

Der ICP-Eigenverlag „Bauen und Umwelt“ wurde gegründet, um der interessierten Öffentlichkeit aktuelle Forschungsarbeiten und Tagungsbände zu Seminaren, die von ICP regelmäßig veranstaltet werden, schnell und preisgünstig zugänglich zu machen. Sie können die gewünschte Veröffentlichung über den Handel beziehen (siehe ISBN-Nummer) oder E-Mail direkt bei ICP bestellen.

Gern lassen wir Ihnen auch einzelne Artikel aus einer Publikation, die im ICP-Eigenverlag ab 1991 erschienen sind, gegen eine geringe Gebühr als Kopie auf dem Postweg oder alternativ als pdf-Dokument per E-Mail zukommen. Eine Liste der bisher erschienenen Publikationen finden Sie im Internet unter www.icp-ing.de. Auf Anfrage senden wir Ihnen die Publikationsliste gerne zu.

Falls Sie ältere Publikationen anderweitig nicht mehr erhalten, können Sie diese bei ICP bestellen. Wenn Sie hierzu noch Fragen haben, wenden Sie sich bitte an unser Sekretariat Tel. : +49(0)721 94477-0, E-Mail: eigenverlag@icp-ing.de.

ISBN 978-3-939662-37-2

Alle Rechte vorbehalten

© ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe 2025

35. Deponie- und Altlastenseminar 2025

ABSCHLUSS UND REKULTIVIERUNG VON DEPONIE UND ALTLASTEN - PLANUNG UND BAU NEUER DEPONIE

Beiträge zum 35. Seminar - herausgegeben von
Egloffstein / Burkhardt

Im Auftrag der

**Überwachungsgemeinschaft Bauen
für den Umweltschutz e.V.**

und des

Arbeitskreis Grundwasserschutz e.V.

15. und 16. Oktober 2025
Kongresszentrum Karlsruhe, Gartenhalle

ICP
Eigenverlag Bauen und Umwelt

Band 48

ICP
Eigenverlag
Bauen und Umwelt

ABSCHLUSS UND REKULTIVIERUNG VON DEPONIE UND ATTLASTEN - PLANUNG UND BAU NEUER DEPONIE

Beiträge zum 35. Seminar - herausgegeben von

Egloffstein / Burkhardt

Im Auftrag der
**Überwachungsgemeinschaft Bauen
für den Umweltschutz e.V.**

und dem
Arbeitskreis Grundwasserschutz e.V.

15. und 16. Oktober 2025
Kongresszentrum Karlsruhe, Gartenhalle

ICP

Eigenverlag Bauen und Umwelt

Band 48

ABSCHLUSS UND REKULTIVIERUNG VON DEPONIEEN UND ALTLASTEN - PLANUNG UND BAU NEUER DEPONIEEN

Th. Egloffstein, G. Burkhardt und 37 Mitautor*innen / im Auftrag des
Arbeitskreises Umweltschutz e.V. und der Überwachungsgemeinschaft Bauen für den Umweltschutz e.V.
ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 48, 236 Seiten,

ISBN 978-3-939662-37-2

Anschrift der Herausgeber:

Prof. Dr. Thomas Egloffstein, Dipl.-Ing. Gerd Burkhardt,
ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH
Auf der Breit 11
D-76227 Karlsruhe
Tel: +49(0)721/94477-0
E-Mail: icp@icp-ing.de, <https://icp-ing.de>

Anschrift des Verlages:

ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt
Auf der Breit 11
D-76227 Karlsruhe
Tel: +49(0)721/94477-0,
E-Mail: eigenverlag@icp-ing.de, <https://icp-ing.de>

ISBN 978-3-939662-37-2

Alle Rechte vorbehalten

© ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe 2025

Vorwort

Das Konzept dieser Veranstaltung ist, aktuelle Themen aufzugreifen und einen Überblick über den aktuellen Stand der Deponieszene zu geben, sowie neue Entwicklungen und Trends aufzuzeigen. Dies tun wir auch in diesem Jahr mit interessanten, aktuellen und breit gefächerten Themen. Dementsprechend gibt es auch in diesem Jahr, abgesehen von vier PFAS-Beiträgen, keinen echten Themenschwerpunkt, sondern eine Vielzahl interessanter Fachbeiträge zu aktuellen Themen und zahlreiche Berichte aus der Praxis.

Wie in den vergangenen Jahren wird im ersten Themenblock durch das Bundesministerium für Umwelt (BMUKN) über neue Entwicklungen im deutschen und europäischen Deponierecht berichtet (z. B. BVT-Merkblatt Deponien). Über Aktuelles aus der Arbeit der Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) berichtet deren Vorsitzender. Es folgt ein Bericht zu aktuellen Themen aus dem Fachbeirat der BAM zur Zulassung von Geokunststoffen, Polymeren und Dichtungskontrollsystemen in Deponien.

Im zweiten Themenblock des ersten Seminartages wird die 2024 neu erschienene „Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile in Deponien“ vorgestellt. Danach geht es um das Thema Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft anhand von Praxisbeispielen eines großen Entsorgungsstandortes. Es folgt ein Beitrag zum Klimaschutz durch die gezielte Erfassung von Methanemissionen durch ca. 70 neue Gasbrunnen bis zu 40 m Tiefe und eine neue Schwachgasbehandlungsanlage für eine große Siedlungsabfalldeponie.

Der erste Nachmittagsblock beinhaltet einen Beitrag über die Beseitigung gefährlicher Abfälle in der Untertagedeponie Herfa-Neurode. Über einen neuen, innovativen Flächenfilter für die Sicherung PFAS-belasteter Böden in der Deponie oder im Feld berichtet ein namhafter Hersteller von Geokunststoffen. Es folgt ein Bericht über die Ergebnisse aus 25 Jahren Betrieb der Lysimeteranlage Lemförde für Oberflächenabdichtungen mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen.

Der zweite Nachmittagsblock widmet sich dem Thema Nachnutzung von Deponien mittels einer PV-Anlage zur Energiegewinnung im Zusammenspiel mit einem Batteriespeicher. Es folgt ein Beitrag aus dem Bereich künstliche Intelligenz und deren Einsatz in autonomen Bau- und Arbeitsmaschinen für den Betrieb und die Sanierung von Deponien. Den Abschluss der Vorträge des ersten Seminartages bildet ein Beitrag zu dem aktuellen Thema CO₂-Speicherung unter Tage und zur Frage ihrer Langzeitsicherheit.

Der zweite Seminartag beginnt mit einem Beitrag zur Immobilisierung von PFAS-kontaminierten Böden für die Deponierung im Rahmen eines Forschungsvorhabens. Im Zentrum der Fragestellung stand die Stabilität und Langzeitbeständigkeit der Immobilisierung. Es folgt ein Beitrag zur drängenden Frage der rückholbaren Zwischenlagerung von Klärschlammaschen auf Deponien. Der Hintergrund ist, dass aus Kapazitätsgründen nicht alle Klärschlammaschen unmittelbar stofflich verwertet werden können, um das Phosphor gemäß der Forderung der Klärschlammverordnung aus den Klärschlammaschen zurückzugewinnen. Allerdings stellen sich zur rückholbaren Zwischenlagerung diverse noch nicht geklärte Fragen, deren Beantwortung durch den Vortragenden ein Stück näher gebracht werden sollen. Es schließt sich ein Beitrag zu gerichtlichen Fragen der Probenahme von Abfällen nach der Probenahmeverordnung LAGA PN 98 an, welche von der Deponieverordnung, der Ersatzbaustoffverordnung und der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (für Haufwerke) vorgegeben sind.

Im zweiten Themenblock beleuchtet ein Beitrag die aktuellen Deponiekapazitäten in Deutschland und die möglichen Einflussfaktoren auf deren zukünftige Entwicklung, und damit auf die Entsorgungssicherheit. Es folgt ein Beitrag zum Stand und den Perspektiven der MBA aus Sicht der Abfallwirtschaftsplanung Niedersachsens. Der letzte Beitrag des zweiten Vormittagsblocks widmete sich der Sickerwasserreinigung, insbesondere den praktischen Erfahrungen bei der PFAS-Elimination eines auf die Abwasserbehandlung

spezialisierten französischen Unternehmens.

Im ersten Beitrag des Nachmittagsblocks geht es um die Ertüchtigung einer Deponieaufstandsfläche im Karstgebiet (Erdfallgebiet) zu deren Gewährleistung der Anforderung der DepV an den Untergrund gleich mehrere Verfahren erforderlich sind. Es folgen zwei Beiträge zur Oberflächenabdichtung von Sonderabfalldeponien (DK III) mit zwei unterschiedlichen und konkurrierenden Abdichtungskomponenten, zum einen mit TRISOPLAST® und zum anderen mit einer innovativen Bentonitmatte, mit besonders hohem Flächengewicht.

Den Abschluss der Vortragsveranstaltung bildet ein Beitrag über die verschiedenen Möglichkeiten der Entsorgung (Verwertung und Beseitigung) wie auch die Sicherung und zeitlich befristete Langzeitlagerung von PFAS-haltigen Abfällen.

Das Seminar findet auch dieses Jahr wieder als Hybrid-Veranstaltung in Präsenz und digital statt. Wir sehen einer spannenden 35. Veranstaltung entgegen und freuen uns über Ihre Teilnahme vor Ort oder auch digital.

Karlsruhe, Oktober 2025

Th. Egloffstein	ICP Ingenieurgesellschaft
G. Burkhardt	Prof. Czurda und Partner mbH
	Auf der Breit 11
	D-76227 Karlsruhe

Inhalt	Seite
Aktuelle Entwicklungen in der Kreislaufwirtschaft betreffend Deponien Vassilios Karavezyris, Matti Dörr	1
Aktuelles aus der Arbeit der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ Falk Fabian	15
Aktuelle Themen aus dem Fachbeirat der BAM Andreas Wöhlecke	26
Vorstellung der neuen Güterrichtlinie „Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“ Manuel Winkler	36
Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft, Praxisbeispiele vom Entsorgungsstandort der Zentraldeponie Cröbern Bernd Beyer, Susann Hommel	51
Deponie Vereinigte Ville - Neue Bohrlöcher für den Klimaschutz Dr. Klaus Peter Arz	66
Beseitigung gefährlicher Abfälle in der Untertagedeponie Herfa-Neurode Mandy Kranz, Dr. Frauke Bretthauer	74
Innovativer Flächenfilter für die Sicherung PFAS-belasteter Böden in der Deponie oder im Feld Stefan Niewerth, Daniel Neve, Christoph Schmüdderich	79
25 Jahre Betrieb der Lysimeteranlage Lemförde für Oberflächenabdichtungen mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen Prof. Antje Müller, Lars Thiede	89
Erfahrungen mit einer PV-Anlage auf der Deponie Kirschenplantage – Errichtung und Energienutzung im Zusammenspiel mit einem Batteriespeicher – Andreas Krieter	99
Intelligente Bau- und Arbeitsmaschinen für den Betrieb und die Sanierung von Deponien: Semantische Umwelterfassung und autonomer Werkzeugwechsel für sicheres Arbeiten in schwieriger Umgebung Philipp Woock	108

Inhalt	Seite
CO ₂ -Sequestration oder Carbon Capture and Storage – Altlasten der Zukunft? Prof. Dr. Walter Frenz	119
Untersuchungen zur Immobilisierung PFAS-kontaminierter Böden für die Deponierung – Ergebnisse aus einem AAV-Forschungsvorhaben Dr. Michael Reinhard, Dr. Michael Gass	128
Rückholbare Zwischenlagerung von Klärschlammaschen auf Deponien- Problemlösung oder Problem? Jan Deubig, Christian Rasquin	131
Die Probenahme von Abfällen gemäß LAGA PN 98 vor Gericht Dr. Henning Blatt	136
Aktuelle Situation der Deponiekapazitäten – mögliche Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung Hartmut Haeming	142
Aktueller Stand und Perspektiven der MBA aus Sicht der Abfallwirtschaftsplanung Niedersachsens Gunther Weyer, Katharina Endler	167
Flexible Konzepte zur Sickerwasseraufbereitung – Praktische Erfahrungen zur PFAS-Elimination Matthias Berg	173
Ein Verfahren ist nicht genug: Ertüchtigung einer Deponieaufstandsfläche im Karstgebiet Dr. Bertram Schulze, Paul Zant, Dietmar Eckl	183
Innovative DK III-Oberflächenabdichtung mittels TRISOPLAST® am Standort SAD Hünxe-Schermbeck Vera Vorholz, Martin Sünnowoldt	195
Rekultivierung der Sonderabfalldeponie Gera-Aga mit innovativer Bentonitmatte als mineralische Komponente in der Oberflächenabdichtung Christian Niehus	206
Entsorgung, Sicherung und Langzeitlagerung von PFAS-haltigen Abfällen Prof. Dr. Thomas Egloffstein	215

Autoren/Co-Autoren:

1. Dr. Klaus Peter **Arz**, AVG Köln mbH, Köln
2. Dipl.-Ing. (FH) Matthias **Berg**, OVIVE GmbH, Kehl
3. Dipl.-Ing. Bernd **Beyer**, Westsächsische Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH, Großpösna/Störmthal
4. Dr. Henning **Blatt**, Franßen & Nusser Rechtsanwälte PartGmbH, Düsseldorf
5. Dr. Frauke **Bretthauer**, K+S Aktiengesellschaft, Kassel
6. Jan **Deubig**, Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V., Kaiserslautern
7. M. Sc. Matti **Dörr**, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Bonn
8. Dietmar **Eckl**, Gießerei Heunisch GmbH, Bad Windsheim
9. Dr. Thomas **Egloffstein**, ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda & Partner mbH, Karlsruhe
10. Katharina **Endler**, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover
12. Falk **Fabian**, LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Karlsruhe (Obmann der LAGA Ad-hoc-AG Deponietechnik)
13. Prof. Dr. Walter **Frenz**, Maître en Droit Public, RWTH Aachen University, Aachen
14. Dr. Michael **Gass**, AAV – Verband für Flächenrecycling und Altlastensanierung, Hattingen
15. Hartmut **Haeming**, Dipl.-Verwaltungswirt, InwesD – Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V., Köln
16. Susann **Hommel**, M.A., Westsächsische Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH, Großpösna/Störmthal
17. Dr. Vassilios **Karavezyris**, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Bonn
18. Andreas **Krieter**, Abfallentsorgung Kreis Kassel, Kassel
19. Mandy **Kranz**, K+S Minerals and Agriculture GmbH, Heringen/Werra
20. Prof. Dr.-Ing. Antje **Müller-Kirchenbauer**, Hochschule Bielefeld, Campus Minden
21. Lars **Thiede**, MKP Müller-Kirchenbauer Ingenieurgesellschaft mbH, Neustadt am Rübenberge
22. Christian **Niehues**, Dipl.-Ing., Naue GmbH & Co. KG, Espelkamp
23. Dipl.-Ing. Daniel **Neve**, Huesker Synthetic GmbH, Gescher
24. Dr.-Ing. Stefan **Niewerth**, Huesker Synthetic GmbH, Gescher
25. Christian **Rasquin**, Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V., Köln
26. Dr. Michael **Reinhard**, Arcadis Germany GmbH, Karlsruhe
27. Dr.-Ing. Christoph **Schmüdderich**, Huesker Synthetic GmbH, Gescher
28. Dr. Bertram **Schulze**, Spezialtiefbau Consult, Karlsruhe
29. Martin **Sünnwoldt**, G quadrat GmbH, Krefeld
30. Lars **Thiede**, MKP Müller-Kirchenbauer Ingenieurgesellschaft mbH, Neustadt am Rübenberge
31. Vera **Vorholz**, G quadrat GmbH, Krefeld
32. Gunther **Weyer**, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover
33. M. Sc. Manuel **Winkler**, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim – ZUS AGG, Hildesheim
34. Dr. Andreas **Wöhlecke**, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
35. Paul **Zant**, Franz Kassecker GmbH, Waldsassen

Aktuelle Entwicklungen in der Kreislaufwirtschaft betreffend

Deponien

Vassilios Karavezyris¹, Matti Dörr²

Inhalt

1. Einleitung	1
2. BVT-Schlussfolgerungen	5
3. Nationale Umsetzung der IED-Revision	6
4. Novellierung der Gewerbeabfallverordnung	8
5. Umsetzung der Klärschlammverordnung	9
6. Harmonisierung mit der Ersatzbaustoffverordnung	10
7. Weitere Themen im Bereich der Kreislaufwirtschaftspolitik	12
8. Fazit	13
9. Literatur	13

1. Einleitung

1.1 Prioritäre Themen im Bereich der Abfallbewirtschaftung von Abfällen

Das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) steht vor einer Vielzahl von Herausforderungen und Prioritäten im Bereich des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit. Aus Sicht des Referats sind insbesondere mehrere Themen von besonderer Bedeutung, die in den kommenden Monaten und Jahren in Verbindung mit der Weiterentwicklung des Deponierechts eine wichtige Rolle spielen werden.

Zunächst einmal steht die Umsetzung der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) sowie deren Evaluierung gem. Artikel 5 Abs. 2 Mantelverordnung (MantelV) und die geplante Zweite Novelle der ErsatzbaustoffV im Fokus. Die ErsatzbaustoffV ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zu einer ressourcenschonenden und umweltfreundlichen Bauwirtschaft, indem sie den Einsatz von Ersatzbaustoffen fördert und gleichzeitig sicherstellt, dass diese Stoffe sicher und umweltverträglich verwertet werden.

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Neufassung der Bioabfallverordnung. Bioabfälle sind eine bedeutende Quelle für die Gewinnung von Biogas und Kompost, die wiederum als erneuerbare Energieträger und als natürliche Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden können. Eine moderne und effiziente Bioabfallverordnung kann dazu beitragen, die Recyclingquoten zu erhöhen und gleichzeitig die Umweltbelastung durch Verbrennung und Deponierung von organikhaltigen Abfällen zu reduzieren.

¹ Dr. Vassilios Karavezyris, Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Bonn, Germany. E-Mail: vassilios.karavezyris@bmukn.bund.de

² MSc Matti Dörr, Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Bonn, Germany. E-Mail: matti.doerr@bmukn.bund.de

Die Umsetzung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) in Verbindung mit dem Branchendialog und der gemeinsamen Erklärung zur Phosphorrückgewinnung ist ebenfalls hervorzuheben. Phosphor ist ein essenzieller Nährstoff für die Landwirtschaft. Durch die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm kann dieser Wertstoff erhalten und wiederverwendet werden, was die Abhängigkeit von primären Phosphorquellen reduziert.

Die Novellierung der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) und der Deponieverordnung (DepV) steht ebenfalls auf der Agenda. Diese Verordnungen spielen eine zentrale Rolle bei der Regelung der Entsorgung von gewerblichen Abfällen und der Deponierung von Abfällen. Durch eine Anpassung an aktuelle technische und wissenschaftliche Erkenntnisse können diese Verordnungen dazu beitragen, die Umweltverträglichkeit von Abfallentsorgungsprozessen zu erhöhen und die Ressourcenschonung zu fördern.

Darüber hinaus ist die Erarbeitung eines besonderen Notfallplans für Abfall und Abwasser von großer Bedeutung. BMUKN hat mit Jahresbeginn 2025 die Arbeiten am Besonderen Notfallplan des Bundes für die Entsorgung von Abfällen und für die Beseitigung von Abwasser (BNoPl-Bund-AA) wiederaufgenommen. Der BNoPl-Bund-AA soll eine praxistaugliche und rechtssichere Grundlage legen, um mit radioaktiv kontaminierten Abfällen und Abwässern in einem radiologischen Notfall bestmöglich umzugehen. Der BNoPl-Bund-AA soll den Allgemeinen Notfallplan des Bundes (ANoPl-Bund) für die Bereiche Abfall und Abwasser ergänzen und konkretisieren. Dafür wird in den nächsten Monaten ein Gesamtkonzept entwickelt und mit den vollziehenden Ländern diskutiert, welche Schutzmaßnahmen entlang der Abfallbewirtschaftungskette und Deponierung enthalten soll.

Schließlich ist die Umsetzung der EU Industrieemissions-Richtlinie (IED) und die Erarbeitung des BVT-Merkblatts für Deponien ein weiteres zentrales Thema. Die IED und BVT sind Instrumente der Europäischen Union, die darauf abzielen, die Umweltleistung von industriellen Anlagen zu verbessern, indem sie den Einsatz der besten verfügbaren Techniken zur Minderung von Emissionen und zur Ressourcenschonung fördern. Durch die Umsetzung dieser Richtlinien kann Deutschland seine Ziele im Bereich des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit erreichen und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit seiner Industrie stärken.

1.2 Relevanz der Deponieverordnung im Kontext der Kreislaufwirtschaft

Geordnete Deponien tragen maßgeblich dazu bei, Umwelt, Gesundheit und Ressourcen zu schützen, indem sie sicherstellen, dass schädliche Stoffe sicher und kontrolliert aus dem Stoffkreislauf entfernt werden, während gleichzeitig die Rückführung von Wertstoffen in die Wirtschaft gefördert wird. Deponien sind und werden weiterhin ein notwendiger Teil einer Circular Economy bleiben, da auch auf mittelfristige Sicht nicht davon ausgegangen werden kann, Rohstoffkreisläufe in dem Maße schließen zu können, dass keine Ausschleusung von Schad- bzw. Störstoffen mehr notwendig ist. Selbst bei immer größer werdender Nutzung von Sekundärrohstoffen werden Deponien gebraucht, um die nach der Abfallhierarchie zur Beseitigung anstehenden Abfälle aufzunehmen, weshalb sie unverzichtbarer Teil unserer Wirtschaft bleiben.

In Deutschland ist die Deponierung unbehandelter Siedlungsabfälle seit 2005 verboten, was zu einer drastischen Senkung der Methanbildung geführt hat. Stand 2024 emittiert die Abfallwirtschaft 5,4 Mio. t CO₂-Äquivalente, 1990 waren es 38 Mio. t CO₂ Äquivalente (Bundesregierung 2025). Nach aktuellen Prognosen übererfüllt der Sektor Abfallwirtschaft die kumulierten Jahresemissionsmengen zwischen 2021 und 2030 um 16 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Der größte Anteil an den Emissionen in der

Abfallwirtschaft sind Methan-Emissionen aus der Deponierung von Abfällen. Das Klimaschutzprogramm sieht vor, die Emissionen aus Deponien weiter zu senken, von 9 auf 5 Mio. t CO₂-Äquivalent pro Jahr bis 2030.

Gleichwohl ist es im Rahmen der Abfallhierarchie geboten, ein Minimum an Deponiebedarf langfristig anzustreben, wobei dieses Minimum in fachlicher Hinsicht nicht sicher quantifiziert werden kann. Wir arbeiten an mehreren verschiedenen Verfahren, um das Deponierecht weiterzuentwickeln und zukunftssicher zu gestalten, wobei sowohl die europäischen als auch die nationalen Prozesse von Bedeutung sind.

1.3 Deponiesituation in Deutschland

Im Folgenden soll ein grober Überblick über die aktuellen Entwicklungen und Trends basierend auf verschiedenen Informationsquellen gegeben werden.

1.3.1 Erhebung der amtlichen Statistik

Die Daten der amtlichen Statistik aus dem Jahr 2022 zeigen einen sinkenden Input in den Deponieklassen (DK) 0 bis DK IV, wobei das größte Restvolumen bei DK II liegt. Aktuell können genügend Kapazitäten vorgehalten werden, jedoch gibt es Engpässe bei DK II und DK III. Eine besondere Herausforderung stellt außerdem die Tatsache dar, dass rund ein Fünftel aller Deponien in Deutschland eine weitere Betriebsdauer von weniger als 10 Jahren aufweisen. Diese Entwicklung stellt eine Herausforderung für den Ländervollzug dar, da die Sicherstellung einer ausreichenden Deponiekapazität von entscheidender Bedeutung ist. Der Bund hat nicht die Kompetenzen für ein aktives Eingreifen in diese Angelegenheit, verfolgt die Entwicklung jedoch aufmerksam.

32111-09: Deponien¹ nach Betriebsdauer und Art der Deponie 2022									
Art der Deponie	Deponien insgesamt	Restvolumen	Input insgesamt	Davon mit einer verbleibenden Betriebsdauer von ... bis ... Jahren					
	Anzahl	1 000 m ³	1 000 t	bis 2	3 – 5	6 – 10	11 – 15	16 – 20	21 und mehr
DK 0	700	147 343	15 370,9	140	93	163	63	58	183
DK I	128	175 160	15 334,9	21	20	30	19	18	20
DK II	146	78 364	6 230,1	23	14	28	24	16	41
DK III	23	25 597	2 231,9	4	.	.	.	.	.
DK IV	4	11 827	134,4	-	.	.	.	.	.
Insgesamt	1 001	438 291	39 302,2	188	129	230	108	95	251

Abbildung 1: Amtliche Statistik der Abfallbeseitigung (2022, Destatis), eigene Darstellung

1.3.2 Erhebung InwesD

Eine Erhebung durch InwesD (2025, mit Zahlen aus 2024) zur Entsorgungssicherheit zeigt ein vergleichbares Bild hinsichtlich der Anzahl der Deponien, mit insgesamt 915 Deponien, aufgeteilt in DK 0 mit 650, DK I mit 107, DK II mit 140 und DK III mit 18. Hinsichtlich der verfügbaren sowie geplanten Deponiekapazitäten ergibt sich kein Entsorgungsnotstand in den nächsten Jahren, was auf den Zubau weiterer Deponiekapazitäten in den letzten Jahren und den rückläufigen Trend bei der Volumennutzung zurückzuführen ist. Es ist jedoch derzeit unklar, ob dies auf konjunkturellen Entwicklungen oder auf Verwertungsanstrengungen zur Kreislaufführung mineralischer Abfälle beruht. Durch die Übergangsregelung der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) ist davon auszugehen, dass Bodenaushub zukünftig nicht mehr in demselben Umfang bei Verfüllmaßnahmen eingesetzt werden kann

wie bisher. Folglich ist von einer Mengenverschiebung in Richtung Aufbereitung und Einsatz in technischen Bauwerken oder Deponierung auszugehen, wobei die genaue Richtung und Größenordnung dieser Mengenverschiebungen gegenwärtig nicht absehbar sind.

