jahren) um höchstens vier Jahre aufschieben können. Die Umsetzung dieser Bestimmung „darf unter keinen Umständen dazu führen“, dass dieses Ziel erst später als vier Jahre nach dem genannten Zeitpunkt erreicht wird.

In der "Richtlinie (EU) 2018/850 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien" wurden nochmals weitergehende Anforderungen an die Ablagerung unbehandelter biologisch abbaubarer Abfälle auf Deponien festgelegt. Daher wurde die Deponierichtlinie 1999/31/EG im Artikel 5 wie folgt erweitert:

*„(5) Die Mitgliedstaaten treffen alle erforderlichen Maßnahmen, um sicherzustellen, dass die Menge der auf Deponien abgelagerten Siedlungsabfälle bis 2035 auf höchstens 10 (Gewichts-) Prozent des gesamten Siedlungsabfallaufkommens verringert wird.“*

Auch zu dieser Anforderung wurden Ausnahmeregelungen getroffen:

*„(6) Ein Mitgliedstaat kann die Frist für die Erreichung der Zielvorgabe gemäß Absatz 5 um bis zu fünf Jahre verlängern, sofern dieser Mitgliedstaat*

*a) den im gemeinsamen Fragebogen von OECD und Eurostat zur Verfügung gestellten Daten zufolge im Jahr 2013 mehr als 60% seiner Siedlungsabfälle auf Deponien abgelagert hat,...*

*(8) Im Falle einer Verlängerung der Frist gemäß Absatz 6 trifft der Mitgliedstaat alle erforderlichen Maßnahmen, um die Menge seiner auf Deponien abgelagerten Siedlungsabfälle bis 2035 auf höchstens 25% des gesamten Siedlungsabfallaufkommens zu verringern.“*

Der Vergleich zwischen den Abfallannahmekriterien lässt folgende Schlüsse zu:

- ▶ In Deutschland werden bereits seit 2005 strengere Anforderungen an die Qualität abzulagernder Abfälle bzw. deren Reststoffe nach einer Vorbehandlung gestellt. Diese Anforderungen betreffen generell die schärferen Annahmekriterien des TOC und Glühverlusts im Feststoff sowie zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung die Zuordnungswerte AT<sub>4</sub> / GB<sub>21</sub> in Verbindung mit dem TOC sowohl im Feststoff als auch im Eluat. Eine Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle ist aufgrund dieser Anforderungen ausschließlich auf einer Deponie bzw. einem Deponieabschnitt der Deponieklasse II möglich.
- ▶ Innerhalb der EU werden wie erläutert Siedlungsabfälle als nicht gefährlich eingestuft, wodurch sie ohne weitere Prüfung auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle angenommen werden können. Gemäß der aktuellen EU-Deponierichtlinie dürfen derzeit noch bis zu 35 Gewichtsprozent der Gesamtmenge der biologisch abbaubaren Siedlungsabfälle bezogen auf das Jahr 1995 abgelagert werden. Erst ab 2035 soll dieser Bezugswert auf 10 Gewichtsprozent (bezogen auf das gesamte Siedlungsabfallaufkommen) reduziert werden. Diese von der deutschen Deponieverordnung abweichende Regelung führt zu erhöhten Belastungen durch organische Verbindungen und Stickstoff im Sickerwasser sowie einem weiterhin bedeutenden Potential für die Bildung von Deponiegas, selbst wenn dieses im Vergleich zu 1995 um 65% reduziert sein sollte und (erst) ab 2035 nochmals deutlich abgesenkt wird. Zudem sind Fristverlängerungen zur Erreichung dieser Zielvorgaben, die nicht unmittelbar rechtlich bindend sind, möglich.
- ▶ Dafür ist gemäß den EU-Regelungen für diese Deponien weiterhin eine Erfassung und Behandlung bzw. Verwertung von Deponiegas vorgesehen. Dieses ist bei Deponien und

Deponieabschnitten in Deutschland, die nach dem 31.05.2005 in Betrieb gegangen sind und nach dem aktuellen Stand der Technik betrieben werden, in der Regel nicht mehr erforderlich.

### **3.3.2.2 Auswirkungen unterschiedlicher Regelungen auf die klimarelevanten Treibhausgasemissionen**

Eingangs wurde bereits dokumentiert, dass sich in Deutschland aufgrund der Reduzierung der Menge zu beseitigender Abfälle und der thermischen sowie mechanisch-biologischen Vorbehandlung die Methanbildung auf Deponien von 1993 bis 2022 um 89% und die Methanemissionen um 94% verringert haben. Die derzeit noch entstehenden Methanemissionen resultieren überwiegend aus der Deponierung biologisch abbaubarer Abfallfraktionen bis 2005.

Mit der nachfolgenden quantitativen Betrachtung soll verdeutlicht werden, wie sich die abfallwirtschaftlichen Maßnahmen und die Regelungen der deutschen Deponieverordnung auf die klimarelevanten Treibhausgasemissionen der aktuell noch abgelagerten biologisch abbaubaren Abfallfraktionen auswirken. Dazu wird die klimarelevante Methanbildung aus der Abfallablagerung des Jahres 1995 und 2022 miteinander verglichen, wofür Angaben des Nationalen Inventarberichts von 2024 herangezogen werden. Anschließend wird eine vergleichbare Betrachtung für das Methanbildungspotential unter den Regelungen der EU zur Reduzierung der organischen Abfallbestandteile bei der Deponierung vorgenommen. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden die Methanbildungspotentiale auf jeweils 100.000 Tonnen Feuchtmasse als Abfallinput bezogen.

Hinsichtlich des Begriffs des „Methanbildungspotentials“ ist zu ergänzen, dass es nicht innerhalb eines kurzen Zeitraums wie dem Jahr der Ablagerung als methanhaltiges Deponiegas freigesetzt wird, sondern dass sich diese Gasbildung über einen längeren Zeitraum von mehreren Jahrzehnten erstreckt. Dieses wird über die Halbwertszeit der anaeroben biologischen Abbauprozesse erfasst, ist aber für die nachfolgende vergleichende Betrachtung ohne Belang. Auf die zeitliche Entwicklung der Methanbildung wird im weiteren Verlauf dieses Berichts noch näher eingegangen.

### **Emissionsbetrachtung zur Deponierung unter den Anforderungen und Beseitigungswegen in Deutschland**

Die Tabellen 18 und 19 zeigen die Mengen an biologisch abbaubaren Abfallfraktionen, die 1995 und 2021 auf deutschen Deponien deponiert wurden.

Das daraus resultierende Methanbildungspotential ergibt sich nach folgender Formel (IPCC, 2006):

$$L_0 = \text{DOC} * \text{DOC}_f * F * 16/12$$

$L_0$  Methanbildungspotential [kg CH<sub>4</sub>/kg FM] oder [m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg FM]

DOC Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs [kgC/kg FM]

DOC<sub>f</sub> Anteil des DOC, der unter anaeroben Bedingungen biologisch abbaubar ist [-]

F Anteil des CH<sub>4</sub> am Deponiegas [-] IPCC Default-Wert von 50%

16/12 stöchiometrische Umrechnung von Kohlenstoff zu Methan

Bezogen auf die Ablagerungsmenge des Jahres 1995 beträgt das Methanbildungspotential 1.318.975 Mg CH<sub>4</sub>.

Bezogen auf den Abfallinput bzw. dessen Menge von 100.000 Mg FM beträgt das Methanbildungspotential ca. 3.564 Mg CH<sub>4</sub>. Damit wird neben der zunehmenden Reduzierung der Abfallinputmenge auch die Auswirkung der Vorbehandlung, thermisch oder mechanisch-biologisch, berücksichtigt. Die Kapazität der mechanisch-biologischen Vorbehandlung war zu dem Zeitpunkt allerdings noch vernachlässigbar gering, während die thermische Behandlung bereits einen nennenswerten Anteil bezogen auf die Deponierung ausmachte.

Bezogen auf die deutlich reduzierte Ablagerungsmenge biologisch abbaubarer Abfälle des Jahres 2022 beträgt das Methanbildungspotenzial nur noch 5.669 Mg CH<sub>4</sub>.

Bezogen auf den Abfallinput bzw. dessen Menge von 100.000 Mg FM beträgt das Methanbildungspotential lediglich etwa 35 Mg CH<sub>4</sub>. Damit wird neben der Reduzierung der Abfallinputmenge durch die getrennte Erfassung auch die Auswirkung der Vorbehandlung, thermisch oder mechanisch-biologisch, berücksichtigt. Die Behandlungskapazitäten beider Verfahren wurden seit 1995 erheblich ausgeweitet, so dass nahezu der gesamte Siedlungsabfall zur Beseitigung, der biologisch abbaubare Anteile enthält, wie auch der zu deponierende Klärschlamm vorbehandelt wird.

**Tabelle 18: Methanbildungspotential aufgrund der Deponierung biologisch abbaubarer Abfälle, Bezug auf das Jahr 1995 (Daten aus Nationalem Inventarbericht 2024, Kapitel 7.2.1.2.2 – 7.2.1.2.8)**

| Fraktion                                      | Deponierung<br>1995<br>[Mio. Mg FM] | DOC-<br>Werte<br>[%] | DOC <sub>r</sub> -<br>Werte<br>[-] | L <sub>0</sub><br>[kg CH <sub>4</sub> /kg FM] | Methanbildungs-<br>potential 1995<br>[Mg CH <sub>4</sub> ] |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Organik                                       | 7,515                               | 15%                  | 0,5                                | 0,050                                         | 376.000                                                    |
| Garten- und Parkabfälle                       | 0                                   | 20%                  | 0,5                                | 0,067                                         | 0                                                          |
| Papier und Pappe                              | 4,372                               | 40%                  | 0,5                                | 0,133                                         | 582.933                                                    |
| Holz und Stroh                                | 1,889                               | 43%                  | 0,1                                | 0,029                                         | 54.151                                                     |
| Textilien + Windeln                           | 2,082                               | 24%                  | 0,5                                | 0,080                                         | 166.560                                                    |
| Verbundstoffe                                 | 2,644                               | 10%                  | 0,5                                | 0,033                                         | 88.133                                                     |
| Klärschlamm                                   | 1,024                               | 15%                  | 0,5                                | 0,050                                         | 51.200                                                     |
| MBA-Abfälle                                   | 0                                   | 2,3%                 | 0,5                                | 0,008                                         | 0                                                          |
| <b>Gesamt</b>                                 | <b>19,526</b>                       |                      |                                    |                                               | <b>1.318.975</b>                                           |
| <b>Abfallinput zur Beseitigung</b>            | <b>Ca. 37</b>                       |                      |                                    |                                               |                                                            |
| <b>bezogen auf 100.000 Mg<br/>Abfallinput</b> |                                     |                      |                                    |                                               | <b>3.564</b>                                               |

L<sub>0</sub> bei F = 0,5 und stöchiometrischem Umrechnungsfaktor 16/12

**Tabelle 19: Methanbildungspotential aufgrund der Deponierung biologisch abbaubarer Abfälle, Bezug auf das Jahr 2022 (Daten aus Nationalem Inventarbericht 2024, Kapitel 7.2.1.2.2 – 7.2.1.2.8)**

| Fraktion                                  | Deponierung 2022 [Mio. Mg FM] | DOC-Werte [%] | DOC <sub>r</sub> -Werte [-] | L <sub>0</sub> [kg CH <sub>4</sub> /kg FM] | Methanbildung s-potential 2022 [Mg CH <sub>4</sub> ] |
|-------------------------------------------|-------------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Organik                                   | 0,001                         | 15%           | 0,5                         | 0,050                                      | 50                                                   |
| Garten- und Parkabfälle                   | 0                             | 20%           | 0,5                         | 0,067                                      | 0                                                    |
| Papier und Pappe                          | 0,009                         | 40%           | 0,5                         | 0,133                                      | 1200                                                 |
| Holz und Stroh                            | 0                             | 43%           | 0,1                         | 0,029                                      | 0                                                    |
| Textilien + Windeln                       | 0,001                         | 24%           | 0,5                         | 0,080                                      | 80                                                   |
| Verbundstoffe                             | 0                             | 10%           | 0,5                         | 0,033                                      | 0                                                    |
| Klärschlamm                               | 0,049                         | 3%            | 0,5                         | 0,050                                      | 490                                                  |
| MBA-Abfälle                               | 0,502                         | 2,3%          | 0,5                         | 0,008                                      | 3.849                                                |
| <b>Gesamt</b>                             | <b>0,562</b>                  |               |                             |                                            | <b>5.669</b>                                         |
| <b>Abfallinput zur Beseitigung</b>        | <b>Ca. 16</b>                 |               |                             |                                            |                                                      |
| <b>bezogen auf 100.000 Mg Abfallinput</b> |                               |               |                             |                                            | <b>35</b>                                            |

L<sub>0</sub> bei F = 0,5 und stöchiometrischem Umrechnungsfaktor 16/12

Klärschlamm: DOC aufgrund der Vorbehandlung von 15% auf 3% reduziert.

#### Emissionsabschätzung zur Deponierung gemäß den Anforderungen der EU-Deponierichtlinie

Würden von den biologisch abbaubaren Siedlungsabfällen, die 1995 noch deponiert wurden, noch 35% mit den damaligen biologisch abbaubaren organischen Anteilen deponiert, so ergibt sich ein Methanbildungspotential gemäß Tabelle 20.

**Tabelle 20: Methanbildungspotential bei einer Deponierung von 35% an biologisch abbaubaren Abfällen, Bezug auf Zusammensetzung des Jahres 1995 (Angaben abgeleitet aus Nationalem Inventarbericht 2023)**

| Fraktion                                  | Deponierung von 35% bez. auf 1995<br>[Mio. Mg FM] | DOC-Werte<br>[%] | DOC <sub>f</sub> -Werte<br>[-] | L <sub>0</sub><br>[kg CH <sub>4</sub> /kg FM] | Methanbildungspotential<br>[Mg CH <sub>4</sub> ] |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Organik                                   | 2,630                                             | 15%              | 0,5                            | 0,050                                         | 131.600                                          |
| Garten- und Parkabfälle                   | 0                                                 | 20%              | 0,5                            | 0,067                                         | 0                                                |
| Papier und Pappe                          | 1,530                                             | 40%              | 0,5                            | 0,133                                         | 204.027                                          |
| Holz und Stroh                            | 0,661                                             | 43%              | 0,1                            | 0,029                                         | 18.953                                           |
| Textilien + Windeln                       | 0,729                                             | 24%              | 0,5                            | 0,080                                         | 58.296                                           |
| Verbundstoffe                             | 0,925                                             | 10%              | 0,5                            | 0,033                                         | 30.847                                           |
| Klärschlamm                               | 0,358                                             | 15%              | 0,5                            | 0,050                                         | 17.920                                           |
| MBA-Abfälle                               | 0                                                 | 2,3%             | 0,5                            | 0,008                                         | 0                                                |
| <b>Gesamt</b>                             | <b>6,834</b>                                      |                  |                                |                                               | <b>461.641</b>                                   |
| <b>Abfallinput zur Deponierung</b>        | <b>Ca. 19,5</b>                                   |                  |                                |                                               |                                                  |
| <b>bezogen auf 100.000 Mg Abfallinput</b> |                                                   |                  |                                |                                               | <b>2.367</b>                                     |

L<sub>0</sub> bei F = 0,5 und stöchiometrischem Umrechnungsfaktor 16/12

Auch hier hätte sich gemäß den Vorgaben der EU-Deponierichtlinie das Methanbildungspotential bezogen auf die Verteilung und auf 35% reduzierte Mengen des Jahres 1995 bereits deutlich auf 461.641 Mg CH<sub>4</sub> im Betrachtungsjahr (bzw. nach der EU-Vorgabe spätestens ab 2014) vermindert.

Bezogen auf den Abfallinput, der gemäß der EU-Regelung auf die deponierte Menge zu beziehen ist, bzw. dessen Menge von 100.000 Mg FM beträgt das Methanbildungspotential etwa 2.367 Mg CH<sub>4</sub>.

#### Fazit zu dieser Betrachtung:

- Die Anforderungen der Deponieverordnung an abzulagernde Abfälle führen in Deutschland dazu, dass ein großer Anteil der Siedlungsabfälle zur Beseitigung thermisch und ein kleinerer Anteil mechanisch-biologisch behandelt wird (Destatis, 2024):
  - Thermische Abfallbehandlung zu 88% mit einem verbleibenden Methanbildungspotential L<sub>0</sub> nach thermischer Behandlung von 0 kg CH<sub>4</sub>/kg FM
  - Mechanisch-biologische Abfallbehandlung zu 12%, mit einem verbleibenden Methanbildungspotential der zu deponierenden Reststoffe von  
 $L_0 = 0,023 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 16/12 = 0,00767 \text{ kg CH}_4/\text{kg FM}$ .  
 Die Reststoffe der mechanisch-biologischen Vorbehandlung bilden mit Bezug auf das Jahr 2022 mengenmäßig den weitaus größten Anteil bei der Deponierung biologisch abbaubarer Abfallfraktionen.

- ▶ Die Reststoffe der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung weisen gemeinsam mit den weiteren verbleibenden Abfallfraktionen, die deponiert werden, bezogen auf 100.000 Mg Abfallinput lediglich ca. 48 Mg CH<sub>4</sub> als Methanbildungspotential auf, was bei einem Wert des Global Warming Potential des Methans von 28 ca. 1.335 Mg CO<sub>2eq.</sub> entspricht.
- ▶ Aufgrund der Regelungen der EU könnten von 100.000 Mg Siedlungsabfällen zur Beseitigung auf Deponien derzeit noch bis zu 35% bzw. 35.000 Mg FM mit organischen Anteilen deponiert werden. Für Deutschland würde sich bezogen auf die anteilige Zusammensetzung der biologisch abbaubaren Abfälle im Jahr 1995 daraus ein Methanbildungspotential von ca. 2.367 Mg CH<sub>4</sub> bzw. ca. 66.276 Mg CO<sub>2eq.</sub> ableiten.
- ▶ Nach einem Bericht der EU-Kommission liegt die durchschnittliche Deponierungsquote für Siedlungsabfälle in der EU im Jahr 2020 bei 23 % (siehe unten, Angabe unter Einbeziehung von Deutschland, wo die Deponierungsquote von biologisch abbaubaren Abfallfraktionen unter 1 % liegt). Sofern diese Prozentangabe auf eine Siedlungsabfallmasse von 100.000 Mg FM bezogen wird, würde sich das auf das Jahr 2022 bezogene Methanbildungspotential auf ca. 1.555 Mg CH<sub>4</sub> belaufen.
- ▶ Auch wenn die gewählten Annahmen eine gewisse Schwankungsbreite aufweisen, so unterscheiden sich die klimarelevanten Methanbildungspotentiale bei der Deponierung um eine bis zwei Zehnerpotenzen.
- ▶ Im Hinblick auf die Methanemissionen, die nicht gefasst und behandelt werden, sondern in die Atmosphäre entweichen, ist der Gaserfassungsgrad zu berücksichtigen. Er liegt bezogen auf alle Deponien bzw. Abfallablagerungen seit 1950 in Deutschland im Jahr 2022 bei 47,8% (NIR, 2024). Bei Deponien und Deponieabschnitten, die sich früher im Ablagerungsbetrieb unbehandelter Siedlungsabfälle befanden, waren häufig noch keine oder nur teilweise Gasfassungseinrichtungen installiert, so dass der Gaserfassungsgrad gerade in der Phase, wo intensiv Deponiegas gebildet wird, gering war. Aufgrund dieser Erfahrungen in der Vergangenheit wurden die Anforderungen in der Deponieverordnung und den Vorgängerregelungen mit einer zwingenden Vorbehandlung der Siedlungsabfälle, die biologisch abbaubare Abfallfraktionen enthalten, vor der Deponierung festgelegt.
- ▶ Bei den Vorbehandlungsverfahren entstehen zwar ebenfalls gasförmige Emissionen, wobei diese jedoch nahezu vollständig erfasst und behandelt werden, z.B. in Abgasreinigungsanlagen. Methan aus Vergärungsstufen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung kann wie die Wärmeenergie der Abfallverbrennung zudem energetisch genutzt werden, was zu einer positiven Klimabilanz der Vorbehandlung beiträgt (Ketelsen, 2022).
- ▶ Ab 2035 soll gemäß der Fortschreibung der EU-Deponierichtlinie der Bezugswert deponierbarer Siedlungsabfälle auf 10 Gewichtsprozent bezogen auf das Siedlungsabfallaufkommen zu dem Zeitpunkt reduziert werden und der Anteil deponiegasbildender Organik aufgrund der getrennten Erfassung und Behandlung der biologisch abbaubaren Abfallfraktionen wie auch der Bioabfälle weiter abnehmen. Auch bei dieser im Grundsatz positiven Weiterentwicklung würden dennoch von Deponien für nicht gefährliche Abfälle höhere klimarelevante Methanemissionen ausgehen als unter den Anforderungen der deutschen Deponieverordnung. Es könnte sich analog zu der erläuterten Vorgehensweise um treibhausgasrelevante Methanbildungspotentiale in einer Höhe von ca. 676 Mg CH<sub>4</sub> bezogen auf 100.000 Mg FM handeln.

In einem Bericht der EU-Kommission zur Ermittlung der Mitgliedstaaten, bei denen die Gefahr besteht, dass sie die Zielvorgaben für die Verringerung der Deponierung von Abfällen bis 2035 nicht erreichen, wird dazu ausgeführt (EU-Kommission, 2023):

- ▶ Während die Menge deponierter Siedlungsabfälle in der EU bis 2016 insgesamt rückläufig war (Rückgang um 18 % im Zeitraum 2013–2016), verlief der Trend von 2017 bis 2020 nicht linear (im Jahr 2020 wurden rund 53,5 Mio. Tonnen Siedlungsabfälle auf Deponien verbracht). Überdies lag die durchschnittliche Deponierungsquote für Siedlungsabfälle in der EU im Jahr 2020 immer noch bei 23 %. Es bestehen jedoch weiter große Unterschiede in der EU: Im Jahr 2020 verbrachten acht Mitgliedstaaten noch mehr als 50 % ihrer Siedlungsabfälle auf Deponien, wobei drei davon eine Quote von mehr als 70 % angaben.
- ▶ Insgesamt 13 Mitgliedstaaten sind noch weit von der Zielvorgabe entfernt, bis 2035 höchstens 10 % der Siedlungsabfälle auf Deponien zu verbringen.
- ▶ In einer für die Kommission durchgeführten Studie, die in dem EU-Kommissionsbericht zitiert wird, wurde zudem festgestellt, dass 15 Mitgliedstaaten die nach der Richtlinie zwingend vorgeschriebene Behandlung der Abfälle vor der Deponierung (Artikel 6 Buchstabe a der Deponierichtlinie) nicht ganz erreichten.

### **3.3.3 Unterarbeitspaket 3.1 – Grundwasserschutz**

Das Kapitel „Grundwasserschutz“ umfasst die Aspekte geologische Barriere, Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung, Sickerwasserfassung und –ableitung sowie Sickerwasserreinigung. Diese Aspekte werden in den folgenden Unterkapiteln detailliert betrachtet und für den deutschen Regelungsbereich dargestellt. Darüber hinaus ist ein geeigneter Deponiestandort eine notwendige Voraussetzung dafür, dass das Wohl der Allgemeinheit durch die Deponie nicht beeinträchtigt wird. Zu berücksichtigen sind besonders geschützte oder schützenswerte Flächen wie Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete sowie Wasservorranggebiete, welche als Deponiestandorte i.d.R. auszuschließen sind. Wald- und Naturschutzgebiete und Biotopflächen sowie solche Flächen, auf denen die Gefahr von Erdbeben, Überschwemmungen, Bodensenkungen, Erdfällen, Hangrutschen oder Lawinen auf dem Gelände drohen, sollten nur nach sorgfältiger Prüfung im Einzelfall berücksichtigt werden. Auf einen ausreichenden Schutzabstand zu sensiblen Bereichen wie z. B. zu Wohnbebauungen und Erholungsgebieten ist ebenso wie auf die Ableitbarkeit des gesammelten Sickerwassers aus dem Deponiekörper im freien Gefälle zu achten (DepV, 2009).

#### **3.3.3.1 Geologische Barriere**

##### **Beschreibung**

Der Untergrund von Deponien stellt im Sinne des Multibarrierenkonzepts die geologische Barriere dar, die aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften (Grundwasserdeckschicht, Homogenität und Schadstoffrückhaltevermögen) eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder sonstige nachteilige Veränderung seiner Beschaffenheit dauerhaft verhindern soll.

##### **Technische Beschreibung**

Die geologische Barriere befindet sich an der untersten Stelle im Abgrenzungsbereich zum Grundwasser. Sie wird mit dem darüberliegenden Basisabdichtungssystem im Verbund angeordnet, d.h. das Basisabdichtungssystem setzt direkt im Pressverbund auf der geologischen Barriere auf. Zur Vermeidung einer lateralen Verteilung von aus der Basisabdichtung austretendem Sickerwasser muss die geologische Barriere vollflächig die Sohle und Böschung der Basisabdichtung unterlagern. Ihre Wirkung entfaltet die geologische Barriere nur, wenn das Basisabdichtungssystem, das das Sickerwasserfassungssystem mit beinhaltet, versagen sollte. Technische Anforderungen an die geologische Barriere sind für die Deponieklassen I bis III für nicht inerte Abfällen in der Tabelle 21 zusammengefasst.<sup>1</sup> Eine vollständige, natürliche geologische Barriere liegt dann vor, wenn die maßgeblichen Anforderungen nach Deponieverordnung

- ▶ Aufnahme der bodenmechanischen Belastungen aus der Deponie
- ▶ Anforderungen zur Wasserdurchlässigkeit, Mächtigkeit, Homogenität und Schadstoffrückhaltevermögen
- ▶ Mindestabstand von 1 Meter zur Oberkante der geologischen Barriere vom höchsten zu erwartenden freien Grundwasserspiegel

erfüllt sind.

Der Nachweis der o.g. Anforderungen erfolgt über eine sorgfältige geotechnische Erkundung und Beschreibung des Untergrundes, welche durch Bohrungen und Schürfe, in besonderen Fällen auch Schächte und Untersuchungsstollen Aufschluss über die Untergrundbeschaffenheit liefern. Ergänzt werden können die geotechnischen Verfahren durch die Anwendung von geophysikalischen Messmethoden, die zusätzlich Aussagen über den Aufbau und die Struktur

---

<sup>1</sup> Quelle: DepV, Anhang 1, Absatz 2.2

(Profil) des Untergrundes liefern können. Ergänzt wird die geotechnische Erkundung durch eine vorangestellte Bestandsaufnahme, in welcher alle Informationen aus Archiven, geowissenschaftlichen und topografischen Karten, meteorologischen Daten, Luft-, evtl. Weltraumbildern, Geländegestaltung und -nutzung aus dem Einfluss früherer Untergrundeingriffe sowie aus wasserwirtschaftlichen Rahmendaten und die Auswertung vorhandener Schichtenverzeichnisse von Bohrungen Berücksichtigung finden. Das Untersuchungsprogramm ist verantwortlich von einem qualifizierten geotechnischen Sachverständigen zu erstellen, zu überwachen und auszuwerten<sup>2</sup>.

**Tabelle 21: Anforderungen (Auszug) an die geologische Barriere<sup>3</sup>**

|                                    | DK I (nicht gefährliche Abfälle)      | DK II (nicht gefährliche Abfälle)     | DK III (gefährliche Abfälle)          |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Wasserdurchlässigkeit <sup>4</sup> | $k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ | $k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ | $k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| Mächtigkeit                        | $d \geq 1,0 \text{ m}$                | $d \geq 1,0 \text{ m}$                | $d \geq 5,0 \text{ m}$                |

Viele potentielle Deponiestandorte weisen keine vollkommene, natürliche geologische Barriere auf. Ist eine natürliche geologische Barriere grundsätzlich vorhanden, die jedoch die Anforderungen nach Deponieverordnung<sup>5</sup> hinsichtlich der Mindestanforderungen an Wasserdurchlässigkeit und Dicke nicht (vollständig) erfüllt, kann die geologische Barriere durch technische Maßnahmen vervollständigt oder verbessert werden. Verfügt ein Deponiestandort über keine geologische Barriere, kann diese durch technische Maßnahmen geschaffen werden.

Für die Verbesserung oder die Schaffung der geologischen Barriere dürfen nur Materialien, Komponenten oder Systeme eingesetzt werden, wenn sie dem Stand der Technik entsprechen und wenn dies der zuständigen Behörde nachgewiesen worden ist<sup>6</sup>. Der Nachweis kann dadurch erbracht werden, dass eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung der Länder vorgelegt wird.

Die für die technischen Maßnahmen in Frage kommenden natürlichen Baustoffe (möglichst ortsnah zu gewinnende Tone und Lehme) können ggf. durch Hilfsmittel (z.B. Bentonit, Tonmehl) verbessert werden. Die Materialanforderungen orientieren sich an den Vorgaben für die mineralischen Basisdichtungen und sind in der Tabelle 22 zusammenfassend dargestellt<sup>7</sup>.

<sup>2</sup> GDA E1-1

<sup>3</sup> Quelle: DepV Anhang 1, Nummer 2.2 Tabelle 1 (Auszug)

<sup>4</sup> Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ist bei einem Druckgradienten  $i = 30$  einzuhalten

<sup>5</sup> DepV Anhang 1 Nr. 1.2, siehe auch Tabelle 20

<sup>6</sup> DepV, Anhang 1, Nr. 2.1

<sup>7</sup> Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard BQS 2-0

**Tabelle 22: Anforderungen (Auszug) an die geologische Barriere<sup>8</sup>**

| Kriterien / Einwirkungen         | Leistungsfähigkeit                                                                           | Nachweise                                                                                                    |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mechanische Widerstandsfähigkeit | Standicherheit, hydraulisch widerstandsfähig (erosions- und suffosionsbeständig)             | Körnungslinien, siehe auch <sup>9</sup>                                                                      |
| Beständigkeit                    | Langzeitbeständigkeit (≥ 100 Jahre), beständig gegen aggressives Sickerwasser (pH 4 – pH 13) | gemäß einschlägiger GDA-Empfehlungen <sup>10</sup>                                                           |
| Sonstige Kriterien               | umweltverträglich                                                                            | Einhaltung rechtlicher Vorgaben; beim Einsatz von Deponieersatzbaustoffen <sup>11</sup> Vorgaben Teil 3 DepV |

Die Mindestdicke der vervollständigten oder verbesserten geologischen Barriere ergibt sich aus den Anforderungen der Deponieverordnung (siehe Tabelle 21), wobei die Mindestdicke auf 0,5 Meter reduziert werden kann, wenn durch eine entsprechend geringere Wasserdurchlässigkeit eine gleiche Schutzwirkung, auch bezüglich des Adsorptionsvermögens, erreicht wird. Zwischen der Mindestdicke nach Tabelle 21 und der Mindestdicke von 0,5 m (Nr. 1.2 Ziffer 3 DepV) kann in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsbeiwert der technischen Maßnahme interpoliert werden. Für die Vergleichsberechnung ist mit einem Wasserüberstau von 5,0 m über der Abdichtungskomponente zu rechnen<sup>12</sup>. Liegt keine geologische Barriere vor, sind die technischen Maßnahmen so durchzuführen, dass die Anforderungen nach Tabelle 21 eingehalten werden.

### Erzielter Umweltnutzen

Die geologische Barriere verhindert maßgeblich die potenzielle Ausbreitung sowie den Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund einer Deponie (ungesättigte und gesättigte Bodenzone) und das Grundwasser. Sie wirkt als redundantes Element, wenn Sickerwasser im Falle einer Leckage der Basisabdichtung aus dem Deponiekörper in den Untergrund austreten könnte. Die Wirkung beruht auf der spezifisch geringen hydraulischen Durchlässigkeit sowie dem Schadstoffrückhaltepotential des mineralischen Barrierematerials.

Da insbesondere Tonmineralien ein hohes Schadstoffrückhaltevermögen aufweisen, sollten diese in einem bestimmten Mindestmaß in der technisch verbesserten oder vervollständigten geologischen Barriere enthalten sein. Eine quantitative Beschreibung der komplexen chemischen und physikalischen Prozesse (u.a. Adsorption, Desorption, Abbau, Einbau, Fällung, Filtration) unter Berücksichtigung der realen, standortspezifischen Gegebenheiten ist jedoch schwierig (siehe auch GDA-Empfehlung E 1-11). Eine abschließende Bewertung wird durch die zuständige Behörde unter Hinzuziehung weiterer Fachstellen, z. B. der geologischen Landesdienste

<sup>8</sup> Quelle: DepV Anhang 1, Nummer 2.2 Tabelle 1 (Auszug)

<sup>9</sup> GDA 3-7 Erosion- und Suffosionsbeständigkeit von mineralischen Abdichtungsmaterialien

<sup>10</sup> GDA 1-11 Schadstoffrückhaltevermögen mineralischer Barrieren in Verbindung mit GDA 3-1 und 3-3

<sup>11</sup> Deponieersatzbaustoffe sind nach der Begriffsdefinition der DepV für Maßnahmen auf oberirdischen Deponien unmittelbar einsetzbare Abfälle sowie unter Verwendung von Abfällen hergestellte Materialien. Als Deponieersatzbaustoff oder als Ausgangsstoff zur Herstellung von Deponieersatzbaustoffen sind, außer für die Rekultivierungsschicht des Oberflächenabdichtungssystems, ausschließlich mineralische Abfälle zugelassen.

<sup>12</sup> BQS 1-0 „Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere“

vorgenommen. Grundsätzlich muss die künstlich geschaffene Barriere mindestens den gleichen Umweltnutzen einer natürlichen geologischen Barriere gewährleisten.

### **Umweltleistung und Betriebsdaten**

Die Leistung der geologischen Barriere wird rechnerisch anhand der hydraulischen Durchlässigkeit abgeleitet. Der hydraulische Rückhalt einer künstlich geschaffenen Barriere ist dabei aufgrund der technischen Anforderungen (Minstdicke in Verbindung mit dem jeweiligen Durchlässigkeitsbeiwert, siehe Tabelle 21) mindestens äquivalent zu dem einer natürlichen geologischen Barriere. Der Rückhalt potenziell schadstoffbelasteten Sickerwassers bis zur Durchsickerung der Barriere wird über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten (Deponien für nicht gefährliche Abfälle) bzw. mehr als einem Jahrhundert (Deponien für gefährliche Abfälle) prognostiziert. Das Schadstoffrückhaltevermögen findet in dieser hydraulischen Abschätzung keine Berücksichtigung.

### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Die geologische Barriere verhindert bzw. verzögert eine schädliche Verunreinigung der Medien unterhalb des Deponiekörpers (Boden und Grundwasser) sowie indirekt auch des Mediums Oberflächengewässer (infolge von Transportprozessen). Wesentlich ist, dass die geologische Barriere als eine zusätzliche Barriere zu der technisch erstellten Basisabdichtung einer Deponie vorgesehen ist. Darüber hinaus wird bereits im Zuge der Deponieplanung und –genehmigung ein Standortfindungsverfahren durchlaufen, welches auf den Schutz vorhandener Schutzgüter abzielt und über die Anwendung von Ausschlusskriterien ungeeignete Standorte verwirft. Neue Deponien sollen grundsätzlich nur in Gebieten errichtet werden, in denen der Untergrund ein hohes Schadstoffrückhaltevermögen besitzt. Gut geeignet sind hierfür Ton-, Schluff- und Mergelgesteine mit großer Mächtigkeit<sup>13</sup>.

Bei einer Vervollständigung, Verbesserung oder künstlichen Schaffung einer geologischen Barriere sind darüber hinaus die Auswirkungen von Emissionen aus Transporten des Materials, Emissionen beim Einbau sowie der Verbrauch an Primärressourcen und Energie zu berücksichtigen.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Die technischen Voraussetzungen für die geologische Barriere für DK III-Deponien (gefährliche Abfälle) sind in Deutschland sehr selten anzutreffen. Hierbei spielt insbesondere die große Mächtigkeit von mindestens 5 m eine entscheidende Rolle. Bei der Planung und Errichtung von Deponien für gefährliche Abfälle dürften daher technische Maßnahmen zur Vervollständigung oder Verbesserung der geologischen Barriere die Regel sein. Auch bei Deponien für nicht gefährliche Abfälle ist damit zu rechnen, dass potenzielle Standorte mit natürlichen geologischen Barrieren technisch nachgerüstet werden müssen. Während solche technischen Maßnahmen hinsichtlich der geforderten Minstdicke und Durchlässigkeit unproblematisch erscheinen, könnten die Anforderungen an das spezifische Schadstoffrückhaltevermögen sowohl bei der Vervollständigung bzw. Verbesserung der natürlichen geologischen Barriere als auch bei deren Ersatz infolge der Knappheit von ortsnahen natürlichen Baustoffen problematisch werden. Auch die Dicke der künstlich geschaffenen Barriere darf nicht beliebig verringert werden (z. B.  $\geq 0,5$  m), da ansonsten ein gleichwertiges Schadstoffrückhaltevermögen gegenüber einer 5 m mächtigen geologischen Barriere nicht mehr gegeben ist.

---

<sup>13</sup>

[https://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de/startseite/umweltschutz/kreislauf\\_und\\_abfallwirtschaft/deponietechnik/deponietechnik-52188.html](https://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de/startseite/umweltschutz/kreislauf_und_abfallwirtschaft/deponietechnik/deponietechnik-52188.html)

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Beim Vorhandensein der erforderlichen natürlichen geologischen Barriere ergeben sich grundsätzlich keine wirtschaftlichen Auswirkungen. Deponiestandorte, an denen die geologische Barriere künstlich geschaffen oder verbessert werden muss, weisen gegenüber Standorten mit verordnungskonformer, natürlicher geologischer Barriere einen signifikanten wirtschaftlichen Nachteil auf. Dieser ergibt sich sowohl aus der notwendigen Beschaffung der natürlichen Baustoffe als auch aus den Kosten für Einbau und Verdichtung sowie der notwendigen Qualitätssicherung. Demgegenüber können sich ggf. Kostenvorteile durch kürzere Transportwege der abzulagernden Abfälle auf den alternativen Standorten ergeben.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Die geologische Barriere sichert in Verbindung mit den weiteren Barrieren des Multibarrierenkonzepts den Untergrund einer Deponie vor schädlichen Verunreinigungen. Sofern die technischen Barrieren ihre Funktionstüchtigkeit verlieren sollten, steht mit der geologischen Barriere ein weiterer, unabhängig wirksamer und dauerhafter Schutz des Deponieuntergrunds zur Verfügung. Verbesserte, vervollständigte oder künstlich geschaffene geologische Barrieren ermöglichen es, Standorte bei der Deponieplanung zu berücksichtigen, die ansonsten aufgrund der natürlichen geologischen Verhältnisse ausgeschlossen werden müssten.

### **Musteranlagen**

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) mit natürlicher geologischer Barriere (nur NRW, aus Angaben der LAGA – Länderabfrage 2023):

- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW044 → Deponieklasse I
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW147 → Deponieklasse II
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW155 → Deponieklasse III

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) mit verbesserter oder künstlich geschaffener geologischer Barriere:

- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW055 → Deponieklasse I (Ersatz der geologischen Barriere mittels künstlicher, mineralischer Barriere)
- ▶ Rheinland-Pfalz → RP301 → DK II (multimineralische Basisabdichtung: technische Barriere (Sand mit Bentonit vergütet) und 3 Lagen mineralische Basisabdichtung (2 x 28 cm mit kaolinitischem Ton (Tonmehl) vergütet und 1 x 28 cm mit Bentonit vergütet))
- ▶ Rheinland-Pfalz → RP307 → Deponieklasse III (abgestuftes Adsorptionsvermögen in Verbindung mit der Mächtigkeit)

### **Referenzliteratur**

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

BQS 1-0 (2014): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 1-0 „Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere“ vom 16.07.2014, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-0 (2014): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-0 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten-übergreifende Anforderungen“ vom 04.12.2014, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter.

BQS 2-1 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-1 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht

unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-2 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-2 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.20, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-3 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

GDA E1-1 (2010): Geotechnische Standortuntersuchung. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggg.de/>.

GDA E1-11 (2019): Schadstoffrückhaltevermögen mineralischer Barrieren. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggg.de/>.

### **3.3.3.2 Basisabdichtungen**

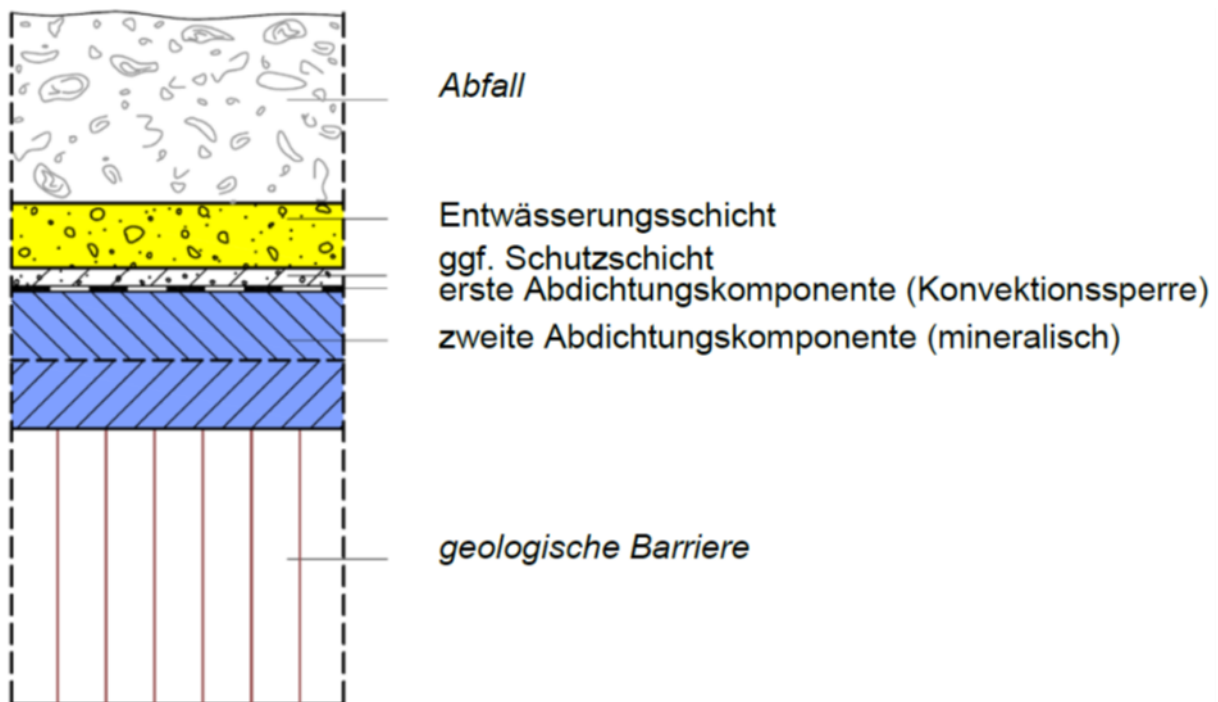
#### **Beschreibung**

Das Basisabdichtungssystem dient in der Kombination mit der unterlagernden geologischen Barriere sowie der integrierten Sickerwasserfassung dem dauerhaften Schutz des Bodens und des Grundwassers gegenüber dem Eindringen von Sickerwasser aus dem Deponiekörper sowie dessen geordneter Ableitung und Überführung zur Sickerwasserbehandlungsanlage.

#### **Technische Beschreibung**

Das Sickerwasser wird durch die Entwässerungsschicht (oberste Schicht des Abdichtungssystems) im freien Gefälle abgeleitet. Da die Abdichtungskomponenten einer Deponiebasis in direktem Kontakt zum Deponiesickerwasser stehen, muss die Beständigkeit gegen chemische und hydraulische Einwirkungen besonders hoch sein. Abbildung 8 zeigt schematisch die Anordnung der Schichtbereiche eines kombinierten Basisabdichtungssystems.

**Abbildung 8: Schema eines kombinierten Basisabdichtungssystems (exemplarisch für DK II)<sup>14</sup>**



Quelle: GDA E2-3 „Kombiniertes Basisabdichtungssystem“

Für Deponien der Klassen DK II und DK III sind zwei möglichst unabhängig voneinander wirkende Abdichtungskomponenten erforderlich (Kombinationsdichtung aus einer Konvektionssperre, i.d.R. Kunststoffdichtungsbahn oder in seltenen Fällen Asphaltabdichtung, über einer mineralischen Komponente). Bei Deponien der Klasse DK I ist aufgrund des geringeren Schadstoffinventars nur eine Abdichtungskomponente erforderlich<sup>15</sup> (Tabelle 23).

**Tabelle 23: Anforderungen an das Basisabdichtungssystem<sup>16</sup>**

| Systemkomponente                  | DK I                   | DK II                  | DK III                 |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Mineralische Entwässerungsschicht | $d \geq 0,5 \text{ m}$ | $d \geq 0,5 \text{ m}$ | $d \geq 0,5 \text{ m}$ |
| Erste Abdichtungskomponente       | erforderlich           | erforderlich           | erforderlich           |
| Zweite Abdichtungskomponente      | nicht erforderlich     | erforderlich           | erforderlich           |

Mineralische Abdichtungskomponenten, die über eine hydraulische Durchlässigkeit beschrieben werden können und Konvektionssperren, die wasserundurchlässig sind, unterscheiden sich in ihrer Wirksamkeit. Eine Kombinationsdichtung aus beiden Komponenten bildet ein redundantes System, in dem sich die Vorteile der Materialien ergänzen und sie in ihrer Wirksamkeit als fehlerausgleichend wirken. Bei Schädigung oder nachlassender Wirkung der Konvektionssperre erhält die zweite Komponente die Dichtwirkung des Systems langfristig aufrecht<sup>17</sup>. Nach dem in der Deponieverordnung (DepV, 2009) definierten Stand der Technik müssen die Materialien, die Herstellung der Systemkomponenten und deren Einbau sowie die Eigenschaften dieser Komponenten im Einbauzustand so gewählt werden, dass die Funktionserfüllung der

<sup>14</sup> GDA E2-3 „Kombiniertes Basisabdichtungssystem“

<sup>15</sup> DepV Anhang 1, Absatz 2.2

<sup>16</sup> DepV Anhang 1, Absatz 2.2

<sup>17</sup> GDA-Empfehlungen E2-03 Kombiniertes Basisabdichtungssystem

Abdichtungskomponenten und des Gesamtsystems unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren gewährleistet ist.

#### **A) Mineralische Dichtungskomponente**

Die mineralische Dichtungskomponente kann aus natürlichen mineralischen Baustoffen erstellt werden, sofern diese einer Qualitätsüberwachung unterliegen, sich durch Angabe geeigneter Merkmale eindeutig kennzeichnen lassen und deren zulässige Bandbreiten der Material- und Einbauparameter so festgelegt sind, dass sie sich bodenmechanisch und hydraulisch gleichartig verhalten<sup>18</sup>. Die DepV definiert des Weiteren Anforderungen zum Stand der Technik, welche das Abdichtungssystem, die Materialien und die Herstellung der Systemkomponenten beim Einbau und im Einbauzustand einhalten müssen<sup>19</sup>. Hierzu zählen die Beständigkeit gegenüber chemischen, biologischen und witterungsbedingten Einwirkungen, die Beständigkeit gegenüber alterungsbedingten nachteiligen Materialveränderungen sowie eine geeignete Materialzusammensetzung, Einbautechnik und Einbindung im Abdichtungssystem, um eine sehr niedrige Durchlässigkeit zu erreichen und die Gefahr einer Trockenrissbildung zu minimieren.

Alternativ zu den natürlichen Baustoffen können auch vergütete natürliche mineralische Baustoffe eingesetzt werden, sofern diese (nur) mit einer begrenzten Masse an Hilfsmitteln (z.B. Bentonit, Tonmehl) verbessert werden<sup>20</sup>. Deren Eignung ist gegenüber der zuständigen Behörde im jeweiligen Einzelfall nachzuweisen. Die zum Erreichen der Funktionserfüllung der Abdichtung eingesetzten Hilfsmittel müssen einer Qualitätsüberwachung unterliegen, durch Angabe geeigneter Merkmale eindeutig gekennzeichnet sein (mineralogische oder chemische Charakterisierung) und der Masseanteil, der zum Erreichen der Funktionserfüllung erforderlich ist, muss dokumentiert sein. Die eingesetzten Hilfsmittel dürfen aufgrund ihrer Beständigkeit die Funktionserfüllung der Abdichtung von mindestens 100 Jahren nicht beeinträchtigen. Grundsätzlich müssen die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

- ▶ Suffosionsbeständigkeit
- ▶ Keine Verwendung von Böden mit Grobkies größer 32 mm und Steinen, Holz, Wurzeln und anderen Fremdstoffen
- ▶ Organische Substanz < 1 Masse-%
- ▶ Carbonatgehalt < 15 Masse-%
- ▶ Baustoff muss im eingebauten Zustand den zu erwartenden Verformungen plastisch folgen können
- ▶ Gleichmäßiger Einbauwassergehalt

Darüber hinaus können auch mineralische Abfälle als Deponieersatzbaustoffe zur Erstellung der mineralischen Basisabdichtungskomponente, ggf. in Mischung mit natürlichen mineralischen Baustoffen sowie unter Einsatz von o.g. Hilfsmitteln, eingesetzt werden.<sup>21,22</sup>

Eine mineralische Abdichtungskomponente muss eine Mindestdicke von 0,5 m und einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $k \leq 5 \times 10^{-10}$  m/s bei einem Druckgradienten von  $i = 30$  einhalten<sup>23</sup>.

---

18 BQS 2-1 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“

19 DepV, Anhang 1, Nr. 2.1.1

20 BQS 2-2 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“

21 DepV §14, Abs. 1

22 BQS 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“

23 GDA-Empfehlungen E3-01 Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen

Die Dicke der mineralischen Dichtung ist im Rahmen der Bauausführung nachzuweisen, der zugehörige Durchlässigkeitsbeiwert ist baubegleitend durch genormte Labormessungen in Durchlässigkeitsprüfzellen im Rahmen einer qualifizierten Fremdprüfung nachzuweisen<sup>24</sup>.

Anforderungen an die mechanische Widerstandsfähigkeit der mineralischen Dichtungskomponente müssen verschiedene Einwirkungsphasen berücksichtigen:

- ▶ die Basisdichtung im Bauzustand,
- ▶ vor der Verfüllung,
- ▶ während der Verfüllung,
- ▶ in der Nachsorgephase und
- ▶ nach Entlassung aus der Nachsorge.

Die Leistungsfähigkeit der Dichtungskomponenten beinhaltet u.a. deren dauerhafte Stand- und Verformungssicherheit. Mindestens sind Nachweise zur inneren Scherfestigkeit, Steife- bzw. Verformungsmodul, Verformbarkeit des Dichtungselementes, Scherfestigkeit in vorhandenen Schichtgrenzen, Beständigkeit unter maßgebenden nicht mechanischen Einwirkungen sowie die mechanischen Eigenschaften für den geplanten Zustand nachzuweisen. Für Tonmineralische Dichtungen ist die Widerstandsfähigkeit zum Schutz gegen Erosion und Suffosion (Nachweis z.B. über Körnungslinien<sup>25</sup>) nachzuweisen

Hinsichtlich ihrer Beständigkeit müssen alle Abdichtungskomponenten langzeitstabil (> 100 Jahre) und beständig gegen aggressives Sickerwasser (pH 4 – pH 13) sein. Darüber hinaus sind die Beständigkeit gegenüber den ständigen Einwirkungen von Temperaturen zwischen 10 und 40 °C (ungünstigste Temperatur ist maßgebend) sowie die Beständigkeit gegenüber Wassergehaltsänderungen zu gewährleisten (Prüfung und Nachweis gemäß der Überdruckmethode mittels Druckplattenextraktor). Die Herstellbarkeit muss unter Baustellenbedingungen mit Sicherheit erbringbar und reproduzierbar sein. Innerhalb des Qualitätsmanagements nach Deponieverordnung ist dies über ein Probefeld nachzuweisen<sup>26</sup>.

## **B) Konvektionssperre**

Eine Konvektionssperre wird in der Regel aus Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) hergestellt oder in seltenen Fällen als Asphaltdichtung ausgeführt. In einer Kombinationsabdichtung wirkt die Konvektionssperre als erste Abdichtungskomponente. Bei Erfordernis von zwei Abdichtungskomponenten soll eine Komponente als Konvektionssperre ausgeführt sein.

Wird die Konvektionssperre als KDB ausgeführt, dürfen nur dem Stand der Technik entsprechende, zugelassene Geokunststoffe eingesetzt werden<sup>27</sup> (z.B. in Deutschland von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)). Bei fachgerechtem Einbau ist deren Beständigkeit gegenüber allen zu erwartenden Einwirkungen (wie z. B. chemische, alterungsbedingte oder mechanische Belastungen (z.B. Spannungsrissverhalten)) für Zeiträume von deutlich mehr als 100 Jahren nachgewiesen. Der Stand der Technik muss nicht nur von dem zugelassenen Geokunststoff-Produkt eingehalten werden, sondern auch der Einbau der Komponenten in das Abdichtungssystem<sup>28</sup>. Ziel beim Einbau der Dichtungsbahnen als Bestandteil einer klassischen

---

24 DIN EN ISO 17892-11 (ehemals DIN 18130)

25 GDA-Empfehlungen 3-03 Tonmineralogische Charakterisierung von mineralischen Basisabdichtungen

26 BQS 2-0 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten - übergreifende Anforderungen“

27 DepV, Anhang 1, Nr. 2.1.1

28 DepV, Anhang 1 Nr. 2.1.1

oder modifizierten Kombinationsdichtung ist, dass Auflasten wie Schutz-, Entwässerungs-, Abfall- und Rekultivierungsschichten zu einem vollflächigen Kontakt zwischen Dichtungsbahn und zweiter Abdichtungskomponente führen. Diese Glattlage und der dabei entstehende Pressverbund verhindern bei Fehlstellen oder Schäden die Ausbreitung von Wasser zwischen den Dichtungsschichten. Dadurch wird die angestrebte, vorbeugende Fehlertoleranz der Kombinationsdichtung erreicht. Eine KDB gilt somit nur als fachgerecht eingebaut, wenn sie von einer nachweislich erfahrenen und mit qualifiziertem Personal sowie erforderlichen Geräten und Maschinen ausreichend ausgestatteten Fachfirma eingebaut wurde. Die Anforderungen werden in der Richtlinie-Verlegefachbetriebe<sup>29</sup> der BAM beschrieben. Zudem muss eine qualifizierte Fremdprüfung von einer fachkundigen, erfahrenen und ausreichend mit Personal und Geräten ausgestatteten Stelle durchgeführt werden. Die dabei einzuhaltenden Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle sind in Deutschland in der Richtlinie-Fremdprüfer<sup>30</sup> der BAM beschrieben. Nur so können fehlerfreie Konvektionssperren aus KDB hergestellt werden (vgl. dazu auch<sup>31</sup>). Damit die KDB schadfrei eingebaut werden können und auch langfristig frei von Schäden bleiben, müssen die Anforderungen an das Auflager entsprechend der Vorgaben des Kapitels 6.5 der Zulassungsrichtlinie für KDB<sup>32</sup> eingehalten werden. Zudem muss zwischen der KDB und der darüber liegenden Schicht eine Schutzschicht verwendet werden.

Die KDB wird aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) in einer Dicke von mindestens 2,5 mm hergestellt. Sie ist entsprechend vollkommen gas- und wasserdicht. Die Kunststoffdichtungsbahnen werden vollflächig verschweißt, die dabei entstehenden Schweißnähte werden vollflächig einem spezifischen Qualitätsmanagementsystem unterworfen. Die Ausführung der Schweißarbeiten und der Baustellenprüfungen wird durch die einschlägigen Richtlinien<sup>33 34 35</sup> geregelt.

Die physikalischen Anforderungen an Kunststoffdichtungsbahnen werden durch die spezifischen Eigenschaften Oberflächenbeschaffenheit, Homogenität, Rußgehalt, Rußverteilung, Geradheit, Planlage, Dicke, Schmelze-Massefließrate (MFR) und Dichte, Maßänderung nach Warmlagerung, Dichtigkeit sowie die Oxidationsstabilität beschrieben. Eine vollständige Übersicht der allgemeinen physikalischen Anforderungen an Kunststoffdichtungsbahnen sowie die zugehörigen Prüfverfahren, Prüfbedingungen und verwendete Normen findet sich im Anhang D<sup>36</sup>. Weitere Anforderungen an die KDB charakterisieren deren mechanische Beanspruchungsgrenzen. Hierfür werden das Verhalten bei ein- und mehraxialer Verformung (Zug- und Berstdruckversuch), Widerstand gegen Weiterreißen (Weiterreißversuch), Widerstand gegen mehraxiale Belastung (Stempeldurchdruckversuch), Widerstand gegen fallende Lasten (Perforationsversuch), Verhalten bei niedrigen Temperaturen (Falzen bei tiefen Temperaturen), Relaxationsverhalten und die Beschaffenheit der Schweißnähte überprüft. Sämtliche mechanische Anforder-

---

<sup>29</sup> Richtlinie für die Anforderungen an Fachbetriebe für den Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen, weiteren Geokunststoffen und Kunststoffbauteilen in Deponieabdichtungssystemen (Richtlinie-Verlegefachbetriebe), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

<sup>30</sup> Richtlinie für Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle beim Einbau von Kunststoffkomponenten und -bauteilen in Deponieabdichtungssystemen (Richtlinie-Fremdprüfer), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

<sup>31</sup> Zero leakage? Landfill liner and capping systems in Germany, Müller W. W. and Wöhlecke A., Environmental Geotechnics 2019 Volume 6 Issue3, p. 162-170

<sup>32</sup> BAM (2023): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen

<sup>33</sup> DVS 2225-2 (02/2019) Schweißen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen – Baustellenprüfungen

<sup>34</sup> DVS 2225-4 10/2019 Schweißen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) für die Abdichtung von Deponien und Altlasten

<sup>35</sup> DVS 2225-6 02/2019 Schweißen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen – Anforderungen an Schweißmaschinen und Schweißgeräte

<sup>36</sup> BAM (2023): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen

rungen an die KDB finden sich im Anhang D. Anforderungen an die Beständigkeit und das Langzeitverhalten der KDB betreffen die Eigenschaften Beständigkeit gegen Chemikalien, Spannungsrissbildung, thermisch-oxidativen Abbau, Auslaugung in Wasser, Witterungseinflüsse, mikrobiellen Abbau und die Einwirkung von Pflanzenwurzeln und Rhizomen. Eine vollständige Übersicht der mechanischen Anforderungen sowie der Anforderungen an die Beständigkeit und das Langzeitverhalten der KDB findet sich im Anhang D.

KDB aus PEHD haben in der Regel die Eigenschaften besonders chemiekalienbeständig zu sein und Mikroorganismen zu widerstehen. U. a. durch den zugesetzten Ruß erlangen KDB aus PEHD eine hohe Witterungsbeständigkeit. Da UV-Strahlung aber eine hohe Belastung für Kunststoffe bedeutet, sollten sie dieser immer möglichst kurz ausgesetzt sein. Aus diesem Grund und damit ein Pressverbund in der Kombinationsdichtung verwirklicht werden kann, sollten die Auflasten bzw. die auf der KDB angeordneten Schichten am selben oder am folgenden Tag, spätestens jedoch am zweiten Arbeitstag nach dem Einbau der KDB aufgebracht werden. Wie bei z. B. Rohrwerkstoffen ist es entscheidend, dass das verwendete Material und die entsprechende Verarbeitung zu einem hohen Widerstand gegen Spannungsrissbildung führt<sup>37</sup>. Zudem ist es für eine lange Funktionsdauer einer Abdichtung aus KDB unerlässlich, dass eine hohe oxidative Beständigkeit gewährleistet werden kann. Dies ist nur durch ein entsprechend qualifiziertes Stabilisatorpaket zu erzielen. Daher sollten die Stabilisatoren und der Rohstoff definiert und offengelegt werden. Die Prüfverfahren der Zulassungsrichtlinie KDB gewährleisten eine hohe oxidative Beständigkeit, um eine Funktionsdauer von mindestens 100 Jahren bei einer maximalen dauerhaften Temperatur von 40 °C zu ermöglichen. Zur Gewährleistung von standsicherheitsrelevanten Vorgaben, insbesondere an Deponieböschungskubaturen werden Dichtungsbahnen mit strukturierter Oberfläche sowie zusätzlichen Anforderungen eingesetzt.

Neben den Kunststoffdichtungsbahnen werden in seltenen Fällen auch spezielle Asphaltdeckungen als Konventionssperre eingesetzt<sup>38</sup>. Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt erfüllen die Anforderungen an den Stand der Technik im Sinne der DepV, wenn sie nach der Güterrichtlinie für Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt<sup>39</sup> hergestellt, geprüft und eingebaut werden. Hierfür sieht das Qualitätsmanagement eine voneinander unabhängige Eigen- und Fremdüberwachung bei der Herstellung des Asphaltmischgutes sowie der Eigenprüfung durch die bauausführende Firma, der Fremdprüfung durch einen unabhängigen Dritten und der behördlichen Überwachung bei der Bauausführung vor. Bei der Herstellung sind Gesteinskörnungen zu verwenden, die mit einem spezifischen Bindemittel (polymer-modifiziertem Bitumen) hergestellt werden um damit die geforderte Konvektionsdichtigkeit zu erreichen. Hierbei können zwei Varianten zur Anwendung kommen: Eine zweilagige Variante (A), bestehend aus einer Asphalttrag- und einer spezifischen Asphaltdeckungsschicht und eine einlagige Variante (B), bestehend aus einer kombinierten Asphalttrag-/deckungsschicht. Wird eine Asphaltdeckung auf einer mineralischen Abdichtungskomponente angeordnet, ergeben sich andere Anforderungen an das Auflager als bei Einsatz einer Kunststoffdichtungsbahn auf der mineralischen Abdichtungskomponente. Dies gilt vor allem hinsichtlich der Kontaktfuge zwischen mineralischer Abdichtungskomponente und der Asphaltdeckung:

- Die Oberfläche der mineralischen Abdichtungsschicht muss als Tragschicht für die Deponieasphaltabdichtung trocken sein, um Wasserdampfeinschlüsse beim Aufbringen des heißen Asphalts zu vermeiden.

---

37 Anforderungen nach Tabelle 3 Nr. 3.2 der Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen, BAM (2023)

38 Entsprechend Anhang 1 Nr. 2.2 DepV in Verbindung mit BQS 2-4

39 DGGT (2015) Güterrichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt

- Das mineralische Dichtungsmaterial muss über eine gute Kornabstufung verfügen, um Schrumpfrisse bei Aufbringen des heißen Asphalts zu vermeiden und um eine ausreichende Tragfähigkeit zu gewährleisten (Verformungsmodul  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  Variante A und  $\geq 80 \text{ MN/m}^2$  Variante B).

### C) Entwässerungsschicht

Zur Fassung, Sammlung und Ableitung von Sickerwasser ist über den Abdichtungskomponenten im Basisabdichtungssystem eine Entwässerungsschicht erforderlich<sup>40</sup>. Die Anforderungen an diese Schicht sowie an die weiteren Komponenten des Entwässerungssystems, werden im Kapitel 3.3.3.5 „Sickerwasserfassung und -ableitung sowie Reinigungsverfahren“ beschrieben.

### D) Schutzschicht

Zwischen der Entwässerungsschicht und der Abdichtungskomponente werden Schutzschichten aus Geotextil oder Sand angeordnet, wenn das unmittelbare Aufliegen der Entwässerungsschicht auf der Abdichtungskomponente diese in ihrer Funktion beeinträchtigen würde. Die Schutzschicht verhindert die Beschädigung einer Kunststoffdichtungsbahn beim Einbau der darüberliegenden (Drän-)schichten mit schwerem Baugerät und die Perforation sowie die langfristige Beschädigung durch grobe Körner. Die nötigen Anforderungen an Schutzschichten und Nachweise der Schutzwirksamkeit werden in <sup>41</sup> beschrieben. Sie muss chemisch beständig gegenüber Sickerwasser sein. Die innere Festigkeit und die Reibung in den Kontaktflächen zu den angrenzenden Schichten müssen eine ausreichende Standsicherheit gewährleisten.

Nach dem Stand der Technik werden drei verschiedene Arten von Schutzschichtsystemen unterschieden:

- i) Schutzschichtsystem (Kombischutzschicht) aus einer geotextilen Schutzlage und einer zusätzlichen, die Last verteilenden mineralischen Schutzlage
- ii) Vorgefertigte oder vor Ort zu erstellende Schutzschichtsysteme aus Sand eingebettet in zwei Lagen Geotextil
- iii) Rein geosynthetische Schutzschicht unter Verwendung von Vliesstoffen oder Verbundstoffen aus Geweben, Geogittern oder anderen Geokunststoffen

- i) Schutzschichtsystem (Kombischutzschicht) aus einer geotextilen Schutzlage und einer zusätzlichen mineralischen Schutzlage

Es können Schutzschichtsysteme aus einer geotextilen Schutzlage und einer zusätzlichen, die Last verteilenden mineralischen Schutzlage (Kombischutzschicht) verwendet werden. Die geotextile Schutzlage wird häufig aus einem Vliesstoff mit einer Masse pro Flächeneinheit von mindestens  $1.200 \text{ g/m}^2$  hergestellt. Als Material für die mineralische Schutzlage wird in der Regel kalkarmes Brechkorn der Korngruppe 0/8 mm verwendet, und in einer Schichtdicke von 0,15 m eingebaut. Solange die Körnungslinien der Forderung nach einem filterstabilen Aufbau zur Dränschicht entsprechen, können jedoch auch andere mineralische Baustoffe, etwa auch Sekundärbaustoffe, eingesetzt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass diese Baustoffe eine ausreichende Schutzwirkung entfalten und beständig sind. Für die Anforderungen an die mineralische Komponente sei auf<sup>42</sup> verwiesen.

---

40 BQS 3-1 „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungssystemen“

41 Richtlinie für die Zulassung von Schutzschichten für Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen (Zulassungsrichtlinie-KDE), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

42 GDA-Empfehlung E 3-12 „Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten“

ii) Vorgefertigte oder vor Ort zu erstellende Schutzschichtsysteme aus Sand

Für diese Schutzschichtsysteme wird Sand (Korngruppe 0/2 mm) verwendet, der in unterschiedlicher Weise in Geotextilien verpackt wird. Die Systeme werden entweder werkmäßig vollständig vorgefertigt (z. B. fertige Sandmatten) oder als geotextile Container vor Ort mit Sand gefüllt. Ebenso ist ein Schutzschichtaufbau aus einer mindestens 10 cm dicken Sandschicht (Korngröße 0/2 mm), einem Trenngeotextil mit einer Masse pro Flächeneinheit von mindestens 400 g/m<sup>2</sup> direkt auf der Kunststoffdichtungsbahn als Einbauhilfe gegen Beschädigung und einer geotextilen Trennschicht auf der Sandschicht geeignet.

iii) Rein geosynthetische Schutzschicht

Als weitere Option können rein geosynthetische Schutzschichten unter Verwendung von Vliesstoffen oder Verbundstoffen aus Geweben, Geogittern oder anderen Geokunststoffen eingesetzt werden.

Zulassungen für Schutzschichten in Basisabdichtungen im Sinne der Feststellung der generellen Eignung unter Berücksichtigung der Anforderungen der Deponieverordnung und üblicher Auflast werden nur für geosynthetische Komponenten in der Kombischutzschicht (i und ii, vorgefertigt) erteilt. Zugelassene Schutzschichten nach (i) (Kombischutzschicht) und (ii) (z. B. vorgefertigte Komplettsysteme) bieten bei den üblichen Entwässerungsschichten (siehe DIN 19667) bis zu Auflasten von 900 kN/m<sup>2</sup> eine ausreichende Schutzwirkung für die Kunststoffdichtungsbahn in der Basisabdichtung. Mit der Erteilung der Zulassung sind daher Prüfungen der Schutzwirksamkeit bei einzelnen Deponiebauvorhaben i.d.R. nicht mehr erforderlich. Ausschließlich geosynthetische Schutzschichten (iii) werden nur in Ausnahmefällen in der Basisabdichtung eingesetzt. Insbesondere auf Böschungen werden z. T. feinkörnigere Dränmaterialien, z. B. mineralisches Material der Körnung 8/16 mm, verwendet. Sind zudem die geplanten Auflasten gering (z. B. kleiner als 300 kN/m<sup>2</sup>) und in der Umgebung der Schutzschicht herrschen Temperaturverhältnisse, die denen in natürlichen Böden ähneln (mittlere Temperatur ≤ 20 °C), so kann unter diesen Voraussetzungen die folgende Variante eine ausreichende Schutzwirkung bieten:

Verwendung einer rein geosynthetischen Schutzschicht direkt unter der mineralischen Dränschicht. Ein Vliesstoff muss dabei eine Masse pro Flächeneinheit von mindestens 2.000 g/m<sup>2</sup> aufweisen. Projektbezogen kann die Masse pro Flächeneinheit deutlicher größer sein. Der Einbau dieser Variante in Basisabdichtungen ist unter den genannten Bedingungen zulässig, wenn für den beim Bauvorhaben gewählten Abdichtungsaufbau ein Nachweis der mechanischen Schutzwirksamkeit nach GDA-Empfehlung E 3-9<sup>43</sup> durchgeführt wird.

Der Schutzwirksamkeitsnachweis muss auch für die anderen Schutzschichten im Einzelfall durchgeführt werden, wenn eine Auflast von > 900 kN/m<sup>2</sup> zu erwarten ist, die mineralische Dränschicht > 16/32 mm ist oder eine Kornform abweichend von doppelgebrochenem oder Rundkorn vorliegt.

Bei der Verwendung von mineralischen Schutzschichten ist die Filterstabilität gegenüber der Entwässerungsschicht einzuhalten. Ggf. ist dazu eine geotextile Trennschicht anzuordnen.

Auf Kunststoffdichtungsbahnen in Basisabdichtungssystemen werden grundsätzlich Schutzschichten angeordnet. Abdichtungsschichten aus Deponieasphalt mit ausreichendem Eindrückwiderstand gegenüber Punktbelastungen, wie sie die grobe Körnung der Entwässerungsschicht hervorrufen kann, erfordern keine Schutzschichten.

---

<sup>43</sup>GDA-Empfehlung E 3-9 „Eignungsprüfung für Geokunststoffe“

### **Erzielter Umweltnutzen**

Das Basisabdichtungssystem dient dem dauerhaften Schutz des Bodens und des Grundwassers gegenüber dem belasteten Sickerwasser aus dem Deponiekörper im Ablagerungsbereich einer Deponie. Die Funktion beruht auf dem zuverlässigen Schutz vor einer Durchsickerung durch entsprechende Abdichtungskomponenten in Verbindung mit der kontrollierten und druckfreien Ableitung des Sickerwassers, welches in einem Fassungssystem geordnet abgeleitet und in Abhängigkeit der spezifischen Belastung einer entsprechenden Behandlung bzw. Abreinigung zugeführt wird.

### **Umweltleistung und Betriebsdaten**

Ein Basisabdichtungssystem verhindert den Austritt von Sickerwasser aus dem Deponiekörper vollständig. Anfallendes Sickerwasser wird im Entwässerungssystem gesammelt und im freien Gefälle abgeleitet. Dabei soll die Sickerwassereinstauhöhe über den Abdichtungskomponenten der Basisabdichtung minimiert werden. Die maximale Einstauhöhe darf hierbei nicht höher als die Mächtigkeit der Entwässerungsschicht sein. Für die hydraulische Bemessung des Entwässerungssystems auf der Basisabdichtung (Entwässerungsschicht, Abstand der Entwässerungsleitungen und Quergefälle) sind die während des Betriebszustandes bei offener Einbaufläche anfallenden Sickerwasserspenden (auch Starkregenereignisse, Vorgaben zur Dimensionierung entsprechend GDA E2-14) maßgeblich. Durch den stationären Ansatz dieser Größe sind auch längere abflussreiche Perioden rechnerisch abgedeckt.

### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Über die kontrollierte Fassung und Ableitung des Deponiesickerwassers trägt das Basisabdichtungssystem zum Schutz des Bodens sowie Grund- und Oberflächenwassers vor Kontaminationen bei.

Weitere medienübergreifende Auswirkungen des Basisabdichtungssystems werden durch die Emissionen bei der Herstellung und den Transporten der Materialien, den Emissionen beim Einbau sowie dem Verbrauch an Primärressourcen und Energie verursacht.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Das Basisabdichtungssystem (als Ganzes) muss ausreichend mechanisch stabil sein, um den Belastungen durch das Gewicht des Deponieinhalts standzuhalten und ungleichmäßige Setzungen zu kompensieren, die die Abdichtungskomponenten in Ihrer Funktion einschränken oder beschädigen könnten. Die Basisabdichtung muss nach Abklingen der Setzungen und Verformungen des Basisabdichtungssystems und des Deponieuntergrundes am Entwässerungshorizont ein Längsgefälle  $> 1\%$  (entspricht dem Gefälle der Sickerleitungen) und ein Quergefälle  $> 3\%$  aufweisen<sup>44</sup>. Während des Bauprozesses ist eine kontinuierliche Qualitätsüberwachung erforderlich, um sicherzustellen, dass das gesamte Abdichtungssystem gemäß den Spezifikationen und Standards ausgeführt wird.

Die Einhaltung der Anforderungen muss durch Maßnahmen des Qualitätsmanagements kontrolliert werden<sup>45</sup>. Im Qualitätsmanagementplan werden die Anforderungen an die zu verwendeten Materialien, den Einbau und die durchzuführenden Kontrollen (Überwachungswerte, -maßnahmen, -intervalle, Prüfmethode) unter Berücksichtigung der diesbezüglichen Bestimmungen in der Eignungsbeurteilung festgelegt<sup>46</sup>. Letztere sieht vor, dass für alle Materialien, Komponenten und Systeme Eignungsnachweise auf der Basis von Eignungsprüfungen zu erbringen sind. Vor Baubeginn sind zusätzlich die Eignung der Materialien, der Baugeräte und der Bauverfahren

---

<sup>44</sup> GDA E 2-14 „Basis-Entwässerung von Deponien“, Nr. 4.1 (c)

<sup>45</sup> DepV, Anhang 1, Nr. 2.1

<sup>46</sup> GDA E 5-1 „Grundsätze des Qualitätsmanagements“

unter Feldbedingungen in einem Probefeld zu überprüfen und im Qualitätsmanagementplan festzulegen<sup>47</sup>. Der Qualitätsmanagementplan ist rechtzeitig vor Beginn der Baumaßnahmen zu erstellen und der abfallrechtlich zuständigen Behörde zur Zustimmung vorzulegen. Ziel beim Einbau der Abdichtungsbahnen als Bestandteil einer Kombinationsdichtung ist, dass Auflasten wie Schutz-, Entwässerungs-, Abfall- und Rekultivierungsschichten zu einem vollflächigen Kontakt zwischen Dichtungsbahn und zweiter Abdichtungskomponente führen. Diese Glattlage dient zur Vermeidung von Beschädigungen der KDB durch Knicke oder Falten und der dabei entstehende Pressverbund verhindert darüber hinaus die Ausbreitung von Wasser zwischen den Abdichtungsschichten infolge von Fehlstellen oder Schäden. Dadurch wird der angestrebte, vorbeugende Fehlerausgleich der Kombinationsdichtung erreicht.

Die mineralische Dichtung muss im eingebauten Zustand den zu berechnenden Verformungen plastisch folgen können. Auflastbedingte Verformungen des Dichtungsauflagers dürfen die Funktionstüchtigkeit der Deponieabdichtungssysteme nicht nachteilig beeinträchtigen. Die Einhaltung der Vorgaben zur vertikalen hydraulischen Durchlässigkeit der mineralischen Abdichtung wird durch Anforderungswerte zum Hohlraumgehalt (Luftporenanteil) und der Plastizität (Verdichtungsgrad) des mineralischen Materials sichergestellt.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Die Erstellung einer qualifizierten Deponiebasisabdichtung ist mit erheblichen Kosten verbunden. Insbesondere für die Deponieklassen DK II und DK III, welche mit einer Kombinationsdichtung auszurüsten sind, sind hierbei erhebliche Investitionen für Material, Einbau und Qualitätsüberwachung notwendig. Darüber hinaus ergeben sich signifikante Kostenpositionen für die Sickerwasserrohre, welche aufgrund ihrer Materialart (zumeist HDPE) und der notwendigen Dimensionierung die Gesamtkosten weiter erhöhen.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Das Deponiebasisabdichtungssystem gewährleistet als weitere Barriere zusammen mit der geologischen Barriere einen dauerhaften Schutz des Bodens und Grundwassers vor einer schädlichen Verunreinigung durch belastetes Deponiesickerwasser. Hierbei ist zu beachten, dass die Basisabdichtung, anders als beispielsweise die Oberflächenabdichtung, i.d.R. nicht reparabel ist. Insofern kommt der Qualitätsüberwachung sowohl der eingesetzten Materialien als auch des Einbauprozesses eine wesentliche Bedeutung zu. Durch das Basisabdichtungssystem können schädliche Umweltauswirkungen so lange verhindert werden, bis das im Deponiekörper verbleibende Emissionspotential auf ein umweltverträgliches Niveau reduziert worden ist.

### **Musteranlagen**

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) mit unterschiedlichen Basisabdichtungssystemen:

- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW147, Deponieklasse I (mineralische Abdichtung, Entwässerungsschicht)
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW161 → Deponieklasse I (KDB, Entwässerungsschicht)
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW055 → Deponieklasse I (mineralische Abdichtung, KDB, Entwässerungsschicht)
- ▶ Bayern → BY553 → Deponieklasse II (mineralisch, KDB, Asphaltabdichtung)
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW127 → Deponieklasse II (mineralische Abdichtung, KDB, Entwässerungsschicht)

---

<sup>47</sup> GDA E 3-5 „Probefelder für Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme“

- Nordrhein-Westfalen → NW125 → Deponieklasse III (mineralische Abdichtung, KDB (HDPE), Entwässerungsschicht)

### Referenzliteratur

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

BQS 2-0 (2014): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-0 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten-übergreifende Anforderungen“ vom 04.12.2014, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-1 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-1 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-2 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-2 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.20, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-3 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BAM (2023): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen. Fachbereich 4.3 „Schadstofftransfer und Umwelttechnologien“ (Hrsg.), 13. Auflage, Mai 2023.

GDA E2-03 (2016): Kombiniertes Basisabdichtungssystem. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>.

GDA E2-14 (2024): Basis-Entwässerung von Deponien. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>.

GDA E3-01 (2010): Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>.

GDA E3-03 (2010): Tonmineralogische Charakterisierung von mineralischen Basisabdichtungen. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>.

DGGT (2015): Güterrichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Arbeitskreis 2.3: Asphaltbauweisen im Wasserbau und in der Geotechnik (Hrsg.), veröffentlicht unter <https://laga-online.de>.

### 3.3.3.3 Oberflächenabdichtungen

Das Oberflächenabdichtungssystem, dessen Materialien, die Herstellung der Systemkomponenten und deren Einbau sowie die Eigenschaften dieser Komponenten im Einbauzustand müssen nach DepV<sup>48</sup> dem Stand der Technik entsprechen und so gewählt werden, dass die Funktionserfüllung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen ist. Bundeseinheitliche Qualitätsstandards<sup>49</sup> konkretisieren den Stand der Technik und verweisen u.a. auf die Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (GDA Empfehlungen<sup>50</sup>) als Regelwerk mit Empfehlungen für die geotechnischen Aufgaben bei der Planung (Standortsuche, Qualitätssicherung), der Bemessung und dem Bau von Oberflächenabdichtungssystemen.

#### Beschreibung

Das Oberflächenabdichtungssystem bestehend aus mehreren Komponenten unterschiedlicher Materialien bildet eine weitere Barriere im Multibarriersystem. Die Oberflächenabdichtung hat vorrangig den Zweck, das Eindringen von Niederschlagswasser zu verhindern und somit der Bildung von Sickerwasser entgegenzuwirken. Gleichzeitig verhindert sie Emissionen über den Luftpfad, z.B. das Entweichen von methanreichem Deponiegas in die Atmosphäre und die Verlagerung von Schadstoffen durch Wind- und Wassererosion. Als oberste Barriere einer Deponie verhindert sie darüber hinaus den direkten Kontakt von Lebewesen mit (Deponie-) Schadstoffen, ermöglicht die Eingliederung in die umgebende Landschaft und bildet die Voraussetzung für eine etwaige Nachnutzung des Standortes.

#### Technische Beschreibung

Der schichtenweise Aufbau einer Oberflächenabdichtung kann je nach den örtlichen Gegebenheiten und den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Deponie variieren. Die Tabelle 24 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Systemkomponenten, die für die verschiedenen Deponieklassen erforderlich sind.

In Abhängigkeit vom Schadstoffinventar der Deponie und der daraus resultierenden Deponieklasse sind für Oberflächenabdichtungssysteme eine oder zwei Abdichtungskomponenten vorgeschrieben. Abbildung 9 zeigt den schematischen Aufbau eines Oberflächenabdichtungssystems, das sich im Regelfall aus den folgenden Komponenten zusammensetzt:

- ▶ Rekultivierungsschicht mit Bewuchs oder eine an andere Folgenutzungen angepasste technische Funktionsschicht
- ▶ Entwässerungsschicht
- ▶ Abdichtungskomponente(n)
- ▶ Ausgleichsschicht und ggf. Gasdränschicht, je nach Erfordernis

---

<sup>48</sup> DepV, Anhang 1 Nr. 2

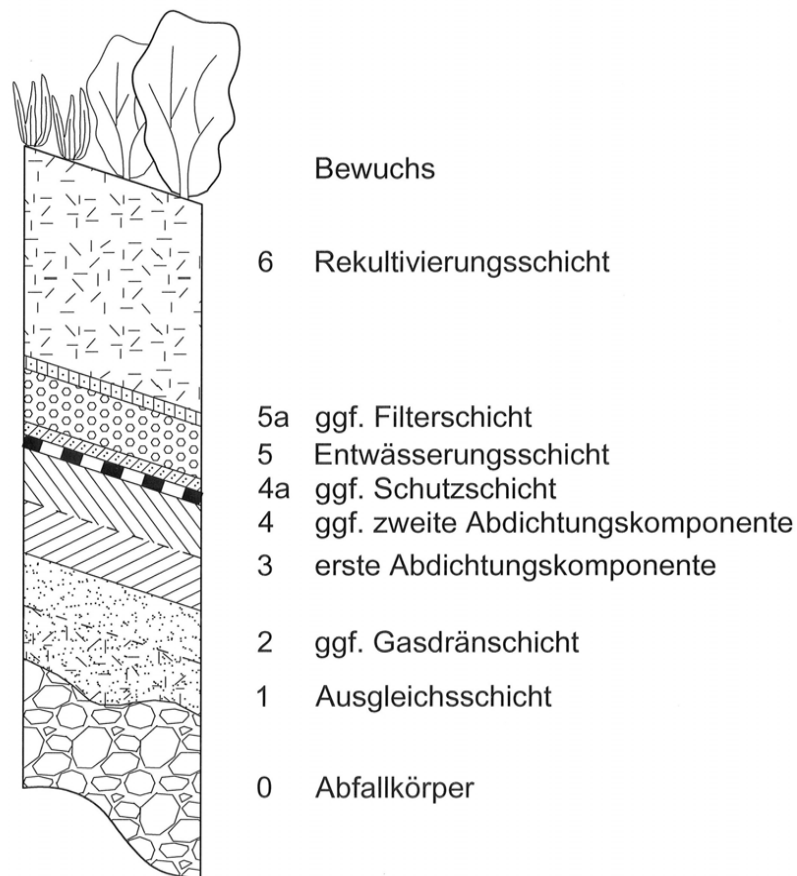
<sup>49</sup> BQS, <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen.html>

<sup>50</sup> GDA Empfehlungen, <https://www.dggg.de>

**Tabelle 24: Aufbau des Oberflächenabdichtungssystems<sup>51</sup>**

| Systemkomponente                                     | DK I               | DK II              | DK III            |
|------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Trag- und Ausgleichsschicht                          | ggf. erforderlich  | ggf. erforderlich  | ggf. erforderlich |
| Gasdränschicht                                       | nicht erforderlich | ggf. erforderlich  | ggf. erforderlich |
| 1. Abdichtungskomponente                             | erforderlich       | erforderlich       | erforderlich      |
| 2. Abdichtungskomponente                             | nicht erforderlich | erforderlich       | erforderlich      |
| Dichtungskontrollsystem                              | nicht erforderlich | nicht erforderlich | erforderlich      |
| Entwässerungsschicht                                 | erforderlich       | erforderlich       | erforderlich      |
| Rekultivierungsschicht / technische Funktionsschicht | erforderlich       | erforderlich       | erforderlich      |

**Abbildung 9: Schema eines Oberflächenabdichtungssystems mit zwei Abdichtungskomponenten<sup>52</sup>**



Quelle: GDA E2-4 „Oberflächenabdichtungssysteme“

<sup>51</sup> DepV – Anhang 1

<sup>52</sup> GDA E2-4 „Oberflächenabdichtungssysteme“

Im Folgenden werden die Systemkomponenten des Oberflächenabdichtungssystems hinsichtlich ihrer technischen Anforderungen und jeweiligen Funktionen beschrieben:

### **1) Trag- und Ausgleichsschicht**

Müssen Unebenheiten der Oberfläche des abgelagerten Abfalls ausgeglichen oder bestimmte Tragfähigkeiten hergestellt werden, um die Abdichtungskomponenten ordnungsgemäß einbauen zu können, ist auf der Abfalloberfläche eine ausreichend dimensionierte Trag- und Ausgleichsschicht einzubauen<sup>53</sup>. Dies kann die Planierung des Geländes, das Entfernen von Vegetation und das Ausgleichen von Unebenheiten umfassen. Bei ausreichender Gasdurchlässigkeit und Dicke kann die Trag- und Ausgleichsschicht, die Funktion einer Gasdränschicht, soweit diese erforderlich ist, mit erfüllen.

Das Material der Trag- und Ausgleichsschicht muss in der Lage sein, die Verformungen der Abfalloberfläche soweit zu mindern, dass aufliegende Abdichtungskomponenten die verbleibenden Verformungen schadlos aufnehmen können und die Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems dauerhaft gewährleistet ist. Für den Einsatz in Trag- und Ausgleichsschichten kommen neben natürlichen mineralischen Baustoffen auch Deponieersatzbaustoffe oder aus Mischungen aus diesen infrage<sup>54</sup>. Als Deponieersatzbaustoff oder als Ausgangsstoff zur Herstellung von Deponieersatzbaustoffen sind ausschließlich mineralische Abfälle zugelassen. Darüber hinaus sind für Trag- und Ausgleichsschichten die Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanisch einwirkenden Kräften, die Beständigkeit gegenüber physikalischen und chemischen Einwirkungen und die Beständigkeit gegenüber alterungsbedingten nachteiligen Materialveränderungen zu berücksichtigen.

Für den Nachweis der mechanischen Widerstandsfähigkeit der Trag- und Ausgleichsschicht sowie der Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems werden die Kornfestigkeit unter dynamischen Einwirkungen sowie die Scherfestigkeit in Versuchen ermittelt<sup>55</sup>. Zum Nachweis der Beständigkeit gegenüber physikalischen und chemischen Einwirkungen muss die Stabilität der verwendeten Materialien bei wechselnden Temperaturen sowie dem Einwirken von Sickerwasser und Deponiegasen gegeben sein.

### **2) Gasdränschicht**

Bei Deponien der Klassen DK II und DK III, sowie im Einzelfall auch auf DK I, die aufgrund ihrer Eigenschaften Deponiegas bilden können, ist es ggf. erforderlich, eine Gasdränschicht einzubauen<sup>56</sup>. Eine solche, zur ergänzenden Fassung von Deponiegas vorgesehene Schicht, kann unter der Abdichtung aus permeablen Materialien hergestellt werden. Die Gasdränschicht besteht in der Regel aus grobkörnigem Material wie Kies, Schotter oder speziellen Gasdränmatten, die eine gute Durchlässigkeit für Gase bieten. Nach dem Einbau muss die Gasdränschicht einen k-Wert von  $\geq 10^{-4}$  m/s einhalten. Der Nachweis erfolgt nach der DIN 18130. Der Calciumkarbonatgehalt ist auf  $\leq 30$  Masse-% zu beschränken<sup>57</sup>. In der Gasdränschicht werden zudem Leitungen verlegt und Sammelschächte installiert, um das gesammelte Deponiegas abzuleiten. Die Gasdränschicht hat darüber hinaus auch die Aufgabe, lokale Gasdrücke gegen die Abdichtungskomponenten zu ver gleichmäßigen.

Auf die Trag- und Ausgleichsschicht kann, soweit es die darüber liegende Abdichtungskomponente erfordert, eine Schutzschicht aufgebracht werden, damit die darüber liegende Abdich-

---

<sup>53</sup> DepV, Anhang 1 Nr. 2.3 Satz 2 in Verbindung mit Tabelle 2 Nr. 1

<sup>54</sup> DepV, §§ 14 und 15

<sup>55</sup> GDA E 3-12 Nr. 3.9 oder 3.10 und GDA E 3-12 Nr. 3.12

<sup>56</sup> DepV, Anhang 1 Tabelle 2 Ziffer 2

<sup>57</sup> Nachweis nach DIN 18129

tungskomponente vor mechanischen Beschädigungen geschützt wird (vgl. Kapitel 3.3.3.2 D). Diese Schicht kann aus feinkörnigen mineralischen Materialien, z.B. Sand und Kies oder einem Geotextil bestehen.

### 3) Dichtungskontrollsystem

Dichtungskontrollsysteme sollen die flächige Überwachung von OFA-Komponenten ermöglichen und auf diese Weise einen unzulässigen Wasserdurchtritt durch eine Abdichtungskomponente nachweisen. Dichtungskontrollsysteme müssen in den folgenden Fällen in Deponieoberflächenabdichtungen eingesetzt werden<sup>58</sup>:

- ▶ als Bestandteil des Deponieoberflächenabdichtungssystems der Deponieklasse (DK) III
- ▶ in Verbindung mit einer Konvektionssperre als Alternative zu einer zweiten Abdichtungskomponente im Oberflächenabdichtungssystem der DK II<sup>59</sup>

Sie können darüber hinaus auch als Maßnahme der Eigenkontrolle von Deponien<sup>60</sup>, zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Oberflächenabdichtungssystems bei der Entlassung der Deponie aus der Nachsorge<sup>61</sup> und als zusätzliches Kontroll- und Sicherungselement bei Standorten mit höheren Sicherheitsanforderungen eingesetzt werden.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ist zuständig für die Prüfung und Zulassung von sensorischen Dichtungskontrollsystemen für die Anwendung in Oberflächenabdichtungen von Deponien. Für die Zulassung werden hierbei mindestens die Kriterien und Einwirkmechanismen zum Stand der Technik berücksichtigt<sup>62</sup>. Die Komponenten von Dichtungskontrollsystemen (unterhalb der Dichtungskomponente) müssen nach dem Stand der Technik über eine Funktionsdauer von mindestens 30 Jahren gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen Einwirkungen beständig sein.

### 4) Abdichtungskomponenten

Das Abdichtungssystem umfasst, soweit zwei Komponenten erforderlich sind, meist eine Kombination aus einer mineralischen Komponente (Tondichtung oder geosynthetische Tondichtungsbahn) und einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB, vgl. Kapitel 3.3.3.2 B).

Eine geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD) besteht aus einer dünnen Schicht aus natürlichem Bentonit (quellfähiger Ton), die zwischen zwei Geotextilien eingebettet ist. Bentonit quillt stark auf, wenn es mit Wasser in Kontakt kommt, und bildet dann eine dauerhafte, gelartige und nahezu wasserundurchlässige Barriere. Über dieser mineralischen Dichtungsschicht wird in der Regel eine KDB aus PEHD aufgebracht, die eine Konvektionssperre darstellt.

PEHD-Dichtungsbahnen sind aufgrund ihrer hohen Festigkeit und Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse sehr langlebig und können Jahrzehnte lang ihre Dichtheit bewahren. Eingesetzt werden dürfen nur zugelassene oder eignungsfestgestellte KDBs, die dem Stand der Technik entsprechen und von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zugelassen sind<sup>63</sup>. Bei fachgerechtem Einbau ist deren Beständigkeit gegenüber allen zu erwartenden Einwirkungen (wie z. B. chemische, alterungsbedingte oder mechanische Belastungen (z.B. Spannungsriss-

---

<sup>58</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Richtlinie für die Zulassung von Dichtungskontrollsystemen für Konvektionssperren in Deponieoberflächenabdichtungen

<sup>59</sup> DepV, Anhang 1 Tabelle 2 Fußnote 6

<sup>60</sup> DepV, Anhang 5 Nr. 3.2

<sup>61</sup> DepV, Anhang 5 Nr. 10 Ziffer 4

<sup>62</sup> DepV, Nummer 2.1.1

<sup>63</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen

verhalten)) für Zeiträume von deutlich mehr als 100 Jahren nachgewiesen. Der Stand der Technik muss nicht nur von dem zugelassenen Geokunststoff-Produkt eingehalten werden, sondern auch der Einbau der Komponenten in das Abdichtungssystem. Eine KDB gilt somit nur als fachgerecht eingebaut, wenn sie von einer nachweislich erfahrenen und mit qualifiziertem Personal sowie erforderlichen Geräten und Maschinen ausreichend ausgestatteten Fachfirma eingebaut wurde. Die Anforderungen werden in der Richtlinie-Verlegefachbetriebe der BAM beschrieben. Zudem muss eine qualifizierte Fremdprüfung von einer fachkundigen, erfahrenen und ausreichend mit Personal und Geräten ausgestatteten Stelle durchgeführt werden. Die dabei einzuhaltenden Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle sind in der Richtlinie-Fremdprüfer der BAM beschrieben. Eine vollständige Übersicht der mechanischen Anforderungen sowie der Anforderungen an die Beständigkeit und das Langzeitverhalten der KDB findet sich im Anhang D.