DK	Anzahl	Verfügbares Volumen	Genehmigtes Volumen	Gesamtes nutzbares Volumen	Geplantes Volumen	Gesamtes Volumen
		in cbm	in cbm	in cbm	in cbm	in cbm
0	650	169.724.809	52.413.570	222.138.379	16.746.440	238.884.819
I	107	100.601.301	48.629.000	149.230.301	62.307.500	211.537.801
II	140	120.523.261	16.930.000	137.453.261	23.097.500	160.550.761
III	18	27.313.972	4.180.000	31.493.972	17.200.000	48.693.972
Summe	915	418.163.343	122.152.570	540.315.913	119.351.440	659.667.353

Abbildung 2: Erhebung InwesD (2025), eigene Darstellung

1.3.3 Evaluierung der ErsatzbaustoffV

Ein maßgeblicher Faktor für die Beanspruchung von Deponiekapazitäten könnten Stoffstromverschiebungen im mineralischen Abfallbereich darstellen, auch im Hinblick auf die abfallwirtschaftlichen Auswirkungen der Ersatzbaustoffverordnung. Diese Frage wird im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Umweltbundesamtes untersucht, dass durch den gesetzlichen Auftrag in Artikel 5 Absatz 2f MantelV begründet ist. Im Rahmen der Evaluierung fand ein intensiver Austausch mit den Ländern und der Recycling- und Bauwirtschaft statt, unter anderem durch Planspiele, die im April 2025 in Dessau und im Juni 2025 in Bonn durchgeführt wurden. Nach vorläufigen Ergebnissen des Forschungsvorhabens, welche noch nicht veröffentlicht sind, liegt der Anteil der Deponierung von mineralischen Ersatzbaustoffen ohne Bodenmaterial bei 9,6 %, hierbei sind vor allem die Hausmüllverbrennungsaschen und Gießereirestsände betroffen (Umweltbundesamt 2025). Es bestehen derzeit wenige Anhaltspunkte, dass weitere mineralische Abfallströme in Folge der Umsetzung der ErsatzbaustoffV in Richtung Deponie verschoben werden.

Der Anteil der Verfüllung im Vergleich zur stofflichen Verwertung ist v.a. für Bodenmaterial groß, dieser liegt bei 71 %, für RC-Baustoffe liegt er bei 8 %. Die Verfüllung wird, wie bereits erwähnt, eine Rolle bei einer möglichen Verschiebung von Abfallströmen ab 2031 spielen.

1.3.4 Erhebung Kreislaufwirtschaft Bau

Der Bericht der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau zeigt ebenfalls, dass über die Verfüllung in Bergbaustätten erhebliche Mengen entsorgt werden (Kreislaufwirtschaft Bau (2022)). Allerdings sollte nicht automatisch der Schluss gezogen werden, dass diese Massen aufgrund ihrer technischen Eigenschaften für ein Recycling vollständig ungeeignet sind oder gar aufgrund der Schadstoffbelastung aus dem Baustoffkreislauf ausgeschleust werden müssen.

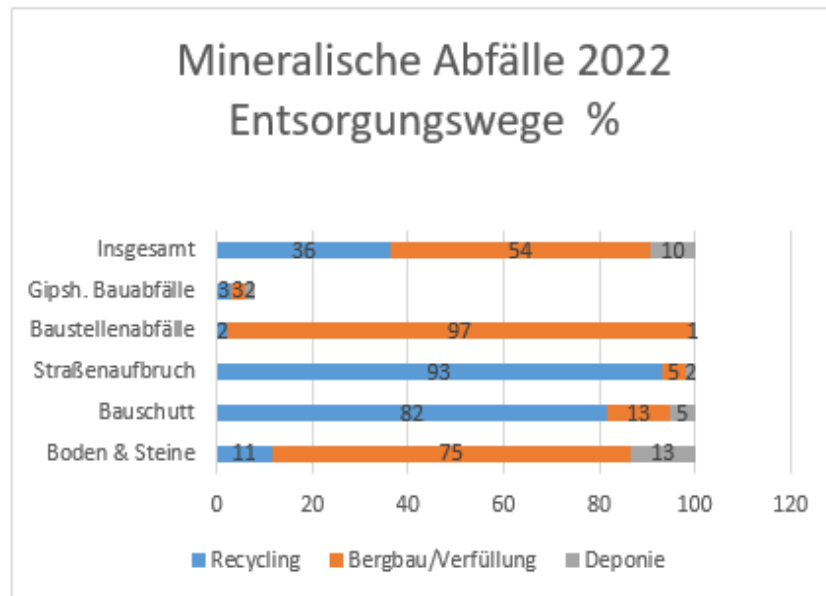


Abbildung 3: Mineralische Abfälle (2022), Kreislaufwirtschaft Bau, eigene Darstellung

Aus umweltpolitischer Sicht gilt es, das Potential der heutigen Verfüllungs- und Deponiemenge für das Recycling von BM zu nutzen, beispielsweise durch die Einrichtung von mehr Aufbereitungsanlagen für gering belastete Böden. Es gibt praxisnahe und innovative Strategien der Rohstoffversorgung aus der Industrie, die in der Praxis auf Initiative von Baustoffherstellern bereits umgesetzt werden. Allerdings erscheint eine flächendeckende Strategie für das Recycling von BM aufgrund der Heterogenität des BM und komplexen Einflussfaktoren nicht sinnvoll. Ein maßgeblicher Hebel zum Recycling von BM kann die Förderung der öffentlichen Nachfrage darstellen, da erst dann, wenn die Nachfrage nach recycelten Gesteinskörnungen so hoch ist, dass es sich lohnt, die Kosten für die Aufbereitung zu stemmen, es zur verstärkten mobilen und stationären Aufbereitung von BM kommen wird.

Es ist daher fraglich, ob die Einschränkungen der bergbaulichen Verfüllung zu einer Steigerung des Recyclings oder dem Einsatz in technischen Bauwerken führt. Sollten diese Mengen nach Wegfall der Übergangsfrist auf die Deponien zukommen, so würde dies einige Bundesländer vor Probleme stellen und die Deponiesituation in Deutschland vermutlich belasten.

2. BVT-Schlussfolgerungen

Der Prozess zur Erarbeitung und Novellierung der BVT-Merkblätter, auch bekannt als Sevilla-Prozess, ist durch die Industrieemissionsrichtlinie (IED) und den Durchführungsbeschluss 2012/119/EU festgelegt. Mit der Änderung der IED wird erstmals ein BVT-Merkblatt für Deponien erarbeitet, wobei der Prozess dazu offiziell im Frühjahr unter der Leitung des EU-BRITE (JRC) mit dem sog. Frontloading gestartet wurde und Anfang Oktober 2025 mit dem Kick-Off Meeting der Mitgliedstaaten und betroffenen Akteuren fortgesetzt wird. Die BVT-Schlussfolgerungen werden nach Abschluss des Verfahrens für alle EU-Mitgliedstaaten verbindlich und müssen in nationales Recht überführt werden. Für Deutschland betreut das Umweltbundesamt das Verfahren federführend.

Eine entscheidende Herausforderung des Prozesses wird darin bestehen, wie die auf Deponien eingesetzten Techniken in einem allgemein gültigen Dokument abgebildet werden können und dies auf EU-Ebene

verhandelt und vereinheitlicht werden kann. Das BMUKN erhofft sich von diesem Prozess auf EU-Ebene eine Verminderung der auf Deponien abgelagerten organischen Abfälle, möglich durch die Festlegung von Grenzwerten bei der Annahmekontrolle und die Vorbehandlung der angelieferten Abfälle. Darüber hinaus soll eine Vereinheitlichung der Umweltstandards für Deponien erreicht werden, wobei wichtige Punkte die Gasfassung bei ehemaliger oder fortlaufender Ablagerung von organischen Abfällen, die Sickerwasserbehandlung und die Einrichtung von künstlichen Barrieren zur Verhinderung des Austrags von Schadstoffen in die Umwelt sind.

3. Nationale Umsetzung der IED-Revision

Die Revision der IED dient der Vermeidung und Reduzierung von Umweltverschmutzung, der Harmonisierung von Umweltstandards, der Einführung eines Umweltmanagementsystems (UMS) für optimierte Ressourcen- und Wassernutzung, der Reduzierung gefährlicher Stoffe und der Erstellung von Transformationsplänen zu einer klimaneutralen Wirtschaft bis 2050.

Die IED-Revision ist Anfang August 2024 auf EU-Ebene in Kraft getreten, und die EU-Mitgliedstaaten haben zwei Jahre Zeit, um die Änderungen in nationales Recht umzusetzen, was bis August 2026 abgeschlossen sein muss. Zur nationalen Umsetzung der Änderungen der IED erarbeitet das BMUKN ein Artikelgesetz sowie eine Artikelverordnung. In den folgenden Abschnitten wird auf wesentliche Aspekte der geplanten Änderungen betreffend Deponien näher eingegangen. Eine erste Anhörung zu den Entwürfen wurde im Winter 2024 durchgeführt, eine zweite mit überarbeiteten Entwürfen im Sommer 2025. Derzeit werden die eingegangenen Stellungnahmen ausgewertet und die Entwürfe in der Bundesregierung abgestimmt.

3.1 Artikelgesetz in Vorbereitung

Ein wichtiger Aspekt der geplanten Änderungen des BImSchG ist die Einführung einer Verordnungsermächtigung für eine UMS-Verordnung (45. BImSchV), die es ermöglicht, die Betreiberpflicht zur Einrichtung und zum dauerhaften Betrieb eines UMS festzulegen. Dieses System soll dazu beitragen, dass Industrieanlagen ihre Umweltleistung kontinuierlich verbessern und die erweiterten Anforderungen der IED z.B. durch Abfallvermeidung, oder Optimierung von Ressourcennutzung erfüllen. Darüber hinaus wird die Umsetzung der BVT-Schlussfolgerungen (BVT-S) im untergesetzlichen Regelwerk fortgeführt, um einen einheitlichen Vollzug in Deutschland zu gewährleisten.

Weiterhin ist vorgesehen, dass Genehmigungsbescheide für Industrieanlagen im Internet systematisch, kostenlos und ohne Einschränkung des Zugangs veröffentlicht werden müssen. Dies soll die Transparenz bei der Genehmigung und Überwachung von Industrieanlagen erhöhen.

Das Bundesberggesetz (BBergG) soll ebenfalls geändert werden, um den Erzbergbau im industriellen Maßstab in den Anwendungsbereich der IED aufzunehmen. Da das aktuelle BBergG den neuen Anforderungen nicht vollständig gerecht wird, werden die Betreiberpflichten in das BBergG aufgenommen und ein Verweis auf die materiellen Anforderungen der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) geschaffen, um einen adäquaten Regelungsrahmen zu schaffen.

Die Änderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) und des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) dienen ebenfalls der Anpassung an die neue IED. Insbesondere für Deponien, die unter die IED und gleichzeitig dem Kreislaufwirtschaftsrecht fallen, werden die neuen Regelungen der IED angepasst. Unter

anderem wird eine neue Definition für Deponien nach der Industrieemissionsrichtlinie eingeführt, um den Rechtstext zu vereinfachen.

3.2 Artikelverordnung in Vorbereitung

Der Referentenentwurf für die Artikelverordnung umfasst eine Reihe von wichtigen Änderungen und Anpassungen im untergesetzlichen Regelwerk des Immissionsschutzes. Ein zentrales Element ist die Änderung der 4. BImSchV, die die genehmigungsbedürftigen Anlagen regelt. Die Änderung soll sicherstellen, dass die Anforderungen an die Genehmigung von Industrieanlagen den aktuellen Anforderungen der IED entsprechen, z.B. werden zusätzliche Anlagenarten aufgenommen, und Planungs- und Genehmigungsverfahren beschleunigt.

In der Artikelverordnung soll die 45. BImSchV eingeführt werden, die sich mit dem UMS für IED-Anlagen befasst. Die Verordnung konkretisiert die Anforderungen für das einzuführende Umweltmanagementsystem zum Zwecke der laufenden Verbesserung von Umweltleistung und Anlagensicherheit, u.a. durch Abfallvermeidung, optimierte Ressourcennutzung oder Wasserwiederverwendung.

Neben diesen zentralen Änderungen sind auch eine Reihe von Folgeanpassungen in anderen Verordnungen vorgesehen. Dazu gehören insbesondere redaktionelle Änderungen in der Verordnung über Immissionsschutz- und Störfallbeauftragte (5. BImSchV), im Genehmigungsverfahren (9. BImSchV), bei Emissionserklärungen (11. BImSchV), bei der Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen (17. BImSchV) sowie bei mittelgroßen Feuerungsanlagen (44. BImSchV). Auch die Deponieverordnung wird an die neuen Anforderungen bzgl. der Veröffentlichungsvorschriften an die IED angepasst. Die Ersatzbaustoffverordnung wird auf die neuen Nummern in der 4. BImSchV redaktionell angepasst.

3.2.1 Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV)

Die geplante Anpassung der 4. BImSchV an den geänderten Anwendungsbereich der Industrieemissionsrichtlinie (IED) ist ein wichtiger Schritt zur Harmonisierung des Umweltschutzrechts in Deutschland. Der Entwurf beinhaltet praxisgerechte Vorschläge, die zu einer Straffung von Verfahren führen sowie eine Ausrichtung auf die Transformation der Industrie sicherstellen und gleichzeitig ein hohes Schutzniveau für Mensch und Umwelt gewährleisten. Ferner erfolgen weitere Änderungen zur Angleichung des Aufbaus und der Begrifflichkeiten an die europäischen Vorgaben.

- Durch die strukturelle Anpassung an die Anlage I (Titel oder Inhalt der Anlage I) der IED und die Reduzierung der Anzahl der Anlagentypen von rund 330 auf 250 soll der Bürokratierückbau vorangetrieben werden. Erleichterungen für Elektrolyseure sind ebenfalls vorgesehen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Darüber hinaus soll die Umsetzung von Maßnahmen zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren die Effizienz und die Transparenz des Genehmigungsprozesses erhöhen.
- Es ist wichtig zu betonen, dass der Gleichlauf mit den Vorgaben des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung gewährleistet und die Pflicht zur UVP-Vorprüfung erhalten bleiben soll. Die materiellen Standards werden durch diese Maßnahme nicht abgesenkt, aber der geschätzte jährliche Erfüllungsaufwand durch Bürokratiekosten kann um ca. 2,6 Mio. Euro verringert werden.
- Aus fachlicher Sicht ist die Aufnahme einer Ausnahmeregelung für nicht gefährliches Bodenmaterial bis 300 t Lagerkapazität hervorzuheben.

- Schließlich ist die allgemeine Vereinfachung der Regelungssystematik in der Hauptgruppe 8 (Titel der Gruppe benennen)

Im Rahmen der Anhörung zu den Entwürfen wurde u.a. die Entlassung von Anlagen aus dem Regelungsregime der 4. BImSchV, die nicht europarechtlich durch die IED erfasst werden, gefordert. Diese erscheint aus umweltfachlichen Gesichtspunkten nicht zielführend. Stattdessen kann durch die Herabstufung von Anlagentypen vom „großen“ Verfahren (G) in das vereinfachte Verfahren (V), wo dies europarechtlich möglich ist, ein erheblicher Beitrag zur Genehmigungsbeschleunigung geleistet werden. Dies kann dazu führen, dass die jährlichen Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung etwa halbiert werden.

3.2.2 Einführung einer neuen Umweltmanagementverordnung (45. BImSchV)

Die Umsetzung eines UMS ist mit der Änderung der Industrieemissionsrichtlinie (IED) für alle IED-Anlagen verpflichtend vorgesehen. Dies betrifft nach Anhang 1 Nummer 5 der IED (Kategorien von Tätigkeiten nach Artikel 10) auch Deponien, ausgenommen Deponien für Inertabfälle und Deponien mit einer Aufnahmekapazität von maximal 10 Tonnen pro Tag bzw. einer Gesamtkapazität von maximal 25.000 Tonnen pro Jahr.

- Das Umweltmanagementsystem soll Vorgaben zur Prüfung der Substitution gefährlicher Stoffe sowie die Erstellung eines anlagenbezogenen Transformationsplans ab 2030 umfassen. Ziel ist es, die Umweltleistung von Industrieanlagen zu verbessern und die Umweltbelastung zu reduzieren.
- Zudem soll die UMS-VO auch die Grundlagen zur zukünftigen Umsetzung von verbindlichen Umweltleistungsgrenzwerten und Orientierungswerten für die Umweltleistung (Verbrauchswerte, Werte für Ressourceneffizienz) schaffen.
- Die Umsetzung eines UMS ist europarechtlich vorgegeben. Um den Erfüllungsaufwand zu minimieren, soll die UMS-Verordnung möglichst bürokratiearm umgesetzt werden. Dazu gehört die Möglichkeit, auf bereits bestehende Systeme wie EMAS oder ISO 14001 zurückzugreifen, und die Übereinstimmung mit Vorgaben durch einen Auditor bestätigen zu lassen. Dies soll nicht nur den Erfüllungsaufwand reduzieren, sondern auch den Genehmigungsprozess entlasten.

4. Novellierung der Gewerbeabfallverordnung

4.1 Änderung der GewAbfV (Artikel 1) i.V.m. der DepV (Artikel 2)

Die Artikelverordnung, die die Novelle der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) und die Änderung der Deponieverordnung (DepV) umfasst, befindet sich derzeit im parlamentarischen Verfahren. Die Verordnung wurde auf der Grundlage der Ergebnisse eines Evaluierungsvorhabens des Umweltbundesamtes (UBA 2023) erarbeitet, mit dem Ziel, das Recycling von gewerblichen Siedlungsabfällen und bestimmten Bau- und Abbruchabfällen weiter zu stärken, einen stringenteren Vollzug zu schaffen und die Dokumentationspflichten für die Wirtschaft zu vereinfachen und zu digitalisieren.

- Ein wichtiger Aspekt der Novelle ist die Einführung einer Getrenntsammlungspflicht für nicht gefährliche asbesthaltige Abfälle. Abfallerzeuger werden künftig verpflichtet, diese Abfälle getrennt von den übrigen Abfallfraktionen zu sammeln und ordnungsgemäß und schadlos zu entsorgen. Die fachliche Grundlage für diese Änderung ist im Vollzug der Länder verankert und basiert auf den Empfehlungen der LAGA-Mitteilung 23.

Die Feststellung des Asbestgehalts erfolgt bereits vor Anfall des Abfalls aufgrund verschiedener rechtlicher Vorgaben. Korrespondierend zu dieser Regelung soll in der DepV eine Legaldefinition für den Begriff der nicht gefährlichen asbesthaltigen Bau- und Abbruchabfälle eingeführt und die Ablagerung dieser Abfälle auch außerhalb von Monodeponieabschnitten ermöglicht werden. Mit diesen Änderungen wird der UMK-Beschluss 55/2021 zum Umgang mit nicht gefährlichen asbesthaltigen Abfällen umgesetzt. Die Artikelverordnung wird seit Februar 2025 in den Gremien des Bundesrates beraten. Der Umweltausschuss, der Wohnungsbauausschuss und der Finanzausschuss haben Maßgabeempfehlungen beschlossen. Es ist wahrscheinlich, dass der Bundesrat der Verordnung mit Maßgaben zustimmt, was bedeuten würde, dass diese erneut vom Kabinett beschlossen und dem Bundestag vorgelegt werden müssten.

5. Umsetzung der Klärschlammverordnung

Die Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) von 2017 zielt darauf ab, Phosphor aus Klärschlamm zurückzugewinnen und Schadstoffeinträge in Böden und Gewässer weiter zu reduzieren. Die Verordnung sieht in den Jahren 2029 und 2032 entscheidende Neuerungen für die Entsorgung und Verwertung von Klärschlamm in Deutschland vor.

Ab dem 1. Januar 2029 müssen Betreiber kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen mit jeder Ausbaugröße Klärschlämme bzw. Klärschlammaschen mit einem Mindest-Phosphorgehalt von 20 g/kg Trockensubstanz einer Phosphorrückgewinnung zuführen. Dies bedeutet eine erhebliche Änderung in der Entsorgung von Klärschlamm, da bisher u.a. die landwirtschaftliche oder bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm üblich war.

Die landwirtschaftliche oder bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm wird ab 2029 für Anlagen über 100.000 Einwohnerwerte (EW) und ab 2032 für Anlagen über 50.000 EW grundsätzlich untersagt. Eine bodenbezogene Verwertung bleibt nach diesen Stichtagen nur noch für kleinere Anlagen zulässig und auch dann nur unter bestimmten Bedingungen.

Es ist wichtig zu beachten, dass eine Änderung der AbfKlärV nicht vorgesehen ist, was bedeutet, dass die geplanten Änderungen umgesetzt werden müssen. Zurzeit wird Klärschlamm größtenteils thermisch behandelt und anschließend auf Deponien der Klasse DK II deponiert.

Die Umsetzung der AbfKlärV führt zu einer verpflichtenden Phosphorrückgewinnung für etwa 1,5 Mio. Tonnen (Trockenmasse) ab 2029. Allerdings wird voraussichtlich ab 2029 ein deutlicher Kapazitätsmangel für die Phosphorrückgewinnung bestehen, da bestenfalls für 30 % der phosphorreichen Klärschlammverbrennungsaschen Behandlungskapazitäten installiert sein werden.

Dies bedeutet, dass in 2029 über 1 Million Tonnen Klärschlamm pro Jahr nach der thermischen Behandlung vorerst auf einem Langzeitlager gelagert werden muss, was etwa 0,5 Millionen Tonnen Asche mit einem Volumen von etwa 450.000 bis 900.000 Kubikmetern entspricht. Die Entwicklungen in den darauffolgenden Jahren sind schwer abschätzbar, jedoch wird ein starker Rückgang der zu lagernden Menge erst nach einigen Jahren zu erwarten sein.

5.1 Langzeitlagerung von phosphorhaltigen Aschen

Die phosphorhaltigen Verbrennungsaschen, die bei der Klärschlammverbrennung anfallen, spielen eine wichtige Rolle bei der Phosphorrückgewinnung. Gemäß §3 b AbfKlärV in Verbindung mit § 23 Absatz 6 DepV war die Absicht des Ordnungsgebers, dass diese Aschen bei einer positiven Entwicklung des Phosphorpreises der Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. Um dies zu erleichtern, wurde eine

Ausnahme von der Nachweispflicht über die nachfolgende ordnungsgemäße und schadlose Verwertung der Verbrennungsaschen geschaffen, die eine Langzeitlagerung ermöglicht. Diese Ausnahme kann um 5 Jahre verlängert werden.

Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass die Langzeitlagerung von Aschen aus der Klärschlammverbrennung nicht als Regelfall betrachtet oder gehandhabt werden sollte. Dies ist auch ein Kernpunkt der von Bundesministerien, Ländern und Verbänden 2024 unterzeichneten Gemeinsamen Erklärung. (BMUV 2024) Laut dieser Erklärung sollte die Lagerung von Aschen gemäß der Ausnahmeregelung der AbfKlärV nur in Fällen genutzt werden, in denen eine Investition bereits beschlossen ist und intensiv am Bau und der vollen Auslastung der Anlage gearbeitet wird, diese aber noch nicht abgeschlossen sind, sowie als kurzzeitige Übergangslösung. Die Möglichkeit einer späteren Phosphorrückgewinnung muss dabei gemäß AbfKlärV sichergestellt sein.

Die Bewertung der aktuellen Situation zeigt jedoch, dass eine Phosphorrückgewinnung oder stoffliche Verwertung der Aschen in den kommenden Jahren aufgrund mangelnder Anlagenkapazitäten nicht flächendeckend möglich sein wird. Die Umsetzung der Regelung nach der AbfKlärV zur Lagerung in einem Langzeitlager nach § 23 Abs. 6 DepV wirft aus heutiger Sicht bisher ungelöste Fragestellungen auf.

Ein Problem dabei ist die Rechtsunsicherheit, wer generell und insbesondere bei einer Insolvenz für die Rückholung der Klärschlammaschen verantwortlich ist. Außerdem werden die zukünftigen Kapazitäten der Phosphorrückgewinnung auf die jährlich anfallenden Menge Klärschlamm ausgerichtet sein, sodass der gelagerte Überschuss nur in Sonderfällen abgebaut werden kann. Aus umweltpolitischer Sicht darf die Deponierung von Aschen im Einzelfall nicht wirtschaftlicher als eine Phosphorrückgewinnung sein.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen ist das BMUKN weiterhin im Dialog mit der Branche, um umweltpolitische Lösungen zu finden. Eine Zwischenlagerung von Klärschlammaschen ohne anschließende Phosphorrückgewinnung ist aus Sicht des BMUKN nicht sinnvoll. Ein weiterer Branchendialog wird im Oktober 2025 stattfinden.