Für die Deponieklassen II und III ist die Kombination von verschiedenen Materialien für die erste und zweite Abdichtungsschicht erforderlich, um auf eine Einwirkung (z. B. Austrocknung, mechanische Perforation) so unterschiedlich zu reagieren, dass sie hinsichtlich der Dichtigkeit fehlerausgleichend wirken. Werden Kunststoffdichtungsbahnen als Abdichtungskomponente eingesetzt, darf ihre Dicke 2,5 mm nicht unterschreiten. Abdichtungskomponenten aus mineralischen Materialien müssen eine Mindestdicke von 0,50 m und einen Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von  $k \leq 5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$  (DK II) bzw.  $k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$  (DK III) bei einem Druckgradienten von  $i = 30$  einhalten.

Als alternative Abdichtungskomponente kann eine Kapillarsperre als mineralische Abdichtungskomponente ausschließlich in Böschungsbereichen eingesetzt werden, wenn sie im fünfjährigen Mittel einen Durchfluss von nicht mehr als

- 20 mm/Jahr bei Einsatz in Deponien der Klassen I und II sowie
- 10 mm/Jahr bei Einsatz in Deponien der Klassen III

aufweist. Die Einhaltung dieser Anforderungen ist durch die Ermittlung der maximalen Zusicke- rung zur Kapillarsperre aus den über der Kapillarschicht liegenden Schichten mittels qualifizierter und validierter Wasserhaushaltsmodelle (auf Basis einer meteorologischen Zeitreihe der letzten mindestens 30 Jahre, mit dem Nachweis, dass der geforderte höchstens zulässige Durch- fluss im Mittel der ungünstigsten 5 aufeinander folgenden Jahre nicht überschritten wird) nach- zuweisen. Im Rahmen der Eignungsprüfung sind darüber hinaus vor der technischen Ausfüh- rung der Kapillarsperre Kipprinnenversuche durchzuführen, um die Eignung und Leistungs- fähigkeit der geplanten Kapillarsperre nachzuweisen. Wird das Oberflächenabdichtungssystem ohne Konvektionssperre hergestellt, muss der vertikale Durchfluss durch das Oberflächen- abdichtungssystem in einem Kontrollfeld bestimmt werden<sup>64</sup>.

Eine Kapillarsperre ist ein Zweischichtsystem, bestehend aus einer Kapillarschicht (feinkörnige Schicht) über einem Kapillarblock (grobkörnige Schicht). Die Wirkung der Kapillarsperre beruht auf einem Sprung in der Porengrößenverteilung an der Schichtgrenze von feinem und grobem Material und der unterschiedlichen Wassersättigung der Materialien. So ergibt sich bei ungesät- tigten Verhältnissen in einem feinkörnigen Material (z.B. Feinsand) eine deutlich höhere hydraulische Leitfähigkeit als im grobkörnigen Material (z.B. Kies). In der Kapillarschicht stehen daher ein größerer wassergefüllter Fließquerschnitt und eine höhere ungesättigte Wasserleit- fähigkeit für den Wassertransport zur Verfügung als im Kapillarblock. Bei ausreichender

---

<sup>64</sup> GDA E5-7

Böschungsneigung wird das zusickernde Wasser in der Kapillarschicht unter ungesättigten Bedingungen lateral in Richtung des Böschungsgefälles oberhalb des Kapillarblocks abgeführt<sup>65</sup>.

## 5) Entwässerungsschicht und Schutzschicht

Oberhalb der Dichtungskomponenten wird eine Entwässerungsschicht angeordnet, um Wasser flächig zu fassen und abzuleiten sowie die Einstauhöhe über der Abdichtung zu minimieren. Diese Drainage kann aus einer mineralischen Entwässerungsschicht (Kies oder geeignetes mineralisches Recyclingmaterial) oder geotextilen Filtermaterialien<sup>66</sup> (Dränmatten) bestehen.

Die mineralische Entwässerungsschicht hat eine Mindestdicke von  $d \geq 0,30$  m, einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $k \geq 1 \cdot 10^{-3}$  m/s und ein Gefälle  $\geq 5\%$  aufzuweisen. Die verwendeten mineralischen Baustoffe müssen gegenüber den Milieubedingungen an der Deponieoberfläche chemisch und biologisch resistent sein und ausreichende Festigkeit besitzen. Sie dürfen keine leicht wasserlöslichen Bestandteile enthalten. Die Gehalte an organischer Substanz und die Schadstoffgehalte im Feststoff und im Eluat sind zu begrenzen<sup>67</sup>. Die Verwendung von Dränkies der Körnung 16/32 ist aufgrund der geringeren hydraulischen Belastung (Im Vergleich zu Entwässerungsschichten in der Basisabdichtung) nicht erforderlich und bei mineralischen Abdichtungen wegen der dadurch u.U. geförderten Austrocknungsprozesse sogar schädlich. Ebenso sind höhere Carbonatgehalte zulässig, da die Gefahr chemischer Reaktionen, die die Funktion beeinträchtigen könnten (z.B. Verockerung, Verstopfung durch Ausfällungen), hier deutlich geringer ist. Ein Feinkornanteil ( $< 0,06$  mm) von 1 % darf nicht überschritten werden. Die Eignung des Materials für die Entwässerungsschicht ist nachzuweisen und im Rahmen der Qualitätssicherung zu überprüfen<sup>68</sup>. Typischerweise kommen Kies- oder Sand-Kies-Gemische mit Körnungen meist im Bereich von 4 bis 32 mm zum Einsatz.

Werden Kunststoffdränelemente als Entwässerungsschicht verwendet, bedürfen diese einer Zulassung durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Die von der DepV geforderte Langzeitbeständigkeit (100 Jahre) ist bei der Zulassung zu berücksichtigen. Kunststoffdränelemente sind industriell vorgefertigte, flächenartige Elemente zur Entwässerung. Sie bestehen aus einer Sickerschicht (z.B. aus Geogitter, Wirrgelege, Monofilamentstruktur) und einem auf der Oberseite des Dränkörpers aufgetragenen Filtergeotextil. In einem Oberflächenabdichtungssystem übernehmen sie neben der Dränfunktion auch eine Filterfunktion (gegenüber den Feinfraktionen aus der Rekultivierungsschicht) sowie eine Schutzfunktion gegenüber der unterlagernden Abdichtungskomponente.

Auf der Abdichtungskomponente (vgl. 4) kann eine Schutzschicht erforderlich werden, insbesondere, um Beschädigungen, beispielsweise durch grobkörniges Dränmaterial, zu vermeiden oder um die Austrocknungsgefahr der Abdichtungskomponente zu verringern. Eingesetzt werden z.B. gewebte oder nicht gewebte Geotextilien aus Polypropylen oder Polyester. Für die technischen Details zur Ausführung der Schutzschicht siehe auch Kapitel 3.3.3.2 D.

## 6) Rekultivierungsschicht / technische Funktionsschicht

Die Rekultivierungsschicht dient dem Schutz der darunterliegenden Systemkomponenten vor Wurzel- und Frosteinwirkung sowie vor Austrocknung. Eine Mindestdicke von 1 m darf nicht unterschritten werden. Das eingebaute Material soll eine nutzbare Feldkapazität von wenigstens 140 mm, bezogen auf die Gesamtdicke der Rekultivierungsschicht, aufweisen. Darüber hinaus soll durch die Auswahl eines geeigneten Bewuchses die Oberfläche vor Wind- und Wasser-

---

<sup>65</sup> BQS 5-6 - Kapillarsperren in Deponieoberflächenabdichtungssystemen

<sup>66</sup> Zulässig gemäß Anhang 1 Nr. 2.3 Tabelle 2 Fußnote 4 DepV, wenn nachgewiesen wird, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht und die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht dauerhaft gewährleistet sind

<sup>67</sup> DepV, Anhang 3

<sup>68</sup> GDA E3-12 und E5-6

erosion geschützt und eine möglichst hohe Evapotranspiration erreicht werden<sup>69</sup>. Als Pflanzenstandort dient die Rekultivierungsschicht der Einbindung des Deponiekörpers in die umgebende Landschaft und/oder zur Ermöglichung der Folgenutzung. Sie muss den Pflanzen mechanischen Halt bieten und sie ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgen.

Voraussetzung für die Funktion der Rekultivierungsschicht ist deren Stabilität (z. B. Stand-sicherheit, Erosionsstabilität). Die Rekultivierungsschicht ist so zu gestalten, dass sie die darunterliegende Entwässerungs- und/oder Abdichtungskomponente schützt und in ihrer Funktion unterstützt. Dazu muss sie so beschaffen sein, dass

- ▶ schrumpfungsempfindliche Abdichtungskomponenten vor Wasserverlust aufgrund der Bildung schädlicher Wasserspannungen geschützt werden,
- ▶ Lösung und Ausfällung (z. B. Verockerung) vermieden werden,
- ▶ das Einwachsen von Pflanzenwurzeln in die Entwässerungs- und Abdichtungsschicht weitestgehend vermieden wird,
- ▶ mechanische Einwirkungen wie z. B. Erosion verhindert bzw. minimiert werden,
- ▶ Frost in der Entwässerungsschicht ausgeschlossen wird und
- ▶ sie zum Erreichen einer hohen Evapotranspiration durch die Pflanzen Wasser im Wurzelraum pflanzenverfügbar speichert.

Darüber hinaus kann die Rekultivierungsschicht die Dränspende reduzieren und deren Spitzen dämpfen sowie den Oberflächenabfluss von Niederschlagswasser erheblich reduzieren. Eine nach dem Stand der Technik ausgeführte Rekultivierungsschicht ist daher essenziell für das Wasserhaushaltsmanagement von Deponien. Die Abflüsse von Deponieabschnitten mit einer Oberflächenabdichtung gelten als unbelastete Niederschlagswässer. Diese sind in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase monatlich zu messen (Farbe, Geruch, Trübung, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Abflussmenge) und alle 3 Monate im Labor zu analysieren (Ammonium-Stickstoff, Chlorid, TOC), während der Nachsorgephase verlängern sich diese Intervalle auf jeweils 6 Monate.<sup>70</sup>

Spezifische Anforderungen an die Rekultivierungsschicht gelten dann, wenn diese die Aufgaben einer Wasserhaushaltsschicht oder Methanoxidationsschicht (vgl. Kapitel 3.3.4.2. C2) übernimmt.

Eine Wasserhaushaltsschicht vermindert die Durchsickerung aufgrund des Zusammenwirkens des Wasserspeichervermögens des Bodens und der Verdunstungsleistung des Bewuchses. Um diese Anforderungen zu erfüllen, muss die Wasserhaushaltsschicht eine Mindestdicke von 1,5 m und eine die nutzbare Feldkapazität von mindestens 220 mm einhalten, bezogen auf die Gesamtdicke der Wasserhaushaltsschicht. Die Durchsickerung darf höchstens 10 Prozent vom langjährigen Mittel des Niederschlags am Standort (in der Regel 30 Jahre), höchstens 60 mm pro Jahr spätestens fünf Jahre nach Herstellung betragen. Wurden auf Deponien oder Deponieabschnitten mit hohen organischen Anteilen in den abgelagerten Abfällen Maßnahmen zur beschleunigten biologischen Stabilisierung (Deponiebelüftung) nachweislich erfolgreich durchgeführt, kann

---

<sup>69</sup> GDA E 2-32

<sup>70</sup> LAGA 28 (2019) „Technische Regeln für die Überwachung von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser sowie oberirdischer Gewässer bei Deponien“

eine als Wasserhaushaltsschicht bemessene Rekultivierungsschicht anstelle der zweiten Abdichtungskomponente im Deponieoberflächenabdichtungssystem eingebaut werden.<sup>71</sup>

Bei Nutzung einer endgültig stillgelegten Deponie für Verkehr, Parkplätze, Bebauung, Energiegewinnung oder ähnliche Zwecke kann die Rekultivierungsschicht durch eine technische Funktionsschicht ersetzt werden. Dabei muss das verwendete Material hinsichtlich Schadstoffgehalt und Auslaugbarkeit den Anforderungen entsprechen, die eine vergleichbare Nutzung außerhalb der Deponie zulassen würde. Die Schichtdicke muss die darunter liegenden Komponenten schützen, insbesondere die Entwässerungsschicht und Abdichtungselemente vor Wurzelschäden, Frost oder Austrocknung. Zudem darf nur Material verwendet werden, das eine gesetzeskonforme Ableitung des gesammelten Wassers ermöglicht. Wird die technische Nutzung der Fläche später aufgegeben, ist eine Rekultivierungsschicht gemäß den geltenden Anforderungen wiederherzustellen.

### Erzielter Umweltnutzen

Das Oberflächenabdichtungssystem bildet eine weitere effektive Barriere. Sie soll das Eindringen von Niederschlagswasser in den eingelagerten Abfall verhindern und somit der Sickerwasserbildung sowie möglichen Auslaugungs- und Reaktionsprozessen im Abfallkörper vorbeugen. Dadurch kann ein Schadstoffaustrag in die Umwelt wirksam verhindert werden. Das Oberflächenabdichtungssystem minimiert somit im Rahmen des Multibarrierenkonzepts die Niederschlagsinfiltration und damit die Sickerwasserneubildung. Gleichzeitig leistet sie einen im Falle der Ablagerung organischer Abfälle einen wesentlichen Beitrag zur weitreichenden Erfassung des Deponiegases und damit zum Klimaschutz.

### Umweltleistung und Betriebsdaten

Die Wirksamkeit einer Oberflächenabdichtung misst sich primär an der Abdichtungswirkung. Für Abdichtungssysteme, die mittels k-Wert beschrieben werden können, lässt sich hierzu eine maximal zulässige Permeationsrate errechnen. Die errechneten Permeationsraten für die verschiedenen Deponiearten nach EU-Deponierichtlinie sind in Tabelle 25 aufgeführt.

**Tabelle 25: Leistungsfähigkeit einer Oberflächenabdichtung anhand der Permeationsraten<sup>72</sup>**

|                  | Deponie für nicht gefährliche Abfälle                            | Deponie für gefährliche Abfälle                                   |
|------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Permeationsrate* | $q \leq 8 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{s}$ | $q \leq 8 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{s}$ |

\* bei einer Dicke von 50 cm an mineralischer Abdichtung und einer Aufstauhöhe von 30 cm

Deponien, bei denen sich die Oberflächenabdichtung nicht anhand des k-Wertes beschreiben lässt, können über einen auf fünf Jahre gemittelten Durchfluss charakterisiert werden. Maximale mittlere Durchflussströme für die verschiedenen Deponieklassen sind in Tabelle 26 zusammengefasst.

**Tabelle 26: Leistungsfähigkeit einer Oberflächenabdichtung anhand eines fünfjährigen Mittels<sup>73</sup>**

|                                   | Deponie für nicht gefährliche Abfälle | Deponie für gefährliche Abfälle |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Durchfluss im fünfjährigen Mittel | $q \leq 20 \text{ mm/Jahr}$           | $q \leq 0 \text{ mm/Jahr}$      |

<sup>71</sup> DepV, Anhang 1 Nr. 2.3 Tabelle 2 Fußnote 6 in Verbindung mit BQS 7-2 „Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“

<sup>72</sup> Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999

<sup>73</sup> Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999

In der Deponiepraxis zeigt sich die Wirksamkeit einer Oberflächenabdichtung oftmals anhand von signifikanten Abnahmen der Sickerwasserneubildung über die Zeit. So wurde an einer deutschen Siedlungsabfalldéponie mit einer Fläche von 6,45 ha und einem Deponievolumen von 540.000 m<sup>3</sup> bereits ein Jahr nach dem Aufbringen der OFA (Kunststoffdichtungsbahn) ein Rückgang der Sickerwasserneubildung um mehr als 90% beobachtet, welcher in den folgenden fünf Jahren auf ca. 99% weiter anstieg.

Ein weiterer Leistungsfaktor zur Beurteilung einer Oberflächenabdichtung ist die Langzeitbeständigkeit. Die Funktionsfähigkeit der verbauten Komponenten muss in der Regel über 100 Jahre gesichert sein. Bei Einsatz eines serienmäßig hergestellten Dichtungskontrollsystems muss dessen Funktionstüchtigkeit über mindestens 30 Jahre nachgewiesen werden.

### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Die Oberflächenabdichtung dient u.a. dem unmittelbaren Schutz umliegender Medien wie Luft, Böden und Gewässer vor schädlichen Beeinträchtigungen durch die abgelagerten Abfälle. Darüber hinaus bewirkt sie einen direkten Schutz gegen das Entstehen von Sickerwasser aus dem Deponiekörper.

Durch den Einsatz von mineralischen Materialien als Abdichtungskomponenten sind der Abbau und der Transport entsprechender Materialmengen erforderlich. Um die Transportwege und die damit verbundenen Emissionen gering zu halten, ist daher bei der Wahl der Baustoffe auf regionale Quellen mineralischer Baustoffe zu achten.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Auflastbedingte Verformungen des Abdichtungsaufagers dürfen die Funktionstüchtigkeit der Oberflächenabdichtungssysteme nicht beeinträchtigen. Die Setzungen und Verformungen der Abdichtungsauflager und der Abdichtungssysteme sind daher während der Nachsorgephase zu kontrollieren. Darüber hinaus muss das Oberflächenabdichtungssystem dauerhaft in der Lage sein, Niederschlagswasser über die Dränage abzuführen und den Aufstau oberhalb der Abdichtungselemente zu minieren.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Eine Oberflächenabdichtung ist neben den Investitionskosten mit geringen Nachteilen verbunden. Im regulären Betrieb ist für den Bewuchs auf der Rekultivierungsschicht eine regelmäßige Mahdpflege erforderlich, um eine Durchwurzelung der Rekultivierungsschicht und eine mögliche Beschädigung der Abdichtungselemente zu vermeiden. Darüber hinaus sind regelmäßige Sichtkontrollen und Monitoringmaßnahmen, z.B. Messungen zum Austreten von Deponiegas oder Sickerwasser zwecks Zustandsermittlung durchzuführen.

Für abgedichtete Deponien bieten sich solche Arten der Flächennutzung an, die anderorts in Konkurrenz zu priorisierten Interessen wie der Land- und Forstwirtschaft, oder etwa der Bebauung stehen. Folgenutzungen werden dabei bereits im Rahme der Deponiezulassung festgelegt. So können beispielsweise durch die Installation von Energieanlagen (Photovoltaik oder Windkraft) sinnvolle Folgenutzungen sowie wirtschaftliche Erträge für die nur eingeschränkt nutzbaren Flächen generiert werden.

Durch die Sicherungsmaßnahmen der Deponien in Form einer qualifizierten Oberflächenabdichtung kann aktiv das Entstehen von Umweltschäden wirksam verhindert und damit der Deponiebetreiber vor möglichen Haftungsschäden für Umweltbeeinträchtigungen in Boden, Grundwasser und sonstiger Medien geschützt werden.

## **Triebkraft für die Anwendung**

Die Errichtung einer Oberflächenabdichtung ist im Rahmen des Multibarrierenkonzepts ein zentrales Element zur Minimierung des Sickerwasseranfalls und ggf. zur Optimierung der Deponiegaserfassung. Auch bildet das Oberflächenabdichtungssystem eine Grundvoraussetzung für höherwertige Deponienachnutzungen, z.B. zur Installation von Photovoltaik- oder Windkraftanlagen oder die Nutzung der Flächen für Informations- und Bildungsangebote.

## **Musteranlagen**

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) (aus Daten der Länder):

- ▶ Baden-Württemberg → BW493 → Deponieklasse I
- ▶ Niedersachsen → NI408 → Deponieklasse II
- ▶ Rheinland-Pfalz → RP307 → Deponieklasse III (8. Abschnitt)
- ▶ Baden-Württemberg → BW447 → Deponieklasse III

## **Referenzliteratur**

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Richtlinie für die Zulassung von Dichtungssystemen für Konvektionssperren in Deponieoberflächenabdichtungen. Fachbereich 4.3 „Schadstofftransfer und Umwelttechnologien“ (Hrsg.), Dezember 2022

<http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen. Fachbereich 4.3 „Schadstofftransfer und Umwelttechnologien“ (Hrsg.), Mai 2023 <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 4-1 „Trag- und Ausgleichschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 04.12.2014

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-0 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten Übergreifende Anforderungen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 04.12.2014

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-1 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-2 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-3 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-4 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus Asphalt“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 07.07.2015

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-5 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 17.05.2023

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-6 „Kapillarsperren in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 09.11.2010

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-1 „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 „Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 23.09.2021

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-2 „Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-3 „Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 10.11.2021

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 10.11.2021

GDA E2-33 (2010): Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggg.de/>

Mitteilung der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 28 (2019): Technische Regeln für die Überwachung von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser sowie oberirdischer Gewässer bei Deponien. [www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

#### **3.3.3.4 Multifunktionale Abdichtung**

Um den Flächenverbrauch zu reduzieren, kann eine Deponieerweiterung nach dem Prinzip „Deponie auf Deponie“ sinnvoll sein. Hierbei wird eine neue Deponie oder ein Deponieabschnitt auf bereits verfüllte und ggf. stillgelegte Deponieabschnitte errichtet, die durch eine multifunktionale Abdichtung (MFA) voneinander getrennt sind. Soweit die rechtlichen und technischen Voraussetzungen erfüllt sind, kann auf der Oberfläche eines bestehenden Deponiekörpers ein neuer Deponieabschnitt errichtet werden<sup>74</sup>.

##### **Beschreibung**

Die multifunktionale Abdichtung stellt eine Kombination aus einer Oberflächenabdichtung des unteren Deponiekörpers sowie ggf. einer geologischen Barriere und einem Basisabdichtungssystem des oberen Deponiekörpers dar (Abbildung 10). Die unterschiedlichen Funktionen der Komponenten beider Systeme dürfen ganz oder teilweise in gemeinsamen Komponenten zusammengefasst werden, wenn dies unter Wahrung der funktionalen Eigenschaften technisch möglich ist. Die Rekultivierungsschicht als Bestandteil der Oberflächenabdichtung des unteren Deponiekörpers entfällt hierbei und die Schutzfunktionen dieser Schicht (z. B. gegen Frost und Austrocknung) werden durch die überlagernde Ablagerung erbracht. Die Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung des überlagernden Deponiekörpers erfüllt dann diese und weiteren Funktionen (z.B. Aufwuchsfläche für die Vegetation).

##### **Technische Beschreibung**

Eine multifunktionale Abdichtung muss folgende Funktionen erfüllen:

- ▶ Oberflächenabdichtung der alten Deponie
- ▶ Basisabdichtung der neuen Deponie
- ▶ ggf. geologische Barriere für die neue Deponie, sofern die vorhandenen Barrieren hierfür nicht ausreichen

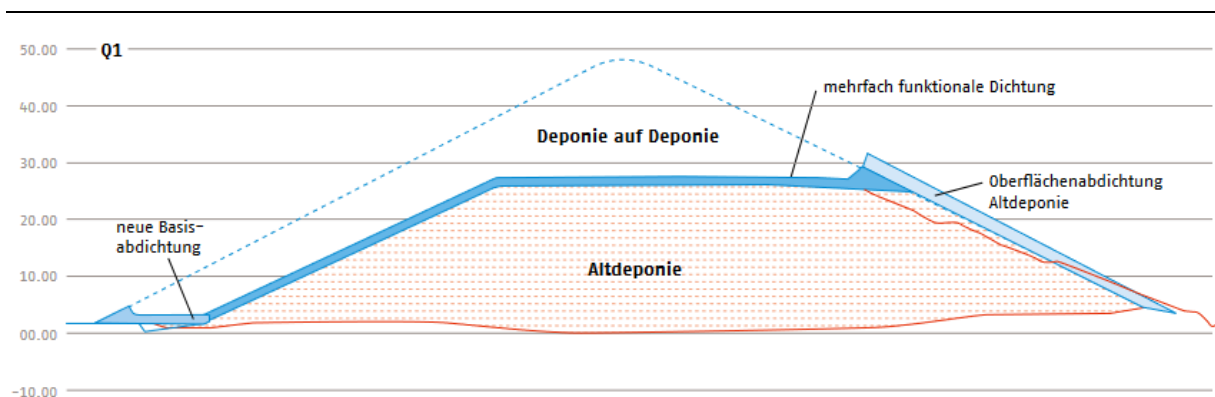
---

<sup>74</sup> LANUV-Arbeitsblatt 13.

► abfallrechtlich wirksame bauliche Trennung der beiden Deponien bzw. Deponieabschnitte

Die Mindestanforderungen an die Gestaltung einer multifunktionalen Abdichtung richten sich nach der Deponieklasse der unterlagernden (bestehenden) und der überlagernden (neuen) Deponie. Insbesondere ist zu beachten, dass die MFA sowohl die Anforderungen der Oberflächenabdichtung der unterlagernden Deponie (siehe Kapitel 3.3.3.3) als auch die Anforderungen der Basisabdichtung der überlagernden Deponie (siehe Kapitel 3.3.3.2) gemäß DepV sowie der entsprechenden Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) erfüllen muss. Hierzu zählt insbesondere auch, dass nach dem Stand der Technik die Materialien, die Herstellung der Systemkomponenten und deren Einbau sowie die Eigenschaften dieser Komponenten im Einbauzustand so gewählt werden, dass die Funktionserfüllung der Abdichtungskomponenten und des Gesamtsystems unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren gewährleistet ist.

**Abbildung 10: Beispielhafte Anordnung einer MFA im Rahmen des Konzepts Deponie auf Deponie<sup>75</sup>**



Quelle: Biener et al. 2011, © Verband kommunaler Unternehmen (VKU)

Die MFA muss zu jeder Zeit am Entwässerungshorizont ein Längsgefälle  $> 1 \%$  (entspricht dem Gefälle der Sickerleitungen) und ein Quergefälle  $> 3 \%$  aufweisen. Während der Bauausführung ist eine kontinuierliche Qualitätsüberwachung erforderlich, um sicherzustellen, dass das gesamte Abdichtungssystem gemäß den Spezifikationen und Standards ausgeführt wird. Um langfristig die geforderten Mindestquer- und Mindestlängsgefälle auf der MFA sicherzustellen, sollten bereits baubegleitende Setzungsmessungen erfolgen<sup>76</sup>. Damit können bestehende Setzungsprognosen frühzeitig fortgeschrieben werden und bei Bedarf Anpassungen an der Ausführungsplanung vorgenommen werden.

Die mineralische Dichtungskomponente muss im eingebauten Zustand den zu berechnenden Verformungen plastisch folgen können. Auflastbedingte Verformungen des Dichtungsaufagers dürfen die Funktionstüchtigkeit der Deponieabdichtungssysteme nicht nachteilig beeinträchtigen. Die Einhaltung der Vorgaben zur vertikalen hydraulischen Durchlässigkeit der mineralischen Abdichtung wird durch Anforderungswerte zum Hohlraumgehalt (Luftporenanteil) und der Plastizität (Verdichtungsgrad) des mineralischen Materials sichergestellt.

Bei den Anforderungen an die Basisabdichtung der überlagernden Deponie können die bestehenden Abdichtungssysteme inkl. geologischer Barriere der unterlagernden Deponie mit herangezogen werden, so dass z. B. bei DK II auf DK II die Anforderungen an die MFA sich i. W. an den Anforderungen der Oberflächenabdichtung für die DK II orientieren, wenn das Basisabdich-

<sup>75</sup> Biener et al. 2011, © Verband kommunaler Unternehmen (VKU)

<sup>76</sup> Beobachtungsmethode nach DIN 1054

tungssystem der unterlagernden DKII-Deponie komplett DepV-konform hergestellt wurde. Die Anrechenbarkeit jeweils vorhandener Abdichtungskomponenten sowie der geologischen Barriere ist im Einzelfall durch die zuständige Behörde zu prüfen (DWA/VKU, 2022).

Die Tabelle 27 gibt einen Überblick über die Anforderungen an die MFA für unterschiedliche Konstellationen bezüglich der Deponieklassen.

Die MFA besteht i.d.R. aus einer Abdichtungsschicht mit darüber liegender Entwässerung. Bei Gasbildung infolge biologischer Aktivität oder chemischer Reaktion (z.B. Wasserstoff- oder Schwefelwasserstoffbildung) im darunter liegenden Abfallkörper ist die Anordnung einer Entgasungsschicht unter der Abdichtung erforderlich. Die Anforderungen an das Gesamtsystem und an die einzelnen Komponenten sind aus den Anforderungen an die Basis- und die Oberflächenabdichtung abzuleiten.

**Tabelle 27: Anforderungen an die MFA bei unterschiedlichen Konstellationen bezüglich der Deponieklassen.<sup>77</sup>**

| Nr. | Systemkomponente            | Anforderungen an Basisabdichtung der unterlagernden Deponie erfüllt / nicht erfüllt | DK I auf DK I                                                                                                                                | DK I auf DK II                                                                                                                               | DK I auf DK III                                                                                                                               | DK II auf DK II                                                                                                                              | DK II auf DK III                                                                                                                              | DK III auf DK II                                                                                                                              | DK III auf DK III                                                                                                                             |
|-----|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | geologische Barriere        |                                                                                     | *                                                                                                                                            | *                                                                                                                                            | *                                                                                                                                             | *                                                                                                                                            | *                                                                                                                                             | *                                                                                                                                             | *                                                                                                                                             |
|     |                             | erfüllt                                                                             | nicht erforderlich                                                                                                                           | nicht erforderlich                                                                                                                           | nicht erforderlich                                                                                                                            | nicht erforderlich                                                                                                                           | nicht erforderlich                                                                                                                            | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                       | nicht erforderlich                                                                                                                            |
|     |                             |                                                                                     |                                                                                                                                              |                                                                                                                                              |                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |                                                                                                                                               | $d \geq 5,00 \text{ m}$                                                                                                                       |                                                                                                                                               |
|     |                             | nicht erfüllt                                                                       | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                      | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                      | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                       | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                      | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                       | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                       | $k_r \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$                                                                                                       |
|     |                             |                                                                                     | $d \geq 1,00 \text{ m}$                                                                                                                      | $d \geq 1,00 \text{ m}$                                                                                                                      | $d \geq 1,00 \text{ m}$                                                                                                                       | $d \geq 1,00 \text{ m}$                                                                                                                      | $d \geq 1,00 \text{ m}$                                                                                                                       | $d \geq 5,00 \text{ m}$                                                                                                                       | $d \geq 5,00 \text{ m}$                                                                                                                       |
| 2   | Ausgleichsschicht           |                                                                                     | ggf. erforderlich                                                                                                                            | ggf. erforderlich                                                                                                                            | ggf. erforderlich                                                                                                                             | ggf. erforderlich                                                                                                                            | ggf. erforderlich                                                                                                                             | ggf. erforderlich                                                                                                                             | ggf. erforderlich                                                                                                                             |
|     |                             |                                                                                     | **                                                                                                                                           | **                                                                                                                                           | **                                                                                                                                            | **                                                                                                                                           | **                                                                                                                                            | **                                                                                                                                            | **                                                                                                                                            |
| 3   | Gasdränschicht              |                                                                                     | nicht erforderlich                                                                                                                           | ggf. erforderlich                                                                                                                            | ggf. erforderlich                                                                                                                             | ggf. erforderlich                                                                                                                            | ggf. erforderlich                                                                                                                             | ggf. erforderlich                                                                                                                             | ggf. erforderlich                                                                                                                             |
|     |                             |                                                                                     | ***                                                                                                                                          | ***                                                                                                                                          | ***                                                                                                                                           | ***                                                                                                                                          | ***                                                                                                                                           | ***                                                                                                                                           | ***                                                                                                                                           |
| 4   | erste Abdichtungskomponente | erfüllt                                                                             | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  |
|     |                             |                                                                                     | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ |
|     |                             | nicht erfüllt                                                                       | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  |
|     |                             |                                                                                     | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:                                              | mineralisch <sup>78</sup> :<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$                         | mineralisch <sup>78</sup> :<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$                          | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:                                              | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:                                               | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:                                               | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_r \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:                                               |

<sup>77</sup> DWA/VKU-Arbeitsbericht Deponie auf Deponie, 2022

<sup>78</sup> Voraussetzung: eine Abdichtungskomponente der MFA ist eine KDB mit einer Minstdicke von 2,5 mm

| Nr. | Systemkomponente                                    | Anforderungen an Basisabdichtung der unterlagernden Deponie erfüllt / nicht erfüllt | DK I auf DK I                                                                         | DK I auf DK II                                                                                                                               | DK I auf DK III                                                                                                                               | DK II auf DK II                                                                                                                              | DK II auf DK III                                                                                                                              | DK III auf DK II                                                                                                                              | DK III auf DK III                                                                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                     |                                                                                     | $d \geq 2,5 \text{ mm}$                                                               | oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$                                                                                                         | oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$                                                                                                          | $d \geq 2,5 \text{ mm}$                                                                                                                      | $d \geq 2,5 \text{ mm}$                                                                                                                       | $d \geq 2,5 \text{ mm}$                                                                                                                       | $d \geq 2,5 \text{ mm}$                                                                                                                       |
| 5   | zweite Abdichtungs-komponente                       | erfüllt                                                                             | nicht erforderlich                                                                    | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  |
|     |                                                     |                                                                                     |                                                                                       | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ |
|     |                                                     | nicht erfüllt                                                                       | nicht erforderlich                                                                    | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                 | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  | erforderlich                                                                                                                                  |
|     |                                                     |                                                                                     |                                                                                       | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>gleichwertig zu<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$ | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$                   | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$                    | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$                    | mineralisch:<br>$d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k_f \leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$<br>oder KDB:<br>$d \geq 2,5 \text{ mm}$                    |
| 6   | Dichtungskontroll-system                            |                                                                                     | nicht erforderlich                                                                    | nicht erforderlich                                                                                                                           | erforderlich                                                                                                                                  | nicht erforderlich                                                                                                                           | erforderlich                                                                                                                                  | nicht erforderlich                                                                                                                            | erforderlich                                                                                                                                  |
| 7   | mineralische Entwässerungsschicht <sup>79</sup>     |                                                                                     | $d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$<br>Gefälle $\geq 5\%$ | $d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$<br>Gefälle $\geq 5\%$                                                        | $d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$<br>Gefälle $\geq 5\%$                                                         | $d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$<br>Gefälle $\geq 5\%$                                                        | $d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$<br>Gefälle $\geq 5\%$                                                         | $d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$<br>Gefälle $\geq 5\%$                                                         | $d \geq 0,5 \text{ m}$<br>$k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$<br>Gefälle $\geq 5\%$                                                         |
|     |                                                     |                                                                                     | ****                                                                                  | ****                                                                                                                                         | ****                                                                                                                                          | ****                                                                                                                                         | ****                                                                                                                                          | ****                                                                                                                                          | ****                                                                                                                                          |
| 8   | Rekultivierungsschicht/ technische Funktionsschicht |                                                                                     | entfällt                                                                              | entfällt                                                                                                                                     | entfällt                                                                                                                                      | entfällt                                                                                                                                     | entfällt                                                                                                                                      | entfällt                                                                                                                                      | entfällt                                                                                                                                      |

\*Standortgeologie / Abdichtungssysteme auf folgende Anforderungen zu prüfen – bei Nichteinhaltung ist dies entsprechend als technische Barriere als Teil der MFA zu errichten bzw. zu ergänzen. Über eine Gefährdungsbeurteilung ist dann eine wesentliche Beeinträchtigung der betroffenen Schutzgüter Grundwasser und Boden auszuschließen.

<sup>79</sup> Körnung gemäß DIN 19667

\*\* Besondere Anforderungen aus den Auflasten in Verbindung mit Inhomogenitäten des unterlagernden Abfallkörpers und daraus resultierenden Setzungen sind gesondert zu betrachten; kann auch Funktion der Gasdränschicht übernehmen.

\*\*\* gem BQS 4-1 ,  $d \geq 0,3 \text{ m}$ ,  $k \geq 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

\*\*\*\* Reduzierung der Schichtstärke, Durchlässigkeit und des Gefälles bei Nachweis der ausreichenden hydraulischen Leistungsfähigkeit möglich.

Die mechanischen Eigenschaften der Abfälle des unterlagernden Deponiekörpers sind festzulegen und durch Erfahrungswerte oder geeignete Versuche zu verifizieren<sup>80</sup>. Da ein Abfallkörper i. d. R. ein nachgiebiges Auflager darstellt, sind für MFAs langfristig Verformungen zu erwarten, welche die Beständigkeit des Abdichtungssystems beeinflussen können. Deshalb sind Setzungs- und Verformungsmessungen und deren Prognose bei der Bemessung der Zwischenabdichtung zu berücksichtigen. Aufgrund der stofflichen Inhomogenität des Abfallkörpers, des unterschiedlichen Abfallalters sowie der ungleichmäßigen Mächtigkeit kommt es häufig zu ungleichmäßigen Setzungen über die Zeit. Setzungen als Folge von lokalen Inhomogenitäten sind insbesondere zu beachten, wenn unmittelbar unter der MFA weiche oder steife Bereiche anstehen oder Belastungen aus Einbauten konzentriert auf die Abdichtung wirken. Die zu erwartenden Setzungen und Sackungen können ggf. vor der Errichtung einer MFA durch statische Vorbelastung oder dynamische Intensivverdichtung reduziert werden.

Aufgrund der multifunktionalen Wirkung der Systemkomponenten und der stärkeren Restriktionen für Basisabdichtungssysteme werden der Auswahl alternativer Abdichtungskomponenten enge Grenzen gesetzt. So kann beispielsweise Deponieasphalt statt einer Kunststoffdichtungsbahn als Abdichtungskomponente verwendet werden, während der Einsatz einer geosynthetischen Tondichtungsbahn als tonmineralische Dichtungsschicht auf Grund der Mindestanforderungen an die Mächtigkeit und den Tongehalt nicht zulässig ist. Hinsichtlich der Verwendung von Deponieersatzbaustoffen gelten für die Tragschicht unterhalb der multifunktionalen Abdichtung die Anforderungen gemäß DepV<sup>81</sup> (Baumaßnahmen im Deponiekörper) sowie für die übrigen Komponenten die Anforderungen der Nrn. 1 und 2 DepV (Betrachtung als geologische Barriere und Basisabdichtung).

Der Tragfähigkeitsnachweis für multifunktionale Abdichtungen entspricht grundsätzlich dem einer Basis- oder Oberflächenabdichtung. Er umfasst den Nachweis der Gleitsicherheit, der Gesamtstandsicherheit (Böschungsbruch) und der Spreizsicherheit des Deponiekörpers. Die Berechnungen erfolgen nach DIN 4084 (2021), wobei die schwächste Schicht als maßgebend gilt. Bei Böschungen muss zudem die Spreizsicherheit geprüft werden. Die Gebrauchstauglichkeit wird gemäß DIN EN 1997-1 (2014) über die Abdichtungs- und Entwässerungsfunktion bewertet. Ungleichmäßige Setzungen können die Entwässerung beeinträchtigen, weshalb eine Überhöhung der Neigung eingeplant wird. Zur Sicherstellung der Abdichtungsfunktion werden Dehnungen und Zwangsverformungen untersucht, um unzulässige Spannungen zu vermeiden. Die erwarteten Setzungen dienen als Grundlage für weitere Verformungs- und Funktionsnachweise der Abdichtungs-, Entwässerungs- und Gaserfassungssysteme.

### **Erzielter Umweltnutzen**

Der Bau einer MFA im Rahmen des Konzepts „Deponie auf Deponie“ führt zu einer indirekten Umweltentlastung durch den Verzicht (oder zumindest die zeitliche Verzögerung) auf die Erschließung neuer Deponiestandorte. In diesem Sinne werden natürliche Ressourcen (Flächen, Flora und Fauna) geschont und etwaige zusätzliche Umweltbelastungen aus dem Bau der notwendigen Infrastruktur einer neuen Deponie vermieden. Gleichzeitig werden keinerlei Abstriche beim Umweltschutz der bestehenden Deponie gemacht, da diese eine funktionale Abdichtung entsprechend der geltenden gesetzlichen Anforderungen nach dem Stand der Technik erhält und auch alle sonstigen Anforderungen hinsichtlich der Emissionskontrolle einschließlich der Überwachungspflichten bestehen bleiben.

---

<sup>80</sup> GDA E1-7

<sup>81</sup> DepV, Anhang 3 Tabelle 1 Nr. 3

### **Umweltleistung und Betriebsdaten**

Die Wirksamkeit einer MFA misst sich primär an deren Abdichtungswirkung gegenüber einer möglichen Infiltration von Sickerwasser aus dem überlagernden Deponiekörper in den unterlagernden Deponiekörper. Die hydraulische Trennung der beiden Deponiekörper führt auch zu einer besseren Behandelbarkeit des getrennt gefassten Sickerwassers, da etwaige Wechselwirkungen der Inhaltsstoffe ausgeschlossen werden. Zugleich stellt die MFA eine wirksame Barriere für etwaiges Deponiegas dar, welches im Falle von biologisch abbaubaren Abfällen im unterlagernden Deponiekörper weiterhin zu fassen und zu behandeln, nach Möglichkeit jedoch zu verwerten ist.

Ebenso wie bei den Oberflächenabdichtungssystemen oder den Basisabdichtungssystemen wird die Langzeitbeständigkeit zur Beurteilung einer MFA herangezogen. Die Funktionserfüllung der verbauten Komponenten muss mindestens für 100 Jahre nachgewiesen sein.

### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Die MFA dient sowohl dem Schutz gegen das Eindringen als auch das Entstehen von Sickerwasser in bzw. aus dem unterlagernden Deponiekörper. Gleichzeitig leistet die MFA einen Beitrag zur sicheren Fassung und Ableitung von Deponiegas, welches u.U. im unterlagernden Deponiekörper gebildet werden kann. Hierdurch werden umliegende Medien wie Luft, Böden und Gewässer vor schädlichen Beeinträchtigungen durch die abgelagerten Abfälle unmittelbar geschützt.

Durch den Einsatz von mineralischen Materialien als Abdichtungskomponenten sind der Abbau und der Transport entsprechender Materialmengen erforderlich. Um die Transportwege und die damit verbundenen Emissionen gering zu halten, ist daher bei der Wahl der Baustoffe auf regionale Quellen mineralischer Baustoffe zu achten.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Für die Umsetzung einer Deponieerweiterung nach dem Prinzip „Deponie auf Deponie“ müssen allgemeine technische Voraussetzungen erfüllt sein. Diese betreffen die mechanische Stabilität und Tragfähigkeit des unteren Deponiekörpers, sowohl hinsichtlich der vorhandenen deponietechnischen Einrichtungen als auch bezüglich etwaiger Verformungen des Basisabdichtungssystems des überlagernden Deponiekörpers. Darüber hinaus muss der ordnungsgemäße Betrieb, die Wartung und Reparierbarkeit der technischen Einrichtungen oder Bauteile im unteren Deponiekörper gewährleistet sein. Im Einzelnen müssen die folgenden technische Voraussetzungen erfüllt sein:

- ▶ Die Setzungen des unteren Deponiekörpers müssen abgeklungen sein, sodass die Verformungen des Basisabdichtungssystems des überlagernden Deponiekörpers verhindert werden
- ▶ Die zu erwartende Auflasterhöhung durch die abzulagernden Abfälle darf keine Verformung des unteren Deponiekörpers verursachen, die zur Schädigung des Dichtungssystems oder anderer deponietechnischer Einrichtungen führen können (z.B. Dränage, Gasfassung)
- ▶ Die ggf. vorhandenen baulichen Einrichtungen müssen eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen, sodass die zusätzliche Auflast keine Schädigung verursacht
- ▶ Die Einrichtungen und Bauteile müssen trotz der Überlagerung für die Wartung, den Betrieb oder der Reparatur zugänglich sein

Bei der Konzipierung und Bemessung von MFAs sind aus abfallmechanischer Sicht die Eigenschaften der unterlagernden Abfälle zu beachten. Hierbei lassen sich folgende Fälle unterscheiden:

- ▶ Das Auflager kann aus einem Abfallkörper aus (weitgehend) unbehandelten Siedlungsabfällen bestehen → inhomogene mechanische Eigenschaften und evtl. biologische Reaktionen (Gasbildung) sind zu erwarten
- ▶ Das Auflager besteht aus einem Abfallkörper aus mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen → hinsichtlich der Standsicherheitseigenschaften sind besondere Anforderungen zu stellen
- ▶ Das Auflager besteht aus einem Abfallkörper aus überwiegend Bodenmaterial, Bauschutt, Schlacke oder Asche → diese Standorte sind hinsichtlich der zu erwartenden Setzungen (mechanische Eigenschaften) sowie der geringen biologischen Reaktionen vorteilhaft.

Die MFA muss ausreichend mechanisch stabil sein, um den Belastungen durch das Gewicht des Deponieinhalts des überlagernden Deponiekörpers standzuhalten und ungleichmäßige Setzungen des unterlagernden Deponiekörpers zu kompensieren, die die Abdichtungskomponenten in ihrer Funktion einschränken oder beschädigen könnten.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Die Installation einer MFA ist zwar mit Investitionskosten verbunden, jedoch ergeben sich Kosteneinsparungen durch die Möglichkeit der Weiternutzung eines bestehenden Deponiestandorts im Rahmen des Konzepts „Deponie auf Deponie“. Letztere entstammen der Vermeidung von Erschließungskosten sowie Kosten für den Aufbau einer neuen Infrastruktur an einem neuen Deponiestandort sowie der Möglichkeit, bestehende Barrieren (z.B. die geologische Barriere des unterlagernden Deponiekörpers) bei den Anforderungen an den neuen (überlagernden) Deponiekörper oder -abschnitt miteinzubeziehen.

Darüber hinaus wird durch eine ordnungsgemäße MFA aktiv das Entstehen von Umweltschäden verhindert und damit der Deponiebetreiber vor möglichen Haftungsschäden für Umweltbeeinträchtigungen in Boden, Grundwasser und sonstiger Medien geschützt.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Der Einbau einer MFA im Rahmen des Konzepts „Deponie auf Deponie“ bietet im Planfeststellungsverfahren häufig Vorteile im Hinblick auf die öffentliche Akzeptanz (im Vergleich zu Deponieneubauten). Darüber hinaus reduziert ein solcher Ansatz den Flächenverbrauch zur Abfallablagerung und dient damit dem Ressourcenschutz. Weitere Triebkräfte zur Anwendung des Konzepts ergeben sich aus der Möglichkeit, vorhandene Infrastruktur und deponietechnische Einrichtungen sowie qualifiziertes Personal am Standort weiter zu nutzen. Einnahmen aus der Abfallannahme können einen finanziellen Beitrag zu den Kosten der Stilllegung und Nachsorge des gesamten Standortes leisten.

### **Musteranlagen<sup>82</sup>**

Deponie Kapittelal, Kaiserslautern, Rheinland-Pfalz (DK I auf DKII)

*Die Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern (ZAK) hat 2015 mit der Herstellung der ersten Bauabschnitte als „Deponie auf Deponie“ begonnen, Ende 2020 waren insgesamt sechs Bauabschnitte mit einer Flächengröße von rd. 200.000 m<sup>2</sup> hergestellt und abfallrechtlich abgenommen (DEUBIG et al.*

---

<sup>82</sup> Beispiele aus VKU, 2022 „Deponie auf Deponie“

2021). Insgesamt können nach der Deponieerweiterung rund 7,2 Mio. m<sup>3</sup> mineralische Abfälle der Deponieklasse I abgelagert werden.

Deponie Vereinigte Ville, Köln, Nordrhein-Westfalen (DK I-III auf DK I-III)

*Die drei Deponien der Vereinigten Ville sind entsprechend der Deponieverordnung den Deponie-  
klassen I – III zugeordnet und weisen die dafür erforderlichen Ausstattungen wie z. B. Abdichtungs-  
systeme auf. Die ausschließlich mineralischen Abfälle werden entsprechend ihrer Schadstoffgehalte  
auf den jeweiligen Deponien abgelagert. Für den Weiterbetrieb werden der jeweilige Altteil der  
Deponie stillgelegt, so dass oberhalb einer zu errichtenden Multifunktionsdichtung der Deponie-  
betrieb nach den Vorgaben der Deponieverordnung und im Sinne von Deponie auf Deponie weiter-  
betrieben werden kann. Auch dort, wo die Deponien aneinandergrenzen und sich die Ablagerungs-  
bereiche überlagern, werden sie gegeneinander abgedichtet.*

## Referenzliteratur

Biener, E., Sasse, T., Wemhoff, T. (2011): Deponie auf Deponie - neue Wege bei der Stilllegung von Altdepo-  
nien, genehmigungstechnische, technische und wirtschaftliche Aspekte. Tagungsband zur 27. Fachtagung „Die  
sichere Deponie 2011 – Abdichtung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen“, SKZ – ConSem GmbH,  
Würzburg und AK GWS Arbeitskreis Grundwasserschutz e. V, Berlin

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009  
(BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

Deubig, J., Albertz, F., Bartl, U., Ehl, U. (2014 und 2021): Deponie Kapiteltal: DK I-Erweiterung – Beispiel einer  
„Deponie auf Deponie“. In: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten (Hrsg.: Egloffstein, T,  
Burkhardt, G.) Seminar 22.-23.10.2014 in Karlsruhe. Aktualisierung durch schriftliche Mitteilungen 2021

DIN 1054 (04/2021): Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN  
EN 1997-1

DIN 19667 (08/2015): Dränung von Deponien - Planung, Bauausführung und Betrieb.

GDA E 1-7 (2020): Identifizierung von Abfällen und Stoffgruppen. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der  
Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter  
<https://dggt.de/>

GDA E 2-37 (2020): Zwischenabdichtungen. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der  
Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2015): Technische Anfor-  
derungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme Konkretisierungen und Empfehlungen zur Depo-  
nieverordnung, LANUV-Arbeitsblatt 13. ISSN 1864-8916 LANUV-Arbeitsblätter.

Ostenberg, B. (2013): Die Ertüchtigung von Deponiestandorten durch den Bau und Betrieb von Deponie-  
abschnitten auf vorhandenen Deponien – ein wichtiger Beitrag zur Gewährleistung der Entsorgungssicherheit.  
In: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2013, Hrsg.: Egloffstein, Burkhardt. ICP Eigen-  
verlag Bauen und Umwelt, Band 24

Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU) (2022): Deponie auf Deponie. Arbeitsbericht der Ad-hoc-  
Arbeitsgruppe „Deponie auf Deponie“ des DWA/VKU-Fachausschusses „Deponien“. Verband kommunaler  
Unternehmen e. V. (VKU) und DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.  
(Hrsg.), VKU Verlag GmbH, ISBN 978-3-87750-935-7.

### 3.3.3.5 Sickerwasserfassung und –ableitung sowie Reinigungsverfahren

Das Entwässerungssystem ist ein Bestandteil des in Kapitel 3.3.3.2 beschriebenen Basisabdichtungssystems. In Ergänzung zu den bereits ausgeführten Aspekten bezüglich der allgemeinen Anforderungen an die Entwässerungsschicht werden in den nachfolgenden Kapiteln technische Beschreibungen zu den einzelnen Komponenten des Entwässerungssystems aufgeführt.

Das Entwässerungssystem dient dazu, anfallendes Sickerwasser zu sammeln, im freien Gefälle abzuleiten und ggf. einer Reinigung zuzuführen. Darüber hinaus wird durch die Ableitung ein Aufstau von Sickerwasser in den Abfallkörper verhindert. Das langfristige Funktionieren der Komponenten des Entwässerungssystems ist dafür zwingend erforderlich.

Insbesondere bei der Deponierung von unbehandelten Siedlungsabfällen ist aufgrund von chemisch-physikalischen und biologischen Stoffwechselprozessen und -produkten oftmals mit einer Ablagerung schlammiger oder fester Stoffe (sogenannter Inkrustationen) in den Fassungskomponenten zu rechnen. Wesentliche Bestandteile dieser Ablagerungen sind neben organischen Komponenten die Kationen Kalzium und Eisen, die als Carbonat sowie durch Schwefel (vorwiegend sulfidisch) festgelegt werden. Durch solche Inkrustationen kann die Funktion des Entwässerungssystems stark beeinträchtigt werden.

Eine zuverlässige und dauerhafte Entwässerung einer Deponie kann demgegenüber schon durch eine geeignete Vorbehandlung (mechanisch-biologische Abfallbehandlung – MBA) der zu deponierenden Abfälle unterstützt werden. Durch den vorab erfolgten biologischen Abbau der organischen Abfallbestandteile kann die Intensität und Dauer der sogenannten sauren Phase<sup>83</sup> im Deponiekörper signifikant verringert werden. In der Folge kommt es aufgrund geringerer Konzentrationen an organischen Komponenten zu einem ggf. geringeren Inkrustationsgeschehen und zugleich wesentlich niedrigeren Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser. Letzteres wirkt sich positiv auf den notwendigen Aufwand bei der anschließenden Reinigung des erfassten Sickerwassers aus.

Für diese Sickerwasserreinigung richten sich Anforderungen und einzuhaltende Grenzwerte nach der Möglichkeit zur indirekten oder direkten Einleitung in Gewässer. Bei direkter Einleitung in einen Vorfluter werden vergleichsweise strenge Anforderungen an die Sickerwasserqualität gestellt, welche in der Regel durch den Betrieb einer mehrstufigen Sickerwasserreinigungsanlage am Deponiestandort eingehalten werden können. Bei der indirekten Einleitung wird das gefasste Sickerwasser einer (in der Regel kommunalen) Kläranlage zugeführt und dort gemeinsam mit dem kommunalen Abwasser behandelt. Hierbei gelten etwas weniger strenge Qualitätsanforderungen als bei der direkten Einleitung, da die Reinigungsleistung der Kläranlage mit zu berücksichtigen ist. Die Einleitungswerte der Kläranlage sind hierbei zu berücksichtigen. Näheres hierzu regelt in Deutschland die Abwasserverordnung im Anhang 51 in Verbindung mit der Wasserrahmenrichtlinie.

Wichtig ist hierbei zu beachten, dass die Anforderungen der Abwasserverordnung (Anhang 51) die Sickerwasserqualität ausschließlich über Grenzwerte für Stoffkonzentrationen definiert. Stofffrachten werden bei diesem Ansatz nicht betrachtet, so dass eine Reduzierung des Sickerwasseranfalls (z.B. infolge der Aufbringung eines Oberflächenabdichtungssystems nach Ende der Verfüllung) nicht grundsätzlich zu einem Ende der Behandlungsbedürftigkeit in überschaubaren Zeiträumen führt.

---

<sup>83</sup> Frühe Abbauphase organischer Abfälle, in der Mikroorganismen durch Fermentation organische Säuren und CO<sub>2</sub> produzieren. Dies führt zu einem niedrigen pH-Wert und ggf. einer erhöhten Löslichkeit von Metallen im Sickerwasser.

#### **3.3.3.5.1 Sickerwasserfassung und –ableitung**

Die Fassung und Ableitung von Deponiesickerwässern sind für alle Deponieklassen durchzuführen<sup>84</sup>. Das Basisentwässerungssystem ist so herzustellen, dass die Funktionserfüllung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen ist. Die Anforderungen an die Entwässerung in der Deponiebasis sind in DIN 19667 definiert. Darüber hinaus gelten für die mineralischen Komponenten der Basisentwässerung die BQS 3-1 bzw. BQS 3-2, für Geokunststoffe wie Kunststoffdichtungsbahnen und Geotextilien zum Filtern, Trennen oder Schützen die einschlägigen Richtlinien der BAM sowie für Rohre, Schächte und Bauteile aus PE der BQS 8-1 mit der Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien. Übergreifend werden in den GDA-Empfehlungen 2-14 und 3-12 der DGGT weitere Anforderungen an die Planung, die Bemessung, den Einbau und die Qualitätssicherung des Basisentwässerungssystems definiert.

#### **Beschreibung**

Das Entwässerungssystem ist Bestandteil des Basisabdichtungssystems. Um die Permeation von Sickerwasser durch die Dichtungselemente zu verhindern bzw. einen Sickerwasseraufstau in den Abfallkörper zu vermeiden, ist es oberhalb der Dichtungselemente gezielt zu erfassen und abzuleiten.

#### **Technische Beschreibung**

Das Entwässerungssystem einer Deponie kann regelhaft nach dem Stand der Technik und den Anforderungen nach DIN 19667 hergestellt werden. Es ist so zu gestalten, dass es Setzungen und Verformungen widerstehen kann und auch dann noch ausreichend funktioniert, wenn Teilbereiche des Systems, z. B. infolge von Inkrustationen, nicht mehr voll wirksam sind. Folgende Komponenten gehören zu einem solchen Entwässerungssystem:

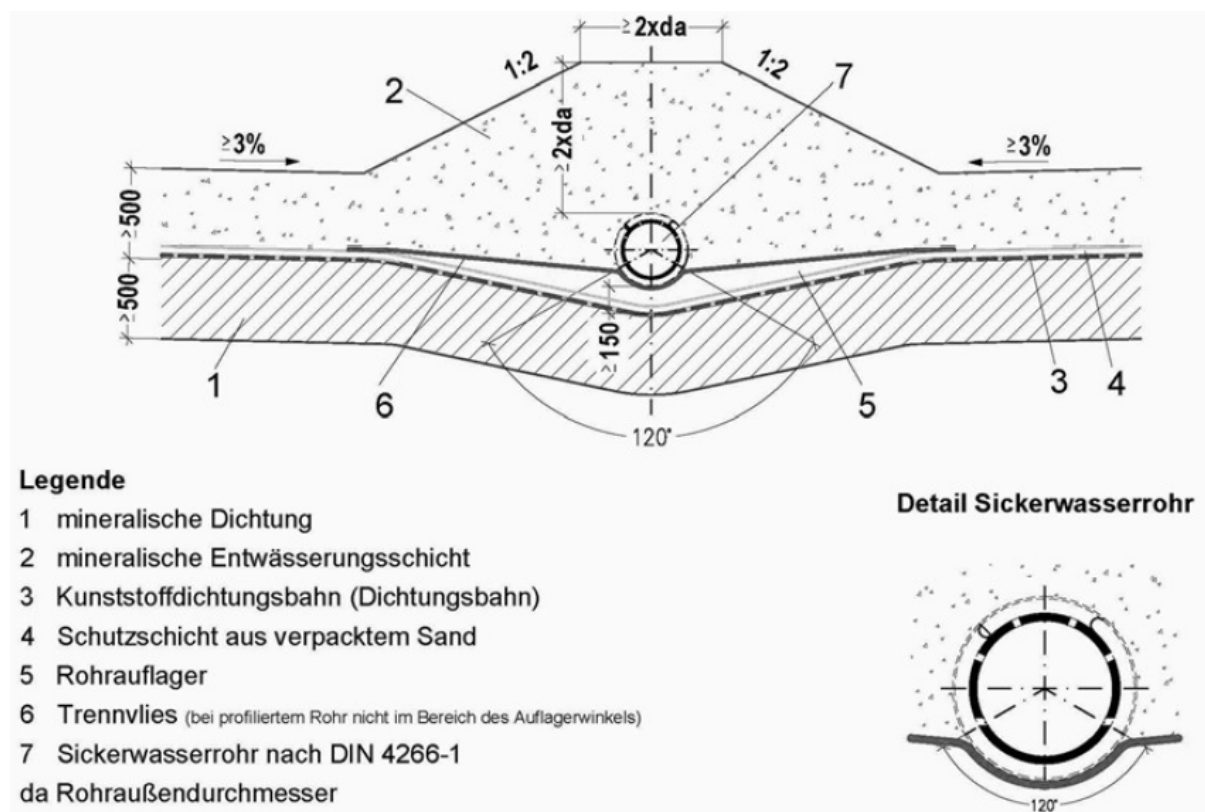
- ▶ Schutzschichtsystem
- ▶ Filterschicht zur 1. Abfalllage
- ▶ Mineralische Entwässerungsschicht
- ▶ Sickerrohre (Vollwandrohrleitungen und perforierte Rohre)
- ▶ Durchdringungsbauwerke
- ▶ Schächte (Kontroll-, Pump und Speicherschächte)

Die Anordnung der Systemkomponenten ist der Abbildung 11 zu entnehmen.

---

<sup>84</sup> DepV, Anhang 1

**Abbildung 11: Querschnitt durch ein Entwässerungssystem nach DIN 19667 (Dränung von Deponien)<sup>85</sup>**



Quelle: Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien (Oktober 2024)

#### A. Schutzschicht:

Auf die Schutzschicht des Entwässerungssystems wird im Kapitel 3.3.3.2 Teil D näher eingegangen.

#### B. Mineralische Filterschicht:

Die mineralische Filterschicht als Trennschicht zwischen dem Abfallmaterial und der mineralischen Entwässerungsschicht dient der Verhinderung des Eindringens von Feinpartikeln aus dem Deponiekörper in die Entwässerungsschicht und einer möglichen Verstopfung der Sickerwasserrohre und der Entwässerungsschicht.

Durch die Verhinderung von Inkrustationen und die Aufrechterhaltung der Durchlässigkeit der Entwässerungsschicht trägt die Filterschicht zur langfristigen Funktion des gesamten Basisabdichtungssystems bei.

#### C. Mineralische Entwässerungsschicht und Sickerrohre:

Die Entwässerungsschicht dient im Wesentlichen dazu, Deponiesickerwasser zu fassen und abzuleiten und damit einen Einstau in den Deponiekörper zu verhindern. Hierfür ist die Basisentwässerung aus einer flächigen mineralischen Entwässerungsschicht mit integrierten Sickerwasserleitungen (Sickerrohre) herzustellen. Als Materialien der Entwässerungsschicht kommen zu diesem Zweck gewonnene mineralische Baustoffe oder Deponieersatzbaustoffe infrage, jedoch nur in einer Menge, die für die Errichtung und die Funktionserfüllung erforderlich ist. Deponieersatzbaustoffe als mineralische Entwässerungsschichten können aus natür-

<sup>85</sup> Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien (Oktober 2024)

lichen mineralischen Baustoffen, aus nicht natürlichen mineralischen Baustoffen oder aus Mischungen von diesen hergestellt werden. Entsprechend der DepV dürfen hierfür nur solche Baustoffe verwendet werden, die sowohl dem Stand der Technik als auch einem bundeseinheitlich gewährleisteten Qualitätsstandard entsprechen und deren Eignung gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen ist. Der bundeseinheitliche Qualitätsstandard (BQS 3-138, BQS 3-239) legt die Anforderungen an die Konstruktion, die Bemessung, die Materialauswahl, den Einbau und das Qualitätsmanagement mineralischer Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen fest und wird über die GDA-Empfehlungen definiert.

Die allgemeinen technischen Anforderungen<sup>86</sup> an die mineralische Entwässerungsschicht (Mindestdicken) sind in der Tabelle 28 zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 28: Technische Anforderungen an mineralische Entwässerungsschichten<sup>87</sup>**

| Nr. | Systemkomponente | DK I                    | DK II                   | DK III                  |
|-----|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1   | Schichtdicke     | $d \geq 0,50 \text{ m}$ | $d \geq 0,50 \text{ m}$ | $d \geq 0,50 \text{ m}$ |
| 2   | Körnung          | gemäß DIN 19667         | gemäß DIN 19667         | gemäß DIN 19667         |

Wird der Nachweis erbracht, dass es langfristig zu keinem Einstau von Wasser im Deponiekörper kommt, besteht die Möglichkeit, die Dicke der Entwässerungsschicht zu reduzieren oder eine andere Körnung zu verwenden. Hierfür ist die Zustimmung der zuständigen Behörde notwendig<sup>88</sup>. Bei Einbau einer mineralischen Filterschicht ergibt sich die Gesamtschichtdicke aus der Summe beider Schichten.

Langfristig darf das Material der Entwässerungsschicht einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $k = 10^{-3} \text{ m/s}$  nicht unterschreiten, im Einbauzustand soll der Durchlässigkeitsbeiwert deshalb  $k \geq 10^{-2} \text{ m/s}$  betragen.

Bei Deponien der Klassen I, II und III ist für die Entwässerungsschicht in den unteren 30 cm Kies (Rundkorn) oder doppelt gebrochener Splitt der Korngruppe  $d/D = 16/32$  zu verwenden<sup>89</sup>. Zur Begrenzung der biogenen Verkrustungstendenz oder der Auswirkungen von Auskristallisationen ist der Unterkornanteil gering zu halten. In Abbildung 12 ist angegeben, in welcher Bandbreite die Kornverteilungskurven des Dränmaterials bei der Eignungsprüfung liegen sollen, Abbildung 13 gibt die Bandbreite nach dem Einbau wieder<sup>90</sup>. Die Sieblinien (einschließlich der Prüffehler) sollen innerhalb der orangefarbenen Bereiche verlaufen.

<sup>86</sup> Anhang 1, Tabelle 1 DepV

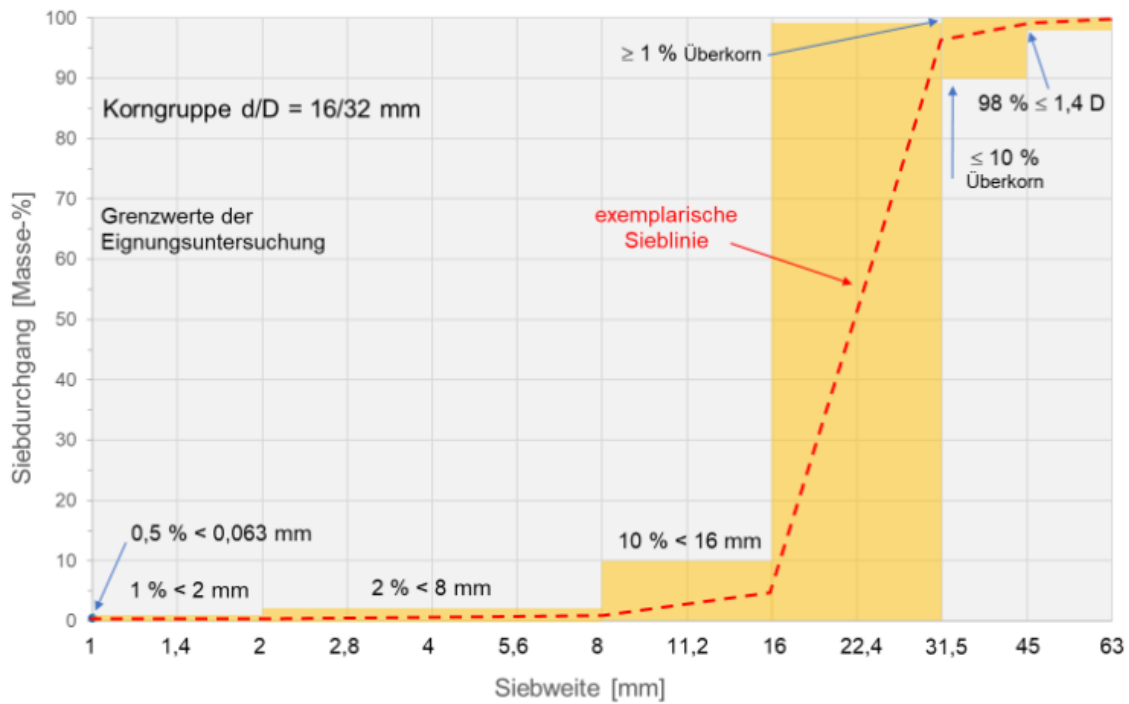
<sup>87</sup> GDA E1-1

<sup>88</sup> DepV, Anhang 1, Tabelle 1, FN3

<sup>89</sup> DIN 19667 in Verbindung mit GDA E2-14 und DIN EN 12620

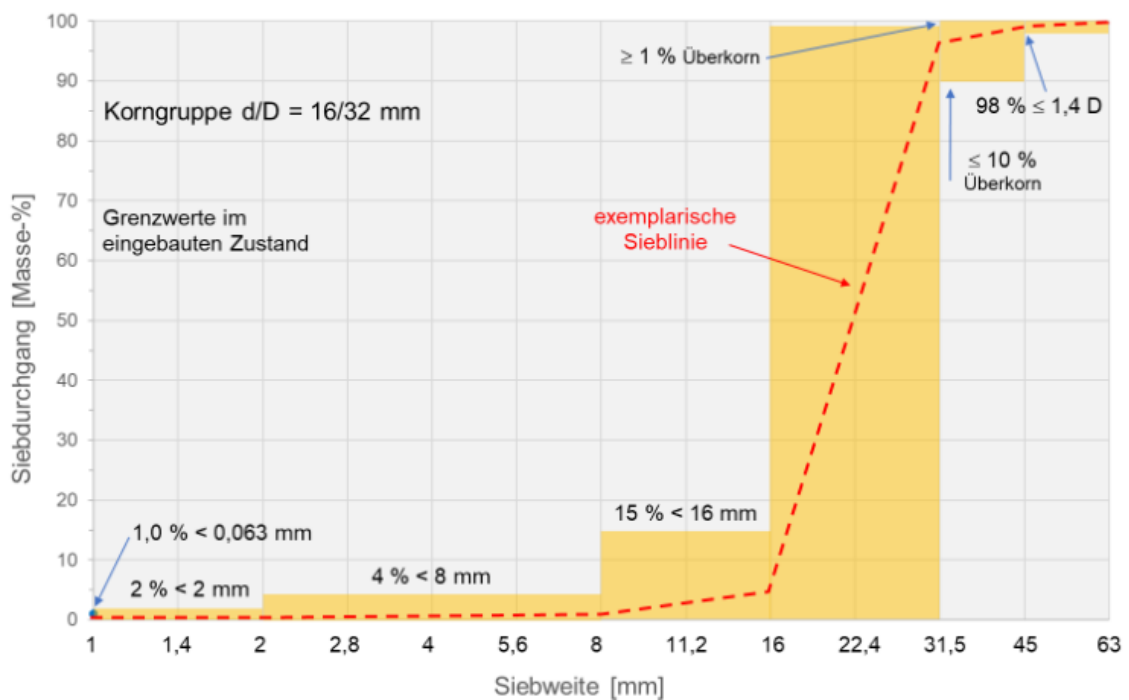
<sup>90</sup> nach THIENEL, 2023

**Abbildung 12: Zulässige Kornzusammensetzung der Korngruppe 16/32 mm für Basis-Entwässerungsschichten bei der Eignungsuntersuchung<sup>91</sup>**



Quelle: GDA E3-12 „Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten“

**Abbildung 13: Zulässige Kornzusammensetzung der Korngruppe 16/32 mm für Basis-Entwässerungsschichten im eingebauten Zustand<sup>92</sup>**



<sup>91</sup> GDA E3-12

<sup>92</sup> GDA E3-12

Quelle: GDA E3-12 „Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten“

Neben den allgemeinen Anforderungen an die Kornzusammensetzung (Massenanteile der unterschiedlichen Gesteinskörnungen für verschiedene Korngrößen<sup>93</sup>) gelten für Korngruppe d/D = 16/32 mm die folgenden spezifischen Grenzwerte bei der Verwendung in Entwässerungsschichten:

- ▶ Grenzwerte im Rahmen der Eignungsprüfung:  
10 % < 16 mm, 2 % < 8 mm, 1 % < 2 mm, 0,5 % < 0,063 mm
- ▶ Grenzwerte im eingebauten Zustand (für Prüfungen in der Qualitätssicherung):  
15 % < 16 mm, 4 % < 8 mm, 2 % < 2 mm, 1 % < 0,063 mm
- ▶ Der Überkornanteil > 32 mm darf maximal 10 % betragen
- ▶ Der weitere Überkornanteil > 45 mm liegt < 2 %<sup>94</sup>
- ▶ Korngrößen > 2 D = 64 mm sind nicht zulässig

Bei anderen Korngruppen ist der Unterkornanteil ebenfalls auf 10 % bei der Eignungsprüfung bzw. auf 15 % im eingebauten Zustand zu begrenzen. Die Grenzwerte im Unterkornbereich (< d) nach den Abbildungen 12 und 13 gelten sinngemäß auch für andere Korngruppen.

Der Gesamtgehalt der Feinanteile < 0,063 mm ist durch Waschen und nachfolgende Trockensiebung zu ermitteln. Die Untersuchungsergebnisse sind als Gehalt an „abschlämbbaren Bestandteilen“ bzw. „Gesamtgehalt der Feinanteile“ anzugeben.

Zur Einhaltung der geforderten Mindestdicke von 50 cm ist darauf eine weitere mineralische Schicht einzubauen. Der Durchlässigkeitsbeiwert dieser Schicht darf langfristig  $k = 10^{-3}$  m/s auch nicht unterschreiten, im Einbauzustand sollte der Durchlässigkeitsbeiwert deshalb weiterhin  $k \geq 10^{-2}$  m/s betragen. Diese obere mineralische Schicht kann bei Bedarf als Filterschicht zwischen der Entwässerungsschicht und den abgelagerten Abfällen ausgebildet werden (vgl. 3.3.3.5.1. B). Hierzu kommen sowohl abgesiebte Abfälle (mit einem gröberen Körnungsbereich als der Abfall) als auch feinkörnigeres Dränmaterial in Betracht. Dieses kann insbesondere bei der Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle und von MVA-Aschen notwendig sein, da diese im Vergleich zu herkömmlichen Siedlungsabfällen häufig feineren bzw. weniger aneinanderhaftenden Abfälle zum Einspülen von Feinanteilen in grobes Dränmaterial führen können. Alternativ kann ein geotextiler Filter (zugelassen durch die BAM) angeordnet werden.

Das Planum der Entwässerungsschicht muss so profiliert sein, dass eine effiziente Ableitung im freien Gefälle zu den Sickerleitungen gewährleistet ist. Dazu ist ein Quergefälle von mindestens 3% (nach Abklingen der Setzungen) sicherzustellen. Innerhalb der Entwässerungsschicht sind perforierte Sickerleitungen mit kontinuierlichem Gefälle zu den Sickerwassersammelstellen zu verlegen. Die Sickerleitungen müssen ein ausreichendes Längsgefälle (nach Abklingen der Setzungen) von mindestens 1% aufweisen, um etwaige Sedimentation zu verringern und die kontinuierliche Sickerwasserableitung im freien Gefälle sicherzustellen (s. Tabelle 29 und Abbildung 4).

Die verwendeten Materialien müssen so widerstandsfähig sein, dass sie den auflastbedingten physikalischen (Druck und Temperatur) sowie den sickerwasserseitigen chemische Belastungen

---

<sup>93</sup> DIN EN 12620, Tabelle 2

<sup>94</sup> nach DIN EN 12620

standhalten. Als Material der Rohre kommen Kunststoffe mit einer breiten Beständigkeitsskala gegenüber organischen und anorganischen Inhaltsstoffen in Frage, insbesondere Rohre aus PE (PE 100- oder PE 100-RC-Materialien). Die Eignung der Sickerrohre, insbesondere ausreichende Festigkeitseigenschaften, Wandstärke, sowie das Temperatur- und Verformungsverhalten sind nachzuweisen<sup>95</sup>. Spezifische Anforderungen an Anordnung und die Spezifikationen der Sickerwasserleitungen (Sickerrohre) in der Entwässerungsschicht in Deponien sind in der Tabelle 29 zusammengestellt.

Das Fassungssystem muss in der Lage sein, trotz unvermeidlicher Inkrustationsprozesse während und nach der Ablagerungsphase dauerhaft zu funktionieren. Zur Beurteilung und ggf. Beseitigung der Inkrustationen sind die Sickerleitungen regelmäßig zu inspizieren und ggf. zu reinigen.

**Tabelle 29: Technische Anforderungen (Auszug) an die Entwässerungsschicht und die Sickerwasserrohre<sup>96</sup>**

| Element°          | Eigenschaft°                  | Spezifikation°              |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Dränageschicht°   | Dicke°                        | ≥ 50 cm**°                  |
|                   | Hydraulische Durchlässigkeit° | ≥ 1 x 10 <sup>-3</sup> m/s° |
|                   | Material°                     | Kies, 16 – 32 mm**°         |
| Dränageleitungen° | Innendurchmesser°             | ≥ 250 mm°                   |
|                   | Länge°                        | ≤ 400 m°                    |
|                   | Abstand°                      | ≤ 30 m**°                   |
|                   | Max. Entwässerungsstrecke°    | ≤ 15 m**°                   |
| Gefälle°          | Quergefälle**°                | ≥ 3%°                       |
|                   | Längsgefälle**°               | ≥ 1%°                       |

\*Abweichungen bei entsprechendem hydraulischen Nachweis möglich

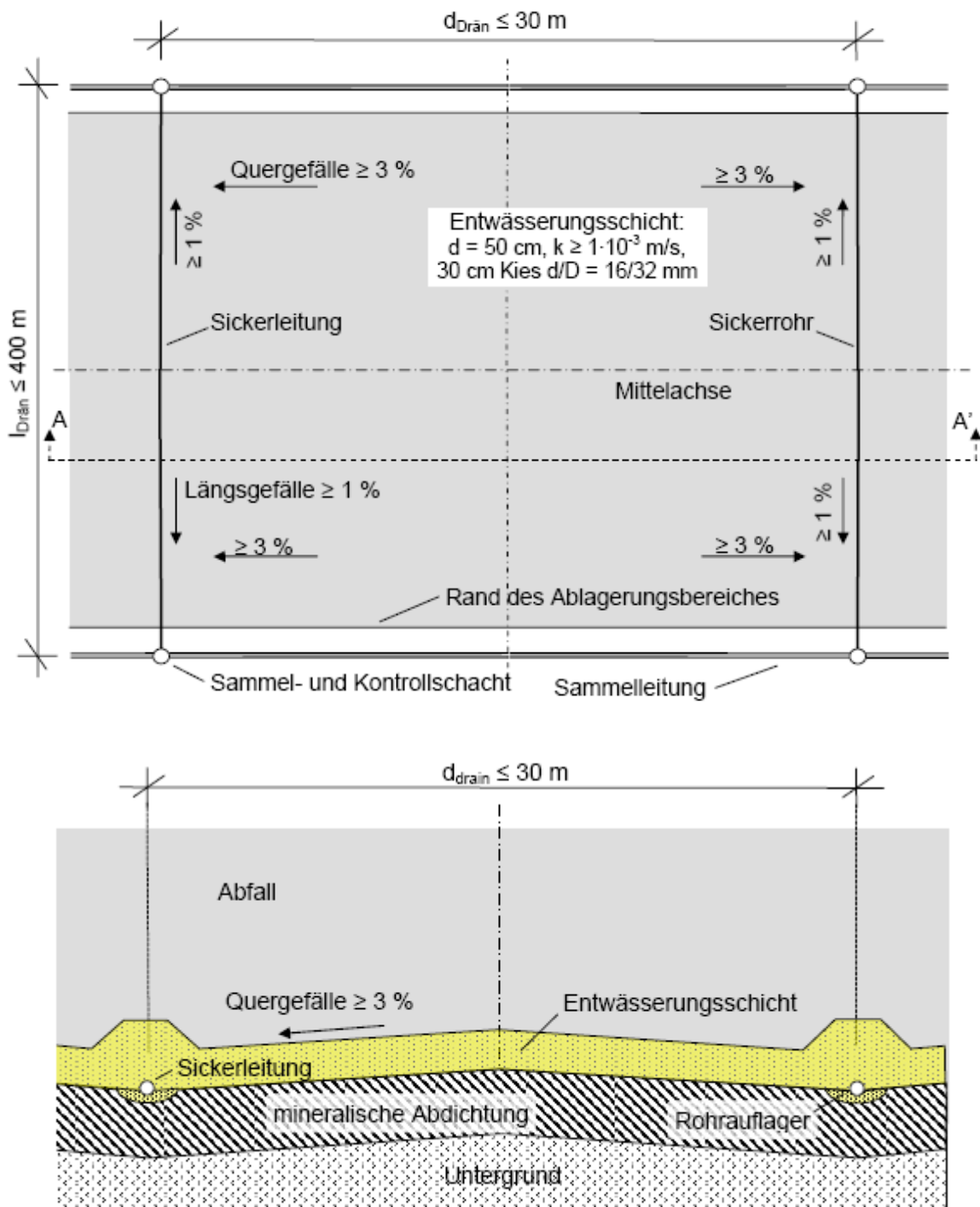
°nach Abklingen der Setzungen

Abbildung 14 zeigt das Regelsystem für die Sickerwasserfassung, dass die aktuellen deutschen Anforderungen für Deponien der Klassen DK I – DK III erfüllt.

<sup>95</sup> BQS 8-1 „Rohre, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien“ in Verbindung mit der Güterrichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien

<sup>96</sup> GDA E2-14 Basis-Entwässerung von Siedlungsabfalldeponien

**Abbildung 14: Basisentwässerungssystem – Grundriss und Querschnitt des Regelsystems<sup>97</sup>**



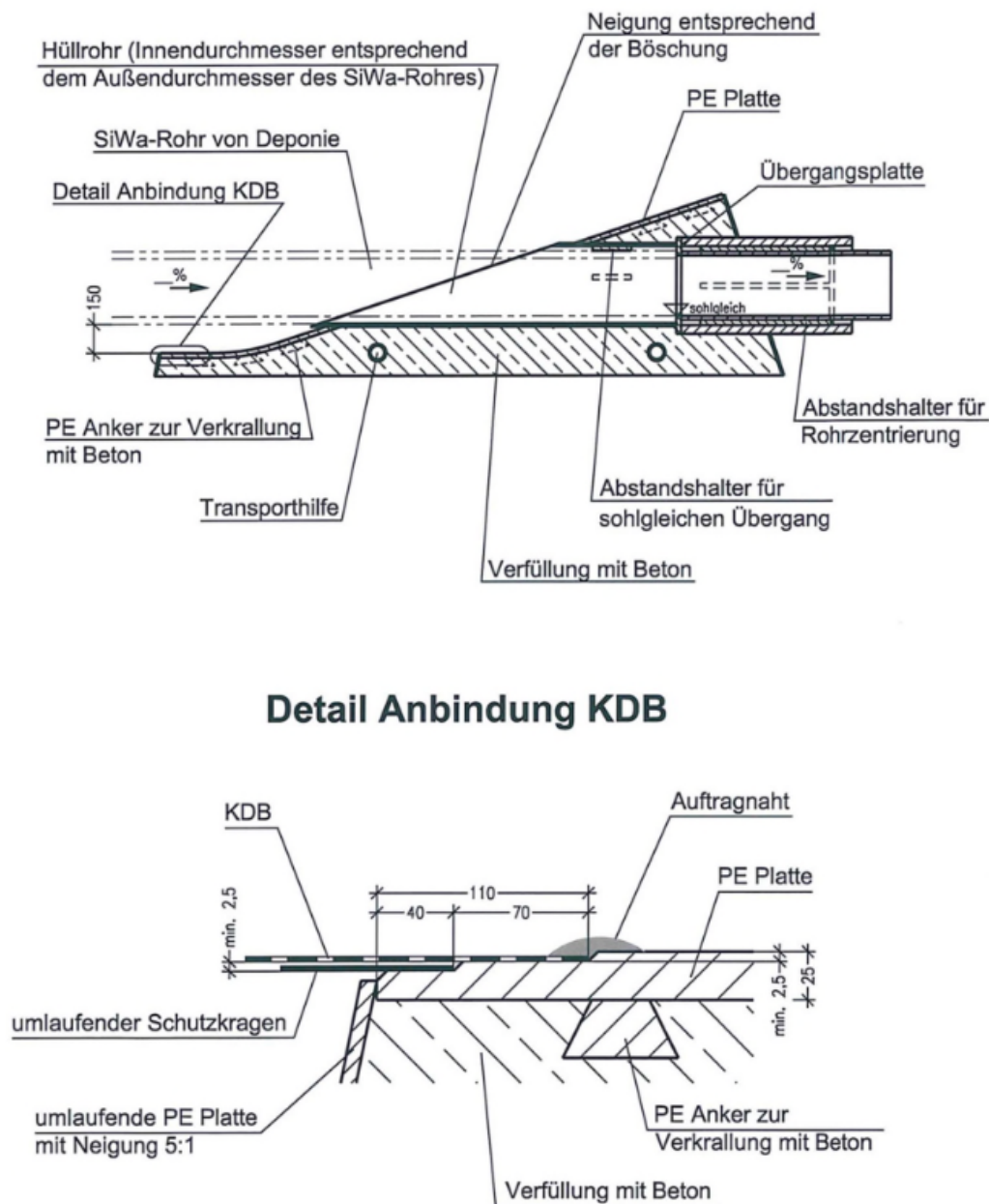
Quelle: GDA E2-14 „Basis-Entwässerung von Deponien“

<sup>97</sup> GDA E2-14

#### D. Durchdringungsbauwerke:

Randdammdurchdringungen für die Sickerwasserleitungen sind vorzugsweise als werkseitig vorkonfektionierte PE-Bauteile in gekapselter Form entsprechend den Böschungsneigungen herzustellen. Sohlgleiche Übergänge im Bauwerk von Drainage- auf Vollwandrohr sind zu gewährleisten. Die Hinterfüllung der Bauwerke muss mit verdichtungsfähigem Material erfolgen. Der Anschlussbereich der KDB ist 2-stufig auszuführen, um einen KDB-Schutzstreifen anschließen zu können. Alle Schweißnähte sind fachgerecht herzustellen<sup>98</sup>. Abbildung 16 zeigt ein Beispiel für die Ausführung der Durchdringungsbauwerke.

**Abbildung 15: Beispiel für die Ausführung eines Durchdringungsbauwerks<sup>99</sup>**



Quelle: Güterrichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien (2024)

<sup>98</sup> nach DVS R 2207

<sup>99</sup> Güterrichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien (2024)

## **E. Schächte:**

Zur Fassung, Sammlung und Ableitung von Deponiesickerwasser sind Rohre und Schächte erforderlich. Schächte im Deponiekörper sind grundsätzlich zu vermeiden. Sie werden außerhalb des Deponiekörpers angeordnet. Bei der Schachtkonstruktion ist zu beachten, dass sie sickerwasserbeständig und vollständig wasserdicht ausgeführt und einschließlich der Schachtdeckungen ausreichend groß dimensioniert werden, damit in den Schächten mit Schutzausrüstung gearbeitet werden kann<sup>100</sup>. Dazu müssen die Innendurchmesser der Schächte mindestens 1,5 m betragen und die Einstiegsöffnungen einen Ø von mindestens 1,0 m aufweisen. Pump- und Speicherschächte sind in Anlehnung an die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) kontrollierbar auszuführen, z.B. durch doppelwandige Konstruktionen. Bei diesen Bauwerken sind im Besonderen Explosionsschutzrichtlinien<sup>101</sup> und Arbeitsschutzmaßnahmen zu beachten. Notwendige Wartungs- und Inspektionstätigkeiten sollten nach Möglichkeit von außen durchführbar sein; dafür gibt es konstruktive Lösungen. Die Schächte können aus Kunststoff oder aus einer Kombination aus Stahlbeton mit Kunststoffsaukleidung hergestellt werden.

Kontroll-, Pump- und Speicherschächte aus Kunststoffen werden in der Regel aus Polyethylen (PE) hergestellt. Zum Einsatz kommen dabei PE 100- oder PE 100 resistance to crack (PE 100-RC)-Materialien, die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zugelassen oder in der Werkstoffliste des Kunststoffrohrverbandes (KRV) genannt sind. Eingesetzte PE 100 Werkstoffe müssen mindestens die Anforderungen nach DIN 4266 Nr. 5.1.1 erfüllen. Der Einsatz der Werkstoffklasse ist von Funktion und Beanspruchung abhängig. PE 100-RC Materialien weisen gegenüber PE 100 Werkstoffen einen erhöhten Widerstand gegen langsames Risswachstum auf. Im Basisabdichtungssystem ist daher vorzugsweise PE 100-RC zu verwenden.

Betonschächte bestehen aus Fertigteilen. Die Durchmesser ergeben sich gemäß den Anforderungen aus der Nutzung, die Wanddicken und Bewehrung gemäß der statischen Berechnung. Schächte aus Stahlbeton müssen die in der DIN EN 1992-1 und in der DIN 1045-2 und -3 formulierten Anforderungen erfüllen. Aufgrund der Aggressivität des Sickerwassers muss der Beton vor dem Kontakt zum Beispiel durch eine PE-Auskleidung geschützt werden<sup>102</sup>.

### **Umweltleistung und Betriebsdaten**

Hinsichtlich des Sickerwasseranfalls auf der Deponiebasis können drei Fälle unterschieden werden:

#### **► Betriebsbeginn - geringe Abfallüberdeckung**

Bei fehlender oder nur geringer Abfallüberdeckung wird der Niederschlag praktisch unmittelbar an die Entwässerungsschicht abgegeben. Angesetzt wird dafür eine ortsspezifische Regenspende in [l/(s·ha)] eines Niederschlagsereignisses von 15 Minuten Dauer, welches einmal jedes Jahr erreicht oder überschritten wird<sup>103</sup>. Der so ermittelte Sickerwasseranfall ist für die hydraulische Bemessung der Sickerrohre, der Sammelleitungen sowie von Pumpwerken zu berücksichtigen.

---

<sup>100</sup> DGV Regel 114-005

<sup>101</sup> GUV-R 104 Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)

<sup>102</sup> Güterrichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien

<sup>103</sup> KOSTRA-DWD, 2020

#### ► Betriebszustand - offene Abfallfläche

Hinsichtlich der hydraulischen Belastung sind die während des Betriebszustandes bei offener Einbaufläche anfallenden Sickerwasserspenden maßgeblich. Als durchschnittliche Sickerwasserspende wird hierbei ein Wert von  $1 \text{ mm/d} = 10 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$  angesetzt. Für die hydraulische Bemessung der mineralischen Entwässerungsschicht (sowie der Abstände der Sickerleitungen und der Gefälle) wird empfohlen, einen gegenüber der durchschnittlichen Sickerwasserspende (nicht mehr speichernder Deponien) 10-fach erhöhten Wert von  $10 \text{ mm/d} = 100 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$  anzusetzen. Durch den stationären Ansatz dieser Größe sind auch längere abflussreiche Perioden rechnerisch abgedeckt. Diese Vorgaben geben eine Orientierung für alle Deponien der Klassen DK I – III, jedoch ist die Anwendbarkeit dieser Orientierungswerte für den Einzelfall sorgfältig zu prüfen.

#### ► Betriebsende – rekultivierte Deponie

Langfristig sind bei rekultivierten Deponien nur noch Sickerwasserspenden zu erwarten, die gegenüber dem Betriebszustand erheblich vermindert sind. Eine generelle Prognose der Entwicklung der Sickerwasserspenden bzw. -abflüsse rekultivierter Deponien ist noch nicht möglich, für die einzelne Deponie können die gemessenen Abflüsse aber für Prognosezwecke extrapoliert werden.

#### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Die zuverlässige und dauerhafte Fassung und Ableitung von Deponiesickerwasser ist essenziell für den Boden- und Grundwasserschutz im Bereich einer Deponie. Das Funktionieren dieser Systeme verhindert einen Aufstau von Sickerwasser oberhalb der Dichtungselemente und reduziert damit den hydraulischen Gradienten (treibende Kraft für die Wasserbewegung in Richtung der abnehmenden Gesamtdruckhöhe). Dadurch werden eine erhöhte Auslaugung der Abfälle sowie eine Verminderung der Deponiestandsicherheit unterbunden. Bei ordnungsgemäßer Auslegung der Sickerwasserfassung und -ableitung sind keine negativen Umweltauswirkungen auf die Medien Boden und Grundwasser zu befürchten. Besondere Bedeutung kommt jedoch der langfristigen Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems zu. Diese ist während der Betriebsphase durch regelmäßige (jährliche) optische Kontrollen (Kamerabefahrungen) und Reinigung der Sickerleitungen zu gewährleisten, im Einzelfall kann ein Austausch beschädigter Leitungen zur Aufrechterhaltung der Funktion notwendig werden.

#### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Die Sickerwasserfassung nach dem Stand der Technik ist bereits vor Beginn der ersten Ablagerungen anzulegen. Für bestehende Deponien lassen sich diese Bestandteile unter wirtschaftlichen Bedingungen i.d.R. nicht mehr nachrüsten. In diesem Fall kann, bei Vorliegen einer akuten Umwelt- oder Standsicherheitsgefährdung, Sickerwasser über herzustellende Sickerwasserbrunnen und -dränagen abgepumpt werden. Dies ist im Einzelfall zu prüfen.

#### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Durch die Errichtung einer Sickerwasserfassung, die gemäß den Regelungen sowohl auf EU- als auch nationaler Ebene verpflichtend vorgesehen ist, entstehen dem Deponiebetreiber verpflichtende Investitionen und somit eine wirtschaftliche Belastung. Zugleich werden durch die Errichtung und den Betrieb der Sickerwasserfassung mögliche Folgekosten, die sich aus einer potenziellen Kontamination des Deponieuntergrunds (Boden und Grundwasser) ergeben könnten, zuverlässig vermieden. Durch den Einsatz von Deponieersatzbaustoffen (zur Substitution von z.B. natürlichem Kies) können diese Kosten deutlich gesenkt und natürliche Ressourcen geschont werden. Weitere Kosten entstehen für den Erhalt des Entwässerungssystems im Sinne

eines finanziellen Aufwands für die regelmäßige Kontrolle, Wartung und Instandsetzung. Hierbei sind, je nach Abfallbeschaffenheit und Alter der Deponie, Inkrustationen im Fassungssystem zu kontrollieren und bei Bedarf zu entfernen.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Treibende Kraft für eine Sickerwasserfassung ist der Schutz des Grundwassers und der umliegenden Biosphären. Ohne eine hinreichende Erfassung, Ableitung und Behandlung bestünde die Gefahr einer unkontrollierten Immission durch verschiedene Schadstoffe. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen kann indirekt über das begleitende Grundwassermonitoring nachgewiesen werden. Zur Feststellung, ob von einer Deponie die Besorgnis einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften ausgeht, legt die zuständige Behörde vor Beginn der Ablagerungsphase unter Berücksichtigung der jeweiligen hydrologischen Gegebenheiten am Standort der Deponie und der Grundwasserqualität entsprechende Auslöseschwellen und geeignete Grundwassermessstellen zur Kontrolle dieser Schwellen fest<sup>104</sup>. Die Sickerwasserfassung und -ableitung ist dabei immer im Verbund mit den Dichtungselementen des Basisabdichtungssystems zu beurteilen, deren Schutzwirkung durch die Vermeidung eines signifikanten Sickerwasseraufstaus wesentlich verbessert wird. Darüber hinaus stellt die zuverlässige und dauerhafte Entwässerung sicher, dass es im Deponiekörper zu keinen unerwünschten Auslaugungen oder Gefährdungen der Standsicherheit kommen kann.

### **Musteranlagen**

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) mit Sickerwasserfassung:

- Niedersachsen → NI265 → Deponieklasse I
- Baden-Württemberg → BW484 → Deponieklasse II

### **Referenzliteratur**

Abwasserverordnung – AbwV (1997): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer. Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 17. April 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 132) geändert.

AwSV (2017): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18.04.2017, (BGBl. I S. 905) zuletzt durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert.

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 3-1 „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 3-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 8-1 "Rohre, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien", LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 11.12.2024 i.V.m. Güterrichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien, Oktober 2024

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

DGUV Regel 114-005 Deponien, veröffentlicht unter <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/>

DIN 1045-2 und -3 (neu: DIN EN 206-1) (2023): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton

---

<sup>104</sup> DepV, §12 (1)

DIN 19667 (2015): Dränung von Deponien - Planung, Bauausführung und Betrieb,  
<https://dx.doi.org/10.31030/2322950>

DIN 4266-1 (2011): Sickerrohre für Deponien - Teil 1: Sickerrohre aus PE und PP,  
<https://dx.doi.org/10.31030/1809738>

DIN EN 1992-1 (2011): Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken,  
<https://dx.doi.org/10.31030/1723945>

GDA E2-14 (2024): Basis-Entwässerung von Siedlungsabfalldeponien. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

GDA E2-3 (2016): Kombiniertes Basisabdichtungssystem. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

GDA E3-12 (2024): Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

KOSTRA-DWD (2020) - Rasterdaten zu Niederschlagshöhen und –spenden in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer D und der Jährlichkeit T (Wiederkehrintervall), veröffentlicht unter [https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra\\_dwd\\_rasterwerte/kostra\\_dwd\\_rasterwerte.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra_dwd_rasterwerte/kostra_dwd_rasterwerte.html)

LAGA (2024): Güterichtlinie „Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“ vom Oktober 2024, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50.html>

Wasserrahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L327/1.

### **3.3.3.5.2 Sickerwasserreinigungsverfahren**

#### **Beschreibung**

Der Anfall von Sickerwasser ist so gering zu halten, wie dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Sickerwassermengen, die nicht vermieden werden können, sind zu erfassen und ordnungsgemäß zu entsorgen, wobei in Abhängigkeit von der spezifischen Schadstoffkonzentration vor einer Einleitung (in Gewässer oder vor der Vermischung mit anderem Abwasser) eine Reinigung zur Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte vorzusehen ist<sup>105</sup>.

#### **Technische Beschreibung**

Die Reinigung des Sickerwassers zielt darauf ab, schädliche Substanzen zu entfernen oder soweit zu reduzieren, dass es in die Umwelt entlassen werden kann. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das abgeleitete Wasser den geforderten Umweltstandards entspricht und potenziell schädliche Auswirkungen minimiert werden.

Die chemische Zusammensetzung von Deponiesickerwasser ist komplex und die Inhaltsstoffe variieren je nach Abfallzusammensetzung, dem Grad des (insbesondere) biologischen Abbaus im Laufe der Zeit (Alter der Deponie), dem Klima (Temperatur, Niederschlag), dem Grad der Verdichtung und der Art des Deponiebetriebs. Zu den abzutrennenden Schadstoffen zählen vor allem:

- Organische Verbindungen: Hierzu zählen Kohlenwasserstoffe, Lösungsmittel, Tenside, Flammenschutzmittel, Biozide, Rückstände pharmazeutischer Substanzen, per- und polyfluor-

---

<sup>105</sup> Abwasserverordnung - AbwV, Anhang 51 Oberirdische Ablagerung von Abfällen

rierte Alkylverbindungen (PFAS), halogenorganische Verbindungen (AOX) und andere industriell hergestellte Verbindungen, ebenso wie natürlich vorkommende Substanzen (z.B. Kohlenhydrate, Proteine, Fette), die in den Abfällen enthalten sein können.

- ▶ Schwermetalle: Dazu gehören bspw. Blei, Quecksilber, Cadmium und Zink, die aus verschiedenen abgelagerten Materialien stammen können. Dies betrifft industrielle Werksdeponien (DK II und III) in besonderem Maße.
- ▶ Salzbildner: Ionen wie Chlorid, Natrium, Kalium, Kalzium und Magnesium können in erhöhten Konzentrationen im Sickerwasser auftreten. Insbesondere mineralische Bauabfälle führen häufig zu hohen Salzfrachten.
- ▶ Stickstoffverbindungen: Diese können in Form von Ammonium oder in geringeren Konzentrationen als Nitrat im Sickerwasser vorhanden sein, insbesondere wenn nativ-organische Materialien wie Speisereste abgebaut werden.
- ▶ Sulfate: Sulfate können aus verschiedenen Quellen stammen, einschließlich Baustoffen und Abfällen.
- ▶ Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) und Rückstände pharmazeutischer Substanzen.

Ein vergleichsweise „junger“ Deponieabschnitt mit unbehandelten Siedlungsabfällen in einem gemäßigten Klima erzeugt ein Sickerwasser mit hoher organischer Belastung (BSB<sub>5</sub> und CSB), während „alte“ Deponieabschnitte und solche mit vorbehandelten Abfällen (z.B. mechanisch-biologisch oder thermisch) eine geringere organische Belastung des Sickerwassers aufweisen. Neben den organischen Verbindungen finden sich im Sickerwasser eine Vielzahl von Salzen und anderen anorganischen Verbindungen. Aufgrund der Stoffcharakteristik von mineralischen Abfällen werden mit dem Sickerwasser aus diesen Deponien häufig hohe Salzfrachten ausgetragen. Die zeitlich veränderlichen Konzentrationen der Salze sind wiederum eng an den Grad der Auswaschung der mineralischen Abfälle gekoppelt. Sickerwässer aus Deponien mit industriellen Abfällen (i.d.R. Deponien der Klasse II oder III) sind individuell entsprechend der Schadstoffe im Abfallinventar zu betrachten. Häufig werden hier anorganische Schadstoffe wie z.B. Schwermetalle im Sickerwasser vorgefunden.

Alle Sickerwasserinhaltsstoffe unterliegen (zum Teil erheblichen) Konzentrationsänderungen mit der Zeit. Ursächlich dafür sind u.a. biologische Ab- und Umbauprozesse, physikalische Auswaschungsprozesse sowie chemisch-physikalische Lösungs- und Komplexierungsprozesse. Darüber hinaus sind veränderliche Sickerwassermengen zu berücksichtigen. Ursächlich hierfür sind z.B. saisonale Einflüsse (auch Starkregenereignisse) sowie rückläufige Quantitäten nach dem Aufbringen der Oberflächenabdichtung. In der Konsequenz bedeutet dies, dass die Reinigungsverfahren im Laufe der Zeit an die Qualität und Quantität des Sickerwassers angepasst werden müssen und dass in vielen Fällen aufgrund der komplexen Schadstoffkomponenten (insbesondere bei den Deponieklassen II und III) kombinierte Verfahren zum Einsatz kommen müssen, um die Grenzwerte sicher einhalten zu können. Als langfristig erfolgreich haben sich dabei Systeme gezeigt, die modular aufgebaut sind und sich den veränderlichen Sickerwasserqualitäten und -quantitäten anpassen können.

Bei der Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle mit einem hohen Anteil an biologisch abbaubaren Substanzen und den daraus resultierenden hohen CSB-, BSB<sub>5</sub>- und NH<sub>4</sub>-N-Konzentrationen werden häufig Kombinationen aus biologischer (Belebung und Nitrifikation / Denitrifikation) und mechanischer Behandlung (Druckfiltration) sowie einer nachgeschalteten Aktivkohleadsorption eingesetzt. Sickerwasser aus überwiegend mit mineralischen Abfällen (z.B. den Reststoffen aus einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Siedlungsabfällen) verfüllten

Deponien (Deponieklasse II) kann ggf. ausschließlich mit Filtrationsverfahren gereinigt werden, während Sickerwasser aus Deponien der Deponieklasse I teilweise auch ohne Vorbehandlung indirekt abgeleitet werden kann. Im letzteren Fall ist jedoch darauf zu achten, dass ggf. erhöhte Salzkonzentrationen vorliegen können, die dann wiederum eine Behandlungsbedürftigkeit (z.B. Filtration oder Adsorption) zur Folge hätten und die ansonsten in der Abwasserreinigungsanlage lediglich verdünnt werden würden.

Die Tabelle 30 gibt einen orientierenden Überblick über die Anwendbarkeit unterschiedlicher Sickerwasserreinigungsverfahren im Hinblick auf die unterschiedlichen Inhaltsstoffe sowie die jeweiligen Reststoffe des Reinigungsprozesses.

**Tabelle 30: Anwendbarkeit und Eignung unterschiedlicher Sickerwasserreinigungsverfahren im Hinblick auf die unterschiedlichen Inhaltsstoffe<sup>106</sup>**

| Verfahren              | NH <sub>4</sub> -N | BSB <sub>5</sub> | CSB | AOX | Kohlenwasserstoffe | Schwermetalle | Salzbildner | Bemerkung / Reststoffe                   |
|------------------------|--------------------|------------------|-----|-----|--------------------|---------------|-------------|------------------------------------------|
| Biologische Behandlung | +                  | +                | ○   | ○   | ○                  | -             | -           | Überschuss-schlamm                       |
| Flockung/Fällung       | -                  | -                | ○   | ○   | ○                  | +             | -           | Schlamm                                  |
| Aktivkohle-adsorption  | -                  | ○                | ○   | +   | +                  | -             | -           | Adsorbens                                |
| Chemische Oxidation    | -                  | ○                | ○   | ○   | ○                  | -             | -           | nur in Kombination mit anderen Verfahren |
| Membranfiltration      | -                  | ○                | ○   | ○   | -                  | ○             | ○           | schadstoffhaltiges Rückspülwasser        |
| Umkehrosmose           | ○                  | ○                | ○   | +   | +                  | +             | +           | Konzentrat                               |

+ gut geeignet    ○ bedingt geeignet    – weniger geeignet

Im Folgenden werden die relevanten Sickerwasserreinigungsverfahren sowie die häufig eingesetzten Verfahrenskombinationen technisch beschrieben und im Abschnitt "Musteranlagen" auf Deponien hinterlegt.

### Mechanische (Vor-)Behandlung und Vergleichmäßigung

Vor der eigentlichen Reinigung wird das Sickerwasser zwischengespeichert und in seiner Quantität und Qualität vergleichmäßigt. Eine erste Entfernung von Feststoffen kann durch Sedimentation (z.B. in Sammelbecken) erfolgen. Die mechanische Vorbehandlung hat keinen Einfluss auf die Konzentrationen der gelösten Schadstoffe im Sickerwasser.

<sup>106</sup> Adaptiert aus Koß, K.D. und Trapp, M. (2003) sowie Dr.-Ing Peters Consulting (2018) und verifiziert durch den Fachbeirat zum Projekt UBA-BVT-Deponien (ReFoPlan 2022, FKZ: 3722 29 301 1)

## Biologische Behandlung

Die biologische Behandlung ist häufige Praxis für die Sickerwasserbehandlung von Deponien, auf denen biologisch abbaubare organische Fraktionen mit den Siedlungsabfällen abgelagert wurden. In diesen Fällen finden sich im Sickerwasser häufig hohe Konzentrationen an organischen Stoffen und Ammonium-Stickstoff. Nicht alle organischen Stoffe sind biologisch abbaubar, so dass die Ablaufwerte für den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) sowie die adsorbierbaren, organisch gebundenen Halogene (AOX) teilweise noch keine Einleitung erlauben, sondern eine weitere Reinigungsstufe erfordern.

Zum Einsatz kommen aerobe Verfahren, welche neben dem Abbau der organischen Kohlenstoffverbindungen (insbesondere BSB<sub>5</sub>) auch zu einer nahezu vollständigen Verringerung der Ammonium-Stickstoffkonzentrationen führen. Letzteres ist auf die (z.T. verfahrenstechnisch integrierte) Kombination von aeroben und anaeroben bzw. anoxischen Betriebszuständen zurückzuführen, welche eine gestufte Nitrifikation – Denitrifikation zur Reduzierung der Ammoniumfrachten erlauben. Verfahrenstechnisch umgesetzt werden diese Prozesse überwiegend in Belebtschlammanlagen (konventionelle Anlage mit Schlammrückführung, Membranbioreaktor, Sequencing-Batch-Reaktor), Festfilmreaktoren (rotierende biologische Kontaktoren) oder offenen Becken (mit oder ohne aktive Belüftung). Im ordnungsgemäßen Betrieb erreichen biologische Behandlungsanlagen typische Ablaufwerte von < 10 mg BSB<sub>5</sub>/l, und < 10 mg NH<sub>4</sub>-N/l.

## Chemisch/physikalische Behandlung

Nach der biologischen Behandlung weist das Sickerwasser oftmals einen niedrigen biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>) und einen (noch immer) relativ hohen chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) auf. Der BSB<sub>5</sub> beschreibt hierbei die Konzentration an biologisch leicht abbaubaren organischen Substanzen, während der CSB die schwer oder nicht biologisch abbaubare Organik indirekt quantifiziert. Ein Quotient  $BSB_5/CSB \geq 0,5$  weist auf ein biologisch gut behandelbares Sickerwasser hin, während kleinere BSB<sub>5</sub>/CSB-Verhältnisse (< 0,5 - < 0,1) auf biologisch schwer abbaubare Sickerwasserinhaltsstoffe bzw. persistente organische Belastungen hindeuten.

Als ergänzende Maßnahme oder sogar zum vollständigen Ersatz der biologischen Behandlung können dann chemisch-physikalische Behandlungsschritte eingesetzt werden. In einigen Fällen ist die Notwendigkeit der Entfernung bestimmter anorganischer Verbindungen (Salze, Schwermetalle usw.) erforderlich, welche durch eine gezielte chemische-physikalische Behandlung erfolgen kann. In Abhängigkeit der Sickerwassercharakteristik kommen die folgenden Reinigungsverfahren zum Einsatz:

### i. Flockung/Fällung

Mit der Flockung/Fällung (F/F) können schwer bzw. nicht abbaubare organische Restbelastungen im Sickerwasser reduziert werden. Ebenso kann eine teilweise Reduktion der Schwermetalle erzielt werden. Mit dem Verfahren der Flockung/Fällung können CSB-Eliminationsraten von bis zu 50 % erreicht werden. Als Flockungsmittel eignen sich 3-wertige Eisen- oder Aluminiumsalze (Fe<sup>3+</sup> und Al<sup>3+</sup>), deren optimaler Wirkungsgrad bei pH-Werten von 4,5 – 5,0 liegt. Darüber hinaus kommen auch organische Polymere oder anorganische Flockungsmittel wie aktivierte Kiesel Erde oder Ton zum Einsatz. Mit F/F-Reinigungssystemen ist es nur in sehr geringem Umfang möglich, biologisch abbaubare Inhaltsstoffe mit BSB<sub>5</sub>/CSB-Quotienten > 0,4 wirtschaftlich zu eliminieren. Für derartige Sickerwässer ist eine vorherige biologische Reinigung sinnvoll.

## ii. *Adsorption*

Adsorption ist die Übertragung gelöster Stoffe aus einer flüssigen Phase auf die Oberfläche einer festen Phase. Neben den biologisch schwer abbaubaren CSB-Verbindungen und AOX-Komponenten können auch aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) und Phenole aus dem Sickerwasser abgeschieden werden. Das Adsorptionsmaterial sollte durch eine maximale Oberfläche im Verhältnis zu einem geringen Volumen gekennzeichnet sein. Als Adsorptionsmittel werden vor allem pulverförmige bzw. körnige Aktivkohlen eingesetzt. Je nach Aktivkohleart kommen Rührreaktoren (Einsatz von pulverförmigen Aktivkohlen) bzw. Aktivkohlesäulen (Einsatz von Aktivkohlegranulaten) zum Einsatz. Mit den Adsorptionsverfahren ist eine weitere Reduktion der CSB-Restkonzentration sowie des AOX möglich. Im Gegensatz zur Flockung/Fällung kann die CSB- bzw. AOX-Eliminationsleistung der Adsorptionsverfahren durch eine Erhöhung der Aktivkohlezugabe gesteigert werden. Maximale Adsorptionsleistungen liegen für den CSB im Bereich von 500 mg pro Gramm Aktivkohle während für die halogenierten, organischen Kohlenwasserstoffe (AOX) Leistungen von bis zu 500 µg pro Gramm Aktivkohle ermittelt werden<sup>107</sup>. Zur sicheren Einhaltung der geforderten Ablaufwerte bietet sich eine Kombination der Verfahren Flockung/Fällung und Aktivkohle-Adsorption an.

## iii. *Chemische Oxidation*

Die chemische Oxidation ist ein ähnlicher Prozess wie die biologische Oxidation, jedoch ist die Reaktion wesentlich stärker. Gleichzeitig sind die Kosten für chemische Oxidationsmittel wesentlich höher als die Kosten für die biologische Behandlung. Schadstoffe (hauptsächlich organische Verbindungen) können durch Zugabe eines Oxidationsmittels (häufig Ozon oder Wasserstoffperoxid) in eine Reihe von z.T. weniger schädlichen (i.d.R. kurzkettigen) Verbindungen oxidiert werden.

Die optimalen Endprodukte der chemischen Oxidation sind Wasser und Kohlenstoffdioxid. In der Praxis wird jedoch nur ein begrenzter Teil der organischen Verbindungen in die Endprodukte aufgespalten. Diese (Teil-)Oxidation führt dazu, dass sich in vielen Fällen der CSB bzw. der TOC nach der chemischen Oxidation verringert, während sich der BSB<sub>5</sub> erhöht und daher ggf. eine biologische Nachbehandlung benötigt wird. Enthält das Sickerwasser relativ hohe Chloridkonzentrationen, können bei der chemischen Oxidation in einer ersten Phase hohe Konzentrationen von chlororganischen Halogenen entstehen. In der zweiten Phase werden die organischen Stoffe weitgehend zu organischen Fragmenten oxidiert, von denen viele biologisch abbaubar sind.

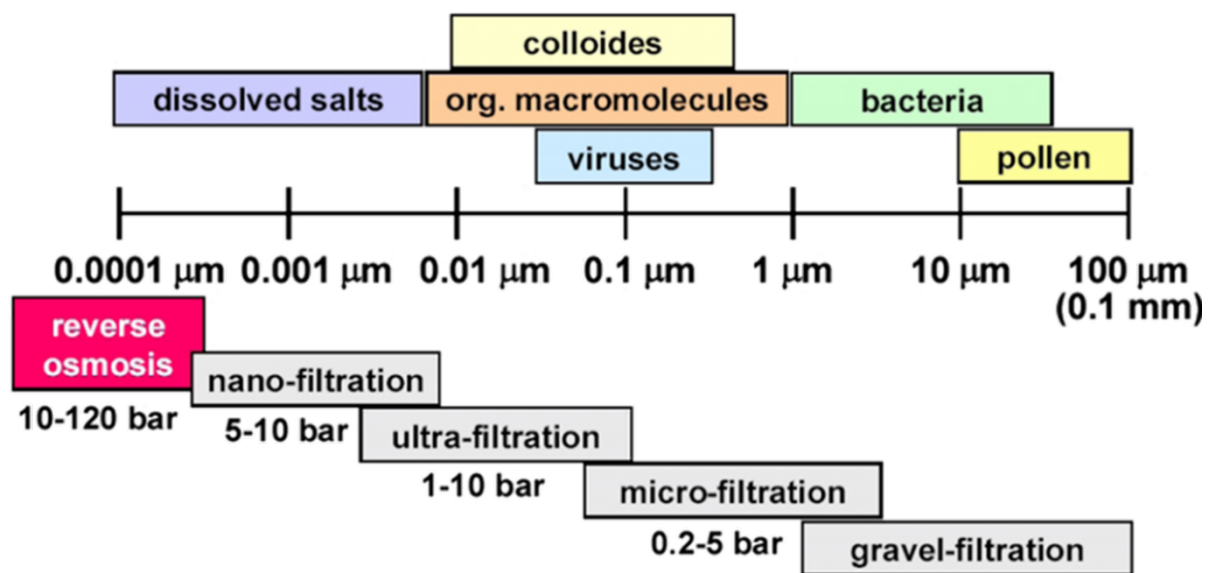
## **Membranfiltration**

Die Membranfiltration ist ein mechanisches Trennverfahren, welches partikuläre und z.T. auch gelöste Sickerwasserinhaltsstoffe aus der flüssigen Phase separiert. Die Poren der eingesetzten Membranen bewegen sich im Größenbereich von Mikro- bis Nanometern, weshalb z.T. hohe Drücke für den Betrieb der Anlagen nötig sind. Letzteres ist mit einem hohen Energieverbrauch (zum Betrieb der Pumpen) und hohen Betriebskosten verbunden. Die Abbildung 16 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Membranfiltrationsverfahren und die jeweilige Größenordnung der abtrennbaren Substanzen.

---

<sup>107</sup> Cossu et al., 2019

**Abbildung 16: Größenordnung verschiedener Sickerwasserinhaltsstoffe und Durchlässigkeiten unterschiedlicher Membranfiltrationsverfahren<sup>108</sup>**



Quelle: Cossu et al., 2019

Die Ultrafiltration wird üblicherweise zur Abtrennung von Feststoffen und Partikeln bis hin zur Größe von Viren eingesetzt. Makromoleküle (CSB) können aus dem Deponiesickerwasser allerdings nur unvollständig entfernt werden, so dass häufiger Nanofiltrationsverfahren sowie die Umkehrosmose zum Einsatz kommen. Der grundlegende Unterschied zwischen diesen beiden Membrantypen liegt in ihrer Durchlässigkeit - die Nanofiltration ist für einige einwertige Ionen (Na, Cl, K, etc.) noch in einem bestimmten Maß durchlässig. Vollständigere Reinigungsleistungen können durch den Einsatz von Umkehrosmoseanlagen erreicht werden. Eine mehrstufige (2 – 3 Stufen) Umkehrosmoseanlage erreicht Wirkungsgrade von über 99 % bei der Entfernung von CSB, BSB<sub>5</sub> und gesamten Kjeldahlstickstoff (TKN) sowie eine Abtrennung von > 90% für die meisten Schwermetalle. Werden Umkehrosmoseanlagen zur Reinigung von Sickerwasser mit hohen Salzkonzentrationen eingesetzt, so können einwertige Ionen (z.B. Cl<sup>-</sup>) in einstufigen Anlagen bis zu 95% und in zweistufigen Anlagen bis zu 99,5% abgeschieden werden. Zweiseitige Ionen (z.B. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) werden in einstufigen Anlagen zu 98% und in zweistufigen Anlagen bis zu 99,5% eliminiert.

Trotz des üblichen Querstrom-Verfahrens können sich hohe BSB<sub>5</sub>-Zulaufkonzentrationen nachteilig auf die Reinigungsleistung insbesondere der UO-Anlagen auswirken (Fouling), weshalb eine vorgeschaltete Reduzierung der leicht abbaubaren organischen Sickerwasserbestandteile vorzusehen ist. Den Prozessen des Scaling (Anlagerung anorganischer Verbindungen auf der Membranoberfläche) kann durch eine Zudosierung von Säuren entgegengewirkt werden.

Der verbleibende Rückstand ist ein hochviskoses flüssiges Konzentrat, das den Großteil der Sickerwasserbelastungen enthält. Das Konzentrat kann eingedampft werden, wobei ein hochlöslicher Feststoff entsteht. Dieses Endprodukt wird als gefährlicher Abfall eingestuft und sollte vorzugsweise nach der Behandlung in Deponien der Klasse IV oder nach Konditionierung als Versatzmaterial entsorgt werden. Weitere Entsorgungsmöglichkeiten des Konzentrats bestehen mit der thermischen Mitbehandlung (in MVAs) oder der Reinigung in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen.

108 Cossu et al., 2019

## Erzielter Umweltnutzen

Hauptzweck der Sickerwasserreinigung ist die Reduktion und/oder Abtrennung umweltschädlicher und gesundheitsschädlicher Inhaltsstoffe vor einer Rückführung in den Wasserkreislauf. Der im Einzelnen erzielte Umweltnutzen einer Sickerwasserreinigung umfasst mehrere Teilbereiche:

### ► Vermeidung der Boden- und Grundwasserkontamination

Die Reinigung des gefassten Deponiesickerwassers nach dem Stand der Technik und unter Beachtung der geltenden Grenzwerte für die Einleitung gewährleistet, dass schädliche Inhaltsstoffe entfernt oder auf ein gefordertes Konzentrationsmaß reduziert werden, bevor das Wasser direkt oder indirekt eingeleitet wird.

### ► Langfristige Umweltintegrität

Die Sickerwasserreinigung unterstützt das Ziel, die langfristige Umweltintegrität im Umfeld der Deponie zu erhalten. Dadurch werden Ökosysteme geschont und negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit verhindert.

## Umweltleistung und Betriebsdaten

Die Umweltleistung der Deponiesickerwasserreinigung bemisst sich an der Reduzierung der Schadstofffracht, die mit dem Sickerwasser transportiert wird und, im Falle eines direkten Eintrags in Böden oder Gewässer, zu negativen Umweltauswirkungen führen würde.

Untersuchungen von deutschen Siedlungsabfalldeponien aus 1994 und 2001, auf denen unvorbehandelte Siedlungsabfälle abgelagert wurden, ergaben die in der Tabelle 32 aufgeführten Konzentrationen verschiedener Sickerwasserinhaltsstoffe im zeitlichen Verlauf (differenzierte Konzentrationen entsprechend dem Deponiealter, erhoben an mehr als 50 Deponien<sup>109</sup>).

**Tabelle 31:** Konzentrationen von Sickerwasserinhaltsstoffen in deutschen Siedlungsabfalldeponien mit nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen unterschiedlicher Ablagedauer sowie Anforderungswerte für die Einleitung von Deponiesickerwasser in Gewässer<sup>110</sup>

| Parameter              | 1-5 Jahre | 6-10 Jahre | 11-20 Jahre | 21-30 Jahre | Grenzwert Direkt-einleitung |
|------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| pH                     | 7,3       | 7,5        | 7,6         | 7,7         | -                           |
| BSB [mg/l]             | 2.285     | 800        | 275         | 185         | 20                          |
| CSB [mg/l]             | 3.810     | 2.485      | 1.585       | 1.160       | 200                         |
| NH <sub>4</sub> [mg/l] | 405       | 600        | 555         | 445         | 70 (NO <sub>2</sub> : 2)    |
| NO <sub>3</sub> [mg/l] | 3,6       | 7,6        | 12          | 9           | 70 (NO <sub>2</sub> : 2)    |
| NO <sub>2</sub> [mg/l] | 0,06      | 0,63       | 0,5         | 0,8         | 70 (NO <sub>2</sub> : 2)    |
| Gesamt P [mg/l]        | n.b.      | n.b.       | n.b.        | n.b.        | 3                           |

<sup>109</sup> Ehrig, H.-J., 2001

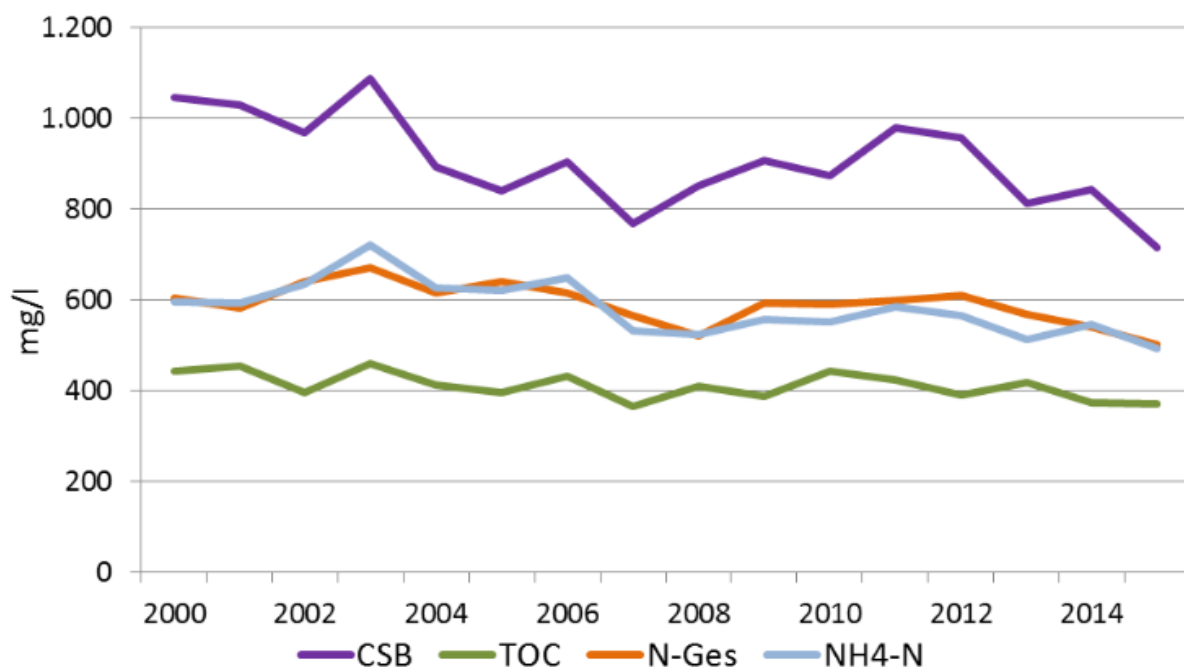
<sup>110</sup> Abwasserverordnung - AbwV, Anhang 51 Oberirdische Ablagerung von Abfällen

Aus der Gegenüberstellung der mittleren Schadstoffkonzentrationen im Deponiesickerwasser und den zulässigen Konzentrationen bei einer Direkteinleitung in Gewässer zeigt sich, dass die Sickerwasserreinigung für die organische Schadstoffbelastung sowie für die anorganische Stickstoffbelastung zu einer Reduzierung zwischen 83% und 89% beiträgt und damit die Umwelt signifikant entlastet.

Zur Qualität des Sickerwassers aus vielen Deponien im Bundesland Nordrhein-Westfalen werden durch die zuständige Behörde regelmäßige Berichte veröffentlicht<sup>111</sup>. Die darin enthaltenen Daten werden im Rahmen der Deponieselbstüberwachung durch die Deponiebetreiber erhoben und in das Deponieinformationssystem ADDIS überführt, welches seit 2011 als Internetanwendung ADDISweb den Nutzern (Betreiber, Behörden, Öffentlichkeit) unter <https://www.addis.nrw.de> zur Verfügung steht.

Eine Auswertung der Daten von Deponien in der Stilllegungs- und Nachsorgephase ( $\geq 23$  Deponien der Klasse II) verdeutlicht, dass die Konzentrationen der organischen Sickerwasserparameter zwar mit der Zeit allmählich abnehmen, gleichzeitig aber die Grenzwerte für die Direkteinleitung<sup>112</sup> bei Weitem noch nicht erreicht werden, sodass die Behandlungsbedürftigkeit über viele Jahre erhalten bleibt (Abbildung 17).

**Abbildung 17: Konzentrationsverlauf ausgewählter Parameter von Siedlungsabfalldéponien (DK II) in der Stilllegungs- und Nachsorgephase<sup>113</sup>**



Quelle: LANUV-Fachbericht 24

Der Zeitpunkt, ab dem die Sickerwasserbehandlung ggf. beendet oder auf eine günstigere Variante umgestellt werden kann, lässt sich durch die Extrapolation der empirischen Daten prognostizieren. Durch den Vergleich mit den Anforderungen für Deponiesickerwasser nach Anhang 51 der Abwasserverordnung kann grob abgeschätzt werden, ab wann eine Direkteinleitung in die

<sup>111</sup> LANUV-Fachbericht 24

<sup>112</sup> Abwasserverordnung - AbwV, Anhang 51 Oberirdische Ablagerung von Abfällen

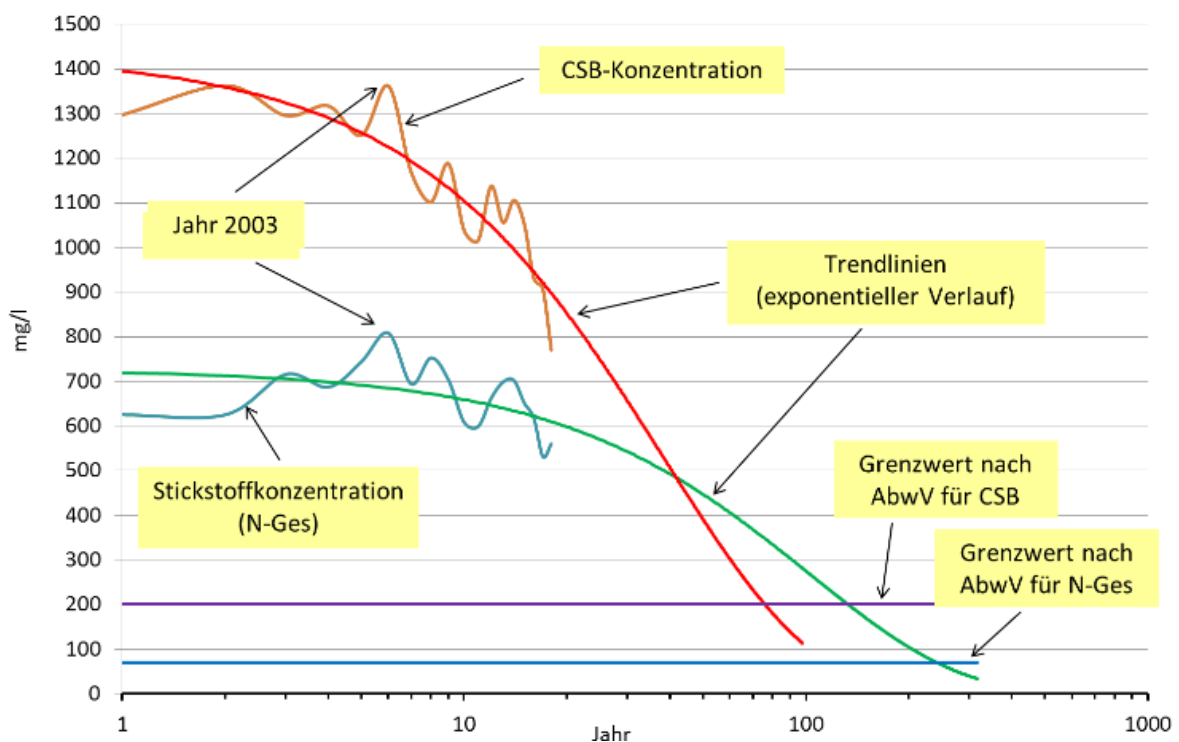
<sup>113</sup> LANUV-Fachbericht 24

Vorflut ohne Behandlung erfolgen kann. Dies wiederum ist ein entscheidendes Kriterium für die Entlassung aus der Nachsorge.

In Abbildung 18 werden für Deponien der Klasse II die mittleren Sickerwasser-Konzentrationen an CSB und Gesamt-Stickstoff für den Zeitraum von 1998 bis 2015 und deren Trend bis zum Erreichen der derzeitigen Grenzwerte nach Anhang 51 AbwV dargestellt. Der Grenzwert für CSB von 200 mg/l wird danach bei vielen Siedlungsabfalldeponien erst nach mehreren Dekaden eingehalten. Da ein Teil des CSBs aus biologisch nur sehr schwer abbaubaren organischen Verbindungen (z.B. Huminstoff-ähnliche Substanzen) besteht, verbleibt eine gewisse Belastung (ggf. auch über dem Grenzwert nach 51. Anhang der AbwV) ggf. auch über diesen Zeitraum hinaus im Sickerwasser. Der Grenzwert für Gesamt-Stickstoff von 70 mg/l wird u.U. noch später erreicht. Anhand der ausgewerteten Messdaten kann prognostiziert werden, dass für viele Deponien der Klasse II, die in Deutschland bis zum Jahr 2005 zu einem erheblichen Teil mit unbehandelten Siedlungsabfällen verfüllt wurden, das Ende der Sickerwasserbehandlungsbedürftigkeit erst in weit mehr als 100 Jahren erreicht werden wird, sofern noch Sickerwasser anfällt. Diese Prognose zur Konzentrationsentwicklung über die Ablagerungsdauer wird maßgeblich von der Art und dem Zeitpunkt der Aufbringung einer Oberflächenabdichtung und der damit verbundenen Reduzierung der Sickerwasserbildung beeinflusst.

Für Deponien oder getrenntentwässerte Deponieabschnitte der Klasse II, die vollständig oder überwiegend nach 2005 verfüllt wurden, sind grundsätzlich andere (i.d.R. niedrigere) Sickerwasserkonzentrationen zu erwarten. Für diese Deponien hat die Abbildung 18 demnach nur eine eingeschränkte Aussagekraft.

**Abbildung 18: Trend der mittleren CSB- und Stickstoff-Konzentration im Sickerwasser von Siedlungsabfalldeponien in der Stilllegungs- und Nachsorgephase<sup>114</sup>**



Quelle: LANUV-Fachbericht 24

<sup>114</sup> LANUV-Fachbericht 24

Neben den dargestellten zeitlich differenzierten Verläufen der Sickerwasserbelastungen lassen sich auch deutliche Unterschiede in den Sickerwasserkonzentrationen verschiedener Deponie-  
klassen erkennen. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Unterschiede im Hinblick auf  
die jeweiligen Mittelwerte und die zugehörigen Spannbreiten dargestellt und bewertet.

#### A. Sickerwasserqualität von Deponien der Klasse I:

Die hier betrachteten Deponien werden zumeist mit Massenabfällen aus dem Bausektor oder  
produktionsspezifischen Abfällen mit jeweils geringen organischen Anteilen verfüllt.

**Tabelle 32: Organik und Stickstoff – DK I-Deponien<sup>115</sup>**

| Parameter          | Einheit | Mittelwert<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte | Spannbreite<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte |
|--------------------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| TOC                | mg/l    | 27                                                | 2 - 134                                            |
| CSB                | mg/l    | 118                                               | 15 – 1.009                                         |
| BSB <sub>5</sub>   | mg/l    | 13                                                | 2 – 101                                            |
| Stickstoff, gesamt | mg/l    | 21                                                | 0 – 70                                             |
| Ammonium-N         | mg/l    | 25                                                | 0,1 – 322                                          |
| Nitrat-N           | mg/l    | 8                                                 | 0,2 – 37                                           |
| AOX                | µg/l    | 93                                                | 10 – 411                                           |

Das Sickerwasser aus den DK I Deponien ist gekennzeichnet durch geringe Konzentrationen an  
Organik (insbesondere leicht-abbaubare Organik, BSB<sub>5</sub>) und stickstoffhaltigen Verbindungen.  
Demgegenüber finden sich im Sickerwasser dieser Deponien hohe Salzkonzentrationen (Tabelle  
33), wobei insbesondere die Konzentration an Sulfat relevant erscheint. Es ist zu erwarten, dass  
die hohen Sulfatkonzentrationen überwiegend durch gipshaltige Bauabfälle verursacht werden.

**Tabelle 33: Salzbildner – DK I-Deponien<sup>116</sup>**

| Parameter         | Einheit | Mittelwert<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte | Spannbreite<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte |
|-------------------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Sulfat            | mg/l    | 1.038                                             | 2 – 3.694                                          |
| Chlorid           | mg/l    | 534                                               | 5 – 2.730                                          |
| Natrium           | mg/l    | 443                                               | 25 – 2.216                                         |
| Kalium            | mg/l    | 150                                               | 4 – 496                                            |
| Calcium           | mg/l    | 345                                               | 17 – 718                                           |
| Magnesium         | mg/l    | 71                                                | 2 – 522                                            |
| el. Leitfähigkeit | mS/m    | 795                                               | 53 – 5.084                                         |

<sup>115</sup> LANUV Fachbericht 24

<sup>116</sup> LANUV-Fachbericht 24

Die mittleren Konzentrationen an Schwermetallen (Tabelle 34) sind insgesamt gering. Aufgrund spezifischer Belastungen der unterschiedlichen Massenabfälle können jedoch im Sickerwasser einzelner Deponien z.T. Konzentrationsspitzen einzelner Parameter beobachtet werden.

**Tabelle 34: Schwermetalle – DK I-Deponien<sup>117</sup>**

| Parameter   | Einheit | Mittelwert<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte | Spannbreite<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte |
|-------------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Arsen       | µg/l    | 19                                                | 0 - 120                                            |
| Cadmium     | µg/l    | 2                                                 | 0 – 5                                              |
| Chrom       | µg/l    | 37                                                | 1 – 538                                            |
| Chrom VI    | µg/l    | 46                                                | 1 – 479                                            |
| Kupfer      | µg/l    | 49                                                | 4 – 285                                            |
| Quecksilber | µg/l    | 1,0                                               | 0,1 – 14                                           |
| Nickel      | µg/l    | 33                                                | 1 – 202                                            |
| Blei        | µg/l    | 17                                                | 1 – 79                                             |
| Zink        | µg/l    | 134                                               | 10 – 899                                           |

**B: Sickerwasserqualität von Deponien der Klasse II:**

An dieser Stelle werden die Sickerwasserdaten von Deponien betrachtet, auf denen vorwiegend Siedlungsabfälle (Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll usw.) abgelagert wurden. In der Gruppe der Siedlungsabfalldeponien sind viele ehemalige Hausmülldeponien vertreten, auf denen bis zum 31.5.2005 unbehandelter Hausmüll mit hohen Organikanteilen abgelagert werden durfte. Die nachfolgend dargestellten Daten beziehen sich auf insgesamt 73 Deponien, von denen sich 12 in der Ablagerungsphase, 50 in der Stilllegungsphase und 11 in der Nachsorgephase befinden.

<sup>117</sup> LANUV-Fachbericht 24

**Tabelle 35: Organik und Stickstoff – Siedlungsabfalldéponien DK II<sup>118</sup>**

| Parameter          | Einheit | Mittelwert der deponiebezogenen Mittelwerte | Spannbreite der deponiebezogenen Mittelwerte |
|--------------------|---------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| TOC                | mg/l    | 423                                         | 10 – 2.212                                   |
| CSB                | mg/l    | 1.113                                       | 17 – 4.598                                   |
| BSB <sub>5</sub>   | mg/l    | 163                                         | 5 – 1.760                                    |
| Stickstoff, gesamt | mg/l    | 652                                         | 19 – 1.693                                   |
| Ammonium-N         | mg/l    | 592                                         | 12 – 1.490                                   |
| Nitrat-N           | mg/l    | 12                                          | 0 – 109                                      |
| AOX                | µg/l    | 642                                         | 2 – 1.871                                    |

Die Konzentrationen der Organik und der stickstoffhaltigen Verbindungen liegen im Sickerwasser von Deponien der Klasse II eine Größenordnung über denen der Deponieklasse I. Auffällig ist die große Spannbreite der Mittelwerte, die sich insbesondere aus der gemeinsamen Betrachtung von „alten“ Deponien in der Nachsorgephase und „jüngeren“ Deponien, die noch mit biologisch abbaubaren Abfällen verfüllt wurden, ergibt.

Bezüglich der Konzentrationen an Salzen im Sickerwasser der DK-II-Deponien lassen sich hohe Werte für Chlorid und Natrium erkennen. Im Gegensatz zu dem Sickerwasser der DK-I-Deponien zeigen sich deutlich niedrigere Sulfatkonzentrationen, die zum einen auf reduzierende Verhältnisse (infolge des biologischen Abbaus der organikreichen Abfälle) in den Deponiekörpern, zum anderen auch durch das Ablagerungsverbot von Gipshaltigen Abfällen auf Deponieabschnitten mit höheren TOC Gehalten zurückzuführen sind.

**Tabelle 36: Salzbildner – Siedlungsabfalldéponien DK II<sup>119</sup>**

| Parameter         | Einheit | Mittelwert der deponiebezogenen Mittelwerte | Spannbreite der deponiebezogenen Mittelwerte |
|-------------------|---------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Sulfat            | mg/l    | 224                                         | 2 – 1.804                                    |
| Chlorid           | mg/l    | 1.590                                       | 29 – 33.197                                  |
| Natrium           | mg/l    | 1.104                                       | 18 – 16.501                                  |
| Kalium            | mg/l    | 570                                         | 22 – 7.174                                   |
| Calcium           | mg/l    | 157                                         | 44 – 457                                     |
| Magnesium         | mg/l    | 93                                          | 26 – 377                                     |
| el. Leitfähigkeit | mS/m    | 1.694                                       | 86 – 12.702                                  |

Die Konzentrationen an Schwermetallen liegen für die DK-II-Deponien auf einem insgesamt niedrigen Niveau (Tabelle 37). Einzelwerte liegen dabei vielfach im Bereich oder unterhalb der Bestimmungsgrenze. Im Vergleich zu den Werten der DK-I-Deponien lassen sich lediglich für die Parameter Chrom und Nickel leicht erhöhte Konzentrationen nachweisen.

<sup>118</sup> LANUV-Fachbericht 24

<sup>119</sup> LANUV-Fachbericht 24

**Tabelle 37: Schwermetalle – Siedlungsabfalldeponien DK II<sup>120</sup>**

| Parameter   | Einheit | Mittelwert<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte | Spannbreite<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte |
|-------------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Arsen       | µg/l    | 35                                                | 1 - 142                                            |
| Cadmium     | µg/l    | 4                                                 | 0 – 21                                             |
| Chrom       | µg/l    | 136                                               | 2 – 1.000                                          |
| Chrom VI    | µg/l    | 72                                                | 10 – 338                                           |
| Kupfer      | µg/l    | 69                                                | 6 – 674                                            |
| Quecksilber | µg/l    | 0,6                                               | 0 – 1,8                                            |
| Nickel      | µg/l    | 105                                               | 2 – 450                                            |
| Blei        | µg/l    | 29                                                | 1 – 145                                            |
| Zink        | µg/l    | 174                                               | 14 – 1.065                                         |

**C. Sickerwasserqualität von Deponien der Klasse III:**

Auch im Bereich der DK-III-Deponien wurden Sickerwasserdaten von Deponien aus der Ablagerungs-, Stilllegungs- und Nachsorgephase ausgewertet. Insgesamt handelt es sich um 16 Datensätze, die Deponien mit Abfällen aus Abfallbehandlungsanlagen und produktionsspezifischen Sonderabfällen mit jeweils stark unterschiedlichen Schadstoffgehalten repräsentieren.

Die mittleren Konzentrationen der Organik und der stickstoffhaltigen Verbindungen liegen im Sickerwasser von Deponien der Klasse III in der gleichen Größenordnung wie die der Deponieklasse II. Lediglich für den Summenparameter AOX (halogenierte organische Kohlenwasserstoffe) liegen etwa doppelt so hohe Konzentrationen vor. Wichtig ist es jedoch, die sehr großen Spannbreiten der Werte, insbesondere in Bezug auf den CSB und den AOX, zu betrachten. Die teilweise sehr hohen Einzelwerte stellen dementsprechend hohe Anforderungen an die spezifische Sickerwasserreinigung.

**Tabelle 38: Organik und Stickstoff – Deponieklasse III<sup>121</sup>**

| Parameter          | Einheit | Mittelwert<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte | Spannbreite<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte |
|--------------------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| TOC                | mg/l    | 359                                               | 7 – 2.362                                          |
| CSB                | mg/l    | 1.783                                             | 105 – 7.832                                        |
| BSB <sub>5</sub>   | mg/l    | 693                                               | 17 – 4.014                                         |
| Stickstoff, gesamt | mg/l    | 374                                               | 1 – 1.217                                          |
| Ammonium-N         | mg/l    | 389                                               | 0 – 1.457                                          |
| Nitrat-N           | mg/l    | 27                                                | 0 – 154                                            |
| AOX                | µg/l    | 1.335                                             | 23 – 7.746                                         |

<sup>120</sup> LANUV-Fachbericht 24

<sup>121</sup> LANUV-Fachbericht 24

Erwartungsgemäß liegen die Konzentrationen an Salzen im Sickerwasser aus Deponien der Klasse III deutlich (zum Teil um eine Größenordnung höher) über denen der Deponieklasse II (Tabelle 39). Diese hohen Salzkonzentrationen bedingen ebenfalls erhöhte Anforderungen an die entsprechende Sickerwasserreinigung.

**Tabelle 39: Salzbildner – Deponieklasse III<sup>122</sup>**

| Parameter         | Einheit | Mittelwert<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte | Spannbreite<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte |
|-------------------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Sulfat            | mg/l    | 4.519                                             | 236 – 36.798                                       |
| Chlorid           | mg/l    | 11.538                                            | 88 – 49.988                                        |
| Natrium           | mg/l    | 6.499                                             | 383 – 16.999                                       |
| Kalium            | mg/l    | 1.961                                             | 18 – 6.857                                         |
| Calcium           | mg/l    | 801                                               | 296 – 2.290                                        |
| Magnesium         | mg/l    | 321                                               | 57 – 2.240                                         |
| el. Leitfähigkeit | mS/m    | 3.825                                             | 829 – 15.821                                       |

Bei den Sonderabfalldeponien sind auch die Schwermetalle von Bedeutung. Sie können z.B. Aschen aus Verbrennungsprozessen oder in Industrieschlammern enthalten sein. Aufgrund der Mitbetrachtung von Deponien für spezifische Produktionsabfälle (Werksdeponien) werden teilweise extrem hohe Konzentrationen für einzelne Parameter ermittelt. Die Auswertungen zu den Sonderabfalldeponien zeigen, dass in Einzelfällen sehr hohe Konzentrationen an Inhaltsstoffen in den Sickerwassern vorliegen können. Überwiegend liegen die Konzentrationen der betrachteten Parameter im moderaten Bereich.

**Tabelle 40: Schwermetalle – Deponieklasse III<sup>123</sup>**

| Parameter   | Einheit | Mittelwert<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte | Spannbreite<br>der deponiebezogenen<br>Mittelwerte |
|-------------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Arsen       | µg/l    | 457                                               | 8 – 4.695                                          |
| Cadmium     | µg/l    | 901                                               | 1 – 8.469                                          |
| Chrom       | µg/l    | 1.014                                             | 12 – 6.933                                         |
| Chrom VI    | µg/l    | 180                                               | 0 – 1.347                                          |
| Kupfer      | µg/l    | 2.317                                             | 26 – 27.236                                        |
| Quecksilber | µg/l    | 2,3                                               | 0,1 – 12,1                                         |
| Nickel      | µg/l    | 2.287                                             | 24 – 29.061                                        |
| Blei        | µg/l    | 129                                               | 6-821                                              |
| Zink        | µg/l    | 105.476                                           | 7-1.443.473                                        |

<sup>122</sup> LANUV-Fachbericht 24

<sup>123</sup> LANUV-Fachbericht 24

Neuere Untersuchungen<sup>124</sup> zeigen, dass auch per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) aus den abgelagerten Abfällen über das Sickerwasser mobilisiert werden können. Eingetragen werden die Stoffe über belastete Böden, Reststoffe aus Brandschäden oder auch Haushalts- und Gewerbeabfälle. PFAS-belastete Sickerwässer können mittels einer Kombination aus biologischer Behandlung und Aktivkohleadsorption gereinigt werden, wobei jedoch die beladene Aktivkohle zur sicheren Zerstörung der Schadstoffe bei sehr hohen Temperaturen ( $> 1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) thermisch behandelt werden muss. Mögliche Alternativen bestehen in der Filtration (Nanofiltration und Umkehrosmose), wobei jedoch auch hierbei die Entsorgung der Konzentrate einen erheblichen (finanziellen) Aufwand darstellt.

### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Im Rahmen der Behandlung fallen entsprechend der Behandlungsmethode verschiedene Reststoffe an (z.B. Sickerwasserkonzentrat, verbrauchtes Filtermaterial, Sedimente, Schlämme, beladene Aktivkohle). Diese müssen ihren Eigenschaften entsprechend einer geregelten Behandlung/Regeneration oder Entsorgung zugeführt werden.

Das Sickerwasserkonzentrat muss einer weiteren Behandlung unterzogen werden. Zum Beispiel ist die Entsorgung über dafür ausgestattete chemisch-physikalische Behandlungsanlagen oder die Mitverbrennung in MVAs möglich. Das Konzentrat kann auch eingedampft werden. Dabei entsteht ein hochlöslicher Feststoff, der als gefährlicher Abfall in untertägigen Deponien (Deponie-Klasse IV) oder nach einer Konditionierung als Versatzmaterial zu entsorgen ist.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Die Einrichtung einer Sickerwasseraufbereitungsanlage ist grundsätzlich auf allen Deponiestandorten denkbar. Bei größeren Deponien, die z.B. mit unbehandelten Siedlungsabfällen verfüllt werden und in niederschlagsreichen Regionen gelegen sind, wird die Sickerwasserreinigung häufig vor Ort durchgeführt. Selbiges gilt auch für solche Deponien, auf denen industrielle Abfälle und/oder besonders überwachungsbedürftige Abfälle mit einem hohen Schadstoffpotential abgelagert werden. Wichtig ist es, die Behandlungskapazität und im gewissen Rahmen auch die Behandlungstechnik an die zu erwartenden Veränderungen der Sickerwassermengen und -qualitäten mit der Zeit anzupassen. So können bestimmte Reinigungsstufen (z.B. die biologische Behandlung) im Laufe der Zeit entfallen und durch mechanische Verfahren (z.B. Membranfiltration) ersetzt werden. Ebenso kann bei Unterschreiten bestimmter Schadstoffkonzentrationen die Reinigung vor Ort auf eine Indirekteinleitung (Vermischung mit anderem Abwasser und gemeinsame Reinigung in einer kommunalen Kläranlage) umgestellt werden. Bestimmte anorganische Schadstoffe (z.B. Schwermetalle oder Salze) können nur aus dem Sickerwasser abgetrennt und aufkonzentriert werden. Für diese Konzentrate ist eine Ausschleusung aus dem (Wasser-)Kreislauf und eine Entsorgung z.B. nach weiterer Aufbereitung in Untertagedeponien notwendig.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Der wirtschaftliche Aufwand einer Sickerwasserreinigung hängt von der Höhe der anfallenden Sickerwassermenge, der Zusammensetzung des Rohsickerwassers und der gesetzlich einzuhaltenden Ablaufwerte ab. Bei Deponien mit größeren Anteilen an unbehandelten Siedlungsabfällen (in Deutschland überwiegend Deponien der Klasse II, die vor 2005 verfüllt wurden) kann der Betrieb einer dreistufigen Sickerwasserreinigungsanlage mit biologischer Behandlungsstufe (SBR-Reaktor), zweistufiger Membranfiltration (NF) und abschließender Adsorption an Aktivkohle (3 Reaktoren) zu Behandlungskosten zwischen 10 und 25 €/m<sup>3</sup> führen. Bei einem durch-

---

<sup>124</sup> Rieke, 2025; Fachstelle Sekundärrohstoffe, 2024

schnittlichen Sickerwasseranfall (je nach Betriebsphase und Größe der Deponie sowie deren geografischer Standort) von z. B.  $10 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$  ergeben sich rechnerisch Behandlungskosten im Bereich von € 36.500 bis € 91.250 pro Hektar und Jahr. Demgegenüber können bei Deponien oder getrennten Deponieabschnitten, die nach 2005 mit vorbehandelten Siedlungsabfällen verfüllt wurden, durch geringeren Behandlungsaufwand (einstufige oder maximal zweistufige Behandlung) infolge der geringeren Sickerwasserbelastung die Reinigungskosten deutlich reduziert werden.

Sofern eine Indirekteinleitung in eine kommunale Kläranlage oder eine Industriekläranlage möglich ist (mit oder ohne Vorbehandlung am Deponiestandort), ist eine solche Mitbehandlung in anderen Kläranlagen i.d.R. günstiger als eine vollständige Behandlung am Deponiestandort und anschließende Direkteinleitung.

Darüber hinaus sind im laufenden Betrieb neben den Ausgaben zur Entsorgung von Nebenprodukten wie Sickerwasserkonzentrat auch Ausgaben für Überwachung und Kontrolle sowie Wartungen und Instandhaltungsmaßnahmen einzuplanen. Die Einbeziehung von Investitionskosten sowie die größenabhängig unterschiedliche Verteilung von Fixkosten und variablen Kosten können zu deutlichen Abweichungen von den o.g. Behandlungskosten führen.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Neben der rechtlichen Verpflichtung, beim Betrieb einer Deponie die sich daraus ableitenden Vorkehrungen zur Fassung und Behandlung des Sickerwassers zu treffen und seine ordnungsgemäße Entsorgung sicherzustellen, liegt der hauptsächliche Beweggrund für die Sickerwasserreinigung im Schutz des Grundwassers, der Oberflächengewässer und von umliegenden Biosphären. Die Sickerwasserreinigung leistet einen Beitrag zur Verminderung der Belastung von Gewässern mit anorganischen und persistenten organischen Schadstoffen sowie zur Verminderung des Nährstoffeintrags in die Gewässer und beugt damit der Gefahr einer Eutrophierung vor. Eine Aufbereitung dient ferner der Wiedernutzbarmachung der Ressource Wasser und der getrennten Entsorgung von aufkonzentrierten Schadstoffen.

Nach den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) dürfen punktuelle oder diffuse Emissionen in Oberflächengewässer nicht dazu führen, dass sich EU-berichtspflichtige Gewässer in ihrem Zustand/Potenzial verschlechtern (Verschlechterungsverbot). Vielmehr muss sich der Zustand der Gewässer bis zum Jahr 2027 verbessern, um die Ziele der WRRL zu erfüllen (Verbesserungsgebot). Das grundlegende Bewirtschaftungskonzept der WRRL für Oberflächengewässer findet sich in den Paragraphen 27 bis 31 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) wieder und wird über die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) bundeseinheitlich geregelt. Anforderungen und einzuhaltende Grenzwerte bei der Sickerwasserreinigung richten sich nach der Möglichkeit zur indirekten oder direkten Einleitung in Gewässer.

### **Musteranlagen**

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) mit Sickerwasserreinigung:

- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW152 → Deponieklasse II (biologische Behandlung, Ultrafiltration, Adsorption mittels Aktivkohle und anschließend Indirekteinleitung in Industriekläranlage)
- ▶ Mecklenburg-Vorpommern → MV243 → Deponieklasse III (Indirekteinleitung, Umkehrosmose vor Einleitung in kommunale Kläranlage)

## Referenzliteratur

AbwV (2004): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV), Anhang 51 Oberirdische Ablagerung von Abfällen. In: BGBl. I 2004, 1175 – 1177.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2016): Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil I Nr. 28, ausgegeben zu Bonn am 23. Juni 2016. Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20. Juni 2016

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2018): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585); zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 04. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254)

Cossu, R., Ehrig, H.-J., Muntoni, A. (2019): Physical-chemical leachate treatment. In: Solid Waste Landfilling – Concepts, Processes, Technologies. Cossu and Stegmann (Eds.), Elsevier Inc., ISBN: 978-0-12-818336-6.

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

Dr.-Ing Peters Consulting (2018): Reinigungs-Effizienz von Verfahren zur Reinigung von Deponie-Sickerwasser, Dokumentation der 14. Leipziger Deponiefachtagung, 06.03.2018 - 07.03.2018, <http://www.deponiefachtagung.de/>.

Ehrig, H.J., 2001. Sickerwasser aus Abfallablagerungen. In: ATV-Handbuch Industrieabwasser, Dienstleistungs- und Veredelungsindustrie (Eds.), ATV-DVWK. Verlag Ernst & Sohn, ISBN 3-433-01468-X, p. 347.

Ehrig, H.J., Hagedorn, S., 1994. Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. Behandlung von Deponiesickerwasser: Treatment of landfill leachate, vol. 44, p. 497.

Fachstelle Sekundärrohstoffe (2024): PFAS-Belastungen von Typ D-Deponien. Bericht im Auftrag des AWEL Zürich, <https://www.fachstelle-sekundaerrohstoffe.unibe.ch>, <https://www.zh.ch>

Koß, K.-D., Trapp, M. (2003): Entwicklung und Tendenzen der Sickerwasserbehandlung in NRW. In: Tagungsband in der Reihe Forum Siedlungswirtschaft und Abfallwirtschaft Universität Essen, H. 19, Shaker Verlag 2003, ISBN3-8322-1201-9

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2019): Beschaffenheit von Deponiesickerwasser in Nordrhein-Westfalen - LANUV-Fachbericht 24. Veröffentlicht unter: [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/30024.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30024.pdf)

Rieke, G. (2025): PFAS: Quellen, Anteile und Mobilität im deponierten Abfall, Vorkommen im Sickerwasser und Deponiegas, Reinigungsverfahren. Hamburger Abfallwirtschaftstage – Deponietechnik 2025 am 5./6.2.2025 in Hamburg, <https://www.deponietechnik-hh.de>

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (2000): RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1)

### 3.3.4 Unterarbeitspaket 3.2 – Erfassung, Behandlung und Verwertung von Deponiegas

Seit ca. 10 bis 15 Jahren tritt der Aspekt des Klimaschutzes auch bei der Fassung und Behandlung von Deponiegasen zunehmend in den Vordergrund. Während zuvor die Frage der Energiegewinnung aus Deponiegas dominierte, überwiegen spätestens nach Beendigung der Verwertungsphase die Bestrebungen, Methanemissionen aus Gründen des Klimaschutzes auf ein Minimum zu reduzieren, insbesondere auch in den Langzeitphasen der Gasbildung<sup>125</sup> bei bereits deutlich reduzierten Gasbildungsraten. Die energetische Nutzung stellt dennoch auch weiterhin einen wichtigen Aspekt der Deponiegasbehandlung dar, insbesondere im Hinblick auf die damit einhergehenden Einsparungen herkömmlicher (fossiler) Energieträger und der daraus resultierenden Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Für eine umfassende Deponiegasverwertung und -behandlung ist bereits in der Ablagerungsphase anfallendes Deponiegas zu erfassen und einer Verwertung/Behandlung zuzuführen, wobei in dieser Phase eine energetische Verwertung nach Möglichkeit zu priorisieren ist. Ein klimagerechter Umgang mit Deponiegas umfasst eine an den jeweiligen Standort angepasste Gaserfassung, eine der Zusammensetzung des Gases entsprechende Behandlung oder Verwertung sowie optional eine anschließende aerobe in-situ Stabilisierung des Deponiekörpers. Langfristig sind darüber hinaus etwaige Restgasemissionen durch geeignete, passive Maßnahmen wie z.B. Biofilter oder Methanoxidationsfenster zu minimieren.

Eine aktive Deponiegaserfassung und -behandlung ist solange erforderlich, bis die anaeroben biologischen Abbauprozesse soweit zurückgegangen sind, dass nur noch ein geringes klimarelevantes Emissionspotential vorliegt und eine passive Behandlung eventueller Restgase stattfinden kann. Voraussetzung für die Umstellung auf eine passive Entgasung ist in jedem Fall das Vorhandensein einer Oberflächenabdichtung, in der eine Methanoxidation stattfindet. In dem Arbeitspapier des LAGA ATA Ad-hoc Ausschusses „Entlassung von Deponien aus der Nachsorge“ sind Grenzwerte zur Einschätzung der Deponiegasbildung und Deponiegasemissionen genannt. Eine ausreichend abgeklungene Gasbildung liegt danach vor, wenn eine flächenspezifische Methangasbildung im Anstrom einer Methanoxidationsschicht von  $0,5 \text{ l(CH}_4\text{)}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  unterschritten wird. Für größere Deponien (über 5 ha), die trotz Unterschreiten des Grenzwertes eine Gesamtmethangasbildung von über  $25 \text{ m}^3(\text{CH}_4)/\text{h}$  aufweisen, soll die aktive Gaserfassung und -behandlung im Regelfall fortgeführt werden<sup>126</sup>. Des Weiteren liegt eine hinreichende Begrenzung der Deponiegasemissionen bei passiver Entgasung und biologischer Methanoxidation in der Methanoxidationsschicht vor, wenn eine mittlere Flächenkonzentration an der Deponieoberfläche von 10 ppm CH<sub>4</sub> über einen Zeitraum von fünf Jahren nicht überschritten wird. Einzelmessungen von über 100 ppm CH<sub>4</sub> erfordern eine zusätzliche Analyse und Bewertung. Eine fortlaufende und regelmäßige Überwachung und Kontrollmessungen auch während der Stilllegungs- und Nachsorgephase werden daher gefordert.

Der Stand der Technik für Maßnahmen zur Deponiegaserfassung, -behandlung und -verwertung sowie auch zur in-situ Stabilisierung wird in Deutschland in Regelwerken wie z.B. der VDI-Richtlinienreihe 3899, dem Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“ oder der SKZ/TÜV-LAGA-Güterichtlinie beschrieben.

Bei der Auslegung und im Betrieb aller Leitungs- und Behandlungskomponenten sind zudem alle erforderlichen Explosionsschutzvorkehrungen zu treffen und sachgerechte Arbeitsschutzmaßnahmen einzuhalten. Entsprechende Vorgaben zum Explosions- und Arbeitsschutz sind in

---

<sup>125</sup> Nachlassende Deponiegasbildungsraten (infolge des Fortschreitens des biologischen Abbaus der organischen Abfallbestandteile) führen dazu, dass Umgebungsluft die relative Gaszusammensetzung verändert und es z.B. zu niedrigeren CH<sub>4</sub>-Gehalten in dem erfassten Deponiegas kommt.

<sup>126</sup> UBA (2006) „Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge“

Deutschland in der Betriebssicherheitsverordnung, der Gefahrstoffverordnung und in der DGUV Regel 114-005 zu finden.

### 3.3.4.1 Deponiegasfassung

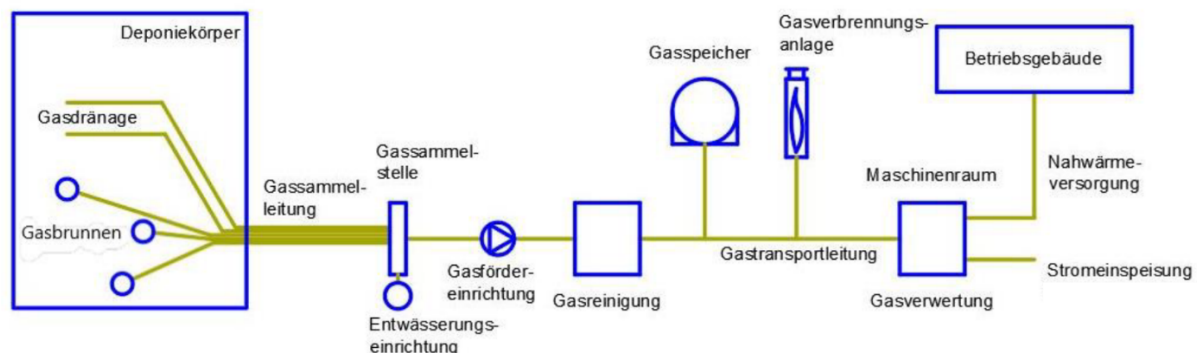
#### Beschreibung

Die Deponiegasfassung beinhaltet alle Maßnahmen zur aktiven und passiven, kontinuierlichen Erfassung, Sammlung und Ableitung von Deponiegas. Ziel ist es, die gasförmigen Emissionen (v.a. klimaschädliches Methan) soweit wie technisch möglich zu vermindern sowie Brand- und Explosionsgefahren und Beeinträchtigungen der Deponieumgebung (z.B. Geruchsbelästigungen in nahegelegenen Wohngebieten oder Vegetationsschäden durch austretendes Deponiegas) zu verhindern. Anwendung finden diese Maßnahmen auf Deponien, auf denen biologisch abbaubare organische Abfälle abgelagert werden oder abgelagert worden sind.

#### Technische Beschreibung

Einrichtungen zur Deponieentgasung bestehen aus verschiedenen Einzelkomponenten, die teilweise deponiegebunden, d.h. unmittelbar mit dem Deponiekörper verbunden ausgeführt werden. Hierzu zählen die Gaskollektoren und -sammelleitungen sowie die Methanoxidschicht als technische Form einer Rekultivierungsschicht mit der speziellen Aufgabe einer Gasbehandlung. Weitere, nicht deponiegebundene Komponenten bilden in der Regel Einrichtungen zur Gasförderung und -behandlung bzw. -verwertung. Die Abbildung 19 stellt die Grundelemente einer Deponieentgasungsanlage mit aktiver Gasfassung zusammenfassend dar.

Abbildung 19: Grundelemente einer Deponieentgasungsanlage<sup>127</sup>



Quelle: BQS 10-1 in Anlehnung an VDI 3899 Blatt 2

Im Einzelnen lassen sich die Komponenten der Gaserfassung wie folgt beschreiben:

- **Gaskollektoren:** Zur Erfassung von Deponiegas werden horizontale und/oder vertikale Gasfassungssysteme in den Deponiekörper eingebracht und an Gassammelleitungen angeschlossen. Diese Elemente können sowohl während der Verfüllung als auch nachträglich installiert werden. Bei der Materialauswahl ist neben den Vorgaben des Explosionsschutzes zu berücksichtigen, dass in Abhängigkeit des Deponietyps die einzelnen Bauteile chemischen Angriffen durch Deponiegas, Gaskondensat und Sickerwasser ausgesetzt sind. Hinzu kommen thermische Beanspruchungen (bis zu 70 °C) sowie mechanische Verformungen des Abfallkörpers infolge von Setzungen und Horizontalbewegungen. Eingesetzte Rohre müssen der DIN 4266-1<sup>128</sup> entsprechen, wobei als Material häufig PE 100 oder bei höheren Tempe-

<sup>127</sup> BQS 10-1 in Anlehnung an VDI 3899 Blatt 2

<sup>128</sup> DIN 4266-1: 2011-11 (anwendbar auch für die Ausführung von Gaskollektoren)

aturen auch PP eingesetzt wird. Prinzipiell wird zwischen Horizontalentgasung und Vertikalentgasung des Deponiekörpers unterschieden.

- ▶ **Vertikale Gaserfassungssysteme (Gasbrunnen):** Vertikale Gasbrunnen werden während der Verfüllung mit hochgezogen und bereits während der Abfallablagerung betrieben, wodurch der Gaserfassungsgrad insgesamt gesteigert werden kann. Bei teilweise oder bereits vollständig verfüllten Deponien können sie auch nachträglich in Bohrlöcher eingesetzt werden. Sie bestehen aus perforierten Drainagerohren, die in einen gaswegsamem Kieskörper eingebunden sind. Der Bohrlochdurchmesser beträgt 600 mm bis 1200 mm und ist auf den geplanten Ausbau mit Gasfassungselementen abzustimmen. Für Gasbrunnen, die mit geringem Unterdruck betrieben werden (Rohrdurchmesser ca. 200 mm), haben sich Bohrlochdurchmesser von 800 bis 900 mm bewährt. Bei Systemen der Tiefenabsaugung, die mit höheren Unterdrücken arbeiten und mit kleineren Rohrdurchmessern ausgestattet werden, kommen auch geringere Bohrlochdurchmesser zur Anwendung. Die Gasbrunnen müssen einen Mindestabstand von 2 m über der Basisentwässerung haben, um einerseits die Basisabdichtung nicht zu beschädigen (Durchstanzeffekt) und andererseits gastechnische Kurzschlüsse mit der Basisentwässerung zu vermeiden. Die Durchmesser der Drainagerohre sind in Abhängigkeit des Absaugverfahrens zu dimensionieren. Damit während der Besaugung der Gasbrunnen keine Außenluft über den Brunnenkopf in das Gassystem eindringt, wird das Brunnenrohr (Drainagerohr) im oberen Bereich (üblicherweise 2 m bis 5 m) als Vollrohr ausgeführt und der Ringraum i.d.R. mit plastischem Ton verfüllt und hohlraumarm verdichtet. Gasbrunnen, die nur in der Tiefe verfiltert werden (Tiefenabsaugung), werden bis zum Beginn der Filterstrecke mit einem Vollrohr ausgerüstet und der Ringraum wird mit plastischem Material abgedichtet. Der obere Abschluss des Gasbrunnens (Kollektorkopf) wird als freistehender Brunnenkopf oder unterflur in einem Schachtbauwerk ausgeführt. Diese Anordnung ermöglicht den Zugang für etwaige Messungen oder Einstellungen am Brunnenkopf. Die Verbindung zwischen Gasbrunnenkopf und anschließender Gassammelleitung wird mithilfe eines Kompensators (Wellschläuche DN 50 bis DN 80) ausgeführt, um Beschädigungen infolge von setzungsbedingten Spannungen zu vermeiden.
- ▶ **Horizontale Gaserfassungssysteme (Gasdränagen):** Horizontale Gasdränagen bestehen in der Regel aus perforierten Dränagerohren, Durchmesser  $\geq 200$  mm, die in einer Kiesrigole verlegt und im Zuge der Abfalleinlagerung mit eingebaut werden. Die horizontalen Abstände der einzelnen Gasdränagen sollten weniger als 20 m und die senkrechten Abstände der Dränagerohre nicht mehr als 6 m bis 8 m betragen. Der Vorteil der horizontalen Gasdränagen besteht darin, dass bereits während des laufenden Ablagerungsbetriebs Deponiegas erfasst werden kann und dabei keine Einschränkungen in der Befahrbarkeit der Deponieoberfläche (Ablagerungsbereich) hingenommen werden müssen. Etwaige Nachteile, auch im Vergleich zu den vertikalen Gasbrunnen, bestehen mit möglichen auflastbedingten Schäden sowie einem ggf. höheren Wartungs- bzw. Reinigungsaufwand der Dränagerohre. Eine Horizontalentgasung kann in Ausnahmefällen auch nach Abschluss der Deponieverfüllung, durch Schrägbohrungen (Neigungen bis ungefähr  $20^\circ$ ) von der Seite oder der Oberfläche in den Deponiekörper eingebracht werden. Horizontale Gasdränagen können auch zur gemeinsamen Erfassung von Deponiegas und Sickerwasser verwendet werden. Hierfür ist am äußeren Ende der Dränagerohre ein Syphon vorzusehen, um eine hydraulische Trennung von dem dränierten Sickerwasser und dem abgesaugten Deponiegas zu gewährleisten.
- ▶ **Gassammelleitungen:** Die Gaskollektoren werden mit geschlossenen Gasleitungen als Einzelanschluss mit Durchflusssteuerung an eine Gassammelstation angeschlossen. Die Leitungen müssen frostsicher verlegt werden. Als Material der Rohre sind Kunststoffe mit einer breiten Beständigkeitsskala gegen organische und anorganische Inhaltsstoffe geeignet.

Bei der Auswahl sind außerdem die zu erwartenden physikalischen Beanspruchungen (Druck-, Zug-, Biege- und Scherkräfte sowie Temperatureinwirkungen) zu berücksichtigen. Bei Temperatureinwirkungen bis 40 °C sind z. B. PEHD-Rohre geeignet. Leitungsverschlüsse durch Kondensatwasser können vermieden werden, indem die Leitungen in setzungsgefährdeten Deponiebereichen mit mindestens 5 % Gefälle verlegt werden. Während des Betriebs ist dennoch darauf zu achten, dass keine Tiefpunkte in den Gassammelleitungen entstehen und diese ggf. nachträglich ausgeglichen werden. Für die Ausführung der Gassammelleitungen haben sich Mindestdurchmesser von ungefähr 80 mm bewährt. Kleinere Durchmesser erhöhen die Anfälligkeit gegenüber Kondensateinstau bei Setzungen und führen bei hohen Volumenströmen bzw. Gasgeschwindigkeiten zu erhöhten Druckverlusten. Gasgeschwindigkeiten von mehr als 10 m/s sind zu vermeiden.

- **Gassammelstationen** In den Gassammelstationen werden die Gassammelleitungen mit Mess- und Regelstrecken an Gassammelbalken angeschlossen. Die Anschlüsse sind so ausgestattet, dass die jeweilige Gassammelleitung der Gasbrunnen/Gasdrainagen individuell hinsichtlich des Saugdrucks, der Gastemperatur und des Absaugvolumenstroms gemessen werden kann. Die Einstellung des abgesaugten Gasvolumenstroms erfolgt manuell über verstellbare Klappen bzw. Schieber. Die Messung von Gaszusammensetzung, statischem Druck und Strömungsgeschwindigkeit erfolgt i.d.R. mit mobilen Messgeräten an Kugelhähnen, die an der Messstrecke angebracht werden. Die Nennweiten der Messstrecken und Regelklappen sind so zu wählen, dass die Gasgeschwindigkeit mindestens 1 m/s beträgt und ein Mindestdurchmesser von DN 32 nicht unterschritten wird.

Gassammelstationen können als Einkreis- oder Zweikreisssystem ausgebildet werden. Bei Zweikreisssystemen ist so im Gasabsaugbetrieb eine Trennung zwischen unterschiedlichen Gasqualitäten möglich, um parallel unterschiedliche Verfahren zur Behandlung und Verwertung betreiben zu können. Darüber hinaus besteht anschließend die Möglichkeit, parallel zum Absaugbetrieb eine Belüftung des Deponiekörpers vorzunehmen (Kap. 3.3.4.3).

- **Gastransportleitung:** Hauptleitung(en), welche die erfassten Deponiegase zur nachfolgenden Behandlungsanlage befördert.
- **Kondensatableitung:** Alle Leitungen des Entgasungssystems müssen eindeutige Gefälle zu einem Tiefpunkt mit Entwässerungsmöglichkeit besitzen. Tiefpunkte können Gaskollektoren (Rückwärtsentwässerung), Streckenabscheider (Gassammelleitungen) oder z.B. Kondensatabscheider vor der Gasfördereinrichtung sein. Da die Kondensatabscheidung im Unterdruckbereich erfolgt, sind entsprechend dimensionierte Wasservorlagen mit Füllstandsüberwachung und/oder Pumpen vorzusehen. Eine dauerhaft funktionsfähige Kondensatausschleusung aus dem Gasleitungssystem ist eine wichtige Voraussetzung für ein funktionsfähiges Entgasungssystem und hohe Deponiegaserfassungsraten.
- **Gasfördereinrichtung:** Zur Absaugung von Deponiegas kommen vorwiegend Drehkolben-, Radial-, und Seitenkanalverdichter zum Einsatz. Die Verdichter unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Einsatzbereiche und Kennlinien. Bei ihrer Auswahl sind die erforderlichen Volumenströme und Druckdifferenzen zu berücksichtigen. Die Gasfördereinrichtung muss demnach auf die Randbedingungen der Deponie (Druckverhältnisse) und die Anforderungen der nachgelagerten Behandlungs- oder Verwertungsanlage (Fördermenge, Gaszusammensetzung) abgestimmt sein. Unterschiede ergeben sich hier aus dem gewählten Entgasungskonzept (offene oder abgedichtete Deponie; herkömmliche Entgasung, Übersaugung oder Druckbelüftung) und der dabei eingesetzten Technik zur Gasbehandlung oder -verwertung.

Hinsichtlich der Auswahl aller verwendeten Bauteile, welche mit Deponiegas in Verbindung kommen, ist auf eine hinreichende Materialverträglichkeit bezüglich der Deponiegasbestandteile, eventuell Sickerwasser und Kondensat zu achten. Darüber hinaus müssen alle deponiegebundenen Komponenten auf Setzungen und Horizontalverschiebungen ausgelegt sein. Wartung und Instandhaltung der Komponenten (Überprüfungen, Anpassungen und Ertüchtigungen) sind während der Betriebsdauer durchzuführen.

Bei einer bezogen auf die Gesamtfläche einer Deponie nachgewiesenen (durch Gasprognoserechnung) Gasbildungsrate von unter  $0,5 \text{ l CH}_4/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  kann, nach Zustimmung der zuständigen Behörde, die aktive durch eine passive Entgasung ersetzt werden<sup>129</sup>. Zu diesem Zeitpunkt ist eine aktive Entgasung wirtschaftlich nicht mehr zumutbar. Für die passive Entgasung werden anstelle von Gasfördereinrichtungen natürlich entstehende Druckgradienten zwischen dem Inneren des Deponiekörpers und der Umgebung sowie Konvektion infolge von atmosphärischen Luftdruckschwankungen für eine Entgasung genutzt. In der Regel sind auch bei einer passiven Entgasung eine Ableitung und Behandlung (biologische Methanoxidation) des Deponiegases innerhalb des Oberflächenabdichtungssystems (Methanoxidationsschicht) oder geeigneter, technischer Installationen (z.B. Methanoxidationsfenster, Biofilter) notwendig. Auch passive Systeme zur Fassung und Behandlung von Restgasen erfordern eine regelmäßige Kontrolle, Bewertung und Instandhaltung. Näheres zur biologischen Behandlung von geringen Restgasemissionen aus Deponien wird im Kapitel 3.3.4.2 Deponiegasbehandlung und -verwertung beschrieben.

### **Erzielter Umweltnutzen**

Deponiegas besteht etwa zur Hälfte aus dem Treibhausgas Methan. Die Fassung und kontrollierte Ableitung von Deponiegas leistet einen signifikanten Beitrag zur Verringerung diffuser Methanemissionen. Da erfasstes Deponiegas immer behandelt bzw. verwertet und dabei Methan zu  $\text{CO}_2$  oxidiert wird, handelt es sich bei der Deponiegasfassung um eine sinnvolle Klimaschutzmaßnahme, wenn die Deponie zuvor mit unbehandelten (organikhaltigen) Abfällen verfüllt wurde. Je höher der Anteil des erfassten am entstehenden Deponiegas ist, desto größer wird der erzielte Umweltnutzen.

Indirekt wird durch die energetische Nutzung des erfassten Deponiegases ein weiterer (wenngleich geringer) Umweltnutzen erzielt, da ggf. fossile Primärenergieträger substituiert werden können.

Neben Methan und Kohlenstoffdioxid enthalten Deponiegase andere Spurenstoffe wie flüchtige organische Verbindungen (VOCs) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ), die Gerüche verursachen und gesundheitsschädlich sein können. Die Erfassung und Behandlung dieser Gase verbessert somit die lokale Luftqualität.

### **Umweltleistung und Betriebsdaten**

Die Leistung einer Deponiegasfassung lässt sich vorrangig anhand der verringerten Emissionen, beziehungsweise der Restmethanemissionen erkennen. Hierzu kann das abgesaugte Deponiegas in Relation zu der im Deponiekörper entstehenden anaeroben Gasbildung gestellt werden. Für Deponien mit bestehendem Gaserfassungssystem lässt sich durch das Gegenüberstellen der prognostizierten Methanbildungsrate zur abgesaugten Methanmenge auf die Restemissionen bzw. den Gaserfassungsgrad der jeweiligen Deponie schließen. Über die gesamte Lebensdauer einer Deponie kann nur ein Teil des gebildeten Deponiegases erfasst werden. Ausschlaggebend sind hierbei insbesondere die geringen Gaserfassungsraten während der Ablagerungsphase von

---

<sup>129</sup> VDI 3790 Blatt 2 mit Verweis auf UBA, 2006

deutlich unter 30%<sup>130</sup>, die sich trotz einer frühzeitigen Deponieentgasung ergeben. Erst nach Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung, wenn sich die Deponie in der Nachsorgephase befindet, können Erfassungsgrade von über 90% erreicht werden.

Das abgesaugte Deponiegasvolumen lässt sich mittels mobiler oder stationärer Messung an den Einzelbrunnen, den Sammelleitungen oder im Mischgasstrom vor der Deponiegasverwertung bzw. -behandlung erfassen. Die Gasbildungsrate lässt sich grundsätzlich aus der anaeroben Abbaurate des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs des deponierten Abfalls ableiten. Dabei wird angenommen, dass der biologische Abbau wie eine Zerfallsreaktion erster Ordnung verläuft. Im praktischen Bezug müssen jedoch weitere Faktoren, wie Kohlenstoffverluste (z.B. über das Sickerwasser) und unterschiedliche Abbauraten der abgelagerten Abfälle berücksichtigt werden. Im internationalen Einklang wird üblicherweise das IPCC Waste Model von 2006 herangezogen. Darüber hinaus können auch weitere Modelle wie z.B. das Tabasaran-Rettenberger-Modell angewendet werden<sup>131</sup>.

Für die Schwachstellenanalyse und Wirkungskontrolle bestehender Deponieentgasungseinrichtungen können Messungen an der Deponieoberfläche weitere Hinweise über die tatsächlichen Methanemissionen geben. Hierfür können verschiedene Methoden der direkten und indirekten Emissionsmessung herangezogen werden. Zu den direkten Messverfahren gehört das Saugglockenverfahren, bei dem ein tragbares Messgerät mit einer Saugglocke eingesetzt wird, um gegebenenfalls vorhandene Deponiegasaustritte zu lokalisieren. Bei der Haubenmessung, ein weiteres direktes Messverfahren, wird eine geschlossene Messkammer (auch "Haube" genannt) gasdicht auf die Deponieoberfläche aufgesetzt und die darunterliegende Veränderung der Gaskonzentrationen über die Zeit gemessen. Direkte Messverfahren eignen sich vorrangig zur Überprüfung der Oberflächenabdichtung und zur Ermittlung punktueller Ausgasungen. Aufgrund der heterogenen Verteilung von Emissionsquellen auf einer Deponie lassen direkte Messverfahren kaum Rückschlüsse auf das quantitative Ausmaß der vorherrschenden Emissionen zu und stellen zudem immer nur eine Momentaufnahme dar.

Demgegenüber stehen indirekte Messverfahren, die nicht unmittelbar an der Deponieoberfläche ansetzen, sondern in der Gasfahne abseits des Deponiekörpers. Unter Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Gaskonzentrationen in der Fahne, kann die Quellstärke der Methanemission, d.h. der Emissionsmassenstrom der gesamten Deponie abgeschätzt werden. Zu den indirekten Messverfahren zählen v.a. die inverse Ausbreitungsmodellierung und die Tracermessung. In der inversen Ausbreitungsmodellierung wird an mehreren Messpunkten oder Messstrecken im Lee einer Deponie der Methangehalt in der Fahne gemessen und über ein Ausbreitungsmodell auf die Quellstärke geschlossen. Zur Berechnung der Quellstärke eignet sich insbesondere das Lagrange-Partikelmodell. Ein weiteres indirektes Messverfahren zur Bestimmung von Deponiegasemissionen ist die Tracermessung. Hierzu wird ein bekannter, gut messbarer Spurenstoff deponieseitig in bekannter Quellstärke freigesetzt und dessen Konzentration punktuell oder streckenweise im Lee der Deponie zusammen mit der Methankonzentration gemessen. Aus den gemessenen Konzentrationen sowie der bekannten Tracer-Quellstärke lässt sich die Quellstärke des Methans errechnen. Auch diese Messverfahren haben ihre Grenzen und lassen letztlich nur bedingt Rückschlüsse auf das quantitative Ausmaß der Emissionen zu.

Ein weiterer messbarer Leistungsparameter stellt die Betriebszeit im Laufe eines Jahres dar. Im Ergebnis muss die Entgasungsanlage so ausgelegt sein, dass in allen Deponieabschnitten entstehendes Methan kontinuierlich gefasst und abgeleitet werden kann. Eine kontinuierliche Entgasung liegt dann vor, wenn sich die Deponieentgasungsanlage mindestens 90% der Jahresstun-

---

<sup>130</sup> Erfahrungswert Prof. Rettenberger und VDI 3790 Blatt 2

<sup>131</sup> VDI 3790 Blatt 2 Nummer 7.3.3

den (ca. 7.850 h/a) im bestimmungsgemäßen Betrieb befindet. Hierfür ist zu gewährleisten, dass die verwendeten Anlagenkomponenten einen ausreichenden Auslegungsbereich auf zu erwartende saisonal, meteorologisch und anderweitig begründete Schwankungen der Gasbildung aufweisen.

### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Bei einer intakten Deponiegaserfassung sind keine medienübergreifenden Auswirkungen zu erwarten. Im Falle einer Leckage von gasführenden Komponenten auf der Überdruckseite, an nicht abgesaugten Leitungen auf der Unterdruckseite oder bei Stillstand der aktiven Entgasung kann es zu einem lokal erhöhten Austritt von Deponiegas aus dem Gasfassungssystem kommen, was zu einer Beeinträchtigung unmittelbar umliegender Medien führen kann. Unter Umständen können bei der Ausgasung über Bodenflächen Vegetationsschäden auftreten. Des Weiteren ist ggf. eine erhöhte Explosionsgefahr von Anlagen- und Bauteilen gegeben, sofern diese sich im Ausgasungsstrom in unmittelbarer Nähe befinden. Dieses kann auch Anlagen oder Gebäude im Deponierandbereich infolge von Gasmigration betreffen. Das aus dem erfassten Deponiegas abgeschiedene Kondensat wird aufgrund seiner Belastung (i.W. TOC bzw. CSB) gemeinsam mit dem Sickerwasser in der Sickerwasserreinigungsanlage behandelt.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Da es bereits kurze Zeit nach der Ablagerung organischer Abfälle zu einer Deponiegasbildung kommt, ist für eine möglichst umfangreiche Erfassung aller entstehenden Gase das Erfassungssystem zwingend vorzusehen und zum frühesten Zeitpunkt nach Beginn der Ablagerung in Betrieb zu nehmen. Aufgrund der hohen Gasbildungsraten in den ersten Jahren der Ablagerung ist darüber hinaus der ordnungsgemäße Betrieb der Deponiegaserfassungs- und -behandlungsanlage(n) sicherzustellen. In der Stilllegungs- oder Nachsorgephase befindliche Deponien lassen sich bei Bedarf auch durch eine nachträgliche Installation von Gasbrunnen absaugen, wodurch langfristig auftretende Restemissionen vermieden werden können.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Neben den einmaligen Investitionskosten zur Installation des Gaserfassungssystems beschränken sich die laufenden Kosten in erster Linie auf die Wartung, Instandhaltung und Reparatur des Systems. Dazu gehören Ausgleichsmaßnahmen wie Leitungsanhebungen zum Ausgleich von Setzungen oder Gasbrunnenertüchtigungen sowie die Behebung von Schäden durch Materialermüdung.

Ferner stellt die Erfassung von Methan die Grundlage für eine mögliche nachfolgende energetische Nutzung dar, und sollte entsprechend in die Kostenkalkulation mit einfließen. Einen weiteren Kostenbereich bilden die Betriebskosten hinsichtlich Personaleinsatz, Energiekosten und Betriebsmittel.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Die Triebkraft für eine Deponiegasfassung liegt in Deutschland, wo die Ablagerung organischer Abfälle auf Deponien bereits seit 2005 eingestellt wurde, in der Verringerung unkontrollierter klimaschädlicher Emissionen insbesondere aus den älteren Deponien. Vor diesem Hintergrund dient insbesondere die gezielte Gaserfassung des im Deponiekörper entstehenden Deponiegases der Einhaltung der gesetzlich festgelegten Klimaschutzziele.

Auf Deponien mit höheren Anteilen an biologisch abbaubaren organischen Abfällen stellt die Deponiegaserfassung darüber hinaus eine Möglichkeit dar, den Energiegehalt der Abfälle (zu einem gewissen Anteil) zu nutzen und somit die Nutzung von fossilen Energieträgern zu substituieren.

Darüber hinaus trägt die Erfassung des Deponiegases zur Verhinderung von Gasmigration in benachbarte Bereiche der Deponie bei, was die Sicherheit erhöht, indem mögliche Gefahren wie Explosionen und andere Risiken, die von Deponiegas ausgehen können, reduziert werden.

### **Musteranlagen**

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) mit Deponiegasfassung:

- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW146 → Deponieklasse II (vertikale Gasbrunnen)
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW152 → Deponieklasse II (vertikale Gasbrunnen)
- ▶ Baden-Württemberg → BW500 → Deponieklasse II (Gasbrunnen, Gasdränagen und horizontale Gaslanzen)
- ▶ Baden-Württemberg → BW466 → Deponieklasse II (getrennte Erfassung von Gut- und Schwachgas)

### **Referenzliteratur**

BetrSichV - Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung) vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146) geändert.

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 10.11.2021

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

DGUV-Regel 114-005: Deponien, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2001-02

DIN 4266-1: Sickerrohre für Deponien - Teil 1: Sickerrohre aus PE und PP, <https://dx.doi.org/10.31030/1809738>

GefStoffV - Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung) vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Dezember 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 384) geändert.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006): IPCC Waste Model, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>

LAGA ATA Ad-hoc Ausschuss „Entlassung von Deponien aus der Nachsorge“ (2018): Grundsätze zur Entlassung von Deponien aus der Nachsorge. <https://www.laga-online.de>

SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie: Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien, TÜV Rheinland, 2017-06

UBA (2006): Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge. UFOPLAN-Nr. 204 34 327, [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

VDI 3790 Blatt 2: Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Deponien, Fachbereich Umweltmeteorologie, 201-06

VDI 3899 Blatt 1: Deponiegas - Deponiegasverwertung und -behandlung, Fachbereich Umweltmesstechnik, 2012-06

VDI 3899 Blatt 2: Deponiegas - Systeme zur Deponiegaserfassung und Belüftung, Fachbereich Umweltmesstechnik, 2020-11

### 3.3.4.2 Deponiegasbehandlung und -verwertung

#### Beschreibung

Die Deponiegasbehandlung und -verwertung umfasst thermische und biologische Verfahren zum Zweck der energetischen Verwertung (thermisch und elektrisch) oder der Behandlung zur Emissionsminderung (v.a. Oxidation des  $\text{CH}_4$  zu  $\text{CO}_2$ ). Die unterschiedlichen Verfahren zur Verwertung und Behandlung sind auf verschiedene deponiespezifische Methankonzentrationen und Gasbildungsraten ausgelegt.