6. Harmonisierung mit der Ersatzbaustoffverordnung

6.1 MantelV

Die in der sog. Mantelverordnung in 2021 verabschiedeten Änderungen in der DepV haben wichtige Auswirkungen auf die Handhabung von mineralischen Ersatzbaustoffen in Deponien. Durch Artikel 3 der MantelV wurde in § 6 DepV ein neuer Absatz 1a eingeführt, durch den mineralische Ersatzbaustoffe, die als Abfall anfallen und entsprechend der ErsatzbaustoffV güteüberwacht und klassifiziert sind, bei Anlieferung zur Deponie als nicht gefährliche Abfälle oder Inertabfälle angenommen und als Deponieersatzbaustoffe verwendet werden können. Eine Zuordnung zu den Deponieklassen 0 und I erfolgt ebenfalls durch den neuen Absatz. Durch die feste Zuordnung von Materialklassen zu Deponieklassen ist keine weitere Untersuchung der abzulagernden Abfälle nach den Vorgaben der DepV erforderlich. Stattdessen muss die Einhaltung der Materialwerte der ErsatzbaustoffV durch eine Dokumentation lediglich nachgewiesen werden. Diese Regelung gilt auch für nicht aufbereitetes Bodenmaterial und nicht aufbereitetes Baggergut, was die Praxis in der Abfallwirtschaft weiter vereinfacht. Gleichzeitig kann eine andere Zuordnung getroffen werden, wenn die Materialien nach Anhang 4 der DepV untersucht werden, dies ermöglicht eine flexible Handhabung.

Die Änderungen in der DepV durch die MantelV zielen darauf ab, die Nutzung von nicht verwertbaren mineralischen Ersatzbaustoffen in Deponien zu erleichtern und die Abfallwirtschaft effizienter zu gestalten.

6.2 ErsatzbaustoffV

Die ErsatzbaustoffV ist ein wichtiger Meilenstein in der deutschen Abfallwirtschaft, da sie bundeseinheitliche Anforderungen an die Herstellung und Verwendung von MEB im Tiefbau festlegt. Seit ihrem Inkrafttreten im August 2023 stellt sie die zentrale Regelung für die Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen dar. Im Jahr 2022 wurden etwa 400 Millionen Tonnen Abfall produziert, wobei mineralische Bauabfälle mit rund 208 Millionen Tonnen den größten Anteil ausmachten. Die mineralischen Ersatzbaustoffe ohne Bodenmaterial finden ihre Hauptanwendung in technischen Bauwerken, wo sie zu etwa 58% eingesetzt werden, sowie als Zuschlag in der Baustoffindustrie, wo sie etwa 10% ausmachen. Diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung der ErsatzbaustoffV für eine nachhaltige und ressourcenschonende Abfallwirtschaft.

Evaluierung der ErsatzbaustoffV. Der Zwischenbericht zeigt (UBA 2025), dass noch immer Herausforderungen und Problemstellungen in einigen Regelungen und deren Vollzug bestehen. Die in den einschlägigen Planspielen identifizierten Hemmnisse umfassen z.B. das Erfordernis eines ausführlichen Säulenversuchs bei der mobilen Aufbereitung, die Klarstellung des bautechnischen Zwecks, die Vereinfachung der Anzeigepflichten, die Prüfung der Überwachungswerte und die Aufnahme des kiesigen Untergrundes als Deckschicht. Darüber hinaus besteht Harmonisierungsbedarf bei den Schnittstellen der ErsatzbaustoffV mit anderen Bereichen, z.B. dem Bodenschutz- und Wasserrecht.

Insgesamt zeigt die Evaluierung, dass die ErsatzbaustoffV der richtige Schritt in Richtung einer nachhaltigen Abfallwirtschaft ist, aber auch, dass es noch Hemmnisse und Anpassungsbedarf in der Verordnung und an den Schnittstellen zu anderen Rechtsbereichen gibt.

Güteüberwachung der Materialwerte von MEB anhand der Eluatwerte gem. ErsatzbaustoffV. Die ErsatzbaustoffV bietet einen differenzierten Ansatz zur Klassifizierung von MEB in Abhängigkeit von ihren Materialwerten. Dieser Ansatz ermöglicht eine präzise Zuordnung der MEB zu verschiedenen Materialklassen, was für die Sicherstellung der Umweltverträglichkeit und der Qualität dieser Baustoffe von entscheidender Bedeutung ist. Die Zuordnung erfolgt auf Basis der in Anlage 1 der ErsatzbaustoffV enthaltenen Materialwerttabellen, die sowohl Eluat- als auch Feststoffwerte enthalten.

Die Eluatwerte, die in der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) und der Deponieverordnung (DepV) festgelegt sind, sind nicht direkt vergleichbar. Dies liegt daran, dass die beiden Verordnungen unterschiedliche Zielsetzungen und Anforderungen haben, was zu unterschiedlichen Methoden und Grenzwerten führt. In solchen Fällen wären Beprobungen nach beiden Verordnungen notwendig, was zu erhöhten Kosten und einem erhöhten Aufwand für die Beteiligten führen kann.

Um diese Problematik zu adressieren, erscheint es sinnvoll, die Anforderungen an Eluatverfahren in der DepV – über den bereits bestehenden § 6 Abs. 1 a – an die Vorgaben der ErsatzbaustoffV anzupassen.

7. Weitere Themen im Bereich der Kreislaufwirtschaftspolitik

7.1 Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie

Die Bundesregierung hat mit dem Beschluss der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (Bundesregierung 2024) Ende 2024 einen wichtigen Schritt in Richtung einer nachhaltigeren und umweltfreundlicheren Kreislaufwirtschaftspolitik unternommen. Die NKWS bietet eine umfassende Grundlage für die weitere Arbeit in diesem Bereich und soll durch einen breit angelegten und erfolgreichen Dialogprozess mit Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Wissenschaft umgesetzt werden. Eine der vielen Maßnahmen, die im Rahmen der NKWS beschlossen wurden, ist die Prüfung des Ablagerungsverbots für verwertbare Abfälle gemäß §7 Abs. 3 DepV.

Das am 1. Januar 2024 in Kraft getretene Deponierungsverbot für verwertbare Abfälle ist eine vorfristige Umsetzung von EU-Recht und soll dazu beitragen, dass etwa 3-4 Millionen Tonnen Stadtböden, die bisher auf Deponien abgelagert wurden, in die Verwertung gehen. Da dem BMUKN bisher keine Daten zu den Auswirkungen des § 7 Abs. 3 DepV vorliegen, soll das UBA bis 2030 ein Forschungsvorhaben beauftragen, um die Durchführung und die Praxistauglichkeit des Ablagerungsverbots zu beleuchten.

Sollte die Regelung in der Deponieverordnung nicht zu einer den Zielen der NKWS entsprechenden Reduzierung der Deponierung von verwertbaren Abfällen führen, werden weitere Maßnahmen, wie die Einführung einer Deponieabgabe für mineralische Abfälle, geprüft.

7.2 Abfallende von mineralischen Ersatzbaustoffen

Für eine Abfallende-Verordnung (AbfallendeV) für MEB wurde ein Eckpunktpapier (BMUV 2023) und ein Referentenentwurf in der 20. Legislaturperiode erstellt. Das Eckpunktpapier sah ein vorzeitiges Abfallende für schadstofffreie Recyclingbaustoffe, wie zum Beispiel solche aus Beton-, Ziegel- und Mauerwerkbruch, Steinen sowie für Gleisschotter und unbelastete Bodenmaterialien vor. Das Verfahren endete mit dem Bruch der Ampelkoalition. Allerdings zeigte sich bereits, dass die Erwartung hinsichtlich der Materialauswahl für das Abfallende zwischen den Bundesländern und den Interessensgruppen von Verwertern oder dem Boden- und Grundwasserschutz sehr weit auseinandergingen. Ein Kompromiss zwischen den unterschiedlichen Positionen erschien aus Sicht des damaligen BMUV sehr unwahrscheinlich.

Stattdessen konzentriert sich die Fachebene im BMUKN darauf, die laufenden Vorhaben auf EU-Ebene zum Ende der Abfalleigenschaft eng zu begleiten. Hierbei werden für verschiedene Abfallmaterialien, wie Kunststoffe, Textilien und Bau- und Abbruchabfälle, Abfallende-Kriterien entwickelt und Verordnungsentwürfe mit entsprechenden Kriterien zeitnah vorgelegt werden.

Im Hinblick auf die Abfälle aus Bau- und Abbruchmaterialien (CDW – construction and demolition waste) gibt es spezifische Herausforderungen. So sind teerhaltiger Asphalt und nicht aufbereitetes Bodenmaterial vom Ende der Abfalleigenschaft (EoW) ausgeschlossen. Das Joint Research Centre (JRC 2024) setzt auf Eluatwerte mit einem Wasser-Feststoffverhältnis von 10:1, was im Widerspruch zur ErsatzbaustoffV steht und die Gefahr einer Doppelanalyse birgt. Die Zulassung von gemischten CDW als Input schwächt jedoch das Ziel, die Getrenntsammlung zu stärken. Für Asbest ist ein Grenzwert von 0,1 mg/kg (0,01 %) vorgesehen, wodurch erstmals ein konkreter Grenzwert für Asbest eingeführt würde. Es bleibt jedoch fraglich, was dies für die Verwertung von asbesthaltigem Material ohne EoW, also unter Abfallregime, bedeutet.

Unsere Position ist weiterhin, dass nicht alle Materialklassen automatisch das Abfallende erreichen können. Es ist wichtig, dass Transport, Lagerung und Einsatz von Ersatzbaustoffen für Gesundheit und Umwelt sicher sind, deshalb setzt das Umweltrecht hier klare Regeln. Diese Standards sollen beim Verlassen des Abfallregimes beibehalten werden.

Regelungen zum Ende der Abfalleigenschaft können zu einer besseren Vermarktbarkeit von Recyclingmaterialien beitragen, jedoch nur, wenn ein hoher Standard gewährleistet ist. Die Kriterien zum Ende der Abfalleigenschaft stammen aus dem Europäischen Recht, nämlich der Abfallrahmenrichtlinie. Jeder nationale Regelungsvorschlag muss sich daher an diesen Vorgaben messen lassen, insbesondere hinsichtlich der Sicherstellung des Schutzes von Mensch und Umwelt.

8. Fazit

Zur Erreichung der Zielsetzungen der Abfall- und Nachhaltigkeitspolitik sowie NKWS arbeitet BMUKN an parallelen Prozessen und Rechtsetzungsvorhaben, die Einfluss auf den Deponiebetrieb in den kommenden Jahren in Deutschland nehmen werden. Zentrale Rolle nehmen die geplanten Änderungen im immissionsschutzrechtlichen Bereich in Folge der IED-Revision, darunter insbesondere bezüglich des Genehmigungsrechts (4.BImSchV) und der Einführung eines verpflichtenden Umweltmanagementsystems für Deponien. Im Umfeld des Deponierechts sind insbesondere die Umsetzung und die weitere Entwicklung der ErsatzbaustoffV, die Klärung der Langzeitlagerung von Klärschlammaschen und die geplanten Regelungen bezüglich der Beseitigung von nicht gefährlichen asbesthaltigen Abfällen hervorzuheben.

9. Literatur

- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2024): Gemeinsame Erklärung zum Ausbau der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm (https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/phosphor_rueckgewinnung_bf.pdf)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2023): Eckpunktepapier zur Abfallende-Verordnung für bestimmte mineralische Ersatzbaustoffe (https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/20_Lp/meb_eckpunktepapier/Entwurf/meb_eckpunktepapier_bf.pdf).
- Bundesregierung (2025): Klimaschutzbericht 2025 nach § 10 des Klimaschutzgesetzes (<https://dserver.bundestag.de/btd/21/012/2101250.pdf>).
- Bundesregierung (2024): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (<https://www.bundesumweltministerium.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie>).
- Deponieverordnung – DepV: Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900).
- Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV: Verordnung zur Änderung der Ersatzbaustoffverordnung und der Brennstoffwechsel-Gasmangellage-Verordnung vom 18.07.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 186).
- EU-Industrieemissionsrichtlinie – (IED): Industrieemissionen IED: 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.

Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV: Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen vom 18. April 2017 (BGBl. 2017 Teil I Nr. 22).

InwesD (2025): Komprimierte Auswertung 2024, nicht veröffentlicht.

Joint Research Centre (2025): EU-wide End-of-Waste criteria for mineral construction and demolition waste, nicht veröffentlicht.

Klärschlammverordnung – AbfKlärV: Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27. September 2017 (BGBl. Jahrgang 2017 I Nr. 65).

Kreislaufwirtschaft Bau (2022): Monitoring Bericht der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau (<https://kreislaufwirtschaft-bau.de/>).

Mantelverordnung – MantelV: Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598).

Statistisches Bundesamt – Destatis (2022): Amtliche Statistik der Abfallbeseitigung (<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft>).

Umweltbundesamt (2023): Erarbeitung von Grundlagen für die Evaluierung der Gewerbeabfallverordnung (UBA Texte 47/2023).

Umweltbundesamt (2025): Wissenschaftliches Monitoring zur Evaluierung und Weiterentwicklung der Regelungen der Ersatzbaustoffverordnung. Zwischenbericht, nicht veröffentlicht.

Aktuelles aus der Arbeit der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

Falk Fabian¹

Inhalt

1. Bundeseinheitliche Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilungen.....	15
2. Aktuelles	17
3. Veröffentlichung	24
4. Literatur.....	25

1. Bundeseinheitliche Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilungen

Die Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV) [1] enthält allgemeine Anforderungen an den Stand der Technik sowie grundsätzliche technische Anforderungen an die geologische Barriere und die Abdichtungssysteme von Deponien. Die Festlegung detaillierter technischer Anforderungen und zum Teil die Beurteilung der Eignung von Materialien, Komponenten oder Systemen, bei denen es sich nicht um Geokunststoffe, Polymere und serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme handelt, wurden den Ländern übertragen. Auf der Grundlage von Anhang 1 Nummer 2.1.2 DepV definieren die Länder in Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) die Prüfkriterien und legen Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie an das Qualitätsmanagement fest. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf den geforderten Zeitraum der Funktionstüchtigkeit von mindestens 100 Jahren gelegt. Bundeseinheitliche Qualitätsstandards konkretisieren den Stand der Technik nach Nummer 2.1.1 DepV.

Für die Eignungsbeurteilung sonstiger Materialien, Komponenten oder Systeme, insbesondere für den Einsatz von natürlichem, ggf. vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial aus der Umgebung sowie von Abfällen ist die jeweilige Zulassungsbehörde der Deponie zuständig. Grundlagen der Eignungsbeurteilung bilden die von den Ländern erstellten BQS für die jeweilige Systemkomponente. Die Länder nehmen aber auch bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen vor, die als Eignungsnachweis gegenüber der zuständigen Behörde dienen können.

Die Länder haben die Aufgaben, BQS zu erarbeiten sowie bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen vorzunehmen und fortzuschreiben, der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ übertragen [2]. Mitglieder dieser Ad-hoc-AG sind Vertreter aus Fach- und Genehmigungsbehörden aller 16 Bundesländer sowie des Umweltbundesamtes als Vertreter des Bundes. Als Gast gehört auch ein Vertreter des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) der Ad-hoc-AG an. BQS und Eignungsbeurteilungen werden in kleineren Unterarbeitsgruppen (UAG) vorbereitet. Die Bearbeitung von BQS wird fachlich von ehrenamtlich tätigen Sachkundigen unterstützt. Für Eignungsbeurteilungen können auf Kosten der Antragsteller externe Sachverständige hinzugezogen werden. Sachkundige und externe Sachverständige sind erfahrene Mitarbeiter aus Forschung und Praxis und werden von der LAGA Ad-hoc AG Deponietechnik benannt.

¹ Falk Fabian , Obmann der LAGA Ad-hoc-AG Deponietechnik c/o LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Referat 36 – Kreislaufwirtschaft, Chemikaliensicherheit +49(0)721 5600-2322, LAGA-Ad-hoc-AG_Deponietechnik@lubw.bwl.de

Folgende, in Tabelle 1 genannten BQS wurden bisher erarbeitet:

Tabelle 1: Liste der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS)

BQS	Titel	Fassung vom
1-0	Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere	04.12.2014
2-0	Mineralische Basisabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen	04.12.2014
2-1	Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen	02.12.2020
2-2	Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen	02.12.2020
2-3	Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen	02.12.2020
2-4	Basisabdichtungskomponenten aus Asphalt	07.07.2015
3-1	Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungssystemen	11.12.2024
3-2	Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen	02.12.2020
4-1	Trag- und Ausgleichsschichten	04.12.2014
5-0	Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten - übergreifende Anforderungen	04.12.2014
5-1	Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen	02.12.2020
5-2	Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen	02.12.2020
5-3	Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen	02.12.2020
5-4	Oberflächenabdichtungskomponenten aus Asphalt	07.07.2015
5-5	Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen	29.04.2025
5-6	Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen	09.11.2010
6-1	Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen	02.12.2020
6-2	Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen	02.12.2020
7-1	Rekultivierungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen	23.09.2021
7-2	Wasserhaushaltsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen	02.12.2020
7-3	Methanoxidationsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen	02.12.2020
7-4a	Technische Anforderungen an die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Deponieoberflächenabdichtungssystemen	01.12.2022
8 -1	Rohre, Schächte und Sonderbauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien	11.12.2024
9-1	Qualitätsmanagement - Fremdprüfung beim Einbau mineralischer Baustoffe in Deponieabdichtungssystemen	05.08.2020
10-1	Deponiegas	10.11.2021

Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen dieser Ad-hoc-AG bzw. der vorangegangenen LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ liegen für folgende Komponenten bzw. Systeme vor:

Tabelle 2: Liste bundeseinheitlicher Eignungsbeurteilungen

Komponente	Produkt / System	Anbieter
Asphalt	Deponieasphalt	Deutsches Asphaltinstitut
Geosynthetische Tondichtungsbahnen	Bentofix B 4000	Firma NAUE
	Bentofix BZ 6000	
	Bentofix NSP 4900	
	Bentomat LAGA	Firma CETCO (Vertrieb Firma G quadrat)
	NaBento RL-C	Firma HUESKER
	NaBento RL-N 5000 LAGA	
	Tektoseal Clay NA 5000 LAGA+	
	BentoLiner® LAGA	Firma SOLMAX
Kapillarsperre	Kombikapillarsperre*)	Dr. Sehrbrock
	Kapillarblockbahn	Firma G quadrat
Mineralische Dichtung	METHA-Material*)	Hamburg Port Authority (HPA)
	Trisoplast® ¹⁾	Firma G quadrat

*) Eignungsbeurteilungen durch LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“

¹⁾ eingeschränkte Eignungsbeurteilung in der Bauweise ohne überlagernde konvektionsdichte Komponente (Stand: 17.05.2023)

2. Aktuelles

Über die aktuellen Ergebnisse der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ wurde anlässlich des 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminars 2024 [6] berichtet. Seitdem hat die Ad-hoc-AG neben anderen Themen im Wesentlichen in 2024

- den BQS 3-1 im Zusammenhang mit der Überarbeitung der GDA-Empfehlungen E 2-14, E 3-12, E 4-2 sowie E 5-6 fortgeschrieben,
- den BQS 5-5 im Zusammenhang mit den Erkenntnissen aus der Prüfung einer Eignungsbeurteilung eines geosynthetischen Tondichtungsbahnproduktes fortgeschrieben,
- den BQS 8-1 im Zusammenhang mit der Überarbeitung der „Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile in Deponien“ fortgeschrieben,
- die Überarbeitung der „Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt“ des AK 2.3 der DGGT [7] begleitet und hierauf basierend die Eignungsbeurteilung für Deponieasphalt fortgeschrieben („Wiederzulassung der Bauweise AC 16 TD-DA“),
- die Bearbeitung des Antrags auf Eignungsbeurteilung einer geosynthetischen Tondichtungsbahn als Abdichtungskomponente für die Oberflächenabdichtung von DK III Deponien fortgeführt,
- die Eignungsbeurteilung Tektoseal Clay NA 5000 LAGA+ auf Antrag des Herstellers fortgeschrieben,
- die Schlussfolgerungen aus Ergebnissen zu Langzeituntersuchungen an Abdichtungssystemen mit Trisoplast® durch die Abstimmung eines konsolidierten Untersuchungsprogramm begleitet,

- einen Erfahrungsaustausch zum BQS 9-1 unter Beteiligung der fremdprüfenden Stellen (Verbände FGDA und AK GWS), der BAM sowie Fachgutachter und Vertreter*innen der DAkkS sowie
- einen Erfahrungsaustausch zum BQS 10-1 unter Beteiligung der externen Sachkundigen sowie Vertretern von Deponiebetreibern (InwesD) und der ZUG GmbH durchgeführt.

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

Die Empfehlungen E 2-14 „Basis-Entwässerung von Deponien“, E 3-12 „Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten“, E 4-2 „Herstellung von mineralischen Entwässerungs- und Schutzschichten“ sowie E 5-6 „Qualitätsüberwachung bei mineralischen Entwässerungsschichten“ des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) [8] sind mit Datum 06/2024 aktualisiert veröffentlicht wurden. Bezüglich der GDA Empfehlungen E 2-14 und 2-20 war zuvor ein fachlicher Austausch zwischen der UAG „Rohre, Schächte und Bauteile in Deponien (RSB)“ der Ad-hoc AG und dem AK 6.1 der DGGT erfolgt.

Im Zuge der Fortschreibung der GDA-Empfehlungen wurde die Thematik des Feinkorngehaltes und des Kalkgehaltes mit den beteiligten Sachkundigen erörtert. Ein Überarbeitungspunkt der GDA E 2-14 sollte u.a. die Definition des Gesamtcarbonatgehaltes sein. Die in der aktuellen Fassung der GDA Empfehlung E 2-14 stehende Bedingung sollten im BQS 3-1 entsprechend angepasst werden. Darüber hinaus gab es im BQS 3-1 im Hinblick auf die Anforderungen in der Eignungsprüfung Abweichungen zu den Vorgaben der GDA Empfehlung E 3-12 in der Formulierung von methodenspezifischen Grenzwerten im Abgleich mit den jeweiligen Untersuchungsverfahren („abschlammbare Bestandteile“ und Feinkorngehalte).

Im Zusammenhang mit einer Anfrage einer Vollzugsbehörde über den Landesvertreter für eine Unterstützung der Behörden im Bedarfsfall nach Ziffer 1 der GO der Ad-hoc AG [2], bei der nach Prüfung durch die Ad-hoc AG festgestellt wurde, dass der konkrete Antrag nicht in den originären Aufgabenbereich nach Ziffer 1 der GO [2] fällt, wurde eine Konkretisierung für die Festlegung von Kalkgehaltsbegrenzungen im Einzelfall beraten, die ebenfalls als Präzisierung in eine Fortschreibung des BQS 3-1 zur Klarstellung aufgenommen werden sollte.

Diese Sachverhalte wurden in einen entsprechenden Entwurf einer Fortschreibung des BQS 3-1 eingearbeitet, der innerhalb der 41. Vollversammlung der Ad-hoc-AG final beraten und mit den innerhalb dieser Sitzung vorgenommenen Änderungen mit Stand 11.12.2024 beschlossen wurde. Der zugehörige Entwurf des BQS 3-1 wurde dem Abfalltechnikausschuss (ATA) der LAGA in seiner 104. Sitzung am 29./30. Januar 2025 erfolgreich zur Zustimmung zugeleitet. Nach weiterer Zustimmung der LAGA-Vollversammlung in einem Umlaufverfahren konnte die Fortschreibung des BQS 3-1 am 11.03.2025 auf der Internetseite der LAGA veröffentlicht werden.

2.2 Fortschreibung BQS 8-1 „Rohre, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien“

Die Fortschreibung der vormaligen SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie „Rohre, Schächte und Bauteile (RSB) auf Deponien“ aus 2017 konnte mit dem Ausgabestand Oktober 2024 mit dem Titel „Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile (RSB) auf Deponien“ abgeschlossen werden. Die UAG RSB war bei der

Fortschreibung der Güterichtlinie intensiv eingebunden. Die Fortschreibung der Güterichtlinie „Rohre, Schächte und Bauteile (RSB) auf Deponien“ wurde im 1. Quartal 2025 veröffentlicht.

Durch die intensive Einbindung der UAG RSB bei der Fortschreibung der Güterichtlinie wurde parallel ein direkter Verweis auf diese Güterichtlinie als Stand der Technik im Sinne des BQS 8-1 in bewährter Weise seitens der Ad-hoc AG angestrebt. Als wesentlicher Punkt für diese Fortschreibung des BQS 8-1 wurde die Nachweiskonzeption zur Langzeitbeständigkeit von Rohren, Schächten und Bauteilen nach den Bestimmungen der DepV als integraler Bestandteil des BQS 8-1 eingearbeitet. Diese Auslagerung aus der Güterichtlinie in den BQS entspricht dem Vorgehen, dass der BQS die Grundlagen zur Bewertung des Standes der Technik bildet und somit auch die Möglichkeit lässt, mehrere Nachweiskonzepte zu integrieren.

Der hierzu durch die UAG RSB erarbeitete Entwurf des BQS 8-1 konnte, da die Fortschreibung der Güterichtlinie RSB abgeschlossen wurde, im Rahmen der 41. Vollversammlung der Ad-hoc AG im Dezember 2024 als Beschlussvorlage eingebracht und verabschiedet werden. Der zugehörige Entwurf des BQS 8-1 wurde dem Abfalltechnikausschuss (ATA) der LAGA in seiner 104. Sitzung am 29./30. Januar 2025 erfolgreich zur Zustimmung zugeleitet. Nach weiterer Zustimmung der LAGA-Vollversammlung in einem Umlaufverfahren konnte die Fortschreibung des BQS 8-1 am 11.03.2025 auf der Internetseite der LAGA veröffentlicht werden.

2.3 Fortführung der Bearbeitung zur Eignungsbeurteilung eines geosynthetischen Tondichtungsbahnproduktes für den Einsatz bei DK III Deponien und Erkenntnisse zur Fortschreibung der Nachweiskriterien im BQS 5-5

In 2015 wurde durch einen Hersteller von eignungsbeurteilten geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) der Antrag auf eine Eignungsbeurteilung für ein Produkt gestellt, das die Anforderungen zum Einsatz als Oberflächenabdichtungskomponente für Deponien der Klasse III erfüllen soll. Die Ad-hoc AG, insbesondere durch die Bearbeitung der UAG GTD, hat seit der Antragstellung die vorgelegten Untersuchungen und Nachweise der Anforderungen nach BQS 5-5 umfassend geprüft. In diesem Zeitraum wurden zahlreiche Versuchsauswertungen und Ergebnisse eingehend unter Beteiligung der externen Sachverständigen bewertet. Bisher stand der Nachweis der Abdichtungswirkung nach Ziffer 2.1.3 des BQS 5-5 (Stand: 17.05.2023) zum Einfluss des Ionenaustauschs für den vollständigen Ionenaustausch bei der höchsten Salzkonzentration aus, der zur abschließenden Eignungsbeurteilung erforderlich ist.

Der Antragsteller legte im Rahmen des Antragsverfahrens auf Eignungsbeurteilung dieser geosynthetischen Tondichtungsbahn ein Sachverständigen-Gutachten vor, das die Abdichtungswirkung nach Ziffer 2.1.3 des BQS 5-5 zum Einfluss des Ionenaustausches gleichwertig nachweisen soll. Die Ad-hoc AG hat der dortigen Vorgehensweise weiterer Untersuchungen zur Verifizierung der gleichwertigen Nachweisführung zugestimmt. Die Vorlage der Untersuchungsergebnisse sowie zugehöriger Bewertungen erfolgte Ende März 2024.

Die UAG GTD hat diese Unterlagen im April 2024 eingehend geprüft, und beurteilt, dass mit den vorliegenden Stellungnahmen und Untersuchungen plausibel dargelegt wurde, dass die Abdichtungswirkung nach Ziffer 2.1.3 des BQS 5-5 zum Einfluss des Ionenaustausches bei einer Salzkonzentration von 0,05 mol/l Calciumchlorid gleichwertig erfüllt werden kann und somit die Anforderung der zulässigen Permittivität für den Endzustand im Hinblick auf die Anforderung einer mineralischen DK III Abdichtungskomponente bewertet werden. Damit eine Eignungsbeurteilung erfolgen kann, ist die hierfür erforderliche Nachweisgrundlage im BQS 5-5 Anhang 3 entsprechend fortzuschreiben.

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen sowie deren Bewertungsgrundlage werden als geeignete Grundlage für eine Fortschreibung eingeschätzt und sollten damit berücksichtigt werden.

Innerhalb der 40. Vollversammlung der Ad-hoc AG im Mai 2024 wurde daher beschlossen, den Anhang 3 des BQS 5-5 für den Fall, dass die Abbruchkriterien aufgrund des zu geringen Durchflusses nicht erreicht werden können, mit geeigneten alternativen Nachweiskriterien (als Ausnahmefall) fortzuschreiben.

Hierzu wurden weitere Untersuchungen an den Langzeitproben, die bereits seit knapp 7 Jahren im Dauerversuch durch den Antragsteller auf ihre Langzeiteffekte untersucht werden, abgefordert. Diese Untersuchungen samt der zugehörigen Bewertung wurden Ende August 2024 an die Ad-hoc AG vorgelegt. Diese konnten die Ergebnisse und die Bewertung vom März 2024 verifizieren. Dahingehend erfolgte die intensive Prüfung und Validierung einer Fortschreibung im Anhang 3 des BQS 5-5 unter Einbindung der externen (ehrenamtlichen) Sachkundigen. Im Ergebnis wurde im Anhang 3 des BQS 5-5 eine alternative Methode, die in dem Fall, dass die Abbruchkriterien in begründeten Ausnahmefällen auch nach langjähriger Versuchsdurchführung aus spezifischen Produkteigenschaften (z.B. stagnierende Permittivität) nicht erreicht werden können bzw. diese nicht als hinreichend erreichbar eingeschätzt werden können, ergänzt. In diesen Fällen kann der Nachweis alternativ mittels der im Anhang 3 im BQS 5-5 aufgeführten Prognosemethode zur Ermittlung der Permittivität nach Ionenaustausch auf der Grundlage der vorliegenden langjährigen Versuchsergebnisse und der ermittelten Kennwerte erfolgen. Diese Fortschreibung trägt den bei festgestellten Erkenntnissen bei den langjährigen Untersuchungsergebnissen hinreichend sicher Rechnung. Bei dieser Fortschreibung des BQS 5-5 wurden auch weitere durch die Ad-hoc AG identifizierte inhaltliche und redaktionelle Punkte im BQS 5-5 berücksichtigt.

Diese Sachverhalte wurden in einen entsprechenden Entwurf einer Fortschreibung des BQS 5-5 eingearbeitet, der innerhalb der 42. Vollversammlung der Ad-hoc-AG im April 2025 final beraten und mit den innerhalb dieser Sitzung vorgenommenen Änderungen mit Stand 29.04.2025 beschlossen wurde. Dieser Entwurf des BQS 5-5 wurde dem Abfalltechnikausschuss (ATA) der LAGA in seiner 105. Sitzung am 05./06.06.2025 erfolgreich zur Zustimmung zugeleitet. Nach weiterer Zustimmung der LAGA-Vollversammlung in einem anschließenden Umlaufverfahren konnte die Fortschreibung des BQS 5-5 am 07.07.2025 auf der Internetseite der LAGA veröffentlicht werden.

Auf dieser Grundlage erfolgt nun auch die weitere Bearbeitung des Antrages der geosynthetischen Tondichtungsbahnproduktes für den Einsatz bei DK III Deponien. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrages kann eine positive Prognose für eine abschließende Bearbeitung einer Eignungsbeurteilung für den Antragsgegenstand eingeschätzt werden.

2.4 Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt

Die Ergebnisse aus dem Recherchebericht und fachlichen Stellungnahme zur Rissproblematik an einer Deponieasphaltbasisabdichtung in der Variante B, Bauweise AC 16 TD-DA (2023) wurden in 2024 in eine Fortschreibung der „Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt“ (durch den AK 2.3 „Asphaltbauweisen im Wasserbau und in der Geotechnik“ der DGGT) [7] eingearbeitet. Die UAG Asphalt sowie die zuständige Behörde für die Deponie, an der die Rissproblematik bei dieser Bauweise in 2019 aufgetreten war, wurden durch den AK 2.3 der DGGT in die Fortschreibung mit einbezogen.

Die abschließende Fortschreibung dieser Güterichtlinie wurde der Ad-hoc AG im August 2024 vorgelegt. Am 08.08.2024 stellte der Deutsche Asphaltverband (DAV) im Namen des Deutschen Asphaltinstituts (DAI) dann auf Grundlage der final überarbeiteten Güterichtlinie den Antrag auf entsprechende

Fortschreibung der Eignungsbeurteilung von Deponieasphalt, also Wiederzulassung der einlagigen Bauweise AC 16 TD-DA / Deponieasphalttragdichtungs-schicht (Variante B der Bauweisen in der GR).

Auf der Grundlage der überarbeiteten Güterichtlinie konnte dem zugehörigen Antrag des Inhabers der Eignungsbeurteilung zur Wiederzulassung der Variante B in der Eignungsbeurteilung durch die Ad-hoc AG zugestimmt werden. Die entsprechende Fortschreibung der Eignungsbeurteilung wurde durch die UAG Asphalt am 02.10.2024 abgeschlossen. Dementsprechend wurde die Eignungsbeurteilung der Ad-hoc-AG im Umlaufverfahren 2024-03 zugeleitet und nach deren Beschluss zur Kenntnisnahme an den ATA ebenfalls im Umlaufverfahren weitergeleitet. Die Fortschreibung der Eignungsbeurteilung für Deponieasphalt (Stand: 02.10.2024) samt zugehöriger Güterichtlinie „Deponieasphalt“ (Stand: August 2024) wurde mit Umlaufbeschluss 2023/06 im ATA sowie anschließend im Umlaufverfahren 2024/12 der LAGA-Vollversammlung erfolgreich am 25.11.2024 zur Kenntnis genommen, die Dokumente wurden im November 2024 auf der Internetseite der LAGA eingestellt.

Damit ist die Bauweise „Variante B“ im Zusammenhang mit den in der Güterichtlinie enthaltenen, modifizierten Vorgaben, die insbesondere

- Konkretisierungen der Anforderungen an das Auflager (Bauweise B)
- Anpassungen zur Einbautechnologie der Asphaltabdichtung auf mineralischer Unterlage
- Modifizierungen im Rohraulager
- Konkretisierungen zur Reihenfolge der Bahnenfertigung vom Tiefpunkt zum Hochpunkt
- Anforderungen an die Prüfungen im Auflager (Anpassungen im QMP)

beinhalten, um zukünftig Einschränkungen in der Bauweise Variante B ausschließen zu können, wieder zugelassen.

2.5 Fortsetzung der Bearbeitung aus den Schlussfolgerungen zu Langzeituntersuchungen an Abdichtungssystemen mit Trisoplast®

Im Rahmen von Aufgrabungen und Untersuchungen von älteren Oberflächenabdichtungen in Bayern wurden bei den dort vorgefundenen Abdichtungssystemen aus Geosynthetischen Tondichtungsbahnen und Trisoplast® Anomalien festgestellt. Auf weitere Informationen hierzu wird auf den Beitrag der TU München [10] verwiesen. Die dort festgestellten Ergebnisse aus Oberflächenabdichtungen, die vor 2009 und somit vor dem System der Eignungsbeurteilungen und der BQS errichtet wurden, gaben der LAGA Ad-hoc AG Anlass, mögliche Auswirkungen, die einen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit, insbesondere der Dichtigkeitsanforderungen, haben, zu überprüfen.

Diesbezüglich wurde ein Teil der untersuchten Deponieobjekte, die einer Aufgrabung unterzogen wurden, nochmals systematisch, unter Einbeziehung von externen Sachkundigen und externen Sachverständigen, bewertet bzw. untersucht. Hierbei ergaben sich differenzierte Ergebnisse. Insbesondere konnten bei den zum damaligen Zeitpunkt eingebauten Abdichtungen aus Trisoplast® zum Teil unzureichende Dichtigkeiten festgestellt werden. Da in diesen Objekten auch Bodenmaterialien aufgebracht wurden, die nicht zwangsläufig den Anforderungen der heutigen Eignungsbeurteilung bzw. den Kriterien der BQS 6-1 bzw. 7-1 entsprachen, lässt sich eine eindeutige Fehlerursache nicht zweifelsfrei und ausreichend belegen. Da spezifische Quellmechanismen mit ionenreichem Wasser funktionseinschränken-den Ionenaustausch hervorgerufen haben können oder auch austrocknungsrelevante Vorgänge (durch zu hohe

Wasserspannungen) die Quelfähigkeit nachteilig beeinflusst haben können, lässt sich zunächst kein systematisches Funktionsversagen ableiten.

Die Ad-hoc AG hat diesbezüglich bei Geosynthetischen Tondichtungsbahnen und auch bei Trisoplast® die notwendigen konstruktiven Vorgaben der Oberflächengüte des Auflagers sowie der Überdeckungsbedingungen geprüft. Bei den untersuchten Trisoplastabdichtungen an den Altdeponien konnte der dabei zum Teil geringe Anteil an Na-Ionenbelegung bisher nicht abschließend und vollumfänglich geklärt werden. In diesem Kontext wurde in Abstimmung mit dem Inhaber der Eignungsbeurteilung durch die UAG mineralische Baustoffe der Ad-hoc-AG ein Versuchsprogramm zur Durchführung von Versuchsreihen der Langzeitionenbelegung analog der Bedingungen gemäß Anhang 3 im BQS 5-5 vorabgestimmt. Im Zeitraum von November 2024 bis zum August 2024 erfolgte unter Einbeziehung externer Sachverständiger der Ad-hoc AG eine weitere Detailabstimmung mit dem Antragsteller zum Untersuchungsprogramm. Der Beginn der Untersuchungen ist noch in 2025 anberaumt. Mit diesen Untersuchungen sollen die Langzeiteffekte des im Trisoplast® verwendeten Polymers für spezielle Prüflösungen tiefergehend versuchstechnisch belegt werden. Bis zur Vorlage und Auswertung dieser Untersuchungsergebnisse bleibt die im Mai 2023 modifizierte Einschränkung der Eignungsbeurteilung zur Abdichtung aus Trisoplast® für die nicht durch eine Konvektionsabdichtung überlagernde Bauweise bis auf Weiteres bestehen.

In der Verwendung bei einer Kombinationsabdichtung in Form einer durch eine konvektionsdichte Komponente überdeckte mineralische Abdichtungskomponente können derartige Effekte mangels zutretender Wasseranteile und somit mangelnden Ionenaustauschmechanismen in der Gesamtwirkung ausgeschlossen werden, sodass hier kein Handlungsbedarf besteht. Soweit die Untersuchungen im Hinblick auf die Langzeitwirksamkeit der Quellwirkung bei Trisoplast® auch unter Ionenaustauschbedingungen geklärt wurden, kann die Eignungsbeurteilung fortgeschrieben werden. Aktuell findet Trisoplast® als alleinige Abdichtungskomponente im Deponiebau in Deutschland seit 2009 keine Anwendung mehr.

2.6 Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt

Die Ergebnisse aus dem Recherchebericht und fachliche Stellungnahme zur Rissproblematik an einer Deponieasphaltbasisabdichtung in der Variante B, Bauweise AC 16 TD-DA (2023) wurden in 2024 in eine Fortschreibung der „Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt“ (durch den AK 2.3 „Asphaltbauweisen im Wasserbau und in der Geotechnik“ der DGGT) eingearbeitet. Die UAG Asphalt sowie die zuständige Behörde für die Deponie, an der die Rissproblematik bei dieser Bauweise in 2019 aufgetreten war, wurden durch den AK 2.3 der DGGT in die Fortschreibung mit einbezogen.

Die abschließende Fortschreibung dieser Güterichtlinie wurde der Ad-hoc AG im August 2024 vorgelegt. Auf der Grundlage dieser überarbeiteten Güterichtlinie kann über die Wiederezulassung der Variante B, Bauweise AC 16 TD-DA in der Eignungsbeurteilung Deponieasphalt durch die Ad-hoc AG entschieden werden. Die Befassung der Fortschreibung der Eignungsbeurteilung durch die UAG Asphalt ist unmittelbar zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrages vorgesehen. Vorbehaltlich der Zustimmung zu dieser Fortschreibung ist eine Wiederezulassung dieser Bauweise ggf. bis Ende 2024 in Aussicht gestellt. Die in der Überarbeitung der Güterichtlinie enthaltenen, modifizierten Vorgaben, die insbesondere

- Konkretisierungen der Anforderungen an das Auflager (Bauweise B)
- Anpassungen zur Einbautechnologie der Asphaltabdichtung auf mineralischer Unterlage
- Modifizierungen im Rohraulager

- Konkretisierungen zur Reihenfolge der Bahnenfertigung vom Tiefpunkt zum Hochpunkt
- Anforderungen an die Prüfungen im Auflager (Anpassungen im QMP)

beinhalten, sind dabei zu berücksichtigen, um zukünftig Einschränkungen in der Bauweise Variante B ausschließen zu können.

2.7 Fortschreibung Eignungsbeurteilung von Tektoseal Clay NA 5000 LAGA+

Auf der Grundlage des Beschlusses der 41. Vollversammlung (VV) der Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ im Dezember 2024 wurde der Antrag auf Fortschreibung der „Eignungsbeurteilung von Tektoseal Clay NA 5000 LAGA+ durch den Hersteller durch die UAG GTD bearbeitet. Der Antragsteller hatte sich zunächst auf die Fortschreibung zur Änderung des Produktionsstandortes beschränkt, da weitere geplante Änderungen am Produkt selber aufwändige Prüfungen und Beurteilungen durch die dazu beauftragten externen Sachverständigen erfordern. Daher erfolgte für die alleinige Fortschreibung zur Produktionsstandortverlagerung ein Umlaufverfahren (Nr. 2025-01) in der Ad-hoc AG, das erfolgreich am 19.3.2025 abgeschlossen werden konnte.

Der Fortschreibung der „Eignungsbeurteilung von Tektoseal Clay NA 5000 LAGA+ zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 04.12.2018 - Fortschreibung vom 13.02.2025“ wurde im Anschluss im ATA-Umlaufverfahren 2025/01 mit Stand 21.04.2025 zugestimmt und der Veröffentlichung mit anschließendem Umlaufbeschluss Nr. 2025/06 der LAGA-Vollversammlung zugestimmt. Die Fortschreibung wurde am 07.05.2025 auf der Internetseite der LAGA veröffentlicht.

2.8 Erfahrungsaustausch zum BQS 9-1

Am 03.04.2025 fand auf Initiative des FGDA ein Erfahrungsaustausch zum BQS 9-1 unter Beteiligung der UAG QM, der fremdprüfenden Stellen (Verbände FGDA und AK GWS), der BAM sowie der Fachgutachter der DAkkS und der DAkkS statt. Auch hieraus ergibt sich nach Einschätzung der UAG QM und der Ad-hoc AG aktuell kein relevanter Fortschreibungsbedarf im BQS 9-1. Innerhalb des Erfahrungsaustausches wurden 2 Themen (Erstellung QMP und Ausgabestand der Bezugsdokumente in Akkreditierungsurkunde) identifiziert, die die UAG QM zur Prüfung/ zur Bearbeitung aufgreifen soll.

Es ist geplant die Ergebnisse aus dem Erfahrungsaustausch mit den Beteiligten weiter zu verfolgen. Im Rahmen des Erfahrungsaustausches wurde auch deutlich, wie essentiell maßgebliche Kompetenzstandards bei der Inspektion und auch den zugehörigen Untersuchungen für die hohen Anforderungen im Deponiebau sind.

2.9 Erfahrungsaustausch zum 10-1 „Deponiegas“

Für den seit 1.3.2022 geltenden BQS 10-1 „Deponiegas“ wurde bereits in 2025 und somit vor dem 1.3.2026 angekündigt, dass eine Evaluierung vor dem 1.3.2026 geprüft werden soll. Am 27.03.2025 fand somit hierzu im bewährten Format ein Erfahrungsaustausch unter Beteiligung der UAG Deponiegas, den externen Sachkundigen der UAG Deponiegas, Deponiebetreibern sowie dem Verband deutscher Deponiebetreiber (InWesD), der ZUG GmbH sowie Experten aus dem nationalen „Arbeitskreis Deponiegas Baden-Württemberg“ im DGAW statt. Im Ergebnis dieses Erfahrungsaustausches konnte kein relevanter Fortschreibungsbedarf des BQS 10-1 festgestellt werden. Der BQS 10-1 hat sich somit als geeignetes Regelwerk zum Stand der Technik bei der Fassung und Behandlung von Deponiegas gezeigt.

2.10 Sonstiges

Nachdem die Standards zur Qualitätsüberwachung (SQÜ) für GTD durch die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) als Anlage zur „Richtlinie für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle für Kunststoffkomponenten im Deponiebau“ [9] im Mai 2024 fortgeschrieben wurden, müssen diese Anforderungen an die Überschüttung verlegter GTD in den produktspezifischen Einbauanleitungen eingearbeitet werden, um in der Praxis möglichen Einbaufehlern vorzubeugen, die sich durch unterschiedliche Vorgaben ergeben könnten. Die Ad-hoc AG, explizit die UAG GTD wird diese Fortschreibungen in Abstimmung mit den Herstellern in 2025 weiterbearbeiten. Derzeit bestehen seitens der Ad-hoc AG Anforderungen an die Hersteller spezifische Untersuchungen vorzulegen, die geeignet sind, die hinreichende Überdeckungshöhe unter dem Einfluss von Quellhebung unter Auflast und Abdichtungswirkung zu verifizieren. Sobald diese Untersuchungen vorliegen, können die entsprechenden Vorgaben weitergehend validiert werden.

Im Rahmen der allgemeinen Überprüfungen der BQS im Hinblick auf Aktualität, insbesondere in diesbezüglichen Querverweisen auf die GDA-Empfehlungen findet ein regelmäßiger Austausch mit dem AK 6.1 der DGGT statt, um entsprechende Aktualisierungen fachlich aufeinander abzustimmen. In diesem Zusammenhang werden durch die in 2024 zahlreichen Überarbeitungen diverser GDA-Empfehlungen [8] weitere Fortschreibungen bei einigen BQS erfolgen, soweit sich diese aus den überarbeiteten Inhalten der zugehörigen GDA-Empfehlungen ergibt. Aktuell hat der AK 6.1 auch eine neue Empfehlung zur Eignungsprüfung von Deponieersatzbaustoffen erarbeitet, die im fachlichen Austausch mit der LAGA Ad-hoc AG vorabgestimmt wurde.

Damit zeigt sich analog von Neuerungen im Rahmen der Fortschreibung der DepV, dass die LAGA Ad-hoc AG in den anstehenden Jahren weiterhin vielseitige Aufgaben wahrzunehmen hat, wenn derzeit grundlegend keine neuen BQS absehbar sind.

Im Rahmen des laufenden ReFoPlan-Projektes "Stand der Technik der Abfallablagerung auf Deponien zur Vorbereitung der Arbeiten für ein BVT-Merkblatt Deponien" des Umweltbundes-amtes (UBA) wurde die LAGA Ad-hoc AG Deponietechnik in den zugehörigen Fachbeirat mit einbezogen. Die in der Ad-hoc AG bearbeiteten Konkretisierungen des Standes der Technik dienen somit auch als fachlicher Baustein in der Vorbereitung des anstehenden „Sevilla-Prozesses“, der zum Zeitpunkt dieses Beitrages bereits das Kick-Off Meeting in der 41. Kalenderwoche 2025 absolviert hat.

3. Veröffentlichung

Die BQS und die Eignungsbeurteilungen der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ veröffentlicht die LAGA auf ihrer Internetseite [3] und [4].

Damit Anwender leichter erkennen können, welche Änderungen in den BQS und Eignungsbeurteilungen vorgenommen wurden, werden Dokumente mit den Änderungsvermerken gegenüber der jeweils vorangegangenen Version auf der Internetseite der Niedersächsischen Gewerbeaufsichtsverwaltung unter (www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de, Pfad Umweltschutz → Kreislauf- und Abfallwirtschaft → Deponietechnik → LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ → Änderungen von BQS und Eignungsbeurteilungen) veröffentlicht. Hier findet sich auch eine Liste der Historie der BQS.

Unverändert gültige Eignungsbeurteilungen der vorangegangenen LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ sind ebenfalls auf der Internetseite der Niedersächsischen Gewerbeaufsichtsverwaltung [5] verfügbar.