#### Technische Beschreibung

Verwertet oder behandelt werden kann nur der Teil des entstehenden Deponiegases, der über das Fassungssystem aus dem Deponiekörper abgesaugt wird.

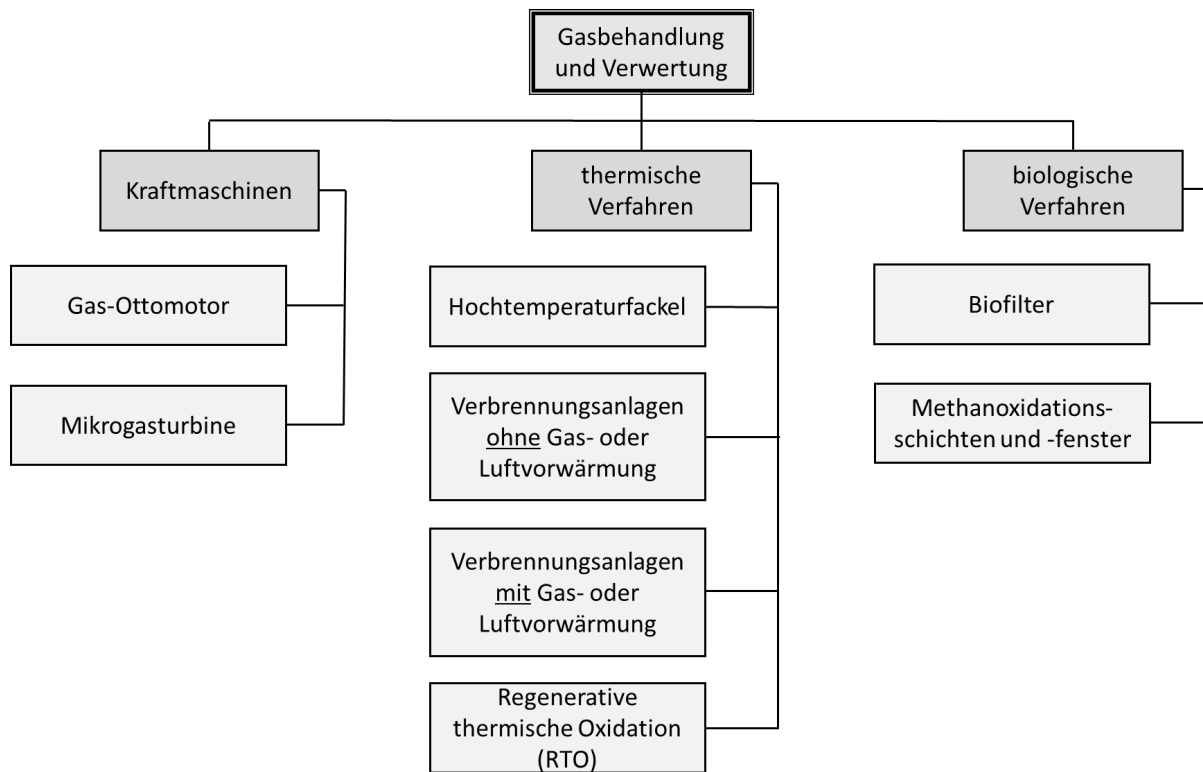
Der Deponiegasbehandlung oder -verwertung ist bei Bedarf eine Konditionierung vorgeschaltet. Die Konditionierung richtet sich dabei nach der Art des Behandlungsverfahrens, um im Deponiegas enthaltene Störstoffe (z.B. Schwefelwasserstoff, Siloxane) abzutrennen. Zum Schutz der Gasförderanlage muss eine vorgelagerte Kondensatabscheidung erfolgen. Werden durch die nachgeschalteten Verwertungsanlagen höhere Anforderungen an die Gasqualität gestellt, wird eine zusätzliche Gasentfeuchtung oder Gasreinigung erforderlich. Das in der Regel eingesetzte Verfahren zur Deponiegasentfeuchtung ist das Auskondensieren des Wasserdampfs durch Abkühlung des Gases oberhalb des Gefrierpunkts (ca. 5 °C bis 6 °C). Neben dem Schutz der nachgeschalteten Verwertungsanlagen vor Kondensat wird bei der weitgehenden Entfeuchtung des Gases eine Volumenreduzierung des Gases erzielt. Das derzeit am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Abtrennung von schädlichen Spurenstoffen aus dem Deponiegas ist der Einsatz von Aktivkohleadsorbern<sup>132</sup>. Vereinzelt werden bei sehr hohen spezifischen Schadstoffbelastungen ( $\text{H}_2\text{S}$ , VOC, Siloxane) auch andere Adsorptionsmittel (z.B. Eisenhydroxidpellets), Gaswäscher oder auch selektive Silizium-Katalysatoren zur Deponiegaskonditionierung eingesetzt. Die Zwischenspeicherung von Deponiegas wird in seltenen Fällen eingesetzt und dient der Vergleichmäßigung der Gasmengen, die den jeweiligen Einrichtungen zur Gasverwertung zugeführt werden. Die Nutzung des Deponiekörpers zur Gasspeicherung ist nicht zulässig, da durch den sich aufbauenden Überdruck ggf. erhöhte Gasmengen unkontrolliert entweichen könnten.

Die ausgewählte Technik zur Deponiegasnutzung oder -behandlung muss geeignet sein, das abgesaugte Deponiegasvolumen mit der jeweiligen Methan- und Spurenstoffkonzentration zu behandeln. Die Entgasung der Deponie darf grundsätzlich nicht durch den Regel- oder Leistungsbereich der Entgasungstechnik eingeschränkt sein. Hinsichtlich der Auswahl des geeigneten Verfahrens müssen alle Daten zur Gasproduktion (Deponiegasprognose) und zur Gasverwertung/-behandlung sowie zur geplanten Betriebsweise ermittelt werden, um eines der in Abbildung 20 aufgeführten Systeme nutzen zu können.

---

<sup>132</sup> VDI 3674

**Abbildung 20: Gasbehandlungs- und Nutzungsverfahren<sup>133</sup>; von links nach rechts mit abnehmendem exergetischen Verwertungspotenzial der im Deponiegas enthaltenen Energie**



Quelle: VDI 3899 Blatt 1

Die in der Abbildung 20 dargestellten Deponiegasbehandlungs- und -verwertungsverfahren lassen sich in thermische und biologische Verfahren unterteilen. Die typischen Einsatzbereiche der verschiedenen Behandlungs- und Verwertungsverfahren sind in der Tabelle 41 aufgeführt und die wesentlichen Charakteristika der einzelnen Verfahren werden in den nachfolgenden Abschnitten zusammenfassend beschrieben. Die in der Tabelle 41 genannten Einsatzbereiche der unterschiedlichen Deponiegasbehandlungs- und Verwertungsverfahren verdeutlichen auch eine zeitliche Abfolge, in welcher die Verfahren an einzelnen Deponiestandorten eingesetzt werden können. Mit zunehmendem Alter der Deponie bzw. fortschreitendem biologischen Abbau der organischen Abfallbestandteile nehmen die Methankonzentrationen des erfassten Deponiegases aufgrund der Verdünnung ab, so dass die Behandlungs- bzw. Verwertungsverfahren sukzessive an die jeweilige Deponiegasqualität angepasst werden müssen.

<sup>133</sup> VDI 3899 Blatt 1

**Tabelle 41: Einsatzbereich verschiedener Deponiegasbehandlungs- und Verwertungsverfahren<sup>134</sup>**

| Deponiegasbehandlungs- bzw. Verwertungsverfahren                | Für die jeweilige Technik mindestens erforderlicher CH <sub>4</sub> -Gehalt <sup>135</sup><br>[Vol.-%] |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gas-Ottomotor                                                   | 35                                                                                                     |
| Mikrogasturbine (50 kW <sub>el</sub> bis 200 kW <sub>el</sub> ) | 30                                                                                                     |
| Hochtemperaturfackel                                            | 25                                                                                                     |
| Verbrennungsanlagen ohne Gas- oder Luftvorwärmung               | 12                                                                                                     |
| Verbrennungsanlagen mit Gas- oder Luftvorwärmung                | 3                                                                                                      |
| Regenerative thermische Oxidation (RTO)                         | 0,5                                                                                                    |

### A) Kraftmaschinen

Kraftmaschinen werden bei der Deponiegasverwertung eingesetzt, um das energetische Potenzial des Gases effizient in Strom und Wärme umzuwandeln, wodurch eine nachhaltige Energieerzeugung und die Reduktion von Treibhausgasemissionen ermöglicht werden.

#### A1) Gas-Ottomotor

Für Gase mit Methangehalten über 35 Vol.-%. Typische Auslegungsgrößen für Deponiegasmotoren liegen zwischen 0,1 und 2,0 MW, wobei der Betrieb eines 1,0 MW-Gasmotors ein Deponiegasvolumen von 1.000 – 1.500 m<sup>3</sup>/h benötigt. Aufgrund nachlassender Deponiegasbildungsraten kommen in Deutschland heutzutage häufig kleinere Anlagen zum Einsatz. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist ab einem Volumenstrom von mindestens 50 m<sup>3</sup>/h zu erwarten (bei 50 Vol.-% Methan). Mit speziellen Bauteilen zur Gemischregelung und -aufbereitung können Gasmotoren bereits ab 25 Vol.-% betrieben werden. Für den Betrieb ist ein Vordruck von 60-80 mbar sowie eine umfangreiche technische Einbettung und Steuerung erforderlich. Verunreinigungen im Deponiegas können zu einem erheblich erhöhten Wartungsaufwand und einer verminderten Standzeit führen. Zur Abgasreinigung werden Oxidationskatalysatoren eingesetzt, die eine Rohgasaufbereitung (i.d.R. Adsorption an Aktivkohle zur Abscheidung von z.B. Siloxanen und H<sub>2</sub>S) erforderlich machen. Letzteres ist auch zum Schutz des Gasmotors erforderlich. Neben dem erzeugten Strom sind sowohl das Kühlwasser- als auch die Abgaswärme zur Wärmeauskoppelung nutzbar.

#### A2) Mikrogasturbine

Geeignet für Gase mit Methangehalten über 30 Vol.-%. Mikrogasturbinen werden bei etwa 5 bar und 50.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute betrieben. Für den Betrieb mit Deponiegas ist eine umfangreiche Vorbehandlung in Form einer Entfeuchtung, einer Abtrennung von Schwefelwasserstoff und Siloxanen und einer zusätzlichen Verdichtung erforderlich. In einer Mikrogasturbine erfolgt die Verbrennung bei geringen Temperaturen, wodurch eine geringe Stickoxidbildung erzielt werden kann. Dem geringen elektrischen Wirkungsgrad von max. 33% steht ein

<sup>134</sup> In Anlehnung an VDI 3899 Blatt 1

<sup>135</sup> Der untere Einsatzbereich bezogen auf die CH<sub>4</sub>-Konzentration bezieht sich auf Deponiegas ohne O<sub>2</sub>-Gehalt und ohne Zugabe von Stützbrennstoff.

geringerer Wartungsaufwand im Vergleich zu anderen Kraftmaschinen gegenüber. Die Ausleungsgröße liegt in der Regel zwischen 30 und 200 kWel.

## **B) Thermische Verfahren**

Bei den thermischen Behandlungsverfahren werden das im Deponiegas enthaltene Methan sowie Begleitstoffe wie  $H_2S$  thermisch oxidiert. Hierfür sind Temperaturen von mindestens 750 °C zur Aktivierung dieser Oxidation erforderlich<sup>136</sup>. Das entstehende heiße Abgas kann je nach Verfahren und Feuerungswärmeleistung über Wärmetauscher thermisch genutzt werden. Art und Wirkungsgrad der Nutzung werden bestimmt durch die Abgaswärmemenge und das Abgastemperaturniveau. Die Wärmenutzung erfolgt durch die Erzeugung von Warmwasser, Dampf oder Thermoöl sowie anwendungsspezifische Folgeprozesse (Trocknung von z.B. Holz oder Klärschlamm).

### **B1) Hochtemperaturfackel (ab 25 Vol.-% Methan)**

Geeignet für Gase mit Methangehalten über 25 Vol.-%. Die Hochtemperaturfackel ist eine Fackel einfacher Bauart und dient häufig auch als Notfackel neben einem Gasmotor/BHKW (siehe auch Abbildung 20). D.h. sie kommt dann zum Einsatz, wenn das BHKW ausfällt. Darüber hinaus kann mit der Hochtemperaturfackel Deponiegas behandelt werden, welches sich für eine energetische Verwertung in einem Gasmotor nicht mehr eignet.

Für den dauerhaften Einsatz ist die Brennkammer isoliert. Die Regelung zum Erreichen einer konstanten Verbrennungstemperatur erfolgt z.B. über Luftgliederklappen. Der für die oxidative Umsetzung nicht erforderliche Luftanteil dient hierbei als Kühlungsluft. Die Luftzufuhr wird nach dem Naturzugprinzip gewährleistet.

Um einen vollständigen Ausbrand des Deponiegases zu gewährleisten, muss in Deutschland gemäß TA Luft für Anlagen mit einer Feuerungsleistung  $\geq 1$  MW eine Verbrennungstemperatur von mindestens 1.000 °C und eine Verweilzeit der Abgase in der heißen Verbrennungszone von mindestens 0,3 s nachgewiesen werden.

### **B2) Verbrennungsanlagen ohne Deponiegas- oder Verbrennungsluftvorwärmung (ab 12 Vol.-% Methan)**

Geeignet für Gase mit Methangehalten über 12 Vol.-%. Diese Anlagen weisen optimierte Brennersysteme, teilweise mit einer Vormischung von Deponiegas und Luft, auf. Die Zuführung der Verbrennungs- und Kühlluft ist optimiert, sodass die Gemische genauer eingestellt werden können und auch bei geringem Sauerstoffüberschuss im Abgas eine überstöchiometrische Verbrennung gewährleistet ist. Falls nötig kann der Start der Anlagen mit kurzzeitiger Unterstützung durch Erdgas, LPG oder Propan erfolgen. Die Brennräume der Anlagen sind hinsichtlich der thermischen Verluste optimiert. Unterhalb von 12 % Methangehalt im Deponiegas kann eine überstöchiometrische Verbrennung nicht mehr gewährleistet werden. Eine unterstöchiometrische unvollständige Verbrennung erzeugt hohe Emissionen im Abgas.

### **B3) Verbrennungsanlagen mit separater Deponiegas- und/oder Verbrennungsluftvorwärmung (ab 3 Vol.-%)**

Die Behandlung von Deponiegas mit einem Methangehalt unterhalb von 12 Vol.-% mit einem permanenten Stützgasbetrieb mit fossilen Energieträgern (insb. Erdgas, LPG, Propan) ist aus klimaschutztechnischen und wirtschaftlichen Gründen keine Lösung. Für die Behandlung von Deponiegas werden daher ausschließlich autotherme Verfahren eingesetzt, die die thermische Energie aus dem Abgas rekuperativ zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und/oder des Depo-

---

<sup>136</sup> VDI 2442

niegases nutzen. Die Rückgewinnungen oder Rekuperation der Energie aus dem Abgas erfolgt mittels Wärmetauscher, die außerhalb oder auch innerhalb der Brennkammer angeordnet sein können. Die Brennräume und die Komponenten zur Wärmerückgewinnung sind hinsichtlich der thermischen Verluste, der Wärmeübertragung und der Beständigkeit gegenüber den üblichen Begleitstoffen im Deponiegas sowie der Druckverluste optimiert. Der Start der Anlagen und das einmalige Aufheizen der Brennräume und Wärmetauscher erfolgt mit Hilfe von Erdgas, LPG oder Propan. Im kontinuierlichen Betrieb wird ein überstöchiometrischer Betrieb mit sehr niedrigen Abgasemissionen sichergestellt. Verbrennungsanlagen mit Verbrennungsluft- oder Deponiegasvorwärmung weisen gegenüber den unter Abschnitt D1 und D2 beschriebenen Anlagen einen signifikant erweiterten Arbeitsbereich auf. Der Energiebedarf ist von der tatsächlich vorhandenen Methankonzentration, notwendigen Rekuperation und der Art der Komponenten zur Wärmerückgewinnung abhängig.

#### **B4) Regenerative thermische Oxidation (RTO) (ab 0,5 Vol.-% Methan)**

Bei der RTO wird ein Reaktorbett aus keramischem Wärmespeichermaterial beim Anfahren der Anlage einmalig mithilfe von elektrischem Strom oder Startgas (z. B. Flüssiggas) auf Temperaturen von über 800 °C aufgeheizt<sup>137</sup>. Anschließend werden der Deponiegasstrom und beigemischte Verbrennungsluft über das Reaktorbett in einen Verbrennungsraum geleitet. Dabei werden die Gase auf die Betttemperatur aufgewärmt und die organischen Verbindungen im Gas nahezu vollständig oxidiert. Das Abgas wird, je nach Reaktortyp, über das gleiche oder weitere Reaktorbetten abgeleitet, wo es seine Wärme wieder in das Reaktorbett abgibt. Der Deponiegasstrom muss bei Methangehalten > 1 Vol.-% verdünnt werden, damit der Reaktor thermisch nicht überlastet wird. Durch Umschalten der Strömungsrichtung wirkt das Reaktorbett zum einen zur Vorwärmung des Verbrennungsgemischs und zum anderen zur Rekuperation der Wärmeenergie aus dem Abgas. Die RTO ist für Mischgasvolumenströme über 500 m<sup>3</sup>/h (nach Konditionierung und Verdünnung) geeignet.

#### **C) Biologische Verfahren**

Bei der biologischen Methanoxidation wird das im Deponiegas enthaltene Methan durch methanotrophe Mikroorganismen zu Kohlenstoffdioxid umgewandelt. Biologische Verfahren zur Deponiegasbehandlung können bei geringen Gasbildungsrate ( $< 50 \text{ m}^3/\text{h}$ ) und Methankonzentrationen unter 20 Vol.-% angewandt werden<sup>138</sup>, bei denen eine thermische Deponiegasbehandlung technisch und wirtschaftlich nicht mehr vertretbar ist. Grundlegend für diese Behandlungsform sind eine ausreichende Luft- und Wasserdurchlässigkeit des Reaktionsmediums. Technisch können die biologischen Behandlungsverfahren als Biofilter oder Methanoxidationsschichten bzw. -fenster ausgestaltet werden. Auch Systeme zur biologischen Behandlung von Methan sind technische Einrichtungen, die unter Beachtung der einschlägigen Regelwerke zu errichten sind. Für Biofiltersysteme und Methanoxidationsfenster ist z.B. die VDI 3477, für Methanoxidationsschichten der BQS 7-3 zu beachten<sup>139</sup>.

##### **C1) Biofilter (aktive Entgasung)**

Bei Einsatz eines Biofilters wird die mikrobielle Aktivität in festen Filterbetten zur gezielten Oxidation von Methan und anderen organischen Bestandteilen genutzt. Biofilter können als offene oder geschlossene Containersysteme auf dem Deponiestandort (unter aktiver Entgasung) errichtet werden. Sie müssen unter Berücksichtigung der Raumbelastungen und der spezifischen Betriebsbedingungen dimensioniert werden. In den Filterbetten wird durch die Materialauswahl

---

<sup>137</sup> VDI 2442

<sup>138</sup> VDI 3899 Bl. 1

<sup>139</sup> BQS 7-3

(Gemische aus Kompost und strukturgebenden Komponenten) und Beschaffenheit des Filterbetts ein optimales Wachstumsmilieu methanotropher Mikroorganismen geschaffen. Für den Betrieb der Biofilter müssen technische Maßnahmen ergriffen werden, welche zum Beispiel die Regelung der Temperatur, der Feuchte sowie der Sauerstoffzufuhr betreffen.

## **C2) Methanoxidationsschichten und -fenster (passive Entgasung)**

Bei den Methanoxidationsschichten handelt es sich um Rekultivierungsschichten denen gezielt Deponiegas zugeführt wird. Neben den Aufgaben der Rekultivierungsschicht dient die Methanoxidationsschicht der Oxidation geringer Methangasfrachten. Die in ihr stattfindenden mikrobiellen Oxidationsprozesse verhindern bzw. vermindern somit das Freisetzen von Methan. Anwendungsbereiche sind Deponien mit geringer Deponiegasproduktion, z. B. Deponien für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle oder Deponien mit nach Abschluss der aktiven Gaserfassung noch vorhandener geringer Restgasbildung. Im Falle des Vorhandenseins von Dichtungselementen sind technische Maßnahmen zur Einleitung und flächigen Verteilung des Deponiegases vorzusehen. Die Dicke und Beschaffenheit der Schichten wird auf die biologische Methanoxidation optimiert. Methanoxidationsschichten decken einen Deponiestandort bzw. einen gastechnisch abgrenzbaren Deponieabschnitt vollständig ab. Neben der Einhaltung der allgemeinen Anforderungen an die Rekultivierungsschicht (vgl. Kapitel 3.3.3.3) ist bei der Auslegung insbesondere auf eine ausreichende Luftkapazität von  $\geq 10$  Vol.-% und einen Humusgehalt von 2 – 4 Gew.-% zu achten<sup>140</sup>. Da die biologische Methanoxidation zwingend auf einen ausreichenden Sauerstoffeintrag über die Umgebungsluft angewiesen ist, muss die erforderliche Luftkapazität langfristig gewährleistet sein. Dabei spielt der Wasserhaushalt der Methanoxidationsschicht eine entscheidende Rolle. Die zusätzlichen Anforderungen an die Rekultivierungsschicht bei Nutzung zur Methanoxidation sind mit der zuständigen Behörde abzustimmen<sup>141</sup>.

Flächig begrenzte Methanoxidationsschichten als Methanoxidationsfenster können in die Deponieoberflächenabdichtung integriert werden (passive Entgasung), wenn nicht die gesamte Oberfläche zur Methanoxidation erforderlich ist. Voraussetzung ist der gasgängige Anschluss des Filtermaterials an eine unter der Oberflächenabdichtung flächig angeordnete Gasdränschicht oder an einen Gasbrunnen, der zu diesem Zweck umgerüstet wurde.

## **Erzielter Umweltnutzen**

Die Behandlung oder Verwertung von Deponiegas wirkt sich in mehreren Bereichen positiv auf den Emissionsschutz aus. Zum einen wird mit der Oxidation von Methan zu Kohlenstoffdioxid die Klimawirkung des entweichenden Gases um den Faktor 28 gesenkt. Erfolgt darüber hinaus eine energetische Nutzung des Methans, können fossile Energieträger eingespart werden. Die Fassung und Verwertung von Deponiegas kann somit einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten. Neben der Minderung von Treibhausgasemissionen werden toxische Deponiegaskomponenten wie Schwefelwasserstoff und weitere schwefelhaltige Verbindungen (Merkaptane) reduziert.

## **Umweltleistung und Betriebsdaten**

Die Hauptmerkmale einer erfolgreichen Deponiegasbehandlung lassen sich zum einen an der Reduktion klimaschädlicher Deponiegasemissionen, und zum anderen an der Effizienz der Methanverwertung und -behandlung festmachen. Alle thermischen Deponiegasverwertungs- und -behandlungsverfahren reduzieren das Treibhausgaspotenzial des abgesaugten Deponie-

---

<sup>140</sup> BQS 7-3

<sup>141</sup> DepV, Anhang 1 Nr. 2.3.1.2

gases durch die Verbrennung des darin enthaltenen Methans signifikant. Auch Schadstoffe im Deponiegas werden durch die hohen Temperaturen zerstört.

Das durch die Verbrennung erzeugte Abgas verursacht noch geringe Emissionen. Ursache hierfür können eine unvollständige Verbrennung (Bildung von CO und Formaldehyd, ggf. Methanschlupf), die Reaktion von Spurengasen (z.B. H<sub>2</sub>S zu SO<sub>2</sub> oder Cl- und F-Verbindungen zu HCl und HF) sowie die Entstehung von thermischen NO<sub>x</sub> sein. Für Deponiegasmotoren gelten laut der europäischen Medium Combustion Plant Directive (MCPD) spezielle Emissionsgrenzwerte. Für Neuanlagen (ab 20.12.2018 in Betrieb genommen) der Leistungsklassen 1–5 sowie 5–50 MW sind hiernach maximal 190 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> (auf 15% O<sub>2</sub>, bei gasförmigen Brennstoffen wie Deponiegas) sowie maximal 1.400 mg CO/Nm<sup>3</sup> (auf 15% O<sub>2</sub>) zulässig. Für Altanlagen gelten Übergangsfristen (mit höheren NO<sub>x</sub> Grenzwerten) bis 2030. Zur Minderung dieser Emissionen können technische Adaptionen wie die vorgeschaltete Rohgasreinigung (z.B. H<sub>2</sub>S-Abscheidung oder die Verwendung von Katalysatoren bei Gas-Ottomotoren) herangezogen werden.

Die Effizienz der Methanverwertung beruht im Wesentlichen auf der Auswahl der passenden Behandlungstechnik. Hierzu ist der Regelbereich der Maschinentechnik auf die Deponiegasmenge und -konzentration abzustimmen. Beim Einsatz von Gasmotoren zur Deponiegasverwertung muss immer auch noch eine Notfackel (HT-Fackel) vorhanden sein, die beim Ausfall des Motors automatisch anspringt und somit etwaige Methangasemissionen verhindert.

Verfahren zur biologischen Methanoxidation lassen sich ausschließlich bei niedrigen Gasbildungs-raten und geringen Methankonzentrationen im Deponiegas einsetzen. Von einer nahezu vollständigen Methanoxidation kann, weitgehend unabhängig von den klimatischen Bedingungen, bei einer Gasbildungsrate von maximal 0,5 l(CH<sub>4</sub>)/h\*m<sup>2</sup>, bezogen auf die für eine passive Methanoxidation zur Verfügung stehende Fläche, ausgegangen werden.

#### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Außer den stofflichen Emissionen durch das Abgas einer thermischen Behandlung können auch Belastungen durch Lärm (v.a. bei Kraftmaschinen) oder Gerüche entstehen. Die Vermeidung von Lärm setzt in erster Linie eine sachgemäße Schalldämmung der Anlagentechnik voraus. Der Betrieb der Aggregate zur Deponiegaserfassung (Verdichter) verursacht einen Energieverbrauch, der abhängig von der Art der Deponiegasverwertung und der verwerteten Gas-mengen u.U. durch die Eigenstromerzeugung gedeckt werden kann. Bei einer Deponiegasverwertung in BHKWs können hierfür zwischen 2 und 10% der Stromproduktion angesetzt werden.

#### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Grundlage für die Wahl eines geeigneten Verfahrens zur Deponiegasverwertung und -behandlung ist das geplante Betriebskonzept, der erwartete Methangehalt im Deponiegas sowie der geplante Volumenstrom. Zusätzlich ist der erwartete Verlauf der Gasmenge- und -zusammensetzung in Abhängigkeit der geplanten Betriebsweise bei der Auswahl der Anlagentechnik zu berücksichtigen. Detaillierte Kenntnisse der vorliegenden Gasbildung sowie deren erwartete Entwicklung stellen daher Kernpunkte bei der Planung und Auslegung der Maschinentechnik und des Behandlungs- oder Verwertungsverfahrens dar. Darüber hinaus ist die Einspeisemöglichkeit des im Zuge der Deponiegasverwertung gewonnenen Stroms oder der bereitgestellten Wärme ein wichtiger Faktor bei der Auswahl des geeigneten Verwertungsverfahrens. Da es nach der Stilllegung einer Deponie durch den fortschreitenden Abbau organischer Substanz zu einer Abnahme der Gasbildung und Gasqualität kommt, wird der Wechsel zu einem anderen Behandlungsverfahren erforderlich. Eine energetische Nutzung des Deponiegases ist i.d.R. nur in den ersten zwei Jahrzehnten nach Stilllegung möglich. Auch anschließend an diesen Zeitraum ist aufgrund des weiterhin hohen Treibhausgaspotenzials zwingend eine Behandlung des Deponie-

gases erforderlich. Die Wahl zwischen optimaler Gasnutzung oder maximaler Nutzungsdauer des Behandlungsverfahrens sollte bei der Planung entsprechend berücksichtigt werden.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Unabhängig von den wirtschaftlichen Auswirkungen steht bei der Beseitigung oder Verwertung von Deponiegas der Emissionsschutz uneingeschränkt im Vordergrund. Anzustreben ist hierbei ein möglichst hoher Deponiegaserfassungsgrad. Ggf. kann dies zu einer nur eingeschränkt möglichen Gasverwertung führen.

An Standorten mit hohem Deponiegasaufkommen und ausreichender Methankonzentration kann eine Verwertung des Deponiegases einen mehr oder weniger großen Teil der Investitions- und Betriebskosten für die ordnungsgemäße Deponieentgasung kompensieren. Bei besonders günstigen Bedingungen können zeitweise auch positive Ergebnisse erzielt werden. Bei der Eigennutzung oder auch der Einspeisung und dem Verkauf des generierten Stroms oder der Wärme können entsprechende Einsparungen oder Erlöse erzielt werden.

Für Standorte mit Behandlungsverfahren für geringe Methanvolumenströme und -konzentrationen (Schwachgas) und ohne Verwertungsmöglichkeit, können die Kosten für die Deponieentgasung nicht reduziert werden. Bei diesen Anlagen steht der Emissionsschutz uneingeschränkt im Vordergrund.

Die notwendigen Investitions- und Betriebskosten für die Verwertung oder Behandlung sind in den entsprechenden Wirtschaftsplänen zu berücksichtigen; diese sind regelmäßig unter Berücksichtigung der Deponiegasentwicklung fortzuschreiben.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Die Ablagerung organikhaltiger Abfälle auf Deponien führt unter den herrschenden anaeroben Bedingungen zur Bildung von klimaschädlichem methanhaltigem Deponiegas. Die gezielte Erfassung, Verwertung und Behandlung von Deponiegas gewährleisten eine erhebliche Reduzierung der Methan-Treibhausgasemissionen. Die Motivation hinter der Verwertung und Behandlung von Deponiegas liegt folglich nicht primär in wirtschaftlichen Überlegungen (Erzeugung und Bereitstellung von Strom und/oder Wärme), sondern hauptsächlich in der Reduzierung sonst nicht mehr vermeidbarer Treibhausgasemissionen aus Deponien, in denen noch organikhaltige Abfälle abgelagert wurden. Insbesondere in Verbindung mit einer Oberflächenabdichtung kann ein hoher Gasfassungsgrad im Gasabsaugbetrieb erreicht werden. Damit werden unkontrollierte diffuse Emissionen vermindert und darüber hinaus das Risiko unerwünschter Deponiegasmigration minimiert, was einen wichtigen Beitrag zur Gefahrenabwehr darstellt.

### **Musteranlagen**

Beispieldeponien (nach Deponieklassen) mit Deponiegasverwertung:

- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW146 → Deponiekategorie II (BHKW, HTF, SGF; bereichsweise BHKW-Betrieb und Übersaugung mit schrittweiser aktiver Belüftung)
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW152 → Deponiekategorie II (BHKW, HTF, SGF; bereichsweise BHKW-Betrieb und Übersaugung mit schrittweiser aktiver Belüftung)
- ▶ Hessen → HE208 → Deponiekategorie II (BHKW, HTF; herkömmliche Gaserfassung, Verwertung optimiert durch Biogaszumischung)
- ▶ Hessen → HE207 → Deponiekategorie II (Mikrogasturbine, E-Flox; bereichsweise Verwertung und Übersaugung)

- Hessen → HE201 → Deponieklasse II (BHKW; herkömmliche, aber bereits optimierte Gaseraffassung, Verwertung zukünftig optimiert durch Biogaszumischung)

### Referenzliteratur

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-3 „Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 02.12.2020

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

Medium Combustion Plant Directive, MCPD (2015): Directive (EU) 2015/2193 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants. In: Official Journal of the European Union L 313/1.

VDI 2442 (2014): Abgasreinigung Verfahren und Technik der thermischen Abgasreinigung, Beuth Verlag GmbH, Berlin, ICS 13.040.99

VDI 3674 (2013): Abgasreinigung durch Adsorption Prozessgas- und Abgasreinigung, Beuth Verlag GmbH, Berlin, ICS 13.040.40

VDI 3899 Blatt 1: Deponiegas - Deponiegasverwertung und -behandlung, Fachbereich Umweltmesstechnik, 2012-06

### **3.3.4.3 Deponiebelüftung zur Reduktion des Deponiegasbildungspotentials**

Methan aus Siedlungsabfalldeponien trägt erheblich zu den globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen bei. Gleichzeitig können diese Emissionen durch Vorbehandlung der Abfälle sowie die Installation und den Betrieb von Systemen zur Erfassung und Nutzung von Deponiegas weitgehend reduziert werden.

Die Deponiebelüftung stellt eine sinnvolle Ergänzung zu diesen Maßnahmen dar und setzt häufig zu einem Zeitpunkt an, zu dem die Gasnutzung bzw. -verwertung technisch zunehmend anspruchsvoller und wirtschaftlich nicht mehr zumutbar ist. Insbesondere in dieser fortgeschrittenen Phase der Deponiegasbildung kann die kontinuierliche Erfassung und Behandlung der gasförmigen Emissionen durch einen steigenden Stickstoff-Anteil und eine Reduzierung des  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$ -Verhältnisses infolge aerober Prozesse zunehmend beeinträchtigt werden. In vielen Fällen lässt sich das verbliebene Deponiegasbildungspotential zu diesem Zeitpunkt mit ca. 10 bis 15% des Ausgangspotentials der Siedlungsabfälle bei der Ablagerung abschätzen. Die nachfolgenden Ausführungen zur Anwendbarkeit, technischen Umsetzung sowie Erfolgskontrolle der In-situ Belüftung nach dem Stand der Technik basieren in Deutschland hauptsächlich auf dem Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 10-1 "Deponiegas" sowie der VDI-Richtlinie 3899 Blatt 2.

#### **3.3.4.3.1 Zielsetzung der Deponiebelüftung**

Maßnahmen zur Deponiebelüftung werden mit dem Ziel durchgeführt, die biologischen Ab- und Umbauprozesse im Deponiekörper kontrolliert zu beschleunigen. Das verbleibende Emissionspotential soll dabei soweit verringert werden, dass von diesen Deponien auch langfristig nahezu keine oder nur noch eine sehr geringe (tolerierbare) Umweltbelastung ausgeht. Die Maßnahmen können so zu einer beträchtlichen Reduzierung des Nachsorgeaufwands und der Nachsorgedauer beitragen.

Während der Belüftung wird die Methanproduktion zunehmend reduziert und der Anteil an biologisch abbaubaren organischen Verbindungen im Deponiekörper nachhaltig minimiert. In Kombination mit einer geeigneten Abgasbehandlung (z.B. thermische Oxidation) kann der Anteil des noch vorhandenen Methanbildungspotentials um bis zu 90 % reduziert werden<sup>142</sup>. Die Deponiebelüftung bildet somit einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz.

#### **3.3.4.3.2 Einflussfaktoren und Randbedingungen zur Deponiebelüftung**

Unter dem Einfluss der Belüftung kommt es zu einer beschleunigten und kontrollierten aeroben Umsetzung der bioverfügbaren Restorganik im Deponiekörper. Voraussetzungen hierfür sind neben einem ausreichenden Angebot an Luftsauerstoff insbesondere auch ein hinreichender Feuchtegehalt der abgelagerten Abfälle sowie eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Luft im Deponiekörper. Unter solchen Bedingungen können in einem zeitlichen Rahmen von ungefähr 10 bis 15 Jahren bei einer aktiven Luftzuführung (mittels Niederdruckbelüftung) das Gasemissionspotenzial in einem Umfang reduziert werden, wofür bei herkömmlichen Verfahren der Deponieentgasung mehrere Jahrzehnte erforderlich gewesen wären (Beschleunigung um den Faktor 3 bis 6). Aufgrund der Heterogenität der abgelagerten Abfälle und der variablen Randbedingungen lassen sich jedoch keine verbindlichen Vorgaben zur notwendigen Dauer der Belüftung machen. Der oben genannte Zeithorizont bezieht sich daher auf eine jüngere durchschnittliche Siedlungsabfalldeponie, die bis längstens 2005 mit überwiegend biologisch abbaubaren Abfällen verfüllt wurde. Für den gleichen Standort würde eine Übersaugung (passive Belüftung) zu Behandlungszeiträumen von bis zu 25 Jahren führen, da bei diesem Verfahren die aeroben Abbauprozesse wesentlich später einsetzen und sich dann graduell im Deponiekörper ausbreiten. Das Verfahren der Hochdruckbelüftung würde demgegenüber bei einem solchen

---

<sup>142</sup> Ritzkowski und Stegmann, 2008

Standort ausschließlich zur Geruchselimination Anwendung finden und dann nur über kurze Zeiträume von einigen Wochen bis wenigen Monaten eingesetzt werden. In dieser Zeit würde aber kein nennenswerter biologischer Abbau der Restorganik in den abgelagerten Abfällen stattfinden.

Die Dimensionierung einer Anlage zur Deponiebelüftung erfolgt über die Erstellung einer Gasprognose, die ggf. durch weiterführende Abfallfeststoffuntersuchungen zur Bestimmung des bioverfügbaren organischen Kohlenstoffs ( $C_{org.}$ ) ergänzt werden kann. Aus der Menge an  $C_{org.}$  lässt sich der (theoretische) Sauerstoffbedarf errechnen, welcher zum vollständigen Abbau des bioverfügbaren organischen Kohlenstoffs notwendig ist. Da es jedoch im Deponiekörper nur zu einer teilweisen Umsetzung des zugeführten Luftsauerstoffs kommt, muss zur Abschätzung des tatsächlichen Sauerstoffbedarfs ein zusätzlicher Faktor berücksichtigt werden. Erfahrungswerte aus belüfteten Deponien in Deutschland zeigen, dass dieser Faktor (je nach deponiespezifischen Randbedingungen) zwischen 2 und 3 liegen kann. Aus dieser Abschätzung lässt sich dann über den Belüftungszeitraum und die gewählte Belüftungsrate bzw. den gewählten Belüftungsdruck die notwendige Infrastruktur der Belüftungseinrichtung dimensionieren.

Für die Einschätzung der notwendigen Belüftungsdauer einer Deponie sollte neben dem theoretischen und tatsächlichen Sauerstoffbedarf immer auch die Intensität der biologischen Umsetzungsprozesse mitbetrachtet werden. Hierbei wird, in Abhängigkeit der Menge an biologisch verfügbarer organischer Substanz, Wärme als Produkt des mikrobiologischen Stoffwechsels freigesetzt. In der Folge kommt es zu einem Anstieg der Temperaturen im Deponiekörper, welcher überwacht und ggf. reguliert werden muss, um die potenzielle Gefahr von Schwelbränden sicher ausschließen zu können. Als effektive Strategie zur Kontrolle der Temperaturentwicklung hat sich dabei die Begrenzung der Sauerstoffzufuhr in den frühen Phasen der Belüftung (Monate bis wenige Jahre) erwiesen, welche ggf. auch durch einen Intervallbetrieb der Belüftungsanlage sichergestellt werden kann. In den späteren Phasen der Belüftung (nach erfolgtem Abbau der biologisch leicht abbaubaren organischen Substanz) kann dann die Sauerstoffzufuhr schrittweise gesteigert werden, um die möglichst vollständige Versorgung des gesamten Deponiekörpers zu gewährleisten.

Die Gewährleistung einer gleichmäßigen Luftverteilung im Deponiekörper ist aufgrund von Inhomogenitäten, partiellem Wassereinstau (auch und insbesondere in den basisnahen Deponiebereichen), unterschiedlichen Lagerungsdichten (zunehmende Verdichtung mit zunehmender Tiefe) und in der Folge unterschiedlichen Gasporenvolumina eine anspruchsvolle Aufgabe. Hierbei ergeben sich bei Anwendung der aktiven Niederdruckbelüftung mit paralleler Belüftung und Abluftfassung flexible Steuerungsmöglichkeiten, um die Luftverteilung gezielt in bestimmte Deponiebereiche zu leiten. Passive Verfahren (Übersaugung) sind diesbezüglich als wesentlich statischer und unflexibel einzuschätzen. Im Falle eines Wassereinstaus in den tiefen Ablagerungsbereichen kann darüber hinaus durch den Einsatz von sogenannten Kombibrunnen (Betrieb von Tauchpumpen, die in die Gasbrunnen eingehängt werden) eine gezielte Sickerwasserentnahme erfolgen, so dass der Wasserspiegel absinkt und größere Abfallvolumina der Belüftung zugänglich werden.

Der zusätzliche Energiebedarf (gegenüber der aktiven Deponiegaserfassung) bei einer aktiven Deponiebelüftung ergibt sich aus dem Betrieb von zusätzlichen Verdichtern zur Bereitstellung der Zuluft. Hierbei kann von einem Stromverbrauch zwischen 0,5 bis 1,0 kWh pro 1.000 m<sup>3</sup>/h ausgegangen werden. Bei der Übersaugung (passive Belüftung) ist der zusätzliche Energiebedarf entsprechend geringer, da hierbei keine zusätzlichen Aggregate eingesetzt werden. Darüber hinaus kann sich beim Einsatz einer thermischen Abluftbehandlung mittels RTO ein weiterer Stromverbrauch beim Aufheizen des Systems ergeben. Dieser fällt jedoch nur beim Anfahren der RTO an, da im Regelbetrieb weder eine Stützfeuerung noch eine elektrische Heizung zur

Aufrechterhaltung der hohen Temperaturen zur thermischen Oxidation des Methans notwendig sind.

### **Technische Beschreibung**

Die Begriffe „Deponiebelüftung“ bzw. „in-situ Aerobisierung“ vereinen eine Vielzahl von Konzepten und Strategien mit z. T. unterschiedlichen Zielstellungen. Aspekte wie z. B. das Design der Gasbrunnen und deren Abstand zueinander, die Wahl hinreichender Zuluftvolumina und Gasdrücke, die Überwachung der Luftverteilung sowie der Temperaturen und Feuchtgehalte sowie die potenzielle Mobilisierung von Schadstoffen werden hiervon bestimmt. Tabelle 42 zeigt für verschiedene Konzepte zur Deponiebelüftung Hinweise zu ihrer technischen Implementierung, den (vorrangigen) Zielsetzungen und der empfohlenen Emissionsminderungstechnik sowie spezifische Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren.

**Tabelle 42: Konzepte zur Deponiebelüftung, wesentliche Anwendungsgebiete und dabei eingesetzte Abluftreinigungsverfahren**

| Konzept              | Umsetzung                               | Hauptanwendungsgebiet                                                                                                            | Abluftreinigungstechnik                                                | Vorteile                                                                                                    | Nachteile                                                                                                                       |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Übersaugung          | Erhöhte Absaugraten (passive Belüftung) | Erhöhung der Methanfracht, allmähliche Aerobisierung                                                                             | Biofilter oder i.d.R. Schwachgasfackel/RTO                             | Kontrollierte Fassung von Abluft                                                                            | Maßnahme dauert i.d.R. länger als bei aktiver Belüftung (Niederdruckbelüftung)                                                  |
| Niederdruckbelüftung | Aktive Belüftung mit Ablufterfassung    | Beschleunigte biologische Stabilisierung und Vermeidung von THG-Emissionen                                                       | RTO, Schwachgasfackel, Biofilter nach fortgeschrittener Stabilisierung | Flexibilität der Betriebsführung (Luft kann gezielt eingeleitet werden)<br>Kontrollierte Fassung der Abluft | Ggf. etwas höher Aufwand in der Betriebsführung und Abluftreinigung (dafür jedoch kürzere Behandlungsdauer als bei Übersaugung) |
| Niederdruckbelüftung | Aktive Belüftung ohne Ablufterfassung   | Beschleunigte biologische Stabilisierung                                                                                         | Oberflächenabdeckung als Flächenbiofilter                              | Reduzierter technischer Aufwand, da keine aktive Ablufterfassung                                            | Emissionsminderung i.d.R. geringer als Niederdruckbelüftung mit Ablufterfassung<br>Emissionserfassung und -kontrolle schwierig  |
| Hochdruckbelüftung   | Impulsverfahren Fassung der Abluft      | Oftmals zur Vorbereitung auf Deponierückbau eingesetzt (dient bei kurzfristiger Anwendung nicht der biologischen Stabilisierung) | Biofilter Fassung der Abluft                                           | Einsatz sowohl in stark als auch in schwach verdichteten Abfällen<br>Kontrollierte Fassung der Abluft       | Kosten, hoher technischer Aufwand, aufgrund kurzer Behandlungsdauer kein Einfluss auf Sickerwasserqualität                      |

## Übersaugung

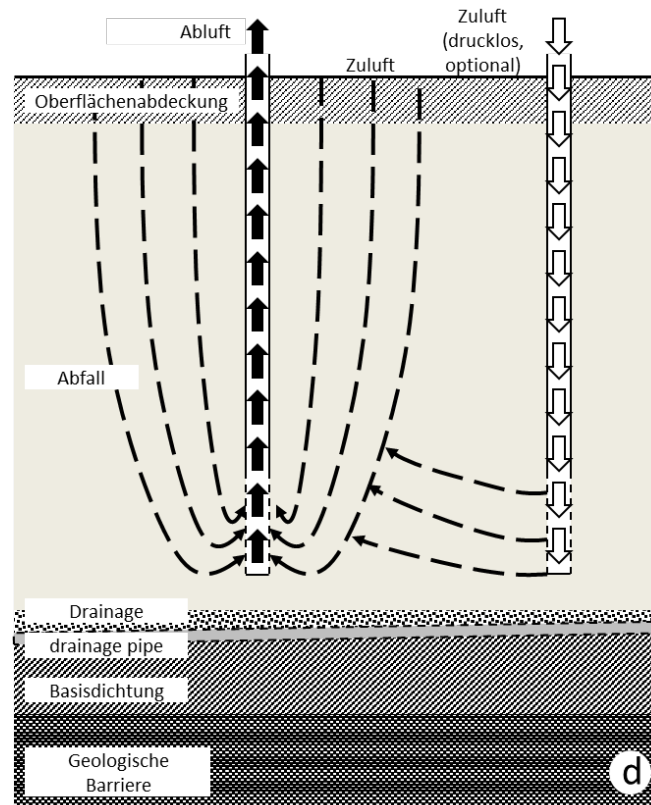
Übersaugungskonzepte folgen dem Grundansatz der Belüftung durch eine indirekte bzw. passive Luftzuführung, d.h. die Zuführung von Umgebungsluft in den Deponiekörper erfolgt über die Oberfläche und ggf. ergänzend durch am Brunnenkopf geöffnete Gasbrunnen. Alternativ ist auch eine regelbare Luftzuführung über die Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht möglich. Der Übersaugungseffekt ergibt sich durch die Einstellung erhöhter Absaugvolumina, die die Gasbildungs-raten im Deponiekörper signifikant übersteigen und so einen höheren Unterdruck im Inneren des Deponiekörpers erzeugen. Neu errichtete Gasbrunnen werden dazu bevorzugt erst in tiefe-ren Abfallschichten mit einem Filterrohr versehen, um damit den Einflussradius der Über-saugung bzw. das beeinflusste Abfallvolumen zu vergrößern und Kurzschlussströmungen nahe der Deponieoberfläche zu vermeiden. Das abgesaugte Deponiegas bzw. Deponiegas-Luft-Gemisch wird i.d.R. mit Hilfe einer Schwachgasfackel oder einer RTO, in einigen Fällen auch eines Biofilters behandelt (Abbildung 21).

Hinsichtlich der biologischen Stabilisierungsleistung sind zwei verschiedene Phasen des Konzepts zu unterscheiden. In der ersten Phase wird die erfasste Methanfracht im abgesaugten Deponiegas im Vergleich zur vorherigen Fracht bei normalem Absaugbetrieb erhöht. Die Wirkung wird dabei häufig durch die spezielle Gasbrunnenkonstruktion mit einem kurzen perforierten Endstück verbessert. Durch diesen Ansatz soll Deponiegas auch aus Zonen erfasst werden, die im regulären Entgasungsbetrieb ggf. nicht vollständig erreicht werden. In der zwei-ten Phase bei ggf. weiter gesteigertem Absaugvolumen ändert sich die Gaszusammensetzung zunehmend in Richtung reduzierter Methankonzentrationen durch Luftinfiltration über die Deponieoberfläche<sup>143</sup>. Der gewünschte Aerobisierungseffekt tritt so allmählich ein.

---

<sup>143</sup> SC+P, 2022.

**Abbildung 21: Aerobisierungstechnik Übersaugung<sup>144</sup>**



Quelle: Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012): Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings

### **Druck-Saugverfahren, Niederdruckbelüftung**

Konzepte der Niederdruckbelüftung als ein häufig eingesetztes Druck-Saugverfahren werden angewandt, um eine beschleunigte und weitreichende biologische Abfallstabilisierung zu bewirken. Im Gegensatz zum Hochdruckkonzept unterschreiten die Drücke bei der Luftzuführen i.d.R. 0,3 bar und liegen häufig in einem Bereich von 20-80 mbar. Bei großen Deponien mit Ablagemächtigkeiten über 40 m können im Einzelfall und insbesondere für tiefere Schichten auch Drücke von bis zu 1,0 bar notwendig werden. In den letzten 10-15 Jahren wurden zur Niederdruckbelüftung folgende Konzepte und Varianten entwickelt.

### **Aktive Belüftung mit paralleler Abluftfassung**

Wie bei der Hochdruckbelüftung weisen auch die meisten Niederdruckbelüftungskonzepte eine parallel betriebene Belüftung und Absaugung auf. Ein Teil der Gasbrunnen wird als Belüftungsbrunnen und ein Teil als Absaugbrunnen genutzt. Durch die Belüftungsbrunnen (z. T. auch horizontale Gasdränagen) wird überwiegend kontinuierlich Umgebungsluft in den Deponiekörper eingeleitet. Die Luft verteilt sich durch Konvektion und Diffusion und wird durch das simultan betriebene Absaugsystem via Absaugbrunnen aus dem Deponiekörper abgeleitet. Absaugbrunnen und Gasverteilerstationen sind mit der Verdichtieranlage und der Abluftreinigungsstufe verbunden. Das parallel betriebene Belüftungs- und Abluftfassungssystem bietet Vorteile in Bezug auf die Flexibilität der Betriebsführung: Luft kann gezielt in Zonen mit Sauerstoffdefizit eingeleitet werden, und der Luftstrom innerhalb der Abfälle kann durch die Wahl von Belüftungs- und Gasabsaugbrunnen zielgerichtet eingestellt werden (Abbildung 22).

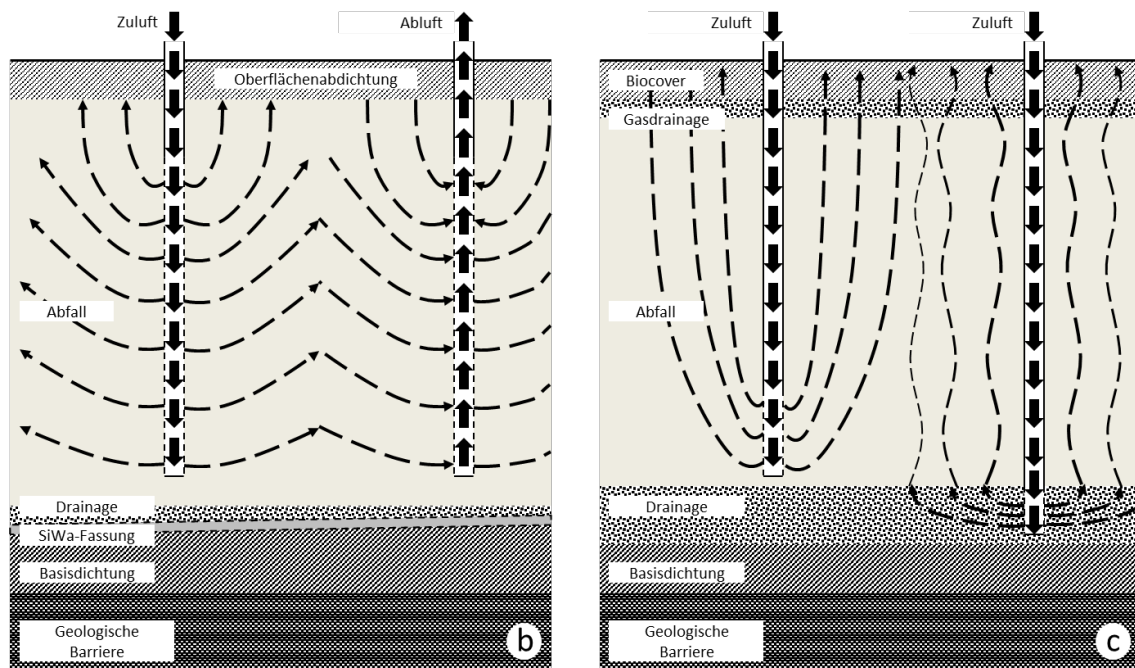
<sup>144</sup> Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012): Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings.

Unterschiede innerhalb der Konzepte zur aktiven Niederdruckbelüftung mit paralleler Abluft-erfassung bestehen vor allem in der Wahl einer geeigneten Abluftbehandlung. Im Hinblick auf eine optimierte Reduktion der Treibhausgasemissionen ist die thermische Oxidation der Restmethanfracht in der erfassten Abluft i.d.R. erforderlich. Systeme wie die flammenlose nicht-katalytische thermische Oxidation (regenerative thermische Oxidation, RTO) sind in der Lage, Methanemissionen über die Abgase vollständig zu vermeiden. Zugleich ist der externe Energiebedarf sehr gering und beschränkt sich in der Regel auf den Anfahrvorgang. Anschließend wird die erforderliche Oxidationstemperatur (ca. 1.000°C) durch die Energiefreisetzung bei der thermischen Oxidation gehalten. Mittlerweile sind auch Schwachgasfackeln zunehmend in der Lage, Abluftströme mit geringen Methankonzentrationen thermisch zu behandeln. Ergänzend können biologische Abluftbehandlungskonzepte, wie Biofilter oder Kombinationen aus Befeuchtung und Biofiltern eingesetzt werden. Diese biologischen Systeme sind in der Lage, Gerüche weitgehend zu reduzieren. Sie weisen jedoch (je nach technischer Ausgestaltung) eine begrenzte Funktion zur Methanoxidation aufgrund der oft kurzen Verweilzeiten der Abluft in den Filtern auf, weshalb sie allenfalls bei sehr geringen Methankonzentrationen eingesetzt werden können.

#### **Aktive Belüftung ohne Ablufterfassung**

Die Luftzufuhr in den Deponiekörper wird in diesem Verfahrenskonzept ohne eine parallele, aktive Ablufterfassung betrieben. In diesem Fall fungiert die Deponieabdeckung als biologische Filterschicht (Flächenbiofilter), entweder in ihrem ursprünglichen Zustand, sofern sie die Voraussetzungen zur erforderlichen Methanoxidation erfüllt, oder nach Verbesserung ihrer biologischen Methanoxidationskapazität. Eine solche Deponiebelüftung ohne die Integration einer gleichzeitigen Ablufterfassung und -behandlung ist im kontinuierlichen Betrieb einfacher zu steuern, kann aber zu einer ggf. deutlich geringeren Emissionsminderung (im Vergleich zu kombinierten Systemen) im Bereich der Treibhausgase führen. Auch ist die Bilanzierung der Emissionsminderung im Zuge der Maßnahme schwieriger und ggf. unzuverlässiger, da es keine Möglichkeit zur kontinuierlichen Erfassung der Abluftqualität (hinsichtlich der emittierten Methanfrachten) gibt. Die Belüftung kann sowohl durch ein System von vertikalen Gasbrunnen im Abfallkörper oder durch Luftinjektion in die Drainage unter den Abfällen erfolgen (Abbildung 22). Im letzteren Fall fungiert die Drainageschicht als Luftverteilungsschicht mit dem Ziel einer gleichmäßigen Durchströmung der Abfälle von unten nach oben.

**Abbildung 22: Aerobisierungstechnik Niederdruckbelüftung mit und ohne Abluftfassung<sup>145</sup>**



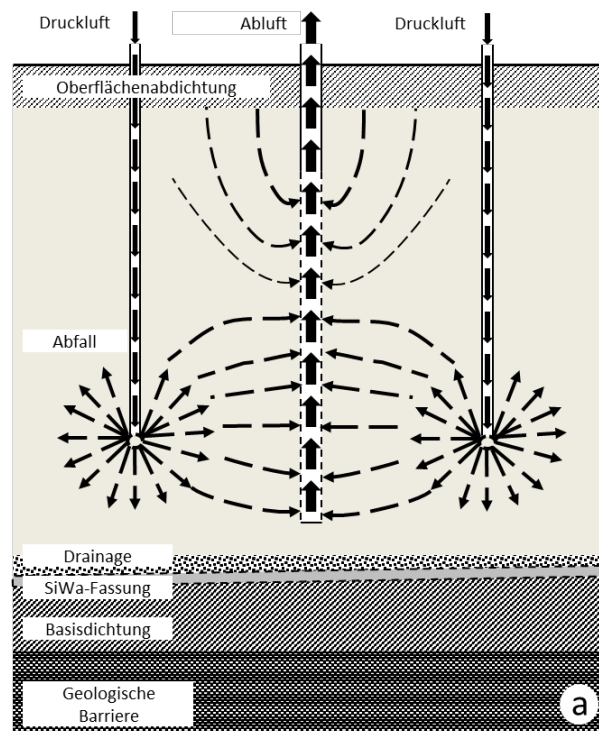
Quelle: Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012): Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings

### Hochdruckbelüftung

Bei der Hochdruckbelüftung erfolgt die Aerobisierung des Deponiekörpers durch stoßartige Druckabgabe (bis zu 6 bar) aus Lanzen, wobei die Zuluft mit zusätzlichem Sauerstoff und ggf. Nährstoffen angereichert werden kann. Jede Lanze wird über ein Druckluftverteilternetz versorgt und verfügt über ein Schnellöffnungsventil, das intermittierend geöffnet wird, sobald ein bestimmter Druck aufgebaut wurde. Das freigesetzte Belüftungsgas ist in der Lage, sowohl stark als auch schwach verdichtete Abfallstoffe zu durchdringen. Um die unkontrollierte Freisetzung von Abluft zu minimieren, sieht das Druckstoßkonzept ein Abluftfassungssystem bestehend aus Sauglanzen vor. Das parallel zur Belüftung betriebene Abluftfassungssystem wird mit einer um 30% erhöhten Absaugleistung (im Vergleich zu den für die Belüftung verwendeten Gasmengen) betrieben und überführt die Abluft zur weiteren Behandlung mittels Biofilter und/oder Aktivkohlefilter (Abbildung 23).

<sup>145</sup> Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012): Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings.

**Abbildung 23: Aerobisierungstechnik Hochdruckbelüftung<sup>146</sup>**



Quelle: Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012): Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings

### Erzielter Umweltnutzen

Die Belüftung einer Deponie dient der beschleunigten biologischen Stabilisierung des Abfallinventars, wodurch sich aktuelle und zukünftige negative Auswirkungen auf die Umwelt reduzieren. Zum einen wird während der Belüftung die Methangasbildung minimiert, so dass signifikant weniger Treibhausgas gebildet und ggf. freigesetzt werden kann. Darüber hinaus zeigt sich der Umweltnutzen insbesondere nach Abschluss der Maßnahme, wenn der Deponiekörper in einen weitgehend stabilisierten Zustand überführt wurde, welcher nur noch eine sehr geringe Restmethanproduktion sowie eine verbesserte Sickerwasserqualität aufweist.

### Umweltleistung und Betriebsdaten

Eine erfolgreiche Deponiebelüftung zeichnet sich zum einen durch die Reduktion klimaschädlicher Methanemissionen, und zum anderen durch eine geringere Belastung des Deponiesickerwassers aus. Dieser Zustand wird im Gegensatz zu einer anaerob betriebenen Deponie wesentlich früher und unter weitgehender Vermeidung diffuser Emissionen erreicht, so dass sich deutliche Entlastungen für die Umwelt ergeben.

In Bezug auf die gesamte Reduzierung der Treibhausgasemissionen können durch die Belüftung ca. 60 bis 70 % im Deponiekörper realisiert werden. Dieses ist auf die Umstellung der anaeroben Abbauprozesse auf aeroben Abbau zurückzuführen. In Verbindung mit einer thermischen Behandlung der Abluft können bis zu 90% der THG-Emissionen vermieden werden. Die verbleibenden 10% sind auf den notwendigen zusätzlichen Energiebedarf für den Betrieb der Belüftungseinrichtungen zurückzuführen. Bei Einsatz von überwiegend erneuerbarer Energie verringern sich die THG-Emissionen dementsprechend weiter.

<sup>146</sup> Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012): Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings.

### **Medienübergreifende Auswirkungen**

Durch den Einsatz der Deponiebelüftung können negative Auswirkungen auf die Medien Luft, Wasser und Boden verringert werden. Geringere Deponiegasemissionen wirken sich positiv auf die Luftqualität aus, während die Verbesserung der Sickerwasserqualität (infolge der biologischen Stabilisierung der Abfallinhaltsstoffe) sich positiv auf den Boden und ggf. das Grund- und Oberflächenwasser auswirken kann, sofern es zu keiner vollständigen Fassung und Behandlung des Sickerwassers am Standort kommt.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Die Anwendung der Deponiebelüftung ist an bestimmte (technische) Randbedingungen geknüpft. Bei der Wahl des geeigneten Belüftungsverfahrens bzw. für die Festlegung bestimmter Auslegungsdaten (z.B. der Abstand zwischen den Gasbrunnen zur Belüftung und/oder Gaserfassung) spielen insbesondere die Kubatur und die Mächtigkeit des Deponiekörpers eine entscheidende Rolle. Bei flacheren Deponien (insbesondere ohne endgültige Oberflächenabdichtung) bietet oftmals die gezielte Übersaugung verfahrenstechnische Vorteile, während mit zunehmender Ablagerungsmächtigkeit der notwendige Sauerstoff aktiv in die unteren Schichten der Deponie eingebracht werden muss. Der Lagerungsdichte der Abfälle sowie dem verfügbaren freien Gasporenvolumen kommen eine besondere Bedeutung im Hinblick auf die angestrebte gleichmäßige Verteilung der Luft im Deponiekörper zu. Unter Umständen müssen hierbei geringere Abstände zwischen den Belüftungs- und Abluftfassungselementen eingeplant werden oder über den Einsatz von tiefendifferenzierten Brunnen individuell bestimmte Schichten der abgelagerten Abfälle gezielt angesteuert werden. Das Vorhandensein von eingestauten Bereichen, insbesondere über der Basisabdichtung in den unteren Abfallschichten, kann den Eintrag von Luft bzw. Sauerstoff erschweren bzw. gänzlich verhindern. In diesen Fällen sind technische Maßnahmen zur Absenkung des Wasserspiegels und damit Vergrößerung des zu belüftenden Abfallvolumens durch den Einsatz sogenannten Kombibrunnen zu erreichen, welche über Tauchpumpen Sickerwasser aus dem Deponiekörper abführen können.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Die Investitionskosten für eine Deponiebelüftung unterscheiden sich nicht wesentlich von denen für eine gezielte Deponiegaserfassung und Behandlung, da der technische Mehraufwand zur Deponiebelüftung (u.a. Belüftungsverdichter in Gasverdichterstation, Temperaturüberwachung, Zweikreissystem bei Gasleitungen) relativ gering ist. Die Betriebs- und Unterhaltungskosten sowie der Energiebedarf pro Betriebsjahr sind bei der Deponiebelüftung zwar höher, dafür ist der Betriebszeitraum deutlich kürzer, um den gleichen Kohlenstoffumsatz zu erreichen wie bei der herkömmlichen Gaserfassung und -behandlung. Diese zeitliche Verkürzung der Sanierungsmaßnahme führt dazu, dass die Belüftung in vielen Fällen sogar Einsparpotenziale eröffnet. Diese Kostenreduzierung fällt über den Behandlungszeitraum noch deutlicher aus, wenn bei der herkömmlichen Gaserfassung und -behandlung alterungs- und verschleißbedingte größere Erneuerungsinvestitionen berücksichtigt werden.

Im Hinblick auf den Klimaschutz können durch die Deponiebelüftung noch nennenswerte Emissionsvermeidungspotenziale realisiert werden. Gleichzeitig liegen die Vermeidungskosten (auf Basis der Erfahrungen aus einer Vielzahl von Belüftungsprojekten im Rahmen der deutschen NKI-Förderungen) mit ca. € 20 pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent deutlich unter denen für Maßnahmen in anderen Sektoren.

Langfristig ergeben sich darüber hinaus auch noch finanzielle Entlastungen in der Deponienachsorge, da hier mit kürzeren Zeiträumen und einem insgesamt niedrigeren Aufwand (z.B. für die Schwachgasbehandlung und die Sickerwasserreinigung) zu rechnen ist.

### **Triebkraft für die Anwendung**

Wesentliche Treibkräfte für die Anwendung der Deponiebelüftung als Maßnahme zur beschleunigten biologischen Stabilisierung von Deponien finden sich in den Bereichen Klimaschutz (Vermeidung langfristiger, diffuser Methanemissionen), Umweltschutz (Verbesserung des gesamten Emissionspotenzials eines Deponiestandorts, inkl. der Qualität des anfallenden Sickerwassers) sowie finanziellen Vorteilen für den Deponiebetreiber, die sich insbesondere in der Nachsorgephase bemerkbar machen.

### **Musteranlagen**

Beispieldeponien mit laufender oder abgeschlossener Belüftung:

- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW152 → Deponieklasse II (aktive Belüftung (optional Übersaugung) beginnend im älteren Deponiebereich)
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW146 → Deponieklasse II (aktive Belüftung (optional Übersaugung) beginnend in Bereichen mit geringer Restgasbildung und geringen Methangehalten („Schlechtgas“)
- ▶ Nordrhein-Westfalen → NW007 → Deponieklasse II (aktive Belüftung (optional Übersaugung) beginnend in Bereichen mit geringer Restgasbildung und geringen Methangehalten („Schlechtgas“) Niedersachsen → Altdeponie Kuhstedt → Altdeponie (Methanoxidationsfenster, Belüftung bereits abgeschlossen, passive Restgasbehandlung)

### **Referenzliteratur**

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 10.11.2021

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2008): In situ Belüftung der Altdeponie Kuhstedt – Ergebnisse eines 8-jährigen BMBF-Vorhabens. In: Deponietechnik 2008, Hamburger Berichte 31. Stegmann/Rettenberger/Bidlingmaier/Bilitewski/Fricke/Heyer (Hrsg.), Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 31-54, ISBN 3-9810064-6-1.

Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012): Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings. In: Waste Management 32 (7), 1411-1419.

Sieber Cassina + Partner AG (2022): Expertise Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien. Projekt-Nr.: BE 692A.

VDI 3899 Blatt 2: Deponiegas - Systeme zur Deponiegaserfassung und Belüftung, Fachbereich Umweltmesstechnik, 2020-11

### 3.3.5 Unterarbeitspaket 3.3 – Deponiebetrieb, Überwachungen und Kontrollen

Sämtliche Phasen einer Deponie, Errichtung, Betrieb und Stilllegung sowie die Nachsorge, unterliegen bestimmten Anforderungen hinsichtlich der notwendigen Überwachungen und Kontrollen. Das Unterarbeitspaket 3.3 stellt diese Anforderungen – so wie sie derzeit in Deutschland gelten – für oberirdische Deponien der Klassen I bis III in den entsprechenden Unterkapiteln zusammenfassend dar.

#### 3.3.5.1 Abfallannahme auf Deponien

Die Annahme von Abfällen auf Deponien beinhaltet die Pflicht zur Charakterisierung der Abfälle durch den Erzeuger vor der Anlieferung sowie eine Kontrolluntersuchung bei Annahme durch den Deponiebetreiber<sup>147</sup>.

Abfälle dürfen auf Deponien oder Deponieabschnitten nur abgelagert werden, wenn die jeweiligen Annahmekriterien bereits bei der Anlieferung eingehalten werden. Die Annahmekriterien sind im einzelnen Abfall, ohne Vermischung mit anderen Stoffen oder Abfällen, einzuhalten. Soweit es zur Einhaltung der Annahmekriterien erforderlich ist, sind Abfälle vor der Ablagerung zu behandeln. Die Behandlung ist ausreichend, wenn das Behandlungsergebnis irreversibel ist und die Annahmekriterien durch die Behandlung dauerhaft eingehalten werden<sup>148</sup>.

**Gefährliche Abfälle** dürfen auf Deponien oder Deponieabschnitten der Klasse III für gefährliche Abfälle abgelagert werden. Bei Einhaltung der jeweiligen Zuordnungskriterien<sup>149</sup>, dürfen gefährliche Abfälle auch auf Deponien der Klassen I und II abgelagert werden. So können z.B. asbesthaltige Abfälle und Abfälle, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten, auf Deponien oder Deponieabschnitten der Klassen I oder II abgelagert werden, wenn sie die Zuordnungswerte erfüllen und darüber hinaus die Ablagerung in einem gesonderten Teilabschnitt eines Deponieabschnittes oder in einem eigenen Deponieabschnitt erfolgt.

**Nicht gefährliche Abfälle** dürfen auf Deponien oder Deponieabschnitten der Klasse I bis III abgelagert werden, wenn die jeweiligen Zuordnungskriterien<sup>150</sup> eingehalten werden. **Mechanisch-biologisch behandelte Restabfälle** (gemischte Siedlungsabfälle) dürfen nur auf Deponien oder Deponieabschnitten der Klasse II abgelagert werden und dies auch nur unter der Voraussetzung, dass dort keine gefährlichen Abfälle oder gipshaltigen Abfälle abgelagert werden oder wurden. Zudem müssen im Rahmen der Vorbehandlung heizwertreiche Abfallbestandteile zur Verwertung oder thermischen Behandlung sowie sonstige verwertbare oder schadstoffhaltige Fraktionen weitgehend abgetrennt worden sein<sup>151</sup> (siehe auch Kapitel 3.3.2.1 – Vorgaben für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle).

##### 3.3.5.1.1 Charakterisierung der Abfälle durch den Erzeuger

Der Abfallerzeuger oder bei einer Sammelentsorgung der Einsammler hat dem Deponiebetreiber rechtzeitig **vor der ersten Anlieferung** die **grundlegende Charakterisierung** des Abfalls mit mindestens folgenden Angaben vorzulegen<sup>152</sup>:

- Abfallherkunft (Abfallerzeuger oder Einsammlungsgebiet),

---

<sup>147</sup> DepV, §8

<sup>148</sup> DepV, §8, Absatz 3, 4 und 5

<sup>149</sup> DepV, Anhang 3 Nummer 2 für DK III

<sup>150</sup> DepV, Anhang 3 Nummer 2 für DK I, II und III

<sup>151</sup> DepV, §6, Absatz 4, Satz 2

<sup>152</sup> DepV, §8 (1)

- ▶ Abfallbeschreibung (betriebsinterne Abfallbezeichnung, Abfallschlüssel und Abfallbezeichnung nach der Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung),
- ▶ Ergebnis der Prüfung der Verwertbarkeit und Verwertungsmöglichkeiten,
- ▶ Art der Vorbehandlung, soweit durchgeführt,
- ▶ Aussehen, Konsistenz, Geruch und Farbe,
- ▶ Masse des Abfalls als Gesamtmenge oder Menge pro Zeiteinheit,
- ▶ Probenahmeprotokoll<sup>153</sup>,
- ▶ Protokoll über die Probenvorbereitung<sup>154</sup>,
- ▶ zugehörige Analysenberichte über die Einhaltung der Zuordnungskriterien<sup>155</sup>,
- ▶ bei gefährlichen Abfällen zusätzlich Angaben über den Gesamtgehalt ablagerungsrelevanter Inhaltsstoffe im Feststoff, soweit dies für eine Beurteilung der Ablagerbarkeit erforderlich ist<sup>156</sup>,
- ▶ bei gefährlichen Abfällen im Fall von Spiegeleinträgen<sup>157</sup> zusätzlich die relevanten gefährlichen Eigenschaften,
- ▶ Vorschlag für die Schlüsselparameter und deren Untersuchungshäufigkeit. Die Schlüsselparameter sind die für die Einstufung nach den Zuordnungskriterien relevanten Parameter. Die endgültige Festlegung obliegt dem Deponiebetreiber.

Abfalluntersuchungen für die grundlegende Charakterisierung sind nicht erforderlich

- ▶ bei asbesthaltigen Abfällen (nur, wenn keine Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass diese Abfälle andere schädliche Verunreinigungen enthalten),
- ▶ bei Abfällen, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten (nur, wenn keine Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass diese Abfälle andere schädliche Verunreinigungen enthalten), sowie
- ▶ bei Abfällen, über die alle notwendigen Informationen zum Auslaugverhalten und zur Zusammensetzung bekannt und gegenüber der für die Deponie zuständigen Behörde nachgewiesen sind.

Der Abfallerzeuger oder bei einer Sammelentsorgung der Einsammler, hat die Abfälle, die abgelagert werden sollen, **stichprobenhaft je angefangene 1.000 Mg, mindestens aber jährlich**, zu beproben und die **Schlüsselparameter** auf Einhaltung der Zuordnungskriterien für die jeweilige Deponieklasse zu überprüfen. Bei Abfällen, die nicht regelmäßig anfallen, ist eine solche Untersuchung nicht erforderlich, wenn die gesamte zu deponierende Abfallmenge im Rahmen der grundlegenden Charakterisierung beprobt und untersucht worden ist. Bei spezifi-

---

<sup>153</sup> nach DepV Anhang 4 Nummer 2

<sup>154</sup> nach DepV Anhang 4 Nummer 3.1.1

<sup>155</sup> nach DepV Anhang 3 Nummer 2

<sup>156</sup> Ein typisches Beispiel für einen Stoff, bei dem der Gesamtgehalt ablagerungsrelevanter Inhaltsstoffe maßgeblich ist, ist Quecksilber. Der Quecksilbergehalt im Feststoff darf bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, da die Mobilisierung sowohl über den Wasser- als auch über den Gaspfad erfolgen kann.

<sup>157</sup> „Spiegeleinträge“ betreffen Abfallströme, bei denen von Fall zu Fall eine Einstufung abhängig vom Gehalt gefährlicher Inhaltsstoffe oder Eigenschaften zu erfolgen hat. Siehe hierzu auch: Bekanntmachung der Kommission — Technischer Leitfaden zur Abfalleinstufung (2018/C 124/01)

schen Massenabfällen kann die Häufigkeit der Beprobungen mit Zustimmung der für die Deponie zuständigen Behörde auf einmal alle drei Monate reduziert werden. Die Überprüfung der Einhaltung der Zuordnungskriterien ist zu protokollieren. Bei Anlieferung des Abfalls sind dem Deponiebetreiber die Protokolle oder eine Erklärung der akkreditierten Untersuchungsstelle vorzulegen, dass sich Auslaugverhalten und Zusammensetzung des Abfalls gegenüber der grundlegenden Charakterisierung nicht geändert haben.

#### **3.3.5.1.2 Kontrolluntersuchung bei Annahme durch den Deponiebetreiber**

Kontrolluntersuchungen der angelieferten Abfälle erfolgen nach deren Annahme (ggf. Annahme unter Vorbehalt) durch den Deponiebetreiber. Die Beprobung der Abfälle erfolgt folglich auf dem Deponiegelände, wobei die Untersuchung ggf. in einem externen Labor erfolgen kann. Die Pflichten zur Durchführung von Kontrolluntersuchungen inkl. spezifischer Vorgaben zu Häufigkeit und Untersuchungsumfang werden nachstehend beschrieben<sup>158</sup>. In der Abbildung 24 sind die für den Regelfall fixierten Vorgaben zusammenfassend dargestellt.

Der Deponiebetreiber hat bei jeder Abfallanlieferung unverzüglich eine **Annahmekontrolle** durchzuführen und die Angaben des Erzeugers hinsichtlich ihrer Plausibilität zu prüfen. Die Annahmekontrolle muss mindestens folgende Punkte umfassen:

- ▶ Prüfung, ob für den Abfall die grundlegende Charakterisierung vorliegt,
- ▶ Feststellung der Masse, Kontrolle des Abfallschlüssels und der Abfallbezeichnung gemäß Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung,
- ▶ Kontrolle der Unterlagen auf Übereinstimmung mit den Angaben der grundlegenden Charakterisierung,
- ▶ Sichtkontrolle vor und nach dem Abladen,
- ▶ Kontrolle auf Aussehen, Konsistenz, Farbe und Geruch.

Der Deponiebetreiber hat bei einem Abfall, der erstmalig oder erneut charakterisiert worden ist, bei einer Anlieferungsmenge von mehr als

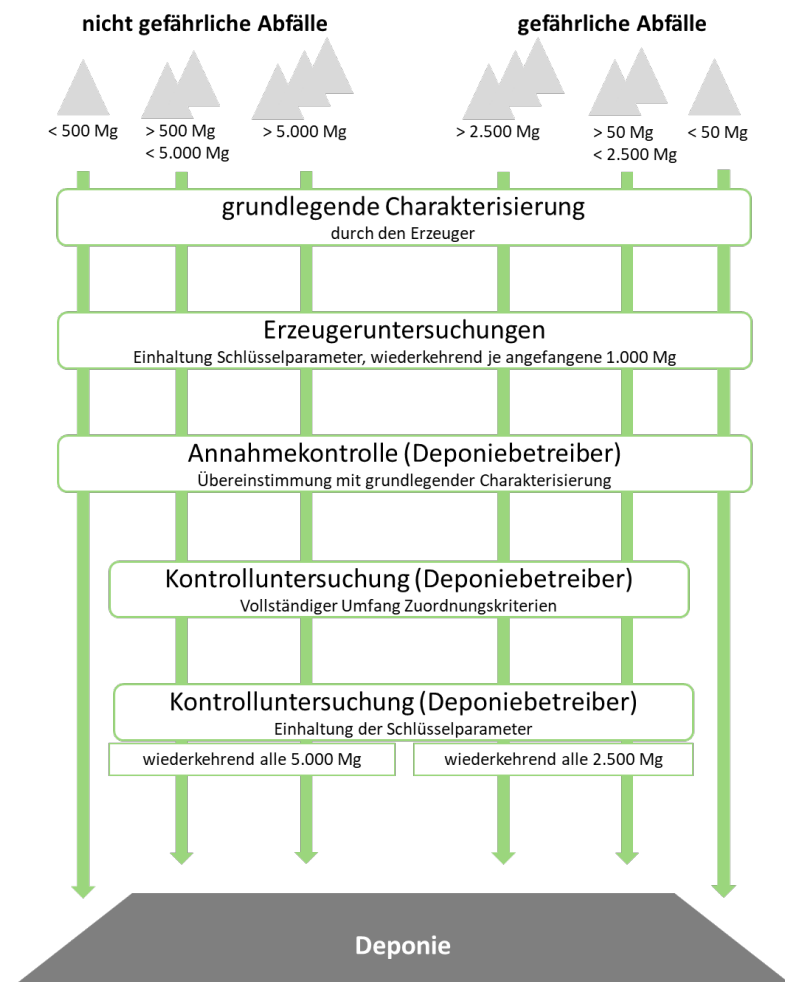
- ▶ 50 Mg bei gefährlichen Abfällen oder
- ▶ 500 Mg bei nicht gefährlichen Abfällen

von den ersten 50 beziehungsweise 500 Mg eine Kontrolluntersuchung auf Einhaltung der Zuordnungskriterien durchzuführen. In begründeten Einzelfällen ist eine Kontrolluntersuchung auf die Schlüsselparameter ausreichend. Die Kontrolluntersuchung (eines Abfalls, der erstmalig oder erneut charakterisiert worden ist) auf Einhaltung aller Zuordnungskriterien ist nur einmalig durchzuführen. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde aber eine höhere Anzahl solcher Kontrolluntersuchungen festlegen.

---

<sup>158</sup> DepV, §8

**Abbildung 24: Vorgaben zu den Kontrolluntersuchungen (Regelfall) durch Abfallerzeuger und Deponiebetreiber nach DepV<sup>159</sup>**



Quelle: eigene Darstellung, HiiCCE GmbH, Hamburg

Der Deponiebetreiber hat eine Kontrolluntersuchung auf Einhaltung der Zuordnungskriterien durchzuführen, wenn sich bei der Annahmekontrolle Anhaltspunkte dafür ergeben, dass die Anforderungen an die Beschaffenheit der Abfälle für die vorgesehene Ablagerung nicht erfüllt sind oder wenn Unstimmigkeiten zwischen Begleitpapieren und angeliefertem Abfall bestehen.

Im Übrigen hat der Deponiebetreiber bei nicht gefährlichen Abfällen von mehr als 500 Mg stichprobenartig eine Kontrolluntersuchung der Schlüsselparameter<sup>160</sup> je angefangene 5.000 Mg desselben jeweils grundlegend charakterisierten und des nachfolgend angelieferten Abfalls, mindestens aber eine Kontrolluntersuchung jährlich durchzuführen.

Bei gefährlichen Abfällen von mehr als 50 Mg hat er stichprobenartig eine Kontrolluntersuchung der Schlüsselparameter je angefangene 2.500 Mg desselben jeweils grundlegend charakterisierten und des nachfolgend angelieferten Abfalls, mindestens aber eine Kontrolluntersuchung jährlich durchzuführen.

Bei spezifischen Massenabfällen, gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen aus Schadensfällen wie Bränden und Naturkatastrophen sowie Abfällen aus dem Rückbau einer Deponie oder

<sup>159</sup> DepV, §8

<sup>160</sup> Schlüsselparameter: Parameter, aufgrund derer eine Ablagerung auf der Deponie erforderlich ist. Der Deponiebetreiber kann abweichend vom Vorschlag des Abfallerzeugers die Schlüsselparameter festlegen.

einer Altlast, kann die Anzahl der Kontrolluntersuchungen mit Zustimmung der zuständigen Behörde auf eine Untersuchung jährlich reduziert werden.

Die Kontrolluntersuchungen sind auf Übereinstimmung mit den Zuordnungskriterien (vgl. Kapitel 3.3.2.1, Tabelle 17) zu bewerten<sup>161</sup>. Bei der Darstellung der Messergebnisse sind konkrete Werte anzugeben, mit Ausnahme der Messergebnisse, die unterhalb der Bestimmungsgrenzen liegen. Bei asbesthaltigen Abfällen und Abfällen, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten, kann auf eine Kontrolluntersuchung verzichtet werden. In diesem Fall ist vom Abfallerzeuger eine Erklärung abzugeben, dass der angelieferte Abfall dem grundlegend charakterisierten Abfall entspricht und eine Überschreitung der Zuordnungskriterien der jeweiligen Deponieklasse nicht zu erwarten ist.

Wird eine Kontrolluntersuchung durchgeführt, hat der Deponiebetreiber bei der Abfallanlieferung zusätzlich von dem angelieferten Abfall eine Rückstellprobe zu nehmen und mindestens einen Monat aufzubewahren.

Der Deponiebetreiber hat für jede Abfallanlieferung eine Eingangsbestätigung unter Angabe der festgestellten Masse und des sechsstelligen Abfallschlüssels gemäß der Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung<sup>162</sup> auszustellen.

### **3.3.5.2 Abfallablagerung auf Deponien**

Bei der Abfallablagerung auf Deponien der Klasse I, II oder III hat der Deponiebetreiber sicherzustellen, dass Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe, die erheblich stauben, so gehandhabt werden, dass von ihnen keine erheblichen Emissionen ausgehen. Unverpackte Abfälle, die gefährliche Mineralfasern enthalten, müssen ausreichend besprengt werden, bevor es zu einer Faserausbreitung kommen kann. Sie sind vor jeder Verdichtung, mindestens aber arbeitstätig, mit geeigneten Materialien abzudecken. Dieses gilt entsprechend für Abfälle in beschädigten Verpackungen. Verpackte asbesthaltige Abfälle sowie verpackte Abfälle, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten, sind vor jeder Verdichtung, mindestens einmal wöchentlich, mit geeigneten Materialien abzudecken.

#### **3.3.5.2.1 Abfalleinbau**

Die Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe sind in der Deponie hohlraumarm einzubauen. Der Einbau hat so zu erfolgen, dass langfristig nur geringe Setzungen des Deponiekörpers zu erwarten sind<sup>163</sup>. Die Abfälle werden in dünnen Schichten von ca. 30 bis 50 cm eingebracht und mit geeigneten Geräten (bei vorbehandelten Abfällen häufig Glattmantelwalzen oder Schafffußwalzen) verdichtet. Der Einbau sollte auf möglichst kleinen Flächen erfolgen, da hierbei eine effektivere Verdichtung, reduzierte Schadstoffemissionen und geringere Infiltrationsraten erreicht werden können. Hierdurch können langfristig die Betriebskosten und Umweltauswirkungen der Deponie reduziert werden. Darüber hinaus sind zur Vermeidung von Staub-, Faser- oder Geruchsemissionen Zwischenabdeckungen (z. B. aus geeigneten Abfällen, Geotextilien oder Ersatzbaustoffen) vorzunehmen (vgl. Kapitel 3.3.5.3.5).

Durch die mechanisch-biologische Behandlung von Siedlungsabfällen werden neben der Zusammensetzung der abzulagernden Materialien auch deren chemisch-physikalische, biologische sowie abfallmechanische Eigenschaften verändert. So müssen für MBA-Deponien bzw. Deponieabschnitte geotechnische Nachweise erbracht und bestimmte Anforderungen an den Einbau der

---

<sup>161</sup> DepV, Anhang 4 Nummer 4

<sup>162</sup> Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV (2001)

<sup>163</sup> DepV, Anhang 4 Nummer 4

MBA-Materialien berücksichtigt werden. Für den Einbaubetrieb sind folgende grundlegende Aspekte zu beachten:

- ▶ Zur Vermeidung der Entstehung von Porenwasserüberdrücken sollte der Einbau bei geringen Einbauwassergehalten in Kombination mit einer funktionstüchtigen Drainage erfolgen.
- ▶ Geneigte, glatte MBA-Oberflächen im Einbauzustand minimieren die Vernässung durch Niederschlag, mithin die ungünstige Sättigung.

#### **3.3.5.2.2 Reaktionen der Abfälle**

Die Deponie ist so aufzubauen, dass keine nachteiligen Reaktionen der Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe untereinander oder mit dem Sickerwasser erfolgen. Insbesondere ist dafür Sorge zu tragen, dass Temperaturentwicklungen im Deponiekörper nicht zu Beeinträchtigungen der deponietechnischen Einrichtungen führen. Erforderlichenfalls sind getrennt zu entwässernde oder getrennt zu entgasende Bereiche für Abfälle, bei denen Reaktionen zu besorgen sind, einzurichten<sup>164</sup>. Entsprechende Maßnahmen sind einer Einzelfallbetrachtung zu unterziehen.

#### **3.3.5.2.3 Standsicherheit**

Zum Nachweis der Standsicherheit in allen Deponiephasen hat der Deponiebetreiber einen Standsicherheitsnachweis zu führen. Hierzu legt der Eurocode 7<sup>165</sup> grundlegende Anforderungen an die Standsicherheit von Deponien in allen Phasen ihres Lebenszyklus fest – von der Planung über den Betrieb bis hin zur Stilllegung und Nachsorge. Ziel ist die Sicherheit gegenüber Böschungsversagen, Setzungen und anderen geotechnischen Risiken. So sind in der Planungs- und Bauphase geotechnische Untersuchungen zur Bewertung des Untergrunds und der Tragfähigkeit heranzuziehen und Stabilitätsnachweise für das Basisabdichtungssystem zu führen, um Setzungen und unkontrollierte Deformationen zu vermeiden. Während der Betriebsphase ist die Standsicherheit des Deponiekörpers durch kontrollierte Ablagerung und Verdichtung sicherzustellen, Setzungen regelmäßig zu überwachen und die Böschungsstabilität unter Berücksichtigung von Laständerungen durch zunehmende Abfallmengen zu bewerten. In der Stilllegungs- und Nachsorgephase sind Stabilitätsnachweise für die Oberflächenabdichtung zur Verhinderung von Rutschungen oder Setzungsbrüchen durchzuführen und die Entwässerungssysteme zu kontrollieren und zu warten, um den Einfluss von eingestautem Sickerwasser auf die Standsicherheit zu minimieren. Darüber hinaus sind langfristige geotechnische Überwachung vorzusehen, um Langzeitverformungen oder Setzungen frühzeitig zu erkennen.

Werden pastöse, schlammige und breiige Abfälle abgelagert, ist dafür Sorge zu tragen, dass die Abfälle unter Ablagerungsbedingungen entwässern und konsolidieren oder sich verfestigen, so dass unter Berücksichtigung des Deponieaufbaus eine Beeinträchtigung der Standsicherheit des Deponiekörpers nicht zu besorgen ist und die Funktion des Entwässerungssystems der Basisabdichtung nicht beeinträchtigt wird.

---

<sup>164</sup> DepV, Anhang 4 Nummer 4

<sup>165</sup> DIN EN 1997 – Geotechnische Bemessung

### 3.3.5.3 Emissionskontrollen

Der Deponiebetreiber hat bis zum Ende der Nachsorgephase Messungen und Kontrollen durchzuführen<sup>166</sup>. Ergänzend hat der Betreiber einer Deponie der Klasse I, II oder III bis zum Ende der Nachsorgephase

- ▶ Sickerwasser zu handhaben,
- ▶ Deponiegas zu handhaben und
- ▶ sonstige von der Deponie ausgehende Belästigungen und Gefährdungen zu minimieren.

Die zuständige Behörde kann anordnen, dass der Deponiebetreiber eventuelle Emissionen in Luft, Wasser oder Boden, die von der Deponie ausgehen, durch eine der Stellen, die von ihr bestimmt werden, ermitteln lässt, wenn zu besorgen ist, dass durch die Deponie das Wohl der Allgemeinheit beeinträchtigt wird. Bei allen Ereignissen mit erheblichen Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit hat der Deponiebetreiber unverzüglich die erforderlichen Maßnahmen zur Begrenzung sowie zur Vermeidung weiterer möglicher Ereignisse dieser Art zu ergreifen.

#### 3.3.5.3.1 Messeinrichtungen, Messungen und Kontrollen

Zur Ermittlung der notwendigen Überwachungsdaten (u.a. zur Erstellung des Jahresberichts) hat der Betreiber einer Deponie der Klasse I, II oder III über geeignete Messeinrichtungen regelmäßige Messungen und Kontrollen am Standort durchzuführen.

#### 3.3.5.3.2 Messeinrichtungen

Der Betreiber einer Deponie der Klasse I, II oder III hat mindestens die für die nachstehend aufgeführten Messungen und Kontrollen **erforderlichen Messeinrichtungen** herzustellen und funktionstüchtig zu erhalten oder die Bereitstellung der Daten abzusichern:

- ▶ Grundwasserüberwachung (mindestens eine geeignete Messstelle im Anstrom und eine ausreichende Zahl von Messstellen, mindestens aber zwei Messstellen, im Abstrom der Deponie); Ausbaudaten und Schichtenverzeichnisse der Grundwassermessstellen sind zu dokumentieren.
- ▶ Überwachung der Setzungen und Verformungen der Deponieabdichtungssysteme.
- ▶ Überwachung der Setzungen und Verformungen sowie Verfüllzustände des Deponiekörpers (ggf. auf Basis der Datenauswertung von Flug- oder Satellitenüberwachungen).
- ▶ Menge und Qualität von in einer Entwässerungsschicht gefasstem Sickerwasser und sonstigem von Oberflächen stammenden gefassten Abwasser (betriebsspezifisch verunreinigtes Oberflächenwasser).
- ▶ Erfassung von folgenden meteorologischen Daten:
  - Niederschlag,
  - Temperatur,
  - Windrichtung und -geschwindigkeit,
  - Verdunstung.
  - Luftdruck

---

<sup>166</sup> Anforderungen richten sich nach DepV, Anhang 5 Nummer 3.2

Auf die Datenerfassung von meteorologischen Messstationen an einem vergleichbaren Standort in der Umgebung kann zurückgegriffen werden.

- Überwachung von Deponiegas und Deponiegasemissionen.

#### 3.3.5.3.2.1 Mess- und Kontrollprogramm

Der Betreiber einer Deponie der Klasse I, II oder III hat die in der Tabelle 43 (Anhang E) genannten Kontrollen und Messungen in der dort genannten Häufigkeit durchzuführen oder durchführen zu lassen. Die mit den Kontrollen und Messungen beauftragten Personen müssen über die erforderliche Sach- und Fachkunde (einschlägige Ausbildung und Berufserfahrung, spezifische Schulungen und/oder entsprechende Zertifikate) verfügen. Mit Zustimmung der zuständigen Behörde können bei Deponien oder Deponieabschnitten Abweichungen von Umfang und Häufigkeit der durchzuführenden Kontrollen und Messungen festgelegt werden.

#### 3.3.5.3.3 Sickerwasser

Der Deponiebetreiber hat den Anfall von Sickerwasser so gering zu halten, wie dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Anfallendes Sickerwasser aus der Entwässerungsschicht<sup>167</sup> hat der Deponiebetreiber zu fassen und zu kontrollieren<sup>168</sup>. Näheres hierzu ist im Kapitel 3.3.3.5 „Sickerwasserfassung und -ableitung“ in Verbindung mit Kapitel 3.3.3.2 „Basisabdichtungen“ beschrieben. Gefasstes Sickerwasser und eventuelle Rückstände aus einer Sickerwasserreinigung sind ordnungsgemäß zu entsorgen<sup>169</sup>. Eine Infiltration von Deponiesickerwasser kann zur Beschleunigung biologischer Abbauprozesse und zur Verbesserung des Langzeitverhaltens auf Antrag des Deponiebetreibers und mit Zustimmung der zuständigen Behörde durchgeführt werden, wenn die folgenden Voraussetzungen am Standort erfüllt sind:

- Maßnahmen zur aktiven Fassung von Deponiegas und zur weitgehenden Verhinderung von Deponiegasfreisetzungen und zu dessen Kontrolle werden getroffen,
- relevante Mengen noch biologisch abbaubarer organischer Substanz sind im Deponiekörper nachgewiesen,
- Einrichtungen zur geregelten und kontrollierten Infiltration und zur Kontrolle des Gas- und Wasserhaushalts (insbesondere Basisabdichtung mit Sickerwasserfassungssystem) der Deponie sind vorhanden und
- der Nachweis der ausreichenden Standsicherheit des Deponiekörpers unter Berücksichtigung der zusätzlichen Wasserzugaben ist erbracht.