4. Literatur

- [1] DEPONIEVERORDNUNG
Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I Nr. 22, S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. I Nr. 225), in Kraft getreten am 9. Juli 2024
- [2] LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNIK“
Geschäftsordnung (GO) zur Festlegung bundeseinheitlich zu gewährleistender Qualitätsstandards sowie Eignungsbeurteilung von Deponieabdichtungssystemen und -komponenten, Fortschreibung vom 18.06.2020; www.laga-online.de
- [3] LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNIK“
Diverse Bundeseinheitliche Qualitätsstandards; www.laga-online.de
- [4] LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNIK“
Diverse Eignungsbeurteilungen; www.laga-online.de
- [5] LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNISCHE VOLLZUGSFRAGEN“
Diverse Eignungsbeurteilungen; www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de
- [6] FABIAN, F.
„Aktuelle Themen aus der Arbeit der LAGA Ad-hoc-AG Deponietechnik“ in Burkhardt/Egloffstein „Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten - Planung und Bau neuer Deponien; Skript zum 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar 2024
- [7] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E.V. (DGGT) – FACHSEKTION 2 - AK 2.3 „ASPHALTBAUWEISEN IM WASSERBAU UND IN DER GEOTECHNIK“
„Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Asphalt, Essen, 2. überarbeitete Ausgabe 2024; <https://dggg.de>
- [8] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E.V. (DGGT) – FACHSEKTION 6 – AK 6.1 „GEOTECHNIK DER DEPONIEBAUWERKE“
„Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand Juni 2024; <https://dggg.de>
- [9] BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND –PRÜFUNG (BAM).
„Richtlinie für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle für Kunststoffkomponenten im Deponiebau“, 2025; <https://tes.bam.de/TES/Navigation/>
- [10] DR.-ING. BIRLE, E.
„Ergebnisse von durchgeführten Aufgrabungen in Oberflächenabdichtungen von Deponien in Bayern“ in Burkhardt/Egloffstein „Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten - Planung und Bau neuer Deponien; Skript 33. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar 2023

Aktuelle Themen aus dem Fachbeirat der BAM

Andreas Wöhlecke¹

Inhalt

1. Einleitung	26
2. Veränderungen in der BAM-Zulassungsstelle und im Fachbeirat gemäß Deponieverordnung	26
3. Veröffentlichung von Zulassungsdokumenten und Einführung des E-Siegels	27
4. Aufhebung der Sonderregelung für den Einbau von Geotextilien und Geogittern	28
5. Diskussion zur Einbauhilfe im Schutzschichtsystem aus Sandschicht und Trenngeotextil	28
6. Einführung einer einheitlichen europäischen Zugversuchsnorm für Kunststoffdichtungsbahnen	31
7. Fremdüberwachung der Produktion	32
8. Aktualisierung der Fremdprüferrichtlinie	32
9. Anforderungen an Edelstahlelektroden und Sensoren aus Edelstahl	34
10. Zur Spannungsrisssbeständigkeit von PE-HD-Kunststoffdichtungsbahnen (KDB)	34
11. Literaturverzeichnis	35

1. Einleitung

Die Anforderungen an Geokunststoffprodukte und deren Qualitätssicherung unterliegen einem stetigen Wandel, der sowohl durch technische Veränderungen als auch durch normative und organisatorische Entwicklungen geprägt ist. Insbesondere der Fachbeirat der BAM gemäß Deponieverordnung (DepV) spielt hier im Bereich der Deponietechnik eine wichtige Rolle. An dieser Stelle sollen aktuelle Themen aus dem Fachbeirat der BAM vorgestellt werden, die wesentliche Änderungen in der Zulassungs- und Anwendungspraxis betreffen.

Der Beitrag beleuchtet unter anderem Veränderungen innerhalb der BAM, die Modernisierung der Publikationsformate sowie die fachliche Weiterentwicklung der Zulassungsrichtlinien. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Diskussion um die Einbauhilfe im Schutzschichtsystem, der Einführung einer europäischen Zugversuchsnorm für Kunststoffdichtungsbahnen sowie der Fremdüberwachung der Produktion geosynthetischer Komponenten. Darüber hinaus werden neue Anforderungen an Edelstahlelektroden in Dichtungskontrollsystemen und die Spannungsrisssbeständigkeit von PE-HD-Dichtungsbahnen thematisiert.

2. Veränderungen in der BAM-Zulassungsstelle und im Fachbeirat gemäß Deponieverordnung (DepV)

Im Zuge organisatorischer Veränderungen innerhalb der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) wurde die Zulassungsstelle gemäß Deponieverordnung (DepV) neu zugeordnet. Nach dem Ausscheiden von Herrn Dr. Franz-Georg Simon, dem bisherigen Leiter des Fachbereichs 4.3 „Schadstofftransfer und Umwelttechnologien“, ging die Zuständigkeit auf den von Herrn Dr. Christian

¹ Andreas Wöhlecke, M.Eng. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Fachbereich 4.4: Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung, 12205 Berlin, Unter den Eichen 87, Tel. 030-8104-4332, andreas.woehlecke@bam.de

Adam geleiteten Fachbereich 4.4 „Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung“ über.

Von Beginn an war ein Fachbeirat maßgeblich an der Entwicklung der Zulassungskonzepte sowie der zugehörigen Richtlinien und Empfehlungen beteiligt. Der Fachbeirat in seiner heutigen Form wurde im Jahr 2009 nach Inkrafttreten der novellierten Deponieverordnung konstituiert. Er begleitet die Erstellung von Zulassungsrichtlinien, die die Anforderungen und Voraussetzungen für eine Zulassung definieren, und wirkt beratend bei weiteren Dokumenten mit. Die Mitglieder des Fachbeirats haben wesentlich zur fachlichen Qualität, Umsetzung und Akzeptanz der BAM-Zulassung beigetragen. Sie sind in den auf der BAM-Website veröffentlichten Richtlinien namentlich aufgeführt.

Leider ist es unvermeidlich, dass mit der Zeit einzelne Experten aus dem Fachbeirat ausscheiden. So hat Herr Dr. Michael Tiedt nach mehrjähriger und engagierter Leitung sein Amt als Vorsitzender des Fachbeirats niedergelegt. Die Zulassungsstelle dankt ihm ausdrücklich für seinen Einsatz. Mit seiner ruhigen und klugen Art hat er Diskussionen stets zielführend moderiert und zu konsensualen Ergebnissen beigetragen. Glücklicherweise bleibt Herr Dr. Tiedt dem Fachbeirat weiterhin als Experte erhalten.

Die Nachfolge im Vorsitz übernimmt Frau Anne Bachmann (UBA), die einstimmig vom Fachbeirat gewählt wurde. Ihre Wahl markiert einen Generationswechsel in der Leitung, und wir freuen uns auf die zukünftige Zusammenarbeit.

Mit dem Ausscheiden langjähriger Mitglieder wie Herrn Albers, Herrn Dr. Heyer, Herrn Prof. Saathoff und Herrn Zanzinger verliert der Fachbeirat wertvolle Expertise. Umso erfreulicher ist es, dass neue Fachleute ihre Mitarbeit zugesagt haben: Frau Dr. Carbone (Freudenberg Performance Materials GBD B&C), Herr Gugl (TGM, Wien), Herr Dr. Retzlaff (GEOscope GmbH) und Herr Dr. Schröder (G quadrat GmbH) wurden als neue Mitglieder aufgenommen. Damit konnte die fachliche Basis des Beirats wieder deutlich gestärkt werden.

3. Veröffentlichung von Zulassungsdokumenten und Einführung des E-Siegels

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) hat ihre Publikationsstrategie modernisiert und an die Anforderungen des digitalen Zeitalters angepasst. Bislang wurden Zulassungsdokumente sowie vom Fachbeirat verabschiedete Richtlinien über zwei Kanäle veröffentlicht: die Internetseite der BAM und das quartalsweise erscheinende Amts- und Mitteilungsblatt der BAM, das zentrale Veröffentlichungen bündelte.

Im Rahmen der Neuausrichtung wurde das Amts- und Mitteilungsblatt eingestellt. Die bisherigen Ausgaben bleiben weiterhin öffentlich zugänglich. Als Ersatz wurden die sogenannten Amtlichen Bekanntmachungen eingeführt. Diese ermöglichen eine zeitnahe, dokumentenbezogene Veröffentlichung, wodurch einzelne Dokumente unabhängig vom Erscheinungsrhythmus eines Sammelblatts publiziert werden können.

Ein weiterer wesentlicher Schritt in Richtung Digitalisierung ist die Einführung der elektronischen Signatur, des sogenannten E-Siegels. Dieses gewährleistet: Authentizität: Die Herkunft der Datei von der BAM ist eindeutig nachvollziehbar. Integrität: Die Unversehrtheit des Dokuments wird sichergestellt – nachträgliche Änderungen sind erkennbar.

Zwar können die Dokumente weiterhin kopiert und weitergereicht werden, jedoch erhöht das E-Siegel die Fälschungssicherheit erheblich. Gleichzeitig wird der Verwaltungsaufwand reduziert, da

Zulassungsdokumente nicht mehr mehrfach ausgestellt werden müssen. Die technischen Arbeiten zur Einführung des E-Siegels sind weit fortgeschritten; in den kommenden Monaten sollen die Zulassungsdokumente sukzessive damit ausgestattet werden.

Zusätzlich wurde die Übersicht, der durch die BAM zugelassenen Produkte auf der Internetseite überarbeitet. In der letzten Spalte der Produktliste sind nun direkte Links zu den jeweiligen Zulassungsscheinen integriert. Zuvor enthielt diese Spalte lediglich Verweise auf Heftnummer und Seitenangabe im Amts- und Mitteilungsblatt. Die neue Struktur erleichtert den Zugang zu den Dokumenten und verbessert die Transparenz sowie die Nachvollziehbarkeit der Zulassungsverfahren erheblich.

4. Aufhebung der Sonderregelung für den Einbau von Geotextilien und Geogittern

Bislang galt eine Sonderregelung für den Einbau von Geotextilien zum Filtern und Trennen sowie für Geogitter: Unter bestimmten Voraussetzungen durften diese Produkte auch von durch den Hersteller ausgewiesenen Baufirmen eingebaut werden, ohne dass ein speziell qualifizierter Verlegefachbetrieb beauftragt werden musste. Dies war möglich, sofern keine weiteren Geokunststoffprodukte in das Abdichtungssystem eingebaut wurden.

Aus dem Kreis der im Arbeitskreis GWS organisierten Fremdprüfer wurde die Empfehlung eingebracht, diese Sonderregelung aufzuheben. Mehrere Fremdprüfer berichteten von negativen Erfahrungen, da die betreffenden Produkte in verschiedenen Bauvorhaben nicht sachgerecht durch die Baufirmen behandelt worden seien. Dies führte schließlich dazu, dass der Fachbeirat beschloss, die Sonderregelung zu streichen. Damit wird der Einbau dieser Produkte künftig den gleichen Anforderungen unterstellt wie bei anderen.

Im Zuge dieser Entscheidung sah sich die Zulassungsstelle mit verschiedenen Folgefragen konfrontiert: Wie soll die neue Vorgabe konkret umgesetzt werden? Und welches Dokument ist dabei maßgeblich – die Zulassungsrichtlinie oder der Zulassungsschein?

Zur Klärung wurde das Justitiariat der BAM konsultiert. Dabei kristallisierten sich zwei zentrale Punkte heraus:

- 1) Maßgeblich ist der Zulassungsschein, da auf dessen Grundlage die Zulassung erteilt und die Rahmenbedingungen gemäß DepV definiert werden.
- 2) Geänderte Zulassungsscheine sind verbindlich, sofern sie aktualisiert wurden. Die Entscheidung über die Anwendung liegt jedoch bei den Genehmigungsbehörden der Länder, insbesondere bei fortgeschrittenen Genehmigungsverfahren. Die BAM prüft lediglich die Eignung der Produkte.

In diesem Zusammenhang wurde festgelegt, dass die Zulassungsstelle künftig bei jeder Änderung von Zulassungsscheinen vorab das Justitiariat der BAM konsultiert. Die entsprechenden Zulassungsrichtlinien sowie die betroffenen Zulassungsscheine wurden bereits angepasst.

5. Diskussion zur Einbauhilfe im Schutzschichtsystem aus Sandschicht und Trenngeotextil

Im Fachbeirat wurde die Diskussion um die Einbauhilfe mit einer Masse pro Flächeneinheit von mindestens 400 g/m², die direkt auf der Kunststoffdichtungsbahn unterhalb einer mindestens 10 cm dicken Sandschicht als Schutzschicht und einem von der BAM zugelassenen Trenngeotextil eingebaut wird, erneut

aufgegriffen. Aus gegebenem Anlass entstand die Diskussion darüber, warum als Einbauhilfe ein zugelassenes Trenngeotextil verwendet werden müsse. Das Schutzschichtsystem selbst benötigt keine Zulassung. Allerdings kommen hierbei Geotextilien zum Einsatz. Handelt es sich um eine reine Einbauhilfe, müssten die strengen Anforderungen an Dauerhaftigkeit und Einbau im Grunde nicht angewendet werden. Zunächst stellte sich die Frage, woher diese Anforderung ursprünglich stammt.

Beim Erarbeiten der Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten wurde diese Schicht ursprünglich nicht berücksichtigt. Im Protokoll der 5. Sitzung der AG Geotextilien und Kunststoff-Dränelemente des Fachbeirats vom 08.09.2010 heißt es unter Tagesordnungspunkt 3: *„Der Schutzschichtaufbau aus einem 400 g/m² Vliesstoff als Unterlage, einer mindestens 10 cm dicken Sandschicht (Körnung 0/2) als eigentlicher Schutzschicht und einem BAM-zugelassenen Trennvlies als Erosionsschutz wird aus der Definition von ‚Schutzschichtsystemen aus verpacktem Sand‘ herausgenommen, da er so nicht mehr gebaut wird. Auf den 400 g/m² Vliesstoff als Einbauhilfe wird in der Regel verzichtet und die Sandschicht wird in der Regel wesentlich dicker eingebaut. Es handelt sich dann um eine mineralische Schutzschicht mit Trenngeotextil, die nicht Gegenstand der Schutzschichtzulassung ist. Der Hinweis, dass mit diesem System in der Regel kein Schutzwirksamkeitsnachweis erforderlich ist, soll jedoch bestehen bleiben.“*

Erst bei der Überarbeitung der Richtlinie „Schutzschichten“ im Jahr 2022, basierend auf detaillierten Eingaben der im AK GWS organisierten Fremdprüfer, wurde diese Anforderung wieder aufgenommen. Dabei wurden allerdings lediglich die Vorgaben der DIN 19667 [1] übernommen. Dies könnte auf einem Missverständnis beruhen. Ein Hinweis darauf findet sich in Fußnote 2 auf Seite 8 der Richtlinie für Schutzschichten, die sich auf den Verzicht des Schutzwirksamkeitsnachweises bei derartigen Systemen bezieht. Diese bezieht sich explizit auf andere zu verwendende Baustoffe: *„Dies gilt nicht, wenn statt Sand andere feinkörnige und scharfkantige Materialien (z. B. Schlacken, Aschen, Glasbruch) eingesetzt werden. Es ist dann ein Schutzwirksamkeitsnachweis insbesondere im Hinblick auf eine Beeinträchtigung der Oberflächenbeschaffenheit der Dichtungsbahn erforderlich. Gegebenenfalls muss ein Schutzvliesstoff eingebaut werden. [...]“* [2]. Hier wurde also bereits berücksichtigt, dass Materialien, die dem Schutz der Kunststoffdichtungsbahn dienen sollen, gegebenenfalls Oberflächendefekte hervorrufen könnten. Sand soll hier aber ausgenommen sein.

Sehrbröck hatte bereits 1993 festgehalten: *„Eine Schutzschicht aus Sand, welche bei einer entsprechenden Dicke (ab ca. $d = 10$ cm) die zurzeit denkbar beste Schutzlage darstellt, ist nur mit sehr großen Schwierigkeiten einzubauen. [...] die Gefahr einer Beschädigung der Dichtungsbahn während des Einbaus der dünnen Schicht [ist] relativ groß [...]. In Böschungsbereichen ist ein Einbau einer Sandschicht ab einer gewissen Böschungsneigung überhaupt nicht mehr möglich.“* [3]

Zum einen wurde offenbar zwischenzeitlich auf diese Problematik mit größeren Einbaudicken reagiert, zum anderen können Einbauhilfen an bestimmten Stellen nützlich sein.

5.1 Ist der Einsatz einer Einbauhilfe erforderlich?

Im Zentrum der Diskussion stand die Frage, ob das Geotextil mit 400 g/m² eine dauerhafte Funktion erfüllt oder lediglich als temporäre Einbauhilfe dient. Aufgrund unterschiedlicher Einschätzungen wurde eine Arbeitsgruppe gebildet, um das Thema weiter zu diskutieren.

Es wurde darauf hingewiesen, dass Sand der Körnung 0/2 mm Überkorn enthalten kann, das zu Oberflächenschäden führen könnte. Die Qualität des Sandes kann zwischen den Lieferungen stark variieren, da es sich um ein Naturprodukt handelt. Recycling- und Abbruchmaterialien können

problematisch sein, insbesondere wenn sie scharfkantige Bestandteile enthalten. Einige Fachleute bezweifeln, dass Schutzwirksamkeitsnachweise oder Probefelder die tatsächlichen Auswirkungen während der Bauphase ausreichend abbilden. Es wurde angemerkt, dass Einbauhilfen temperaturbedingte Wellen der Dichtungsbahn reduzieren, da sie die Sonneneinstrahlung zurückhalten könnten. Darüber hinaus müsste ein Prüfverfahren zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit der Kunststoffdichtungsbahn zunächst definiert werden, wurde angemerkt.

Demgegenüber steht die langjährige Praxis, Schutzschichten ohne Einbauhilfe erfolgreich zu realisieren. Bei Verwendung von Sand entsprechender Qualität sei eine Einbauhilfe daher nicht erforderlich, wie zahlreiche Probefelder gezeigt hätten, wurde entgegnet.

5.2 Zulassungspflicht und Einbau der Einbauhilfe

Es stellt sich die Frage, ob die Einbauhilfe dauerhaft beständig sein muss und wer sie verlegen darf, insbesondere wenn sie nicht zugelassen ist. Für nicht zugelassene Produkte wäre kein Verlegefachbetrieb erforderlich. In anderen Bereichen des Deponiebaus gelten jedoch strikte Einbauregeln für Geotextilien (vgl. Kapitel 4). Einige Stimmen im Fachbeirat sehen die Möglichkeit, Geotextilien als Einbauhilfe durch Baufirmen verlegen zu lassen, kritisch. Die Qualität der Arbeiten könnte darunter leiden. Andererseits erfüllt eine Einbauhilfe keine dauerhafte Funktion, was eine differenzierte Betrachtung erforderlich macht.

5.3 Mindestanforderungen an die Einbauhilfe

In den Zulassungsrichtlinien wird die Grammatur der Einbauhilfe mit „ $400 \text{ g/m}^2 \geq \text{Mittelwert} - \text{Standardabweichung}$ “ angegeben. Würden auch nicht zugelassene Produkte verwendet, könnte die tatsächliche Grammatur bei marktüblichen Produkten absinken. Besonders problematisch sind kalandrierte Produkte, die sehr dünn sind und keinen ausreichenden Schutz bieten. Es wurde daher vorgeschlagen, die Grammatur von 400 g/m^2 mit einer Mindestdicke von 3 mm zu kombinieren. So könnten Produkte eingesetzt werden, die sowohl während der Einbauphase als auch darüber hinaus einen wirksamen Schutz bieten.

5.4 Fazit und Ausblick

Abschließend stellt sich die zentrale Frage, ob eine Einbauhilfe unterhalb der Sandschicht überhaupt gefordert werden sollte. Alternativ könnte eine Öffnungsklausel eingeführt werden, die es erlaubt, auf die Einbauhilfe zu verzichten – sofern durch Schutzwirksamkeitsversuche und Probefelder nachgewiesen wird, dass ein Vliesstoff nicht erforderlich ist. Dies würde eine Umkehr des bisherigen Systems bedeuten: Die Einbauhilfe wäre jetzt grundsätzlich vorgeschrieben und könnte bei entsprechenden Nachweisen weggelassen werden.

Während Befürworter die Einbauhilfe als notwendig ansehen, um Schäden durch Sandkörner oder Setzungen zu vermeiden, verweisen Kritiker auf langjährige positive Erfahrungen ohne Einbauhilfe. Die Argumente betreffen insbesondere:

- Unterschiede in der Sandqualität,
- Gefahr von Oberflächenschäden,

Teile der Diskussion deuten darauf hin, dass ein Geotextil nicht lediglich als Einbauhilfe, sondern vielmehr als Schutzschicht für die Schutzschicht verwendet werden soll. Ähnlich wird dies in der bereits genannten Fußnote 2 formuliert, in der der Begriff „Schutzvliesstoff“ verwendet wird. Man könnte das diskutierte

System mit dem Schutzschichtsystem Nr. 1 der Richtlinie „Schutzschichten“ vergleichen. Dieses besteht aus einer geotextilen Schutzlage aus einem Vliesstoff mit einer Masse pro Flächeneinheit von mindestens 1200 g/m² sowie einer mineralischen Schutzlage aus in der Regel kalkarmem Brechkorn der Korngruppe 0/8 mm mit einer Schichtdicke von 0,15 m. Wir hätten hier nur entsprechend geringere Geometrien bzw. Flächengewichte. Der Fachbeirat wird hier auf der kommenden Sitzung eine Lösung finden müssen.

6. Einführung einer einheitlichen europäischen Zugversuchsnorm für Kunststoffdichtungsbahnen

Im Rahmen der europäischen Normungsarbeit im CEN/TC 189 (Geokunststoffe) wurde eine einheitliche Zugversuchsnorm für Kunststoffdichtungsbahnen entwickelt. Die neue Norm DIN EN 17323 [4] wurde in die Zulassungsrichtlinie für Kunststoffdichtungsbahnen der BAM aufgenommen. Die Einführung dieser Norm stellt einen bedeutenden Schritt dar, da sich die europäische Normung lange schwergetan hat, eine einheitliche Regelung für den Zugversuch bei den vielfältigen Kunststoffdichtungsbahnen zu etablieren (vgl. dazu auch [5]). Die Herausforderung lag insbesondere in der Vielzahl unterschiedlicher Materialien, Rohstoffe und Produktaufbauten sowie in den unterschiedlichen Sichtweisen der beteiligten Akteure hinsichtlich der Bedeutung und Aussagekraft des Zugversuchs.

Eine wesentliche Neuerung betrifft die Bestimmung der Streckgrenze bei Kunststoffdichtungsbahnen aus PE-HD (Polyethylen hoher Dichte): Hier darf künftig kein Extensometer mehr verwendet werden. Die Streckgrenze – auch als Festigkeit bezeichnet – entspricht dem ersten Maximum im Spannungs-Dehnungs-Diagramm, das im Zugversuch ermittelt wird. Sie markiert den Punkt, an dem die Dehnung erstmals bei gleichbleibender Spannung zunimmt. Neben dem Bruchpunkt ist dies der zweite charakteristische Kennwert im Spannungs-Dehnungs-Diagramm von PE-HD-Dichtungsbahnen.

Die Dehnung wird nun nominell, also über den Klemmenabstand, bestimmt. Warum diese Vorgehensweise sinnvoll ist, wird in [5] diskutiert. Durch die Umstellung kann sich die gemessene Dehnung an der Streckgrenze geringfügig verringern – dies ist jedoch ausschließlich auf die Geometrie des Prüfkörpers zurückzuführen, nicht auf die Eigenschaften des Produkts. Der Prüfkörper ist typischerweise „knochenförmig“ gestaltet: In der Mitte befindet sich ein schmaler, gerader Bereich, während die Enden – die Einspannbereiche – breiter sind. Extensometer erfassen die Dehnung ausschließlich im schmalen Mittelbereich, in dem möglichst homogene Spannungsverhältnisse herrschen. Im breiteren Schulterbereich sinkt die Spannung aufgrund der geometrischen Verbreiterung ab.

Der Einsatz von Extensometern ist vor allem bei der Prüfung von Werkstoffen erforderlich, die in der Konstruktion verwendet werden. Dort müssen exakte Spannungs-Dehnungs-Kennwerte wie der E-Modul bekannt sein, um Bauteile berechnen und auslegen zu können. Bei Kunststoffdichtungsbahnen aus PE-HD im Bereich der Geotechnik steht jedoch die Qualitätssicherung im Vordergrund. Konstruktionskennwerte wie der E-Modul werden nicht ermittelt. Entscheidend ist ein klar definiertes Prüfverfahren, das reproduzierbare und vergleichbare Kennwerte liefert – und genau dieses liegt nun mit der neuen Norm vor.

Für die anderen drei Kennwerte im Zugversuch ergeben sich durch die neue Norm keine Änderungen. Im Zuge der Einführung hatte die Zulassungsstelle die Hersteller um Datenmaterial zu möglichen Auswirkungen gebeten. Auf Grundlage der eingereichten Daten wurde im Fachbeirat beschlossen, die Streckgrenze um 1,5 % auf nun 8,5 % abzusenken. Um praktische Erfahrungen mit dem neuen Verfahren zu sammeln, wurde es mit einer Übergangsfrist von zwei Jahren in die Zulassungsrichtlinie für Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) aufgenommen. Seit Januar 2025 darf ausschließlich das neue Verfahren

angewendet werden. Von Problemen in diesem Zusammenhang wurde der Zulassungsstelle zumindest nicht berichtet.

7. Fremdüberwachung der Produktion

Zur Sicherstellung der Produktqualität bei Herstellung und Einbau geosynthetischer Abdichtungskomponenten wurden verschiedene qualitätssichernde Maßnahmen etabliert. Neben der Eigenüberwachung der Hersteller und der Qualifikation der Verlegefachbetriebe spielt die Fremdüberwachung der Produktion eine zentrale Rolle. Sie ergänzt die Kontrolle von Produkten und Rohstoffen und trägt wesentlich zur hohen Qualität von Abdichtungen auf deutschen Deponien bei.

Die Fremdüberwachung erfolgt durch unabhängige, akkreditierte Prüflabore, die die Produktion in regelmäßigen Abständen kontrollieren und eigene Prüfungen durchführen. Gemäß Zulassungsrichtlinien müssen diese Einrichtungen nach DIN EN ISO/IEC 17025 sowie DIN EN ISO/IEC 17020 akkreditiert sein und über qualifiziertes Personal sowie geeignete Prüftechnik verfügen. Diese Anforderungen wurden durch den Fachbeirat eingeführt, sind jedoch bislang nicht Bestandteil der Deponieverordnung (DepV) für die Produktionsüberwachung. Für die Fremdprüfung auf Baustellen hingegen ist die Akkreditierung gemäß DepV verpflichtend, was zu intensiven Diskussionen geführt hat.