Bei einer Infiltration von Sickerwasser (oder Wasser) im Sinne einer gezielten Befeuchtung des Abfallkörpers sind der Wasserhaushalt, der Gashaushalt, die Temperaturentwicklung und die Setzungen des Deponiekörpers zu kontrollieren, um nachzuweisen, dass keine nachteiligen Auswirkungen auf den Deponiekörper und die Umwelt auftreten und ausreichend intensiviert oder beschleunigte biologische Abbauprozesse stattfinden. Dieses setzt in der Regel das Vorhandensein einer qualifizierten Basisabdichtung und Oberflächenabdichtung voraus.

Bei der Entsorgung des gefassten Sickerwassers sind die Vorgaben nach Anhang 51 der Abwasserverordnung (Direkt- und Indirekteinleitung) zu beachten. Näheres hierzu findet sich im Kapitel 3.3.3.5.2 „Sickerwasserreinigungsverfahren“.

---

<sup>167</sup> DepV, Anhang 1 Nummer 2.2 Tabelle 1 Nummer 4

<sup>168</sup> DepV, Nummer 3.2 Tabelle Nummer 2.1 und 2.2

<sup>169</sup> DepV, § 25 Absatz 4

#### **3.3.5.3.4 Deponiegas**

Entsteht auf einer Deponie auf Grund biologischer Abbauprozesse Deponiegas in relevanten Mengen, hat der Betreiber einer Deponie der Klasse I, II oder III dieses Deponiegas schon in der Ablagerungsphase zu fassen und zu behandeln. Eine energetische Verwertung des Deponiegases ist aus Klimaschutzgründen sinnvoll, sofern gleichzeitig die ordnungsgemäße und kontinuierliche Entgasung des gesamten Deponiekörpers gewährleistet ist. Deponiegaserfassung, -behandlung und -verwertung sind nach dem Stand der Technik durchzuführen. Näheres hierzu ist im Kapitel 3.3.4 „Erfassung, Behandlung und Verwertung von Deponiegas“ beschrieben. Quantität und Qualität des Deponiegases sind zu bestimmen<sup>170</sup>. Mit Zustimmung der zuständigen Behörde kann auf die Fassung geringer Mengen an Deponiegas verzichtet werden, wenn der Deponiebetreiber gegenüber der zuständigen Behörde nachweist, dass das im Deponiegas enthaltene Methan vor Austritt in die Atmosphäre weitestgehend oxidiert wird. In diesen Fällen wird die Rekultivierungsschicht zur biologischen Methanoxidation genutzt. Näheres dazu findet sich im Kapitel 3.3.4.2 „Deponiegasbehandlung und -verwertung“.

#### **3.3.5.3.5 Staub- und Faseremissionen**

Der Betreiber einer Deponie der Klasse I, II oder III hat mindestens sicherzustellen, dass Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe, die erheblich stauben, so gehandhabt werden, dass von ihnen keine erheblichen Emissionen ausgehen<sup>171</sup>. Staubemissionen treten in nennenswertem Umfang vor allem bei Deponien in der Betriebsphase für die Ablagerung von Materialien mit staubenden Eigenschaften (z.B. Bauschutt) auf. Bei der Umlagerung von Siedlungsabfall ist aufgrund der Beschaffenheit des Materials (z. B. Feuchte) mit geringeren Staubemissionen zu rechnen.

Die Stärke der Staubemissionen hängt von der Menge, der Art und vom Zustand der abgelagerten Abfälle ab. Einflussfaktoren sind neben Stückgröße und Bindung des Abfalls die Anlieferungsform und die Untergrundbeschaffenheit, wobei der Feuchte eine sehr wesentliche Rolle zufällt. Im Einzelnen können folgende Faktoren Einfluss auf die Staubemissionen haben:

- ▶ Abfall (Korngröße, Kornform, Korngrößenverteilung, Aggregation, Dichte)
- ▶ meteorologische Einflüsse (Temperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Niederschlag)
- ▶ Randbedingungen des Deponiebetriebs
  - Maßnahmen vor und während des Deponierens (z. B. Materialbefeuchtung, Konditionierung staubender Abfälle)
  - Anlieferungsformen (Gebinde oder lose)
  - Oberflächenbeschaffenheit der Fahrstrecken
  - Einbauverfahren
  - Transportmittel und -behälter

Schließlich spielen die Deponie selbst und ihr Aufbau auch eine Rolle bei der Beeinflussung von Staubemissionen und den dadurch ausgelösten Immissionen. So können die Form (Grubendeponie (bei denen ein Sickerwasserabfluss im freien Gefälle möglich ist), Haldendeponie), die Oberflächenabdeckung/-abdichtung und die Bepflanzung die Staubemissionen mindern oder verstärken.

Staubemissionen von Deponien können durch folgende Maßnahmen reduziert werden:

---

<sup>170</sup> DepV, Nummer 3.2, Tabelle Nummer 2.4

<sup>171</sup> VDI 3790 Blatt 2

- ▶ Befestigung von Fahrstraßen mit Beton- oder Bitumenbelägen
- ▶ Verhinderung von Straßenverunreinigungen, z. B. durch Reinigung und gegebenenfalls Befeuchtung von Fahrstraßen, Installation einer Reifenreinigungsanlage
- ▶ Minimierung der Einbaufläche
- ▶ Befeuchtung der Einbaufläche
- ▶ Nebelkanonen an Kippstellen
- ▶ Abdeckung mit Kunststofffolien oder aus geeigneten Abfällen, Geotextilien oder Ersatzbaustoffen
- ▶ Minimierung offener Müllflächen bei Baumaßnahmen durch bauzeitliche Abdeckungen
- ▶ zeitiges Aufbringen einer Erosionsschutzansaat auf einer Bodenabdeckung (z. B. durch Anspritzverfahren)
- ▶ Festlegung von angemessenen Bauabschnittsgrößen der Oberflächenabdeckungs- und -abdichtungsmaßnahmen
- ▶ Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bodennähe im Bereich der Einbaustelle oder allgemein an winderosionsgefährdeten Stellen durch Windschutzpflanzungen, Dämme u. Ä.

Windschutzpflanzungen bewirken nicht nur eine Verminderung der Winderosion, sondern auch eine Staubfilterung, da sich aufgewirbelter Grobstaub gut an Zweigen, Blättern oder Nadeln abscheidet und damit der Luft entzogen wird. Für bestimmte Abfallarten sind Maßnahmen zur Minderung bzw. Vermeidung der Staubemission vorgeschrieben, beispielsweise für Asbest. Die Ablagerung dieser Abfälle erfolgt so, dass eine Beschädigung der staubdichten Verpackung ausgeschlossen ist und das nach erfolgter Ablagerung umgehend eine Schicht aus nicht staubendem Material (z. B. Erdreich oder Bauschutt) als Überdeckung aufgebracht wird. Bei der Ablagerung von Stäuben, Aschen und Schlacken sowie Bauschutt und mineralischen Abfällen werden Staubemissionen durch Befeuchtung oder Abdeckung oder deren Verfestigung vor der Ablagerung vermieden.

#### 3.3.5.4 Berichts- und Dokumentationspflicht

Der Betreiber einer Deponie hat der zuständigen Behörde die für die Überprüfung der Zulassung der Deponie erforderlichen Informationen, insbesondere die Ergebnisse der Messungen und Kontrollen und sonstige Daten, die der Behörde einen Vergleich des Betriebs der Deponie mit dem Stand der Technik ermöglichen, zu übermitteln. Zusätzlich dazu bestehen umfangreiche Informations- und Dokumentationspflichten, die nachfolgend aufgeführt werden.

Bereits vor dem Beginn der Abfallablagerung hat der Deponiebetreiber eine **Betriebsordnung** und ein **Betriebshandbuch** zu erstellen, bei Bedarf fortzuschreiben und auf Verlangen der zuständigen Behörde vorzulegen. Für Deponien der Klassen I, II oder III ist ein **Abfallkataster** anzulegen und die dort geforderten Angaben zu dokumentieren. Darüber hinaus hat der Deponiebetreiber ein **Betriebstagebuch** zu führen und bis zum Ende der Nachsorgephase aufzubewahren. Auf Verlangen der zuständigen Behörde hat er das Betriebstagebuch vorzulegen. Der Deponiebetreiber hat der zuständigen Behörde bis zum 31. März des Folgejahres einen **Jahresbericht** vorzulegen. Bis spätestens sechs Monate nach Verfüllung eines Deponieabschnittes ist ein **Bestandsplan** zu erstellen. Im Bestandsplan ist der gesamte Deponieabschnitt einschließlich der technischen Barrieren und des Abfallkatasters aufzunehmen und zu dokumentieren.

#### **3.3.5.4.1 Betriebsordnung**

Die Betriebsordnung hat die für einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb notwendigen Vorschriften zu enthalten. Sie gilt auch für Benutzer der Deponie und muss an geeigneter Stelle im Eingangsbereich der Deponie gut sichtbar ausgehängt sein. Im Einzelnen verweist die Betriebsordnung auf die Bestimmungen der Genehmigung sowie die gesetzlichen Vorgaben und einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften, welche von allen Deponiebenutzern zu beachten sind. Darüber hinaus finden sich Angaben zum Geltungsbereich, zum Weisungsrecht des Deponiepersonals, zum Verhalten auf der Deponie, deren Öffnungszeiten sowie den Bedingungen bei der Anlieferung von Abfällen. Die Betriebsordnung schließt i.d.R. mit Hinweisen zur Haftung sowie deren Inkrafttreten und ggf. Außerkrafttreten.

#### **3.3.5.4.2 Betriebshandbuch**

Das Betriebshandbuch beschreibt erforderliche Maßnahmen, die für den Normalbetrieb, für die Instandhaltung und für Betriebsstörungen für eine gemeinwohlverträgliche Ablagerung der Abfälle und für die Betriebssicherheit der Deponie erforderlich sind. Diese Maßnahmen sind auch mit den Alarm- und Notfallplänen abzustimmen.

Darüber hinaus werden im Betriebshandbuch Maßnahmen beschrieben, die bei Überschreiten der Auslöseschwellen durchzuführen sind sowie die Aufgaben und Verantwortungsbereiche des Personals, die Arbeitsanweisungen, die Kontroll- und Wartungsmaßnahmen sowie Informations-, Dokumentations- und Aufbewahrungspflichten.

#### **3.3.5.4.3 Abfallkataster**

Eine Deponie oder ein Deponieabschnitt der Klasse I, II oder III ist in Raster aufzuteilen, die bei Abfällen unterschiedlicher Zusammensetzung höchstens 2.500 m<sup>2</sup> Grundfläche haben dürfen. Bei Abfällen gleichbleibender Zusammensetzung sind größere Rasterweiten zulässig. Der Deponiebetreiber hat mindestens folgende Angaben für die in jedem Raster abgelagerten Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe im Abfallkataster zu dokumentieren:

- ▶ Masse, Abfallschlüssel und Abfallbezeichnung<sup>172</sup>, Abfallherkunft,
- ▶ Ort der Ablagerung (Angabe der Rasternummern),
- ▶ Art der Ablagerung,
- ▶ Zeitpunkt der Ablagerung.

#### **3.3.5.4.4 Betriebstagebuch**

Das Betriebstagebuch hat alle für die Deponie wesentlichen Daten zu enthalten, insbesondere:

- ▶ Abfallkataster,
- ▶ grundlegende Charakterisierung der angelieferten Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe sowie die festgelegten Schlüsselparameter,
- ▶ Protokolle oder Erklärungen nach DepV § 8 Absatz 3 (Einhaltung der Zuordnungskriterien),
- ▶ Angaben zur Annahmekontrolle nach DepV § 8 Absatz 4,
- ▶ Ergebnisse der Kontrolluntersuchung nach DepV § 8 Absatz 5 sowie Angabe der getroffenen Maßnahmen bei fehlender Übereinstimmung des Abfalls oder Deponieersatzbaustoffs mit

---

<sup>172</sup> gemäß Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)

den Angaben der grundlegenden Charakterisierung oder bei Verzicht auf Kontrolluntersuchungen nach § 8 Absatz 5 die Erklärung des Abfallerzeugers,

- ▶ Angaben über Art, Menge und Herkunft zurückgewiesener Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe,
- ▶ Protokolle der Abnahme der für den Ablagerungsbetrieb erforderlichen Einrichtungen,
- ▶ besondere Vorkommnisse, insbesondere Betriebsstörungen, die Auswirkungen auf die ordnungsgemäße Ablagerung haben können, einschließlich der möglichen Ursachen und erfolgter Abhilfemaßnahmen,
- ▶ die Ergebnisse von sonstigen anlagen- und stoffbezogenen Kontrollen (Eigen- und Fremdkontrollen).

Das Betriebstagebuch ist dokumentensicher anzulegen. Es muss jederzeit von der zuständigen Behörde eingesehen werden können.

#### **3.3.5.4.5 Jahresbericht**

Der Jahresbericht des Deponiebetreibers besteht (mindestens) aus den Stammdaten der Deponie, einer Auswertung der am Standort durchgeführten Messungen und Kontrollen (inkl. Darstellung der Ergebnisse), der Erklärung zum Deponieverhalten sowie einer Auswertung zu angenommenen und abgegebenen Abfällen.

Im Einzelnen beinhalten die Stammdaten folgende Angaben:

- ▶ Kontaktdaten der Deponie, des Deponiebetreibers, des Inhabers der Deponie (soweit abweichend) und des Ansprechpartners oder der Ansprechpartnerin sowie des Betreibers von Nebenanlagen auf der Deponie,
- ▶ Lagebezeichnung der Deponie und des zugelassenen Einzugsgebietes,
- ▶ Laufzeiten und Kapazitäten,
- ▶ zugelassene Abfallarten mit Bezeichnung und Abfallschlüssel, ggf. zugelassene Deponieersatzbaustoffe,
- ▶ Angaben zur geologischen Barriere und Basisabdichtung und ggf. technische Nachbesserungen oder Vertikalabdichtung,
- ▶ durchgeführte Einsatzfälle von Deponieersatzbaustoffen,
- ▶ ausgeführte Oberflächenabdichtungen, temporäre Abdeckungen und Endabdeckungen,
- ▶ Sicker- und Oberflächenwasserfangs- und -behandlungseinrichtungen,
- ▶ Messstellen und Messeinrichtungen (Grundwasser- und Setzungsüberwachung, Sickerwasser und Deponiegas sowie meteorologische Daten),
- ▶ Deponiegasfangs- und -behandlungs- oder -verwertungsanlagen,
- ▶ Abfallbehandlungsanlagen und Zwischenlager,
- ▶ Nebenanlagen (z. B. Wertstoffhöfe),
- ▶ sonstige Infrastruktureinrichtungen (z. B. Bahnanschluss, Fahrzeugwaage, Tankanlage),

- ▶ Kurzbeschreibung der erteilten, beantragten und gegebenenfalls geplanten Zulassungen zum Betrieb der Deponie mit Datum und Art des Bescheides,
- ▶ Lageplan mit Darstellung aller relevanten Überwachungseinrichtungen und Angabe der Grundwasserfließrichtung.

In Bezug auf die Auswertung der am Standort durchgeführten Messungen und Kontrollen hat der Betreiber einer Deponie der Klasse I, II oder III mindestens die folgenden Kriterien und Zusammenhänge nach Ort, Zeit und ggf. Ablagerungsverfahren zu berücksichtigen und darzustellen:

- ▶ Niederschlagsmengen – Sickerwassermengen,
- ▶ Sickerwassermenge und -zusammensetzung einschließlich Frachtenabschätzung,
- ▶ Grundwasserbeschaffenheit – Einhaltung der Auslöseschwellen,
- ▶ charakteristische Querprofile von der Deponie mit den aktuellen und zugelassenen Einbauhöhen sowie den Vorjahreshöhen; Ermittlung des Restvolumens,
- ▶ Temperaturprofile an der Basis,
- ▶ Setzungen, Verformungen und Gefälle der Entwässerungsleitungen an der Deponiebasis,
- ▶ Setzungen und Setzungsgeschwindigkeit der Deponieoberfläche und ggf. des Deponiekörpers,
- ▶ gefasste Gasmengen und -qualitäten,
- ▶ Emissionen über die Deponieoberfläche und Gaskonzentrationen im näheren Umfeld der Deponie,
- ▶ Ergebnisse der Kamerabefahrung in den Sickerwasserrohren/-schächten.

Über die Auswertung der Daten soll der zeitliche Verlauf des Deponieverhaltens vom Beginn der Ablagerungsphase an dargestellt und mit den in der abfallrechtlichen Zulassung getroffenen Annahmen verglichen werden.

Auf der Grundlage der ausgewerteten Kriterien und Zusammenhänge hat der Deponiebetreiber den Zustand der Deponie zu beurteilen und zu erklären, dass sich die Deponie in einem planmäßigen Zustand befindet. Andernfalls hat er darzustellen, ob und welche Maßnahmen erforderlich sind bzw. eingeleitet oder getroffen wurden, um den planmäßigen Zustand zu erreichen.

Schließlich hat der Deponiebetreiber eine Auswertung nach Art, Menge und Herkunft über die Summe der im Berichtsjahr angenommenen und abgegebenen Abfallmengen jeweils bezogen auf den sechsstelligen Abfallschlüssel gemäß der Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung zu erstellen. Die Auswertung ist nach den folgenden Kriterien zu differenzieren:

- ▶ auf der Deponie abgelagerte Abfälle,
- ▶ auf der Deponie innerhalb von Baumaßnahmen verwertete Abfälle,
- ▶ abgegebene Abfälle zu Verwertung,
- ▶ abgegebene Abfälle zur Beseitigung.

### 3.3.5.5 Qualitätsmanagement für Deponien

An die Errichtung und den Betrieb von Deponien werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Insbesondere sind Maßnahmen zur Verbesserung oder dem Ersatz der geologischen Barriere sowie der Herstellung der Komponenten der Abdichtungssysteme in der Vorfertigung und während der Bauausführung einem Qualitätsmanagement (QM) zu unterwerfen<sup>173</sup>. Dieses Qualitätsmanagement stellt sicher, dass sämtliche Abdichtungs- und sonstigen Systeme zur Emissionskontrolle des Gesamtbauwerkes Deponie die nach dem Stand der Technik festgelegten Qualitätsforderungen einhalten. Die allgemeinen Grundsätze des QM sind in einschlägigen Regelwerken zusammengefasst<sup>174</sup>. Dieses betrifft alle qualitätsrelevanten Tätigkeiten und Prozesse, von der Vorfertigung bestimmter Materialien, Komponenten und Systeme über den Einbau bis zu deren Fertigstellung und Abnahme sowie den anschließenden Betrieb. Im Einzelnen beinhaltet das Qualitätsmanagement alle Tätigkeiten, die der Qualitätsplanung, Qualitätslenkung, Qualitätsüberwachung sowie der Qualitätsverbesserung dienen.

#### 3.3.5.5.1 Qualitätsmanagementplan (QMP)

Der Qualitätsmanagementplan beinhaltet Anforderungen an die Einhaltung der Bestimmungen aus der Deponieverordnung (DepV) und sonstiger relevanter Normen<sup>175</sup>. Er legt für sämtliche Materialien, Komponenten und Systeme einer Deponie bzw. eines Deponiebauvorhabens die Qualitätsanforderungen, erforderlichen Zulassungen (z.B. Eignungsnachweise) sowie Maßnahmen zur Qualitätsüberwachung und -lenkung fest. Er bedarf der behördlichen Zustimmung, wobei zunächst ein vorläufiger Plan im Genehmigungsverfahren eingereicht wird. Anpassungen während der Bauausführung müssen erneut genehmigt werden.

#### 3.3.5.5.2 Beispiel: Qualitätsmanagementplan „Deponieabdichtungen“

Der QMP „Deponieabdichtungen“ umfasst die Eignungsnachweise für alle verwendeten Materialien, Baugeräte und Bauverfahren einschließlich Probefelduntersuchungen zur Überprüfung der Eignung unter realen Bedingungen. Letztere sind vor Baubeginn durchzuführen. Der QMP definiert zudem Überwachungsmaßnahmen während der Vorfertigung und des Einbaus von Komponenten, Verantwortlichkeiten der Eigen- und Fremdprüfung, Qualitätsanforderungen, Herstellungsbeschreibungen, Prüfmethoden sowie Dokumentationsvorgaben. Abschließend regelt der QMP die vollständige Dokumentation sowie die behördliche Abnahme, um die langfristige Funktionsfähigkeit der Abdichtungssysteme zu gewährleisten.

Nachstehend sind die von der Arbeitsgruppe Fremdprüfer des Arbeitskreises Grundwasserschutz (AK GWS) erarbeiteten und mit dem BAM-Fachbeirat abgestimmten Inhalte des „Standards zur Qualitätsüberwachung beim Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) in Deponieabdichtungssystemen“ als Beispiel eines projektbezogenen Qualitätsmanagementplans aufgeführt. Hierfür werden die Inhalte der Veröffentlichung des AK GWS AG Fremdprüfer – Standard zur Qualitätsüberwachung KDB in der Fassung vom 2. Mai 2024<sup>176</sup> zitiert. Weitere Hinweise zu einzelnen Aspekten der Qualitätsüberwachung sind der Quelle zu entnehmen.

#### 1. Verantwortlichkeiten

*Die Verantwortung für die fach- und anforderungsgerechte Leistung bleibt ausschließlich beim Auftragnehmer, insbesondere bei den verantwortlichen Fachfirmen, dem Hersteller und dem Verleger der Kunststoffdichtungsbahnen. Diesen Firmen obliegt neben der fachgerechten Herstellung*

---

<sup>173</sup> DepV, Anhang 1, Absatz 2.1

<sup>174</sup> GDA E5-01

<sup>175</sup> DIN EN ISO/IEC 17020, 17025

<sup>176</sup> [https://www.akgws.de/sites/default/files/sque\\_bgk\\_fassung\\_02-05-2024.pdf](https://www.akgws.de/sites/default/files/sque_bgk_fassung_02-05-2024.pdf)

*und dem anforderungsgerechten Einbau auch die Eigenüberwachung und Eigenprüfung sowie deren Dokumentation.*

*Für den anforderungsgerechten Einbau der Kunststoffdichtungsbahnen ist der Fachbauleiter des Verlegers verantwortlich. Für die Eigenprüfung auf der Baustelle ist der Fachbauleiter oder der Vorarbeiter des Verlegers zuständig. Beide müssen entsprechende Erfahrungen nachweisen und sind vor Beginn der Arbeiten zu benennen. Die Nachweise werden vom Fremdprüfer auf Plausibilität kontrolliert.*

*Der Fremdprüfer prüft die Eigenüberwachung des Herstellers und die Eigenprüfung des Verlegers. Er ergänzt sie durch zusätzliche Untersuchungen und Prüfungen.*

*Der Umfang dieser Prüfungen wird projektbezogen auf der Grundlage der "BAM-Richtlinie Kunststoffdichtungsbahnen"<sup>177</sup> mit diesem Standard festgelegt und vom Fremdprüfer mit der behördlichen Überwachung (zuständigen Behörde) abgestimmt.*

*Die zuständige Behörde wird vom Fremdprüfer regelmäßig über den Stand der Arbeiten informiert.*

*Die fachtechnischen Freigaben von Teilflächen oder Teilleistungen des Gesamtbauwerks erfolgen in Form einer Freigabeempfehlung der Fremdprüfung in Abstimmung mit der zuständigen Behörde und in Abstimmung mit der örtlichen Bauüberwachung. Die abfallrechtlichen Abnahmen von Teilflächen und Teilleistungen erfolgen ausschließlich durch die zuständige Behörde.*

*Der Fremdprüfer fasst nach Abschluss der Arbeiten die Maßnahmen und Ergebnisse der Eigenüberwachung, der Eigenprüfung und der Fremdprüfung in dem "Bericht zur Qualitätsüberwachung" zusammen. Dieser Bericht wird Grundlage der abfallrechtlichen Abnahme durch die zuständige Behörde.*

## **2. Eignungsnachweise**

*Für die zum Einbau vorgesehenen Kunststoffdichtungsbahnen ist der Zulassungsschein entsprechend der "BAM-Richtlinie Kunststoffdichtungsbahnen" vorzulegen. Der Zulassungsschein muss einschließlich aller Anlagen ab Baubeginn auf der Baustelle vorliegen.*

*Ist für die Standsicherheit des Dichtungssystems ein rechnerischer Nachweis gefordert, so sind die in diesem Nachweis angenommenen Reibungsparameter zwischen den Kunststoffdichtungsbahnen und den angrenzenden Schichten im Auftrag des Auftragnehmers nachzuweisen.*

## **3. Herstellen der Kunststoffdichtungsbahnen**

### **a) Formmassen**

*Die Formmassen (Basispolymer und Rußbatch) aus denen die Kunststoffdichtungsbahnen gefertigt werden, sind in der BAM-Zulassung verbindlich festgelegt. An den Formmassen sind ausschließlich Prüfungen im Rahmen der Eigenüberwachung vorgesehen.*

*Der Hersteller der Kunststoffdichtungsbahnen kontrolliert im Rahmen seiner Eingangskontrolle diese Angaben und prüft an Proben aus jeder Lieferung entsprechend dem in der BAM-Zulassung definierten Prüfumfang.*

*Der Hersteller der Kunststoffdichtungsbahnen dokumentiert in seinen Abnahmeprüfzeugnissen 3.1 nach DIN EN 10204<sup>178</sup> für die Kunststoffdichtungsbahnen, dass die Vorgaben der BAM-Zulassung eingehalten werden.*

---

<sup>177</sup> BAM (2024) „Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen“

<sup>178</sup> DIN EN 10204:2005-01 Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen

#### b) Kunststoffdichtungsbahnen

*Die Kunststoffdichtungsbahnen sind nach den Vorgaben der BAM-Zulassung zu fertigen. Im Rahmen der Eigenüberwachung werden die gemäß der BAM-Zulassung erforderlichen Eigenschaften geprüft und dokumentiert:*

*Die Ergebnisse der Eigenüberwachung sind zusammen mit den maßgebenden Produktionsdaten für jede Lieferung entsprechend dem im Zulassungsschein vorgegebenen Prüfraster in einem Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 zu dokumentieren. Damit wird bestätigt, dass die zugesicherten Eigenschaften nachgewiesen wurden und die im Zulassungsschein vorgegebenen Formmassen verarbeitet wurden.*

*Die Kunststoffdichtungsbahnen sind vom Hersteller fortlaufend so zu kennzeichnen (Rollennummern), dass sie den Lieferscheinen und den Abnahmeprüfzeugnissen sowie den darin enthaltenen Prüfergebnissen zugeordnet werden können. Die Abnahmeprüfzeugnisse sind der Fremdprüfung zusammen mit den Lieferscheinen vor, spätestens jedoch bei der Lieferung der Kunststoffdichtungsbahnen zur Baustelle zu übergeben.*

*Die Ergebnisse der Eigenüberwachung sind durch den Fremdprüfer zu prüfen und durch folgende Kontrollprüfungen zu ergänzen:*

- ▶ *Dicke (DIN EN ISO 9863-1<sup>179</sup>, Verfahren C oder D) alle 10.000 m<sup>2</sup>*
- ▶ *Verhalten im Zugversuch (DIN EN ISO 527-3<sup>180</sup> oder DIN EN 17323<sup>181</sup>, Verfahren B) alle 10.000 m<sup>2</sup>*
- ▶ *Schmelze-Massefließrate (DIN EN ISO 1133-1<sup>182</sup>) alle 10.000 m<sup>2</sup>*
- ▶ *Dichte (DIN EN ISO 1183-1) alle 10.000 m<sup>2</sup>*
- ▶ *Maßänderung nach Warmlagerung (BAM B14<sup>183</sup>) alle 5.000 m<sup>2</sup>*

*Die Proben für die Kontrollprüfungen sind auf der Baustelle nach Vorgabe des Fremdprüfers durch den Verleger zu entnehmen. Die fachtechnische Freigabeempfehlung jeder Lieferung zum Einbau erfolgt durch den Fremdprüfer mit dem Vorbehalt, dass beim Verlegen keine Mängel, z. B. im Hinblick auf die äußere Beschaffenheit, Kantengeradheit und Planlage, festgestellt werden. Die Freigabeempfehlung erfolgt durch einen entsprechenden Vermerk des Fremdprüfers auf dem Lieferschein oder durch einen speziellen Freigabevermerk oder durch einen entsprechenden Vermerk im Baustellen-/Tagesbericht des Fremdprüfers.*

#### 4. Liefern und Lagern der Kunststoffdichtungsbahnen

*Die Kunststoffdichtungsbahnen (Rollen) werden nach den Vorschriften des Herstellers der Kunststoffdichtungsbahnen (Anhang zur BAM-Zulassung) geliefert und gelagert. Dies ist durch die Eigenprüfung des Verlegers sicherzustellen und vom Fremdprüfer zu kontrollieren. Der Fremdprüfer prüft bei oder nach der Lieferung die Kennzeichnung der Kunststoffdichtungsbahnen (Rollen), den Anlieferungszustand und die fachgerechte Lagerung.*

---

<sup>179</sup> DIN EN ISO 9863-1:2020-04 Geokunststoffe - Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken - Teil 1: Einzellagen

<sup>180</sup> DIN EN ISO 527-3:2019-02 Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln

<sup>181</sup> DIN EN 17323:2020-08 Geokunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften von geosynthetischen Kunststoffdichtungsbahnen

<sup>182</sup> DIN EN ISO 1133-1:2022-10 Kunststoffe - Bestimmung der Schmelze-Massefließrate (MFR) und der Schmelze-Volumenfließrate (MVR) von Thermoplasten - Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren

<sup>183</sup> BAM (2018): Bestimmung der Maßänderung von Kunststoffdichtungsbahnen aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD)

## 5. Schweißzusätze

*Für die beim Warmgasextrusionsschweißen verwendeten Schweißzusätze sind vor Beginn der Arbeiten entsprechende Herstellernachweise (Abnahmeprüfzeugnisse 3.1 nach DIN EN 10204) vorzulegen. Diese Nachweise werden vom Fremdprüfer kontrolliert. Zusätzlich entnimmt der Fremdprüfer aus den Schweißzusätzen mindestens jeweils eine Probe für Kontrollprüfungen. An diesen Proben werden im Labor Dichte (DIN EN ISO 1183-1<sup>184</sup>) und Schmelze-Massefließrate (DIN EN ISO 1133-1) ermittelt.*

*Die Freigabeempfehlung erfolgt durch einen entsprechenden Vermerk des Fremdprüfers auf dem Lieferschein oder durch einen speziellen Freigabevermerk oder durch einen entsprechenden Vermerk im Baustellen-/Tagesbericht des Fremdprüfers.*

## 6. Probefeld und Verfahrensprüfung

*Vor Baubeginn ist im Beisein des Fremdprüfers ein Probefeld mit allen Elementen des Dichtungssystems zu errichten. Auf der Grundlage der Ergebnisse aus dem Probefeld ist von der bauausführenden Firma ein Einbaukonzept für das gesamte Dichtungssystem aufzustellen und dem Fremdprüfer vorzulegen. Der Fremdprüfer beurteilt das Einbaukonzept und legt es mit einer Freigabeempfehlung der zuständigen Behörde zur Freigabe vor.*

*Vor Beginn der Schweißarbeiten werden die für die Baumaßnahme vorgesehenen Schweißmaschinen und -geräte sowie die vorgesehenen Prüfeinrichtungen im Rahmen einer Verfahrensprüfung durch den Verleger vor Ort geprüft. Diese Verfahrensprüfung findet im Beisein des Fremdprüfers statt.*

## 7. Einbauen der Kunststoffdichtungsbahnen

### a) Allgemeines

*Die Kunststoffdichtungsbahnen sind nach den Einbauvorschriften des Herstellers (Anhang zum Zulassungsschein) durch einen Verleger einzubauen, der den Anforderungen der "BAM-Richtlinie Fachbetriebe" entsprechen muss.*

### b) Verlegeplan

*Für die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahnen ist vom Verleger ein Verlegeplan zu erstellen, in dem die Verlegerichtung und alle konstruktiven Einzelheiten unter Berücksichtigung des Bauablaufs festgelegt sind. Der Verlegeplan muss vor Beginn der Arbeiten vorgelegt, mit allen Beteiligten abgestimmt und nach fachtechnischer Prüfung mit einer Freigabeempfehlung der Fremdprüfung durch die Behörde freigegeben werden. Nachträgliche Änderungen sind mit der Fremdprüfung, mit der zuständigen Behörde und gegebenenfalls mit der örtlichen Bauüberwachung abzustimmen.*

*Bei der Bauausführung ist der Verlegeplan arbeitstäglich durch den Verleger fortzuschreiben. Dies ist im Rahmen der Fremdprüfung zu überprüfen.*

### c) Oberfläche der Stützsicht

*Vor dem Verlegen der Kunststoffdichtungsbahnen wird die Oberfläche der Stützsicht durch den Fremdprüfer kontrolliert und eine Freigabeempfehlung an die Behörde für den Einbau der Kunststoffdichtungsbahnen gegeben. Diese Teilfreigaben werden in den Baustellen-/Tagesberichten des Fremdprüfers oder in den entsprechenden Lageplänen oder in einer besonderen Bauakte vor Ort dokumentiert.*

---

<sup>184</sup> DIN EN ISO 1183-1:2019-09 Kunststoffe - Verfahren zur Bestimmung der Dichte von nicht verschäumten Kunststoffen - Teil 1: Eintauchverfahren, Verfahren mit Flüssigkeitspyknometer und Titrationsverfahren

*Die Oberfläche ist nach den folgenden Kriterien zu beurteilen:*

- ▶ *Bei mineralischen Dichtungen muss die Auflagefläche tragfähig, homogen, feinkörnig und geschlossen sein. Körner dürfen nicht größer als 10 mm sein. Feine Kieskörner müssen schwimmend so eingebettet sein, dass sie allseits von bindigem Dichtungsmaterial umgeben sind. Fremdstoffe dürfen nicht enthalten sein. Die Oberfläche muss frei von aufliegenden Körnern, deren Durchmesser größer als 2 mm ist, sein. Trockenrisse (Schrumpfrisse) mit geringen Abmessungen sind zulässig, wenn nachgewiesen und sichergestellt ist, dass diese sich unter den Kunststoffdichtungsbahnen wieder schließen. Bereiche mit weicher Konsistenz sind auszu-tauschen.*
- ▶ *Bei anderen Stüttschichten (nicht- oder schwachbindige Böden, Recyclingmaterialien wie Bauschutt oder Glasbruch) müssen die obersten 10 cm eine maximale Korngröße von 10 mm einhalten. Des Weiteren müssen Kornform, Korngröße und Kornverteilung so beschaffen sein, dass sowohl im Einbauzustand als auch im Betriebszustand unzulässige mechanische Beanspruchungen der Kunststoffdichtungsbahnen ausgeschlossen sind. Das ist projektbezogen durch Lastplattendruckversuche (Schutzwirksamkeitsnachweise) und durch ausgewählte Beanspruchungszustände im Probefeld nach-zuweisen.*
- ▶ *Die Oberfläche der Stüttschichten muss grundsätzlich eben sein. Bei mineralischen Dichtungen dürfen flach verlaufende Unebenheiten unter dem 4 m-Richtsicht maximal 20 mm und Höhengsprünge (Versätze) maximal 5 mm betragen. Bei anderen Stüttschichten dürfen flach verlaufende Unebenheiten unter dem 4 m-Richtsicht maximal 30 mm betragen. Höhengsprünge (Versätze) bis zu 20 mm sind zulässig, wenn sich diese beim Einbauen der Kunststoffdichtungsbahnen und der nachfolgenden Schichten nachweislich wieder ausgleichen. Dieser Nachweis ist im Probefeld zu führen.*
- ▶ *Die Radien in den Kehlen und an den Böschungsköpfen müssen den Vorgaben der DVS-Richtlinie 2225-4<sup>185</sup> entsprechen.*

#### **d) Verlegen der Kunststoffdichtungsbahnen**

*Das Verlegen der Kunststoffdichtungsbahnen erfolgt durch kontrolliertes Abrollen mit geeignetem Gerät (z.B. Hebetraverse oder Winde). Beim und nach dem Ausrollen sind die Kunststoffdichtungsbahnen durch den Verleger und den Fremdprüfer auf äußere Beschaffenheit, Kantengeradheit, Planlage und mechanische Beschädigungen zu kontrollieren. Werden an einer Kunststoffdichtungsbahn Fertigungsmängel festgestellt, ist diese Kunststoffdichtungsbahn nicht einzubauen. Einzelne mechanische Beschädigungen an einer Kunststoffdichtungsbahn können in Abstimmung mit dem Fremdprüfer fachgerecht nachgebessert werden.*

*Die Kunststoffdichtungsbahnen werden mit der für die fachgerechte Schweißung notwendigen Überlappung ausgerollt. Sie werden z. B. durch Sandsäcke in ihrer Lage gegen Wind- und Sturmeinwirkung gesichert.*

*Um mechanische Beschädigungen der Kunststoffdichtungsbahnen auszuschließen, ist ein direktes Befahren der Kunststoffdichtungsbahnen mit Fahrzeugen und Baugeräten unzulässig.*

#### **e) Schweißen der Kunststoffdichtungsbahnen**

*Die Kunststoffdichtungsbahnen sind durch Schweißen miteinander zu verbinden. Diese Arbeiten erfolgen nach DVS-Richtlinie 2225-4<sup>186</sup> durch entsprechend geschulte und geprüfte Schweißer. Die*

---

<sup>185</sup> DVS 2225-4:2016-09 Schweißen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) für die Abdichtung von Deponien und Altlasten

<sup>186</sup> DVS 2225-4:2016-09 Schweißen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) für die Abdichtung von Deponien und Altlasten

*Qualifikation der Schweißer ist durch Vorlage von Schweißerzeugnissen nach DVS-Richtlinie 2212-3<sup>187</sup> nachzuweisen. Dies wird vom Fremdprüfer geprüft.*

*Zu Beginn der Baumaßnahme werden anhand von Probeschweißungen die Funktion der Schweißmaschinen und -geräte sowie deren Handhabung überprüft. Dies kann auch im Rahmen eines Probefeldes erfolgen. Bei einem Austausch der Schweißmaschinen und -geräte ist eine erneute Überprüfung erforderlich.*

*Arbeitstäglich werden vor Beginn und nach Beendigung der Schweißarbeiten mit den jeweils eingesetzten Geräten und Maschinen Probeschweißungen durchgeführt. Anhand der Probeschweißungen werden die Schweißparameter überprüft und falls erforderlich den Witterungsbedingungen angepasst.*

*Die Probeschweißungen nach Beendigung der Schweißarbeiten können entfallen, wenn aus dem Ende der letzten Naht eine Probe entnommen werden kann. Zusätzliche Probeschweißungen werden bei längeren Unterbrechungen (bei mehr als 4 Stunden) oder bei maßgeblicher Änderung der Witterungsbedingungen (z.B. bei einer Änderung der Umgebungstemperatur von mehr als 10°C) in Abstimmung mit dem Fremdprüfer durchgeführt.*

*Die Schweißparameter und Umgebungsbedingungen werden vom Verleger in Schweißprotokollen festgehalten. Die Schweißprotokolle sind arbeitstäglich zu führen. Für das maschinelle Heizkeilschweißen sind Schweißmaschinen einzusetzen, mit denen die Schweißparameter automatisch aufgezeichnet und dokumentiert werden.*

*Die Schweißprotokolle einschließlich der Maschinenscribe sind dem Fremdprüfer zeitnah (arbeitstäglich) vorzulegen. Sie sind vom Fremdprüfer zu kontrollieren und gegenzuzeichnen.*

#### **f) Prüfen der Schweißnähte**

*Die Prüfungen an den Schweißnähten erfolgen nach DVS-Richtlinie 2225-2<sup>188</sup>. Die Schweißnähte sind im Rahmen der Eigenprüfung durchgehend und im Rahmen der Fremdprüfung stichprobenartig auf äußere Beschaffenheit, Abmessungen, Dichtigkeit und Festigkeit zu prüfen.*

*Vor Beginn der Baumaßnahme sind die Prüfgeräte und Prüfmittel sowie deren Handhabung durch den Fremdprüfer zu kontrollieren.*

*Die Ergebnisse der Eigenprüfung werden in Prüfprotokollen dokumentiert. Die Prüfprotokolle sind arbeitstäglich zu erstellen und dem Fremdprüfer arbeitstäglich / spätestens aber am nächsten Arbeitstag vorzulegen. Die Prüfprotokolle werden vom Fremdprüfer kontrolliert und mit Datum gegengezeichnet.*

#### **g) Äußere Beschaffenheit**

*Die äußere Beschaffenheit ist im Rahmen der Eigenprüfung des Verlegers und durch den Fremdprüfer durchgehend durch Inaugenscheinnahme zu prüfen.*

##### **i. Nahtabmessungen**

*Die Schweißnahtabmessungen werden im Rahmen der Eigenprüfung vornehmlich anhand der Probeschweißungen sowie jeweils am Anfang und Ende jeder Naht durch den Verleger kontrolliert.*

*Im Rahmen der Fremdprüfung sind die Nahtabmessungen der Auftragnähte und der Überlappnähte mit Prüfkanal stichprobenartig mit mechanischen Prüfmitteln an den Proben vor Ort und/oder den Probenahmen für die Laborprüfungen zu ermitteln. An den Überlappnähten mit*

---

<sup>187</sup> DVS 2212-3:1994-10 Prüfung von Kunststoffschweißern - Prüfgruppe III - Bahnen im Erd- und Wasserbau

<sup>188</sup> DVS 2225-2:1992-08 Fügen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau - Baustellenprüfungen

*Prüfkanal sind die Nahtdicken systematisch mittels Ultraschall im Abstand von etwa 10 m (mindestens an 3 Messstellen je Naht) zu ermitteln.*

ii. *Nahtdichtigkeit*

*Alle Nähte werden durchgehend, zerstörungsfrei auf Dichtigkeit geprüft. Diese durchgehende Dichtigkeitsprüfung wird durch den Verleger im Rahmen der Eigenprüfung unter Aufsicht des Fremdprüfers durchgeführt. Die Überlappnähte mit Prüfkanal werden mit Druckluft, die Auftragnähte mit Vakuum geprüft. Für die Prüfung mit Luftdruck sind Prüfgeräte einzusetzen, mit denen der zeitliche Druckverlauf dokumentiert wird.*

iii. *Nahtfestigkeit*

*Die qualitative Prüfung der Festigkeit auf der Baustelle erfolgt im Rahmen der Eigenprüfung durch den Verleger an Probenahmen aus den Probeschweißungen und an den Proben, die aus den Schweißnähten am Nahtanfang und am Nahtende entnommen werden.*

*Die quantitative Ermittlung der Festigkeit erfolgt durch normgerechte Kurzzeitversuche (Laborprüfungen) im Rahmen der Fremdprüfung. Diese Prüfungen sind an mindestens 25 % der Proben durchzuführen, die im Rahmen der Eigenprüfung geprüft wurden.*

*An den Auftragnähten sind mindestens 5 Schälversuche und an den Überlappnähten mindestens 6 Schälversuche (vorzugsweise 3 von der Vorder- und 3 von der Rückseite) nach DVS-Richtlinie 2226-3<sup>189</sup> durchzuführen. Die Ergebnisauswertung erfolgt nach der DVS-Richtlinie 2226-1<sup>190</sup>.*

*Die Proben für diese Laborprüfungen werden vorzugsweise aus den Probeschweißungen vor Beginn oder nach Beendigung der Arbeiten bzw. aus den Probenahmen aus Nahtanfang und Nahtende durch den Verleger entnommen, gekennzeichnet und dem Fremdprüfer arbeitstäglich übergeben. Nur in Ausnahmefällen, z.B., wenn die Probeschweißungen keine ausreichende Nahtqualität oder die Nähte Unregelmäßigkeiten in größerem Umfang aufweisen, werden Zusatzproben aus den Nähten entnommen. Die Ergebnisse dieser Laborprüfungen müssen zeitnah / im Regelfall innerhalb von 3 Werktagen auf der Baustelle vorliegen. Dabei ist der Baufortschritt zu berücksichtigen.*

h) *Nachbesserungen*

*Werden Fehler festgestellt, sind diese entsprechend der DVS-Richtlinie 2225-4<sup>191</sup> nachzubessern. Die Nachbesserungen werden im Rahmen der Eigenprüfung geprüft und sind durch die Fremdprüfung zu prüfen.*

i) *Konstruktive Einzelheiten*

*Die konstruktiven Einzelheiten sind entsprechend den Planunterlagen bzw. den genehmigten Ausführungsplänen auszuführen. Änderungen sind mit der örtlichen Bauüberwachung und dem Fremdprüfer in Abstimmung mit der zuständigen Behörde vor der Ausführung abzustimmen.*

*Die Ausführung ist durch den Fremdprüfer im Rahmen der Fremdprüfung vor Ort zu prüfen. Die endgültige Ausführung wird vom Verleger im Bestandsplan zur Verlegung der Kunststoffdichtungsbahnen festgehalten.*

---

<sup>189</sup> DVS 2226-3:1997-07 Prüfen von Fügeverbindungen an Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen - Schälversuch

<sup>190</sup> DVS 2226-1:2000-09 Prüfen von Fügeverbindungen an Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen - Prüfverfahren, Anforderungen

<sup>191</sup> DVS 2225-4:2016-09 Schweißen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) für die Abdichtung von Deponien und Altlasten

j) Teilfreigaben

*Vor dem Einbau der nachfolgenden Schichten sind die eingebauten Kunststoffdichtungsbahnen einschließlich aller konstruktiven Einzelheiten in Teilflächen durch den Fremdprüfer fachtechnisch zu prüfen und danach über eine Freigabeempfehlung an die Behörde zu entscheiden. Für diese Teilfreigaben müssen neben den Herstellernachweisen zur Fertigung der Kunststoffdichtungsbahnen und Schweißzusätze folgende Unterlagen vorliegen:*

- ▶ *Bestandspläne zu den Teilflächen (Skizzen mit notwendigen Angaben)*
- ▶ *Bestandspläne zu den konstruktiven Einzelheiten (Skizzen mit notwendigen Angaben)*
- ▶ *Schweiß- und Prüfprotokolle*
- ▶ *Ergebnisse der Fremdprüfung*

*Die Teilfreigaben sind in den Baustellen-/Tagesberichten des Fremdprüfers oder auf den Bestandsplänen oder in einer besonderen Bauakte zu dokumentieren. Die Freigaben erfolgen vorbehaltlich der Ergebnisse aus den Laborprüfungen an den Schweißnahtproben.*

k) Überbauen der Kunststoffdichtungsbahnen

*Die Kunststoffdichtungsbahnen sind im Regelfall innerhalb von zwei Tagen nach Einbau zu überbauen. Das setzt die fachtechnische Freigabeempfehlung durch den Fremdprüfer an die Behörde voraus. Durch das zeitnahe Überbauen sollen temperaturbedingte Verformungen und Verschiebungen der Kunststoffdichtungsbahnen vermieden werden.*

*Die Oberfläche der Kunststoffdichtungsbahnen muss vor Einbau der nachfolgenden Schichten besenrein gesäubert sein.*

*Geotextile Schutzlagen und geotextilverwandte Produkte wie z.B. Geotextilien oder Kunststoff-Dränelemente, die unmittelbar auf den Kunststoffdichtungsbahnen angeordnet sind, sind vom Verleger der Kunststoffdichtungsbahnen einzubauen. Das direkte Befahren der Kunststoffdichtungsbahnen mit Fahrzeugen und Baugeräten ist dabei nicht zulässig.*

*Der Einbau der mineralischen Schichten auf den Geotextilien / geotextilverwandten Produkten erfolgt nur, wenn diese und die Kunststoffdichtungsbahnen weitgehend wellenfrei und die Kunststoffdichtungsbahnen entsprechend vollflächig auf der Stützschrift aufliegen.*

*Die mineralischen Schichten werden ausschließlich im Vor-Kopf-Verfahren eingebaut. Der Materialtransport zur Einbaustelle erfolgt auf mindestens 1,0 m mächtigen Baust Straßen. Beim Einbau der mineralischen Schichten ist berücksichtigen, ob diese auf Kunststoff-Dränelementen oder auf Geotextilien (Schutzvliesen) eingebaut werden:*

- ▶ *Wenn auf den Kunststoffdichtungsbahnen Kunststoff-Dränelemente angeordnet sind, sind beim Einbau der mineralischen Schichten grundsätzlich Überfahrhöhen von mindestens 1,0 m einzuhalten. Die mineralischen Schichten dürfen dabei nicht eingeschoben, sondern müssen in einer Schichtdicke von mindestens 0,5 m aufgesetzt / aufgeschüttet werden, es sei denn, die jeweilige BAM-Zulassung der Kunststoff-Dränelemente gestattet ausdrücklich das Einschieben der mineralischen Schichten mit der Raupe.*
- ▶ *Wenn auf den Kunststoffdichtungsbahnen Geotextilien als Schutzschicht angeordnet sind, muss die erste Lage in einer Dicke von mindestens 0,3 m aufgesetzt / aufgeschüttet werden. Die weiteren Lagen können mit Kettenfahrzeugen eingeschoben werden. Dabei ist jeweils eine Überfahrhöhe von mindestens 0,3 m einzuhalten.*

*Die Überfahrhöhen sind in jedem Fall so zu wählen, dass die Kunststoffdichtungsbahnen sowie die Geotextilien / geotextilverwandten Produkte und im Falle der Kombinationsabdichtung mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen auch diese nicht verschoben, nicht gezerzt und nicht unzulässig mechanisch beansprucht werden. Die Vorgaben des von der zuständigen Behörde freigegebenen Einbaukonzepts sind einzuhalten.*

*Das direkte Befahren der Geotextilien / geotextilverwandten Produkte mit Fahrzeugen und Baugeräten ist nicht zulässig.*

*Das Überbauen der Kunststoffdichtungsbahnen sowie der Geotextilien / geotextilverwandten Produkte mit den mineralischen Schichten ist vom Fremdprüfer zu kontrollieren.*

*Die Lage der Kunststoffdichtungsbahnen nach dem Einbau der nachfolgenden Schichten kann im besonderen Einzelfall auch durch Schürfe kontrolliert werden. Die Schürfe sind so herzustellen, dass die Lage der Kunststoffdichtungsbahnen auf einer Fläche von mindestens 1 m<sup>2</sup> festgestellt werden kann. Die Schürfe werden durch die bauausführende Firma in Zusammenarbeit mit dem Verleger angelegt. Sie erfolgen im Beisein des Fremdprüfers, der auch die Lage der Kunststoffdichtungsbahnen feststellt und dokumentiert.*

#### **l) Bestandsplan**

*Der Bestandsplan ist dem Fremdprüfer zur Prüfung vorzulegen. In diesem Bestandsplan sind auch alle kunststofftechnischen/konstruktiven Einzelheiten darzustellen. Der Bestandsplan wird Teil des Berichtes zur Qualitätsüberwachung, der vom Fremdprüfer erstellt wird.*

#### **m) Schlussbemerkungen**

*Der in diesem Standard zur Qualitätsüberwachung festgelegte Umfang der Eigenüberwachung, Eigenprüfung und Fremdprüfung stellt ein Mindestmaß dar. Die ausschließlich in Verantwortung des Auftragnehmers zu erbringenden anforderungs- und fachgerechten Leistungen werden allein durch das Einhalten dieser Vorgaben nicht sichergestellt. Bei Mängeln kann sich der Auftragnehmer nicht darauf berufen, dass durch die im Rahmen der Eigenüberwachung und Eigenprüfung vorgesehenen und vom Auftraggeber akzeptierten Qualitätsüberwachungsmaßnahmen die vertraglich vereinbarten Leistungen erbracht wurden.*

### **3.3.5.5.3 Beispiel: Qualitätsmanagementplan „Deponiegas“**

Der Qualitätsmanagementplan „Deponiegas“ dient der Sicherstellung und der Kontrolle einer ordnungsgemäßen Deponieentgasung. In diesem Sinne muss der QMP „Deponiegas“ Angaben zur Bestandsanalyse enthalten, die sich auf die Zustandserfassung der technischen Einrichtungen sowie Zusammenstellung und Auswertung vorhandener Messergebnisse zur Dokumentation der Qualität und Quantität des erfassten Deponiegases beziehen. Ergänzt werden diese Angaben durch eine Zusammenstellung technischer und organisatorischer Maßnahmen, die zur Reduzierung der Emissionen getroffen werden sowie eine Dokumentation des Ergebnisses des Abgleichs mit den Zielwerten und die Zustandsbewertung im Rahmen zyklischer Überprüfungen. Darüber hinaus sind das Betriebshandbuch für Deponiegas, das Explosionsschutzdokument mit Gefährdungsbeurteilung mit dem sicherheitstechnischen Konzept sowie ein Prüf- und Instandhaltungsplan Bestandteile des QMPs.

### **3.3.5.5.4 Qualitätsüberwachung**

Die Qualitätsüberwachung umfasst die Eigenüberwachung des Herstellers und die Fremdüberwachung durch eine akkreditierte Inspektionsstelle für die Vorfertigung sowie die Eigenprüfung der ausführenden Firma, die Fremdprüfung durch einen unabhängigen Dritten und die behördliche Überwachung während der Bauausführung. Die Prüfungen müssen von sachkundigen Fachleuten mit Erfahrung in der Deponietechnik durchgeführt werden. Die fremdprüfende Stelle

muss als Inspektionsstelle für die Fremdprüfung im Deponiebau akkreditiert<sup>192</sup> sein und über ein akkreditiertes Prüflaboratorium verfügen<sup>193</sup> bzw. spezielle Prüfungen an solche akkreditierten Institutionen vergeben. Eigen- und Fremdprüfung müssen kontinuierlich auf der Baustelle anwesend sein und qualitätsbestimmende Arbeiten überwachen. Die Prüfungen umfassen die Eingangsprüfung der Materialien, die Kontrolle qualitätsrelevanter Vorgänge beim Einbau, Endprüfungen der fertigen Komponenten sowie die vollständige Dokumentation und Bewertung der Ergebnisse. Der Prüfprozess ist zeitlich auf die Herstellung und Verarbeitung der Materialien abzustimmen.

#### **3.3.5.5.5 Gesamtbewertung der Qualitätsüberwachung**

Die Abnahme der Bauleistungen erfolgt bauvertraglich durch den Auftraggeber („VOB-Abnahme“), während die zuständige Behörde abfallrechtliche Abnahmen gemäß § 5 und § 10 der Deponieverordnung im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme oder Stilllegung einer Deponie durchführt. Hierfür müssen eine Gesamtdokumentation und eine Gesamtbewertung der Qualitätsüberwachung vorgelegt werden, die Prüfungsvermerke zur genehmigungskonformen Ausführung und zur Einhaltung der Qualitätsanforderungen enthalten. Fremdprüfende Stellen können in Abstimmung mit der Behörde Teilleistungen freigeben, wobei sicherzustellen ist, dass diese durch nachfolgende Bauarbeiten nicht beeinträchtigt werden.

#### **Referenzliteratur**

Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533) geändert.

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

Nachweisverordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700) geändert worden ist

RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, zuletzt geändert mit der RICHTLINIE (EU) 2018/851 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle.

VDI 3790 Blatt 2: Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Deponien, Fachbereich Umweltmeteorologie, 201-06

---

<sup>192</sup> nach DIN EN ISO/IEC 17020:2012-07

<sup>193</sup> nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03

### 3.3.6 Unterarbeitspaket 3.4 – Beispieldeponien nach dem Stand der Technik

Zu den besonders häufig umgesetzten Maßnahmen nach dem Stand der Technik werden in diesem Unterarbeitspaket Deponien ausgewählt und diese später noch näher dahingehend beschrieben, wie die Ansätze dort jeweils umgesetzt wurden (typische Deponiemaßnahmen bzw. solche mit BVT-Pilotcharakter als "Musteranlagen").

Hierzu wurden in den vorangegangenen Kapiteln auf der Grundlage der LAGA-Länderabfrage 2023 zu den Kenndaten von Deponien, der Auswertung von Deponiedaten öffentlich zugänglicher Quellen in Verbindung mit der Aufbereitung des Stands der Technik bereits Vorschläge erarbeitet. In Tabelle 42 sind möglicherweise als Musteranlagen in Frage kommende Deponien nach den wesentlichen Barrieren aufgeführt.

Da die Ergebnisse der LAGA-Länderabfrage nur in anonymisierter Fassung zur Verfügung gestellt wurden, konnte noch keine verbindliche Identifikation und Beschreibung der geeigneten Deponien vorgenommen werden. Dies wird voraussichtlich in der weiteren Bearbeitung in Verbindung mit einigen Deponiebesichtigungen der ausgewählten Standorte erfolgen.

Ferner wird das Arbeitspaket 3, gerade auch vor dem Hintergrund knapper Deponiekapazitäten, steigender finanzieller Belastungen sowie der (oftmals schwierigen) Akzeptanzfrage bezüglich neuer Deponiestandorte, um den Aspekt Deponieerweiterung mit dem Konzept „Deponie auf Deponie“ ergänzt. Zu diesem Themenkomplex sind daher bereits einige Deponiestandorte als vorläufiger Vorschlag in die Übersichtstabelle aufgenommen worden.

**Tabelle 43: Deponien als "Musteranlagen" mit BVT-Pilotcharakter zur Umsetzung des Stands der Technik (vorläufige Übersicht in Frage kommender Deponiestandorte)**

| Deponiekennung / Deponienname, Deponieklasse / Bundesland | Technische Einrichtung, Barriere nach Stand der Technik | Bemerkung                                                                     |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| NW044, Deponieklasse I, NRW                               | Natürliche geologische Barriere                         |                                                                               |
| NW147, Deponieklasse II, NRW                              | Natürliche geologische Barriere                         |                                                                               |
| NW145, Deponieklasse II, NRW                              | Künstliche geologische Barriere                         | Geologische Barriere nicht vorhanden, technisch nachgebessert                 |
| NW107, Deponieklasse III, NRW                             | Künstliche geologische Barriere                         | Geologische Barriere vorhanden, aber in Teilbereichen technisch nachgebessert |
| NW147, Deponieklasse I, NRW                               | Basisabdichtung                                         | mineralische Abdichtung, Entwässerungsschicht                                 |
| NW161, Deponieklasse I NRW                                | Basisabdichtung                                         | KDB, Entwässerungsschicht                                                     |
| NW055, Deponieklasse I, NRW                               | Basisabdichtung                                         | mineralische Abdichtung, KDB, Entwässerungsschicht                            |
| BY553, Deponieklasse II, BY                               | Basisabdichtung                                         | mineralische Abdichtung, KDB, Asphalt-dichtung                                |

| Deponiekennung / Deponienname, Deponieklasse / Bundesland | Technische Einrichtung, Barriere nach Stand der Technik                                                                           | Bemerkung                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NW127, Deponieklasse II, NRW                              | Basisabdichtung<br>MBA-Deponieabschnitt                                                                                           | mineralische Abdichtung, KDB, Entwässerungsschicht<br>MBA-Reststoffablagerung                                                                                                                                                                                                                                     |
| NW125, Deponieklasse III, NRW                             | Basisabdichtung                                                                                                                   | mineralische Abdichtung, KDB, Entwässerungsschicht                                                                                                                                                                                                                                                                |
| BW493, Deponieklasse I, BW                                | Oberflächenabdichtung                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| NI408, Deponieklasse II, NI                               | Oberflächenabdichtung                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| BW447, Deponieklasse III, BW                              | Oberflächenabdichtung                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| NI265, Deponieklassen I und II, NI                        | Basisabdichtung<br>Deponiebelüftung                                                                                               | Basisabdichtung DK I<br>Deponiebelüftung auf stillgelegten Deponieabschnitten DK II, Abluftbehandlung mit Schwachgasfackel und Wärmeauskopplung                                                                                                                                                                   |
| BW484, Deponieklasse II, BW                               | Sickerwasserfassung                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| NW152, Deponieklasse II, NRW                              | Basisabdichtung<br>Sickerwasserreinigung<br>Deponiegasfassung<br>Deponiegasverwertung (Deponiebelüftung)<br>(Deponie auf Deponie) | Dichtwand aus Bentonitsuspension<br>biologische Behandlung, Filtration mittels Aktivkohle<br>umfangreiches Gasfassungssystem mit Gasfassung im laufenden Ablagerungsbetrieb<br>3 BHKW mit Gasaufbereitung (Aktivkohle)<br>(Druck-Saugverfahren ab 2025 vorgesehen)<br>(DK II- auf DK II-Deponie, geplant ab 2029) |
| MV243, Deponieklassen II und III, MV                      | Sickerwasserreinigung                                                                                                             | Umkehrosmose mit standorteigener Konzentrateindampfung                                                                                                                                                                                                                                                            |
| NW146, Deponieklasse II, NRW                              | Sickerwasserreinigung<br>Deponiegasfassung<br>Deponiegasverwertung (Deponiebelüftung)                                             | biologische Behandlung, Filtration mittels Aktivkohle<br>umfangreiches Gasfassungssystem auf stillgelegter Deponie<br>3 BHKW<br>(Druck-Saugverfahren ab 2025 vorgesehen)                                                                                                                                          |
| HE207, Deponieklasse II, HE                               | Deponiegasfassung<br>Deponiegasbehandlung<br>Deponiegasverwertung                                                                 | Gasfassungssystem<br>Flox-Verfahren für Deponieschwachgas<br>Gasturbine                                                                                                                                                                                                                                           |

| Deponiekenennung / Deponienname, Deponieklasse / Bundesland | Technische Einrichtung, Barriere nach Stand der Technik | Bemerkung                                                              |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| NI277, Deponieklasse II, NI                                 | Sickerwasserreinigung                                   | Biologische Behandlung, chemische Oxidation, Umkehrosmose              |
|                                                             | Deponiebelüftung                                        | Druck-Saugbelüftung auf stillgelegten Deponieabschnitten               |
| NW126, Deponieklasse II, NRW                                | Sickerwasserreinigung                                   | Biologische Behandlung, Umkehrosmose mit externer Konzentratentsorgung |
|                                                             | Deponiebelüftung                                        | Druck-Saugbelüftung unter besonderer temporärer Oberflächenabdeckung   |
| RP296, Deponieklassen I und II, RP                          | Deponie auf Deponie                                     | DK I- auf DK II-Deponieabschnitt                                       |
| NW074, Deponieklassen I und II, NRW                         | Deponie auf Deponie                                     | DK I- auf DK II-Deponie                                                |

### **3.4 Ermittlung von praxisgerechten Faktoren zur Berechnung des Gasbildungspotentials und zur Prognose der Deponiegasemissionen - Arbeitspaket 4**

#### **3.4.1 Aufgabenstellung**

In diesem Arbeitspaket werden praxisgerechte Faktoren für die Berechnung des anaeroben Gasbildungspotentials von Deponien ermittelt, um darüber den Gashaushalt näher zu beschreiben und die resultierenden Methanemissionen belastbarer quantifizieren zu können. Unter Einbeziehung der standortbezogenen Kenntnisse dient diese Herangehensweise der Beurteilung der aktuellen Gasbildungsrate und des Gaserfassungsgrads im Gasabsaugbetrieb.

Im ersten Schritt erfolgt eine Erläuterung zur Deponiegasbildung im zeitlichen Verlauf. Daran schließt sich die Aufarbeitung verschiedener Prognosemodelle nach der First Order Decay Methode, die das Gasbildungspotential und die Abbaukinetik der anaeroben Umsetzungsprozesse beschreiben, an. Eine internationale Standardisierung der Berechnung wird mit den Vorgaben der IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories angestrebt. Diese und weitere Modellansätze sind als Stand des Wissens und der Technik in den bundesdeutschen VDI-Richtlinien 3790 Blatt 2 zu diffusen Gasemissionen aus Deponien und der VDI-Richtlinie 3899 Blatt 2 zur Deponiegaserfassung und Deponiebelüftung dokumentiert.

Ein Grundansatz und damit ein Grundproblem des IPCC-Modells besteht darin, dass viele Vorgabewerte zu Abfallarten, deren Halbwertszeiten und biologischer Verfügbarkeit vorgegeben sind, deren Übertragbarkeit auf eine einzelne Deponie aufgrund unterschiedlicher deponiespezifischer Rahmenbedingungen jedoch nur eingeschränkt gegeben ist. Über die meisten Siedlungsabfalldeponien in Deutschland und Europa liegen keine ausreichenden Daten und Erkenntnisse vor, die eine entsprechend qualifizierte Anwendung mit einem standortbezogenen Abgleich der Vorgabewerte erlauben. Zur Bestimmung des standortbezogenen Gasbildungspotentials und der aktuellen Gasbildungsrate sind daher neben der Auswertung der Betriebsergebnisse zur Gasfassung in vielen Fällen ergänzende Untersuchungen wie z.B. Gasabsaugtests erforderlich.

Um die Deponiegas- bzw. Methanbildung auf Deponien und Altablagerungen in Deutschland belastbarer quantifizieren zu können, wurden in den vergangenen Jahren mehrere UFOPLAN-Vorhaben (Umweltforschungsplan-Programm des Umweltbundesamts) u.a. von IFAS durchgeführt (Stegmann et al., 2018). In diesen Vorhaben wurden unter anderem mehr als 50 Deponien näher untersucht und hinsichtlich ihres Gashaushalts ausgewertet. Aufgrund der Ergebnisse wurden einige der IPCC Default-Vorgaben auf die durchschnittlichen bundesdeutschen Deponieverhältnisse angepasst, um so u.a. im jährlichen Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamtes zu einer „realistischeren“ Bewertung der Methanemissionen aller Abfallablagerungen in Deutschland seit 1950 zu gelangen. Diese angepassten Werte wurden erstmals im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021 zur Quantifizierung der Methanemissionen von Deponien herangezogen (UBA, 2023).

Diese angepassten Werte bieten eine Grundlage, um ergänzt von den VDI-Richtlinien und dem Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“, in dem diese Werte bereits übernommen wurden, die praxisgerechten Faktoren für die Berechnung des Gasbildungspotentials von Deponien weiter zu konkretisieren und ihre praxisgerechte Anwendung zu erläutern.

In diesem Zusammenhang wird dem Aspekt nachgegangen, dass die Verhältnisse einer Deponie von durchschnittlichen Deponiebedingungen und dem resultierenden Gashaushalt mit den Deponiegasemissionen abweichen können. Während teilweise noch Angaben zu den abgelagerten Mengen an Siedlungsabfällen, Gewerbe- und Industrieabfällen etc. vorliegen, sind in der

Regel bei den meisten Deponien wenige Daten über die organischen Abfallfraktionen, die zur Deponiegasbildung beitragen, bekannt. Dies führt dazu, dass derzeit in der Praxis trotz der erwähnten methodischen Ansätze sehr unterschiedliche Vorgehensweisen zur Ermittlung der Deponiegasbildung und der unkontrolliert entweichenden Deponiegasemissionen gewählt werden, die zu entsprechend unterschiedlichen quantitativen Bewertungen des Emissionspotentials führen.

Aufgrund der Ergebnisse werden weiterführende Kriterien abgeleitet, die eine Auswahl „geeigneter“ Deponien zur aeroben in situ Stabilisierung (Deponiebelüftung) erlauben, um so zu einer weiteren Reduzierung von Methanemissionen beizutragen.

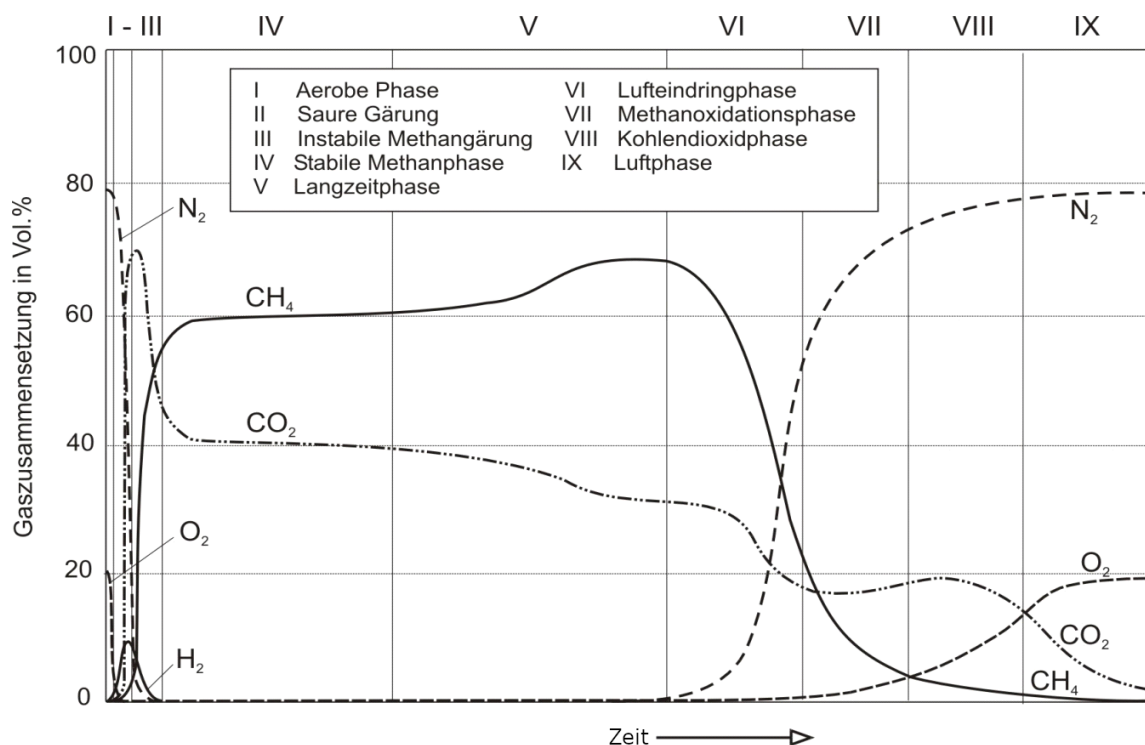
Abschließend wird auf der Grundlage dieser Betrachtungen und Ergebnisse das THG-Minderungspotential der Deponien in Deutschland mittels aerober in situ Stabilisierung und ergänzend auch infolge optimierter Gasfassung und -verwertung rechnerisch abgeschätzt.

### 3.4.2 Deponiegasbildung im zeitlichen Verlauf

Siedlungsabfalldeponien weisen sowohl in der Verfüllphase als auch in der anschließenden Stilllegungs- und Nachsorgephase eine veränderliche Beschaffenheit des Deponiegases auf. Deponien, auf denen die Verfüllung biologisch abbaubarer Abfälle abgeschlossen wurde, zeigen eine abnehmende Deponiegasbildung über die Zeit.

Wie aus der qualitativen Darstellung in Abbildung 25 zu ersehen ist, können die Deponiegaskonzentrationen über die Zeit in charakteristischen Phasen beschrieben werden, da sie sich hinsichtlich der Relation ihrer Konzentrationswerte gegeneinander abgrenzen lassen (Rettenberger, 1996). In der Praxis zeigen die gemessenen Konzentrationen gegenüber denen in Abbildung 25 gewisse Schwankungsbreiten, die insbesondere vom Gasfassungsbetrieb und einem damit verbundenen Übersaugungseffekt geprägt werden können. Die Relationen der Konzentrationswerte untereinander sind aber für die einzelnen Phasen typisch, was eine Zuordnung aufgrund einer Gasanalyse zu einer Gasphase und damit indirekt zur Größenordnung der jeweiligen Gasbildung erlaubt.

**Abbildung 25: Gaskonzentrationen im Deponiekörper im zeitlichen Verlauf für die Hauptgase des Deponiegases und Luft (modifiziert nach VDI 3790, Blatt 2, 2016)**



Quelle: VDI 3790, Blatt 2, 2016

Die einzelnen Phasen beschreiben die einsetzende Gasentwicklung unmittelbar nach der Ablagerung (Phase I bis III), die intensive Gasbildung, in der das Porenvolumen der Deponie nahezu vollständig mit Deponiegas gefüllt ist (Phase IV und V, überwiegend in der Verfüllphase) und das Wiedereinströmen von Luft in die Deponie bei nachlassender Gasbildung (Phase VI bis IX, überwiegend in der Stilllegungs- und Nachsorgephase).

Die einzelnen Phasen lassen sich dabei wie folgt charakterisieren (VDI 3790, Blatt 2, 2016):

- I. Aerobe Phase: Es befinden sich noch Luftgase (Sauerstoff, Stickstoff) aus der Anlieferung in der Deponie, allerdings in einer deutlich von Luft verschiedenen Relation.

- II. Saure Gärung: Es befinden sich neben N<sub>2</sub> bereits Gase aus dem einsetzenden anaeroben Abbau, vornehmlich Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid, in der Deponie.
- III. Instabile Methanphase: Infolge der einsetzenden Methanbildung finden sich im Deponiegas vorwiegend Kohlenstoffdioxid, Stickstoff sowie geringe Konzentrationen an Methan.
- IV. Stabile Methanphase: Nach ca. 0,5 Jahren bis 1,5 Jahren hat sich die Deponiegasbildung voll ausgebildet. In der Deponie findet sich nahezu ausschließlich Methan und Kohlenstoffdioxid, typischerweise im Verhältnis der Volumenkonzentrationen von 1,25 bis 1,5.
- V. Langzeitphase: Bei nachlassender Deponiegasbildung besteht das Deponiegas nahezu vollständig aus Methan und Kohlenstoffdioxid bei einem Konzentrationsverhältnis bis zu ca. 4.
- VI. Luft eindringphase: Aufgrund in die Deponie eindringender Luft findet sich im Deponiegas neben verdünntem Methan und Kohlenstoffdioxid auch Stickstoff.
- VII. Methanoxidaionsphase: Bei zunehmenden Anteilen von Luftgasen in der Deponie wird Methan mikrobiell oxidiert. Methan und Kohlenstoffdioxid kommen durch Stickstoff verdünnt in einem Konzentrationsverhältnis unter 1 im Deponiegas vor.
- VIII. Kohlenstoffdioxidphase: Es finden nahezu ausschließlich aerobe Abbauvorgänge statt. Neben den Luftgasen mit geringen Sauerstoffkonzentrationen findet sich noch Kohlenstoffdioxid in erhöhter Konzentration. Da hier überwiegend ein langsamer Abbau schwer abbaubarer organischer Bestandteile wie z.B. Holz stattfindet, zieht sich diese Phase (i.d.R. in der Deponienachsorge) über viele Jahre hin.
- IX. Luftphase: Die Abbauvorgänge sind weitgehend abgeschlossen. Die Zusammensetzung der Gasphase nähert sich den Verhältnissen in natürlichen Böden an (je nach Bodenart und Jahreszeit zwischen nahe null und 20 Vol. % Sauerstoff und zwischen 1 Vol. % und 7 Vol. % Kohlenstoffdioxid).

Die Phasen sind an den einzelnen Deponien unterschiedlich lang. Sie hängen vor allem vom Anteil der gasbildenden Abfälle, der Art der Oberflächenabdichtung, der Größe und Kubatur der Deponie sowie der Art des Einbaus ab. Weiter spielen die Milieubedingungen insbesondere hinsichtlich Wassergehalt und Temperatur oder anderer Einflüsse, z. B. Sauerstoffzutritt bei nachlassender Gasproduktion oder infolge des Gasabsaugbetriebs, in der Deponie eine wichtige Rolle. Die Gaszusammensetzung von Deponieabschnitten eines Standorts ist aufgrund dieser Einflussfaktoren und des Ablagerungszeitraums in der Regel unterschiedlich und erstreckt sich über mehrere Phasen. Der Zeitraum bis zum Erreichen der Phase IX ist ebenfalls sehr unterschiedlich. Bei kleineren und flacheren Deponien ohne eine gasdichte Oberflächenabdichtung kann diese Phase schon 15 Jahren nach Ablagerungsende erreicht sein. Große Deponien, die hier im Vordergrund stehen, mit kleinerem Verhältnis von Oberfläche zu Volumen können sich nach 30 Jahren und teilweise deutlich länger noch in der Methanoxidaionsphase Phase VII befinden. Somit lassen sich Deponien bei Kenntnis der genannten Merkmale (u.a. Größe, Abfallablagerungsmächtigkeit, Alter, Art der Oberflächenabdichtung) und bei bekannter Gaszusammensetzung einer Phase zuordnen, woraus sich erste Hinweise auf die Höhe der Gasbildung ergeben.

### 3.4.3 Ermittlung des Deponiegaspotentials

Das insgesamt (über lange Zeiträume) bildbare Deponiegas ( $G_e$ ) leitet sich aus dem abbaubaren Kohlenstoff ab. Es wird in der Regel als  $m^3/Mg$  bezogen auf die Trockenmasse (TM) oder die Feuchtmasse (FM) angegeben. Bestimmen lässt sich das Deponiegaspotential mittels Gärtests wie dem  $GB_{21}$  (Gasbildung in 21 Tagen, DepV, Anhang 4) und insbesondere den  $AT_4$  (Atmungsaktivität in 4 Tagen, DepV, Anhang 4). bei dem durch Umrechnung mit einem Faktor der Kurzzeiteffekt der begrenzten Versuchsdauer kompensiert werden kann. Damit kann das Deponiegaspotential prognostiziert werden

- für Frischmüll bzw. dessen organische Fraktionen zum Zeitpunkt der Ablagerung
- an Abfallfeststoffproben, die in bereits verfüllten Deponien durch z.B. Erkundungsbohrungen oder Schürfe gewonnen werden

Auch besteht ein Zusammenhang zum  $AT_4$  (Atmungsaktivität in 4 Tagen siehe DepV, Anhang 4). Bei  $AT_4$ -Werten  $> 10 \text{ kg O}_2/Mg \text{ TM}$  kann der abbaubare Kohlenstoff ( $C_{ab}$ ) als Richtwert mit nachstehender empirischer Gleichung ausgedrückt werden (VDI 3790 Blatt 2, 2016):

$$C_{ab} = 3,75 \cdot AT_4 - c \quad (1)$$

Bei  $AT_4$  Werten  $< 10 \text{ kg O}_2/Mg \text{ TM}$  kann folgender Zusammenhang angegeben werden:

$$C_{ab} = 3 \cdot AT_4 \quad (2)$$

Dabei ist

$c$       Konstante mit dem empirischen Wert  $7,5 \text{ kg/Mg TM}$

$C_{ab}$     abbaubarer Kohlenstoff [ $\text{kg/Mg TM}$ ]<sup>194</sup>

$AT_4$     Atmungsaktivität in 4 Tagen [ $\text{kg O}_2/Mg \text{ TM}$ ]

Das maximale Deponiegaspotential in  $m^3/Mg \text{ FM}$  ergibt sich durch  $C_{ab} \cdot 1,868 \cdot (100 - WG)/100$ .

Bei typischen Werten für unbehandelten Siedlungsabfall im Bereich von  $50 \text{ kg O}_2/Mg$  für den  $AT_4$  und 35 % für den Wassergehalt (WG) ergäbe sich somit ein Wert für das Deponiegaspotential zum Zeitpunkt der Ablagerung von  $219 \text{ m}^3/Mg \text{ FM}$ .

Die tatsächliche Gasbildung in Deponien ist in der Regel geringer, da nur ein Teil des bioverfügbaren Kohlenstoffs unter anaeroben Milieubedingungen zu Deponiegas umgesetzt wird, was durch unterschiedliche Abminderungsfaktoren in den nachfolgend erläuterten Emissionsmodellen berücksichtigt wird. So zeigt Tabelle 44 beispielhaft die Untersuchungsergebnisse zum Gasbildungspotential  $G_e$  von Hausmüll und kommunalem Mischmüll, wie sie in der Vergangenheit vor dem Verbot der Ablagerung organikhaltiger Siedlungsabfälle bis zum Jahr 2005 in Deutschland deponiert wurden.

---

<sup>194</sup>  $C_{ab}$  mit Bezug auf die Trockenmasse entspricht dem DDOCm der nachfolgend erläuterten IPCC-Methodik mit Bezug auf die Feuchtmasse

**Tabelle 44: Referenzangaben zu Deponiegaspotentialen des organikhaltigen, früher unvorbehandelt deponierten Hausmülls oder kommunalen Mischmülls**

| Gasbildungspotential $G_e$<br>[m <sup>3</sup> /Mg FM] | Bemerkung / Quelle                                                                                      |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 70 - 126                                              | Kommunaler Mischmüll, Lechner, 2004                                                                     |
| 137                                                   | abgeleitet aus 98 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /MgTM (Hausmüll) und Wassergehalt von 30%, Kruse, 1994 |
| 85 - 140                                              | bezogen auf 30% Wassergehalt, Ehrig et al., 1995                                                        |
| 120 – 150                                             | zerkleinerter Hausmüll / Stegmann, 1982, zit. in Rettenberger & Mezger, 1992                            |
| 105 - 165                                             | bezogen auf 30% Wassergehalt, Jessberger 1992                                                           |
| 162                                                   | Hausmüll „Graue Tonne“, Bassum, De Baere, 2000                                                          |
| 172                                                   | Tallner, 1993                                                                                           |
| 186                                                   | zerkleinerter Hausmüll / Pfeffer, 1974, zit. in Rettenberger & Mezger, 1992                             |

Bei Biotests an Abfallfeststoffproben, die dem Deponiekörper entnommen wurden, ist bei der Auswertung die Heterogenität der abgelagerten Abfälle zu berücksichtigen. Zu einer belastbaren Übertragung der Ergebnisse auf die gesamte Deponie ist daher eine größere Anzahl an Abfallfeststoffproben aus unterschiedlichen Deponieabschnitten und unterschiedlichen Ablagerungszeiträumen zu untersuchen.

### 3.4.4 Prognosemodelle nach der First Order Decay Methode

Bei der Ermittlung von Deponiegasemissionen werden in der Regel Prognosemodelle herangezogen, die auf der First Order Decay (FOD) Methode basieren. Diese Modelle dienen der Beschreibung sowohl des Gasbildungspotentials als auch der Abbaukinetik anaerober Umsetzungsprozesse.

Die FOD-Ansätze gehen von einem Abbau erster Ordnung aus, bei dem die Abbaugeschwindigkeit einer organischen Abfallfraktion proportional zur verbleibenden Menge der biologisch abbaubaren Anteile ist. In Bezug auf die Deponiegasbildung bedeutet dies, dass die Gasbildungsrate auf Deponien, in denen die Ablagerung biologisch abbaubarer Abfälle beendet wurde, im Laufe der Zeit abnimmt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte dieser Modelle als aktueller Stand des Wissens gemäß der VDI-Richtlinie 3790 Blatt 2, der IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) und weiterer Quellen erläutert.

#### 3.4.4.1 Grundlagen zum Abbaugesetz 1. Ordnung

Grundlage von Deponiegasemissionsmodellen ist die Berechnung der theoretischen Gasbildung. Der Verlauf der Gasbildung entspricht bei ansonsten konstanten Randbedingungen meist einem Abbau 1. Ordnung. Dieser Prozess lässt sich damit mit nachstehender Exponentialgleichung ausdrücken:

$$G_t = G_e \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (3)$$

mit:

|       |                                                                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $G_t$ | das bis zur Zeit $t$ gebildete spezifische Deponiegasvolumen [ $\text{m}^3/\text{Mg FM}$ ]                    |
| $G_e$ | das in langen Zeiträumen bildbare spezifische Gasvolumen (Gasbildungspotential) [ $\text{m}^3/\text{Mg FM}$ ] |
| $k$   | Abbaukonstante [ $1/a$ ]                                                                                      |
| $t$   | Zeit nach Ablagerung [ $a$ ]                                                                                  |

$$G_{id} = G_e \cdot k \cdot e^{-kt} \quad (4)$$

mit:

|          |                                                                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $G_{id}$ | das im Jahr $t$ insgesamt pro Tonne FM durchschnittlich gebildete spezifische Gasvolumen [ $\text{m}^3/\text{Mg FM}$ ] |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Die Abbaukonstante lässt sich aus der Halbwertszeit mit  $k = -\ln(0,5)/t_{1/2}$  unmittelbar berechnen. Einflüsse von Temperatur und Feuchte werden nicht berücksichtigt. Dieser Modellansatz sollte noch an die Erfordernisse einer Deponiegasemissionsberechnung angepasst werden. Dazu können unterschiedliche Korrektur- und Anpassungsfaktoren gewählt werden, u.a.:

- Korrekturfaktor für den Kohlenstoffverlust durch aeroben Abbau, Methanoxidation oder Brand (muss deponiespezifisch bestimmt werden)
- Faktor zur Berücksichtigung der Stoffwechselprozesse im Deponiekörper in Abhängigkeit der Temperatur

Weiterhin können Limitierungen anaerober Abbauprozesse z. B. durch Austrocknungsvorgänge infolge geringer Niederschlagseinträge oder nach Aufbringung einer Oberflächenabdichtung

auftreten. In diesem Fall kann das noch vorhandene Deponiegaspotential konserviert und solange unverändert erhalten bleiben, bis eine Überwindung der Limitierung wie eine Wiederbefeuchtung zur Fortsetzung der Deponiegasbildung führt. Diese Faktoren und Randbedingungen sind in dem Modellansatz für Deponien im Einzelfall festzulegen. Dabei wird hinsichtlich der Halbwertszeiten bei jüngeren Deponien in der Regel von 4 bis 6 Jahren ausgegangen (VDI 3790, Blatt 2). Bei älteren Deponien in der Stilllegungs- und Nachsorgephase wächst die durchschnittliche Halbwertszeit der verbliebenen organischen Fraktionen dagegen deutlich an. Die zeitliche Skalierung von angelieferter Abfallmenge und Gasbildung erfolgt in jährlichen Intervallen. Üblicherweise wird die jährliche Gasbildung auf eine (durchschnittlich) stündliche Gasbildungsrate umgerechnet. Zur Gesamtbetrachtung werden die Jahresbeiträge der abgelagerten Abfallmengen und ihrer Beschaffenheit hinsichtlich des Gasbildungspotentials entsprechend aufaddiert. Als erstes Jahr einer Gasentwicklung wird das Jahr nach dem Jahr der Abfallablagerung angenommen. Es können durchschnittliche Werte für die gesamte Deponie oder bei größeren Deponien für einzelne Deponieabschnitte gewählt werden.

Das Modell kann auch auf einzelne Abfallfraktionen angewandt werden, wie es nachfolgend anhand des IPCC-Modells gezeigt wird. Dies hat den Vorteil, dass gegenüber einem vereinfachten Ansatz zwischen unterschiedlich abbaubaren Abfallfraktionen und unterschiedlichen Halbwertszeiten unterschieden werden kann.

#### 3.4.4.2 Das IPCC Waste Model

Das Umweltbundesamt verwendet für die Berichterstattung im Rahmen des Kyoto-Protokolls das IPCC Waste Model zur Berechnung der Methanemissionen aus Deponien (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006)). Dieses Modell basiert auf der FOD-Methode und berücksichtigt verschiedene Parameter, für die in Deutschland sowohl landesspezifische Werte als auch Default-Werte des IPCC verwendet werden.

Im Folgenden werden in Anlehnung an den Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamts (UBA/NIR, 2024) die FOD-Methode zur Bestimmung der Methanerzeugung auf Deponien und die verwendeten Parameter näher erläutert. Ein Berechnungstool für das IPCC Waste Model ist als Excel-Datei (IPCC\_Waste\_Model, Microsoft Excel 97-2003 Worksheet) unter <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp> abrufbar.

Die FOD-Methode wird mit den folgenden Gleichungen umgesetzt:

$$\text{CH}_4 \text{ erzeugt im Jahr } t = \text{DDOCm decomp}_t * F * 16/12 \quad (5)$$

mit:

|                                   |                                                                                                                     |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CH <sub>4</sub> erzeugt im Jahr t | Menge an CH <sub>4</sub> , welche durch die biologisch abbaubaren Abfälle erzeugt wird [Gg Methan/a] <sup>195</sup> |
| DDOCm decomp <sub>t</sub>         | Masse des im Jahr t abgebauten abbaubaren DOC [Gg DOC/a]                                                            |
| F                                 | Anteil des CH <sub>4</sub> am Deponiegas [-]                                                                        |
| 16/12                             | Molekulargewichtsverhältnis CH <sub>4</sub> / C [-]                                                                 |
| t                                 | Inventarjahr                                                                                                        |

---

<sup>195</sup> Die Größenordnung der Einheiten zur Massenangabe kann danach gewählt werden, ob eine einzelne Deponie betrachtet wird oder wie im Nationalen Inventarbericht die Gesamtheit aller Deponien in Deutschland.

Dabei gilt:

$$DDOC_m = W \times DOC \times DOC_f \times MCF \quad (6)$$

mit:

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DDOC <sub>m</sub> | Masse des deponierten abbaubaren organischen Kohlenstoffs, der unter den in der Deponie herrschenden Bedingungen zersetzt wird [Gg]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| W                 | Masse des deponierten Abfalls [Gg Abfall]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| DOC               | Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs am deponierten Abfall im Jahr der Deponierung [Gg C/Gg Abfall]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| DOC <sub>f</sub>  | Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs, der unter den in der Deponie herrschenden Bedingungen anaerob abbaubar ist [-].<br>Bei dem restlichen Kohlenstoff handelt es sich um Kohlenstoff, der über lange Zeit im Deponiekörper verbleibt, ohne anaerob abgebaut zu werden.                                                                                                                                                                                                                                             |
| MCF               | Methan-Korrektur-Faktor für den Kohlenstoffverlust durch aeroben Abbau für das Jahr der Ablagerung [-]<br>Für die Emissionsbeiträge aller Abfälle, die zwischen 1950 und 1972 abgelagert wurden, wird in Deutschland mit einem MCF von 0,6 gerechnet. Für den Zeitraum 1973-1989 wird für die neuen Bundesländer ein MCF von 0,6 und für die alten Bundesländer ein MCF von 1 angesetzt. Die Emissionen aus den Abfällen, die seit 1990 abgelagert wurden, werden im Nationalen Inventarbericht mit einem MCF von 1 berechnet. |

Angesetzt werden unterschiedliche DOC-Anteile für verschiedene Abfallfraktionen. Damit gilt:

$$DOC = \sum_i (DOC_i \cdot W_i) \quad (7)$$

mit:

|                  |                                                                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DOC <sub>i</sub> | Anteil an abbaubarem organischem Kohlenstoff in der Abfallfraktion i bezogen auf die Feuchtmasse [Gg C / Gg Abfall] |
| W <sub>i</sub>   | Anteil der Abfallfraktion i am Deponiegut bezogen auf die Feuchtmasse [-]                                           |

Obwohl das Methanbildungspotential  $L_0$  nicht unmittelbarer Bestandteil der IPCC-Berechnungsmethodik ist, kann es aus dem Produkt von  $DDOC_m$ , der Methankonzentration  $F$  und dem Verhältnis des Molekulargewichts von Methan zu Kohlenstoff abgeleitet werden:

$$L_0 = DDOC_m \cdot F \cdot 16/12 \quad (8)$$

mit:

|         |                                                                                        |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_0$   | Methanbildungspotential [Gg CH <sub>4</sub> ]                                          |
| $F$     | Methankonzentration im gebildeten Deponiegas [-]<br>(Default-Wert 0,5 entspricht 50 %) |
| 16/12 = | Molekulargewichtsverhältnis CH <sub>4</sub> /C [-]                                     |

Für jedes einzelne Jahr wird die Gesamtmenge an abbaubarem DOC berechnet, um daraus die Menge an DOC zu berechnen, die in jedem Jahr zu CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> abgebaut wird:

$$DDOCma_t = DDOCmd_t + (DDOCma_{t-1} * e^{-k}) \quad (9)$$

mit:

|                       |                                                                        |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
| t                     | Inventarjahr, für das die Kalkulation durchgeführt wird                |
| DDOCma <sub>t</sub>   | zum Ende des Jahres t im Deponiekörper vorhandenes DDOCm [Gg]          |
| DDOCma <sub>t-1</sub> | zum Ende des Jahres t-1 im Deponiekörper vorhandenes DDOCm [Gg]        |
| DDOCmd <sub>t</sub>   | im Jahr t deponiertes DDOCm [Gg]                                       |
| k                     | Abbaukonstante (Methanerzeugungsrate) [1/a] = ln(2) / t <sub>1/2</sub> |
| t <sub>1/2</sub>      | Halbwertszeit [a]                                                      |

$$DDOCmdecomp_t = DDOCma_{t-1} * (1 - e^{-k}) \quad (10)$$

mit:

|                          |                                                         |
|--------------------------|---------------------------------------------------------|
| t                        | Inventarjahr, für das die Kalkulation durchgeführt wird |
| DDOCmdecomp <sub>t</sub> | im Jahr t anaerob abgebautes DDOCm [Gg]                 |

Die Abbaureaktion beginnt bei Verwendung dieser Formel jeweils am 1. Januar des Jahres nach der Ablagerung. Im Fall einer gleichbleibenden Deponierungsmenge im Jahresverlauf entspricht dies einem mittleren Zeitversatz ab dem Zeitpunkt der Deponierung bis zum Beginn des anaeroben Abbaus (Verzögerungszeit / delay time) von 6 Monaten. Bei einer Betrachtung der langfristigen Deponiegasbildung über das erste Ablagerungsjahr hinaus ist diese Verzögerungszeit von untergeordneter Bedeutung.

Für die Berechnung wird ein Multi-Phasen-Modell verwendet, das für die einzelnen Abfallfraktionen mit deren unterschiedlich abbaubaren Anteilen und unterschiedlichen Halbwertszeiten rechnet und diese anschließend aufsummiert.

Zur Ermittlung der CH<sub>4</sub>-Emissionen, d.h. des Anteils, der nicht erfasst wird und in die Atmosphäre entweicht, wird dann das erfasste und abgepackelte oder energetisch genutzte Methan vom erzeugten Methan abgezogen. Ergänzend wird ein Korrekturfaktor OX angewandt, der die Oxidation des Methans in den Deckschichten der Deponien berücksichtigt:

$$CH_4 \text{ emittiert in Jahr } t \text{ (Gg/Jahr)} = (CH_4 \text{ erzeugt in Jahr } t - R(t)) * (1 - OX) \quad (11)$$

mit:

|                           |                                                                                                         |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CH <sub>4</sub> emittiert | im Jahr t emittierte Methanmenge [Gg CH <sub>4</sub> ]                                                  |
| R(t)                      | gefasste und behandelte oder verwertete (recovered – zurückgewonnene) Methanmenge [Gg CH <sub>4</sub> ] |
| OX                        | Oxidationsfaktor, Anteil an Methan, das in der Deponiedeckschicht oxidiert wird [-]                     |

Für die Berechnung müssen die Mengen an deponiertem Siedlungsabfall bekannt sein bzw. bestimmt werden. Für die FOD-Methode muss das Aufkommen an abgelagertem Siedlungsabfall für eine einzelne Deponie seit Beginn der Ablagerung auf Jahresbasis ermittelt werden. Der

deponierte Siedlungsabfall soll nach den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) differenziert nach Abfallarten rechnerisch angesetzt (oder zumindest geschätzt) werden, da die Emissionsberechnungen darauf basieren, dass die einzelnen organischen Abfallfraktionen unterschiedliche DOC-,  $\text{DOC}_f$ - und k-Werte aufweisen.

Hier liegt häufig ein Defizit an belastbaren Angaben zu den abgelagerten Abfallfraktionen vor, so dass im Folgenden auf die Entwicklung deponierter Abfallmengen und deren Zusammensetzung in Deutschland näher eingegangen wird.

#### **3.4.4.3 Deponierte Abfallmengen**

Mit dem FOD-Modell können die Emissionen aus dem deponierten Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbe- und Industrieabfälle, dem deponierten Klärschlamm oder den Rückständen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung berechnet werden.

Deren Ablagerungsmengen und räumliche Zuordnung im Deponiekörper sollten „im Idealfall“ über die Dokumentation des Verfüllbetriebs (Abfallannahme und Kontrolle) und ein Ablagerungskataster bekannt sein. Häufig wurden diese Angaben in der Vergangenheit jedoch nicht differenziert erhoben oder nachvollziehbar dokumentiert, auch wenn die Erhebungen der deponierten Mengen an Siedlungsabfällen in den alten Bundesländern auf Grundlage des Umweltstatistikgesetzes von 1974 bereits im Jahr 1975 begannen. Das gilt insbesondere, wenn auf die jährlich deponierten einzelnen organischen Abfallfraktionen wie Vegetabilien, Papier, Grünabfälle, Textilien usw. geschlossen werden soll.

Im Nationalen Inventarbericht wird zu den Abfallmengen allgemein ausgeführt, dass in der ehemaligen DDR in den 80er Jahren etwa 190 kg Abfall pro Person und Jahr deponiert wurden, während es in den alten Bundesländern in diesem Zeitraum ca. 330 kg Abfall pro Person und Jahr waren. Nach 1990 nähern sich dann die Abfallmengen pro Person in beiden Teilen Deutschlands langsam an.

Zur Einordnung und Plausibilitätsprüfung von Angaben zu deponierten Hausmüllmengen können Referenzwerte bezogen auf „pro Kopf und Tag“ herangezogen werden, sofern die Einwohnerzahl des Einzugsgebiets einer Deponie bekannt ist. In Deutschland hat die Deponierung von Siedlungsabfällen seit 2005 sehr stark abgenommen. Dieser Trend spiegelt sich auch in der Pro-Kopf-Rate des deponierten Hausmülls wider (Tabelle 45). Diese Abfälle werden nahezu vollständig in Verbrennungsanlagen (Abfallverbrennungsanlagen oder Mitverbrennung in industriellen Feuerungsanlagen) und mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) entsorgt. Die Pro-Kopf-Menge bei Siedlungsabfällen ist dagegen im Wesentlichen konstant geblieben (Tabelle 46).

**Tabelle 45: Pro-Kopf-Mengen an deponiertem Hausmüll im Zeitraum 1990 – 2022 (NIR 2020 und 2024)**

|                                 | Einheit     | 1990 | 1991  | 1992 | 1993 | 1994 |
|---------------------------------|-------------|------|-------|------|------|------|
| Deponierte Abfallmenge pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 1,6  | 1,42  | 1,22 | 1,03 | 0,94 |
|                                 | Einheit     | 1995 | 1996  | 1997 | 1998 | 1999 |
| Deponierte Abfallmenge pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 0,86 | 0,77  | 0,61 | 0,54 | 0,57 |
|                                 | Einheit     | 2000 | 2001  | 2002 | 2003 | 2004 |
| Deponierte Abfallmenge pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 0,55 | 0,51  | 0,45 | 0,39 | 0,34 |
|                                 | Einheit     | 2005 | 2006  | 2007 | 2008 | 2009 |
| Deponierte Abfallmenge pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 0,18 | 0,05  | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
|                                 | Einheit     | 2010 | 2011  | 2012 | 2013 | 2014 |
| Deponierte Abfallmenge pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 0,04 | 0,04  | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
|                                 | Einheit     | 2015 | 2016  | 2017 | 2018 | 2019 |
| Deponierte Abfallmenge pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 0,03 | 0,035 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
|                                 | Einheit     | 2020 | 2021  | 2022 |      |      |
| Deponierte Abfallmenge pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 0,02 | 0,03  | 0,02 |      |      |

**Tabelle 46: Pro-Kopf-Mengen an Siedlungsabfall im Zeitraum 1995 – 2022 (NIR 2020 und 2024)**

|                                         | Einheit     | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|-----------------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 1,72 | 1,77 | 1,81 | 1,79 | 1,76 |
|                                         | Einheit     | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 1,78 | 1,75 | 1,77 | 1,67 | 1,63 |
|                                         | Einheit     | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 1,57 | 1,57 | 1,62 | 1,64 | 1,65 |
|                                         | Einheit     | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 1,68 | 1,72 | 1,69 | 1,68 | 1,72 |
|                                         | Einheit     | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 1,69 | 1,73 | 1,73 | 1,66 | 1,67 |
|                                         | Einheit     | 2020 | 2021 | 2022 |      |      |
| Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf | kg/Kopf/Tag | 1,68 | 1,70 | 1,71 |      |      |

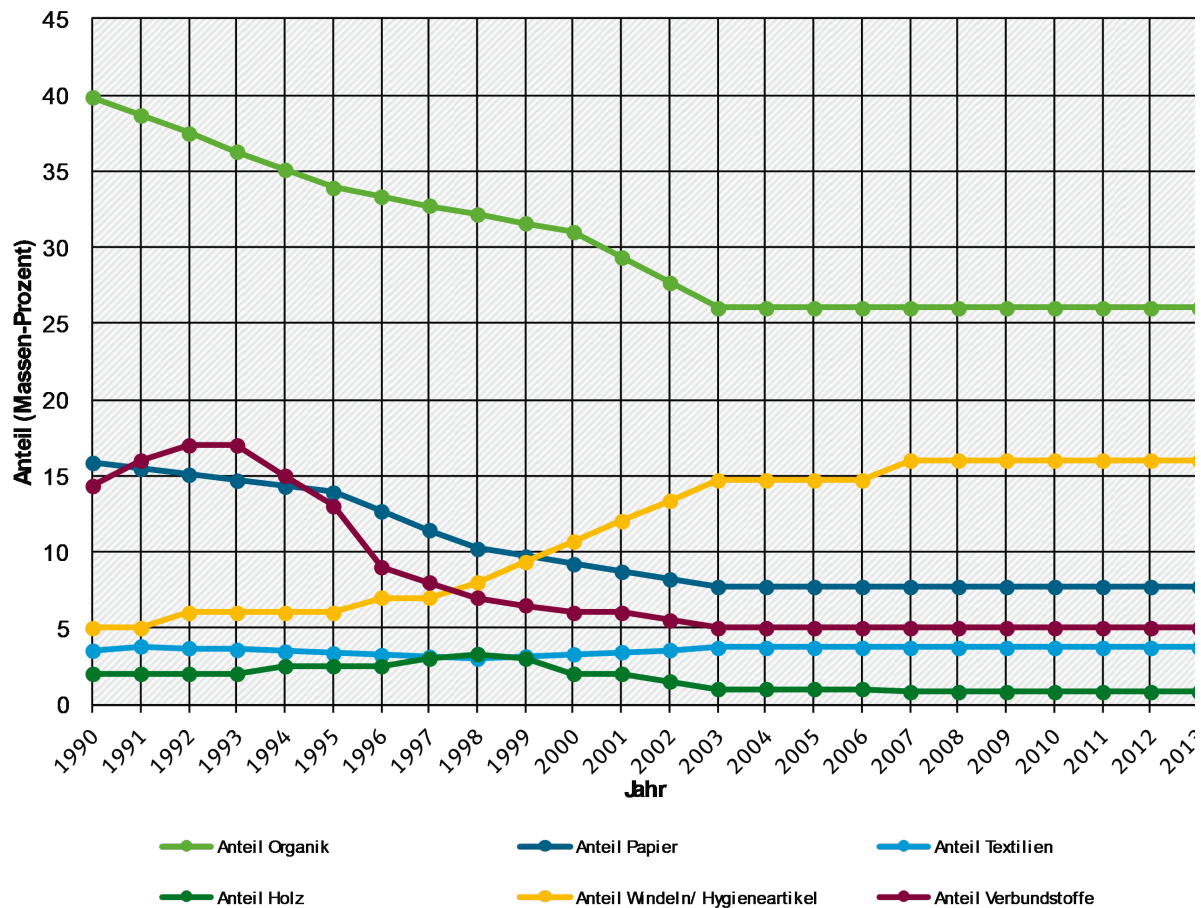
#### 3.4.4.4 Abfallzusammensetzung

Die Inventarberechnungen für eine Deponie zur Emissionsprognose erfordern eine Aufteilung in die deponierten Abfallfraktionen Organik (z.B. Vegetabilien), Garten- und Parkabfälle, Papier, Holz, Windeln und Textilien, Verbundstoffe, Klärschlamm und MBA-Output. Diese wurden in der Vergangenheit häufig nicht in dieser Detaillierung erfasst, sondern eher als gemischte Siedlungsabfälle ausgewiesen. Dieses erschwert die Emissionsprognose, da in Deutschland insbesondere die Siedlungsabfälle und andere Abfallmengen, die bis 2005 deponiert wurden, den aktuellen Gashaushalt und die resultierenden Methanemissionen bestimmen. Die vor 2005 deponierten Abfälle sollten daher für die Berechnungen den oben genannten Fraktionen zugeordnet werden.

Sofern keine derartigen differenzierten Angaben für einen Deponiestandort vorliegen, kann in Anlehnung an Angaben im Nationalen Inventarbericht auf Referenzangaben zahlreicher Studien zur Abfallzusammensetzung der gemischten Siedlungsabfälle zurückgegriffen werden, um die Abfallfraktionen mit organischen Anteilen im Ablagerungsverlauf zu quantifizieren.

Aus Studien und Untersuchungen seit den 80er Jahren wurden Zeitreihen der Abfallzusammensetzung zwischen 1980 und 2013 bestimmt (siehe Abbildung 26 für den Zeitraum 1990 - 2013).

**Abbildung 26: Trend in der Zusammensetzung des Hausmülls mit gasbildungsrelevanten Anteilen zwischen 1990 und 2013 (NIR, 2023)**



Quelle: UBA/NIR (2023)

Derartige Auswertungen wurden sowohl für Hausmüll als auch für hausmüllartige Gewerbeabfälle und für Sperrmüll durchgeführt, die in den nationalen Statistiken getrennt ausgewiesen werden. Sie können ebenfalls zur Orientierung herangezogen werden, sofern keine deponie-spezifischen Angaben dazu verfügbar sind. So zeigt Tabelle 47 die anteilige Zusammensetzung der organischen Abfallfraktionen für diese drei Siedlungsabfallströme.

Für Zeiträume vor 1975 können die Referenzangaben des Jahres 1975 angesetzt werden.

**Tabelle 47: Referenzangaben zu Anteilen organischer Abfallfraktionen im Hausmüll, hausmüllartigen Gewerbeabfällen und Sperrmüll im Zeitraum 1975 – 2020 (abgeleitet aus NIR, 2024)**

| Jahr | Hausmüll       |               |                  |             |                                 |                       | Hausmüllartige Gewerbeabfälle |               |                  |             |                       | Sperrmüll      |               |                  |             |
|------|----------------|---------------|------------------|-------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------|------------------|-------------|-----------------------|----------------|---------------|------------------|-------------|
|      | Anteil Organik | Anteil Papier | Anteil Textilien | Anteil Holz | Anteil Windeln/ Hygiene-artikel | Anteil Verbund-stoffe | Anteil Organik                | Anteil Papier | Anteil Textilien | Anteil Holz | Anteil Verbund-stoffe | Anteil Organik | Anteil Papier | Anteil Textilien | Anteil Holz |
| 1975 | 42%            | 19%           | 2%               | 2%          | 1%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1976 | 42%            | 19%           | 2%               | 2%          | 1%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1977 | 42%            | 19%           | 2%               | 2%          | 1%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1978 | 42%            | 19%           | 2%               | 2%          | 1%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1979 | 42%            | 19%           | 2%               | 2%          | 1%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1980 | 42%            | 19%           | 2%               | 2%          | 1%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1981 | 43%            | 19%           | 2%               | 2%          | 2%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1982 | 44%            | 18%           | 2%               | 2%          | 2%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1983 | 44%            | 18%           | 2%               | 2%          | 2%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1984 | 45%            | 18%           | 2%               | 2%          | 3%                              | 6%                    | 22%                           | 22%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1985 | 46%            | 18%           | 2%               | 2%          | 3%                              | 6%                    | 22%                           | 21%           | 2%               | 2%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1986 | 45%            | 17%           | 2%               | 2%          | 3%                              | 8%                    | 22%                           | 21%           | 1%               | 3%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1987 | 43%            | 17%           | 3%               | 2%          | 3%                              | 9%                    | 22%                           | 20%           | 1%               | 4%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1988 | 42%            | 17%           | 3%               | 2%          | 4%                              | 11%                   | 22%                           | 20%           | 1%               | 4%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 50%         |
| 1989 | 41%            | 16%           | 3%               | 2%          | 4%                              | 13%                   | 22%                           | 19%           | 1%               | 5%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 49%         |
| 1990 | 40%            | 16%           | 4%               | 2%          | 5%                              | 14%                   | 22%                           | 19%           | 1%               | 6%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 48%         |
| 1991 | 39%            | 15%           | 4%               | 2%          | 5%                              | 16%                   | 22%                           | 18%           | 1%               | 6%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 47%         |
| 1992 | 37%            | 15%           | 4%               | 2%          | 6%                              | 17%                   | 24%                           | 18%           | 1%               | 7%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 46%         |
| 1993 | 36%            | 15%           | 4%               | 2%          | 6%                              | 17%                   | 26%                           | 17%           | 2%               | 8%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 45%         |
| 1994 | 35%            | 14%           | 3%               | 3%          | 6%                              | 15%                   | 27%                           | 15%           | 2%               | 8%          | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 44%         |
| 1995 | 34%            | 14%           | 3%               | 3%          | 6%                              | 13%                   | 26%                           | 15%           | 2%               | 12%         | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 43%         |
| 1996 | 33%            | 13%           | 3%               | 3%          | 7%                              | 9%                    | 25%                           | 14%           | 2%               | 12%         | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 1997 | 33%            | 11%           | 3%               | 3%          | 7%                              | 8%                    | 24%                           | 14%           | 2%               | 12%         | 2%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 1998 | 32%            | 10%           | 3%               | 3%          | 8%                              | 7%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 1999 | 32%            | 10%           | 3%               | 3%          | 9%                              | 7%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2000 | 31%            | 9%            | 3%               | 2%          | 11%                             | 6%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2001 | 29%            | 9%            | 3%               | 2%          | 12%                             | 6%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2002 | 28%            | 8%            | 4%               | 2%          | 13%                             | 6%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2003 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 15%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2004 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 15%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2005 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 15%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2006 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 15%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2007 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2008 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2009 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2010 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2011 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2012 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 1%               | 12%         | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2013 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2014 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2015 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2016 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2017 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2018 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2019 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |
| 2020 | 26%            | 8%            | 4%               | 1%          | 16%                             | 5%                    | 22%                           | 13%           | 0%               | 0%          | 5%                    | 2%             | 2%            | 5%               | 42%         |

Weitere Angaben im Nationalen Inventarbericht zur Abfallbeschaffenheit (NIR 2024):

- Zusammensetzung des Hausmülls in der ehemaligen DDR in den 80er Jahren: 28 % Vegetabilien, 14 % Papier/Pappe, 2,3 % Holz, Gummi, Verbundstoffe, 3 % Textilien. Der Hausmüll machte aber nur 16 % der gesamten deponierten Abfallmengen aus. Die deponierten Siedlungsabfälle in der ehemaligen DDR sind durch einen geringeren Anteil an biologisch abbaubaren Materialien und durch hohe anorganische Fraktionen (vor allem Asche aus dem Hausbrand) charakterisiert. Nahrungsmittelabfälle wurden gesammelt und als Futtermittel

verwertet. Papier wurde gesammelt und war ebenfalls eine knappe Ressource. Holz und Papier wurden häufig in Öfen zu Heiz- und Kochzwecken verfeuert. Das SERO-Verwertungssystem erfasste effizient den relativ geringen Anteil an Kunststoffverpackungen. Glas gab es in Pfandsystemen bzw. wurde ebenfalls gesammelt. Insgesamt war die Ökonomie der ehemaligen DDR vor allem durch die Knappheit von Ressourcen gekennzeichnet, was zu einer effizienten Abfallverwertung führte. Die deponierten Abfallmengen der Haushalte bestanden zu großen Anteilen aus Asche aus dem Hausbrand.

- ▶ Jüngere Studien zur Abfallzusammensetzung bestätigten die Annahmen zur Zusammensetzung der gemischten Müllfraktionen, so dass diese ab 2007 konstant fortgeschrieben wurden (NIR, 2024). Nachdem nach 2005 die Deponierung von gemischten Siedlungsabfällen durch die gesetzlichen Veränderungen sehr stark zurückgegangen ist (von 5,8 Mio. Tonnen im Jahr 2004 auf 2.000 Tonnen im Jahr 2013), ist die genaue Erfassung der Restmüllfraktionen für den Zeitraum ab 2005 im Hinblick auf Methanemissionen auch weniger relevant.
- ▶ Als weitere Orientierungshilfe können die Angaben zu allen für die Deponiegasbildung relevanten Abfälle, die zwischen 1990 und 2022 deponiert wurden, genutzt werden, so dass ggf. auch über diese mengenmäßige Verteilung Rückschlüsse auf die entsprechenden Abfallfraktionen, die auf einer Deponie abgelagert wurden, gezogen werden können (Tabelle 48). Für die Bau- und Abbruchabfälle sind die Holzfraktionen berücksichtigt. Die Tabelle 48 zeigt nochmals die Auswirkungen, dass seit dem 1. Juni 2005 in Deutschland nur noch Abfälle mit einem Gesamtkohlenstoffgehalt < 3 % und mechanisch-biologisch behandelte Siedlungsabfälle abgelagert werden dürfen. Die nach diesem Zeitpunkt abgelagerten Abfallmengen sind stark zurückgegangen und tragen nur noch in sehr geringem Maße zur Gasbildung bei. Auch gegenüber 2010 haben sich die biologisch abbaubaren Abfallfraktionen noch weiter verringert. Bei einer einzelnen Deponie können beträchtliche Abweichungen auftreten, gleichwohl können die aufgeführten Mengenverhältnisse für eine Plausibilitätsprüfung herangezogen werden.

**Tabelle 48: Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, die zwischen 1990 und 2022 deponiert wurden, aufgeteilt nach Abfallfraktionen (NIR, 2024, Destatis, 2024, Destatis A, 2024)**

| Abfallfraktion          | Einheit | 1990   | 1995  | 2000  | 2005  | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-------------------------|---------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Organik                 | [kt]    | 16.844 | 7.515 | 3.202 | 813   | 6    | 1    | 2    | 1    | 0    | 1    | 1    | 4    | 1    |
| Garten- und Parkabfälle | [kt]    | 0      | 0     | 54    | 26    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Papier                  | [kt]    | 9.095  | 4.372 | 1.421 | 426   | 7    | 1    | 4    | 9    | 8    | 5    | 5    | 12   | 9    |
| Holz                    | [kt]    | 2.658  | 1.889 | 1.037 | 238   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 69   | 0    |
| Windeln + Textilien     | [kt]    | 3.572  | 2.082 | 2.241 | 519   | 5    | 2    | 3    | 2    | 2    | 1    | 1    | 10   | 1    |
| Verbundstoffe           | [kt]    | 5.587  | 2.644 | 621   | 155   | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Klärschlamm             | [kt]    | 2.494  | 1.024 | 452   | 634   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| MBA-Output              | [kt]    | 0      | 0     | 370   | 1.170 | 991  | 714  | 618  | 610  | 515  | 508  | 505  | 466  | 502  |

#### **3.4.4.5 Erläuterungen zu Faktoren zur Berechnung des Gasbildungspotentials und zur Prognose der Deponiegasemissionen**

Im Hinblick auf die Ermittlung des Gasbildungspotentials und der Deponiegasemissionen von Deponien werden im Folgenden die wesentlichen Faktoren und zugehörigen Vorgabewerte näher betrachtet. Um deren praxisgerechte Anwendung zur Erfassung des Gashaushalts eines Deponiestandorts zu ermöglichen, werden dazu ergänzende fachliche Informationen aufbereitet und Bandbreiten, in denen Vorgabewerte standortbezogen angepasst werden können, angegeben. Auch hierfür wird u.a. auf entsprechende Ausführungen im Nationalen Inventarbericht, in VDI-Richtlinien und im Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“ Bezug genommen.

##### **3.4.4.5.1 MCF (Methankorrekturfaktor)**

Abfälle wurden in Deutschland bis zur Schaffung des ersten Abfallgesetzes 1972 zumeist auf ungeordnete Deponien gebracht, die nach 1972 geschlossen wurden. Für den MCF wird im Nationalen Inventarbericht für die alten Bundesländer gemäß der IPCC-Methodik wie bereits ausgeführt bis 1972 der Default-Wert von 0,6 für „nicht zugeordnete Deponien“ angenommen. Nach 1972 wurden die Abfälle auf geordnete Deponien verbracht, so dass seitdem ein MCF von 1 angesetzt wird.

Für das Gebiet der ehemaligen DDR wird für den Zeitraum von 1950 bis 1990 ein MCF von 0,6 (Default für nicht zugeordnete Deponien) angenommen. Mit der Wiedervereinigung wurde das bundesdeutsche Abfallgesetz auf die Gebiete der neuen Bundesländer ausgedehnt. Wilde Mülldeponien wurden 1990 geschlossen, weiter zu betreibende Anlagen wurden gesichert, saniert und nach Standard des bundesdeutschen Abfallrechts ausgebaut. Ab dem Jahr 1990 wird im Nationalen Inventarbericht daher auch für die neuen Bundesländer ein MCF von 1 wie für das gesamte Bundesgebiet angenommen.

In der IPCC-Berechnungsmethodik wirkt sich der MCF immer nur auf die jährlich neu abgelagerte Abfallmenge aus. D.h. der in dieser Abfallmenge enthaltene, anaerob in der Deponie abbaubare Kohlenstoff (DDOCm) wird mittels MCF einmalig nach unten korrigiert (sofern  $MCF < 1$ ).

Der weitere anaerobe Abbau dieses DDOCm erfolgt nach dem Ablagerungsjahr dann gemäß Zerfallsgesetz (Reaktion 1. Ordnung). Damit wird der anaerobe Abbau des DDOCm in seiner zeitlichen Entwicklung erfasst. Der DDOCm und dadurch auch die jährlich gebildete Methanmenge gehen schließlich gegen null, d.h. das Methanbildungspotential wurde vollständig umgesetzt. Der anaerobe Abbau wird mittels der IPCC-Berechnungsmethodik somit auch noch nach dem Ende der Ablagerungsphase weiter beschrieben.

Der zeitliche Verlauf des aeroben Abbaus kann mit der IPCC-Methodik allerdings nicht beschrieben werden. Das bedeutet, die IPCC-Methodik ist nicht geeignet für die Beschreibung des Einflusses von Sauerstoffzutritt auf bereits abgelagerten Abfall mit entsprechendem Gehalt an DDOCm.

Dies betrifft z.B. auch die nachträgliche Deponiebelüftung älterer Deponien, die bisher im Nationalen Inventarbericht nicht entsprechend berücksichtigt werden kann. (Nur die mit den Belüftungsprojekten einhergehende gesteigerte Gasfassungsrate geht emissionsmindernd in die IPCC-Rechnung ein.)

Da Untersuchungsergebnisse gezeigt haben, dass aerobe Abbauprozesse nicht nur in der ersten Phase der Abfallablagerung, sondern auch langfristig die Methanbildung reduzieren können, sofern der Sauerstoffzutritt aus der Atmosphärenluft anhält oder erneut auftritt (Stegmann et al., 2018), wäre es praxisgerecht, wenn diese Auswirkungen auch bei der Gasprognoserechnung

berücksichtigt werden könnten. Der Umfang des Sauerstoffzutritts hängt maßgeblich von der Art und Gaswegigkeit der Oberflächenabdeckung bzw. -abdichtung einer Deponie ab, über die z.B. infolge von Luftdruckschwankungen Gasaustauschprozesse mit der Atmosphäre stattfinden. Bei kleineren, flachen Deponien können die resultierenden aeroben Abbauprozesse eine größere Auswirkung auf den Kohlenstoffumsatz haben als bei größeren Deponien mit großen Ablagerungsmächtigkeiten. Dort sind eher nur die oberflächennahen Ablagerungshorizonte davon beeinflusst.

Als erweiterter Ansatz könnte mit dem MCF auch die emissionsmindernde Wirkung des aeroben DDOCm-Teilabbaus, der **nach** dem Jahr der Ablagerung stattfindet, erfasst werden. Durch eine entsprechende Absenkung des MCF-Werts könnte der DDOCm und damit das Methanbildungspotential des abgelagerten Abfalls nach unten korrigiert werden. Zu beachten wäre hierbei, dass mit dieser Vorgehensweise zwar die über die komplette Lebensdauer der Deponie erzielte, gesamte Methanminderung (Vermeidung) durch aeroben Abbau angerechnet werden kann, die zeitliche Verteilung dieser Minderung im Modell allerdings nicht korrekt dargestellt wird. Zudem ist es schwer abzuschätzen, wie hoch diese gesamte Minderung durch aeroben Abbau sein kann.

Für eine standortbezogene Deponiegasprognose ist hinsichtlich der Festlegung eines solchen „korrigierten“ MCF-Werts die Kenntnis zur Dauer der offenen Ablagerungsflächen im Verfüllbetrieb und die Kapselungswirkung der Oberflächenabdichtung von Bedeutung. Auch Daten zur Deponiegasbeschaffenheit können Rückschlüsse auf das Ausmaß eingedrungener Umgebungsluft zulassen.

Als vereinfachte Anpassung könnte der bisher im Nationalen Inventarbericht für die Jahre ab 1972 bzw. 1990 mit 1 angesetzte Wert bei Deponien, die z.B. über längere Zeit offene Einbauflächen aufgewiesen haben, was einen erhöhten Luft- bzw. Sauerstoffzutritt aus der Atmosphäre begünstigte, der MCF pauschal auf 0,9 abgesenkt werden. D.h. der für anaerobe Abbauprozesse zugängliche DDOCm bzw. das resultierende Methanbildungspotential wäre um 10% reduziert.

#### 3.4.4.5.2 DOC

Für den DOC, den Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Abfall, werden im Nationalen Inventarbericht nationale Werte sowie Default-Faktoren des IPCC verwendet (mit Bezug auf Feuchtmasse). Eine Übersicht über die verwendeten DOC-Werte ist gemeinsam mit den Angaben zum DOC<sub>i</sub>, den Halbwertszeiten und zugehörigen Faktoren  $k$  für die unterschiedlichen organischen Abfallfraktionen in Tabelle 49 enthalten. In Klammern sind die IPCC-Vorgabewerte eingefügt, die aufgrund von Auswertungen zum Gashaushalt und zur Deponiegasbildung auf Deponien in Deutschland durch nationale angepasste Vorgabewerte ersetzt wurden. Diese angepassten Werte wurden erstmals im Nationalen Inventarbericht 2023 zur Ermittlung der Methanemissionen und des durchschnittlichen Gasfassungsgrads aller Abfallablagerungen in Deutschland aufgenommen (NIR, 2023). Ferner wurden diese angepassten Werte auch in den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“ zur Deponiegasprognose übernommen:

- Bezogen auf die Trockenmasse geben die 2006 IPCC Guidelines für Klärschlamm einen Default DOC von 50% an, welcher rechnerisch einem Feuchtmassegehalt von etwa 10% entspricht. In Deutschland wurden zwischen den 1980er Jahren und 2005 nahezu ausschließlich mechanisch entwässerte Klärschlämme mit einem Trockenmassegehalt von etwa 30% abgelagert. Auf Basis des Trockenmassegehalts der Gesamtmenge der deponierten kommunalen und industriellen Klärschlämme wurde daraus ein gewichteter DOC Mittelwert von 15% abgeleitet. Seit dem 1. Juni 2005 dürfen in Deutschland nur noch Abfälle mit einem Gesamtkohlenstoffgehalt < 3 % auf Deponien abgelagert werden. Dies gilt auch für

Klärschlamm, so dass ab 2006 ein DOC von 3 % angesetzt wird, weil Klärschlamm nur noch nach entsprechender Vorbehandlung deponiert werden kann (NIR, 2023). Thermisch behandelter Klärschlamm trägt zur Deponiegasbildung folglich nichts mehr bei.

- Für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle (MBA-Abfälle) enthalten die IPCC-Guidelines keine Default-Werte. Eine vom Umweltbundesamt beauftragte Studie zeigte, dass mit der mechanisch-biologischen Behandlung die DOC-Gehalte der Abfälle sehr weitgehend reduziert werden (Stegmann, 2012). Nach einer solchen Behandlung enthält die deponierte Reststofffraktion weniger als 10 % des ursprünglich in den behandelten Abfällen enthaltenen prozentualen DOC-Gehalts. In MBA-Anlagen wird das gesamte Spektrum der Restsiedlungsabfälle und hausmüllartigen Gewerbeabfälle behandelt. Der durchschnittliche DOC der mechanisch-biologisch behandelten Abfälle wird auf 23 % im Ausgangszustand geschätzt, bei einer 90 % Reduktion im Behandlungsprozess ergibt sich ein nationaler DOC-Wert von 2,3 % in den abgelagerten MBA-Abfällen (NIR, 2024).

**Tabelle 49: DOC- und DOC<sub>f</sub>-Werte, Halbwertszeiten und resultierende k-Werte organischer Abfallfraktionen gemäß BQS 10-1 „Deponiegas“ und NIR 2024 (Klammerwerter sind abweichende IPCC-Defaultwerte)**

| Fraktion                | DOC-Werte<br>[%]         | DOC <sub>f</sub> -Werte<br>[-] | Halbwertszeit t <sub>1/2</sub><br>[a] | CH <sub>4</sub> Erzeugungsrate<br>(k-Wert)*<br>[a <sup>-1</sup> ] |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Organik                 | 15%                      | 0,5                            | 4                                     | 0,185                                                             |
| Garten- und Parkabfälle | 20%                      | 0,5                            | 7                                     | 0,099                                                             |
| Papier und Pappe        | 40%                      | 0,5                            | 7 (12)                                | 0,099 (0,058)                                                     |
| Holz und Stroh          | 43%                      | 0,1 (0,5)                      | 50 (23)                               | 0,014 (0,030)                                                     |
| Textilien               | 24%                      | 0,5                            | 12                                    | 0,058                                                             |
| Windeln                 | 24%                      | 0,5                            | 12                                    | 0,058                                                             |
| Verbundstoffe           | 10% (-)                  | 0,5 (-)                        | 12 (-)                                | 0,058 (-)                                                         |
| Klärschlamm             | 15% (10%),<br>ab 2006 3% | 0,5                            | 4                                     | 0,173                                                             |
| MBA-Abfälle             | 2,3% (-)                 | 0,5 (-)                        | 12 (-)                                | 0,058 (-)                                                         |

\*k=ln2/t<sub>1/2</sub>

### 3.4.4.5.3 DOC<sub>f</sub>

Der DOC<sub>f</sub>, der Anteil des in Deponiegas umwandelbaren DOC, wird nach Studien und Auswertungen (z.B. Baumeler et al., 1998, Ramke, 2010, Wang & Barlaz, 2016) für die Fraktion Holz und Stroh angepasst und für die übrigen Fraktionen wie bisher mit 50 % bzw. 0,5 angenommen, was den IPCC-Defaults entspricht. Die genannten Literaturstellen lassen auf ein Gasbildungspotential von Holz im Bereich von 21 – 57 m<sup>3</sup>/Mg FM schließen, während die in früheren Nationalen Inventarberichten verwendeten Defaultwerte einem Gasbildungspotential für Holz von 402 m<sup>3</sup>/Mg FM entsprachen. Die biologische Verfügbarkeit und der Kohlenstoffabbau unter anaeroben Milieubedingungen ist folglich so gering, dass der DOC<sub>f</sub>-Wert für Holz (die Masse an

Stroh ist bei der Deponierung von untergeordneter Bedeutung) von 50 % auf 10 % abgesenkt wurde (Stegmann et al., 2018).

3.4.4.5.4 F - Anteil des CH<sub>4</sub> am Deponiegas

Zur Ermittlung der Methanbildung wird gemäß den IPCC-Vorgaben der Konzentrationswert F zu 50% bezogen auf das Gasvolumen angenommen.

In den letzten Jahren sind die Methankonzentrationen im gefassten Deponiegas auf den deutschen Deponien rückläufig (Tabelle 49). Dieser Rückgang der Methankonzentrationen ist auf die abnehmende Deponiegasbildung und auf anwachsende Übersaugungseffekte im Gasfassungsbetrieb mit resultierenden Oxidationseffekten im Deponiekörper, insbesondere im oberflächennahen Bereich, zurückzuführen. Der Effekt verstärkt sich noch aufgrund der rückläufigen Gasbildung und des rückläufigen Deponiegasdrucks, was anwachsende Gasaustauschprozesse mit der Atmosphäre z.B. infolge von Luftdruckschwankungen begünstigt.

Der in Tabelle 50 ausgewiesene Bereich der Methankonzentrationen im erfassten Deponiegas für das Jahr 2022 liegt mit 27 – 39% unter dem IPCC-Vorgabewert von F = 50%, der zur Berechnung der Methanbildung über den gesamten Zeitraum der Deponiegasentstehung angesetzt wird. Der Methananteil F ist folglich nicht zu verwechseln mit dem Methananteil im abgesaugten Deponiegas. Bei entsprechenden Gasanalysen könnte zur Prognose der Methanemissionen die tatsächliche Methankonzentration der Deponie bzw. des Deponieabschnitts herangezogen werden, was bei vielen Standorten eine geringere prognostizierte Methanemission zur Folge hätte.

Tabelle 50: Anteil CH<sub>4</sub> am Deponiegas, Entwicklung im Zeitraum 2004 – 2022 bei Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase sowie in der Nachsorgephase (NIR, 2024, Destatis, 2024)

| Anteil CH <sub>4</sub> am Deponiegas               | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2016 | 2018 | 2020 | 2022 |
|----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase | 49%  | 50%  | 49%  | 48%  | 48%  | 47%  | 45%  | 42%  | 41%  | 39%  |
| Deponien in der Nachsorgephase                     | k.A. | k.A. | k.A. | 42%  | 40%  | 38%  | 32%  | 32%  | 32%  | 27%  |

3.4.4.5.5 Halbwertszeit und abgeleitete k-Werte

Das IPCC-Berechnungsmodell ist ein Multi-Phasen-Modell, das die unterschiedlichen Halbwertszeiten und die daraus abgeleiteten k-Werte (Methanerzeugungsraten) der verschiedenen Abfallfraktionen berücksichtigt. Tabelle 49 dokumentiert die verwendeten Halbwertszeiten sowie die Methanerzeugungsraten für die Abfallfraktionen. Die Halbwertszeit entspricht der Zeit, die für die Zersetzung des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Abfall auf die Hälfte seiner Ausgangsmasse benötigt wird. Der k-Wert wird aus den jeweiligen Halbwertszeiten  $t_{1/2}$  der unterschiedlichen Fraktionen abgeleitet:  $k = \ln 2/t_{1/2}$ .

Untersuchungen und Auswertungen zum Gashaushalt haben dazu geführt, dass einige Halbwertszeiten und resultierenden k-Werte für die Fraktion Papier / Pappe und Holz für durchschnittliche Ablagerungsbedingungen auf Deponien in Deutschland angepasst wurden

(Stegmann et al. 2018). Auch diese Anpassungen wurden wie beim  $\text{DOC}_f$  erstmals im Nationalen Inventarbericht 2023 berücksichtigt.

Tendenziell wurde die Fraktion Papier in der Gesamtheit aller Deponien schneller biologisch abgebaut als es die Halbwertszeit von 12 Jahren wiedergibt. Zahlreiche Untersuchungen an Deponien in Deutschland haben gezeigt, dass im Deponiekörper weniger Papier vorhanden ist, als es nach den abgelagerten Massen und der von der Halbwertszeit geprägten Abbaugeschwindigkeit gemäß dem früheren NIR-Ansatz von 12 Jahren zu erwarten gewesen wäre. Zur Anpassung an die ermittelten Bedingungen im Deponiekörper wurde die Halbwertszeit für Papier von 12 auf 7 Jahre reduziert, was eine Veränderung des k-Werts von 0,058 auf 0,099 bedeutet.

Erkundungsbohrungen und Schürfe auf Deponien wie auch Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass die Holzfraktion unter anaeroben Bedingungen kaum abgebaut wird, zumal wenn es sich um grobstückige Holzbestandteile handelt, die für die Mikroorganismen kaum zugänglich sind. Der biologische Abbau erstreckt sich nach den vorliegenden Ergebnissen wie auch ergänzenden Laboruntersuchungen zudem über einen deutlich längeren Zeitraum, als es mit einer Halbwertszeit von 23 Jahren prognostiziert wird. Holz ist - wenn überhaupt unter anaeroben Milieubedingungen - nur unter sehr hohen Halbwertszeiten abbaubar. Daher wurde die Halbwertszeit für durchschnittliche Verhältnisse auf den Abfallablagerungen in Deutschland im Nationalen Inventarbericht ab 2023 von 23 auf 50 Jahre erhöht, was einer Veränderung des k-Werts als Methan-erzeugungsrate von 0,030 auf 0,014 entspricht.

#### **3.4.4.5.6      Oxidationsfaktor OX**

Für den Oxidationsfaktor OX zur Bestimmung des Anteils an  $\text{CH}_4$ , der in der Deponiedeckschicht oxidiert wird, kann wie im Nationalen Inventarbericht der IPCC-Defaultwert von 0,1 über die gesamte Ablagerungsdauer angesetzt werden. Dieser Wert ist allerdings von der Art der Oberflächenabdeckung bzw. Oberflächenabdichtung abhängig und kann sich über die Ablagerungsdauer verändern:

- ▶ So wurden Altdeponien z.B. nur mit einer Bodenabdeckung versehen oder jüngere Deponien, auf der noch biologisch abbaubare Siedlungsabfälle abgelagert wurden, vorerst mit einer temporären Bodenabdeckung ausgestattet. In diesen Bodenschichten können, sofern sie relativ gleichmäßig von nicht gefasstem Deponiegas durchströmt werden, intensivere Methanoxidationsprozesse ablaufen als es der Defaultwert von 10% bzw. 0,1 ausweist.
- ▶ Der Effekt der natürlichen biologischen Methanoxidation kann noch weiter verstärkt werden, indem die Rekultivierungsschicht einer Deponieoberflächenabdichtung als Methanoxidationsschicht ausgebildet wird. Hinweise dazu enthält der Bundeseinheitliche Qualitätsstandard 7-3 „Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 02.12.2020.
- ▶ Im Projekt „MiMethox“ wurden Methan-Oxidationseffizienzen (Massenbilanz zwischen eintretender und austretender Methanfracht in Analogie zum Oxidationsfaktor) je nach Bodenart und Verdichtungsgrad von 10,4% bis 99,3% ermittelt (Gebert & Pfeiffer, 2017). Hohe Methan-Oxidationseffizienzen werden in Bodenschichten erreicht, die zur Methanoxidation ausgelegt wurden und eine geringe Methanflussrate aufweisen.
- ▶ Der Oxidationsfaktor ist daher auch insofern über die Ablagerungsdauer veränderlich, als dass sich bei nachlassender Gasbildung und daraus resultierender geringerer Durchströmungsgeschwindigkeit in der Boden-/Rekultivierungsschicht eine längere Aufenthaltszeit

einstellt, in der die biologische Methanoxidation durch die Bodenmikroorganismen umfassender ablaufen kann. Allerdings beeinflussen auch hier die witterungsbedingten Temperatur- und Feuchteverhältnisse wie auch Luftdruckschwankungen den Grad der Methanoxidation.

- Bei Deponien, die in der Oberflächenabdichtung eine Konvektionssperre wie eine Kunststoffdichtungsbahn und ein ordnungsgemäß betriebenes Gasfassungssystem aufweisen, tritt kein Methanfluss über die Oberfläche in die Bodenschicht auf. Der Oxidationsfaktor OX ist in diesem Fall zu null anzusetzen.

#### **3.4.4.5.7 Einzelfallbezogene Anpassungen zur Gasprognoserechnung**

Die abgeleiteten durchschnittlichen Annahmen und Vorgabewerte beziehen sich wie erläutert auf die Gesamtheit der Abfallablagerungen in Deutschland. D.h. bei der Deponiegasprognose für eine einzelne Deponie können sich die Bedingungen anders darstellen und von den Durchschnittswerten abweichen. So kann allein schon eine veränderte Abfallzusammensetzung, was die Anteile der unterschiedlichen organischen Abfallfraktionen anbetrifft, zu anderen Ergebnissen bei der Berechnung führen. Ferner können auch die Halbwertszeiten bzw. die Geschwindigkeit der biologischen Abbauprozesse von mehreren Faktoren beeinflusst werden. Beispielhaft seien hier der Wassergehalt und die Durchfeuchtung des Deponiekörpers durch Niederschlags-eintrag genannt, was bei anaeroben Abbauprozessen eine große Auswirkung hat. Sehr trocken eingebaute Siedlungsabfälle oder auch allmählich austrocknende Abfallablagerungen erfahren eine Limitierung der mikrobiologischen Aktivität, was zu einer verzögerten Abnahme oder vollständigen Konservierung des noch vorhandenen Gasbildungspotentials führt. Weiterhin können Limitierungen durch Hemmeffekte auftreten, z.B. bei erhöhten Salzfrachten im Sickerwasser durch die Ablagerung mineralischer Abfälle. Diese Einflüsse führen zu einer tendenziellen Verlängerung der Halbwertszeit.

Vor diesem Hintergrund können Gasprognoserechnungen, die diese Einflüsse nicht unmittelbar rechnerisch erfassen, im Abgleich mit den tatsächlich erfassten Deponiegasmengen zu größeren Abweichungen führen. Gegenüber der Berechnung anhand der erläuterten durchschnittlichen Bedingungen zur Abfallbeschaffenheit und Deponiegasbildung weisen die erfassten Gasmengen derart beeinflusster Deponien darauf hin, dass der Gashaushalt und die Gasbildungsraten häufig stärker von mittel und schwer abbaubaren organischen Verbindungen geprägt werden. Diesem Umstand kann in der Parameterwahl zur Gasprognoserechnung entsprochen werden, indem mittel abbaubare organische Abfallfraktionen mit einer Bandbreite der Halbwertszeit bzw. des k-Werts ausgewiesen werden. So könnte z.B. die Fraktion Papier mit einem Bereich der Halbwertszeit von 7 – 12 Jahren ausgewiesen werden.

Die Festlegung praxisgerechter Faktoren zur Berechnung des standortspezifischen Gasbildungspotentials einer Deponie ist folglich eine Aufgabe, für die möglichst viele verfügbare Angaben zu den Ablagerungsmengen, ihrer Beschaffenheit, zum Wasserhaushalt und zum Kapselungsgrad insbesondere durch die Oberflächenabdichtung herangezogen und bewertet werden sollten. Weitere Hinweise zu den biologischen Abbaubedingungen und der Intensität der biologischen Abbauprozesse können die Sickerwasserbeschaffenheit (Konzentrationen und u.a. Verhältnis von BSB<sub>5</sub> zu CSB) und die Temperaturverhältnisse im Deponiekörper erbringen.

Dieser Sachverhalt wäre auch bei der Gasprognoserechnung in anderen EU-Mitgliedstaaten zu berücksichtigen, da sich dort sowohl die durchschnittliche Abfallzusammensetzung als auch die

Faktoren zur Prognose der Deponiegasbildung anders darstellen können. So sieht die IPCC-Methodik z.B. angepasste Werte für aride und humide Klimaregionen vor (IPCC, 2006).

#### 3.4.4.5.8 Unsicherheiten zu den Annahmen und Bandbreiten der Faktoren

##### *Unsicherheiten und Bandbreiten bei deponierten Abfallmassen und deren Zusammensetzung*

Über den langen Zeitraum von ca. dreißig Jahren, in dem in Deutschland von 1973 bis 2005 eine geordnete Deponierung von biologisch abbaubaren Siedlungsabfällen erfolgte, entstehen zwangsläufig Inkonsistenzen der Zeitreihen. In der Vergangenheit wurden auf den meisten Deponien die abgelagerten Abfallmengen und insbesondere ihre Zusammensetzung nicht so erhoben und dokumentiert, wie es die Gasprognose und Methanemissionsberechnung im Multi-Phasen-Modell erfordert. Zur Ermittlung dieser Angaben ist daher oft ein erheblicher Aufwand erforderlich, um eine Konsistenz der Daten und Zuordnung zu den organischen Abfallfraktionen zu erhalten. Sofern Datenlücken und größere Unsicherheiten verbleiben, können die aufgeführten Referenzangaben zur Zusammensetzung des Hausmülls, hausmüllartiger Gewerbeabfälle und des Sperrmülls und ihre Veränderung über die Zeit zur Plausibilitätsbetrachtung genutzt werden.

In den Erläuterungen zum IPCC Waste Model werden Bandbreiten des DOC (Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs) gemäß Tabelle 51 ausgewiesen. Für MBA-Reststoffe können Untersuchungsergebnisse aus Deutschland herangezogen werden (Stegmann et al., 2012).

**Tabelle 51: DOC-Defaultwerte und Bandbreiten, Bezug auf Feuchtmasse**

| Fraktion                | DOC-Default<br>[%]       | DOC-Bandbreite<br>[%] | Quelle                          |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Organik                 | 15%                      | 8 – 20%               | IPCC, 2006, Volume 5, Chapter 2 |
| Garten- und Parkabfälle | 20%                      | 18 – 22%              | IPCC, 2006, Volume 5, Chapter 2 |
| Papier und Pappe        | 40%                      | 36 – 45%              | IPCC, 2006, Volume 5, Chapter 2 |
| Holz und Stroh          | 43%                      | 39 – 46%              | IPCC, 2006, Volume 5, Chapter 2 |
| Textilien               | 24%                      | 20 – 40%              | IPCC, 2006, Volume 5, Chapter 2 |
| Windeln                 | 24%                      | 18 – 32%              | IPCC, 2006, Volume 5, Chapter 2 |
| Verbundstoffe           | 10%                      | k.A.                  |                                 |
| Klärschlamm             | 15% (10%),<br>ab 2006 3% | k.A.                  |                                 |
| MBA-Abfälle             | 2,3%                     | 1,1 – 4,6%            | Stegmann et al., 2012           |

##### **Unsicherheiten und Bandbreiten bei den gewählten Parametern zur Methanbildung**

Als Orientierung für eine Bandbreite der Parameter zur Methanbildung können die Unsicherheiten bezüglich der Gasbildung gemäß den Angaben im Nationalen Inventarbericht herangezogen werden (NIR, 2024, Stegmann et al. 2018):

- Unsicherheiten bezüglich DOC: ± 10 %

- ▶ Unsicherheiten bezüglich Methanbildungspotenzial  $\text{DDOC}_m$ :  $\pm 20\%$   
bei Default-Werten, bis  $-40\%$  bei organikhaltigen Fraktionen wie z.B. Holz, in Abhängigkeit  
der Holzart
- ▶ Unsicherheiten bezüglich  $\text{MCF} = 1$ :  $-10 - -38\%$
- ▶ Unsicherheiten bezüglich Anteil Methan im Deponiegas  $F = 0,5$ :  $\pm 30\%$  (Unsicherheiten redu-  
zierbar durch Nutzung der Gasanalyseergebnisse im Zuge der Deponieüberwachung)
- ▶ Unsicherheiten bezüglich  $k$ -Wert / Halbwertszeit:
  - Organik (food waste) sowie Klärschlamm (sewage sludge):  $+ 25\%$
  - Papier und Pappe (paper):  $+ 45\%$
  - Holz und Stroh (wood and straw):  $+ 45\%$
  - Textilien (textiles), Windeln (disposable nappies)  $+ 40\%$
  - Verbundmaterialien (composites):  $+ 40\%$

Nach qualifizierter Schätzung des Umweltbundesamtes liegen die Unsicherheiten für die  
Gesamtemissionen von Methan aus Deponien bei  $\pm 20\%$  (NIR, 2024).

### 3.4.5 Hinweise zur Anwendung der Gasprognosemodelle

Deponiegasemissionen lassen sich mittels Gasprognosemodellen qualifiziert abschätzen. Wichtig bei der Anwendung der verschiedenen Modelle ist, dass die Berechnungen für sinnvoll ausgewählte Teilabschnitte einer Deponie durchgeführt werden, die Datengrundlage ausreichend belastbar ist und die daraus abgeleiteten Modellparameter dokumentiert sowie Angaben zur Genauigkeit gemacht werden. Eine Plausibilitätsbetrachtung kann z. B. durch eine Auswertung der Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen, Emissionsmessungen oder in Abhängigkeit der bestehenden Oberflächenabdichtung durch die Ermittlung des abgesaugten Deponiegasvolumenstroms erfolgen. Darüber hinaus können anhand von Gasabsaugversuchen die an einem Standort erfassbaren Deponiegasmengen ermittelt werden. Gasabsaugversuche dienen zudem der Überprüfung, ob das bestehende Gaserfassungssystem grundsätzlich geeignet ist, das entstehende Deponiegas zu erfassen (VDI 3790 Blatt 2, 2016). Auf dieser Grundlage kann der Gaserfassungsgrad belastbarer quantifiziert werden, in dem das erfasste Gasvolumen mit dem Gasbildungspotential und der daraus abgeleiteten aktuellen Gasbildungsrate abgeglichen wird.

Da verschiedene Einflüsse auf den Gasbildungsprozess in einer Deponie gegeben sein können, die sich in einem Modell nicht abbilden lassen, müssen bei allen Modellen die Ergebnisse im Abgleich mit ergänzenden Untersuchungen sorgfältig interpretiert werden. Letztlich handelt es sich nicht um eine exakte Berechnung der Deponiegasemissionen, sondern stets um eine Abschätzung mit den erläuterten Bandbreiten und Unsicherheiten, worauf auch bei den Erläuterungen zu den Prognosemodellen hingewiesen wird. Damit stellt sich die Berechnung zur Abschätzung von Deponiegasemissionen als eine Aufgabe dar, die von ausreichend sachverständigen Personen bzw. Institutionen auszuführen ist.

Weitere praxisorientierte Hinweise zur Anwendung der Gasprognosemodelle:

- ▶ Bei den Modellen und Vorgabewerten ist darauf zu achten, ob der Bezug auf die Feuchtmasse (FM) oder die Trockenmasse (TM) gewählt wird.
- ▶ Bei vielen Gasprognosemodellen wird die Deponiegasbildung über den Ablagerungszeitraum prognostiziert. Im IPCC Waste Model wird dagegen die Methanbildung bestimmt. Ein Abgleich der Berechnungsergebnisse ist unter Berücksichtigung der angesetzten Methankonzentration (F) möglich.
- ▶ Bei den Gasprognosemodellen und den nachfolgenden Hinweisen zur Anwendung ist zu beachten, dass die angegebenen Mengen sich stets nur auf die organischen Abfallfraktionen beziehen. Auf Siedlungsabfalldeponien wurden darüber hinaus auch inerte, d.h. mineralische Abfälle wie Bauschutt, weitere biologisch nicht abbaubare Abfälle wie Kunststoffe etc. und Böden abgelagert. Daher werden bei Gasprognosen mit Bezug auf das gesamte Deponievolumen bzw. die gesamten abgelagerten Abfallmengen kleinere mengenbezogenen Gasbildungspotentiale ausgewiesen als bei dem Bezug nur auf die organischen Fraktionen.

#### 3.4.5.1 Hinweise zur Nutzung eines vereinfachten Gasprognosemodells

Nach dem vereinfachten Gasprognoseansatz gemäß Kapitel 3.4.4.1 wird die Abbaukonstante bzw. Halbwertszeit als konstanter Wert angesetzt. Auf den Siedlungsabfalldeponien in Deutschland wurden Siedlungsabfälle mit erhöhten biologisch abbaubaren organischen Fraktionen längstens bis 2005 abgelagert. Die Ablagerungsdauer beträgt folglich mindestens 20 Jahre und länger. Wie erläutert weisen die einzelnen organischen Abfallfraktionen unterschiedliche Halbwertszeiten hinsichtlich ihrer Abbaukinetik auf. D.h. mittlerweile sind die leicht abbaubaren

Fraktionen wie Organik (Vegetabilien etc.) oder Klärschlamm weitgehend abgebaut, und die Deponiegasbildung wird zunehmend von den mittel und schwer abbaubaren organischen Verbindungen geprägt. Folglich verändert sich auch die durchschnittliche Halbwertszeit des Siedlungsabfallgemischs über die Zeit. Diese Veränderung kann rechnerisch dadurch berücksichtigt werden, indem die Halbwertszeit nicht mehr als Konstante, sondern als ein über die Ablagerungsdauer anwachsender Parameter berücksichtigt wird.

In Abbildung 27 oben ist diese Zunahme der Halbwertszeit über eine Ablagerungsdauer von 30 Jahren exemplarisch dargestellt. Die skizzierte Entwicklung basiert auf einer durchschnittlichen Zusammensetzung abgelagerter Siedlungsabfälle in den 90er Jahren und auf deutsche Deponieverhältnisse angepassten Vorgabewerten, wie sie im Rahmen des IPCC-Modells erläutert wurden (Tabelle 51). Danach wäre im ersten Jahr der Abfallablagerung eine Halbwertszeit von etwa 6,4 Jahren anzusetzen, die über die Ablagerungsdauer von 30 Jahren auf 12 Jahre anwächst. Weiterhin würde sich aufgrund der Vorgabewerte in Tabelle 51 ein Methanbildungspotential des gemischten Siedlungsabfalls über die 30 Jahre Ablagerungsdauer von  $89 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg FM}$  ergeben, was bei einem Methankonzentrationsfaktor von  $F = 0,5$   $178 \text{ m}^3$  Deponiegas/Mg FM entspricht. Dieses Gasbildungspotential liegt im oberen Bereich der Referenzwerte gemäß Tabelle 52. Der normierte Verlauf der Methanbildung ist in Abbildung 27 unten aufgetragen.

Derartige Prognosen setzen wie ausgeführt gleichbleibende Milieubedingungen über die betrachtete Ablagerungsdauer voraus.

Es ist anzustreben, die Veränderung der Halbwertszeit angemessen zu berücksichtigen, da sich die Deponien in Deutschland, auf denen Siedlungsabfälle ohne eine Vorbehandlung abgelagert wurden, nach mehreren Jahrzehnten Ablagerungsdauer hinsichtlich der Gasbildung bereits in einem fortgeschrittenen Stadium befinden. Der Ansatz zu kurzer Halbwertszeiten würde eine aktuelle verbliebene zu geringe Deponiegasbildung prognostizieren, die sich auf den meisten Deponien noch nicht eingestellt hat. Dieser Sachverhalt hat sich bei der Untersuchung des Gashaushalts an mehr als 50 Deponien bestätigt (RUK, 2014, Stegmann et al. 2018).

**Tabelle 52: Anteil  $W_i$  organischer Abfallfraktionen, DOC-Defaultwerte und Halbwertszeiten**

| Fraktion                    | $W_i$<br>[%] | DOC-Werte<br>[%] | DOC <sub>r</sub> -Werte<br>[-] | Halbwertszeit<br>[a] |
|-----------------------------|--------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Organik (Vegetabilien etc.) | 36,5%        | 15%              | 0,5                            | 4                    |
| Garten- und Parkabfälle     | 4,4%         | 20%              | 0,5                            | 7                    |
| Papier und Pappe            | 21,4%        | 40%              | 0,5                            | 7                    |
| Holz und Stroh              | 11,0%        | 43%              | 0,1                            | 50                   |
| Textilien / Windeln         | 15,1%        | 24%              | 0,5                            | 12                   |
| Verbundstoffe               | 7,3%         | 10%              | 0,5                            | 12                   |
| Klärschlamm                 | 4,3%         | 15%              | 0,5                            | 4                    |
| MBA-Abfälle                 | 0%           | 2,3%             | 0,5                            | 12                   |

Erläuterung zur Tabelle und Abbildung 27:

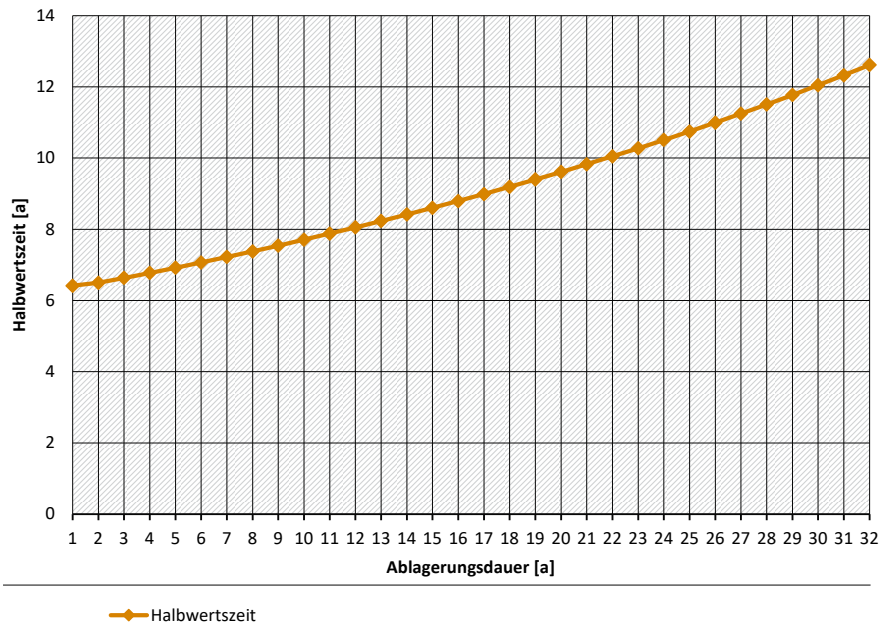
$W_i$ : auf Prozent normierte Gewichtsanteile einer durchschnittlichen Abfallzusammensetzung aus den 90er Jahren

Der bioverfügbare Kohlenstoffanteil leitet sich für jede Fraktion ab aus dem Produkt  $W_i \cdot \text{DOC} \cdot \text{DOC}_f$ .

Die durchschnittliche Halbwertszeit ergibt sich aus dem Anteil der Gasbildung jeder Fraktion (unter Berücksichtigung der fraktionsspezifischen Halbwertszeit) in Bezug auf die Gesamtgasbildung im Betrachtungsjahr.

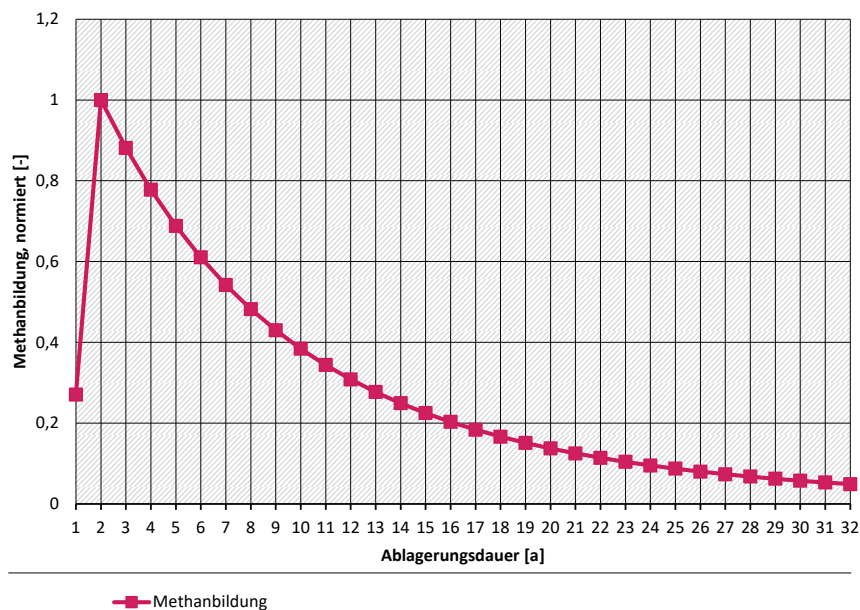
**Abbildung 27: Exemplarische Entwicklung der Halbwertszeit eines Siedlungsabfallgemischs über die Ablagerungszeit, normierte Entwicklung der Methanbildung**

**Exemplarische Entwicklung der Halbwertszeit eines Siedlungsabfallgemischs über die Ablagerungszeit**



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

**Normierte Entwicklung der Methanbildung**



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

### 3.4.5.2 Hinweis zur Nutzung des IPCC Waste Model

Ein Berechnungstool für das IPCC Waste Model ist als Excel-Datei (IPCC\_Waste\_Model, Microsoft Excel 97-2003 Worksheet) unter <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp> abrufbar. Es wurde vom IPCC 2006 entwickelt und enthält folgende Tabellenblätter:

- ▶ „Instructions“: Hinweise zur Nutzung des Methanprognosemodells.
- ▶ „Parameters“: Es wurden bereits Vorgabewerte (Defaults) eingetragen, die teilweise durch die an Deponieverhältnisse in Deutschland angepassten Werte ausgetauscht werden können, was DOC, DOC<sub>f</sub> und die Halbwertszeit mit dem k-Wert anbetrifft (Tabelle 48). Eine fraktions-spezifische Anpassung des DOC<sub>f</sub> ist in diesem Tabellenblatt noch nicht vorgesehen, könnte jedoch noch ergänzt oder in den Tabellenblättern für die einzelnen Abfallfraktionen vorgenommen werden.
- ▶ „MCF“: Methankorrekturfaktor, für Deutschland als „Managed“ anzusetzen, wobei gemäß den Ausführungen in Kapitel 3.4.4.5.1 Anpassungen möglich sind.
- ▶ „Activity“: Angaben zu abgelagerten Abfallmengen und deren Zusammensetzung. Sofern keine Angaben zu den abgelagerten Abfallmengen verfügbar sind, wird eine Abschätzung über die Einwohnerzahl und die Pro-Kopf-Menge an Siedlungsabfall ermöglicht. Auch hier können Referenzwerte aus Deutschland (Abfallmengen gemäß Kapitel 3.4.4.3, Abfallzusammensetzung gemäß Tabelle 46) bzw. standortspezifische Angaben eingefügt werden.
- ▶ „Amnt Deposited“: Automatisch generierte Zuordnung der jährlichen Ablagerungsmengen zu den organischen Abfallfraktionen (aus „Activity“).
- ▶ „Recovery OX“: Automatisch generierte Zuordnung des Oxidationsfaktors OX (aus „Parameters“).
- ▶ „Results“: Zentrale Ergebnisübersicht der automatisch generierten Berechnung zur Methanbildung gemäß den IPCC-Formelansätzen für die organischen Fraktionen und den Summenwert auf Jahresbasis.
- ▶ „HWP“: Harwested Wood Products, automatisch generierte Ermittlung zu Methanemissionen und zu langfristiger Kohlenstoffbindung im Deponiekörper (von untergeordneter Bedeutung).
- ▶ „Stored C“: automatisch generierte Ermittlung zu langfristiger Kohlenstoffbindung aller organischen Abfallfraktionen im Deponiekörper.
- ▶ „Theory“: Erläuterung zu den Formeln der IPCC-Methodik zur Abschätzung von Methanemissionen.
- ▶ „Defaults“: Weitere Vorgabewerte, die auf die Verhältnisse in Deutschland bezüglich Temperatur-, Niederschlags- und Verdunstungsverhältnissen bezogen gewählt werden können.
- ▶ „Food“, „Garden“, „Paper“, „Wood“, „Textiles“ etc.: automatisch generierte Methanbildungsrate für jede organische Fraktion auf Jahresbasis.

Weiterführende Erläuterungen zur Methodik der Abschätzung der Methanemissionen nach dem IPCC Waste Model sind zu finden in den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, hier insbesondere:

- ▶ Volume 5: Waste, Chapter 2: Waste Generation, Composition and Management Data

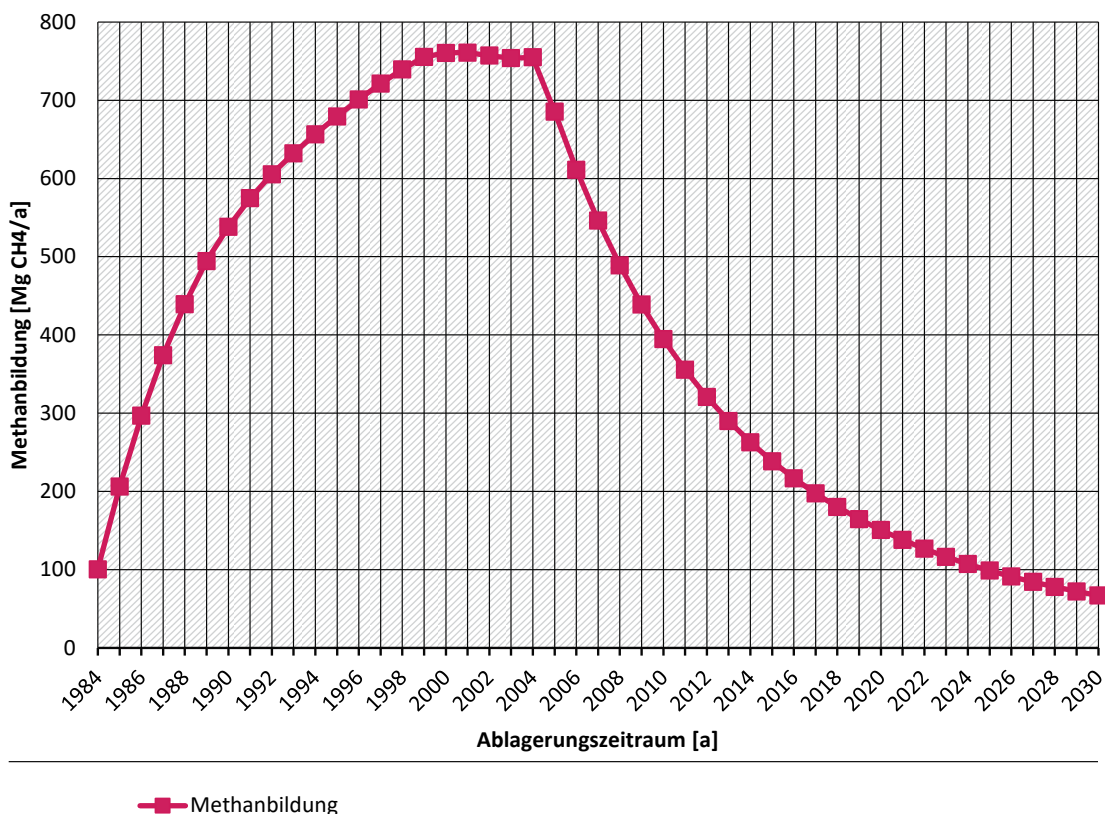
► Volume 5: Waste, Chapter 3: Solid Waste Disposal

In Abbildung 28 ist beispielhaft eine Berechnung zur Methanbildung gemäß dem IPCC Waste Model vorgenommen worden. Die Berechnung basiert auf folgenden Annahmen und Vorgaben:

- Ablagerungszeitraum 1984 – 2004
- Ablagerungsmasse an organischen Abfallfraktionen 100.000 Mg FM/a
- Abfallzusammensetzung im Zeitraum 1984 – 2004 gemäß der durchschnittlichen jährlichen Zusammensetzung in Deutschland
- Vorgabewerte zu  $DOC$ ,  $DOC_0$ , Halbwertszeit und resultierendem  $k$ -Wert angepasst an durchschnittliche Deponiebedingungen in Deutschland (Tabelle 48)
- Methankorrekturfaktor  $MCF = 0,9$
- Methankonzentration  $F = 0,5$

**Abbildung 28: Beispiel zur Prognose der Methanbildung einer Siedlungsabfalldeponie mit organischen Abfallfraktionen bei 100.000 Mg FM Ablagerungsmenge pro Jahr im Zeitraum 1984 - 2004**

**Beispiel zur Prognose der Methanbildung einer Siedlungsabfalldeponie mit organischen Abfallfraktionen bei 100.000 Mg FM Ablagerungsmenge pro Jahr im Zeitraum 1984 - 2004**



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

Anknüpfend an die Prognose zur Methanbildung kann im nächsten Schritt ein Abgleich mit den tatsächlich erfassten Methanmengen erfolgen, um darüber den Gasfassungsgrad abzuleiten bzw. die Methanemissionen abzuschätzen, die aus dem Deponiekörper unter Berücksichtigung des Oxidationsfaktors OX in die Atmosphäre entweichen. Diese Vorgehensweise entspricht auch den Anforderungen des Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 10-1 „Deponiegas“ zur Deponiegasprognose, Ermittlung des Gasfassungsgrads und Ableitung eines eventuellen Handlungsbedarfs für technische Ertüchtigungs- oder betriebliche Optimierungsmaßnahmen.

Wie eingangs erläutert bestimmen die Qualität der Ausgangsdaten zur Prognose der Methanbildung und die ggf. deponiespezifisch weiter angepassten Vorgabewerte zur Abbaukinetik, insbesondere hinsichtlich des  $\text{DOC}_f$  und der Halbwertszeit, die Aussagekraft des Ergebnisses. Gerade die Festlegung der Halbwertszeiten der organischen Abfallfraktionen hat in der Stilllegungs- und Nachsorgephase, in der sich die Siedlungsabfalldeponien oder entsprechenden Deponieabschnitte in Deutschland spätestens seit 2005 befinden, erheblichen Einfluss auf die Abschätzung der derzeit noch entstehenden klimarelevanten Methanemissionen. Auf diese klimarelevanten Methanemissionen und die Möglichkeit, sie durch eine nochmals optimierte Deponiegasfassung und/oder Deponiebelüftung zu reduzieren, wird im Folgenden eingegangen.

### **3.4.6 Eignung und Voraussetzungen von Deponien zur Deponiebelüftung**

#### **3.4.6.1 Eignung und Merkmale der Deponiebelüftung, Umsetzung**

Die Deponiebelüftung bzw. aerobe in situ Stabilisierung mittels aktiver Belüftung oder Über-saugung (im Folgenden nur Deponiebelüftung genannt) ist eine effiziente Methode zur Vermeidung langfristiger, klimarelevanter Methanemissionen. Sie kann auf Deponien insbesondere nach Abschluss der Gasverwertungsphase eingesetzt werden. Durch die beschleunigte und kontrollierte aerobe Umsetzung bioverfügbarer Restorganik im Deponiekörper werden klimaschädigende Deponiegasemissionen signifikant reduziert. Außerdem ermöglicht das Verfahren einen Erfassungsgrad der noch verbleibenden anaeroben Restmethanproduktion von nahezu 100 %. Insofern führt die Deponiebelüftung im Regelbetrieb zu einem stark erhöhten Gaserfassungsgrad und langfristig zu einer deutlichen Verringerung des biologischen Deponiegasbildungspotentials. Bei einer Deponie von 3,2 ha Größe und 240.000 m<sup>3</sup> Deponiekörpervolumen wurde 13 Jahre nach Ablagerungsende eine Deponiebelüftung mit einem umfangreichen wissenschaftlichen Begleitprogramm begonnen. In einem Zeitraum von ca. sechs Jahren konnte bei einer aktiven Luftzuführung das Gasemissionspotential in einem Umfang reduziert werden, wofür bei herkömmlichen Verfahren der Deponieentgasung mehrere Jahrzehnte erforderlich gewesen wären (Beschleunigung um den Faktor drei bis sechs). Dies kann neben dem Klimaschutzeffekt zu einer Reduzierung des Nachsorgeaufwands führen (Ritzkowski, 2005, VDI 3899, Blatt 2, 2020).

Der bei der Deponiebelüftung eingetragene Sauerstoff führt im Deponiekörper von anaeroben zu überwiegend aeroben Abbauprozessen. Als Abbauprodukte dieses exothermen Abbauprozesses entstehen überwiegend Kohlenstoffdioxid und Wasser. Die noch verbleibende Restorganik besteht zum größten Teil aus stabilen, huminstoffähnlichen Verbindungen und schwer abbaubaren Fraktionen wie Holz, die allerdings kaum zur Deponiegasbildung beitragen.

Die Verfahren der aeroben in situ Stabilisierung oder Deponiebelüftung werden bei Altdeponien, auf denen in der Vergangenheit relevante Mengen an organischen Abfällen abgelagert wurden, in der Stilllegungs- und/oder Nachsorgephase angewandt. Erfahrungen liegen auch von Deponien vor, die über eine Oberflächenabdichtung verfügen (VDI 3899, Blatt 2, 2020).

Auf der Grundlage wissenschaftlicher Untersuchungen und wachsender Praxiserfahrungen wird die Deponiebelüftung mittlerweile auf zahlreichen Deponien in Deutschland in unterschiedlichen Verfahrensweisen eingesetzt. So wurden vom Projektträger Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH gemäß Kapitel 3.2.3.8 mit Stand 18.12.2024 125 Deponiebelüftungsmaßnahmen genannt, die beantragt oder bereits bewilligt wurden (Seymer et. al, 2025). Weitere Deponiebelüftungsmaßnahmen werden auch ohne eine Förderung über die Nationale Klimaschutzinitiative durchgeführt.

#### **3.4.6.2 Mindestanforderungen**

Die Deponiebelüftung ist in der bundesdeutschen Deponieverordnung als geeignetes Verfahren zur Verbesserung des Deponieverhaltens von Altdeponien aufgeführt. Hierfür müssen nach § 25 Absatz 4 DepV folgende Mindestanforderungen erfüllt sein:

- a) Einrichtungen zur gezielten und kontrollierten Belüftung und Ablufferfassung und -behandlung sind vorhanden, sodass unkontrollierte gasförmige Emissionen weitgehend vermieden werden.

- b) Die Abluft wird an die Abluftbeschaffenheit angepasst behandelt, sodass schädliche Emissionen weitgehend vermieden werden.
- c) Relevante Mengen noch biologisch abbaubarer organischer Substanz im Deponiekörper sind nachgewiesen.
- d) Bei einer Belüftung des Abfallkörpers sind der Wasserhaushalt, der Gashaushalt, die Temperaturentwicklung und die Setzungen des Deponiekörpers zu kontrollieren, um nachzuweisen, dass keine nachteiligen Auswirkungen auf den Deponiekörper und die Umwelt auftreten und ausreichend intensivierte oder beschleunigte biologische Abbauprozesse stattfinden.

Auf diese Mindestanforderungen und daraus resultierenden Eignungskriterien wird im Folgenden eingegangen.

#### **3.4.6.2.1 Einrichtungen zur gezielten und kontrollierten Belüftung und Ablufterfassung**

##### **Verfahren zur Deponiebelüftung**

Der Stand der Technik und die Verfahren zur Deponiebelüftung sind im Kapitel 3.3.4.3 aufbereitet worden:

- ▶ Druck-Saugverfahren wie die Niederdruckbelüftung
- ▶ Deponiebelüftung durch Übersaugung
- ▶ Druckbelüftung ohne Absaugung, dafür mit passiver Abluftbehandlung
- ▶ Hochdruckbelüftung, die allerdings hauptsächlich zur Geruchselimination vor einem Depo-nierückbau eingesetzt wird

Die verfahrenstechnische Auslegung von Belüftungsanlagen hat zum Ziel, den eingebrachten Luftsauerstoff möglichst vollständig umzusetzen und gleichzeitig einen hohen Kohlenstoffumsatz zu erreichen. Dazu wird die Sauerstoffzufuhr im Verlauf des Belüftungsbetriebs regelmäßig an den Bedarf angepasst. Da die bioverfügbare Organik im Deponiekörper räumlich inhomogen verteilt ist, ist es vorteilhaft, wie bei den Druck-Saugverfahren die Belüftungs- und Absaugraten an jedem Gasbrunnen individuell auf den Sauerstoffverbrauch einzustellen.

##### **Technische Einrichtungen zur Verfahrensumsetzung**

Anknüpfend an den Stand der Technik zur Deponiebelüftung im Kapitel 3.3.4.3 bestehen die technischen Einrichtungen hauptsächlich aus (VDI 3899, Blatt 2, 2020):

- ▶ vorhandenem oder bei Bedarf ertüchtigtem Gasfassungssystem, im Wesentlichen bestehend aus vorhandenen und nachgerüsteten, unter Umständen auch tiefenverfilterten Gasbrunnen
- ▶ Gassammelstationen, bei aktiver Luftzugabe erweitert zu „Gasverteilerstationen“ zur Zuluftverteilung und Ablufterfassung, dazu unmittelbare Nutzung von Gassammelstationen, die als Zweikreisssystem ausgebildet wurden, oder entsprechende Umrüstung
- ▶ Kondensatabscheider in den Gassammel- und Gastransportleitungen
- ▶ Gasverdichterstation, in der die Einrichtungen und Aggregate zur Zuluftversorgung und Abluftabsaugung installiert sind. Ferner ist das Gasanalysesystem für die Abluftseite integriert, über die die Abluftzusammensetzung kontinuierlich kontrolliert und damit der Kohlenstoffaustrag bilanziert werden kann. Die Verdichteraggregate zur Belüftung und

Abluftfassung einschließlich Schalt- und Steuerschränken können in mobilen Containern installiert werden.

#### **Anforderung zur Vermeidung unkontrollierter gasförmiger Emissionen im Deponiebelüftungsbetrieb**

Als weitere wesentliche Anforderung sind unkontrollierte gasförmige Emissionen weitgehend zu vermeiden. Dies wird beim Übersaugungsverfahren i.d.R. dadurch erreicht, dass deutlich höhere Absaugunterdrücke und Absaugraten eingestellt werden als im herkömmlichen Gasabsaugbetrieb. Bei einer Druck-Saugbelüftung wird im Regelbetrieb stets mehr Abluft abgesaugt als zeitgleich Luft in den Deponiekörper eingeblasen wird.

Zur Überprüfung dieser Anforderung wurden von der Universität Stuttgart im Jahr 2023 Emissionsmessungen durch verschiedene Fernerkundungsverfahren an zwei belüfteten Deponien durchgeführt (Elpelt-Wessel et. al, 2025).

Es wurden zwei in Bezug auf Alter und Ablagerungsvolumen vergleichbare Deponien ausgewählt, die sich in einer laufenden in situ Stabilisierung befanden. Diese wurde bei einer Deponie mittels Druck-Saug-Belüftung und bei einer weiteren Deponie mittels Übersaugung ausgeführt.

Die Messungen wurden mittels eines mobilen FTIR-Spektrometers in Verbindung mit der inversen Dispersionsmodellierungsmethode (IDMM) und der Tracer-Methode durchgeführt. Eine Absicherung der Ergebnisse wurde mit einer weiteren Messmethode, der Linienmessung mittels TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy - Laserabsorptionsspektroskopie) durchgeführt. Zur Qualitätssicherung wurden Nachweisgrenzen über die IDMM und Wiederfindungsraten für den Tracer berechnet.

Die ermittelten Massenströme lagen während des regulären Betriebs der Aerobisierung und der Abluftreinigung zwischen 50 und 220 mg CH<sub>4</sub>/s bei der Deponie mit Übersaugung und zwischen 100 und 750 mg CH<sub>4</sub>/s bei der Deponie mit Druck-Saug-Belüftung. An beiden Deponien war der Methan-Erfassungsgrad deutlich größer als 90 % (93 % – 95 %).

Daraus wurde gefolgert, dass im ordnungsgemäßen Betrieb der Absaugungs- und/oder Belüftungstechnik sowie der dazu gehörenden Abluftreinigung die diffusen Methanemissionen dieser Deponien während der laufenden Aerobisierung vernachlässigt werden können. Dies setzt einen kontinuierlichen Regelbetrieb voraus, da längere Stillstandszeiten bei Störungen der technischen Einrichtungen zu einem erneuten Entweichen von Emissionen in die Luftatmosphäre führen können.

Oberflächenbegehungen zur Ermittlung von gasförmigen Emissionen während der Belüftung, die häufig als Saugglockenverfahren („FID-Begehung“ mit einem Flammen-Ionisations-Detektor) auf zahlreichen belüfteten Deponien durchgeführt werden, bestätigen dieses Ergebnis qualitativ. Mit dem Methan-Erfassungsgrad deutlich über 90% wird ein zusätzlicher Klimaschutzeffekt gegenüber den Emissionsverhältnissen auf deutschen Deponien und Abfallablagerungen erreicht, für die im Nationalen Inventarbericht 2024 für das Jahr 2022 ein durchschnittlicher Methan-Erfassungsgrad von 47,8 % ausgewiesen wird.

#### **3.4.6.2.2 Abluftreinigung angepasst an die Abluftbeschaffenheit**

Die Abluftqualität bei einer Deponiebelüftung wird in der Regel von einer unterschiedlich stark ausgeprägten Überführung von anaeroben zu aeroben Milieubedingungen bestimmt. Charakteristisch sind die Abnahme der Methankonzentrationen und des Verhältnisses von Methan zu Kohlenstoffdioxid, da Kohlenstoffdioxid und Wasser die Hauptprodukte des aeroben Abbaus bilden. Gleichwohl verbleibt im Deponiekörper und somit auch in der abgesaugten Abluft häufig noch ein Restgehalt an Methan, der schadlos beseitigt werden muss. Hierfür kommen mehrere im Kapitel 3.3.4.2 und in der VDI 3899, Blatt 2 erläuterte Verfahren zur Deponiegasbehandlung nach dem Stand der Technik in Frage:

- ▶ Schwachgasbrenner, insbesondere für geringe Methankonzentrationen (3 % bis 12 % Volumenanteil)
- ▶ regenerative thermische Oxidationsanlagen (RTO) für sehr geringe Methankonzentrationen ( $\geq 0,5$  % Volumenanteil)
- ▶ Biofilter mit Methanoxidationswirkung für sehr geringe Methankonzentrationen ( $< 0,5$  % Volumenanteil) und sehr geringe Abluftvolumenströme

#### **3.4.6.2.3 Nachweis relevanter Mengen biologisch abbaubarer organischer Substanz**

Als weitere Mindestanforderung ist der Nachweis relevanter Mengen biologisch abbaubarer organischer Substanz im Deponiekörper zu Beginn der Deponiebelüftung zu führen. Hierfür kommen folgende Verfahren in Frage:

- ▶ Rechnerische Abschätzung anhand eines Gasprognosemodells wie dem IPCC Waste Model
- ▶ Erkundungsbohrungen / Schürfe zur Gewinnung von möglichst ungestörten Abfallfeststoffproben aus dem Deponiekörper, die vor der Laboranalyse nur sehr kurzzeitig mit Luftsauerstoff in Kontakt kommen sollten. Bestimmung des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs der Abfallfeststoffproben mittels
  - Gärtests wie dem GB<sub>21</sub> (Gasbildung in 21 Tagen, DepV, Anhang 4)
  - AT<sub>4</sub> (Atmungsaktivität in 4 Tagen, DepV, Anhang 4)
- ▶ Gasabsaugversuche zur indirekten Ermittlung des Gasbildungspotenzials (VDI 3899, Blatt 2, 2020 und VDI 3790, Blatt 2, 2017). Ziel eines solchen Absaugversuchs ist es u.a., belastbare Rückschlüsse auf das noch vorhandene Deponiegaspotential bzw. den korrespondierenden biologisch abbaubaren Kohlenstoff zu ziehen. Beim Gasabsaugversuch wird dazu aus Deponiegasentnahmestellen über einen längeren Zeitraum Deponiegas entnommen. Dabei werden die Parameter Unterdruck, Gastemperatur und abgesaugter Volumenstrom sowie die Gaskonzentrationen an CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> aufgezeichnet. Die Absaugrate und Absaugdauer sind variabel und werden an die örtlichen Gegebenheiten und den Gashaushalt soweit angepasst, bis sie der Gasbildung des erfassten Deponiebereichs entsprechen. Dies kann hauptsächlich an der Entwicklung der Gaszusammensetzung nachvollzogen werden, indem der Anteil an mit angesaugter Atmosphärenluft möglichst gering bleibt. In diesem Zusammenhang kann auch geprüft werden, ob bzw. wann eine Umstellung von anaeroben zu aeroben Milieubedingungen (in situ Stabilisierung) sinnvoll ist.

Als ein Kriterium zum Nachweis relevanter Mengen biologisch abbaubarer organischer Substanz und zur Umstellung von anaeroben auf aerobe Milieubedingungen durch eine Deponiebelüftung kann ein Anteil von 12 kg biologisch abbaubarer Kohlenstoff bezogen auf eine Tonne deponier-

ten Abfall (hier Trockenmasse) herangezogen werden (Kommunalrichtlinie, BMWK, 2024). Dieser Orientierungswert liegt in einer Größenordnung von ca. 10 – 15 % des vermutlichen Ausgangspotentials (des gemischten Frischmülls) zum Zeitpunkt der Ablagerung. Er entspricht dem Parameter DDOCm und führt zu einem Methanbildungspotential  $L_0$  von:

$$L_0 = \text{DDOCm} * F * 16/12 = 12 * 0,5 * 16/12 = 8 \text{ kg CH}_4/\text{Mg TM} \quad (12)$$

oder in Bezug auf das Methangasvolumen  $L_0 = 11,2 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg TM}$

mit:

|       |                                                                                                  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_0$ | Methanbildungspotential [kg CH <sub>4</sub> /Mg TM] bzw. [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /Mg TM] |
| F     | Methankonzentration im gebildeten Deponiegas [-]<br>(Default-Wert 0,5 entspricht 50 %)           |
| 16/12 | Molekulargewichtsverhältnis CH <sub>4</sub> /C [-]                                               |

Liegt der Anteil des biologisch abbaubaren Kohlenstoffs noch oberhalb dieses Orientierungswerts, so kommt insbesondere bei größeren Siedlungsabfalldeponien eine weitere Gaserfassung und Gasverwertung/-behandlung in Frage.

Bei biologisch abbaubaren Kohlenstoffanteilen unterhalb dieses Orientierungswerts kommt bei vielen Deponien eine Deponiebelüftung in Frage. Diese Maßnahme ist in Deutschland gemäß der Kommunalrichtlinie von 2024 förderfähig, da die ansonsten verbleibenden potenziellen Methanemissionen eine erhebliche klimarelevante Auswirkung entfalten können (siehe dazu auch nachfolgende Abschätzungen).

#### 3.4.6.2.4 Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen zur Deponiebelüftung

Die allgemeinen Kontrollmaßnahmen zur Überwachung der Prozesse im Deponiekörper und der Emissionen über den Sickerwasser- und Deponiegaspfad, der Setzungen etc. wurden bereits im Kapitel 3.3.5.1 aufbereitet.

Zur Überwachung und zur Beurteilung der Effektivität einer Belüftungsmaßnahme können Kriterien aus den Mindestanforderungen an Deponiebelüftungsverfahren und verfahrensbegleitenden Überwachungsmaßnahmen gemäß § 25 Absatz 4 der Deponieverordnung abgeleitet werden. Um den Aerobisierungseffekt und die Reaktionsgeschwindigkeit des aeroben Abbaus zu erfassen, können folgende Überwachungsmaßnahmen und Kriterien herangezogen werden (VDI 3899, Blatt 2, 2020):

- ▶ Abluftzusammensetzung und Abluftvolumenstrom, die an den Gasbrunnen bzw. in den Gasverteilerstationen regelmäßig und in der Gasverdichterstation kontinuierlich online gemessen und aufgezeichnet werden. Daraus kann Folgendes abgeleitet werden:
  - Verhältnis von CH<sub>4</sub> zu CO<sub>2</sub> vor und während der Belüftung, um den Grad der Veränderung von anaeroben zu aeroben Milieubedingungen zu beschreiben und um zu überprüfen, ob infolge der Inhomogenität des Deponiekörpers bereichsweise Sauerstoffdefizite bestehen, worauf der Belüftungsbetrieb angepasst werden sollte.
  - „Kontrollierter“ Austrag, bilanzierbar als „C-Umsatz vor Belüftung (anaerob)“ zu „C-Umsatz während der Belüftung (aerob)“. Dieser Quotient kann auch als „Beschleunigungsfaktor“ des intensivierten Kohlenstoffabbaus betrachtet werden.  
Anmerkung: Der Kohlenstoffaustrag über das Sickerwasser verändert sich bei der Depo-

niebelüftung gegenüber anaeroben Milieubedingungen nur in geringem Umfang. Da er gegenüber dem Gaspfad zudem nur einen sehr geringen Anteil ausmacht, kann er bei der Kohlenstoffbilanzierung vernachlässigt werden.

- Quantitativer Verlauf des Stabilisierungsbetriebs und Kriterium zum Abschluss der Maßnahme, bilanzierbar als „C-Austrag gesamt“ (Summe im Belüftungsbetrieb) zu „C-Gesamtpotential im Deponiekörper“ (Ermittlung/Abschätzung über Gasprognoserechnungen und gegebenenfalls Gaspotential- bzw. Kohlenstoffbestimmungen an Abfallfeststoffproben, die dem Deponiekörper vor der Deponiebelüftungsmaßnahme entnommen werden können).
- ▶ Temperatur- und Setzungsverläufe, da Temperaturerhöhungen und anwachsende Setzungsgeschwindigkeiten als weitere Kriterien zur qualitativen Beurteilung des Aerobisierungseffekts herangezogen werden können.
- ▶ Regelmäßige CO-Messungen dienen der rechtzeitigen Erkennung von Brandgefahren. Hierbei kann die stetige Zunahme des CO-Messwerts ein Indikator für eine Schwelbrandentwicklung sein. Im Regelfall ist das Risiko einer Schwelbrandentwicklung während einer Deponiebelüftung gegenüber einer herkömmlichen Deponiegasfassung unter anaeroben Milieubedingungen nur moderat erhöht.
- ▶ Überwachung des Wasserhaushalts. Im Hinblick auf Gasfassungssysteme und Belüftungsverfahren sind u.a. folgende Aspekte des Wasserhaushalts zu berücksichtigen: Der verfilterte Ringraum und das perforierte Rohr der Gasbrunnen dürfen nicht vollständig eingestaut sein, was den Gaserfassungsbetrieb sowohl im herkömmlichen Gasabsaugbetrieb als auch bei einer Aerobisierung erheblich beeinträchtigen würde. Gegebenenfalls sind Maßnahmen zur Reduzierung der Porenwassersättigung im unteren Deponiekörper bzw. in der Kiesfilterschicht des perforierten Gasbrunnenrohrs zu ergreifen, z. B. durch kombinierte Gas-/Wasserbrunnen. Eine zunehmende Porenwassersättigung über die Deponietiefe führt sonst zur Limitierung der aeroben Abbauprozesse aufgrund einer unzureichenden Versorgung mit Sauerstoff.
- ▶ Begehungen von Deponieoberflächen für Emissionsuntersuchungen mittels Saugglockenverfahren o.ä., um nachzuweisen, dass keine nennenswerten Methanemissionen unkontrolliert über die Deponieoberfläche entweichen und ein hoher Gaserfassungsgrad im Abluftfassungsbetrieb gewährleistet wird.

### **3.4.7 Abschätzungen zur Reduzierung von Methanemissionen infolge optimierter Gaserfassung und Deponiebelüftung**

Auf der Grundlage der Aufbereitung des Stands der Technik zur Gaserfassung und -verwertung und der Deponiebelüftung werden im Folgenden Abschätzungen vorgenommen, welche Reduzierungen an Methanemissionen als klimaschädigendes Treibhausgas auf Deponien in Deutschland erreichbar sind. Sie beziehen sich hauptsächlich auf Siedlungsabfalldeponien der Deponieklasse II, wie sie in Deutschland bis zum Jahr 2005 mit überwiegend unvorbehandelten Abfällen betrieben wurden, und größere Altdeponien, die noch nennenswerte Emissionen über den Gaspfad aufweisen.