Aktuell erfüllen elf Fremdprüfer für Kunststoffkomponenten die Anforderungen der Richtlinie und verfügen über die entsprechenden Akkreditierungen. Im Bereich der Produktionsüberwachung gab es lange nur zwei zugelassene Fremdüberwacher. Nach dem Rückzug eines Unternehmens hat ein neues Labor diese Rolle übernommen. Das TGM Wien hat inzwischen die erforderlichen Akkreditierungen erhalten und ist nun als Fremdüberwacher für Kunststoffdichtungsbahnen tätig. Es wurde entsprechend in die Liste der zugelassenen Stellen aufgenommen.

8. Aktualisierung der Fremdprüferrichtlinie

Die Richtlinie für Fremdprüfer wird regelmäßig fortgeschrieben, um sie an aktuelle fachliche und normative Entwicklungen anzupassen. Die jüngste Überarbeitung brachte sowohl Herausforderungen als auch Verbesserungsmöglichkeiten mit sich.

8.1 Überarbeitung der Richtlinie Fremdprüfer

Im Rahmen der Aktualisierung mussten die Mitglieder des Fachbeirats auf den aktuellen Stand gebracht, der Normungsstand überprüft und die verwendeten Links angepasst werden. Zudem wurden zwei neue Standards zur Qualitätsüberwachung (SQÜ) – für Bewehrungsgitter (BGK) und Dichtungskontrollsysteme (DKS) – in die Richtlinie aufgenommen. Diese SQÜ werden im Kreis der im AK GWS organisierten Fremdprüfer erarbeitet, mit dem Fachbeirat der BAM abgestimmt und von diesem verabschiedet. Zusätzlich wurde die neue Arbeitsanweisung AA017 für die Inspektion von Dichtungskontrollsystemen erstellt und ebenfalls verabschiedet. Alle genannten Dokumente sind nun auf der Internetseite der BAM verfügbar.

Die Richtlinie Fremdprüfer enthielt bisher zwei Anlagen:

Anlage 1 definierte den Mindestumfang der akkreditierten Inspektionstätigkeiten.

Anlage 2 legte den Mindestumfang der akkreditierten Prüfungen fest.

Im Laufe der Zeit wurde zusätzlich eine Tabelle 1 eingeführt, die alle relevanten Prüfverfahren für Geokunststoffprodukte sowie Rohre, Schächte und Bauteile auflistet. Diese Tabelle enthält sowohl die Prüfungen, für die eine Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 erforderlich ist, als auch solche mit geringer Prüfhäufigkeit, für die keine Akkreditierungspflicht besteht. Letztere müssen jedoch an ein entsprechend akkreditiertes, unabhängiges Prüflabor in Unterauftrag vergeben werden.

Durch die parallele Existenz von Anlage 2 und Tabelle 1 kam es zu inhaltlichen Dopplungen und Unstimmigkeiten. Der DAkkS fielen Prüfverfahren auf, die in einer Anlage gestrichen, in der anderen jedoch noch enthalten waren. Die Fremdprüfer überarbeiteten daraufhin Tabelle 1 gründlich und integrierten die Inhalte der Anlage 2 vollständig. Dadurch konnte Anlage 2 gestrichen werden, was die Richtlinie deutlich übersichtlicher macht.

8.2 Übergangsfrist für die Akkreditierung

Die Akkreditierung der Fremdprüfer als Inspektionsstelle nach DIN EN ISO/IEC 17020 war bislang an einen bestimmten Ausgabestand der Richtlinie gebunden. Eine Flexibilisierung der Akkreditierung ist in diesem Bereich nicht möglich. Änderungen der Richtlinie erfordern daher eine zusätzliche Begutachtung durch die Akkreditierungsgesellschaft, bevor die neue Fassung in die Akkreditierungsurkunde aufgenommen werden kann. Da solche Begutachtungen in mehrjährigen Abständen stattfinden, müsste eine ungeplante Zusatzbegutachtung beantragt werden – ein Verfahren, das mit erheblichem Aufwand und zusätzlichen Kosten für die fremdprüfenden Stellen verbunden ist. Dies erscheint insbesondere bei rein redaktionellen Änderungen nicht immer gerechtfertigt.

Diese Problematik führt regelmäßig zu Schwierigkeiten bei Ausschreibungen, wenn Genehmigungsbehörden die aktuelle Ausgabe der Richtlinie Fremdprüfer als Maßstab nehmen und eine entsprechende Akkreditierung verlangen.

Im Rahmen des von Herrn Fabian geleiteten „Erfahrungsaustauschs BQS 9-1 der LAGA Ad-hoc AG Deponietechnik“ am 03.04.2025 in Kassel wurde dieses Thema intensiv diskutiert. Zwei Lösungsansätze wurden erörtert: Die Streichung des Ausgabestands der Richtlinie aus der Akkreditierungsurkunde. Die Einführung einer Übergangsfrist in der Richtlinie selbst.

Die LAGA Ad-hoc AG „Deponietechnik“ vertrete die Auffassung, dass eine gültige Akkreditierung grundsätzlich ausreichend sei und mit den Anforderungen der Deponieverordnung (DepV) übereinstimme. Es werde daher versucht, auf verschiedenen Ebenen eine Einigung mit der DAkkS zu erzielen – bislang jedoch offenbar mit begrenztem Erfolg.

Parallel dazu wurde vorgeschlagen, eine Übergangsfrist direkt in die Richtlinie Fremdprüfer aufzunehmen. Die UAG Qualitätsmanagement der LAGA Ad-hoc AG „Deponietechnik“ wurde beauftragt, einen entsprechenden Formulierungsvorschlag zu erarbeiten. Da der Austausch mit der DAkkS erfahrungsgemäß langwierig ist, wurde im Fachbeirat beschlossen, zunächst eine eigene Übergangsregelung in die Richtlinie aufzunehmen. Derzeit lautet diese wie folgt: „Im Zuge der Überarbeitung der Richtlinie Fremdprüfer der BAM wurde eine angepasste Fassung verabschiedet. Zur Umsetzung dieser Änderung im Rahmen der Akkreditierungen wird eine Übergangsfrist von zwei Jahren eingeräumt.“

Sobald ein Vorschlag der UAG Qualitätsmanagement vorliegt, soll dieser aber in die Richtlinie übernommen werden, damit die Vorgaben an dieser Stelle vereinheitlicht werden.

9. Anforderungen an Edelstahlelektroden und Sensoren aus Edelstahl

Für elektroresistive Dichtungskontrollsysteme (DKS) ist ein direkter elektrischer Kontakt der Sensoren mit dem umgebenden Medium erforderlich, um die Systemfunktion zu gewährleisten. Die BAM-Zulassungsrichtlinie definiert in Tabelle 3 Anforderungen an Edelstahlelektroden, Sensoren und Sonderanfertigungen für Komponenten der Kategorie a), also dauerhaft oder schwer zugängliche Bauteile – etwa solche unterhalb der Kunststoffdichtungsbahn oder in invers eingebauten Systemen. Ein Ausfall dieser Komponenten würde den Austausch des gesamten DKS erfordern.

Bereits der frühere Arbeitskreis DKS hatte grundlegende Anforderungen formuliert, die in die aktuelle Richtlinie übernommen wurden. Diese gewinnen nun an praktischer Relevanz und müssen teils überarbeitet werden. Erste Anpassungen betreffen die Materialanforderungen an die Werkstoffe 1.4401 und 1.4571 gemäß DIN EN 10088-1 [6]. Zudem wird der Einsatz weiterer nichtrostender Stähle geprüft.

Im Fokus stehen zwei zentrale Fragen: Wie korrosionsbeständig sind die eingesetzten Materialien, und welche Grenzwerte muss das umgebende Milieu einhalten? Wie verhalten sich Isolierschläuche, die den Übergang zwischen Metallkomponenten und Kabeln schützen?

Der Fachbereich 7.6 (Korrosion und Korrosionsschutz) der BAM unterstützt hier mit Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit in Abhängigkeit von Chloridkonzentration und pH-Wert. Bestehende Prüfungen sollen die Eignung der Materialien im definierten Milieubereich nachweisen. Die entsprechenden Grenzwerte wären in die Zulassung aufzunehmen und müssten durch den Antragsteller sinnvoll gewählt und geprüft werden.

Besondere Aufmerksamkeit gilt dem Übergangsbereich zwischen metallischen Komponenten und Leitungen, der vor Feuchtigkeit geschützt werden muss, um Kontaktkorrosion zu vermeiden. Hier sind Isolierschläuche mit Klebeschicht gemäß DIN EN 60684 [7] einzusetzen. Die Auswahl geeigneter Produkte und Prüfanforderungen sowie ein Qualitätssicherungskonzept zur Gewährleistung der Dichtheit unter Baustellenbedingungen sind im Fachbeirat weiter zu beraten.

10. Zur Spannungsrißbeständigkeit von PE-HD-Kunststoffdichtungsbahnen (KDB)

Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) für Deponien bestehen aus Polyethylen (PE) mit Additiven wie Ruß oder Stabilisatoren. PE ist ein teilkristalliner Thermoplast, der unter langfristiger Belastung unterhalb der Festigkeitsgrenze durch Spannungsrißbildung versagen kann. Diese äußert sich in einer glatten Bruchfläche, die sich langsam durch das Material ausbreitet.

Die Spannungsrißbeständigkeit hängt stark von der Molekülstruktur des PE ab – insbesondere von Molekülmasse, Verzweigungsgrad und Co-Monomer-Gehalt. Da Produktionsbedingungen das Materialverhalten beeinflussen, sollte die Prüfung direkt an der KDB erfolgen. Der NCTL-Test (Notched Constant Tensile Load) ist hierfür ein bewährtes Verfahren: Gekerbte Proben werden unter Spannung in Tensidlösung bei erhöhter Temperatur gelagert. Die Standzeit bis zum Übergang von duktil zu sprödem Versagen ist entscheidend. Der Test ist schnell, praxisnah und sehr empfindlich gegenüber spannungsrißanfälligen Materialien.

Ein Problem stellt der Wegfall der bisher verwendeten Nonylphenol-Tenside dar, die aufgrund ihrer Einstufung als besonders besorgniserregend (REACH-Verordnung) seit 2021 nicht mehr zugelassen sind, was vor allem Neuzulassungen von KDB betrifft. Bestehende Vorräte dürfen aber noch verwendet werden.

Auch andere Prüfverfahren sind betroffen, etwa zur Schweißseignung (nach Hinweis B11 [8]) oder zur Spannungsrissbeständigkeit strukturierter KDB (nach Hinweis B8 [9]). In beiden Fällen müssen alternative Prüfmedien eingesetzt und neue Anforderungen an die Standzeiten definiert werden.

Herr Dr. Retzlaff berichtete im Fachbeirat von einem erfolgreichen Ringversuch im Bereich der Normungsarbeit mit einem neuen Tensid, das vergleichbare Ergebnisse liefert. Dieses solle nun in die Normung aufgenommen werden und stünde damit künftig auch für Zulassungen zur Verfügung.

11.Literaturverzeichnis

- [1] DIN 19667: 2015-08, Dränung von Deponien – Planung, Bauausführung und Betrieb. Berlin: Beuth Verlag.
- [2] Richtlinie für die Zulassung von Schutzschichten für Kunststoffdichtungsbahnen in Deponieabdichtungen: 2024-05. 12. Auflage. Berlin: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung.
- [3] Sehrbrock U (1993) Prüfung von Schutzlagen für Deponieabdichtungen aus Kunststoff. Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig
- [4] DIN EN 17323: 2020-08, Geokunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften von geosynthetischen Kunststoffdichtungsbahnen. Berlin: Beuth Verlag.
- [5] Wöhlecke, A. & Müller, W. W. (2017). Der Zugversuch an Dichtungsbahnen: Kennwerte, Einwirkungen, prüftechnische Durchführung. geotechnik, 40(3), 186-192.
- [6] DIN EN 10088-1:2014-12, Nichtrostende Stähle - Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle. Berlin: Beuth Verlag.
- [7] DIN EN 60684-1: 2004-03 Isolierschläuche - Teil 1: Begriffe und allgemeine Anforderungen.
- [8] Hinweis zu den Prüfungen: B11: 2020-04, Charakterisierung der Schweißseigenschaften einer Polyethylen-Formmasse. Berlin: BAM; unter: <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.
- [9] Hinweis zu den Prüfungen: B8: 2012-05, Zeitstand-Zugversuch an geosynthetischen Dichtungsbahnen aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) mit strukturierter Oberfläche. Berlin: BAM; unter: <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.

Vorstellung der neuen Güterichtlinie „Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“

Manuel Winkler¹

Inhalt

1. Einleitung	36
2. Überarbeitungen	37
3. Status Quo	48
4. Literatur	49

1. Einleitung

Nach Anhang 1 Nr. 2.1 der Deponieverordnung (DepV) [1] dürfen für das Abdichtungssystem Materialien, Komponenten oder Systeme nur eingesetzt werden, wenn sie dem Stand der Technik entsprechen und wenn dies der zuständigen Behörde nachgewiesen worden ist. Gemäß den Anforderungen zum Stand der Technik nach Anhang 1 Nr. 2.1.1 DepV müssen das Abdichtungssystem, die Materialien und die Herstellung der Systemkomponenten und deren Einbau sowie die Eigenschaften dieser Komponenten im Einbauzustand 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 gewährleistet ist. Für alle Materialien, Komponenten oder Systeme, die auf Grundlage der DepV nicht von der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) zugelassen werden, erfolgt die Eignungsbeurteilung anhand bundeseinheitlicher Qualitätsstandards (BQS), in denen die Länder Prüfkriterien, Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie an das Qualitätsmanagement festlegen und den Stand der Technik nach Anhang 1 Nr. 2.1.1 DepV konkretisieren. Gemäß BQS 8-1 „Rohre, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien“ [2] stellt die SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien Stand Juni 2017 [3] bis dato den bundeseinheitlichen Qualitätsstandard für Rohre, Schächte und Bauteile in Deponien dar. Sämtliche Rohre, Schächte und Bauteile, deren Eignungen anhand dieser Güterichtlinie nachgewiesen worden sind, erfüllen somit die Anforderungen an den Stand der Technik im Sinne der DepV.

Nach nunmehr sieben Jahren seit Veröffentlichung der SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie (Juni 2017) wurde diese Güterichtlinie fortgeschrieben und an den Stand der Technik angepasst (4. Auflage, Oktober 2024).

Die Überarbeitung der Güterichtlinie erfolgte durch den Arbeitskreis „Deponierohre und –schächte“ (im Folgenden als „AK RSB“ bezeichnet), welcher ursprünglich unter Federführung des Süddeutschen Kunststoffzentrums (SKZ) und des TÜV Rheinland - Landesgewerbeanstalt Nürnberg (TÜV-LGA) gegründet wurde. Seit 2017 fanden diverse Arbeitskreissitzungen sowie mehrere Sitzungen in der Kleingruppe statt. Die Zusammensetzung des Arbeitskreises hat sich in den letzten Jahren wesentlich verändert. So sind die Herren Jürgen Allmann, Detlef Asmus, Wolfgang Bräcker und Andreas Schweizer

¹ M. Sc. Manuel Winkler, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim – Zentrale Unterstützungsstelle Abfall, Gentechnik und Gerätesicherheit (ZUS AGG), Goslarische Str. 3, 31134 Hildesheim, Tel.: +49 5121 / 163 – 345, Email: manuel.winkler@gaa-hi.niedersachsen.de

aus dem Dienst ausgeschieden oder nehmen anderweitige Aufgaben wahr, sodass sie nicht mehr als Mitglieder des Arbeitskreises geführt werden. Herr Helmut Zanzinger, welcher wesentlich an der Bearbeitung der Güterichtlinie beteiligt war, wird künftig auf eigenen Wunsch hin kein Mitglied des Arbeitskreises mehr sein. Zu den ständigen Mitgliedern des Arbeitskreises zählen weiterhin Falk Fabian, Heike Frank, Birgit Großmann, Stefan Schatz und Armin Stegner (nur noch beratend tätig). Neu zum Kreis der ständigen Mitglieder hinzugestoßen sind Thomas Engel, Detlef Löwe, Jörg Kässinger (neuer Obmann des Arbeitskreises), Carsten Lesny, Harald Pfaller, Jörn Tarnowski, Manuel Winkler und Wolfgang Ruthmann.

Die nachfolgenden Kapitel sollen dem Leser einen Überblick über die vorgenommenen Überarbeitungen (*Änderungen in kursiv dargestellt*) der bisherigen SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien (Juni 2017) ermöglichen.

2. Überarbeitungen

Die aktuelle Güterichtlinie mit Stand Oktober 2024 enthält gegenüber der Ausgabe vom Juni 2017 eine Umbenennung des bisherigen Titels inklusive neuem Titelbild, redaktionelle Überarbeitungen sowie inhaltliche Fortschreibungen und Anpassungen in den folgenden Punkten:

- Werkstoffe (Kunststoffe - Polyethylen)
- Produkte – Sickerwasserrohre, a-Maß PE-Schweißung, Deponieentgasungsrohre
- Planung und Bauausführung von Rohren, Schächten und Bauteilen
- Qualitätsmanagement – Qualitätsüberwachung bei der Herstellung
- Anhänge 1 – 7

2.1 Neuer Titel „Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“

Die bisher unter dem Titel „SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“ (Juni 2017) veröffentlichte Güterichtlinie wird mit Stand Oktober 2024 unter dem neuen Titel **„Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“** (GRL RSB) veröffentlicht werden. Auf seiner 33. Sitzung am 02.08.2023 hat der AK RSB entschieden, dass künftig nur noch ein Titel ohne Firmenzusätze verwendet werden soll. Dies soll verdeutlichen, dass sich der Arbeitskreis, welcher die Güterichtlinie fortschreibt, aus allen interessierten Kreisen (Hersteller, Baufirmen, Planer, Fremdüberwachung FÜ, Fremdprüfung FP, Behörde und Deponiebetreiber) zusammensetzt.

2.2 Werkstoffe

Neue Rohre, Schächte und Bauteile, die in Deponieabdichtungssystemen eingesetzt werden, bestehen heutzutage grundsätzlich aus Kunststoff oder Beton. Da als Kunststoffwerkstoff in der Regel Polyethylen (PE) eingesetzt wird und Polypropylen (PP) sowie glasfaserverstärkte Kunststoffe (GfK) zumeist als Sonderanwendungen zum Einsatz kommen, sind die Werkstoffe PP und GfK nicht mehr Bestandteil in der aktuellen GRL RSB (Oktober 2024). Das ursprüngliche Kapitel „2.1.2 Polypropylen“ und die entsprechende Prüftabelle 3 im Anhang 4, welche die Art und Umfang der Prüfungen an PP-Rohren im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) beinhaltet (siehe auch Nr. 2.7 Anhänge 1 - 7), wurden ersatzlos gestrichen. Für den Kunststoffwerkstoff PE gab es inhaltliche Ergänzungen.

2.2.1 Kunststoffe – Polyethylen (PE)

Rohre, Schächte und Bauteile aus PE müssen je nach Funktion und Beanspruchung aus PE 100- oder PE 100-RC (**R**esistant to **C**rack) –Materialien bestehen. Die Werkstoffklasse PE 100-RC weist gegenüber PE 100-Materialien einen erhöhten Widerstand gegen langsames Risswachstum auf, welcher bei erhöhten Beanspruchungen, wie sie in Deponiebasisabdichtungssystemen vorkommen können, zum Tragen kommt. Gegenüber der in der bisherigen GRL RSB (2017) noch offenen Formulierung, dass im Basisabdichtungssystem vorzugsweise PE 100-RC zu verwenden ist, wird nun auf Grundlage der bisherigen Praxis (bereits zu ca. 90 % eingesetzt) eindeutig festgelegt, dass in Basisabdichtungssystemen PE 100-RC zu verwenden ist.

Der Satz „Für die Spannungsrissbeständigkeit wird der FNCT-Test angewendet. Für Rohrsysteme in der Deponiebasis muss ein Werkstoff eingesetzt werden, der eine Standzeit von mindestens 1600 Stunden (Anforderungen nach Anhang 4 Tabelle 2) am fertigen Produkt sicherstellt.“ wird gestrichen und durch die allgemeine Formulierung „Die diesbezüglichen Anforderungen ergeben sich nach Anhang 4.“ ersetzt, da neben dem Full-Notch-Creep-Test (FNCT-Test) auch alternative Prüfungen durchgeführt werden können (vgl. auch Nr. 2.7 Anhänge 1 – 7).

Für Rohre, Schächte und Bauteile als Komponente von Abdichtungssystemen wird eine Funktionstüchtigkeit von mindestens 100 Jahren vorausgesetzt. Die GRL RSB (2017) enthält in der Einleitung einen Absatz, dass nach vorliegendem Kenntnisstand für den Werkstoff PE 100 und daraus gefertigter Produkte eine Beständigkeit von mehr als 100 Jahren für Dauertemperaturen bis 40 °C am Werkstoff erwartet werden kann. Hierzu sollten ergänzende Nachweise über die Beständigkeit gegen thermisch oxidativen Abbau und gegen das Auslaugen von Stabilisatoren geführt werden, deren Ergebnisse bis zur damaligen Veröffentlichung nicht vorlagen und bislang auch nicht durchgeführt wurden. Dieser Sachverhalt war bisher dem Kapitel „2.1.1 Polyethylen (PE)“ in Form eines Hinweises angehängt. Der Hinweis

„Zukünftig sollen ergänzend Nachweise über die Beständigkeit gegen thermisch oxidativen Abbau und gegen das Auslaugen von Stabilisatoren geführt werden, zum Beispiel Untersuchungen in flüssigen Medien unter Druck mit Sauerstoffbeaufschlagung und höherer Temperatur im Hochdruckautoklav. Ergebnisse derartiger Untersuchungen liegen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Güterichtlinie für keinen Werkstoff vor und werden erst nach Vorlage von Ergebnissen in die Fortschreibung der Güterichtlinie aufgenommen.“

wird in der aktuellen GRL RSB (Oktober 2024) gestrichen. Der sachliche Aspekt der Nachweisführung der Beständigkeit verbleibt als **Merkmal** weiterhin in der Güterichtlinie. Die eigentliche **Methode** wird aber aus der Güterichtlinie ausgelagert und die Anforderungen und Bedingungen an die Nachweisführung zur Beständigkeit werden als Bestandteil des BQS 8-1 mitaufgenommen. Dieser Schritt soll der Systematik folgen, dass die allgemeinen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und die Nachweise von Komponenten bisher stets über die BQS geregelt werden. Die aktuelle GRL RSB (Oktober 2024) enthält nun in der Einleitung zum einen die Ergänzung

„Die Anforderungen und Bedingungen an die Nachweisführung (Nachweiskonzept) zur Beständigkeit sind Bestandteil des BQS 8-1 ,Rohre, Schächte und Bauteile.“

und zum anderen im Kapitel „2.1.1 Polyethylen (PE)“ die neue Formulierung

„Ergänzende Untersuchungen zur Beständigkeit gegen thermisch oxidativen Abbau und gegen das Auslaugen von Stabilisatoren können zur Nachweisführung mit herangezogen werden. Anforderungen an

die Nachweisführung werden gemäß Anhang 1 Nummer 2.1.2 Satz 2 DepV im Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 8-1 „Rohre, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien“ festgelegt.“

2.3 Produkte

Die in Deponieabdichtungssystemen eingesetzten Produkte müssen bestimmte Qualitätseigenschaften aufweisen. Rohre, Schächte und Bauteile dürfen dabei nur von Verarbeitungsfachbetrieben hergestellt und verarbeitet werden, welche die im Anhang 6 der Güterichtlinie genannten Anforderungen einhalten. Neben einer werkseigenen Produktionskontrolle und einer projektbezogenen Fremdprüfung unterliegen Verarbeitungsfachbetriebe zudem einer „unabhängigen Fremdüberwachung“, welches im Kapitel „3.1 Allgemeines“ noch ergänzt wurde.

Aus dem Kapitel „3.2.2.1 Kontroll-, Pump-, und Speicherschächte aus Kunststoffen“ wurden die allgemeinen Anforderungen an Schächte (Angaben zur Ausführungsart, Textteil ab dem 3. Absatz) in das übergeordnete Kapitel „3.2.2 Schächte“ verschoben und doppelwandige Konstruktionen um „*einwandig prüfbare Konstruktionen*“ ergänzt und die Textpassage „*in Anlehnung an die AwSV*“ [4] gestrichen.

Für Schächte in Deponiekörpern, die aus Fertigteilen oder Ortbeton hergestellt werden, enthält Kapitel „3.2.2.2 Betonschächte im Deponiekörper“ nun eine Konkretisierung, dass „*Die Wanddicken und Bewehrung [...] gemäß der statischen Berechnung auszuführen [sind].*“ Der vorhergehende Textteil „*Die Durchmesser ergeben sich gemäß den Anforderungen aus der Nutzung, die*“ wurde gestrichen.