Laut Nationalem Inventarbericht wurden im Jahr 2022 noch 181.000 Mg Methan in deutschen Deponien produziert, von denen 47,8% gefasst und behandelt wurden (NIR, 2024). Deponien sind daher weiterhin einer der größten Methanemittenten in der Abfallwirtschaft, da in diesem Jahr unter Berücksichtigung des Methanoxidationsfaktors OX von 0,1 folglich bis zu 46,7% des Methans diffus in die Atmosphäre entweichen konnten. Diese Größenordnung der klimarelevanten Auswirkungen - schließlich belastet Methan die Atmosphäre über 100 Jahre betrachtet 28-fach stärker als CO<sub>2</sub> - zeigt den Handlungsbedarf zur Minderung der unkontrollierten Deponiegasemissionen auf. Hierfür kommen hauptsächlich zwei Verfahren in Frage:

- ▶ Bei nachlassender, aber noch ausgeprägter Deponiegasproduktion: Optimierung der Gasfassung und -verwertung zur Steigerung des Gasfassungsgrads.
- ▶ Deponiebelüftung zum beschleunigten Abbau der Organik, sofern eine Gasverwertung technisch und wirtschaftlich nicht mehr möglich ist.

Für beide Verfahren bestehen in Deutschland Fördermöglichkeiten über die „Kommunalrichtlinie“ (KRL) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) (BMWK, 2024).

#### **3.4.7.1 Stand der Deponiegasfassung und -behandlung sowie der Deponiebelüftung auf Deponien in Deutschland**

Tabelle 53 enthält Angaben zur Deponiegasfassung, -verwertung und -beseitigung auf Deponien in Deutschland im Jahr 2022 (Angaben in Anlehnung an Destatis, 2024):

- ▶ Danach erfolgte 2022 auf 453 Deponien eine aktive Gasfassung, wovon sich 279 Deponiestandorte in der Ablagerungs- oder Stilllegungsphase befanden.
- ▶ Die erfassten Gasvolumina betrugen 2022 auf Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase 258,1 Mill. m<sup>3</sup>/a und auf Deponien in der Nachsorgephase 62,2 Mill. m<sup>3</sup>/a.
- ▶ Die im Absaugbetrieb erfassten Methankonzentrationen auf Deponien in der Ablagerungs- oder Stilllegungsphase lagen durchschnittlich bei 39 Vol.-% und in der Nachsorgephase bei 27 Vol.-%.

**Tabelle 53: Deponiegasfassung, -verwertung und -beseitigung auf Deponien in Deutschland 2022 (Destatis, 2024)**

| Deponietyp/-status                                           | Deponien mit aktiver Gasfassung | Gesamtes erfasstes Deponiegasvolumen<br>[Mio. m³/Jahr] | Davon verwertetes Deponiegasvolumen<br>[Mio. m³/Jahr] | Davon beseitigtes Deponiegasvolumen (Fackel)<br>[Mio. m³/Jahr] | Methankonzentration<br>[Vol.-%] |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase, und zwar | 279*                            | 258,1                                                  | 190,6                                                 | 67,5                                                           | 39                              |
| Deponien in der Ablagerungsphase                             | 126                             | 117,8                                                  | 92,6                                                  | 25,2                                                           | 39                              |
| Deponien in der Stilllegungsphase                            | 153                             | 140,3                                                  | 98,0                                                  | 42,3                                                           | 40                              |
| Deponien in der Nachsorgephase                               | 174                             | 62,2                                                   | 21,3                                                  | 40,9                                                           | 27                              |

\* davon 221 Deponien der Klasse II

In der LAGA-Länderabfrage 2023 zur Bestandsaufnahme der Deponien in Deutschland wurden insgesamt 293 Standorte mit einer Entgasungsanlage in der Ablagerungs- oder Stilllegungsphase erfasst, von denen 246 der Deponieklasse II zuzuordnen sind und sich 157 in der Stilllegungsphase befinden.

Insgesamt ist der Datenabgleich dieser Erhebungen trotz einiger Abweichungen plausibel.

#### 3.4.7.2 Potentieller Beitrag zum Klimaschutz durch die Reduzierung von Methanemissionen

Aufgrund der o.g. statistischen Aufbereitung zu Deponien, auf denen eine aktive Gasfassung durchgeführt wird, zum Stand der Technik sowie den Auswirkungen der optimierten Gasfassung und Deponiebelüftung soll eine Abschätzung erfolgen, welchen Beitrag Maßnahmen an Deponien in Deutschland noch zum Klimaschutz leisten können. Dazu wird davon ausgegangen, dass die meisten der 453 Deponien, auf denen eine Gaserfassung vorgenommen wird, für eine der beiden Maßnahmen in Frage kommen. Neben den über die Länderabfrage 2023 und von Destatis erfassten Deponien könnte zudem noch eine gewisse Anzahl an Altablagerungen hinzukommen, auf denen eine Deponiebelüftung zur Reduzierung der Deponiegasemissionen durchgeführt werden kann.

Die nachfolgenden Abschätzungen sind als eine Orientierung zu verstehen, um die Größenordnung der Emissionsminderungspotentiale der beiden Verfahrensvarianten zu verdeutlichen.

### 3.4.7.2.1 Beitrag der optimierten Erfassung von Deponiegas

Zur Abschätzung der möglichen Klimaschutzwirkung durch die optimierte Gasfassung werden folgende Annahmen getroffen:

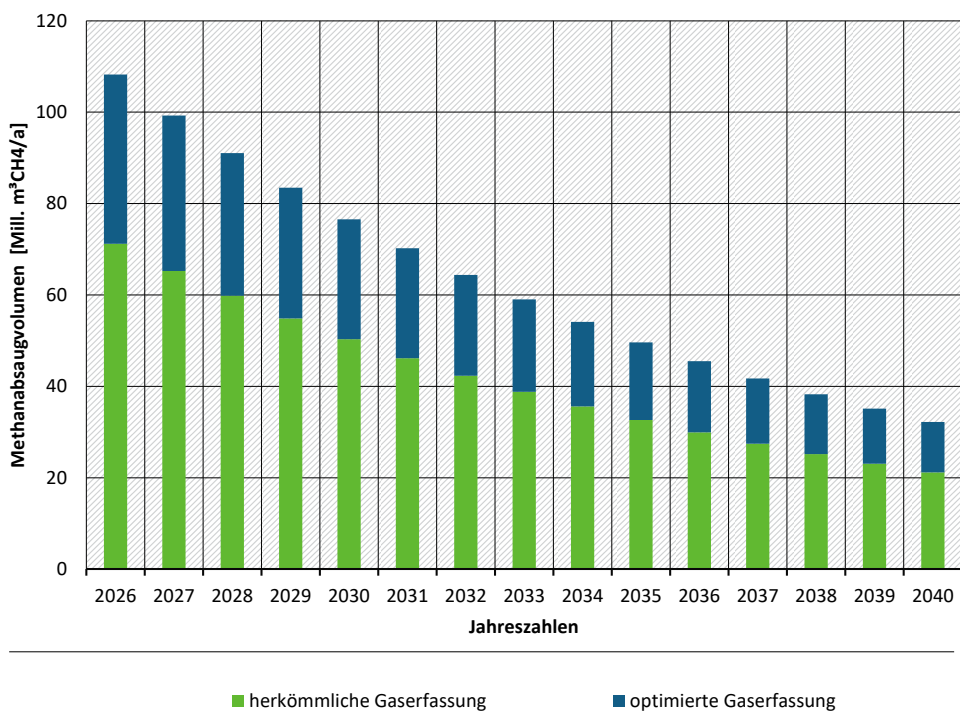
- ▶ Es kommt die Gesamtheit aller 279 (– 293) Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase für eine optimierte Erfassung von Deponiegas in Frage.
- ▶ Das im Jahr 2022 erfasste Deponiegasvolumen der 279 Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase enthielt im Schnitt 39% Methan, was bei 258,1 Mill. m<sup>3</sup> Deponiegas 100,7 Mill. m<sup>3</sup> Methan entspricht. 2026 könnte es aufgrund der rückläufigen Deponiegasbildung bei einer Extrapolation der Entwicklung über die Zeit bei ca. 178 Mill. m<sup>3</sup> Deponiegas bzw. 71,2 Mill. m<sup>3</sup> Methan liegen.
- ▶ Anknüpfend an die Angaben im Nationalen Inventarbericht 2024 wird angenommen, dass die aktuelle durchschnittliche Erfassungsrate des Methans aller Deponien ca. 48% beträgt. Unter dieser Annahme würde eine Steigerung des Methanerfassungsgrads um 25% (NKI-Kriterium zur Förderung) auf ca. 73% einem zusätzlichen Methanabsaugvolumen im Jahr 2026 von ca. 37,1 Mill. m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub><sup>196</sup> entsprechen. Bezogen auf 279 Deponien würde das einem zusätzlichen durchschnittlichen Methanabsaugvolumen durch die Optimierung von ca. 15,2 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/h je Standort entsprechen. Dieses zusätzliche Absaugvolumen ist eine durchaus realistische Größenordnung, die von den meisten Deponien erreicht oder auch noch überschritten werden kann.
- ▶ Bezogen auf das Jahr 2026 würden die zusätzlich erfassten 37,1 Mill. m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> umgerechnet auf die Masse ca. 26.500 Mg CH<sub>4</sub>/a entsprechen. Mit dem GWP-Faktor von 28 ergibt sich demnach ein Minderungspotential von Methanemissionen von etwa 0,74 Mill. Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Jahr 2026.
- ▶ Aufgrund der abnehmenden Deponiegasproduktion ist davon auszugehen, dass sich trotz der Optimierung das zusätzlich absaugbare Methan über die Betriebs- bzw. Ablagerungsdauer anteilig reduziert. Bei einer Halbwertszeit von 8 Jahren und einem Betrachtungszeitraum über 15 Jahre würde das zusätzlich absaugbare Methanvolumen von ca. 37,1 Mill. m<sup>3</sup> im Jahr 2026 daher bis zum Jahr 2040 auf ca. 11,0 Mill. m<sup>3</sup> abnehmen.
- ▶ D.h. in der zeitlichen Entwicklung könnten im Jahr 2026 bis zu 0,74 Mill. Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr zusätzlich reduziert werden, die sich über den Zeitraum von 15 Jahren auf ca. 0,22 Mill. Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr verringern (Abbildung 29).
- ▶ Im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) wurden bisher Maßnahmen mit folgenden Klimaschutzpotentialen infolge der optimierten Gasfassung realisiert bzw. sind unmittelbar zur Realisierung vorgesehen (Seymer et al., 2025): 0,37 Mill. Mg CO<sub>2</sub>-eq./a
- ▶ Im Verhältnis zur Abschätzung für das Jahr 2026 wurde demnach schon ein beträchtlicher Anteil an Emissionsreduktion über die NKI-Maßnahmen realisiert bzw. befindet sich aktuell in der Umsetzung. Gleichwohl verbleibt noch ein nennenswertes zusätzliches Emissionsminderungspotential durch weitere Maßnahmen zur optimierten Gasfassung, das in den nächsten Jahren erreicht werden kann. Entscheidend wird sein, diese Maßnahmen möglichst zeitnah auf einer größeren Anzahl von Deponien zu verwirklichen.

---

<sup>196</sup> 37,1 Mill. m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> = (71,2 Mill. m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> · (0,48 + 0,25)/0,48) - 71,2 Mill. m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>

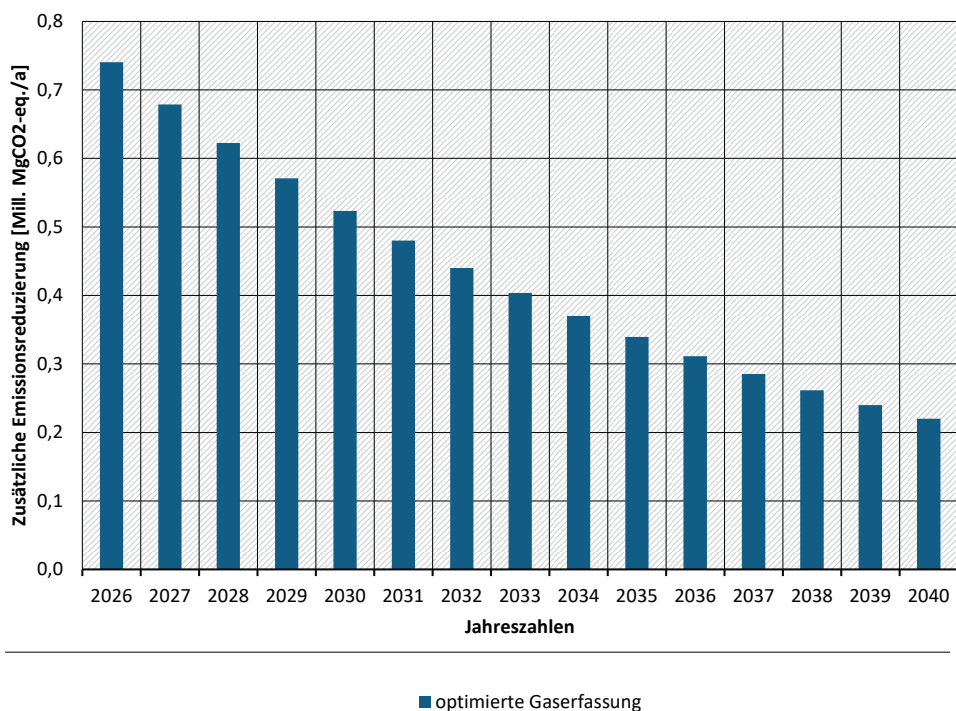
**Abbildung 29: Entwicklung der zukünftigen Methanabsaugvolumina bei optimierter Gasfassung, zusätzliche Emissionsreduktionspotentiale über einen Zeitraum von 15 Jahren**

Entwicklung der zukünftigen Methanabsaugvolumina bei optimierter Gasfassung über einen Zeitraum von 15 Jahren



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

Zusätzliche Emissionsreduktionspotentiale über einen Zeitraum von 15 Jahren



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

### 3.4.7.2.2 Beitrag der aeroben in situ-Stabilisierung

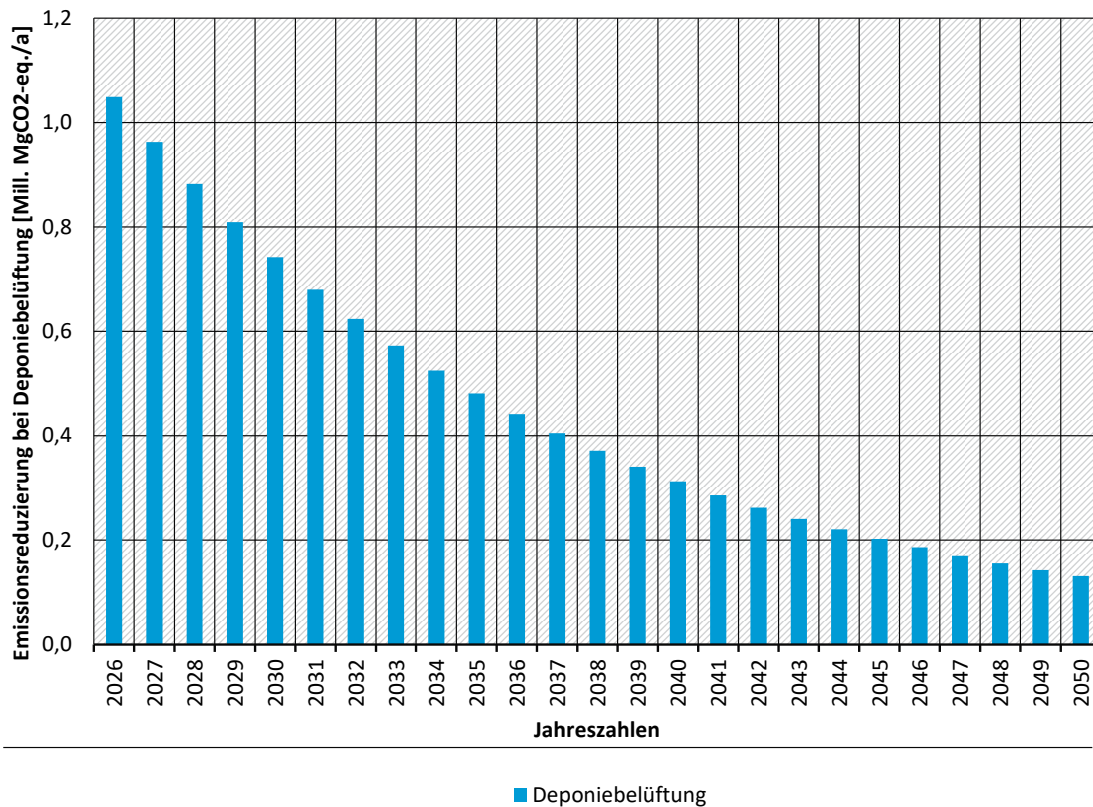
Zur Abschätzung der möglichen Klimaschutzwirkung durch die Deponiebelüftung werden folgende Annahmen getroffen:

- ▶ Im Jahr 2022 wurden an Destatis Daten von 453 Deponien mit einer aktiven Gaserfassung übermittelt. Mit Stand 18.12.2024 wurden für Deutschland 125 Deponiebelüftungsmaßnahmen genannt, die im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative beantragt oder bereits bewilligt wurden (Seymer et. al, 2025).
- ▶ Es wird angenommen, dass von den verbleibenden ca. 330 Standorten in den nächsten 10 – 15 Jahren auf 200 Standorten mit der Deponiebelüftung begonnen wird. Unter Einbeziehung des Belüftungszeitraums von jeweils 10 – 15 Jahren pro Standort wird ein Betrachtungszeitraum von 25 Jahren von 2026 – 2050 gewählt.
- ▶ Im Zeitraum 1972 (Beginn der geordneten Deponierung) wurden bis 2005 (Beendigung der Ablagerung organikhaltiger Siedlungsabfälle) nach Angaben des Umweltbundesamts ca. 711,8 Mill. Mg Siedlungsabfälle (Feuchtmasse) deponiert. Bei einem Wassergehalt von 30% entspricht dies etwa 500 Mill. Mg TM Abfälle (Trockenmasse).
- ▶ Unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Masseverlusts durch biologischen Abbau der organikhaltigen Fraktionen der Siedlungsabfälle von 20% wären noch ca. 400 Mill. Mg TM Abfälle vorhanden. Wird diese Gesamtmenge auf die 453 über Destatis erfassten Deponiestandorte bezogen, so errechnen sich für jeden Standort durchschnittlich etwa 0,88 Mill. Mg (Trockenmasse TM) mit organischen, biologisch abbaubaren „Restanteilen“.
- ▶ Bei dem gewählten Ansatz von 200 potenziell zu belüftenden Deponiestandorten mit jeweils durchschnittlich 0,88 Mill. Mg TM organikhaltiger Abfälle ergeben sich 176 Mill. Mg TM, die aerob biologisch stabilisiert werden können. Dies stellt eine realistische Größenordnung dar.
- ▶ Zahlreiche Untersuchungen im Zuge von NKI-Machbarkeitsstudien und weiterer Forschungsvorhaben haben gezeigt, dass der Anteil an bioverfügbarem Kohlenstoff zu Beginn einer Deponiebelüftungsmaßnahme, wenn eine Deponiegasverwertung nicht mehr möglich ist, bei ca. 5 - 10 kg pro Mg TM liegt (NKI-Förderkriterium  $\leq 12$  kg /Mg TM). Als konservative Abschätzung werden 5 kg / Mg TM angenommen, da das noch vorhandene biologisch abbaubare Kohlenstoffpotential zu Belüftungsbeginn in den nächsten Jahren weiter abnehmen wird. D.h. bezogen auf die Gesamtmasse von 176 Mill. Mg TM handelt es sich um ca. 0,88 Mill. Mg biologisch abbaubaren Kohlenstoff, der mit der Deponiebelüftung beschleunigt und kontrolliert abgebaut werden kann. Ziel sollte es sein, davon möglichst viel, ca. 80 – 90% innerhalb eines Belüftungszeitraums von 10 – 15 Jahren abzubauen, so dass hier ein erreichbarer Abbaugrad von 85% bzw. ca. 0,75 Mill. Mg Kohlenstoff angesetzt wird.
- ▶ Dieses zu stabilisierende Kohlenstoffpotential würde unter anaeroben Milieubedingungen bei einer angenommenen Methankonzentration von 40 Vol.-% (Referenzwerte Destatis zu erfassten Deponiegasvolumina von Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase im Jahr 2022, nach der IPCC-Methodik wären hier sogar 50 Vol.-% anzusetzen) anteilig etwa 0,75 Mill. Mg  $\cdot 0,4 = 0,30$  Mill. Mg Kohlenstoff entsprechen, der im Deponiekörper als Methan freigesetzt wird. Unter Berücksichtigung des GWP-Faktors von 28 und des Molverhältnisses Methan zu Kohlenstoff von 16 zu 12 würde dies klimarelevante Emissionen von ca. 11,2 Mill. Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente entsprechen, die durch die Deponiebelüftung im Betrachtungszeitraum der nächsten 25 Jahre vermieden werden können.

- ▶ Diese Abschätzung bezieht sich auf eine Deponiesituation, bei der wie erläutert eine herkömmliche Gaserfassung und -verwertung/-behandlung aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht fortgeführt bzw. der Betrieb der optimierten Gasfassung abgeschlossen wird.
- ▶ Bei dieser Abschätzung der Klimaschutzwirkung ist zu berücksichtigen, dass die Deponiebelüftung eine beschleunigende Wirkung auf die biologischen Abbauprozesse und damit auf den Kohlenstoffumsatz und -austag ausübt. D.h. es wird im Betrachtungszeitraum von 25 Jahre mehr Kohlenstoff aerob abgebaut, als er unter anaeroben Milieubedingungen in Form von Deponiegas umgesetzt worden wäre. Damit werden klimarelevante Methanemissionen vermieden, die sonst über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren hinaus noch entstehen können.
- ▶ Unter Berücksichtigung dieser inhaltlichen und zeitlichen Abfolge kann davon ausgegangen werden, dass die Deponiebelüftung in den nächsten 25 Jahren auf zahlreichen Deponien eingesetzt werden kann. Abbildung 30 zeigt den Verlauf der potenziell vermeidbaren klimarelevanten Methanemissionen, ausgewiesen als CO<sub>2</sub>-Äquivalente aufgrund der gewählten Annahmen. Auch hier hängt die tatsächliche Entwicklung der vermiedenen Methanemissionen in den nächsten Jahren davon ab, auf wie viel Deponien, insbesondere auf jenen mit einem großen Ablagerungsvolumen, die Deponiebelüftung über die bereits laufenden Deponiebelüftungsmaßnahmen hinaus aufgenommen wird.
- ▶ Aller Voraussicht nach kann die Deponiebelüftung verfahrensbedingt und aufgrund der längeren Anwendungsdauer einen größeren Effekt auf den Klimaschutz ausüben als die optimierte Gasfassung.
- ▶ Auch hier können zur Plausibilitätsbetrachtung Angaben der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) zu Deponiebelüftungsmaßnahmen herangezogen werden (Seymer et al., 2025):
  - Summe Deponiebelüftung ab 2025: 0,73 Mill. Mg CO<sub>2</sub>-eq./a
- ▶ Im Verhältnis zur Abschätzung für das Jahr 2026 wurde demnach schon ein beträchtlicher Anteil an Emissionsreduktion über die NKI-Maßnahmen zur Deponiebelüftung realisiert bzw. befindet sich aktuell in der Umsetzung. Auch hier besteht durch weitere Deponiebelüftungsmaßnahmen noch ein nennenswertes zusätzliches Emissionsminderungspotential. Entscheidend wird es wie bei der optimierten Gaserfassung sein, diese Maßnahmen möglichst zeitnah auf einer größeren Anzahl von Deponien zu verwirklichen, wo die Gaserfassung und -verwertung beendet wird oder bisher nur ein sehr geringer Gasfassungsgrad bei der herkömmlichen Gasfassung erreichbar war.

**Abbildung 30: Entwicklung der potenziell reduzierbaren klimarelevanten Methanemissionen durch die Deponiebelüftung über einen Zeitraum von 25 Jahren**

Entwicklung der potenziell reduzierbaren klimarelevanten Methanemissionen durch die Deponiebelüftung über einen Zeitraum von 25 Jahren



Quelle: eigene Darstellung, IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

## 4 Quellenverzeichnis

### Gesetze und Regelwerke:

Anonymous (1999): Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien

Anonymous (2010): IE-Richtlinie. IED - Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)

Anonymous (2010): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV), vom 26.11.2010

Anonymous (2015): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV, vom 03.02.2015.

Anonymous (2022): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) und der Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien. Europäische Kommission, 05.04.2022 (COM/2022/156 final)

Anonymous (2024): Richtlinie (EU) 2024/1785 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 zur Änderung der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) und der Richtlinie 1999/31/EG des Rates über Abfalldeponien

BMWK (2024): Richtlinie zur Bundesförderung kommunaler Klimaschutz (Kommunalrichtlinie) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) vom 10. Oktober 2024. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

BQS 1-0 (2014): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 1-0 „Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere“ vom 16.07.2014, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-0 (2014): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-0 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten-übergreifende Anforderungen“ vom 04.12.2014, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-1 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-1 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-2 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-2 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.20, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-3 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 2-4 (2015): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-4 „Basisabdichtungskomponenten aus Asphalt“ vom 07.07.2015, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 3-1 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 3-1 „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungssystemen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 3-2 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 3-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 5-0 (2014): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-0 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten - Übergreifende Anforderungen“ vom 04.12.2014, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 5-1 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-1 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 5-2 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-2 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 5-3 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-3 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 5-4 (2015): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-4 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus Asphalt“ vom 07.07.2015, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 5-5 (2023): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-5 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen“ vom 17.05.2023, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 5-6 (2010): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-6 „Kapillarsperren in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 09.11.2010, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 7.3 (2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-3 „Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 02.12.2020, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

BQS 10-1 (2022): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“ vom 10.11.2021, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>.

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert.

DGUV (2001): DGUV Regel 114-005 „Deponien“ vom Februar 2001, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), veröffentlicht unter <https://www.dguv.de/publikationen>

DGUV (2022): DGUV Regel 113-001 „Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)“ vom Dezember 2022, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), veröffentlicht unter <https://www.dguv.de/publikationen>

EU-Kommission (2023): Bericht der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss der Regionen. Ermittlung der Mitgliedstaaten, bei denen die Gefahr besteht, dass sie die Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von Siedlungsabfällen bis 2025, für das Recycling von Verpackungsabfällen bis 2025 und für die Verringerung der Deponierung von Abfällen bis 2035 nicht erreichen. COM(2023) 304 final. Europäische Kommission, 08.06.2023.

GDA E1-11 (2019): Schadstoffrückhaltevermögen mineralischer Barrieren. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

GDA E2-3 (2016): Kombiniertes Basisabdichtungssystem. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

GDA E2-18 (2021): Geotechnische Belange der Deponieentgasung. . Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

GDA E3-1 (2010): Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

GDA E3-03 (2010): Tonmineralogische Charakterisierung von mineralischen Basisabdichtungen. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

GDA E1-11 (2019): Schadstoffrückhaltevermögen mineralischer Barrieren. Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., veröffentlicht unter <https://dggt.de/>

IPCC (2006): IPCC Inventory Software - Waste Model. Verfügbar unter <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>

LAGA (2018): Arbeitspapier des LAGA ATA Ad-hoc Ausschusses „Entlassung von Deponien aus der Nachsorge“ zu den „Grundsätzen zur Entlassung von Deponien aus der Nachsorge“ vom Mai 2018

SKZ (2017): SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie „Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“ vom Juni 2017, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaets-standards.html>.

UBA/NIR (2023): Umweltbundesamt, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021. Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission. Juni 2023

UBA/NIR (2024): Climate Change 38/2024. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2024. Nationales Inventardokument zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2022. Herausgeber: Umweltbundesamt. 6. September 2024

VDI (2005): VDI 4285 Blatt 1, Messtechnische Bestimmung der Emissionen diffuser Quellen – Grundlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2006): VDI 3860 Blatt 1, Messen von Deponiegas – Grundlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2012): VDI 3860 Blatt 4, Messen von Deponiegasen - Messungen im Untergrund. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2016): VDI 3899 Blatt 1, Emissionsminderung, Deponiegas, Deponiegasverwertung und –behandlung. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2017): VDI 3860 Blatt 3, Messen von Deponiegas - Messen von Methan an der Deponieoberfläche mittels Saugglockenverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2017): VDI 3790 Blatt 2, Umweltmeteorologie, Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen, Deponien. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2019): VDI 3860 Blatt 2, Messen von Deponiegas - Messungen im Gaserfassungssystem. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2019): VDI 3899 Blatt 2, Emissionsminderung, Deponiegas, Systeme zur Deponiegaserfassung und Belüftung. Beuth Verlag GmbH, Berlin

VDI (2020): VDI 3945 Blatt 3, Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Partikelmodell. Beuth Verlag GmbH, Berlin

### **Monografien:**

Baumeler, A.; Brunner, P.H.; Fehringer, R.; Kisliakova, A., Schachermayer, E. (1998): Reduktion von Treibhausgasen durch Optimierung der Abfallwirtschaft (CH<sub>4</sub>). Schriftenreihe der Energieforschungsgemeinschaft im Verband der E-Werke Österreichs, Bestell-Nr.: 650/457

Cossu, R., Stegmann, R. (2019): Solid Waste Landfilling – Concepts, Processes, Technologies. Elsevier Verlag Amsterdam. ISBN 978-0-12-818336-6

De Baere, L. (2000): Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. Water Sci. Technol. 41, S. 283 - 290

DWA/VKU (2022): Deponie auf Deponie – ein nachhaltiger Weg der Abfallbeseitigung. Arbeitsbericht des DWA/VKU-Fachausschusses „Deponien“. VKU Verlag GmbH, Mai 2022. Veröffentlicht unter <https://www.vku.de/publikationen/deponie-auf-deponie-ein-nachhaltiger-weg-der-abfallbeseitigung/>

Ehrig, H.-J. et al. (1995): BMBF-Statusbericht – Teil 1, Statusbericht Deponiekörper. S.116.

Elpelt-Wessel, I., Strohmaier, S., Reiser, M. (2025): Bestimmung der diffusen Methanemissionen von Deponien im laufenden Prozess bei aeroben In-situ-Stabilisierungsprojekten. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamt, Dessau. Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft; Februar 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bestimmung-der-diffusen-methanemissionen-von>

Gebert, J., Pfeiffer, E. M. (Hrsg.) (2017): Bilanzierung von Gasflüssen auf Deponien. Leitfaden I des Forschungsverbundes MiMethox. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten Band 81 (I). ISSN 0724-6382.

InwesD (2025): Deponiebuch 2025. Herausgeber Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber InwesD. Veröffentlicht unter [https://inwesd.de/?page\\_id=11846](https://inwesd.de/?page_id=11846)

Jessberger, H.-L. (1992): Zwischenbericht des Forschungsprojektes Geotechnik der Abfallstoffe. September 1992

Ketelsen, K. (2022). Weiterentwicklung der MBA mit den Zielen der Optimierung der Ressourceneffizienz und Minimierung der Treibhausgasemissionen. In: Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung IV. hrsg.: Wiemer, K., Kern, M., Raussen, T. Witzhausen 2022. ISBN 3-928673-82-3

Krause, M.J., Chickering, G.W., Townsend, T.G., Reinhart, D.R. (2016): Critical review of the methane generation potential of municipal solid waste. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. S. 1117 – 1182, DOI: 10.180/10643389.2016.1204812

Kruse, K. (1994): Langfristiges Emissionsgeschehen von Siedlungsabfalldeponien, Heft 54 des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Braunschweig, ISSN 0934-9731

LAGA Länderabfrage 2023: Länderabfrage zu Deponiekenndaten bis 2022 über Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) . Datenerhebung im Rahmen des ReFoPlan-Vorhabens „Stand der Technik der Abfall-

ablagerung auf Deponien in Deutschland und deren Beitrag zum Klimaschutz zur Vorbereitung der Arbeiten für ein BVT-Merkblatt Deponien“. Unveröffentlichte, anonymisierte Datensammlung im Auftrag des Umweltbundesamts mit Stichtag 31.12.2022.

Lechner, P. (2004): Kommunale Abfallentsorgung. UTB 2114. Facultas Universitätsverlag, Wien

Ramke, H.G. (2010): Hydrothermale Carbonisierung. Abschlussbericht. Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Fachbereich Umweltingenieurwesen und Angewandte Informatik. Höxter, Oktober 2010

Rettenberger, G. (1996): Erkenntnisse aus dem Deponierückbau bezüglich Langzeitverhalten der Deponiegasentwicklung – Empfehlungen für die Entgasung älterer Deponien in Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft Band 9, Economica Verlag, Bonn, hrsg. von Rettenberger, G. und Stegmann, R.

Rettenberger, G., Mezger, H. (1992): Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen – Leitfaden Deponiegas. Herausgegeben von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 1. Auflage. Karlsruhe.

Ritzkowski, M. (2005): Beschleunigte aerobe in-situ Stabilisierung von Altdeponien. Hamburger Berichte Band 26. Verlag Abfall aktuell. ISBN 3-9810064-1-0

RUK (2014): Überprüfung der Emissionsfaktoren für die Berechnung der Methanemissionen aus Deponien - Sachverständigengutachten der Ingenieurgruppe RUK GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, Projektnummer 29180, vom Januar 2014, Berlin

Seymer, P., Lommel, H., Götz, G. (2025): Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz – Stand und Perspektiven der Förderung zur optimierten Gasfassung und Deponiebelüftung über die Nationale Klimaschutzinitiative. 14. Hamburger Abfallwirtschaftstage Deponietechnik 2025, 05.-06.02.2025. <https://www.deponietechnik-hh.de/session/der-beitrag-der-abfallwirtschaft-zum-klimaschutz-stand-und-perspektiven-der-foerderung-zur-optimierten-gasfassung-und-deponiebelueftung-ueber-die-nationale-klimaschutzinitiative/>

Stegmann, R., Heyer, K.-U., Hupe, K. (2012): *Fachgutachten: „Methanemissionen aus der Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen“*. Förderkennzeichen 360 16 036, im Auftrag des Umweltbundesamtes  
Stegmann, R., Heyer, K.-U., Rettenberger, G., Schneider, R. (2018): *Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien*“, UFOPLAN-Projekt FKZ 3714343170 im Auftrag des Umweltbundesamts

Stegmann, R., Heyer, K.-U., Rettenberger, G., Schneider, R. (2018): *Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien*“, UFOPLAN-Projekt FKZ 3714343170 im Auftrag des Umweltbundesamts

Stegmann, R., Heyer, K.-U., Rettenberger, G., Schneider, R. (2019): Emissionen aus der Abfalldeponierung: Umsetzung der Ergebnisse der UFOPLAN Vorhaben FKZ 3714343170 und FKZ 371541110 in die Berichterstattung 2020, im Auftrag des Umweltbundesamts, November 2019

Tallner, L. (1993): Produktion und Nutzung von Deponiegas.

Wang, Y.S., Barlaz, M.A. (2016): Decomposition and carbon storage of hardwood and softwood branches in laboratory-scale landfills. Science of the Total Environment, 557 – 558. Elsevier B.V., S. 355-362

Weber, B. (1990): Minimierung von Emissionen der Deponie, Veröffentlichung des ISAH, Universität Hannover, Heft 74, 1990

#### Internetadressen:

Destatis (2024): Statistischer Bericht. Abfallentsorgung 2022. Datenbank GENESIS-Online vom 08.05.2024. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>, zuletzt eingesehen am 06.06.2024.

Destatis A (2024): Entsorgungswege des Klärschlammes nach Bundesländern 2010, 2015 bis 2023. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/liste-klärschlammverwertungsart.html>, zuletzt eingesehen am 28.07.2025.

IIPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5 Waste  
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>, zuletzt eingesehen am 05.05.2023

Umweltbundesamt (2024): Climate Change 38/2024. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2024. Nationales Inventardokument zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2022. Herausgeber: Umweltbundesamt. September 2024.  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-9>

### **Quellen des Arbeitspakets 2 – öffentlich zugängliche Daten:**

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Abfallbilanz 2021 - Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft, Juli 2022. InwesD - Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V., Deponiebuch, [https://inwesd.de/?page\\_id=28](https://inwesd.de/?page_id=28), abgerufen im März 2023.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Derzeit im Ablagerungsbetrieb befindliche Deponien entsorgungspflichtiger Gebietskörperschaften in Bayern, Augsburg, Dezember 2020.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Überwachungsbericht Deponien, Augsburg 2023,  
[https://www.lfu.bayern.de/abfall/ueberwachung\\_deponien/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/abfall/ueberwachung_deponien/index.htm), abgerufen im April 2023.

LfU Brandenburg, Überwachungsbericht Deponien, Potsdam 2023.

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Abfallwirtschaftsplan Hessen - Siedlungsabfälle und Industrielle Abfälle, Wiesbaden, September 2021.

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Entsorgerhandbuch,  
<https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/atlas/script/index.php>, abgerufen im Mai 2023.

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Abfallwirtschaftsplan Niedersachsen - Teilplan Siedlungsabfälle und nicht gefährliche Abfälle, Hannover 2019.

Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Überwachungsplan für Deponien gemäß Artikel 23 Abs. 4 der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, § 47 Abs. 7 KrWG und § 22 a DepV, Hannover, Januar 2015.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Deponiesituation in Nordrhein-Westfalen - LANUV-Fachbericht 140, Recklinghausen, Februar 2023.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Web-Portal AddisWeb.  
<https://www.addis.nrw.de/spring/intro.>, abgerufen im April 2023.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz, Überwachungsplan Rheinland-Pfalz - Industrieemissions-Richtlinie (IE-Richtlinie), Mainz, Juli 2021.

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Abschätzung des zukünftigen Bedarfs an Deponiekapazitäten in Rheinland-Pfalz - Kurzfassung der Studie im Auftrag des Landesamtes für Umwelt Rheinland-Pfalz, Heidelberg, Juni 2016.

Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Umweltinspektionen, Neustadt a.d. Weinstraße, 2023.

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), Abfallwirtschaftsplan für den Freistaat Sachsen - Fortschreibung 2016, Dresden, November 2016.

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), MinResource - Deponiebedarf für mineralische Abfälle im Freistaat Sachsen bis 2035, Dresden, November 2020.

Landeshauptstadt Magdeburg, Abfallwirtschaftskonzept 2018, Magdeburg, April 2019.

Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt, Abfallwirtschaftsplan für das Land Sachsen-Anhalt - Fortschreibung 2017 - Teilplan Siedlungsabfälle und nicht gefährliche Massenabfälle, Halle, Oktober 2017.

Staatskanzlei und Ministerium für Kultur des Landes Sachsen-Anhalt, Landesportal Sachsen-Anhalt, Deponien, Magdeburg, 2023.

Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur, Anlagenkataster, Kiel, 2022.

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Abfallwirtschaftsplan Schleswig-Holstein - Teilplan Siedlungsabfälle (2014-2023), Kiel, Juli 2014.

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Landesabfallwirtschaftsplan Thüringen 2018 - mit Berücksichtigung der Hinweise und Einwendungen im Beteiligungsverfahren, April 2018.

Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz des Saarlandes, Abfallwirtschaftsplan Saarland - Teilplan Siedlungsabfälle 2022, Saarbrücken, März 2022.

Ministerium für Umwelt, Klima, Mobilität, Agrar und Verbraucherschutz Saarland, Umweltinspektionsberichte IED-Anlagen, [https://www.saarland.de/SiteGlobals/Forms/Suche/DE/Expertensuche\\_Formular.html](https://www.saarland.de/SiteGlobals/Forms/Suche/DE/Expertensuche_Formular.html), abgerufen im Mai 2023.

Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern, Überwachungsbericht Deponien, Schwerin, 2020.

Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Überwachungsplan für die Anlagenüberwachung nach der Industrieemissions-Richtlinie (IE-RL) in Mecklenburg-Vorpommern, Anhang 1.2 Deponien, 2020.

Dr. Ulrich Stock - Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz; LfU Brandenburg, Präsentation "Deponiebedarf in Brandenburg" - 19. Leipziger Deponiefachtagung, März 2023.

Umweltbundesamt, Texte - 44/93 - Hausmülldeponien in der Bundesrepublik Deutschland, März 1994.

Clemens Hölter GmbH, Ökobase Umweltatlas, 2001.

## 5 Glossar

| A                              |                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abdeckmaterial                 | Materialien (z. B. Erde, Ton, Geotextilien), die zur täglichen oder endgültigen Abdeckung der Deponie verwendet werden.                                             |
| Abdichtungssystem              | Kombination verschiedener Materialien und Schichten zur Verhinderung des Austritts von Schadstoffen aus der Deponie (z.B. Basis- und Oberflächenabdichtungssystem). |
| Abfallablagerung               | Gezielte Platzierung von Abfällen auf einer Deponie unter Berücksichtigung technischer und rechtlicher Vorgaben.                                                    |
| Abfallannahme                  | Verfahren zur Prüfung und Genehmigung von Abfällen, die auf der Deponie abgelagert werden dürfen.                                                                   |
| Abfallarten                    | Unterschiedliche Typen von Abfällen, die auf Deponien entsorgt oder verwertet werden können (z. B. Hausmüll, Industrieabfälle, Bauschutt).                          |
| Abfallbilanz                   | Dokumentation der Abfallmengen und -arten, die auf einer Deponie entsorgt werden.                                                                                   |
| Abfallklassifizierung          | Einteilung von Abfällen in verschiedene Kategorien (z. B. Hausmüll, Sonderabfall, gefährlicher Abfall).                                                             |
| Abfallkubatur / Mächtigkeit    | Größe (Volumen) und Höhe des Deponiekörpers, wichtige Planungsgrundlage für Belüftung.                                                                              |
| Abfalllagerung                 | Zwischenlagerung von Abfällen vor ihrer endgültigen Deponierung oder Behandlung.                                                                                    |
| Abfallverwertung               | Wiederverwendung oder Recycling von Abfällen zur Ressourcenschonung.                                                                                                |
| Abfallwirtschaftskonzept       | Strategien zur Entsorgung, Verwertung und Vermeidung von Abfällen unter Berücksichtigung ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte.                                 |
| Abluftfassung                  | System zur Sammlung von Abluft, die bei der Belüftung entsteht.                                                                                                     |
| Abluftreinigung                | Verfahren zur Nachbehandlung von erfasster Abluft (z.B. Biofilter, RTO, Schwachgasfackel).                                                                          |
| Abwasserverordnung (Anhang 51) | Gesetzliche Regelung von Anforderungen an die Qualität von Sickerwasser vor Einleitung.                                                                             |
| Adsorption                     | Bindung von Schadstoffen aus dem Sickerwasser an Feststoffe wie Aktivkohle oder Tonminerale.                                                                        |
| Aerobe Phase                   | Anfangsphase der Abfallzersetzung auf einer Deponie, in der Sauerstoff vorhanden ist und organische Stoffe zu Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) abgebaut werden.      |
| Aerober Abbau                  | Abbau organischer Substanzen unter Sauerstoffzufuhr.                                                                                                                |
| Aerobisierung                  | Prozess der Sauerstoffzufuhr zur Umstellung von anaeroben zu aeroben Abbauprozessen im Deponiekörper.                                                               |

|                                                                          |                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aerosolemissionen                                                        | Feine Partikel oder Tröpfchen, die durch Verdunstung oder Zersetzung von Abfällen in die Luft gelangen.                                                                                   |
| Aktive Deponie                                                           | Eine Deponie, die sich noch in Betrieb befindet und weiterhin Abfälle aufnimmt.                                                                                                           |
| Aktive Gaserfassung                                                      | Technisches System zur Erfassung von Deponiegas mittels Absaugung.                                                                                                                        |
| Aktivkohleadsorber                                                       | Anlage zur Entfernung von Schadstoffen aus Gasströmen durch Bindung an Aktivkohle.                                                                                                        |
| Aktivkohlefilter                                                         | Filtersystem zur Reinigung von Deponiegas durch Adsorption von Schadstoffen.                                                                                                              |
| Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )                                             | Häufig vorkommender Schadstoff im Sickerwasser, der aus dem Abbau organischer Stoffe entsteht.                                                                                            |
| Anaerobe Phase                                                           | Phase nach dem Sauerstoffverbrauch, in der Mikroorganismen unter Ausschluss von Sauerstoff organisches Material in Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) zersetzen. |
| Anaerober biologischer Abbau                                             | Prozess im Deponiekörper, bei dem organische Stoffe unter Sauerstoffausschluss zersetzt werden, wobei Methan entsteht.                                                                    |
| Arbeitsschutzmaßnahmen                                                   | Vorgaben zum Schutz von Personen bei der Wartung und Kontrolle von Schächten und Leitungen.                                                                                               |
| Asphaltabdichtung                                                        | Verwendung von speziellen Asphaltmischungen zur Abdichtung von Deponien.                                                                                                                  |
| Auffangsystem für Sickerwasser                                           | Technische Einrichtungen zur Sammlung und Ableitung von Sickerwasser in einer Deponie.                                                                                                    |
| AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) | Regelt den Bau und Betrieb von Anlagen, die mit wassergefährdenden Stoffen umgehen, inkl. Sickerwasserschächte.                                                                           |
| <b>B</b>                                                                 |                                                                                                                                                                                           |
| BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)                   | Prüfstelle für Geokunststoffe und andere Baumaterialien im Deponiebau.                                                                                                                    |
| Basisabdichtungssystem                                                   | Technische Barriere am Grund der Deponie, die ein Austreten von Sickerwasser in den Untergrund verhindert.                                                                                |
| Bauschuttdeponie                                                         | Spezielle Deponie für mineralische Abfälle wie Beton, Ziegel oder Keramik.                                                                                                                |
| Belastungskontrolle                                                      | Maßnahmen zur Überwachung der Auswirkungen von Deponien auf Umwelt und Gesundheit.                                                                                                        |
| Belüftungssysteme                                                        | Systeme zur Luftzuführung in den Deponiekörper                                                                                                                                            |
| Bentonitmatte (Geosynthetische Tonabdichtung, GCL)                       | Eine geosynthetische Abdichtung, bestehend aus einer dünnen Schicht Bentonit, die bei Kontakt mit Wasser aufquillt und abdichtet.                                                         |
| Berichts- und Dokumentationspflichten                                    | Verpflichtung des Betreibers, Behörden über Betrieb, Sicherheit und Umweltmaßnahmen zu informieren.                                                                                       |

|                                             |                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Betriebsbuch                                | Dokumentation aller relevanten Betriebsdaten einer Deponie, einschließlich Abfallmengen, Messwerte und Wartungen.                                                                   |
| Betriebsgenehmigung                         | Offizielle Erlaubnis zur Errichtung und zum Betrieb einer Deponie unter Einhaltung gesetzlicher Vorschriften.                                                                       |
| Betriebshandbuch Deponiegas                 | Dokument mit Vorgaben zum sicheren Umgang mit Deponiegas, inkl. Betrieb, Wartung und Sicherheit.                                                                                    |
| Betriebssicherheitsverordnung               | Rechtsvorschrift zum sicheren Betrieb von Anlagen, auch mit Blick auf Deponiegasanlagen.                                                                                            |
| BetrSichV                                   | Betriebssicherheitsverordnung, regelt Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln.                                                                       |
| Bewirtschaftungskonzept                     | Plan zur Organisation und Kontrolle des Deponiebetriebs über seinen gesamten Lebenszyklus.                                                                                          |
| BHKW (Blockheizkraftwerk)                   | Anlage zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme aus Deponiegas.                                                                                                                |
| Biofilter                                   | Biologische Reinigungseinheiten zur Behandlung von Restgasen, insbesondere zur Geruchsminderung.                                                                                    |
| Biogas                                      | Gasgemisch aus Methan (CH <sub>4</sub> ) und Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ), das durch den Abbau organischer Stoffe entsteht; Deponiegas ist eine spezielle Form von Biogas.       |
| Biologische Methanoxidation                 | Verfahren zur Reduzierung von Methanemissionen durch den mikrobiellen Abbau in Bodenfiltern.                                                                                        |
| Biologische Reinigung                       | Verfahren zur Behandlung von Sickerwasser mithilfe von Mikroorganismen, um organische und stickstoffhaltige Verbindungen abzubauen.                                                 |
| Biologische Stabilisierung                  | Verfahren zur Reduzierung der organischen Bestandteile von Abfällen vor der Ablagerung.                                                                                             |
| Blockheizkraftwerk                          | Kompakt aufgebaute Anlage zur Gewinnung elektrischer Energie und Wärme. Als Antrieb für den Stromerzeuger können Verbrennungsmotoren, d.h. Otto- oder Gasmotoren eingesetzt werden. |
| Bodenabdichtung (geologische Barriere)      | Natürliche oder künstlich verstärkte Barriere zum Schutz des Untergrunds und Grundwassers.                                                                                          |
| Bodenluftabsaugung                          | Verfahren zur Absaugung von Gasen unter der Abdichtungsschicht, um Druckaufbau und Leckagen zu vermeiden.                                                                           |
| Bohrlochdurchmesser                         | Größe der Gasbrunnenbohrungen (600 mm bis 1200 mm), abhängig von Gasfassungssystem und Technik.                                                                                     |
| Böschungsversagen                           | Abrutschen oder Einsturz der seitlichen Deponieböschungen.                                                                                                                          |
| BQS (Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard) | Vorgaben für Material- und Ausführungsstandards von Entwässerungskomponenten (z.B. BQS 3-1, BQS 3-2, BQS 8-1).                                                                      |
| BQS 10-1 "Deponiegas"                       | Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard zur Behandlung von Deponiegas.                                                                                                                |
| <b>C</b>                                    |                                                                                                                                                                                     |

|                                     |                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CH <sub>4</sub> (Methan)            | Hauptbestandteil von Deponiegas mit einem Anteil von ca. 40–60 %, hat ein hohes Treibhauspotenzial.                                                                     |
| Charakterisierung (grundlegende)    | Erstbewertung eines Abfalls vor der ersten Anlieferung, die alle erforderlichen Informationen zur Beschaffenheit und Behandlungsnotwendigkeit des Abfalls umfasst.      |
| Chemische Beständigkeit             | Widerstandsfähigkeit von Abdichtungsmaterialien gegenüber aggressiven chemischen Substanzen aus Sickerwasser.                                                           |
| Chemische Reinigung                 | Einsatz von chemischen Prozessen zur Entfernung von Schadstoffen aus dem Sickerwasser, z. B. durch Fällung oder Oxidation.                                              |
| Chloride                            | Anorganische Salze, die in Sickerwasser häufig vorkommen und durch gelöste Salze aus Abfällen entstehen.                                                                |
| CO (Kohlenmonoxid)                  | Kann in Spuren im Deponiegas enthalten sein und ist hochgiftig.                                                                                                         |
| CO <sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid) | Zweithäufigster Bestandteil von Deponiegas, entsteht bei der mikrobiellen Zersetzung organischer Stoffe.                                                                |
| CO <sub>2</sub> -Bilanz             | Erfassung und Bewertung der durch Deponiebetrieb verursachten Treibhausgasemissionen.                                                                                   |
| Compaction (Verdichtung)            | Mechanische Reduzierung des Volumens von Abfällen durch Verdichtungsfahrzeuge.                                                                                          |
| Composite Liner                     | Mehrschichtige Abdichtungssysteme, die aus einer Kombination von Geomembranen und mineralischen Dichtungen bestehen.                                                    |
| <b>D</b>                            |                                                                                                                                                                         |
| Deponieabdichtung                   | Technische Maßnahmen zur Verhinderung von Schadstoffaustritten aus einer Deponie.                                                                                       |
| Deponieabschnitt                    | Unterteilung einer Deponie in verschiedene Zonen für eine schrittweise Befüllung und geordnete Ablagerung.                                                              |
| Deponiebelüftung                    | Verfahren zur gezielten Zufuhr von Luft in den Deponiekörper zur beschleunigten biologischen Stabilisierung der Abfälle und Reduzierung von Methanbildung.              |
| Deponiebetreiber                    | Verantwortliche Organisation oder Behörde, die den Deponiebetrieb organisiert und überwacht.                                                                            |
| Deponieersatzbaustoffe              | Unmittelbar einsetzbare Abfälle sowie unter Verwendung von Abfällen hergestellte Materialien, die anstelle natürlicher Baustoffe im Deponiebau verwendet werden dürfen. |
| Deponiegas                          | Gasgemisch, das durch biologische Abbauprozesse organischer Abfälle unter anaeroben Bedingungen entsteht (hauptsächlich Methan und Kohlendioxid).                       |
| Deponiegasbehandlung                | Verfahren zur Reinigung oder Nutzung von Deponiegas (z.B. Methanoxidation, energetische Verwertung).                                                                    |
| Deponiegasbehandlungsanlage         | Technische Einrichtung zur Reinigung und/oder Verwertung von Deponiegas.                                                                                                |

|                          |                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Deponiegaserfassung      | System zur Sammlung von Deponiegasen aus dem Deponiekörper, um Emissionen zu kontrollieren und ggf. energetisch zu nutzen.                                          |
| Deponiegasfackel         | Anlage zur kontrollierten Verbrennung von Deponiegas zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen.                                                                    |
| Deponiegasmigration      | Unerwünschte seitliche oder vertikale Bewegung von Deponiegas im Untergrund.                                                                                        |
| Deponiegaspotential      | Schätzung der Menge an Gas, die eine Deponie über einen bestimmten Zeitraum erzeugen kann.                                                                          |
| Deponiegasverwertung     | Nutzung des erfassten Deponiegases zur Energiegewinnung (z.B. Strom, Wärme).                                                                                        |
| Deponieklasse            | Einstufung von Deponien in Deutschland je nach Art und Gefährlichkeit der abzulagernden Abfälle                                                                     |
| Deponieklasse I          | Oberirdische Deponie für Abfälle, die die Zuordnungskriterien nach Anhang 3 Nummer 2 für die Deponieklasse I einhalten.                                             |
| Deponieklasse II         | Oberirdische Deponie für Abfälle, die die Zuordnungskriterien nach Anhang 3 Nummer 2 für die Deponieklasse II einhalten.                                            |
| Deponieklasse III        | Oberirdische Deponie für nicht gefährliche Abfälle und gefährliche Abfälle, die die Zuordnungskriterien nach Anhang 3 Nummer 2 für die Deponieklasse III einhalten. |
| Deponiekörper            | Gesamtheit des deponierten Materials innerhalb der Deponie.                                                                                                         |
| Deponiesicherheit        | Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltschäden und Risiken für die Gesundheit durch den Deponiebetrieb.                                                                 |
| Deponiesickerwasser      | Jede Flüssigkeit, die die abgelagerten Abfälle durchsickert und aus der Deponie ausgetragen oder in der Deponie eingeschlossen wird.                                |
| Deponiestilllegung       | Verfahren zur endgültigen Schließung und Sicherung einer Deponie nach Abschluss der Ablagerungen.                                                                   |
| Deponieverordnung (DepV) | Rechtliche Grundlage für Bau, Betrieb, Stilllegung und Nachsorge von Deponien in Deutschland.                                                                       |
| Desinfektion             | Verfahren zur Abtötung von Keimen und pathogenen Mikroorganismen im Sickerwasser.                                                                                   |
| DGUV-Regel 114-005       | Vorschriften der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung für den sicheren Betrieb von Deponien.                                                                   |
| Dichtungskontrollsystem  | Technische Einrichtungen zur Überwachung der Dichtheit einer Deponieabdichtung.                                                                                     |
| Diffusion                | Bewegung von Deponiegas durch Porenräume im Abfall und Boden.                                                                                                       |
| Direkte Einleitung       | Einleitung des behandelten Sickerwassers direkt in ein Gewässer (Vorfluter).                                                                                        |
| Dränage                  | System zur kontrollierten Ableitung von Sickerwasser innerhalb einer Deponie.                                                                                       |
| Dränageschicht           | Durchlässige Schicht zur Ableitung von Sickerwasser oder Deponiegas, um Druckaufbau auf die Abdichtung zu vermeiden.                                                |

|                                 |                                                                                                                       |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Durchdringungsbauwerke          | Bauwerke zur Durchführung von Sickerwasserleitungen durch die Basisabdichtung.                                        |
| <b>E</b>                        |                                                                                                                       |
| Eigenprüfung                    | Qualitätskontrolle durch die ausführende Firma selbst.                                                                |
| Eigenstromerzeugung             | Nutzung von erzeugtem Strom aus Deponiegas zur Deckung des eigenen Energiebedarfs der Anlage.                         |
| Einbauverfahren                 | Vorgehensweise beim Ablagern und Verdichten von Abfällen in der Deponie.                                              |
| Eingangsbestätigung             | Dokumentation der Anlieferung von Abfällen inklusive Menge und Abfallschlüssel.                                       |
| Einsammler                      | Unternehmen oder Person, die im Auftrag Dritter Abfälle einsammelt und zur Entsorgung weiterleitet.                   |
| Elektrokoagulation              | Verfahren zur Entfernung von Schadstoffen aus dem Sickerwasser durch elektrische Ladung und Flockung.                 |
| Eluat                           | Flüssigkeit, die beim Durchsickern von Wasser durch feste Stoffe gelöste Stoffe aufnimmt.                             |
| Emissionen                      | Freisetzung von Schadstoffen (z.B. Staub, Gas, Wasserverunreinigungen) aus einer Deponie in die Umwelt.               |
| Emissionskontrollen             | Überwachung und Vermeidung von Schadstoffaustritt (Luft, Wasser, Boden).                                              |
| Endabdeckung                    | Abschließende Schicht auf der Deponieoberfläche zur langfristigen Sicherung.                                          |
| Energetische Verwertung         | Nutzung des Deponiegases zur Strom- und Wärmeerzeugung, zur Substitution fossiler Energieträger.                      |
| Energiegewinnung aus Deponiegas | Nutzung des Methangehalts im Deponiegas zur Strom- und Wärmeerzeugung.                                                |
| Energieverwertung               | Nutzung des Energiegehalts von Deponiegas zur Erzeugung von Strom und Wärme.                                          |
| Entgasung                       | Gezielte Ableitung und Behandlung von Gasen aus dem Deponiekörper.                                                    |
| Entgasungsbrunnen               | Vertikale oder horizontale Vorrichtung zur gezielten Absaugung von Deponiegas.                                        |
| Entgasungssystem                | Einrichtungen zur Ableitung und Behandlung von Deponiegasen.                                                          |
| Entwässerungssystem             | System zur Sammlung, Ableitung und ggf. Behandlung von Sickerwasser, Teil des Basisabdichtungssystems.                |
| Erklärung des Abfallerzeugers   | Schriftliche Bestätigung, dass der Abfall dem charakterisierten Typ entspricht.                                       |
| Erosionsschutz                  | Maßnahmen zur Stabilisierung von Deponieoberflächen und Verhinderung von Materialverlust durch Wind oder Wasser.      |
| Erschließung einer Deponie      | Planung und Bau der notwendigen Infrastruktur für den Betrieb einer Deponie (Straßen, Entwässerung, Gasfassung etc.). |

|                                     |                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Exergetisches Potenzial             | Maß für die nutzbare Energie eines Gases oder Systems, bezogen auf die Umwandlung in Arbeit oder Energie.                                                                               |
| Explosionsgefahr                    | Risiko der Entzündung und Explosion von Deponiegas, insbesondere in geschlossenen oder schlecht belüfteten Bereichen.                                                                   |
| Explosionsschutz                    | Maßnahmen zur Verhinderung von Explosionen durch entzündliche Deponiegase.                                                                                                              |
| <b>F</b>                            |                                                                                                                                                                                         |
| Fällung                             | Chemische Reaktion, bei der gelöste Stoffe durch Zugabe von Reagenzien in eine feste Phase überführt werden.                                                                            |
| Faserausbreitung                    | Freisetzung von gefährlichen Fasern (z. B. Asbest) aus den Abfällen.                                                                                                                    |
| Faseremissionen                     | Freisetzung gefährlicher faserförmiger Stoffe (z.B. Asbest, künstliche Mineralfasern) in die Umwelt.                                                                                    |
| Fermentation                        | Anaerober Prozess der mikrobiellen Zersetzung organischer Stoffe zur Methangasbildung.                                                                                                  |
| Filterdrainage                      | System zur Ableitung und Reinigung von Sickerwasser innerhalb der Deponie.                                                                                                              |
| Filtermaterial                      | Materialien (z. B. Aktivkohle, Bodenfilter) zur Reinigung von Deponiesickerwasser oder zur Gasfilterung.                                                                                |
| Filterschicht                       | Mineralische Schicht, die das Eindringen von Feinteilen in die Entwässerungsschicht verhindert.                                                                                         |
| Filtration                          | Mechanische Abtrennung von Feststoffen aus dem Sickerwasser durch Filtermaterialien.                                                                                                    |
| Flächenbiofilter                    | Deponieoberfläche dient als biologischer Filter zur Abluftbehandlung.                                                                                                                   |
| Flächennutzungskonzept              | Planung der langfristigen Nutzung des Deponiegeländes nach der Stilllegung.                                                                                                             |
| Flächenspezifische Methangasbildung | Menge an Methan, die pro m <sup>2</sup> Deponiefläche und pro Stunde gebildet wird; wichtig für Nachsorgeentscheidungen.                                                                |
| Flammenüberwachung                  | Sicherheitsvorrichtung an Gasfackeln zur Kontrolle der Verbrennung.                                                                                                                     |
| Flotationsverfahren                 | Trennverfahren, bei dem feine Feststoffe durch Gasblasen an die Oberfläche befördert und abgeschieden werden.                                                                           |
| Folienschweißnahtprüfung            | Qualitätskontrolle zur Überprüfung der Dichtheit von verschweißten Kunststoffabdichtungen.                                                                                              |
| Frachtenabschätzung                 | Berechnung der Menge an Schadstoffen, die mit Sickerwasser aus der Deponie ausgetragen werden.                                                                                          |
| Fremdprüfung                        | Teil der Maßnahmen der Qualitätsüberwachung und –prüfung bei der Herstellung von Abdichtungssystemen auf einer Deponiebaustelle, die von einer fremdprüfenden Stelle durchgeführt wird. |
| Fugenabdichtung                     | Abdichtung von Verbindungsstellen zwischen verschiedenen Abdichtungsmaterialien, um Leckagen zu verhindern.                                                                             |

|                                      |                                                                                                                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Funktionsfähigkeit                   | Fähigkeit eines Systems (z.B. Abdichtung), dauerhaft die geforderte Wirkung zu erbringen.                          |
| <b>G</b>                             |                                                                                                                    |
| Gasbrunnen                           | Vertikale Rohre zur Gasabsaugung und/oder Luftzufuhr in den Deponiekörper.                                         |
| Gasdrainage                          | Horizontale Rohrsysteme zur kontrollierten Ableitung von Deponiegas.                                               |
| Gasdrainagesystem                    | Rohr- oder Schachtsystem zur gezielten Ableitung von Deponiegas.                                                   |
| Gasdränagen (horizontale Gasfassung) | Horizontale, perforierte Rohre zur Erfassung von Deponiegas, eingebettet in Kiesrigolen.                           |
| Gasdränschicht                       | Schicht unter der Oberflächenabdichtung zur Sammlung und Ableitung von Deponiegas.                                 |
| Gasemission                          | Freisetzung von Deponiegas in die Atmosphäre, wenn keine Erfassungssysteme vorhanden sind.                         |
| Gasentfeuchtung                      | Entfernung von Wasserdampf aus Deponiegas durch Abkühlung, um Korrosion und Schäden an Anlagenteilen zu vermeiden. |
| Gasfassungssystem                    | Technische Anlage zur Absaugung und Sammlung von Deponiegas, bestehend aus Gasbrunnen, Leitungen und Verdichtern.  |
| Gasfördereinrichtung                 | Technische Geräte (z.B. Verdichter), die das Deponiegas absaugen und zur Behandlung/Verwertung transportieren.     |
| Gaskollektoren                       | Systeme (Brunnen, Dränagen) zur Sammlung von Deponiegas innerhalb des Deponiekörpers.                              |
| Gasmessung                           | Verfahren zur Bestimmung der Zusammensetzung und Menge des Deponiegases.                                           |
| Gasmigration                         | Bewegung von Deponiegas aus dem Deponiekörper in umliegende Bereiche.                                              |
| Gas-Ottomotoren                      | Motoren zur Verwertung von Deponiegas in BHKWs.                                                                    |
| Gasprognose                          | Vorhersage der zukünftigen Gasbildung und -zusammensetzung einer Deponie.                                          |
| Gasprognoserechnung                  | Berechnung der zukünftigen Gasbildung zur Planung der Gasfassung und -behandlung.                                  |
| Gasreinigung                         | Entfernung von Stör- und Schadstoffen (z.B. H <sub>2</sub> S, Siloxane) aus Deponiegas vor der Nutzung.            |
| Gassammelleitung                     | Leitung zur Ableitung des erfassten Gases zu Behandlungsanlagen, mit Kontroll- und Messstellen ausgestattet.       |
| Gassammelstation                     | Station zur Bündelung und Regelung des erfassten Gases, ausgestattet mit Mess- und Regelsystemen.                  |
| Gasverdichterstation                 | Technische Einrichtung zur Erzeugung von Luft- oder Gasdruck für Belüftung/Absaugung.                              |
| GDA-Empfehlungen                     | Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.                                                        |

|                                                        |                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gefährliche Abfälle                                    | Abfall, der eine oder mehrere der in Anhang III der Abfallrahmenrichtlinie aufgeführten gefährlichen Eigenschaften aufweist.                              |
| Gefahrstoffverordnung                                  | Vorschrift zur Handhabung gefährlicher Stoffe.                                                                                                            |
| Geokunststoffe                                         | Kunststoffe wie Geomembranen, Geogitter oder Geotextilien, die in der Deponieabdichtung eingesetzt werden.                                                |
| Geosynthetische Dichtungsbahn (Geomembran, HDPE-Folie) | Kunststoffabdichtung aus Polyethylen (HDPE) oder anderen Kunststoffen, die als Barriere für Flüssigkeiten und Gase dient.                                 |
| Geotechnische Nachweise                                | Prüfungen zur Tragfähigkeit und Stabilität des Deponiekörpers.                                                                                            |
| Geotechnische Stabilität                               | Überprüfung der Standfestigkeit einer Deponie und ihrer Schutzsysteme.                                                                                    |
| Geotextilien                                           | Synthetische Materialien zur Stabilisierung und Filterung in Deponiebauwerken.                                                                            |
| Grubendeponie                                          | In eine natürliche oder künstliche Vertiefung eingebaute Deponie.                                                                                         |
| Grundwasserbeschaffenheit                              | Chemisch-physikalische Qualität des Grundwassers, insbesondere unterhalb einer Deponie.                                                                   |
| Grundwasserschutz                                      | Maßnahmen zur Verhinderung von Schadstoffeinträgen in das Grundwasser.                                                                                    |
| Grundwasserüberwachung                                 | Messungen zur Kontrolle von Veränderungen im Grundwasser durch mögliche Einflüsse aus der Deponie.                                                        |
| <b>H</b>                                               |                                                                                                                                                           |
| Haldendeponie                                          | Aufgeschüttete Deponie.                                                                                                                                   |
| Halogenierte Kohlenwasserstoffe                        | Schadstoffe im Deponiegas, die bei der Verbrennung zur Bildung toxischer Verbindungen führen können.                                                      |
| Hausmülldeponie                                        | Deponie zur Ablagerung nicht gefährlicher Haushalts- und Gewerbeabfälle.                                                                                  |
| Heizwert                                               | Energiemenge, die durch die Verbrennung von Deponiegas freigesetzt werden kann (abhängig vom Methangehalt).                                               |
| Hochdruckbelüftung                                     | Aktive Belüftung mit stoßweiser Druckabgabe (bis 6 bar) über Lanzen, um auch stark verdichtete Abfälle zu durchdringen; mit paralleler Abluftferrfassung. |
| Hochtemperaturfackel                                   | Verbrennungseinrichtung zur sicheren Oxidation von Deponiegas bei hohen Temperaturen.                                                                     |
| Huminsäuren                                            | Organische Säuren, die beim Abbau organischer Stoffe entstehen und das Sickerwasser belasten können.                                                      |
| Hydraulische Belastung                                 | Einfluss von Niederschlägen und Sickerwasser auf das Deponiesystem.                                                                                       |
| Hydraulische Durchlässigkeit                           | Maß für die Fähigkeit eines Materials, Wasser oder Flüssigkeiten durchzulassen; entscheidend für die Dichtungsleistung.                                   |
| Hydraulische Leitfähigkeit                             | Maß für die Durchlässigkeit eines Materials für Flüssigkeiten, entscheidend für die Sickerwasserbewegung.                                                 |

|                                  |                                                                                                                     |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydrogeochemie                   | Wissenschaft, die sich mit der Wechselwirkung von Deponiegas mit Grundwasser und Boden beschäftigt.                 |
| <b>I</b>                         |                                                                                                                     |
| Impulsverfahren                  | Verfahren, bei dem Luft stoßweise eingebracht wird, z.B. bei der Hochdruckbelüftung.                                |
| Indirekte Einleitung             | Einleitung des Sickerwassers in eine Kläranlage zur Mitbehandlung mit kommunalem Abwasser.                          |
| Inkrustationen                   | Ablagerungen fester oder schlammiger Stoffe (z.B. Calcium, Eisen), die die Entwässerung behindern können.           |
| In-situ Belüftung                | Direkt im Deponiekörper stattfindende Belüftung.                                                                    |
| In-situ-Oxidation                | Verfahren zur Umwandlung von Methan durch Mikroorganismen in weniger schädliche Stoffe.                             |
| Investitions- und Betriebskosten | Kosten für Errichtung und Betrieb von Deponiegasverwertungsanlagen.                                                 |
| Ionenaustausch                   | Chemisches Verfahren zur Entfernung von gelösten Schadstoffen wie Schwermetallen aus dem Sickerwasser.              |
| IPCC Waste Model                 | Modell des Weltklimarats (IPCC) zur Berechnung von Treibhausgasemissionen aus Abfällen und Deponien.                |
| <b>K</b>                         |                                                                                                                     |
| Kamerabefahrung                  | Inspektion von Leitungen (z.B. Sickerwasserrohre) mit Kameras zur Erkennung von Schäden.                            |
| Kapazität                        | Gesamtvolumen, das zur Ablagerung von Abfällen in einer Deponie zugelassen ist.                                     |
| Kapazitätsplanung                | Berechnung der maximalen Ablagerungsmengen und Lebensdauer einer Deponie.                                           |
| Kationenaustauscher              | Spezielle Materialien, die positiv geladene Ionen (z. B. Schwermetalle) aus dem Sickerwasser entfernen können.      |
| KDB (Kunststoffdichtungsbahn)    | Geokunststoff zur Abdichtung von Deponien.                                                                          |
| Klimaschutz                      | Zielsetzung, Treibhausgase (v.a. Methan aus Deponien) zu reduzieren.                                                |
| Kohlensäuregleichgewicht         | Einfluss der gelösten Kohlensäure auf den pH-Wert des Sickerwassers.                                                |
| Kombibrunnen                     | Brunnen mit Doppelfunktion: Gas-/Luftmanagement und Sickerwasserentnahme.                                           |
| Kompensator                      | Flexible Verbindung (z.B. Wellschlauch) zwischen Gasbrunnen und Sammelleitung, um Setzungsbewegungen auszugleichen. |
| Kondensat                        | Aus dem Deponiegas abgeschiedenes Wasser, das ebenfalls Schadstoffe enthalten kann.                                 |
| Kondensatableitung               | System zur Entfernung von Kondenswasser aus den Gasleitungen, um Funktionsstörungen zu vermeiden.                   |

|                                  |                                                                                                                                         |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kondensatabscheider              | Vorrichtung zur Entfernung von Wasserdampf aus dem Deponiegas, um Korrosion und Betriebsstörungen zu vermeiden.                         |
| Konditionierung                  | Vorbereitung von Abfällen zur Ablagerung (z.B. durch Befeuchtung).                                                                      |
| Kontroll- und Messstellen        | Einrichtungen zur Überwachung von Umwelteinwirkungen (z.B. Grundwasser, Sickerwasser, Gas).                                             |
| Kontrollmessungen                | Regelmäßige Umweltmessungen zur Überwachung von Gasemissionen, Wasserqualität und Bodenveränderungen.                                   |
| Kontrollsystem für Abdichtungen  | Sensoren oder Messsysteme zur Überwachung von Leckagen in Deponieabdichtungen.                                                          |
| Kontrolluntersuchung             | Regelmäßige Analysen von Abfällen vor oder während der Ablagerung, um sicherzustellen, dass diese den Deponieanforderungen entsprechen. |
| Korngrößenverteilung             | Verteilung der Partikelgrößen in einem Abfallmaterial; beeinflusst Staubbildung.                                                        |
| Korrosion                        | Schädigung von Gasleitungen und Anlagen durch chemische Reaktionen mit Deponiegasbestandteilen (z. B. Schwefelwasserstoff).             |
| Kunststoffdichtungsbahn (KDB)    | Flexible, wasserundurchlässige Folie aus Kunststoff zur Abdichtung von Deponien.                                                        |
| k-Wert (Durchlässigkeitsbeiwert) | Maß für die Wasserdurchlässigkeit einer Schicht (z.B. $k = 10^{-3}$ m/s).                                                               |
| <b>L</b>                         |                                                                                                                                         |
| LAGA                             | Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall, erstellt Empfehlungen und Richtlinien zur Abfallwirtschaft.                                     |
| Lageplan                         | Übersichtskarte, die die Deponie und alle wichtigen Einrichtungen (z.B. Messstellen, Einzugsgebiet) zeigt.                              |
| Lagerungsdichte                  | Verhältnis zwischen Abfallmasse und Volumen, beeinflusst durch Verdichtungsmaßnahmen.                                                   |
| Landschaftsintegration           | Gestaltung von Deponien, um sie nach Stilllegung in die natürliche Umgebung einzubinden.                                                |
| Längsgefälle                     | Gefälle entlang der Fließrichtung ( $\geq 1\%$ ).                                                                                       |
| Laufzeit                         | Zeitraum, in dem eine Deponie betrieben oder nachsorglich betreut wird.                                                                 |
| Laugung                          | Auflösung von Stoffen durch Wasser, wodurch diese ins Sickerwasser übergehen.                                                           |
| Leachate (Sickerwasser)          | Flüssigkeit, die durch die Abfälle sickert und Schadstoffe aufnehmen kann.                                                              |
| Leckage                          | Undichte Stelle in einem System, durch die Deponiegas unkontrolliert austreten kann.                                                    |
| Leckageerkennungssystem          | Sensoren oder Drainagesysteme zur Erkennung und Lokalisierung von Undichtigkeiten in Abdichtungssystemen.                               |

|                                               |                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Leckageüberwachung                            | Technische Systeme zur Früherkennung von Abdichtungsdefekten.                                                                                       |
| Liner-System                                  | Mehrschichtige Kombination aus natürlichen und synthetischen Abdichtungen, die die Deponie abdichtet.                                               |
| Luftstrippung                                 | Entfernung flüchtiger Schadstoffe aus dem Sickerwasser durch Einblasen von Luft.                                                                    |
| Luftzufuhrsteuerung                           | Regelung des Luftstroms zur Förderung oder Vermeidung bestimmter mikrobieller Abbauprozesse.                                                        |
| <b>M</b>                                      |                                                                                                                                                     |
| Massenabfälle                                 | Abfälle, die in großen Mengen anfallen, z. B. aus Schadensfällen oder Rückbau von Altlasten und Deponien.                                           |
| Massenspezifische Untersuchungshäufigkeit     | Vorgabe, wie oft bei einer bestimmten Menge (z.B. je 1.000 Mg) eine Untersuchung des Abfalls auf Einhaltung der Kriterien durchgeführt werden muss. |
| MBA (Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung) | Vorbehandlung von Abfällen zur Stabilisierung und Reduzierung der Sickerwasserbelastung.                                                            |
| MBA-Deponien                                  | Deponien, die mechanisch-biologisch behandelte Abfälle aufnehmen.                                                                                   |
| Mechanisch-biologisch behandelte Abfälle      | Restabfälle, die vor der Deponierung in einer mechanisch-biologischen Anlage behandelt wurden, um Schadstoffe und verwertbare Stoffe zu entfernen.  |
| Mechanische Vorreinigung                      | Entfernung grober Partikel aus dem Sickerwasser durch Siebung oder Absetzverfahren.                                                                 |
| Medium Combustion Plant Directive (MCPD)      | EU-Richtlinie zur Begrenzung von Emissionen aus mittelgroßen Feuerungsanlagen.                                                                      |
| Membrandichtung                               | Flexible Kunststoffschicht zur Abdichtung von Deponieböden oder -abdeckungen.                                                                       |
| Membranfiltration                             | Hochentwickeltes Verfahren zur Abtrennung feinsten Verunreinigungen aus dem Sickerwasser mittels semipermeabler Membranen.                          |
| Mess- und Kontrollprogramm                    | Plan zur systematischen Überwachung und Prüfung von Umwelteinflüssen, die von einer Deponie ausgehen.                                               |
| Messeinrichtungen                             | Technische Vorrichtungen zur Erfassung von Umweltdaten (z.B. Grundwasserstand, Gasmenge, Temperatur).                                               |
| Meteorologische Daten                         | Wetterdaten (z.B. Niederschlag, Temperatur, Wind), die Einfluss auf die Deponie haben können.                                                       |
| Methan (CH <sub>4</sub> )                     | Hauptbestandteil von Deponiegas, energiereiches und klimaschädliches Treibhausgas.                                                                  |
| Methanemissionen                              | Freisetzung von Methan aus Deponien, ein bedeutendes Treibhausgas.                                                                                  |
| Methanfracht                                  | Menge an Methan, die aus dem Deponiekörper freigesetzt wird.                                                                                        |
| Methanoxidation                               | Mikrobieller Prozess, bei dem Methan in CO <sub>2</sub> umgewandelt wird.                                                                           |

|                                      |                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methanoxidationsfenster              | Technische Einrichtungen zur biologischen Oxidation von Methan als passive Behandlung von Restgasen.                                              |
| Methanoxidationsschicht              | Spezielle Rekultivierungsschicht, die gezielt zur Oxidation von Methan eingesetzt wird.                                                           |
| Mg (Megagramm)                       | Maßeinheit für Masse, 1 Mg = 1 Tonne (1.000 kg).                                                                                                  |
| Mikrobieller Abbau                   | Zersetzung von organischen Stoffen durch Bakterien, die zur Bildung von Deponiegas führt.                                                         |
| Mikrogasturbine                      | Kleine Gasturbine zur Stromerzeugung aus Deponiegas.                                                                                              |
| Mikroverunreinigungen                | Kleinste Schadstoffe wie Arzneimittelrückstände oder Pestizide, die in Sickerwasser vorkommen können.                                             |
| Mineralfaserhaltige Abfälle          | Abfälle, die künstliche Mineralfasern enthalten, z.B. Glas- oder Steinwolle, teils als gefährlich eingestuft.                                     |
| Mineralfasern (gefährliche)          | Faserförmige mineralische Stoffe (z.B. künstliche Mineralfasern), die beim Einatmen gesundheitsgefährdend sein können.                            |
| Mineralische Abdichtung              | Abdichtung aus verdichtetem Ton oder Lehm, die als Barriere gegen Wasser und Schadstoffe dient.                                                   |
| Mineralische Entwässerungsschicht    | Schicht zur Sammlung und Ableitung von Sickerwasser, meist aus Kies, Splitt oder Deponieersatzbaustoffen.                                         |
| Monitoring-Systeme                   | Sensoren und Messgeräte zur laufenden Überwachung von Umweltparametern.                                                                           |
| <b>N</b>                             |                                                                                                                                                   |
| Nachsorgeaufwand                     | Langfristig notwendige Maßnahmen zur Umweltüberwachung und -sicherung von Deponien.                                                               |
| Nachsorgemaßnahmen                   | Überwachung und Instandhaltung der Deponieabdichtungen nach der Stilllegung.                                                                      |
| Nachsorgephase                       | Zeitraum nach der Stilllegung einer Deponie, in dem weiterhin Überwachungs- und Sicherungsmaßnahmen erforderlich sind.                            |
| Nachträgliche Gasbrunneninstallation | Einbau von Gasbrunnen nach Abschluss der Deponieverfüllung zur Reduktion verbleibender Gasemissionen.                                             |
| Nährstoffbelastung                   | Hohe Konzentrationen von Stickstoff- und Phosphorverbindungen im Sickerwasser, die zu Umweltproblemen führen können.                              |
| Nasssprühsysteme                     | Technik zur Staub- und Erosionskontrolle auf Deponieoberflächen.                                                                                  |
| Nebenanlagen                         | Zusätzliche Einrichtungen auf einer Deponie, z.B. Wertstoffhof, Abfallbehandlungsanlagen.                                                         |
| Niederdruckbelüftung                 | Aktive Belüftung mit geringen Überdrücken (0,02 - 0,3 bar) zur gleichmäßigen Luftverteilung im Deponiekörper; meist kombiniert mit Abluftfassung. |
| Niederschlagsinfiltration            | Eindringen von Regenwasser in die Deponie, das zur Bildung von Sickerwasser beiträgt.                                                             |
| Niederschlagsmanagement              | Maßnahmen zur Steuerung des Wasserhaushalts auf der Deponie.                                                                                      |

|                               |                                                                                                              |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NOx                           | Stickoxide, entstehen bei Verbrennungsprozessen.                                                             |
| Nutzgasanteil                 | Prozentsatz des gesammelten Deponiegases, das zur Energieerzeugung genutzt werden kann.                      |
| <b>O</b>                      |                                                                                                              |
| Oberflächenabdichtung         | Abdichtung der Deponieoberfläche zur Minimierung der Sickerwasserbildung und Gasemissionen.                  |
| Oberflächenemissionen         | Unkontrollierte Austritte von Deponiegas durch die Deponieoberfläche.                                        |
| Oberflächenoxidation          | Biologischer Prozess, bei dem Mikroorganismen Methan aus der Deponie in CO <sub>2</sub> umwandeln.           |
| Oberflächenwasserableitung    | Systeme zur Vermeidung von Erosion und zur gezielten Ableitung von Regenwasser.                              |
| Organische Belastung          | Gehalt an biologisch abbaubaren Stoffen im Sickerwasser, die zu Sauerstoffmangel in Gewässern führen können. |
| Oxidation                     | Chemische Reaktion zur Umwandlung und Entfernung von Schadstoffen wie Ammonium oder Schwermetallen.          |
| Oxidationsfilter              | Filter zur biologischen oder chemischen Umwandlung von Methan oder anderen Gasen.                            |
| <b>P</b>                      |                                                                                                              |
| Passive Entgasung             | Entgasung ohne technische Förderung, z.B. über Methanoxidationsfenster.                                      |
| Passive Gasdrainage           | Unkontrollierte Entweichung von Deponiegas über natürliche Risse oder Drainagesysteme.                       |
| Passivsysteme                 | Systeme zur natürlichen Entgasung ohne aktive Gasabsaugung, z.B. Methanoxidationsschichten.                  |
| PE (Polyethylen)              | Kunststoffmaterial für Rohre und Schächte mit hoher Beständigkeit gegen chemische Belastungen.               |
| PE 100 / PE 100-RC            | Hochwertige Kunststoffe für Sickerrohre; PE 100-RC besitzt erhöhte Rissbeständigkeit.                        |
| Perkolation                   | Durchsickern von Wasser durch die Abfallschichten einer Deponie.                                             |
| Permeabilität                 | Durchlässigkeit von Abfällen oder Boden für Gasbewegungen.                                                   |
| Permeabilitätsprüfung         | Messung der Durchlässigkeit von Abdichtungsmaterialien.                                                      |
| pH-Wert                       | Maß für den Säure- oder Basengehalt des Sickerwassers, der durch biologische Abbauprozesse beeinflusst wird. |
| Polyethylenfolie (HDPE, LDPE) | Häufig verwendetes Material für Kunststoffabdichtungen in Deponien.                                          |
| Porenwasserüberdruck          | Druckaufbau von Wasser in den Poren des Deponiematerials, der die Standsicherheit beeinträchtigen kann.      |

|                               |                                                                                                                    |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probenahmeprotokoll           | Dokumentation, die die Art und Weise der Probenahme eines Abfalls beschreibt (Ort, Zeitpunkt, Methode).            |
| Probenvorbereitung            | Vorbereitung der entnommenen Abfallproben zur Analyse, z.B. Zerkleinerung, Homogenisierung.                        |
| Pufferzone                    | Schicht oder Bereich zur zusätzlichen Absicherung der Abdichtung gegen äußere Einflüsse.                           |
| <b>Q</b>                      |                                                                                                                    |
| Qualitätsmanagement (QM)      | System zur Sicherstellung der Einhaltung von Qualitätsanforderungen bei Bau und Betrieb einer Deponie.             |
| Qualitätsmanagementplan (QMP) | Plan zur Festlegung und Überwachung von Qualitätsanforderungen für Materialien und Bauprozesse.                    |
| Qualitätsüberwachung          | Systematische Kontrolle der Einhaltung von Qualitätsanforderungen während des Baus und Betriebs einer Deponie.     |
| Quergefälle                   | Gefälle quer zur Fließrichtung des Sickerwassers ( $\geq 3\%$ ).                                                   |
| <b>R</b>                      |                                                                                                                    |
| Redoxprozesse                 | Chemische Reaktionen, die zur Umwandlung von Schadstoffen in weniger schädliche Verbindungen genutzt werden.       |
| Regenspende                   | Maß für die Niederschlagsintensität, das zur Auslegung der Sickerwasserableitung dient.                            |
| Regenwasserableitung          | Maßnahmen zur Kontrolle von Niederschlagswasser, um Sickerwassermengen zu reduzieren.                              |
| Rekultivierung                | Maßnahmen zur ökologischen Wiederherstellung von Deponieflächen nach Stilllegung.                                  |
| Rekultivierungsschicht        | Abdeckung einer Deponie mit Bodenmaterial zur Begrünung und Reduzierung von Gasemissionen und Sickerwasserbildung. |
| Rekuperation                  | Rückgewinnung von Wärmeenergie aus dem Abgasstrom, z.B. zur Vorwärmung von Verbrennungsluft oder Gas.              |
| Restgasbildung                | Übrig bleibende Gasproduktion nach der Hauptabbauphase.                                                            |
| Restgasemission               | Nicht vollständig erfasstes und behandeltes Deponiegas, das in die Umwelt gelangt.                                 |
| Reststoffdeponie              | Deponie für Abfälle, die nach mechanisch-biologischer oder thermischer Behandlung übrig bleiben.                   |
| Rissbildung                   | Schäden in mineralischen oder synthetischen Abdichtungen, die zu Undichtigkeiten führen können.                    |
| Rohgas                        | Unbehandeltes Deponiegas, das nach der Erfassung einer Reinigung unterzogen werden kann.                           |
| Rohgasreinigung               | Verfahren zur Vorbehandlung von Deponiegas, um Schadstoffe zu entfernen.                                           |

|                                               |                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RTO (Regenerative Thermische Oxidation)       | Thermisches Verfahren zur vollständigen Oxidation von Restmethan; nutzt Wärmerückgewinnung.                                                           |
| Rückstellprobe                                | Probe von angeliefertem Abfall, die zurückgelegt und für einen bestimmten Zeitraum aufbewahrt wird, um bei Bedarf erneut untersucht werden zu können. |
| Rundkorn / Splitt                             | Kies oder gebrochener Stein zur Herstellung der Entwässerungsschicht.                                                                                 |
| <b>S</b>                                      |                                                                                                                                                       |
| Sättigung                                     | Grad der Wasserfüllung in den Poren eines Deponiematerials.                                                                                           |
| Sauerstoffbedarf                              | Menge an Sauerstoff, die für den biologischen Abbau der Restorganik erforderlich ist.                                                                 |
| Sauerstoffdefizit                             | Mangel an Sauerstoff im Deponiekörper, der durch Belüftung behoben werden soll.                                                                       |
| Säure-Basen-Haushalt                          | Verhältnis von sauren und basischen Bestandteilen im Sickerwasser, das für die Schadstoffmobilität entscheidend ist.                                  |
| Schächte (Kontroll-, Pump-, Speicherschächte) | Bauwerke zur Kontrolle, Sammlung und ggf. Speicherung und Förderung von Sickerwasser.                                                                 |
| Schadstoffe (im Deponiegas)                   | Toxische Bestandteile wie Schwefelwasserstoff, organische Schwefelverbindungen (Merkaptane).                                                          |
| Schadstoffemissionen                          | Freisetzung von gefährlichen Stoffen aus der Deponie, die kontrolliert und vermieden werden müssen.                                                   |
| Schalldämmung                                 | Maßnahmen zur Reduktion von Lärmemissionen von Anlagentechnik.                                                                                        |
| Schlüsselparameter                            | Wesentliche chemische oder physikalische Eigenschaften eines Abfalls, die für die Einhaltung der Zuordnungskriterien relevant sind.                   |
| Schutzschicht                                 | Schicht zum Schutz der darunterliegenden Abdichtungselemente.                                                                                         |
| Schwachgas                                    | Deponiegas mit niedriger Methankonzentration und -menge.                                                                                              |
| Schwachgasfackel                              | Thermische Abluftbehandlungseinheit für Gase mit niedrigen Methankonzentrationen.                                                                     |
| Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)        | Übelriechendes, toxisches Gas, das im Deponiegas in geringen Mengen vorkommen kann.                                                                   |
| Schweißnahtprüfung                            | Überprüfung der Qualität von verschweißten Geomembranen zur Vermeidung von Leckagen.                                                                  |
| Schwermetalle                                 | Metallische Schadstoffe wie Blei, Cadmium oder Quecksilber, die im Sickerwasser vorkommen können.                                                     |
| Sekundärabdichtung                            | Zusätzliche Abdichtungsschicht zur Sicherung gegen Undichtigkeiten der Primärabdichtung.                                                              |
| Setzung                                       | Höhenänderung des Deponiekörpers durch Verdichtung oder Zersetzungsprozesse.                                                                          |

|                                    |                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Setzungs- und Verformungskontrolle | Überwachung von Änderungen im Deponiekörper, z.B. durch Messungen.                                                                                                           |
| Setzungsbewegungen                 | Langfristige Senkungen des Deponiekörpers durch Verdichtung und Abbauprozesse.                                                                                               |
| Setzungsgeschwindigkeit            | Geschwindigkeit, mit der sich der Deponiekörper absenkt.                                                                                                                     |
| Setzungsprozesse                   | Absinken der Deponieoberfläche durch Verdichtung und biologischen Abbau der Abfälle.                                                                                         |
| Sicherheitsfackel                  | Anlage zur Verbrennung überschüssigen Deponiegases, wenn keine direkte Nutzung möglich ist.                                                                                  |
| Sickerrohre                        | Rohre zur Ableitung von Sickerwasser, bestehen meist aus PE.                                                                                                                 |
| Sickerwasser                       | Wasser, das durch die Deponie sickert und dabei gelöste und feste Bestandteile (oftmals Schadstoffe) aufnehmen kann.                                                         |
| Sickerwasserableitung              | Abführung des gefassten Sickerwassers aus dem Deponiekörper, um Aufstau zu verhindern.                                                                                       |
| Sickerwasserbehandlung             | Reinigung von Deponiesickerwasser, um Umweltbelastungen zu vermeiden.                                                                                                        |
| Sickerwasserbehandlungsanlagen     | Technische Einrichtungen zur Reinigung von Sickerwasser.                                                                                                                     |
| Sickerwasserdrainage               | Technisches System zur Sammlung und Ableitung von Sickerwasser aus einer Deponie.                                                                                            |
| Sickerwasserfassung                | Erfassung des in der Deponie entstehenden Sickerwassers zur weiteren Ableitung und Behandlung.                                                                               |
| Sickerwassermanagement             | Sammlung, Behandlung und Ableitung von Deponiesickerwasser.                                                                                                                  |
| Sickerwasserqualität               | Beschaffenheit des durch den Deponiekörper abfließenden Wassers.                                                                                                             |
| Sickerwasserreinigung              | Gesamtprozess zur Entfernung von Schadstoffen aus dem Sickerwasser vor der Ableitung in die Umwelt.                                                                          |
| Sickerwasserrohrdurchmesser        | Mindestinnendurchmesser: $\geq 250$ mm.                                                                                                                                      |
| Sickerwasserschutzsystem           | Maßnahmen zur Sammlung und Ableitung von Sickerwasser ohne Beeinträchtigung der Abdichtung.                                                                                  |
| Silikone                           | Störstoffe im Deponiegas, die Anlagen und Motoren beschädigen können.                                                                                                        |
| Siloxane                           | Organische Siliziumverbindungen, die in Deponiegas vorkommen und technische Anlagen schädigen können.                                                                        |
| SKZ/TÜV-LAGA-Güterichtlinie        | Richtlinie zur Qualitätssicherung bei Deponiegasmaßnahmen.                                                                                                                   |
| Sohlgleiche Übergänge              | Nahtloser Übergang von Drainageleitungen auf Vollwandrohre in gleicher Höhe.                                                                                                 |
| Spiegeleinträge                    | Abfälle, die sowohl als gefährlich als auch nicht gefährlich eingestuft sein können, je nachdem, welche Stoffe enthalten sind. Sie stehen „gespiegelt“ im Abfallverzeichnis. |

|                               |                                                                                                                                |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standsicherheit               | Stabilität des Deponiekörpers, um Setzungen, Rutschungen oder andere Schäden zu vermeiden.                                     |
| Standsicherheitsnachweis      | Dokumentierter Nachweis über die Stabilität und Sicherheit der Deponie während aller Nutzungsphasen.                           |
| Staubemissionen               | Freisetzung von feinen festen Partikeln (Staub) aus der Deponie in die Luft.                                                   |
| Stichprobenhafte Untersuchung | Untersuchung von zufällig ausgewählten Teilmengen einer größeren Abfallmenge zur Überprüfung der Einhaltung der Kriterien.     |
| Stützgasbetrieb               | Zusatz von fossilem Gas (z.B. Erdgas) zur Unterstützung der Verbrennung von Deponiegas mit niedrigem Methangehalt.             |
| Syphon                        | Bauteil zur hydraulischen Trennung von Sickerwasser und Deponiegas in Dränagerohren.                                           |
| <b>T</b>                      |                                                                                                                                |
| TA Luft                       | Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft; Vorgaben zur Emissionsbegrenzung in Deutschland.                                |
| Technische Barriere           | Kombination aus natürlichen und künstlichen Dichtungen zur Umweltsicherung.                                                    |
| Temperaturprofile             | Temperaturmessungen in unterschiedlichen Schichten des Deponiekörpers zur Kontrolle von biologischen und chemischen Prozessen. |
| Terrassierung                 | Stufenweise Modellierung der Deponie zur Stabilisierung und besseren Nutzung der Fläche.                                       |
| Thermische Behandlung         | Verbrennung von Abfällen zur Energiegewinnung oder zur Vernichtung gefährlicher Inhaltsstoffe.                                 |
| Thermische Oxidation          | Verfahren zur flammenlosen Verbrennung von Deponiegas zur Reduktion von Methan und anderen Schadstoffen.                       |
| Thermische Verwertung         | Verbrennung von Abfällen zur Energiegewinnung, um die Ablagemenge zu reduzieren.                                               |
| THG-Vermeidungskosten         | Kosten pro vermiedener Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent.                                                                      |
| Tiefenabsaugung               | Spezielle Form der Gasfassung mit tief verlegten Gasbrunnen, die durch Unterdruck Deponiegas absaugen.                         |
| Tondichtung                   | Natürliche mineralische Abdichtung mit Ton zur Verhinderung von Wasserdurchlässigkeit.                                         |
| Toxizität                     | Maß für die Schädlichkeit von Stoffen im Sickerwasser für Mensch und Umwelt.                                                   |
| Treibhausgasbilanz            | Erfassung und Bewertung der Klimawirkung von Deponiegasemissionen.                                                             |
| Treibhausgase (THG)           | Klimawirksame Gase wie Methan (CH <sub>4</sub> ), Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ), die bei Deponieprozessen entstehen.         |
| Treibhausgaspotenzial         | Maß für die Klimawirkung eines Gases im Vergleich zu Kohlendioxid (Methan hat ein ca. 25-mal höheres Potenzial).               |

|                                     |                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trennschicht                        | Schicht zwischen verschiedenen Abdichtungskomponenten zur Stabilisierung und Vermeidung von Schäden.                                                 |
| Triebkraft für die Anwendung        | Gründe für den Einsatz der Deponiegaserfassung, z.B. Klimaschutz, Vermeidung von Emissionen, Sicherheit.                                             |
| Turbinenbetrieb                     | Einsatz von Deponiegas zur Stromerzeugung in Gasturbinen.                                                                                            |
| <b>U</b>                            |                                                                                                                                                      |
| Überdruckseite                      | Teil eines Gasfassungssystems, in dem das Gas unter erhöhtem Druck transportiert wird.                                                               |
| Übersaugung                         | Verfahren zur weiteren Reduzierung von Deponiegasemissionen durch gesteigerte Gaserfassung und nachfolgender Belüftung über Oberfläche und Brunnen.  |
| Überwachungssysteme                 | Messinstrumente zur Kontrolle von Deponiegas- und Sickerwasserqualität.                                                                              |
| Ultrafiltration                     | Trennverfahren zur Entfernung von Partikeln und Mikroorganismen aus dem Sickerwasser.                                                                |
| Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) | Bewertung der ökologischen Auswirkungen eines Deponieprojekts.                                                                                       |
| Unterdruckseite                     | Bereich des Gasfassungssystems, in dem das Gas unter Unterdruck abgesaugt wird.                                                                      |
| Untergrunddichtung                  | Basisabdichtung unter der Deponie zur Verhinderung des Austritts von Schadstoffen.                                                                   |
| UV-Stabilisierung                   | Schutz von Kunststoffabdichtungen gegen Schäden durch Sonnenstrahlung.                                                                               |
| <b>V</b>                            |                                                                                                                                                      |
| Vegetationsschäden                  | Schäden an Pflanzen und Böden durch den Austritt von Deponiegas.                                                                                     |
| Verbrennungsanlage                  | Anlage zur thermischen Behandlung von Deponiegas, auch bei geringem Methangehalt.                                                                    |
| Verbrennungsgeschwindigkeit         | Geschwindigkeit, mit der Deponiegas in einer Fackel oder Turbine verbrannt wird.                                                                     |
| Verdichteranlage                    | Anlage zur Erzeugung von Druck für Luft- oder Gasströme.                                                                                             |
| Verdichteter Ton                    | Mineralische Dichtung aus hochverdichtetem Ton zur Abdichtung von Deponien.                                                                          |
| Verdichtung (von Abfällen)          | Mechanisches Verfahren zur Reduktion des Volumens von Abfällen durch Zusammendrücken, um die Standsicherheit zu erhöhen und Setzungen zu minimieren. |
| Verdunstung                         | Natürlicher Prozess, bei dem Wasser aus dem Sickerwasser in die Atmosphäre übergeht und die Wassermenge reduziert.                                   |
| Verfahrenskombination               | Kombination verschiedener Reinigungsmethoden zur optimalen Aufbereitung von Sickerwasser.                                                            |

|                                      |                                                                                                                                           |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verfestigung von Abfällen            | Maßnahmen zur Stabilisierung von breiigen oder schlammigen Abfällen, sodass diese gefahrlos eingelagert werden können.                    |
| Verformungsbeständigkeit             | Fähigkeit eines Abdichtungsmaterials, mechanischen Belastungen standzuhalten.                                                             |
| Verwertungspflicht                   | Gesetzliche Vorgabe, Abfälle möglichst zu recyceln oder thermisch zu verwerten, bevor eine Deponierung erlaubt ist.                       |
| Vorbehandlung                        | Maßnahmen, um einen Abfall vor der Ablagerung so zu verändern (z.B. Stabilisierung, Trocknung), dass die Ablagerung sicher erfolgen kann. |
| <b>W</b>                             |                                                                                                                                           |
| Wärmeentwicklung                     | Temperaturanstieg im Deponiekörper durch biologische und chemische Reaktionen.                                                            |
| Wärmeverwertung                      | Nutzung der bei der Verbrennung von Deponiegas entstehenden Wärmeenergie.                                                                 |
| Wasserdurchlässigkeit                | Eigenschaft eines Abdichtungsmaterials, Wasser abzuweisen und nicht zu absorbieren.                                                       |
| Wasserhaushalt einer Deponie         | Verhältnis von Niederschlag, Sickerwasserbildung und Verdunstung auf einer Deponie.                                                       |
| Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)        | Europäische Richtlinie zur Sicherstellung einer guten Wasserqualität.                                                                     |
| Wasserstoff (H <sub>2</sub> )        | Bestandteil von Deponiegas in sehr geringen Mengen, entsteht durch chemische Reaktionen im Abfall.                                        |
| Winderosionsschutz                   | Maßnahmen zur Reduzierung von Staub durch Wind (z.B. Windschutzpflanzungen).                                                              |
| Wirtschaftliche Auswirkungen         | Investitions- und Betriebskosten, die durch die Errichtung und Unterhaltung von Deponiegaserfassung und -behandlung entstehen.            |
| Wurzelresistenz                      | Widerstandsfähigkeit einer Abdichtung gegen Durchwurzelung durch Pflanzen.                                                                |
| <b>Z</b>                             |                                                                                                                                           |
| Zellstruktur einer Deponie           | Aufteilung einer Deponie in verschiedene Abschnitte mit eigenem Sickerwassermanagement.                                                   |
| Zersetzungsprozess                   | Biochemische Umwandlung organischer Stoffe in Gasbestandteile über verschiedene Phasen.                                                   |
| Zertifizierte Abdichtungsmaterialien | Geprüfte Materialien, die den gesetzlichen Anforderungen für Deponieabdichtungen entsprechen.                                             |
| Zielwerte                            | Gesetzliche Grenzwerte für Schadstoffe im Sickerwasser, die eingehalten werden müssen.                                                    |
| Zulassung                            | Genehmigung zum Betrieb, zur Errichtung oder zur Veränderung einer Deponie durch die zuständige Behörde.                                  |
| Zuordnungskriterien                  | Zuordnungswerte unter Einbeziehung der Fußnoten nach Anhang 3 Nummer 2 Tabelle 2 der Deponieverordnung                                    |

|                                    |                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zuordnungswerte                    | Konzentrationsangaben und Anforderungswerte, die in den Zuordnungskriterien nach Anhang 3 Nummer 2 Tabelle 2 der Deponieverordnung definiert sind und die ein Abfall einhalten muss. |
| Zustands- und Emissionsüberwachung | Kontinuierliche Überwachung des Zustands der Deponie und ihrer Emissionen in die Umwelt.                                                                                             |
| Zustandsbewertung                  | Bewertung des aktuellen Zustandes der Deponie anhand von Messergebnissen und Kontrollen.                                                                                             |
| Zwangsentgasung                    | Mechanische Absaugung von Deponiegas zur Vermeidung unkontrollierter Emissionen.                                                                                                     |
| Zweischichtsystem                  | Abdichtung mit zwei übereinanderliegenden Dichtungsebenen.                                                                                                                           |
| Zwischenabdeckung                  | Temporäre Abdeckung von Deponiebereichen, um Emissionen (Staub, Geruch, Gase) zu minimieren.                                                                                         |

## A Anhang – Fragebogen zu Deponiekenndaten, Länderabfrage über den LAGA ATA 2023

Abfrage über LAGA ad-hoc-AG Deponietechnik zu Deponien in Deutschland für ReFoPlan-Vorhaben

„Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien in Deutschland und deren Beitrag zum Klimaschutz zur Vorbereitung der Arbeiten für ein BVT-Merkblatt Deponien“

|                |                                  |                                                                                                              |                                                           |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Legende</b> | Grüne Zellen sind Pflichtangaben | Rote Zellen sind Pflichtangaben, werden im Zuge der Bearbeitung aber durch das UBA nachträglich anonymisiert | Gelbe Zellen bitte ausfüllen, sofern Angaben möglich sind |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|

| A0 | Bundesland | Datum der Bearbeitung | Bezugszeitpunkt | Hinweise:                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|------------|-----------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Bundesland |                       | 31.12.2022      | Bei Deponieabschnitten mit unterschiedlichen Deponieklassen, bitte für jeden Deponieabschnitt einzeln ausfüllen (ggf. Datenblatt kopieren mit neuem Tabellenreiter).<br>Bei direkten Auswahlfragen bitte zutreffende Felder mit einem "x" ausfüllen. |

| A1 Deponie / Kenndaten |                                                                                                                            |                                         |                                                                                                                    |                                    |                                                                 |                                                                 |             |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| A1.1                   | A1.2                                                                                                                       |                                         | A1.3                                                                                                               |                                    | A1.4                                                            |                                                                 | A1.5        |
| Name der Deponie       | Adresse                                                                                                                    |                                         | Betriebsstätten-Nr.                                                                                                |                                    | Deponieklasse                                                   |                                                                 | Monodeponie |
|                        | <div> <div>Straße</div> <div>PLZ Ort</div> <div>Ansprechpartner/in</div> <div>E-Mail</div> <div>Telefonnummer</div> </div> |                                         |                                                                                                                    |                                    | <div> <div>DK I</div> <div>DK II</div> <div>DK III</div> </div> | <div> <div>Ja</div> <div>Abfallart</div> <div>Nein</div> </div> |             |
| Kommentar-zeile        |                                                                                                                            |                                         |                                                                                                                    |                                    |                                                                 |                                                                 |             |
| A1.6                   | A1.7                                                                                                                       | A1.8                                    | A1.9                                                                                                               | A1.10                              | A1.11                                                           | A1.12                                                           |             |
| Ablagerungsfläche [ha] | Gesamtvolumen [m³]                                                                                                         | Verfügbares Restvolumen [m³]            | Jährliche Ablagerungsmasse [Mg]                                                                                    | Jährliches Ablagerungsvolumen [m³] | Restlaufzeit [a]                                                | Ende Abfalleinbau [a]                                           |             |
|                        |                                                                                                                            | (bitte mit Angabe des Bezugszeitpunkts) |                                                                                                                    |                                    |                                                                 |                                                                 |             |
| Kommentar-zeile        |                                                                                                                            |                                         |                                                                                                                    |                                    |                                                                 |                                                                 |             |
|                        | A1.13                                                                                                                      |                                         | A1.14                                                                                                              |                                    |                                                                 |                                                                 |             |
|                        | Geplantes weiteres Volumen [m³]                                                                                            |                                         | Standortkoordinaten                                                                                                |                                    |                                                                 |                                                                 |             |
|                        | <div> <div>bereits genehmigt</div> <div>im Genehmigungsverfahren</div> <div>in Planung</div> </div>                        |                                         | <div> <div>Lat (Breitengrad):</div> <div>Lon (Längengrad):</div> <div>(möglichst Dezimalgrad (WGS84))</div> </div> |                                    |                                                                 |                                                                 |             |
| Kommentar-zeile        |                                                                                                                            |                                         |                                                                                                                    |                                    |                                                                 |                                                                 |             |

| A2 Deponiebetreiber |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A2.1                | A2.2                                                                                                                       |
| Name                | Adresse                                                                                                                    |
|                     | <div> <div>Straße</div> <div>PLZ Ort</div> <div>Ansprechpartner/in</div> <div>E-Mail</div> <div>Telefonnummer</div> </div> |
| Kommentar-zeile     |                                                                                                                            |

| A3 Zuständige Behörde |                                                                                                                            |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A3.1                  | A3.2                                                                                                                       |
| Name                  | Adresse                                                                                                                    |
|                       | <div> <div>Straße</div> <div>PLZ Ort</div> <div>Ansprechpartner/in</div> <div>E-Mail</div> <div>Telefonnummer</div> </div> |
| Kommentar-zeile       |                                                                                                                            |

| A4 Betriebliche Einrichtungen              |                                            |                                            |                                            |                       |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|
| A4.1                                       | A4.2                                       | A4.3                                       | A4.4                                       | A4.5                  |
| Fahrzeugwaage                              | Sozialgebäude mit Schwarz/Weiß-Bereich     | Labor                                      | Kleinanliefererbereich                     | weitere Einrichtungen |
| <div> <div>Ja</div> <div>Nein</div> </div> | <div> <div>Ja</div> <div>Nein</div> </div> | <div> <div>Ja</div> <div>Nein</div> </div> | <div> <div>Ja</div> <div>Nein</div> </div> |                       |
| Kommentar-zeile                            |                                            |                                            |                                            |                       |

| A5 Sickerwasserfassung und -behandlung |  |                                                                      |  |                                 |  |                            |  |                                                          |  |
|----------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------|--|----------------------------|--|----------------------------------------------------------|--|
| A5.1                                   |  | A5.2                                                                 |  | A5.3                            |  | A5.4                       |  | A5.5                                                     |  |
| Sickerwasserfassungssystem vorhanden   |  | Sickerwasserbehandlung                                               |  | Behandlungstechnik              |  | Sickerwasservolumen [m³/a] |  | Abwasserableitung aus der Sickerwasserbehandlungs-anlage |  |
| Ja                                     |  | Ja, am Standort                                                      |  | Biologischer Abbau              |  |                            |  | Direkteinleitung                                         |  |
| Nein                                   |  | Ja, externe Behandlung in Sickerwasserbehandlungsanlage              |  | Chemische Oxidation             |  |                            |  | Indirekteinleitung                                       |  |
|                                        |  | Ja, externe Behandlung in kommunaler Kläranlage (Indirekteinleitung) |  | Adsorption (A-Kohle)            |  |                            |  | Abtransport                                              |  |
|                                        |  | Nein (Direkteinleitung)                                              |  | Flockung/Fällung                |  |                            |  | Sonstiges                                                |  |
|                                        |  |                                                                      |  | Flotation                       |  |                            |  |                                                          |  |
|                                        |  |                                                                      |  | Filtration                      |  |                            |  |                                                          |  |
|                                        |  |                                                                      |  | Umkehrosmose                    |  |                            |  |                                                          |  |
|                                        |  |                                                                      |  | Sonstiges (Angabe zu Verfahren) |  |                            |  |                                                          |  |
| Kommentar-zeile                        |  |                                                                      |  |                                 |  |                            |  |                                                          |  |

| A6 Deponieentgasung        |  |                                |  |                                 |  |                                 |  |
|----------------------------|--|--------------------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|--|
| A6.1                       |  | A6.2                           |  | A6.3                            |  | A6.4                            |  |
| Entgasungsanlage vorhanden |  | Art der Entgasung / Gasfassung |  | Art der Gasbehandlung           |  | Art der Gasverwertung           |  |
| Ja                         |  | aktiv                          |  | Fackel                          |  | BHKW                            |  |
| Nein                       |  | passiv                         |  | Schwachgasfackel                |  | Upgrading (Einspeisung)         |  |
|                            |  | vertikal                       |  | RTO                             |  | Gasturbine                      |  |
|                            |  | horizontal                     |  | Biofilter                       |  | thermische Verwertung           |  |
|                            |  |                                |  | Methanoxidationsschicht         |  | Sonstiges (Angabe zu Verfahren) |  |
|                            |  |                                |  | Sonstiges (Angabe zu Verfahren) |  |                                 |  |
| Kommentar-zeile            |  |                                |  |                                 |  |                                 |  |

| A7 Auslöseschwellen Grundwasserüberwachung |  |
|--------------------------------------------|--|
| A7.1                                       |  |
| Auslöseschwellen festgelegt                |  |
| Ja                                         |  |
| Nein                                       |  |
| Kommentar-zeile                            |  |

| A8 In situ Stabilisierung |                                          |                 |                                          |
|---------------------------|------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|
| A8.1                      |                                          | A8.2            |                                          |
| Deponiebelüftung          |                                          | Infiltration    |                                          |
| Ja                        |                                          | Ja              |                                          |
| Nein                      |                                          | Nein            |                                          |
| geplant                   |                                          | geplant         |                                          |
| Kommentar-zeile           | (sofern geplant, ab wann ca. Umsetzung?) | Kommentar-zeile | (sofern geplant, ab wann ca. Umsetzung?) |

| A9 Dichtungselemente      |  |                                    |                                 |                                    |  |
|---------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| A9.1                      |  | A9.2                               |                                 | A9.3                               |  |
| Basisabdichtung vorhanden |  | Basisabdichtung Aufbau             |                                 | Oberflächenabdichtung Aufbau       |  |
| Ja                        |  | mineralische Entwässerungsschicht  | Dränschicht                     | Rekultivierungsschicht             |  |
| Nein                      |  | Sonstiges (Angabe zu Art/Material) |                                 | Dränagematte                       |  |
| Sonstiges                 |  | 2. Abdichtungskomponente           | KDB                             | mineralische Dränschicht           |  |
|                           |  | Sonstiges (Angabe zu Art/Material) |                                 | KDB                                |  |
|                           |  | 1. Abdichtungskomponente           | mineralische Dichtungsschicht   | Sonstiges (Angabe zu Art/Material) |  |
|                           |  | Sonstiges (Angabe zu Art/Material) |                                 | mineralische Dichtungsschicht      |  |
|                           |  | Geologische Barriere               | natürliche geologische Barriere | geosynthetische Tondichtungsbahn   |  |
|                           |  |                                    | technisch geschaffene Barriere  | Sonstiges (Angabe zu Art/Material) |  |
|                           |  |                                    | Dichtwand                       | Dichtungskontrollsystem            |  |
|                           |  | Sonstiges (Angabe zu Art/Material) |                                 | Trag- und Ausgleichsschicht        |  |
| Kommentar-zeile           |  |                                    |                                 |                                    |  |

## B Anhang – Auszug Kenndaten der LAGA-Länderabfrage 2023 am Beispiel Mecklenburg-Vorpommern

| A0 Bundesland          | A1 Deponiekenndaten               |                |              |                          |                                       |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       | A4 Betriebliche Einrichtungen |                         |                |                  | A5 Sickerwasserfassung und -behandlung |                                 |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
|------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------|------------------|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                        | I                                 |                |              |                          |                                       |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               |                         |                |                  | Sickerwasserbehandlung                 |                                 |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
|                        | Anonymisierte Deponie-bezeichnung | Deponie-klasse | Mono-deponie | Ablagerungs-fläche in ha | Zug-Gesamt-ablage-rungs-volumen in m³ | Gesamt-fläche in m² | Verfügbares Restvolumen [m3] | Jährliche Ablagerungs-masse [Mg] | Jährliches Ablagerungs-volumen [m3] | Restlauf-zeit [a] | Ende Abfalleinbau [a] | Geplantes weiteres Volumen m³ | Kleinanlieferer-station | Fahrzeug-waage | Betriebs-gebäude | Labor                                  | Sickerwasser-fassung vorhanden? | Ja am Standort (Vorbehandlung oder Endbehandlung) | Ja, externe Behandlung in Sickerwasser-behandlungsanlage | Ja, externe Behandlung in kommunaler Kläranlage (Indirekteinleitung) | Nein (Direkteinleitung ) |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV233                             | DK II          |              | ca. 6,0                  | ca. 300.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1994            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV234                             | DK II          |              | 4,50                     | 275.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Ja                              |                                                   |                                                          |                                                                      | x                        |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV235                             | DK II          |              | 7,00                     | ca. 500.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1996            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV236                             | DK II          |              | 3,20                     | 150.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Ja                              |                                                   |                                                          |                                                                      | x                        |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV237                             | DK II          |              | ca. 4,0                  | ca. 256.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1995            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV238                             | DK II          |              | ca. 4,0                  | ca. 280.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1995            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV239                             | DK II          |              | 8,73                     | 650.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV240                             | DK I           |              | 8,70                     | 1.730.000                             |                     | 740.000                      | 150.000                          | 95.000                              | 6                 | 2029                  |                               | Nein                    | Ja             | Ja               | Nein                                   | Nein                            |                                                   | x                                                        |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV241                             | DK II          |              |                          | 366.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1995            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV242                             | DK II          |              | 4,50                     | ca. 500.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 29.02.1996            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV243                             | DK III         |              | 70,00                    | 18                                    |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Ja             | Ja               | Ja                                     | Ja                              | x                                                 |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV244                             | DK III         |              | 16,20                    | 5,025 Mio                             |                     | 920.000                      |                                  |                                     |                   |                       |                               | Ja                      | Ja             | Ja               | Ja                                     | Ja                              | x                                                 |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV245                             | DK II          |              | 3,10                     | 290.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV246                             | DK II          |              | 7,00                     | ca. 800.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 30.04.2004            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Ja                              |                                                   | x                                                        |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV247                             | DK II          |              | 2,00                     | ca. 80.000                            |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1995            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV248                             | DK II          |              | 8,50                     | 1.400.000                             |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV249                             | DK II          |              | 46,50                    | 7,35 Mio.                             |                     | 4.500.000                    | 153000                           | 214200                              | ca. 31            |                       |                               | Ja                      | Ja             | Ja               | Ja                                     | Ja                              | x                                                 |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV250                             | DK II          |              | 8,50                     | 700.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV251                             | DK I           |              | 6,25                     | 300.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV252                             | DK I           |              | 15,60                    | 2.175.000                             |                     | 1.700.000                    | 150000                           |                                     | 25                | 2048                  |                               | Ja                      | Ja             | Ja               | Nein                                   | Ja                              |                                                   | x                                                        |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV253                             | DK II          |              | ca. 6,8                  | ca. 100.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.03.1997            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV254                             | DK II          |              | 12,00                    | 1.000.000                             |                     |                              |                                  |                                     |                   | 2015                  |                               | Nein                    | Ja             | Ja               | Nein                                   | Ja                              |                                                   | x                                                        |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV255                             | DK II          |              | 13,50                    | 1.700.000                             |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV256                             | DK II          |              | ca. 4,6                  | ca. 400.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1995            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV257                             | DK II          |              | 9,60                     | 450.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV258                             | DK II          |              | 3,50                     | 250.000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV259                             | DK II          |              | 2,10                     | ca. 100.000                           |                     |                              |                                  |                                     |                   | 31.12.1995            |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV402                             | DK II          | Nein         | 17                       | 1000 (geplant Neuteil)                |                     |                              |                                  |                                     |                   | 1995                  |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Ja                              |                                                   |                                                          | X                                                                    |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV403                             | DK I           | ja           | 16,79                    | 1000000                               |                     |                              |                                  |                                     |                   | 1990                  |                               | Nein                    | Ja             | Nein             | Nein                                   | Nein                            |                                                   |                                                          |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV404                             | DK II          | Nein         | 6,5 ha                   |                                       |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Ja                              |                                                   | x                                                        |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV405                             | DK I           |              | 16                       |                                       |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Nein           | Nein             | Nein                                   | Ja                              |                                                   | x                                                        |                                                                      |                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV406                             | DK II          | Nein         | 7,5                      | 400.000-500.000                       |                     |                              |                                  |                                     |                   |                       |                               | Nein                    | Ja             | Nein             | Nein                                   | Ja                              |                                                   | x                                                        |                                                                      |                          |

| A0 Bundesland          | 1 Deponiekenndate                        | Behandlungstechnik    |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | Sickerwasser-<br>volumen | Abwasserableitung |                         |             |                                   | A6 Deponieentgasung |      |                   |        |          |            |
|------------------------|------------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------|------------|-------------------|-----------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------|------|-------------------|--------|----------|------------|
|                        | Anonymisierte<br>Deponie-<br>bezeichnung | Biologischer<br>Abbau | Chemische<br>Oxidation | Adsorption (A-<br>Kohle) | Flockung/Fäll-<br>ung | Flotation | Filtration | Umkehr-<br>osmose | Sonstiges<br>(Angaben zum<br>Verfahren) | Sonstiges<br>Ausführung | [m³/a]                   | Direkteinleitung  | Indirekteinlei-<br>tung | Abtransport | Sonstiges                         | Entgasungsanlage    |      | Art der Entgasung |        |          |            |
|                        |                                          |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | ja                  | nein | aktiv             | passiv | vertikal | horizontal |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV233                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV234                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   |      |                   | x      |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV235                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV236                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   |      |                   | x      |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV237                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV238                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV239                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   |      | x                 |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV240                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | 11.000                   |                   |                         | x           |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV241                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV242                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV243                                    |                       |                        |                          |                       |           |            | x                 |                                         |                         | 87200 DA 1 + DA 7        | x                 |                         |             |                                   | x                   |      | x                 |        | x        | x          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV244                                    |                       |                        |                          |                       |           |            | x                 |                                         |                         | 87200 DA 1 + DA 7        | x                 |                         |             |                                   |                     |      |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV245                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   | x    |                   | x      |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV246                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | 1.414                    |                   |                         | x           |                                   | x                   |      | x                 |        | x        |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV247                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV248                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   |      | x                 |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV249                                    |                       |                        |                          |                       |           |            | x                 |                                         |                         | bis zu ≤ 35.000 [m³/a]   | x                 |                         |             |                                   | x                   |      | x                 | x      |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV250                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   |      |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV251                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV252                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | < 10.000                 |                   |                         | x           |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV253                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   |      |                   | x      |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV254                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | ~ 1000 m³/a              |                   | x                       |             |                                   | x                   |      | x                 |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV255                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   | x                   |      |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV256                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV257                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV258                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV259                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV402                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | max: 900                 |                   |                         | x           | Sickerwassersammelbehälter 200 m³ |                     |      |                   | x      |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV403                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         |                          |                   |                         |             |                                   |                     | x    |                   |        |          |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV404                                    | x                     |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | 500                      |                   |                         | x           |                                   |                     |      |                   |        | x        |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV405                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | 19748                    | x                 |                         |             |                                   |                     |      |                   |        | x        |            |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV406                                    |                       |                        |                          |                       |           |            |                   |                                         |                         | 230                      |                   |                         | x           |                                   |                     |      |                   |        | x        |            |

| A0 Bundesland          | 1 Deponiekennzettel               |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           | A7 Auslöseschwellen |                             | A8 In situ Stabilisierung |                  |      |          |              |      |          |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|-----|-----------|------------------|----------|---------------|-----------------------|-----------|------------|-----------------------|-----------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|------|----------|--------------|------|----------|
|                        |                                   | Art der Gasbehandlung |                   |     |           |                  |          |               | Art der Gasverwertung |           |            |                       |           |                     | Auslöseschwellen festgelegt |                           | Deponiebelüftung |      |          | Infiltration |      |          |
|                        | Anonymisierte Deponie-bezeichnung | Fackel                | Schwach-gasfackel | RTO | Biofilter | Methan-oxidation | Sonstige | Sonstige Was? | BHKW                  | Upgrading | Gasturbine | thermische Verwertung | Sonstiges | Sonstiges Was       | ja                          | nein                      | ja               | nein | Sontiges | ja           | nein | Sontiges |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV233                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV234                             |                       |                   |     | X         |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV235                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV236                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV237                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV238                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV239                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV240                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     | X                           |                           | X                |      |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV241                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV242                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV243                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               | X                     |           |            |                       |           |                     | X                           |                           |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV244                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     | X                           |                           |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV245                             |                       |                   |     | X         |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV246                             |                       | X                 |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV247                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV248                             |                       |                   |     | X         |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV249                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               | X                     |           |            |                       |           |                     | X                           |                           |                  | X    |          | X            |      |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV250                             | X                     |                   |     | X         |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV251                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV252                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     | X                           |                           |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV253                             |                       |                   |     | X         |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV254                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               | X                     |           |            |                       |           | Generator           | X                           |                           |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV255                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               | X                     |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV256                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV257                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV258                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV259                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV402                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV403                             |                       |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV404                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV405                             |                       | X                 |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             |                           |                  | X    |          |              | X    |          |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV406                             | X                     |                   |     |           |                  |          |               |                       |           |            |                       |           |                     |                             | X                         |                  | X    |          |              | X    |          |

| A0 Bundesland          | 1 Deponiekenndate                 | A9 Dichtungselemente Basis |      |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------|----------|-----------------------------------|---------|------|--------------------------|---------|------|--------------------------------|---------|------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------|------|
|                        |                                   | Basisdichtung vorhanden    |      |          | mineralische Entwässerungsschicht |         |      | 2. Abdichtungskomponente |         |      | 1. Abdichtungskomponente       |         |      | Geologische Barriere            |                                                                     |                               |         |      |
|                        | Anonymisierte Deponie-bezeichnung | ja                         | nein | Sontiges | Drän-schicht                      | Sontige | Was? | KDB                      | Sontige | Was? | mineralische Dichtungs-schicht | Sontige | Was? | natürliche geologische Barriere | mineralische geologische Barriere (techn. Nachgebessert/geschaffen) | syntetische Tondichtungs-bahn | Sontige | Was? |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV233                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV234                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV235                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV236                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV237                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV238                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV239                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV240                             | x                          |      |          | x                                 |         |      | x                        |         |      |                                |         |      |                                 | x                                                                   |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV241                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV242                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV243                             | x                          |      |          | x                                 |         |      | x                        |         |      | x                              |         |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV244                             | x                          |      |          | x                                 |         |      | x                        |         |      | x                              |         |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV245                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV246                             |                            |      | x        | x                                 |         |      | x                        |         |      | x                              |         |      | x                               | x                                                                   |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV247                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV248                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV249                             | x                          |      |          | x                                 |         |      | x                        |         |      | x                              |         |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV250                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV251                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV252                             | x                          |      |          | x                                 |         |      | x                        |         |      | x                              |         |      |                                 | x                                                                   |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV253                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV254                             | x                          |      |          | x                                 |         |      | x                        |         |      | x                              |         |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV255                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV256                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV257                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV258                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV259                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV402                             | X                          |      |          |                                   | x       |      |                          | x       |      |                                | x       |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV403                             |                            |      | x        |                                   | x       |      |                          | x       |      | x                              |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV404                             |                            |      | x        | x                                 |         |      | x                        |         |      | x                              |         |      | x                               |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV405                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV406                             |                            | x    |          |                                   |         |      |                          |         |      |                                |         |      |                                 |                                                                     |                               |         |      |

| A0 Bundesland          | 1 Deponiekenndate                 | A9 Dichtungselemente OFAD |      |         |                            |              |                          |                   |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           |                             |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------|---------|----------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|---------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
|                        |                                   | OFAD vorhanden            |      |         | Oberflächendichtung Aufbau |              |                          |                   |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           |                             |
|                        |                                   |                           |      |         | Entwässerungsschicht       |              |                          |                   | 2. Abdichtungskomponente |         |                      | 1. Abdichtungskomponente             |                                |         |              |                           |                             |
|                        | Anonymisierte Deponie-bezeichnung | ja                        | nein | Sontige | Rekultivierungs-schicht    | Dänage-matte | mineralische Dränschicht | Was?              | KDB                      | Sontige | Was?                 | mineralische Dichtungs-schicht (Ton) | synthetische Tondichtungs-bahn | Sontige | Was?         | Dichtungs-kontroll-system | Trag- und Ausgleich-schicht |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV233                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          | Secudrän          |                          |         |                      |                                      | x                              |         | Betonitmatte |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV234                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          | gaswegsame        |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV235                             | x                         |      |         | x                          | x            | x                        | Entgültige        |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV236                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV237                             |                           | x    |         |                            |              |                          |                   |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV238                             | x                         |      |         | x                          |              |                          |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV239                             | x                         |      |         |                            | x            |                          | gaswegsame Au     | x                        |         |                      |                                      |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV240                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          | Bau voraussichtli | x                        |         |                      |                                      |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV241                             |                           | x    |         |                            |              |                          |                   |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV242                             | x                         |      |         | x                          |              |                          | OFA besteht       |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV243                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          | erst teilweise    | x                        |         |                      | x                                    |                                |         |              | x                         | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV244                             |                           | x    |         |                            |              |                          | entfällt,da DA im |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV245                             | x                         |      |         | x                          |              |                          |                   | x                        |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV246                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          | Reku              |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV247                             |                           | x    |         |                            |              |                          |                   |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV248                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          |                   | x                        |         |                      |                                      |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV249                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          |                   | x                        |         |                      |                                      | x                              |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV250                             | x                         |      |         | x                          |              |                          |                   |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV251                             | x                         |      |         | x                          |              |                          |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV252                             | x                         |      |         | x                          |              | x                        | Bau ab 2025       | x                        |         |                      |                                      |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV253                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV254                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          | 0,15 m            |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           | 0,1 m                       |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV255                             | x                         |      |         | x                          |              |                          |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV256                             | x                         |      |         | x                          |              | x                        |                   | x                        | x       | 10 cm mineralische   | x                                    | x                              |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV257                             |                           | x    |         |                            |              |                          |                   |                          |         |                      |                                      |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV258                             | x                         |      |         | x                          |              |                          |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV259                             | x                         |      |         | x                          |              | x                        |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           |                             |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV402                             | x                         |      |         | x                          |              | x                        | 30 cm             |                          |         | Schutzvlies 400 g/m2 |                                      | x                              |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV403                             | x                         |      |         | x                          | x            | x                        |                   | x                        |         |                      | X                                    |                                |         |              |                           | X                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV404                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          |                   | x                        |         |                      | X                                    |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV405                             | x                         |      |         | x                          | x            |                          | 15 cm             | x                        |         |                      |                                      |                                |         |              |                           | x                           |
| Mecklenburg-Vorpommern | MV406                             | x                         |      |         | x                          | x            | x                        |                   |                          |         |                      | x                                    |                                |         |              |                           |                             |

## C Anhang - Tabellen mit spezifischen Daten der Bundesländer aus Kap. 3.2.3

Im folgenden Anhang werden die Tabellen aus Kapitel 3.2.3 zum Arbeitspaket 2 mit den Informationen der Datenlage in den einzelnen Bundesländern abgebildet.

**Erweiterter Auszug von Tabelle 3 Anzahl und Aufbau der geologischen Barriere und Basisabdichtungen differenziert nach den Deponieklassen und Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Bundesland           | Deponie-<br>klasse | Basisabdichtung<br>vorhanden |      |          | Basisabdichtung Aufbau               |          |                                  |          |                                       |          | Geologische Barriere                  |                                       |           |          |
|----------------------|--------------------|------------------------------|------|----------|--------------------------------------|----------|----------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----------|
|                      |                    | ja                           | nein | Sonstige | mineralische<br>Entwässerungsschicht |          | 2.<br>Abdichtungs-<br>komponente |          | 1. Abdichtungs-<br>komponente         |          | natürliche<br>geologische<br>Barriere | künstliche<br>geologische<br>Barriere | Dichtwand | Sonstige |
|                      |                    |                              |      |          | Dränschicht                          | Sonstige | KDB                              | Sonstige | mineralische<br>Dichtungs-<br>schicht | Sonstige |                                       |                                       |           |          |
| BW                   | DK I               | 39                           | 0    | 0        | 27                                   | 1        | 16                               | 0        | 28                                    | 2        | 27                                    | 7                                     | 7         | 2        |
|                      | DK II              | 101                          | 28   | 3        | 77                                   | 4        | 38                               | 11       | 96                                    | 3        | 61                                    | 30                                    | 10        | 3        |
|                      | DK III             | 3                            | 0    | 0        | 2                                    | 0        | 2                                | 0        | 3                                     | 0        | 2                                     | 0                                     | 0         | 0        |
| BY                   | DK I               | 13                           | 5    | 0        | 12                                   | 0        | 7                                | 0        | 10                                    | 0        | 4                                     | 4                                     | 0         | 0        |
|                      | DK II              | 46                           | 3    | 0        | 46                                   | 0        | 25                               | 1        | 44                                    | 2        | 16                                    | 16                                    | 0         | 1        |
|                      | DK III             | 4                            | 0    | 0        | 4                                    | 0        | 4                                | 0        | 4                                     | 0        | 0                                     | 4                                     | 0         | 0        |
| BB                   | DK I               | 8                            | 2    | 0        | 8                                    | 0        | 8                                | 0        | 1                                     | 0        | 1                                     | 7                                     | 0         | 0        |
|                      | DK II              | 9                            | 4    | 0        | 9                                    | 0        | 9                                | 0        | 9                                     | 0        | 0                                     | 9                                     | 0         | 0        |
|                      | DK III             | 0                            | 1    | 0        | 0                                    | 0        | 0                                | 0        | 0                                     | 0        | 0                                     | 0                                     | 0         | 0        |
| HE                   | DK I               | 5                            | 5    | 0        | 4                                    | 0        | 2                                | 0        | 2                                     | 0        | 1                                     | 4                                     | 0         | 1        |
|                      | DK II              | 41                           | 19   | 0        | 35                                   | 5        | 24                               | 2        | 41                                    | 0        | 25                                    | 18                                    | 2         | 4        |
|                      | DK III             | 3                            | 0    | 0        | 1                                    | 0        | 3                                | 0        | 3                                     | 0        | 0                                     | 0                                     | 0         | 0        |
| MV                   | DK I               | 2                            | 2    | 1        | 2                                    | 1        | 2                                | 1        | 2                                     | 0        | 0                                     | 2                                     | 0         | 0        |
|                      | DK II              | 3                            | 20   | 2        | 4                                    | 1        | 4                                | 1        | 4                                     | 1        | 7                                     | 1                                     | 0         | 0        |
|                      | DK III             | 2                            | 0    | 0        | 2                                    | 0        | 2                                | 0        | 2                                     | 0        | 2                                     | 0                                     | 0         | 0        |
| NI                   | DK I               | 17                           | 0    | 1        | 14                                   | 0        | 9                                | 0        | 13                                    | 0        | 4                                     | 12                                    | 1         | 0        |
|                      | DK II              | 18                           | 0    | 0        | 18                                   | 0        | 18                               | 0        | 17                                    | 1        | 0                                     | 12                                    | 0         | 1        |
|                      | DK III             | 1                            | 0    | 0        | 1                                    | 0        | 0                                | 1        | 1                                     | 0        | 0                                     | 1                                     | 0         | 0        |
| NRW                  | DK I               | 66                           | 70   | 0        | 58                                   | 0        | 34                               | 1        | 42                                    | 0        | 39                                    | 20                                    | 0         | 1        |
|                      | DK II              | 201                          | 75   | 0        | 193                                  | 0        | 117                              | 0        | 171                                   | 0        | 96                                    | 52                                    | 3         | 9        |
|                      | DK III             | 55                           | 22   | 0        | 52                                   | 0        | 35                               | 0        | 39                                    | 0        | 47                                    | 22                                    | 0         | 0        |
| RP                   | DK I               | 5                            | 4    | 0        | 2                                    | 0        | 3                                | 1        | 2                                     | 0        | 1                                     | 3                                     | 0         | 0        |
|                      | DK II              | 14                           | 6    | 4        | 13                                   | 1        | 11                               | 3        | 14                                    | 1        | 9                                     | 7                                     | 2         | 1        |
|                      | DK III             | 1                            | 1    | 1        | 1                                    | 0        | 1                                | 0        | 1                                     | 0        | 1                                     | 1                                     | 1         | 0        |
| SL                   | DK I               | 12                           | 0    | 0        | 12                                   | 0        | 4                                | 4        | 8                                     | 0        | 9                                     | 3                                     | 0         | 0        |
|                      | DK II              | 4                            | 0    | 0        | 4                                    | 0        | 4                                | 0        | 4                                     | 0        | 1                                     | 2                                     | 0         | 0        |
|                      | DK III             | 0                            | 0    | 0        | 0                                    | 0        | 0                                | 0        | 0                                     | 0        | 0                                     | 0                                     | 0         | 0        |
| ST                   | DK I               | 6                            | 0    | 0        | 6                                    | 0        | 2                                | 0        | 5                                     | 1        | 1                                     | 5                                     | 0         | 0        |
|                      | DK II              | 5                            | 17   | 0        | 5                                    | 0        | 4                                | 0        | 3                                     | 0        | 2                                     | 2                                     | 0         | 0        |
|                      | DK III             | 1                            | 5    | 0        | 1                                    | 0        | 0                                | 0        | 1                                     | 0        | 0                                     | 0                                     | 0         | 1        |
| TH                   | DK I               | 6                            | 1    | 0        | 4                                    | 2        | 2                                | 0        | 4                                     | 0        | 2                                     | 2                                     | 0         | 0        |
|                      | DK II              | 15                           | 5    | 0        | 11                                   | 2        | 13                               | 2        | 15                                    | 1        | 8                                     | 4                                     | 0         | 2        |
|                      | DK III             | 4                            | 0    | 1        | 3                                    | 0        | 4                                | 1        | 4                                     | 0        | 2                                     | 1                                     | 0         | 1        |
| HB, HH, SH und<br>SN | DK I               | 9                            | 1    | 0        | 9                                    | 1        | 7                                | 0        | 4                                     | 0        | 1                                     | 7                                     | 1         | 2        |
|                      | DK II              | 8                            | 0    | 0        | 8                                    | 0        | 8                                | 0        | 8                                     | 0        | 1                                     | 6                                     | 0         | 0        |
|                      | DK III             | 1                            | 0    | 0        | 1                                    | 0        | 0                                | 1        | 1                                     | 0        | 1                                     | 0                                     | 0         | 0        |
| Gesamt               | DK I               | 188                          | 90   | 2        | 158                                  | 5        | 96                               | 14       | 117                                   | 3        | 93                                    | 69                                    | 9         | 5        |
|                      | DK II              | 465                          | 177  | 9        | 423                                  | 13       | 275                              | 28       | 418                                   | 9        | 233                                   | 153                                   | 17        | 22       |
|                      | DK III             | 75                           | 29   | 2        | 68                                   | 0        | 51                               | 2        | 59                                    | 0        | 55                                    | 29                                    | 1         | 3        |

### Erweiterter Auszug von Tabelle 4 Anzahl und Aufbau der Oberflächenabdichtungen differenziert nach Deponieklassen und Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)

| Bundesland           | Deponie-<br>klasse | OFAD<br>vorhanden |      | Rekulti-<br>vierungs-<br>schicht | Entwässerungsschicht |                                       | 2. Abdichtungs-<br>komponente |          | 1. Abdichtungskomponente                   |                                     |          | Dichtungs-<br>kontroll-<br>system | Trag- und<br>Ausgleich-<br>schicht |
|----------------------|--------------------|-------------------|------|----------------------------------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------|--------------------------------------------|-------------------------------------|----------|-----------------------------------|------------------------------------|
|                      |                    | ja                | nein |                                  | Dränage-<br>matte    | minera-<br>lische<br>Drän-<br>schicht | KDB                           | Sonstige | minera-<br>lische<br>Dichtungs-<br>schicht | geosynthe-<br>tische<br>Tondichtung | Sonstige |                                   |                                    |
| BW                   | DK I               | 8                 | 30   | 6                                | 0                    | 5                                     | 3                             | 0        | 4                                          | 2                                   | 1        | 0                                 | 3                                  |
|                      | DK II              | 75                | 55   | 63                               | 19                   | 38                                    | 38                            | 1        | 44                                         | 18                                  | 11       | 6                                 | 43                                 |
|                      | DK III             | 3                 | 0    | 3                                | 2                    | 2                                     | 3                             | 0        | 2                                          | 1                                   | 2        | 1                                 | 3                                  |
| BY                   | DK I               | 7                 | 11   | 7                                | 5                    | 2                                     | 1                             | 1        | 5                                          | 2                                   | 0        | 1                                 | 4                                  |
|                      | DK II              | 25                | 24   | 23                               | 14                   | 11                                    | 18                            | 0        | 18                                         | 6                                   | 2        | 0                                 | 12                                 |
|                      | DK III             | 4                 | 0    | 4                                | 2                    | 2                                     | 4                             | 0        | 4                                          | 0                                   | 0        | 3                                 | 2                                  |
| BB                   | DK I               | 10                | 0    | 2                                | 2                    | 1                                     | 2                             | 0        | 0                                          | 1                                   | 0        | 0                                 | 2                                  |
|                      | DK II              | 12                | 0    | 5                                | 3                    | 1                                     | 4                             | 0        | 1                                          | 3                                   | 0        | 0                                 | 5                                  |
|                      | DK III             | 1                 | 0    | 1                                | 1                    | 0                                     | 1                             | 0        | 1                                          | 0                                   | 0        | 1                                 | 1                                  |
| HE                   | DK I               | 4                 | 5    | 5                                | 1                    | 4                                     | 1                             | 0        | 1                                          | 3                                   | 0        | 0                                 | 5                                  |
|                      | DK II              | 49                | 18   | 50                               | 20                   | 21                                    | 33                            | 0        | 40                                         | 9                                   | 4        | 0                                 | 48                                 |
|                      | DK III             | 2                 | 1    | 2                                | 2                    | 0                                     | 2                             | 0        | 2                                          | 0                                   | 0        | 0                                 | 2                                  |
| MV                   | DK I               | 5                 | 0    | 5                                | 3                    | 2                                     | 4                             | 0        | 2                                          | 0                                   | 0        | 0                                 | 4                                  |
|                      | DK II              | 21                | 4    | 21                               | 12                   | 4                                     | 6                             | 1        | 14                                         | 4                                   | 0        | 0                                 | 14                                 |
|                      | DK III             | 1                 | 1    | 1                                | 1                    | 0                                     | 1                             | 0        | 1                                          | 0                                   | 0        | 1                                 | 1                                  |
| NI                   | DK I               | 7                 | 11   | 6                                | 3                    | 3                                     | 4                             | 0        | 2                                          | 0                                   | 0        | 0                                 | 5                                  |
|                      | DK II              | 12                | 6    | 12                               | 3                    | 5                                     | 12                            | 0        | 6                                          | 0                                   | 1        | 2                                 | 6                                  |
|                      | DK III             | 1                 | 0    | 1                                | 1                    | 0                                     | 1                             | 0        | 1                                          | 0                                   | 0        | 0                                 | 1                                  |
| NRW                  | DK I               | 29                | 62   | 20                               | 10                   | 19                                    | 10                            | 0        | 15                                         | 1                                   | 4        | 0                                 | 0                                  |
|                      | DK II              | 77                | 87   | 68                               | 34                   | 48                                    | 50                            | 0        | 63                                         | 3                                   | 3        | 1                                 | 0                                  |
|                      | DK III             | 15                | 12   | 11                               | 1                    | 13                                    | 10                            | 0        | 14                                         | 0                                   | 1        | 3                                 | 0                                  |
| RP                   | DK I               | 8                 | 1    | 2                                | 2                    | 0                                     | 2                             | 0        | 1                                          | 1                                   | 0        | 0                                 | 1                                  |
|                      | DK II              | 21                | 1    | 15                               | 13                   | 7                                     | 14                            | 1        | 6                                          | 7                                   | 1        | 1                                 | 13                                 |
|                      | DK III             | 2                 | 0    | 1                                | 1                    | 1                                     | 1                             | 0        | 1                                          | 1                                   | 0        | 0                                 | 1                                  |
| SL                   | DK I               | 12                | 0    | 12                               | 8                    | 4                                     | 9                             | 0        | 4                                          | 1                                   | 0        | 0                                 | 11                                 |
|                      | DK II              | 4                 | 0    | 4                                | 1                    | 2                                     | 1                             | 0        | 2                                          | 1                                   | 0        | 0                                 | 1                                  |
|                      | DK III             | 0                 | 0    | 0                                | 0                    | 0                                     | 0                             | 0        | 0                                          | 0                                   | 0        | 0                                 | 0                                  |
| ST                   | DK I               | 2                 | 4    | 5                                | 1                    | 0                                     | 0                             | 0        | 1                                          | 1                                   | 0        | 1                                 | 1                                  |
|                      | DK II              | 13                | 9    | 13                               | 6                    | 3                                     | 5                             | 0        | 2                                          | 4                                   | 0        | 0                                 | 9                                  |
|                      | DK III             | 6                 | 0    | 6                                | 3                    | 1                                     | 2                             | 0        | 3                                          | 4                                   | 0        | 1                                 | 3                                  |
| TH                   | DK I               | 7                 | 0    | 3                                | 1                    | 1                                     | 2                             | 0        | 1                                          | 0                                   | 0        | 0                                 | 2                                  |
|                      | DK II              | 13                | 5    | 9                                | 5                    | 5                                     | 9                             | 0        | 5                                          | 2                                   | 1        | 0                                 | 5                                  |
|                      | DK III             | 2                 | 2    | 1                                | 0                    | 1                                     | 1                             | 0        | 1                                          | 0                                   | 0        | 1                                 | 1                                  |
| HB, HH, SH<br>und SN | DK I               | 10                | 0    | 9                                | 1                    | 9                                     | 5                             | 1        | 6                                          | 0                                   | 1        | 0                                 | 8                                  |
|                      | DK II              | 7                 | 1    | 7                                | 0                    | 6                                     | 7                             | 0        | 6                                          | 1                                   | 0        | 1                                 | 7                                  |
|                      | DK III             | 1                 | 0    | 1                                | 1                    | 0                                     | 1                             | 0        | 1                                          | 0                                   | 0        | 0                                 | 1                                  |
| GESAMT               | DK I               | 109               | 124  | 82                               | 37                   | 50                                    | 43                            | 2        | 42                                         | 12                                  | 6        | 2                                 | 46                                 |
|                      | DK II              | 329               | 210  | 290                              | 130                  | 151                                   | 197                           | 3        | 207                                        | 58                                  | 23       | 11                                | 163                                |
|                      | DK III             | 38                | 16   | 32                               | 15                   | 20                                    | 27                            | 0        | 31                                         | 6                                   | 3        | 11                                | 16                                 |

**Erweiterter Auszug von Tabelle 5 Anzahl der vorhandenen Sickerwasserfassungssysteme differenziert nach Deponieklassen und Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Sickerwasserfassung | Anzahl Gesamt DK I - DK III | DK I | DK II | DK III | Anteil in % DK I | Anteil in % DK II | Anteil in % DK III |
|---------------------|-----------------------------|------|-------|--------|------------------|-------------------|--------------------|
| BW                  | 77                          | 19   | 56    | 2      | 95%              | 97%               | 100%               |
| BY                  | 70                          | 16   | 50    | 4      | 84%              | 100%              | 100%               |
| BB                  | 17                          | 8    | 8     | 1      | 80%              | 67%               | 100%               |
| HE                  | 29                          | 5    | 22    | 2      | 71%              | 96%               | 100%               |
| MV                  | 12                          | 2    | 8     | 2      | 40%              | 32%               | 100%               |
| NI                  | 34                          | 16   | 17    | 1      | 89%              | 94%               | 100%               |
| NRW                 | 121                         | 43   | 67    | 11     | 54%              | 86%               | 85%                |
| RP                  | 29                          | 7    | 20    | 2      | 78%              | 91%               | 100%               |
| SL                  | 16                          | 12   | 4     | 0      | 100%             | 100%              |                    |
| ST                  | 14                          | 6    | 6     | 2      | 100%             | 27%               | 33%                |
| TH                  | 25                          | 4    | 17    | 4      | 57%              | 94%               | 100%               |
| HB, HH, SH und SN   | 18                          | 9    | 8     | 1      | 90%              | 100%              | 100%               |
| Vorhanden gesamt*   | 462                         | 147  | 283   | 32     | 72%              | 84%               | 84%                |

\*Anzahl der Deponieklassenabschnitte mit Sickerwasserfassungssystem geringer als Gesamtanzahl aller Deponieklassenabschnitte, da einige Standorte für mehrere Deponieklassenabschnitte dasselbe Sickerwasserfassungssystem ausweisen.

**Erweiterter Auszug von Tabelle 7 Sickerwasserbehandlungsverfahren differenziert nach Deponieklassen und Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Bundesland          | Deponie-<br>klasse | Biologischer<br>Abbau | Adsorption<br>(A-Kohle) | Filtration | Umkehr-<br>osmose | Chemische<br>Oxidation | Flockung/<br>Fällung | Flotation | Sonstige |
|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|------------|-------------------|------------------------|----------------------|-----------|----------|
| BW                  | DK I               | 5                     | 3                       | 1          | 1                 | 0                      | 2                    | 0         | 0        |
|                     | DK II              | 23                    | 23                      | 15         | 3                 | 2                      | 5                    | 0         | 2        |
|                     | DK III             | 0                     | 1                       | 0          | 0                 | 0                      | 1                    | 0         | 2        |
| BY                  | DK I               | 6                     | 2                       | 1          | 1                 | 0                      | 1                    | 1         | 4        |
|                     | DK II              | 28                    | 2                       | 15         | 1                 | 1                      | 6                    | 2         | 7        |
|                     | DK III             | 1                     | 0                       | 0          | 2                 | 0                      | 0                    | 0         | 1        |
| BB                  | DK I               | 0                     | 0                       | 0          | 1                 | 0                      | 0                    | 0         | 1        |
|                     | DK II              | 0                     | 0                       | 0          | 5                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
|                     | DK III             | 0                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
| HE                  | DK I               | 3                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
|                     | DK II              | 12                    | 11                      | 7          | 6                 | 3                      | 5                    | 0         | 3        |
|                     | DK III             | 2                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
| MV                  | DK I               | 0                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
|                     | DK II              | 1                     | 0                       | 0          | 1                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
|                     | DK III             | 0                     | 0                       | 0          | 2                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
| NI                  | DK I               | 6                     | 5                       | 2          | 3                 | 2                      | 5                    | 0         | 1        |
|                     | DK II              | 16                    | 12                      | 6          | 2                 | 3                      | 5                    | 0         | 2        |
|                     | DK III             | 0                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
| NRW                 | DK I               | 5                     | 6                       | 2          | 2                 | 1                      | 1                    | 1         | 10       |
|                     | DK II              | 21                    | 24                      | 10         | 7                 | 2                      | 2                    | 1         | 8        |
|                     | DK III             | 1                     | 3                       | 1          | 0                 | 1                      | 1                    | 0         | 2        |
| RP                  | DK I               | 1                     | 0                       | 1          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
|                     | DK II              | 9                     | 10                      | 4          | 4                 | 1                      | 4                    | 0         | 3        |
|                     | DK III             | 0                     | 1                       | 1          | 0                 | 1                      | 1                    | 0         | 0        |
| SL                  | DK I               | 0                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 1        |
|                     | DK II              | 3                     | 3                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 2        |
|                     | DK III             | 0                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
| ST                  | DK I               | 2                     | 0                       | 0          | 1                 | 0                      | 2                    | 0         | 1        |
|                     | DK II              | 0                     | 1                       | 0          | 2                 | 1                      | 1                    | 0         | 0        |
|                     | DK III             | 1                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
| TH                  | DK I               | 0                     | 1                       | 0          | 1                 | 0                      | 0                    | 0         | 0        |
|                     | DK II              | 2                     | 5                       | 1          | 3                 | 0                      | 1                    | 0         | 0        |
|                     | DK III             | 0                     | 0                       | 0          | 0                 | 0                      | 0                    | 0         | 1        |
| HB, HH, SH und<br>. | DK I               | 3                     | 0                       | 0          | 2                 | 0                      | 1                    | 0         | 2        |
|                     | DK II              | 2                     | 0                       | 1          | 1                 | 0                      | 2                    | 1         | 1        |
|                     | DK III             | 1                     | 0                       | 1          | 0                 | 0                      | 1                    | 0         | 1        |
| GESAMT              | DK I               | 31                    | 17                      | 7          | 12                | 3                      | 12                   | 2         | 20       |
|                     | DK II              | 117                   | 91                      | 59         | 35                | 13                     | 31                   | 4         | 28       |
|                     | DK III             | 6                     | 5                       | 3          | 4                 | 2                      | 4                    | 0         | 7        |

**Erweiterter Auszug von Tabelle 9 Art und Anzahl der Gasfassung auf Deponien der Klasse I – III und Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Deponie-<br>klasse      | Entgasungs-<br>anlage<br>vorhanden ja | Entgasungs-<br>anlage<br>vorhanden nein | Entgasung*<br>aktiv | Entgasung*<br>passiv | Entgasung*<br>vertikal | Entgasung*<br>horizontal |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| BW                      | 56                                    | 3                                       | 54                  | 1                    | 24                     | 19                       |
| BY                      | 41                                    | 8                                       | 37                  | 4                    | 15                     | 11                       |
| BB                      | 5                                     | 7                                       | 5                   | 0                    | 0                      | 0                        |
| HE                      | 20                                    | 3                                       | 19                  | 1                    | 16                     | 8                        |
| MV                      | 12                                    | 11                                      | 4                   | 7                    | 3                      | 0                        |
| NI                      | 14                                    | 4                                       | 10                  | 1                    | 2                      | 6                        |
| NRW                     | 43                                    | 34                                      | 40                  | 4                    | 36                     | 10                       |
| RP                      | 18                                    | 4                                       | 17                  | 0                    | 12                     | 8                        |
| SL                      | 3                                     | 1                                       | 3                   | 0                    | 3                      | 0                        |
| ST                      | 13                                    | 9                                       | 13                  | 5                    | 6                      | 2                        |
| TH                      | 15                                    | 3                                       | 14                  | 1                    | 9                      | 3                        |
| HB, HH,<br>SH und<br>SN | 6                                     | 2                                       | 6                   | 0                    | 2                      | 0                        |
| GESAMT                  | 246                                   | 89                                      | 222                 | 24                   | 128                    | 67                       |
| DK I                    | 40                                    | 161                                     | 32                  | 6                    | 18                     | 8                        |
| DK II                   | 246                                   | 89                                      | 222                 | 21                   | 128                    | 66                       |
| DK III                  | 7                                     | 30                                      | 2                   | 5                    | 4                      | 4                        |
| DK I - DK<br>III        | 293                                   | 280                                     | 256                 | 32                   | 150                    | 78                       |

\* Datenrücklauf unvollständig

**Erweiterter Auszug von Tabelle10 Deponiegasbehandlung und -verwertung auf Deponien der Klasse I – III und Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Deponie-<br>klasse   | Art der Gasbehandlung |                       |           |                |                      |                        | Art der Gasverwertung |                  |                 |                          |                        |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
|                      | Fackel                | Schwach-<br>gasfackel | RTO       | Bio-<br>filter | Methan-<br>oxidation | Sonstige<br>Behandlung | BHKW                  | Ein-<br>speisung | Gas-<br>turbine | thermische<br>Verwertung | Sonstige<br>Verwertung |
| BW                   | 23                    | 26                    | 9         | 3              | 2                    | 8                      | 28                    | 3                | 3               | 9                        | 0                      |
| BY                   | 18                    | 23                    | 0         | 5              | 2                    | 2                      | 14                    | 0                | 1               | 0                        | 2                      |
| BB                   | 3                     | 2                     | 1         | 0              | 0                    | 0                      | 2                     | 0                | 0               | 0                        | 0                      |
| HE                   | 14                    | 3                     | 0         | 0              | 0                    | 1                      | 16                    | 1                | 2               | 1                        | 0                      |
| MV                   | 8                     | 2                     | 0         | 5              | 0                    | 0                      | 4                     | 0                | 0               | 0                        | 0                      |
| NI                   | 13                    | 0                     | 1         | 0              | 0                    | 0                      | 10                    | 0                | 0               | 3                        | 0                      |
| NRW                  | 49                    | 0                     | 3         | 3              | 0                    | 3                      | 35                    | 0                | 0               | 0                        | 2                      |
| RP                   | 4                     | 7                     | 4         | 1              | 0                    | 2                      | 11                    | 1                | 1               | 5                        | 1                      |
| SL                   | 3                     | 3                     | 0         | 0              | 0                    | 0                      | 0                     | 0                | 0               | 3                        | 0                      |
| ST                   | 9                     | 3                     | 1         | 0              | 5                    | 1                      | 7                     | 2                | 0               | 1                        | 0                      |
| TH                   | 10                    | 6                     | 0         | 1              | 0                    | 1                      | 8                     | 0                | 0               | 7                        | 0                      |
| HB, HH, SH<br>und SN | 7                     | 2                     | 0         | 0              | 1                    | 0                      | 7                     | 0                | 0               | 1                        | 0                      |
| <b>GESAMT</b>        | <b>161</b>            | <b>77</b>             | <b>19</b> | <b>18</b>      | <b>10</b>            | <b>18</b>              | <b>142</b>            | <b>7</b>         | <b>7</b>        | <b>30</b>                | <b>5</b>               |
| DK I                 | 20                    | 11                    | 0         | 2              | 2                    | 0                      | 19                    | 0                | 0               | 2                        | 1                      |
| DK II                | 140                   | 65                    | 19        | 15             | 8                    | 15                     | 122                   | 7                | 7               | 28                       | 4                      |
| DK III               | 1                     | 1                     | 0         | 1              | 0                    | 3                      | 1                     | 0                | 0               | 0                        | 0                      |
| <b>DK I - DK III</b> | <b>161</b>            | <b>77</b>             | <b>19</b> | <b>18</b>      | <b>10</b>            | <b>18</b>              | <b>142</b>            | <b>7</b>         | <b>7</b>        | <b>30</b>                | <b>5</b>               |

\* Datenrücklauf unvollständig

**Erweiterter Auszug von Tabelle 11 Deponiebelüftungs- und Infiltrationsmaßnahmen auf Deponien der Klasse I – III und Bundesländern (LAGA-Länderabfrage 2023)**

| Bundesland/<br>Deponieklasse | Deponie-<br>belüftung ja | Deponie-<br>belüftung nein | Deponie-<br>belüftung<br>geplant | Infil-<br>tration<br>ja | Infil-<br>tration<br>nein | Infil-<br>tration<br>geplant |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------|
| BW                           | 15                       | 62                         | 4                                | 1                       | 77                        | 0                            |
| BY                           | 3                        | 69                         | 0                                | 11                      | 61                        | 0                            |
| BB                           | 1                        | 22                         | 0                                | 0                       | 23                        | 0                            |
| HE                           | 1                        | 29                         | 1                                | 4                       | 28                        | 0                            |
| MV                           | 0                        | 32                         | 0                                | 1                       | 31                        | 0                            |
| NI                           | 2                        | 35                         | 0                                | 2                       | 35                        | 0                            |
| NRW                          | 3                        | 166                        | 0                                | 7                       | 182                       | 0                            |
| RP                           | 5                        | 26                         | 2                                | 7                       | 26                        | 0                            |
| SL                           | 0                        | 16                         | 0                                | 0                       | 16                        | 0                            |
| ST                           | 2                        | 32                         | 0                                | 1                       | 33                        | 0                            |
| TH                           | 1                        | 28                         | 0                                | 4                       | 25                        | 0                            |
| HB, HH, SH und<br>SN         | 0                        | 19                         | 0                                | 0                       | 19                        | 0                            |
| DK I                         | 2                        | 200                        | 0                                | 11                      | 191                       | 0                            |
| DK II                        | 31                       | 299                        | 7                                | 27                      | 324                       | 0                            |
| DK III                       | 0                        | 37                         | 0                                | 0                       | 37                        | 0                            |

## D Anhang - Kapitel 3.3.3 Grundwasserschutz

### Allgemeine physikalische Anforderungen an Kunststoffdichtungsbahnen

| Nr. | Eigenschaft               | Prüfgröße                                                                                                           | Anforderung                                                                                                                                                   | Prüfung und Prüfbedingungen                                                                                                                                                                     |
|-----|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Oberflächenbeschaffenheit | Erscheinungsbild                                                                                                    | geschlossene Oberfläche (frei von Rissen, Blasen und Poren); keine Beschädigungen                                                                             | visuelle Beurteilung <sup>197</sup>                                                                                                                                                             |
| 2   | Homogenität               | Erscheinungsbild der Querschnittsfläche                                                                             | frei von Poren, Lunkern und Fremdeinschlüssen                                                                                                                 | Betrachten von Schnittflächen bei 6-facher Vergrößerung <sup>198</sup>                                                                                                                          |
| 3   | Rußgehalt                 | Masseanteil                                                                                                         | 2,0 bis 2,6 Gew.-%; Die Einzelwerte dürfen von dem im Zulassungsschein festgeschriebenen Richtwert nur um 10 % abweichen                                      | Thermo-gravimetrische Analyse <sup>199</sup>                                                                                                                                                    |
| 4   | Rußverteilung             | Erscheinungsbild von Rußagglomeraten und Schlieren im Mikroskop.                                                    | Hinsichtlich der Agglomerate: Mindestens 7 Schnitte Kategorie 1, die übrigen Schnitte höchstens Kategorie 2. Keine Schlieren schlecht durchmischter Bereiche. | 10 Mikrotomschnitte <sup>200</sup> , Klassifizierung der Agglomerate gemäß der zugehörigen Bewertungstafel. Beurteilung hinsichtlich Anzeichen für Schlieren nach Beispielbilder <sup>201</sup> |
| 5   | Geradheit                 | größter Abstand der Dichtungsbahnkante vom geraden Kantenverlauf über eine Länge von 10m bei 12 m Ausrolllänge      | ≤ 30 mm, Einzelwerte                                                                                                                                          | DIN EN 1848-2                                                                                                                                                                                   |
| 6   | Planlage                  | größter Abstand der gewellten Dichtungsbahn von der ebenen Unterlage über eine Länge von 10 m bei 12 m Ausrolllänge | ≤ 50 mm, Einzelwerte                                                                                                                                          | DIN EN 1848-2                                                                                                                                                                                   |
| 7   | Dicke                     | Nenndicke und Mittelwert                                                                                            | Das arithmetische Mittel der Dickenmessungen muss ≥ der Nenndicke sein.                                                                                       | Messung zwischen zwei Druckspitzen. Die Dicken werden über die ganze Dichtungsbahnbreite im                                                                                                     |

197 DIN EN 1850-2

198 DIN 16726

199 in Anlehnung an DIN EN ISO 11358 oder Bestimmung nach ASTM D 4218 oder ASTM D1603

200 nach ASTM D5596

201 A1 und A2 in der ISO 18553

| Nr. | Eigenschaft                              | Prüfgröße                                                                            | Anforderung                                                                                                                                                                                                                                                             | Prüfung und Prüfbedingungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                          |                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | Abstand von 0,2 m gemessen <sup>202</sup> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|     |                                          | Einzelwert                                                                           | Die Mindestdicke ist 2,50 mm; Bei einer Nenndicke von 2,50 mm müssen daher alle Einzelwerte $\geq 2,50$ mm sein.<br>Für die Einzelwerte gilt:<br>Einzelwert = Mittelwert $\pm 0,15$ mm;<br>Bei Nenndicken $\geq 3,00$ mm gilt:<br>Einzelwert = Mittelwert $\pm 0,20$ mm |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 8   | Schmelze-Massefließrate (MFR) und Dichte | MFR und Dichte der Formmasse;<br>MFR und Dichte der Dichtungsbahn                    | $ \delta MFR  \leq 15\%$ ;<br>$ \delta MFR $ : Betrag der relativen Änderung zwischen MFR der Formmasse und Dichtungsbahn                                                                                                                                               | Schmelzestrang aus MFR Bestimmung an der Dichtungsbahn und am Granulat (Granulat der fertigen Formmasse oder Granulat des Basispolymers) <sup>203</sup>                                                                                                                                                                                                                |
| 9   | Maßänderung nach Warmlagerung            | Betrag der relativen Änderung $ \delta L $ der Seitenmaße einer quadratischen Platte | $ \delta L  \leq 1,0\%$ für alle Einzelwerte.<br>Differenz der Maßänderungen (MD) über die Breite der Dichtungsbahn:<br>$< 0,4\%$ (glatte Dichtungsbahn)<br>$< 0,6\%$ (strukturierte Dichtungsbahn)                                                                     | Entnahme von Proben im Abstand von 1,0 m über die Breite der Dichtungsbahn und mittig aus dem 15 cm breiten glatten Randstreifen, wo planmäßig das Schweißen erfolgt;<br>Lagerung bei $(120 \pm 2)^\circ\text{C}$ für 1 Stunde; Messgenauigkeit der mechanischen Messeinrichtung mindestens 0,01 mm;<br>Die rel. Maßänderung wird auf %-Werte gerundet. <sup>204</sup> |
| 10  | Dichtigkeit <sup>205</sup>               | Permeationsrate für Trichlorethylen bei 23°C                                         | $\leq 80$ g/m <sup>2</sup> d, ermittelt aus der Ausgleichsgeraden                                                                                                                                                                                                       | Messung im stationären Zustand bei 23 °C, 80 mm aktivem Probendurchmesser und 2,5 mm Probendicke <sup>206</sup>                                                                                                                                                                                                                                                        |
|     |                                          | Permeationsrate für Aceton bei 23°C                                                  | $\leq 0,5$ g/m <sup>2</sup> d, ermittelt aus                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

<sup>202</sup> DIN EN ISO 9863-1, Verfahren D

<sup>203</sup> DIN EN ISO 1133-1; DIN EN ISO 1183-1, Verfahren A

<sup>204</sup> Abschn. B14 in den Hinweisen zu den Prüfungen der BAM unter <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>

<sup>205</sup> Im Rahmen der CE-Kennzeichnung, die eine Voraussetzung für die Zulassung ist, werden als harmonisierte Prüfungen auch die Wasserdichtigkeit nach DIN EN 14150 (Permeationsrate  $\leq 10^{-6} \text{ m}^3 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$ ) und die Gasdichtigkeit nach ASTM D 1434 geprüft. Bei zugelassenen Kunststoffdichtungsbahnen muss aufgrund ihrer Materialstruktur ein konvektiver Fluss von Wasser ausgeschlossen sein (Konvektionssperre).

<sup>206</sup> in Anlehnung an DIN EN ISO 6179:2010-08; Abschn. B4 der Hinweise zu den Prüfungen

| Nr. | Eigenschaft                         | Prüfgröße                      | Anforderung                                             | Prüfung und Prüfbedingungen |
|-----|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 11  | Oxidationsstabilität <sup>207</sup> | Oxidationsinduktionszeit (OIT) | der Ausgleichsgeraden<br><sup>3</sup> 40 min, bei 210°C | ISO 11357-6                 |

207 Die Wirksamkeit von Antioxidantien hängt u. a. von der Temperatur ab. Ein bei der Temperatur der Anwendung noch wirksames Antioxidans kann daher bei den hohen Temperaturen der OIT-Messung möglicherweise gar nicht erfasst werden. Dies wird bei der Beurteilung der Oxidationsstabilität nach 1.11 und 3.3 und 3.4 berücksichtigt. Abhängig von der Rezeptur der Stabilisierung, die der Zulassungsstelle vorgelegt wird, müssen gegebenenfalls andere analytische Verfahren zur Messung der Veränderung der Stabilisierung bei den Warmlagerungs- und Auslaugversuchen eingesetzt werden.

## Mechanische Anforderungen an Kunststoffdichtungsbahnen

| Nr.              | Eigenschaft                                       | Prüfgröße                                                                                                                       | Anforderung                                                                                                                                                               | Prüfung und Prüfbedingungen                                                                                                             |
|------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                | Verhalten bei mehraxialer Verformung              | Wölbbogendehnung $\varepsilon_w$                                                                                                | $\varepsilon_w \geq 15 \%$ , ohne Verstreckung des Materials                                                                                                              | DIN 61551, D = 1000 mm, Verfahren mit gesteuertem Druck                                                                                 |
| 2 <sup>208</sup> | Verhalten im Zugversuch (aktuell)                 | Zugspannung an der Streckgrenze $\sigma_y$ , Streckdehnung $\varepsilon_y$ , Bruchdehnung $\varepsilon_b$ jeweils in MD und CMD | $\sigma_y \geq 15 \text{ N/mm}^2$<br>$\varepsilon_y \geq 8,5 \%$<br>$\varepsilon_b \geq 600 \%$ (glatter Bereich)<br>$\varepsilon_b \geq 400 \%$ (strukturierter Bereich) | DIN EN 17323, Verfahren B; 5 Probekörper (jeweils in MD und CMD über die Breite der Dichtungsbahnen (glatt und strukturiert) entnommen) |
| 3                | Widerstand gegen Weiterreißen                     | Weiterreißkraft                                                                                                                 | $\geq 300 \text{ N}$                                                                                                                                                      | ISO 34-1, Methode B (Winkelprobe nach Graves), Verfahren b (mit Einschnitt); Die Proben müssen in MD und CMD entnommen werden           |
| 4                | Widerstand gegen mehraxiale Belastung             | Stempeldurchdrückkraft                                                                                                          | $\geq 6000 \text{ N}$                                                                                                                                                     | DIN EN ISO 12236                                                                                                                        |
| 5                | Widerstand gegen fallende Lasten                  | Dichtigkeit an der beanspruchten Stelle                                                                                         | keine Undichtigkeit                                                                                                                                                       | DIN EN 12691, Fallhöhe 2000 mm, Verfahren A (harte Unterlage)                                                                           |
| 6                | Kältesprödigkeit (Falzen bei tiefen Temperaturen) | Beschaffenheit der Biegekante                                                                                                   | keine Risse bei $-40^\circ \text{C}$                                                                                                                                      | DIN EN 495-5, Biegekante in MD und CMD                                                                                                  |
| 7                | Relaxationsverhalten                              | Spannung als Funktion der Zeit bei konstanter Verformung (Zeit-Spannungs-Linie)                                                 | In der Zeit-Spannungs-Linie muss die Spannung nach 1000 Stunden $\leq 60 \%$ der Spannung nach einer Minute sein.                                                         | Spannungsrelaxationsversuch DIN 53441:1984-01; bei konstanter Dehnung von 3 %, Klima 23/50-2; Proben in MD und CMD                      |
| 8                | Nahtqualität                                      | Verformungs- und Versagensverhalten unter Scheren                                                                               | kein Abscheren der Naht, deutliches Verstrecken des Grundmaterials neben der Naht                                                                                         | Zugscherversuch nach DVS 2226-2, Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min                                                                         |
|                  |                                                   | Verformungs- und Versagensverhalten unter Schälén                                                                               | kein Aufschälen der Naht, deutliches Verstrecken des Grundmaterials neben der Naht                                                                                        | Schälversuch nach DVS 2226-3, Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min                                                                            |

208 Mit DIN EN 17323 wurde eine Prüfnorm für den Zugversuch an geosynthetischen Dichtungsbahnen veröffentlicht. Es dürfen damit keine Extensometer mehr für die Prüfung von KDB aus PE-HD verwendet werden. Durch diese Änderung im Prüfverfahren verschieben sich die Ergebnisse der Streckdehnung geringfügig zu geringeren Werten. Die Prüfnorm wird mit einer Übergangsfrist von zwei Jahren bis Januar 2025 in diese Zulassungsrichtlinie aufgenommen. Bis dahin dürfen beide Prüfverfahren für den Zugversuch parallel verwendet werden.

## Anforderungen an die Beständigkeit und das Langzeitverhalten der Kunststoffdichtungsbahnen

| Nr. | Eigenschaft                                                                                            | Prüfgröße                                                                        | Anforderung                                            | Prüfung und Prüfbedingungen                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Beständigkeit gegen Chemikalien <sup>209</sup><br>(hochkonzentrierte flüssige Gemische) <sup>210</sup> | Gewichtsänderung                                                                 | Änderung des Gewichtes nach Rücktrocknung $\leq 10 \%$ | Immersionsversuche in Anl. an DIN EN 14414; Lagerungstemperatur 23 °C; Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte; Die Einlagerungen müssen mindestens 90 Tage, in jedem Fall aber bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt werden; Zugversuch an den zurückgetrockneten Messproben |
|     |                                                                                                        | Änderung der nominellen Bruchdehnung $\epsilon_b$ in CMD                         | Änderung der nominellen Bruchdehnung $\leq 10 \%$      | Immersionsversuche in Anl. an DIN EN 14414; Lagerungstemperatur 23 °C; Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte; Die Einlagerungen müssen mindestens 90 Tage, in jedem Fall aber bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt werden; Zugversuch an den zurückgetrockneten Messproben |
|     |                                                                                                        | Zugspannung an der Streckgrenze $\sigma_y$ und Streckdehnung $\epsilon_y$ in CMD | $\sigma_y \leq 10 \%$ und $\epsilon_y \leq 10 \%$      | Immersionsversuche in Anl. an DIN EN 14414; Lagerungstemperatur 23 °C; Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte; Die Einlagerungen müssen mindestens 90 Tage, in jedem Fall aber bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt werden;                                                 |

<sup>209</sup> Bei PE-HD-Dichtungsbahnen kann in der Regel auf die Prüfung der Beständigkeit gegen Chemikalien verzichtet werden.

<sup>210</sup> Weitere Hinweise und Erläuterungen zu den Prüfungen finden sich auf der Internetseite der BAM unter <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.

| Nr. | Eigenschaft                                            | Prüfgröße                                                                                                            | Anforderung                                                                                                                                                                                      | Prüfung und Prüfbedingungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                        |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                  | Zugversuch an den zurückgetrockneten Messproben                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2   | Beständigkeit gegen Spannungsrissbildung               | Standzeit im Zeitstandzugversuch                                                                                     | Nach ASTM D5397: vollständige Zeitstandkurve. Nach DIN EN 14576: mittlere Standzeit bei einer Prüfspannung von 30 % der im Klima 23/50-2 gemessenen Zugspannung an der Streckgrenze $\geq 400$ h | DIN EN 14576 und ASTM D 5397; 10 % Netzmittellösung (Nonylphenolpolyglykoether, 9 – 10 Kettenglieder der Ethylenoxidskette, z. B. Igepal CO-630, Igepal BC-9, Tergitol NP-9, Arkopal N 100); Bei der Messung der vollständigen Zeitstandkurve erfolgt kein Austausch des Netzmittels. Prüfung an glatten Dichtungsbahnen und an den glatten Randbereichen der strukturierten Dichtungsbahnen |
| 3   | Beständigkeit gegen thermisch oxidativen Abbau in Luft | Änderung der äußeren Beschaffenheit                                                                                  | keine Änderung                                                                                                                                                                                   | Warmlagerung im Umluftwärmeschrank (s. ISO 188, 4.1.4, Luftwechsel $\geq 10$ ) in Anl. an ASTM D5721 und DIN EN 14575; Lagerungstemperatur 80 °C; Lagerungszeit 1 Jahr                                                                                                                                                                                                                       |
|     |                                                        | Relative. Änderung der nominellen Bruchdehnung $\epsilon_b$ in CMD.                                                  | Ausgleichsgerade durch die über der Zeit aufgetragenen Messwerte; keine signifikante Abnahme                                                                                                     | Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte, Zugversuch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|     |                                                        | Zugspannung an der Streckgrenze $\sigma_y$ und Streckdehnung $\epsilon_y$ in CMD                                     | $\sigma_y$ und $\epsilon_y$ dürfen sich im Rahmen der Messfehler, insbesondere auch bei strukturierten Dichtungsbahnen nicht verändern                                                           | Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte, Zugversuch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|     |                                                        | OIT-Wert nach einem halben Jahr:<br>OIT (0,5 y)<br>Relative Änderung des OIT-Wertes:<br>$\Delta OIT = (OIT (0,5y) -$ | OIT (0,5 y) $\geq 25$ min (Mittelwert)<br>$\Delta OIT = \leq 0,3$ bezogen                                                                                                                        | OIT-Messung nach ISO 11357-6 bei 210 °C im Al-Tiegel; Der OIT-Wert wird an einer 4 – 6 mg schweren Messprobe                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| Nr. | Eigenschaft                                      | Prüfgröße                                                                                                                                   | Anforderung                                                                                                                                  | Prüfung und Prüfbedingungen                                                                                                                                         |
|-----|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                  | OIT (1y)) / OIT (0,5y)                                                                                                                      | auf die Mittelwerte                                                                                                                          | aus dem Innern der Dichtungsbahn bestimmt <sup>1</sup>                                                                                                              |
| 4   | Beständigkeit gegen Auslaugen                    | Änderung der äußeren Beschaffenheit                                                                                                         | keine Änderung                                                                                                                               | Warmlagerung im Wasser in Anl. an DIN EN 14415; Wassertemperatur 80 °C; Lagerungszeit 1 Jahr                                                                        |
|     |                                                  | relative Änderung der nominellen Bruchdehnung $\varepsilon_b$ in CMD                                                                        | Ausgleichsgerade durch die über der Zeit aufgetragenen Messwerte; keine signifikante Abnahme                                                 | Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte, Zugversuch                                                                                               |
|     |                                                  | Zugspannung an der Streckgrenze $\sigma_y$ und Streckdehnung $\varepsilon_y$ in CMD                                                         | $\sigma_y$ und $\varepsilon_y$ dürfen sich im Rahmen der Messfehler, insbesondere auch bei strukturierten Dichtungsbahnen nicht verändern    | Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte, Zugversuch                                                                                               |
|     |                                                  | OIT-Wert nach einem halben Jahr:<br>OIT (0,5 y)<br>Relative Änderung des OIT-Wertes:<br>$\Delta OIT = (OIT (0,5y) - OIT (1y)) / OIT (0,5y)$ | OIT (0,5 y) $\geq 30$ min (Mittelwert)<br>$\Delta OIT = \leq 0,6$ bezogen auf die Mittelwerte                                                | OIT-Messung nach ISO 11357-6 bei 210 °C im Al-Tiegel; Der OIT-Wert wird an einer 4 – 6 mg schweren Messprobe aus dem Innern der Dichtungsbahn bestimmt <sup>1</sup> |
| 5   | Witterungsbeständigkeit <sup>211</sup>           | Änderung der nominellen Bruchdehnung $\varepsilon_b$ und der Bruchspannung $\sigma_b$ jeweils in MD und CMD                                 | Abschn. B10 der Hinweise zu den Prüfungen <sup>212</sup>                                                                                     | Abschn. B10 der Hinweise zu den Prüfungen; DIN EN 12224                                                                                                             |
| 6   | Beständigkeit gegen Mikroorganismen <sup>3</sup> | visuelle Beurteilung Masseänderung<br>Änderung der nominellen Bruchdehnung $\varepsilon_b$ und der Bruchspannung                            | keine wesentliche Veränderung der Mittelwerte<br>$\Delta m \leq 5 \%$ ,<br>$\Delta \varepsilon_b \leq 10 \%$<br>$\Delta \sigma_b \leq 10 \%$ | DIN EN 12225, Erdeingrabversuch in mikrobiell aktiver Erde; Einlagerung der Messproben für die Zugversuche als Platte, Zugversuch                                   |

<sup>211</sup> Bei PE-HD-Dichtungsbahnen kann in der Regel auf die Prüfung der Beständigkeit nach 3.5, 3.6 verzichtet werden.

<sup>212</sup> Weitere Hinweise und Erläuterungen zu den Prüfungen finden sich auf der Internetseite der BAM unter <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.

| Nr. | Eigenschaft                                        | Prüfgröße                                                                                                        | Anforderung                                                                                                        | Prüfung und Prüfbedingungen                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                    | $\sigma_b$<br>jeweils in MD und CMD<br>Zugspannung an der Streckgrenze $\sigma_y$ und Streckdehnung $\epsilon_y$ | $\sigma_y$ und $\epsilon_y$ dürfen sich bei strukturierten Dichtungsbahnen im Vergleich zu glatten nicht verändern |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 7   | Wurzel- und Rhizomfestigkeit <sup>213</sup>        | visuelle Beurteilung                                                                                             | kein Durchwuchs                                                                                                    | FLL-Verfahren <sup>214</sup> ; Die Prüfungen erfolgen an glatten Dichtungsbahnen und an Schweißnähten                                                                                                                                                                    |
| 8   | Schweißeigenschaften der Formmassen <sup>215</sup> | Standzeit im Zeitstandschälversuch                                                                               | geometrischer Mittelwert $\geq 150$ h                                                                              | Zeitstandschälversuch nach DVS 2203-4 (Versuchsdurchführung) und DVS 2226-3 (Versuchsaufbau), 80 °C, 6 N/mm Linienkraft, 2 % Netzmittellösung (Arkopal N 150). Mit Heizkeilschweißmaschinen hergestellte Überlappnähte mit Prüfkanal im Optimum der Schweißparameterwahl |

<sup>213</sup> Bei PE-HD-Dichtungsbahnen kann in der Regel auf die Prüfung der Beständigkeit nach 3.7 verzichtet werden.

<sup>214</sup> FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.

<sup>215</sup> Die Anforderung an die Standzeit charakterisiert die Schweißeigenschaften der unterschiedlichen Formmassen. Sie kann nicht als Maß für die Qualität einer Schweißnaht selbst verwendet werden. Eine Schweißnaht, die nicht im Optimum der Schweißparameterwahl und der zugehörigen, für die Formmasse typischen Standzeiten liegt, ist eine mangelhafte Naht, auch wenn der Wert ihrer Standzeit 150 h übersteigt.

## E Anhang - Kapitel 3.3.5 Überwachungen und Kontrollen

### Mess- und Kontrollprogramm für Deponien der Klasse I, II und III nach DepV<sup>216</sup>.

| Nr.      | Messung/Kontrolle                                                                                                                                | Häufigkeit/Darstellung<br>Ablagerungs- und<br>Stilllegungsphase                                                                       | Häufigkeit/Darstellung<br>Nachsorgephase                                                     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Meteorologische Daten</b>                                                                                                                     |                                                                                                                                       |                                                                                              |
| 1.1      | Niederschlagsmenge                                                                                                                               | täglich,<br>als Tagessummenwert                                                                                                       | täglich, summiert<br>zu Monatswerten                                                         |
| 1.2      | Temperatur (min., max., um 14:00<br>Uhr MEZ/ 15.00 Uhr MESZ)                                                                                     | täglich                                                                                                                               | Monatsdurchschnittswert                                                                      |
| 1.3      | Windrichtung und -geschwindigkeit<br>des vorherrschenden Windes                                                                                  | täglich                                                                                                                               | nicht erforderlich                                                                           |
| 1.4      | Verdunstung                                                                                                                                      | täglich                                                                                                                               | täglich, summiert<br>zu Monatswerten                                                         |
| <b>2</b> | <b>Emissionsdaten</b>                                                                                                                            |                                                                                                                                       |                                                                                              |
| 2.1      | Sickerwassermenge                                                                                                                                | täglich,<br>als Tagessummenwert                                                                                                       | halbjährlich                                                                                 |
| 2.2      | Zusammensetzung des<br>Sickerwassers <sup>217</sup>                                                                                              | vierteljährlich                                                                                                                       | halbjährlich                                                                                 |
| 2.3      | Menge und Zusammensetzung<br>des Oberflächenwassers                                                                                              | vierteljährlich                                                                                                                       | halbjährlich                                                                                 |
| 2.4      | Aktiv gefasste Gasmenge und<br>Zusammensetzung (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> ,<br>ausgewählte Spurengase) | Gasmenge täglich,<br>als Tagessummenwert;<br>Zusammensetzung<br>einmal monatlich;<br>ausgewählte<br>Spurengase einmal<br>halbjährlich | Gasmenge wöchentlich, als<br>Halbjahressummenwert;<br>Zusammensetzung<br>einmal halbjährlich |
| 2.5      | Wirksamkeitskontrollen der<br>Entgasung <sup>218</sup>                                                                                           | wöchentlich<br>bzw. halbjährlich                                                                                                      | halbjährlich                                                                                 |
| 2.6      | Geruchsemissionen                                                                                                                                | bei Geruchsproblemen                                                                                                                  | bei Geruchsproblemen                                                                         |
| <b>3</b> | <b>Grundwasserdaten</b>                                                                                                                          |                                                                                                                                       |                                                                                              |
| 3.1      | Grundwasserstände                                                                                                                                | halbjährlich <sup>219</sup>                                                                                                           | halbjährlich                                                                                 |
| 3.2      | Grundwasserbeschaffenheit/<br>Kontrolle der Auslöseschwellen <sup>220</sup>                                                                      | vierteljährlich                                                                                                                       | halbjährlich                                                                                 |

<sup>216</sup> DepV, Anhang 5

<sup>217</sup> Die zu messenden Parameter sind in der Deponiezulassung festzulegen. Mit Ausnahme der Häufigkeit der Kontrollen ist die LAGA-Mitteilung 28 „Technische Regeln für die Überwachung von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser sowie oberirdischer Gewässer bei Deponien“ (Stand April 2019, redaktionell ergänzt November 2019, abrufbar unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Mitteilungen.html>), zu beachten.

<sup>218</sup> Organoleptische Kontrollen sind an noch offenen Deponieabschnitten wöchentlich vom Deponiebetreiber durchzuführen. An temporär oder endgültig abgedeckten oder abgedichteten Deponieabschnitten oder Deponien hat der Deponiebetreiber die Wirksamkeit einer eventuellen Entgasung oder der Restgasoxidation halbjährlich mittels Messungen mit Flammenionisationsdetektor, Laser-Absorptionsspektrometrie oder mittels anderer gleichwertiger Verfahren auf der Deponieoberfläche und an Gaspegeln im näheren Deponieumfeld zu kontrollieren.

<sup>219</sup> Die Grundwasserstände sind mindestens bei jeder Probennahme für die Bestimmung der Grundwasserbeschaffenheit zu messen. Bei stark schwankendem Grundwasserspiegel sind die Messungen häufiger vorzunehmen.

<sup>220</sup> Es ist eine Nullmessung vor dem Beginn der Ablagerungsphase durchzuführen, die mindestens die Parameter des zu erwartenden Sickerwassers umfasst. Danach ergeben sich die zu messenden Parameter auf Grund der Zusammensetzung des Sickerwassers und der Grundwasserqualität. Die Untersuchungen für Nummer 3.2 sind von Prüflaboratorien durchzuführen, die für die betreffenden Untersuchungen nach DIN EN ISO/IEC 17025: 2018-03 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien) akkreditiert und gegebenenfalls nach landesspezifischen Vorgaben notifiziert oder anerkannt sind. Die von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall herausgegebenen Technischen Regeln für die Überwachung von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser sowie oberirdischer Gewässer bei Deponien (LAGA Mitteilung 28, Stand April 2019, redaktionell ergänzt November 2019, abrufbar unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Mitteilungen.html>), sind zu beachten.

| Nr. | Messung/Kontrolle                                                                     | Häufigkeit/Darstellung<br>Ablagerungs- und<br>Stilllegungsphase | Nachsorgephase                 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 4   | Daten zum Deponiekörper                                                               |                                                                 |                                |
| 4.1 | Setzungsmessungen und Stabilitätsuntersuchungen <sup>221, 222</sup>                   | jährlich                                                        | jährlich                       |
| 4.2 | Struktur und Zusammensetzung des Deponiekörpers <sup>223</sup>                        | jährlich                                                        |                                |
| 5   | Abdichtungssysteme                                                                    |                                                                 |                                |
| 5.1 | Verformung des Basisabdichtungssystems <sup>224, 225</sup>                            | jährlich                                                        | jährlich                       |
| 5.2 | Prüfung der Entwässerungsleitungen und der zugehörigen Schächte durch Kamerabefahrung | jährlich                                                        | jährlich                       |
| 5.3 | Temperaturen im Deponiebasisabdichtungssystem <sup>226</sup>                          | standortspezifische Häufigkeit                                  | standortspezifische Häufigkeit |
| 5.4 | Funktionsfähigkeit und Verformung des Oberflächenabdichtungssystems                   | jährlich                                                        | jährlich                       |
| 5.5 | Dichtungskontrollsystem                                                               | vierteljährlich                                                 | vierteljährlich                |

<sup>221</sup> Setzungsmessungen sind an repräsentativen Schnitten der Deponie durchzuführen.

<sup>222</sup> Die Messergebnisse müssen auch bei einem Wechsel des Messverfahrens miteinander verglichen werden können und als Zeitreihen der Höhenlinien darstellbar sein. Bei größeren Abweichungen von den Setzungsprognosen sind die Ursachen zu klären und die Prognosen zu korrigieren.

<sup>223</sup> Daten für den Bestandsplan der betreffenden Deponie: Fläche, die mit Abfällen bedeckt ist, Volumen und Zusammensetzung der Abfälle, Arten der Ablagerung, Zeitpunkt und Dauer der Ablagerung, Berechnung der noch verfügbaren Restkapazität der Deponie.

<sup>224</sup> Die Messergebnisse müssen auch bei einem Wechsel des Messverfahrens miteinander verglichen werden können und als Zeitreihen der Höhenlinien darstellbar sein. Bei größeren Abweichungen von den Setzungsprognosen sind die Ursachen zu klären und die Prognosen zu korrigieren.

<sup>225</sup> Höhenvermessungen der Sickerrohre im Entwässerungssystem oder in speziell für diesen Zweck verlegten Rohren.

<sup>226</sup> Durchgehende Temperaturprofile des Rohrmaterials gemessen am Scheitel der Sickerrohre; bis zu 5 m Überdeckung alle sechs Monate, danach nur noch bei Vorkommnissen, durch die es zu einer wesentlichen Erwärmung des Deponiekörpers kommt wie Deponiebränden, Deponiebelüftung.