Inhaltliche Ergänzungen gab es in dem Kapitel „3.2.1 Sickerwasserrohre“ bzgl. Rohrverbindungen und Innenwülste bei Heizelementstumpfschweißverbindungen, in dem Kapitel „3.2.2.1 Kontroll-, Pump-, und Speicherschächte aus Kunststoffen“, in welchem nun eine Empfehlung zur Ermittlung der Dicke der Schweißnaht (a-Maß) enthalten ist und in dem Kapitel „3.3.1 Deponieentgasungsrohre“, in dem ein Satz hinsichtlich der Schweißung von PE-EL-Materialien (elektrostatisch nicht aufladbar) eingefügt wurde.

2.3.1 Sickerwasserrohre

Um Rohre, die in Deponiekörpern eingesetzt werden sollen, verbinden zu können, werden neben Überschiebmuffen, Muffen- oder Spitzendenverbindungen auch Schweißverbindungen eingesetzt. Für die in der aktuellen GRL RSB (Oktober 2024) im Kapitel „3.2.1 Sickerwasserrohre“ aufgeführten Schweißarten wurde der Begriff „*Elektromuffenschweißen*“ durch den Begriff „*Heizwendelschweißen*“ ersetzt.

Da bei TV-Inspektionen von Sickerwasserrohren, die über Muffen miteinander verbunden sind und in der Deponiebasis eingesetzt werden, häufig Axialverschiebungen beobachtet werden können, ist folgender Hinweis ergänzt worden:

„*Bei einer Neuverlegung von Sickerwasserrohren an der Deponiebasis sind die Rohrverbindungen vorzugsweise längskraftschlüssig auszubilden.*“

Bei Rohrverbindungen, die mittels Heizelementstumpfschweißen hergestellt werden, müssen vorhandene innere Schweißwülste eine Kamerabefahrung und eine Spülung grundsätzlich ermöglichen. Innere Schweißwülste > 10 mm müssen entsprechend entfernt werden. In Ergänzung hierzu ist der folgende Satz

„*Zur Vermeidung von Inkrustationen an den Wulstbereichen wird grundsätzlich bei den Sickerwasserrohren an der Deponiebasis empfohlen, Innenwülste standardisiert zu entfernen.*“

in die aktuelle GRL RSB (Oktober 2024) mitaufgenommen wurden.

2.3.2 Konkretisierung a-Maß für PE-Schweißung bei unterschiedlichen Wanddicken

Auf Grundlage der DVS-Richtlinie 2205-3 [5] des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS) werden die Dicken von Schweißnähten (a-Maß) beim Schweißen festgelegt. Schweißverbindungen von profilierten Schachtwänden mit unterschiedlichen Schachtwanddicken (sog. „Sandwich-Systeme“) werden bislang nicht in der DVS 2205-3 geregelt. Gerade bei profilierten Schachtmänteln mit geringen Vollwandstärken (z. B. 7 mm) führt die Regel nach DVS für Schweißverbindungen zwischen Wand und Boden ($a = 0,7 \times \text{Wanddicke}$) zu sehr kleinen Kehlnähten mit a-Maßen von 4,9 mm, welche statisch nicht tragfähig sind.

Um zukünftig Regelungen für solche „Sandwich-Systeme“ in die Richtlinie des DVS mitaufzunehmen zu können, müssen verifizierbare Untersuchungen und Ergebnisse vorliegen. Hierzu wurde aufbauend auf Voruntersuchungen der Simona AG [6] (ab 14 mm Schweißnahthöhe und entsprechendem a-Maß von 10 mm lagen die FEM-Rechenwerte im sicheren Bereich) ein Ringversuch innerhalb des Arbeitskreises abgestimmt, durchgeführt und die Ergebnisse in einem Prüfbericht [7] von der Arbeitsgruppe der fremdprüfenden Stellen des Arbeitskreises Grundwasserschutz e.V. (AK GWS) zusammengefasst. Ziel war es, ein Mindest-a-Maß (Überprüfung a-Maß von 10 mm) festlegen zu können, mit dem eine statisch tragfähige Naht herstellbar ist, ohne dabei den Schachtmantel beim Schweißvorgang zu beschädigen. Für die Untersuchungen wurden profilierte Schachtmäntel mit Nenndicken von 6,0 mm und 8,0 mm für die dünnste Wandung von der Firma Frank Kunststofftechnik GmbH und Kunststoffplatten mit einer Dicke von 30 mm von der Firma Simona AG zur Verfügung gestellt. Die jeweiligen Fügeverbindungen zwischen Schachtmantel und Bodenplatte wurden bei den Firmen Frank Kunststofftechnik GmbH und Heers & Brockstedt Umwelttechnik mittels Warmgasextrusion geschweißt. Die folgende Abbildung (Abb.) 1a zeigt einen Probengrundkörper, welcher bereits in einzelne Prüfkörper (Nummerierung 1 – 6) gesägt wurde.

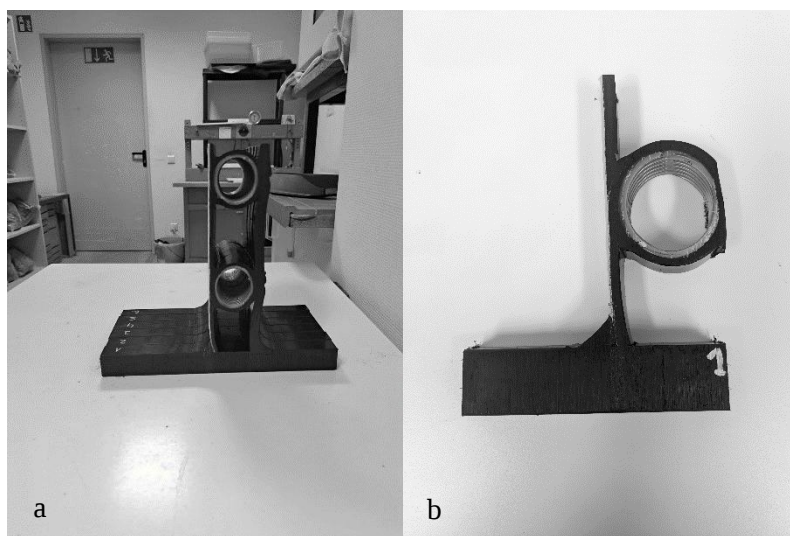


Abbildung 1: a) Probengrundkörper (in 6 Prüfkörper gesägt), Profil 54-14.4, Nenndicke dünnste Wandung=6,0 mm, Labor GGU [8]; b) angepasster Probenkörper, Profil 75-32.9, Nenndicke dünnste Wandung =8,0 mm, Labor Limes [9]

Die Prüfkörper wurden an drei Kunststofflabore der im AK GWS organisierten fremdprüfenden Stellen (Limes GmbH, Siebert + Knipschild GmbH und GGU mbH) übersandt. Da sich in Voruntersuchungen gezeigt hat, dass es zuerst zum Versagen der Schweißnaht an der dickeren Wandung kommt und nicht die

zu betrachtende Schweißnaht beansprucht wird, wurde die dickere Wandung abgesägt und mit den angepassten Prüfkörpern (Abb. 1b) die Zugversuche durchgeführt.

Für jeden Prüfkörper wurden Probenbreite und a-Maß bestimmt, die Spannungs-/Dehnungskurven aufgezeichnet und aus der Maximalkraft und dem Probenquerschnitt an der Versagensstelle die Streck- und Schubspannungen berechnet.

Von insgesamt 72 Prüfkörpern versagten 60 Prüfkörper duktil im Extrudat in der Ebene des a-Maßes (Abb. 2 a) und 12 Prüfkörper zeigten ein Verstrecken im Grundmaterial der Schachtwandung (Abb. 2 b).

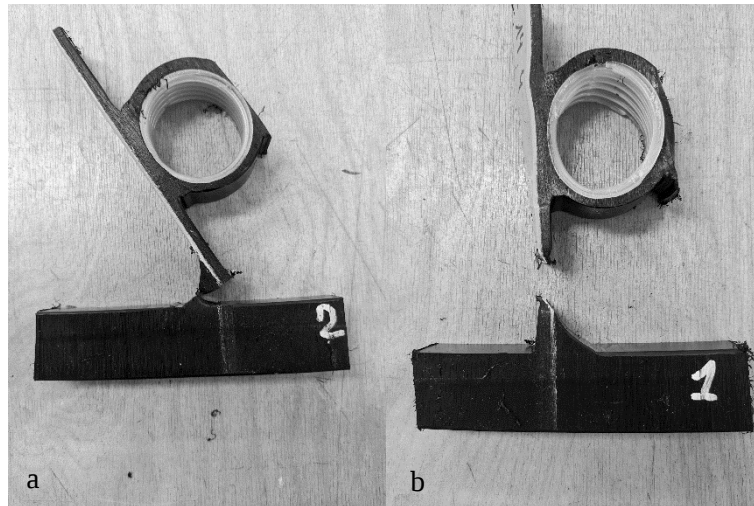


Abbildung 2: Seitenansicht a) Versagen im Extrudat, b) Verstrecken im Grundmaterial (Wandung), Labor Limes [9]

Im Ergebnis wurde durch den Ringversuch festgestellt, dass bei einer Zielvorgabe von Kehlnähten mit einem Mindest-a-Maß von 10 mm an profilierten Schachtmänteln mit dünnen Wandungen eine ausreichende Festigkeit gegeben ist und keine thermische Beeinflussung der Schachtwandung im Bereich der Schweißnaht vorliegt.

Der Ringversuch und der Prüfbericht [7] sollten in den Gelbdruck der DVS 2205-3 mitaufgenommen werden. Bis zur abschließenden Regelung in der DVS wird in der aktuellen GRL RSB (Oktober 2024) im Kapitel „3.2.2.1 Kontroll-, Pump- und Speicherschächte aus Kunststoffen“ folgende Empfehlung und Skizze für die Ermittlung des a-Maßes gegeben:

a-Maß Ermittlung bei unterschiedlichen Wanddicken:

Maximal: $a1 = S1 \times 0,7 \times 2$, $a2 = S2 \times 0,7 \times 2$

Für den Anwendungsfall Profilwickelrohr oder Sandwichplatte mit erheblich unterschiedlichen Wanddicken, insbesondere der Schachtprofilwand zur Bodenplatte, gilt folgende Festlegung für das a-Maß:

- (1) Bei Wanddickenverhältnissen $\geq 1:2$ wird ein a-Maß für die Kehlnaht Boden/Wand wie folgt ermittelt:

$a = \text{kleinste Wanddicke} \times 2 \times 0,7$; jedoch mindestens $\geq 10 \text{ mm}$

- (2) Sollte das ermittelte a -Maß nach (1) den halben Wert der größten Wanddicke von Boden/Wand unterschreiten, wird das a -Maß für die Kehlnaht Boden/Wand wie folgt ermittelt: $a = \text{größte Wanddicke} \times 0,7$

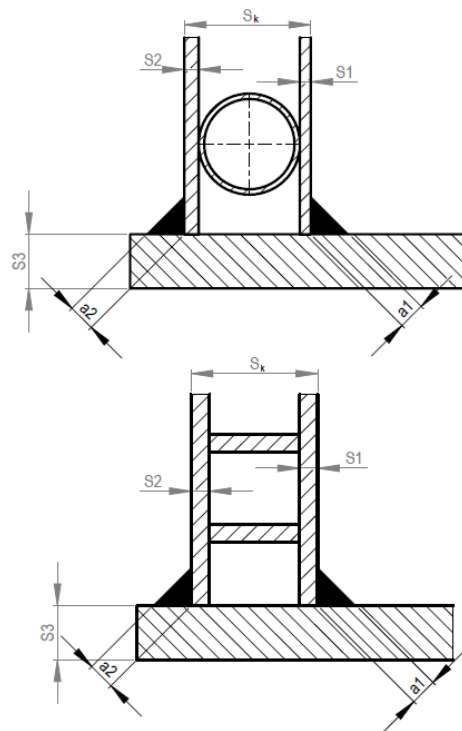


Abbildung 3: Verbindungen profilierter Schachtwände mit Platten (GRL Bild 1)

2.3.3 Deponieentgasungsrohre

Da der Werkstoff PE-EL im Bereich der Deponieentgasung regelmäßig eingesetzt wird und in der GRL RSB (2017) keine Angaben zu Schweißverbindungen von PE-EL-Materialien enthalten war, wurde folgender Satz im Kapitel „3.3.1 Deponieentgasungsrohre“ ergänzt:

„Bei Schweißverbindungen mit PE-EL Materialien sind die Prüfanforderungen der DVS 2203-1 Beiblatt 3 (Bild 7) zu erfüllen.“

2.4 Planung

In der GRL RSB (Oktober 2024) ist in dem Kapitel „4.1.1 Grundlagen“ der Satz „Rohre mit geringer Überdeckung sind gegebenenfalls für Horizontallasten zu bemessen.“ aufgrund der undefinierten Formulierungen „geringe Überdeckung“ und „gegebenenfalls“ gestrichen worden.

Die Kapitel „4.1.2 Planung Rohre“ und „4.1.3 Planung Schächte und Bauteile“ wurden inhaltlich ergänzt.

2.4.1 Planung Rohre

Als Grundlage für die Planung von Rohrleitungssystemen in Deponien sind in der GRL RSB (2017) die Regelwerke DIN 19667 [10] sowie die ATV-M 127- [11] / DWA-A 127-Reihe [12] aufgeführt. In der aktuellen Version wurden die genannten Regelwerke noch um die „GDA E 2-14“ [13] ergänzt.

Randdammdurchdringungen von Sickerwasserleitungen erfolgen in den Tiefpunktbereichen des Basisabdichtungssystems über Durchdringungsbauwerke. Zu den Rohrausführungen hinter dem Durchdringungsbauwerk wurden nun folgende Ergänzungen zur Klarstellung mitaufgenommen:

„Die weitere Ableitung des Sickerwassers bis zum ersten Sickerwasserschacht außerhalb des Abdichtungsbereichs erfolgt über eine doppelwandige, kontrollierbare Rohrleitung (Doppelrohrsystem). Die Rohrleitung zwischen den Sickerwasserschächten außerhalb des Abdichtungsbereiches kann als einwandiges Rohrleitungssystem ausgeführt werden, sofern die Prüf- und Kontrollierbarkeit (Kamerabefahrung, Dichtigkeitsprüfung) über die Schächte gegeben ist.“

„Hinter dem Durchdringungsbauwerk, im Bereich der mineralischen Dichtung, ist der statische Nachweis bei einem Auflager der Bodengruppe G4 nach DWA-A 127 rechnerisch nicht zu führen. Für diesen Bereich wird eine doppelwandige Rohrleitungsführung mit Abstandshaltern in geringen Abständen (Orientierungswert 0,50 m) als statisch-konstruktive Ausführung empfohlen.“

2.4.2 Planung Schächte und Bauteile

In der GRL RSB (2017) werden in Kapitel „4.1.3 Planung Schächte und Bauteile“ für die Schachtfundamente statisch ausreichend bemessene Stahlbetonplatten gefordert. Wie Erfahrungen aus der Praxis zeigen, werden die fachgerechte und erforderliche Art und Ausführung der Fundamente aber nicht in allen Ausschreibungen mit ausreichender Genauigkeit beschrieben, sodass es hier zu mangelhaften Ausführungen oder auch zu Wettbewerbsverzerrungen aufgrund höherer Kosten eines korrekt ausgeführten Schachtfundaments gegenüber z. B. einer lediglich ausgeschriebenen Sauberkeitsschicht kommen kann. Bei Ausschreibungen sollte in Zukunft stärker darauf geachtet werden, dass die Anforderungen an das Schachtfundament konkreter formuliert sind. Die aktuelle GRL RSB (Oktober 2024) enthält hierzu die folgende Vorgabe:

„Ein Schacht stellt eine funktionelle Einheit mit seiner Gründung dar. Daher ist als Schachtfundament eine statisch ausreichend bemessene Gründungsplatte, in der Regel eine Stahlbetonplatte, vorzusehen. Diese muss Gegenstand der Planung sein und in der Ausschreibung berücksichtigt werden.“

Schachtwanddurchführungen von Betonschächten werden mittels Kernbohrungen und passenden Dichtgliedern realisiert. Zur Sicherstellung von flexiblen/ gelenkigen Rohranschlüssen an Betonschächte, die mit Kunststoffplatten ummantelt oder ausgekleidet sind, wurde in der aktuellen Güterichtlinie folgende Konkretisierung eingefügt:

„An Betonschächte mit Innen- oder Außenverkleidungen aus Kunststoffplatten, in die nachträglich Bohrungen für Rohrdurchführungen eingebracht werden, sind die Bohrungen mit Futterrohren aus Kunststoffen (Rohrhülse) auszukleiden. Das Futterrohr ist mit zusätzlichen Kragenplatten (Manschetten) an die Wandverkleidung mittels Extrusionsschweißen anzubinden.“

2.5 Bauausführung

2.5.1 Bauausführung Rohre

Im Bereich von Durchdringungsbauwerken soll anfallendes Sickerwasser ohne ständigen Aufstau im Rohrauflager über die Sickerwasserleitungen abgeleitet werden. Gerade in der Bauphase kann es in Tiefpunktbereichen durch z. B. Niederschläge vermehrt zu Wasserzutritten in das Auflager und die mineralische Dichtung kommen, wodurch diese negativ beeinflusst werden können. In der aktuellen

Güterichtlinie wurde dieser Aspekt im Kapitel „4.2.1 Bauausführung Rohre“ berücksichtigt und eine Empfehlung für die Herstellungsrichtung der Basisabdichtung gegeben:

„Für den Bauzustand ist darauf zu achten, dass in den Tiefpunktbereichen die mineralische Dichtung und die Auflagerbedingungen durch Wasserzutritt (Niederschlag und Kondenswasser) nicht negativ beeinflusst werden, durch die es zu ungleichmäßigen Setzungen mit der Folge von Unterbögen kommen kann. Daher ist in diesen Bereichen besonders auf eine qualitätsgerechte Ausführung zu achten. Es empfiehlt sich, die Basisabdichtung in Fließrichtung der Entwässerungsleitungen herzustellen.“

Hinsichtlich des Rohraufagers wurde konkretisiert, dass für „biegeweiche Rohre“ keine starren Auflager zulässig sind und dass „Auch in Böschungsbereichen [...] auf eine entsprechende Ausbildung eines Rohraufagers sowie dessen Rohrbettung zu achten [ist]“. Die Bilder 4 und 5 der GRL RSB (2017), welche Ausführungsbeispiele der Rohraufleger von Sickerwasserrohren in Basisabdichtungen enthalten, wurden angepasst. Die folgenden Abb. 4 und 5 zeigen die überarbeiteten Bilder der aktuellen GRL RSB (Oktober 2024).

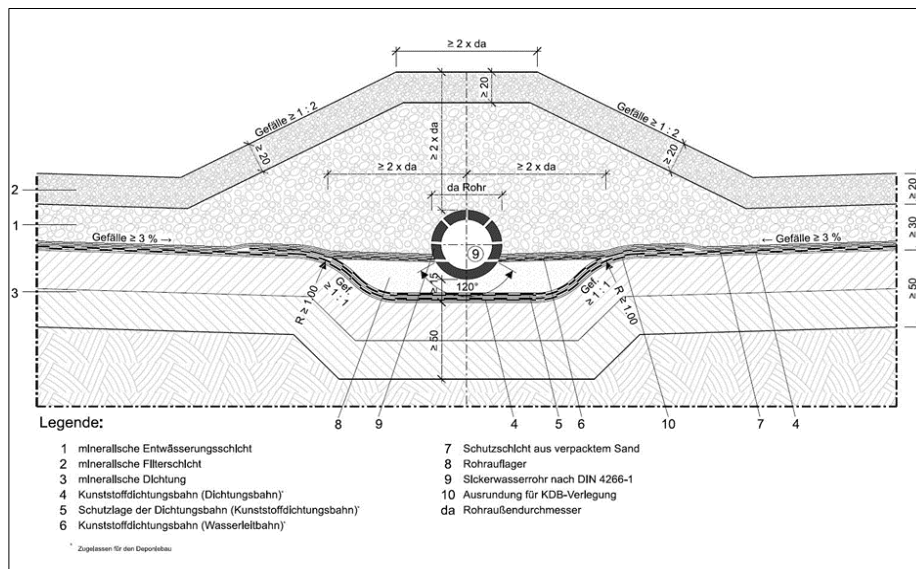


Abbildung 4: Rohraufleger Sickerwasserrohr Basisabdichtung – Ausführungsbeispiel 1 (GRL Bild 5) (DIN 19667, Bild 3)

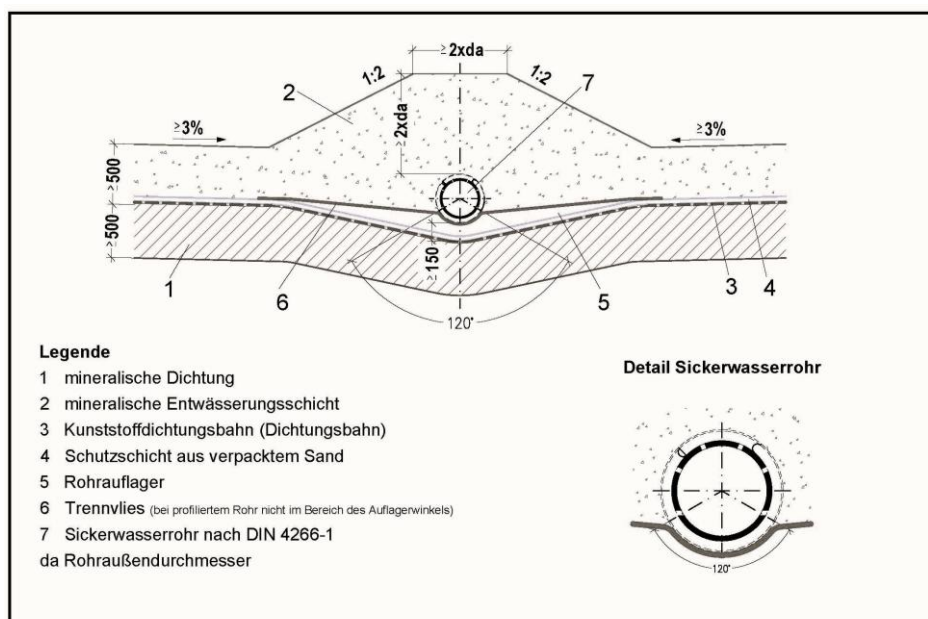


Abbildung 5: Rohraufleger Sickerwasserrohr Basisabdichtung – Ausführungsbeispiel 2 (GRL Bild 6)

Die Abb. 4 zeigt die Ausführung des Rohraufagers für ein Sickerwasserrohr in der Basisabdichtung, bei Verwendung der Sand-Zement-Bentonitmischung Nr. 9 (M9) der TU München (TUM). Neben einem neuen Layout wurde in Bild 4 die Zweilagigkeit der mineralischen Dichtung dargestellt sowie die Legende um die Nummern 9 (Sickerwasserrohr nach DIN 4266-1) und 10 (Ausrundung für KDB-Verlegung) ergänzt.

Abb. 5 zeigt ein Beispiel für die eher in der Praxis geläufigere Ausführung eines Rohraufagers. Neben der Ergänzung eines Trennvlieses verläuft die Schutzschicht aus verpacktem Sand gegenüber der ursprünglichen Darstellung (oberhalb des Rohraufagers bis an das Rohr herangeführt) nun durchgängig oberhalb der KDB (Dichtungsbahn) und unterhalb des Rohraufagers. In der Legende wurde das Trennvlies unter Nummer 6 mit der Angabe ergänzt, dass bei profilierten Rohren kein Trennvlies in der Rohrleitungszone verlegt wird. Die Kunststoffdichtungsbahn (Schutzlage der Dichtungsbahn) entfällt in der aktuellen Darstellung.

Bei Verwendung der Mischung 9 als Rohraufager müssen gewisse Anforderungen an die Herstellung berücksichtigt werden (Verdichtung, korrekter Wassergehalt). Diesbezüglich wurde in Kapitel „4.2.1 Bauausführung Rohre“ ergänzt, dass *„Während der Bauausführung [...] durch temporäre Schutzmaßnahmen (z. B. ein Geotextil) sicherzustellen [ist], dass kein grobkörniges Material zwischen die Dichtungsbahn und die Schutzlage der Dichtungsbahn gelangen kann.“*

Für Rohraufager und Rohrdurchdringungen in Basisabdichtungssystemen aus Deponieasphalt gelten spezielle Anforderungen. Hierzu wurde ein Verweis auf die Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt [14] mitaufgenommen.

Damit Rohre als Bestandteil von Deponieabdichtungssystemen ihre vorgesehene Funktion erfüllen können, müssen neben dem Transport der Rohre mit geeignetem Hebegerät auch die Anforderungen an die Lagerung der Rohre eingehalten werden. Diese Vorgabe wurde mit dem Satz *„Die Einhaltung von Anforderungen des Herstellers an die Lagerung der Rohre ist sicherzustellen.“* ergänzt.

Kunststoffrohre unterliegen je nach Temperaturschwankung gewissen Längenänderungen. Die in der bisherigen Güterichtlinie angegebenen Längenänderungen von *„bis zu mehreren Dezimetern“* beziehen sich allerdings auf Rohrleitungsstränge und nicht auf einzelne Rohre, sodass diese Textpassage durch *„bis in den Prozentbereich“* ersetzt wurde. Daran anknüpfend wurde von Seiten der bauausführenden Firmen angegeben, dass 2/3-perforierte Rohrstränge nur dann ohne Verdrehungen durch Temperaturschwankungen mit Sicherheit in korrekter Lage eingebaut werden können, wenn eine verschweißte Länge von 36 m nicht überschritten wird. Folgende Sätze wurden insofern eingefügt:

„Zur Vermeidung von Verdrehungen teilgelochter Rohre durch Temperaturschwankungen und zur Sicherstellung eines qualitätsgerechten Umganges sind bei der offenen Verlegung maximal 36 m lange Rohrstränge als Einheit einzubauen.“

Die Lagegenauigkeit der Fließsohle und der Scheitelmarkierung ist hinsichtlich der Vorgaben des DWA-Arbeitsblatt A 139 von dem Verarbeitungsbetrieb vor dem Schweißen zu prüfen.“

Um Spannungen im Sickerwasserrohr zu vermeiden, ist es zielführend, das Deponat bis zum Erreichen der Höhe des Schutzdamms über dem Sickerwassersammler parallel zum Sickerwasserrohr einzubauen. Dieser Sachverhalt wurde dem Kapitel „4.2.1 Bauausführung Rohre“ in Form des folgenden Hinweises und Zeichnung angehängt:

„Hinweis für den späteren Abfalleinbau:“

Beim Einbau der ersten Abfalllage im Bereich von Sickerwasserleitungen ist darauf zu achten, dass der Einbau gleichmäßig von beiden Seiten des Rohres erfolgt. Hierfür sollte ein Langarmbagger zum Einsatz kommen, der sicherstellt, dass ein schonender Einbau beidseitig des Rohres in einer Breite von mindestens 2,50 m erfolgt. Sobald diese beidseitigen Lagen eingebracht sind, erfolgt die Überbauung des Rohres im Scheitelpunkt mit Deponat in mindestens 1 Meter Mächtigkeit, hierbei werden die beidseitigen Streifen ebenfalls entsprechend erhöht.

Dieser Einbau ist Bild 7 zu entnehmen.“

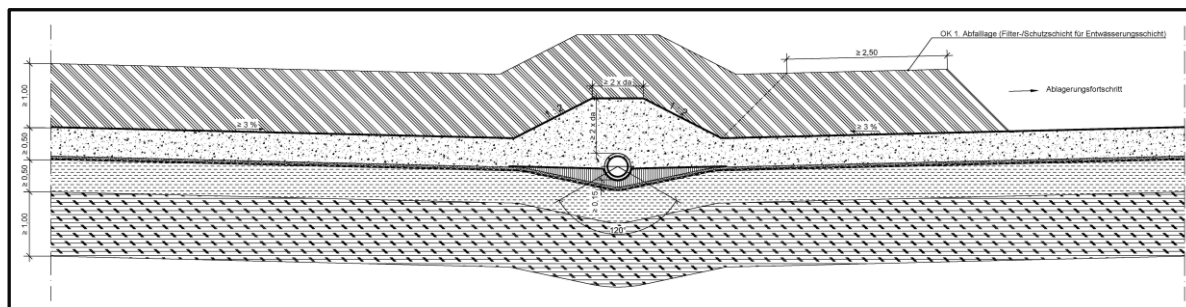


Abbildung 6: Abfalleinbau im Bereich der Leitungszone (GRL Bild 7)

2.5.2 Bauausführung Schächte und Bauteile

Schachtbauwerke müssen immer auf statisch ausreichend bemessenen Fundamenten gegründet werden. Die GRL RSB (2017) hatte diesbezüglich noch die Vorgabe, dass die Betonfundamente oder zur Auftriebssicherung bewehrte Betonanfüllungen vom Fremdprüfer zu kontrollieren sind. Da diese Aufgabe i. d. R. nicht durch den Fremdprüfer wahrgenommen wird, ist in der jetzigen Fassung der GRL RSB zur Klarstellung eingefügt worden, dass Fundamente „*anforderungsgerecht auszuführen und im Rahmen der Bauüberwachung zu kontrollieren und innerhalb des Qualitätsmanagements zu dokumentieren [sind]*“.

2.5.3 Bestehende Rohrleitungen, Schächte und Bauteile

Änderungen ursprünglicher Deponieplanungen können dazu führen, dass bestehende Rohrleitungen, Schächte und Bauteile in Deponien zurückgebaut werden. Für den Fall, dass die zurückgebauten Rohre, Schächte und Bauteile wieder – bzw. weiterverwendet werden sollen, sind diese auf äußere Schäden hin zu überprüfen. In der Regel können zurückgebaute Produkte die an sie gestellten Qualitätsanforderungen nicht mehr vollumfänglich erfüllen, sodass die Wieder- bzw. Weiterverwendung nur auf Ausnahmefälle gemäß nachfolgender Textpassage beschränkt sein sollte:

„Sollen beim Umbau, der Erweiterung oder betrieblichen Anpassungen vorhandene Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile wieder- bzw. weiterverwendet werden, so ist deren Zustand vor einer weiteren Verwendung, insbesondere auf äußere Beschädigungen im Sinne der Anforderungen nach Anhang 4 Tab. 8 Nr. 4, zu prüfen und das Ergebnis der Prüfung für die entsprechenden Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile zu dokumentieren. In der Regel führen die vorhandenen Einbaubedingungen sowie die Einwirkungen aus dem Rückbau und dem Transport zu Beeinträchtigungen eines qualitätsgerechten Funktionszustandes bei einer weiteren Verwendung. Daher ist eine solche Verwendung nur in Ausnahmefällen möglich.“

2.6 Qualitätsmanagement – Qualitätsüberwachung bei der Herstellung

Grundsätzlich besteht das Qualitätsmanagement im Deponiebau bei der Herstellung der Produkte aus den voneinander unabhängigen Instanzen Eigen- und Fremdüberwachung, bei der Bauausführung aus der Eigenprüfung durch die bauausführende Firma und Fremdprüfung durch einen unabhängigen Dritten sowie der behördlichen Überwachung. Die in der aktuellen Güterichtlinie RSB (Oktober 2024) vorgenommenen Änderungen beschränken sich im Wesentlichen auf das Kapitel „5.3 Qualitätsüberwachung in der Herstellung“. Hinsichtlich der Formmassen wurde ergänzt, dass diese *„im Rahmen der Wareneingangskontrolle durch die Hersteller gemäß DIN EN 1555-1 Tab. 1 überprüft [werden].“*

Der Satz *„Für temporäre Bauteile, deren Funktionsbeständigkeit nicht dauerhaft erforderlich ist (Versagen dieser Bauteile führt zu keinem relevanten Schaden am Deponiebauwerk), können Zeugnisse nach DIN EN 10204 2.2 ausgestellt werden“* wurde gestrichen, da die Formulierung *„temporäre Bauteile“* unklar definiert ist und es im Sinne der Güterichtlinie keine temporären Bauteile im Deponiekörper gibt. Die ursprünglich gewählte Formulierung zielte wahrscheinlich auf zwischenzeitliche Bauzustände ab.

2.7 Anhänge 1 – 7

In der GRL RSB (Oktober 2024) wurden gegenüber der Version aus 2017 sämtliche Anhänge überarbeitet sowie ein neuer Anhang 7 eingefügt. Die Anhänge 1 – 3, die die Fragebögen zur statischen Berechnung von Schächten (Anhang 1), von Kunststoffrohren (Anhang 2) und zum Berstlining (Anhang 3) enthalten, wurden überprüft, aktualisiert sowie die Layouts angepasst. Die vorgenommenen Überarbeitungen der Anhänge 4 – 6 sowie die Ergänzung des Anhangs 7 werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

2.7.1 Anhang 4 – Anforderungs- und Prüftabellen

Der Anhang 4 enthält 9 Tabellen, welche Art und Umfang von Prüfungen an Rohren, Schächten, Bauteilen und Formmassen im Rahmen der WPK, FÜ und der FP festlegen. Sämtliche der in den Tabellen genannten Inhalte wurden überprüft und an den Stand der Technik angepasst. Die ursprüngliche Prüftabelle 3 des Anhangs 4, welche die Art und Umfang der Prüfungen an PP-Rohren im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) sowie den Werkstoff PP beinhaltet, wurde komplett gestrichen.

2.7.2 Anhang 5 – Standard zur Qualitätsüberwachung RSB

Der im Anhang 5 der GRL RSB (2017) enthaltene Standard zur Qualitätsüberwachung RSB (SQÜ RSB) mit Fassung vom 22. Juni 2017 wurde von der Arbeitsgruppe der fremdprüfenden Stellen im AK GWS überarbeitet und mit dem AK RSB abgestimmt. Der SQÜ RSB mit Fassung vom 23. September 2023 wurde in die aktuelle Version der GRL RSB eingefügt. Neben einer Änderung des bisherigen Titels *„Standard zur Qualitätsüberwachung RSB – HERSTELLEN UND EINBAUEN DER ROHRE, SCHÄCHTE UND BAUTEILE AUS PE UND PP (RSB)“* in *„Standard zur Qualitätsüberwachung beim Einsatz von Rohren, Schächten und Bauteilen aus PE (RSB) in Deponieabdichtungen“* und dem damit verbundenen Kenntlichmachen des Wegfalls des Kunststoffwerkstoffs PP, wurden die Vorgaben im SQÜ RSB an die Überarbeitungen der aktuellen GRL RSB (Oktober 2024) angepasst.

2.7.3 Anhang 6 – Anforderung an Verarbeitungsfachbetriebe von Rohren, Schächten und Bauteilen für Deponien

Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien erfüllen nur dann die Anforderungen gemäß BQS 8-1, wenn diese nachgewiesenermaßen von einem Verarbeitungsfachbetrieb RSB verarbeitet werden, der über erfahrenes und qualifiziertes Personal sowie einer entsprechenden Geräte- und Maschinenausstattung verfügt. Der Nachweis der Anforderungen kann durch Vorlage eines Zertifikats oder Urkunde einer Güteüberwachungsgemeinschaft eines Fachverbandes geführt werden. Hierbei überprüft ein der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ zur Kenntnis gegebener Prüfbeauftragter der Güteüberwachungsgemeinschaft den Verarbeitungsfachbetrieb RSB. Die Zertifizierung erfolgt dann über die Güteüberwachungsgemeinschaft. Die Vorgabe, dass zur Einhaltung der Anforderungen eine jährliche Überprüfung des Verarbeitungsfachbetriebs RSB durch einen Prüfbeauftragten erfolgen soll, wurde durch folgenden Satz ergänzt:

„Ab der dritten Wiederholungsprüfung kann auf Vorschlag des Prüfbeauftragten mit Zustimmung der Gütegemeinschaft das Intervall auf alle zwei Jahre erweitert werden, wenn keine Abweichungen aufgetreten sind und gegenüber den vorangegangenen Wiederholungsprüfungen keine wesentlichen gerätetechnischen oder personellen Veränderungen eingetreten sind.“

Für die in den Kapiteln 4.6 und 4.7 des Anhangs 6 der GRL RSB beschriebenen Anforderungen wurde ergänzt, dass die zur Verfügung stehenden Maschinen und Geräte sowie vorzuhaltende Mess- und Prüfmittel auf der Baustelle „je Kunststoffschweißkolonne“ gelten.

Die Tätigkeiten und Ergebnisse der Eigenüberwachung und Eigenprüfung des Verarbeitungsfachbetriebs RSB müssen dokumentiert werden. Für die Anforderungen an die Ergebnisdokumentation im Werk wurde im Kapitel 5 des Anhangs 6 ergänzt, dass auch „Schweiß- und Prüfdokumentation[en] der Probeschweißungen gemäß WPK nach Anhang 4 Tab. 7 Nr. 12“ und ein „Ergebnisbericht der jährlichen FÜ“ zu erstellen sind.

In „Tabelle 2: Technische Anforderungen an Mess- und Prüfgeräte“ des Kapitels 7 in Anhang 6 wurde das „Schmelzindexprüfgerät (MFR-Prüfgerät)“ ergänzt.

2.7.4 Anhang 7

Da im Kapitel 6.4 bereits auf die GSTT-Information Nr. 9 „Instandhaltung von Entwässerungsleitungen in Deponien“ [15] (German Society for Trenchless Technologie e. V., Arbeitskreis Nr. 3 „Grabenloses Bauen – Leitungsinstandhaltung“, Arbeitsgruppe Nr. 6 „Instandhaltung von Deponieleitungen“) verwiesen wird, ist nun als neuer Anhang 7 der GRL RSB (Oktober 2024) der Link zur GSTT-Information Nr. 9 eingefügt worden. Die GSTT-Information Nr. 9 beschreibt den Stand der Technik im Bereich der Hochdruckreinigung, TV-Inspektion, Vermessung und Sanierung von Entwässerungsleitungen in Deponien. Es ist eine Arbeitsgruppensitzung der GSTT vorgesehen, in welcher der Fortschreibungsbedarf der GSTT-Information Nr. 9 geklärt werden soll.

3. Status Quo

Nach dem Vortrag „Vorstellung der überarbeiteten SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“ auf dem 33. Karlsruher Deponieseminar (18./19.10.2023), welcher den damals aktuellen Überarbeitungsstand der GRL RSB (Oktober 2023) beschrieben hatte, hat sich der AK RSB im Wesentlichen mit der weiteren Überarbeitung der Anforderungs- und Prüftabellen im Anhang 4 sowie

weiteren redaktionellen Anpassungen der GRL RSB befasst. Mit Stand Oktober 2024 wurde eine konsolidierte Fassung der GRL RSB an die LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ weitergeleitet. Die sich für den BQS 8-1 im Zusammenhang mit der überarbeiteten GRL RSB (Oktober 2024) ergebenden Änderungen (Verweis auf den aktuellen Stand GRL RSB, Nachweiskonzeption zur Beständigkeit gegen thermisch oxidativen Abbau und gegen das Auslaugen von Stabilisatoren für den Werkstoff PE) wurden in einen Entwurf des BQS 8-1 (Stand 11.12.2024) eingearbeitet. Dieser Entwurf wurde im Rahmen der Vollversammlung der Ad-hoc-AG am 11./12.12.2024 beschlossen und wurde i. V. m. der aktuellen Güterichtlinie an den Ausschuss für Abfalltechnik (ATA) der LAGA zugeleitet. Nach Zustimmung des ATA (104. Sitzung am 29./30.01.2025) und der LAGA-Vollversammlung per Umlaufverfahren (vom 24.02.2025 bis 10.03.2025) wurde der fortgeschriebene BQS 8-1 (Stand 11.12.2024) sowie die GRL RSB (Oktober 2024) am 11.03.2025 auf der Homepage der LAGA veröffentlicht. Ab diesem Zeitpunkt stellt die GRL RSB (Oktober 2024) den neuen bundeseinheitlichen Qualitätsstandard für Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien dar.

4. Literatur

- [1] **Deponieverordnung:** Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV); Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598) geändert worden ist
- [2] **Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 8-1 „Rohre, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien“** vom 28.07.2017; LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>
- [3] **SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie „Rohre, Schächte und Bauteile auf Deponien“**, Stand: Juni 2017; Süddeutsches Kunststoffzentrum, TÜV-Rheinland – Landesgewerbeanstalt Nürnberg, veröffentlicht unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen-Bundeseinheitliche-Qualitaetsstandards.html>
- [4] **AwSV:** Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- [5] **DVS 2205-3:2023-03:** Entwurf, Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Ausführungsbeispiele für Schweißverbindungen, Ausgabedatum: 2023-03; Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.
- [6] **Thomas Engel, Simona AG:** BQS Vorlage – Schweißnahtdimensionierung, vom 14.02.2023
- [7] **Arbeitskreis Grundwasserschutz e. V. – Arbeitsgruppe Fremdprüfer – Dipl. Min. W. Ruthmann, Dipl.-Ing. J. Tarnowski:** Prüfung von Kehlnähten mit erhöhtem a-Maß – Behälterbau, Verbindung Mantel – Boden, Bericht AK-GWS-2023-05-15, vom 15.05.2023
- [8] **GGU Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH,** In den Ungleichen 3, 39171 Osterweddingen – Mitglied im Arbeitskreis Grundwasserschutz e. V.
- [9] **LIMES GmbH,** Carnaperhof 8 – 10, 45329 Essen – Mitglied im Arbeitskreis Grundwasserschutz e. V.

-
- [10] **DIN 19667:** Dränung von Deponien – Planung, Bauausführung und Betrieb, Ausgabedatum: 2015-08; Drainage of landfills – Design, construction and operation
- [11] **ATV-M 127-1:1996-03:** Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien, Ergänzung zum Arbeitsblatt ATV-A 127, Ausgabedatum: 1996-03; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- [12] **DWA-A 127-1:** Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen – Teil 1: Grundlagen, Ausgabedatum 2022-12; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- [13] **GDA E 2-14:** Basis-Entwässerung von Deponien, Juni 2024; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten – GDA“, der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT)
- [14] **Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt:** 2. Überarbeitete Ausgabe, Stand 05.08.2024; Arbeitskreis 2.3 - Asphaltbauweisen im Wasserbau und in der Geotechnik der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), veröffentlicht unter https://www.laga-online.de/documents/anhang-1-deponieasphalt-eignungsbeurteilung-gueterichtlinie-asphalt-2024-10-final_1732705109.pdf
- [15] **GSTT-Information Nr. 9:** Instandhaltung von Entwässerungsleitungen in Deponien, August 2007; www.gstt.de

Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft, Praxisbeispiele vom Entsorgungsstandort der Zentraldeponie Cröbern

Bernd Beyer¹, Susann Hommel²

Inhalt

1. Einleitung	51
2. Nachhaltigkeit und Deponien	52
3. Nachhaltigkeit bei der WEV	52
4. Unser Beitrag zu den UN-Zielen: Beispiele für konkrete Maßnahmen	55
5. Zusammenfassung	64
6. Weiterführende Informationen	65
7. Literatur	65

1. Einleitung

Der Braunkohleabbau im Süden von Leipzig hinterließ eine Bergbaufolgelandschaft. In dieser Landschaft wurde Anfang der 1990er-Jahre die Zentraldeponie Cröbern (ZDC) geplant und 1995 in Betrieb genommen. Inzwischen hat sich aus dem devastierten Umfeld eine attraktive Naherholungslandschaft entwickelt. So wurde 2018 der benachbarte Störmthaler See zum beliebtesten See Sachsens gewählt. Damit stieg auch die öffentliche Wahrnehmung der Zentraldeponie und das Interesse an der Nachhaltigkeit der WEV.

Die WEV betreibt als Tochtergesellschaft des ZAW – der die abfallwirtschaftlichen Aufgaben der Stadt Leipzig und des Landkreises Leipzig bündelt – die Zentraldeponie Cröbern (ZDC), die Nachsorge der Deponien Seehausen und Groitzsch-Wischstauden, die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA) für Haus- und Sperrmüll sowie die Kompost- und Energie-Anlage (KEA) für die Verwertung von Bioabfall.

Nachhaltigkeit und Deponie – passt das überhaupt zusammen? Diese Frage stand vor gut sieben Jahren am Beginn unserer Überlegungen. 2019 haben wir unseren ersten Nachhaltigkeitsbericht veröffentlicht, 2025 folgte die zweite, aktualisierte und erweiterte Ausgabe. Für beide Berichte gilt: Sie sind keine Nachhaltigkeitsberichte im Sinne formaler Berichtspflichten, sondern eine freiwillige Form, um über unsere Fortschritte und Aktivitäten im Bereich Nachhaltigkeit zu informieren. Sie sollen transparent, nachvollziehbar und praxisnah zeigen, wie wir Nachhaltigkeit im Berufsalltag leben und weiterentwickeln.

„Wir“ – das sind alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der WEV, die Tag für Tag mit Engagement und Verantwortung ihren persönlichen Beitrag leisten. Mit knapp 115 Mitarbeitenden erwirtschaftet die WEV jährlich einen Umsatz von rund 50 Mio. € und verarbeitet dabei etwa 550.000 Mg Abfall.

¹ Dipl.-Ing. Bernd Beyer (Geschäftsführer) bernd.beyer@wev-sachsen.de | 034299 53 175 - Westsächsische Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH, Am Westufer 3, 04463 Großpösna / OT Störmthal

² Susann Hommel, M.A. (Unternehmenskommunikation und Nachhaltigkeit) susann.hommel@wev-sachsen.de | 034299 53 125 - Westsächsische Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH, Am Westufer 3, 04463 Großpösna / OT Störmthal

2. Nachhaltigkeit und Deponien

In einer Arbeitsgruppe aus engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie teilweise mit Akteuren der Zivilgesellschaft begannen wir beim Grundsätzlichen: Was bedeutet der umfassende Begriff ‚Nachhaltigkeit‘ eigentlich?

Die Definition der Brundtland Kommission der UN von 1987

„Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“

wurde die Basis für unser weiteres Arbeiten.

Orientiert am Maßstab „der Möglichkeiten künftiger Generationen“ kann eine Deponie nachhaltig sein, wenn

- sie als Schadstoffsенke bei der Beseitigung von Altlasten dient, d.h. wenn etwa im Rahmen eines „Entgiftungsprozesses“ bei der Gebäudesanierung Asbest entfernt oder durch eine Altlastensanierung kontaminierte Flächen wieder nutzbar gemacht werden.
- sie als Schadstoffsенke die Kreislaufwirtschaft ergänzt, z.B. indem sie nicht verwertbare Schlacken aufnimmt, die bei der Zinkrückgewinnung aus dem Weißblechrecycling entstehen und Molybdän freisetzen
- sie als derartige Schadstoffsенke keine akuten Umweltauswirkungen verursacht und dauerhaft sicher ist
- ihre Sicherheit auch über die Betriebsphase hinaus durch ausreichende Rückstellungen finanziell abgesichert bleibt.

So weit unsere Feststellung: In unserem Kerngeschäft widersprechen wir mit diesen Attributen nicht dem Nachhaltigkeitsprinzip.

Das führte dann recht schnell zur zweiten Frage: *In welchen Themen und Bereichen können wir – im Idealfall auch einen größeren – Beitrag leisten?*

3. Nachhaltigkeit bei der WEV

Die UN hat 17 Globale Ziele beschrieben, die bei der Strukturierung unserer Schwerpunkte hilfreich waren. Unternehmen haben den klaren Auftrag, sich an der Umsetzung der SDGs zu beteiligen. Sie sind essenzielle Akteure für eine nachhaltige Transformation. Aus diesem Bewusstsein heraus – und vor dem Hintergrund der speziellen Bedingungen und Herausforderungen in unserer Region – haben wir Ziele, Maßnahmen und Aktivitäten abgeleitet, zugeschnitten auf unser Unternehmen und unsere Aufgaben.

Unser Engagement für nachhaltige Entwicklung in unserem Unternehmen erstreckt sich auf drei Bereiche:

- unser Kerngeschäft als Abfallwirtschaftsunternehmen
- Energie, Umwelt und Natur
- Personal und gesellschaftliches Engagement

In diesen Bereichen haben wir jeweils Schwerpunkte identifiziert, mit denen wir als Unternehmen größtmögliche Effekte im Hinblick auf mehr Nachhaltigkeit erzielen können.

Verwertung und sichere Entsorgung von Abfällen — unser Kerngeschäft

Der direkteste Weg zu einer nachhaltigen Abfallwirtschaft besteht darin, Abfälle gar nicht erst entstehen zu lassen. Abfallvermeidung bedeutet auch eine ökonomische Entlastung, da die Entsorgungskosten verringert werden.

Die qualitative Abfallvermeidung (Verringerung der Gefährlichkeit der Abfälle) und die quantitative Abfallvermeidung (Verringerung der Abfallmengen) müssen zur Selbstverständlichkeit werden und bei allen Prozessen zur Anwendung kommen.

Bei der Bewertung sind stets alle Umwelteffekte zu berücksichtigen. Hier helfen ganzheitliche Ökobilanzen. Klar ist: Die Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft hin zu einer modernen Kreislaufwirtschaft trägt in erheblichem Maße zum Klimaschutz bei. Wir unterstützen diese Entwicklung durch eine kontinuierliche Verbesserung unserer Stoffströme, um dem Haus- und Sperrmüll wichtige Wertstoffe – wie z. B. Holz oder Schrott – zu entnehmen und einer weiteren Verwertung zuzuführen.

In unserer Kompost-Energie-Anlage (KEA) verarbeiten wir Bioabfälle zu hochwertigem Kompost als Ersatz für chemische Düngemittel und unterstützen damit eine nachhaltige Landwirtschaft in der Region.

Verantwortlich und nachhaltig zu handeln, bedeutet auch, sich immer wieder selbstkritisch zu fragen, ob und wie wir unsere Aufgabe noch besser erfüllen können. In diesem Kontext versteht sich das Engagement der Westsächsischen Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH (WEV).

Als Deponiebetreiber ist die WEV primär für den rechtssicheren Betrieb sowie für eine ordnungsgemäße Rekultivierung und Nachsorge verantwortlich. Ein weiteres Ziel ist es, mit dem Deponiebau eine Plattform – in gewisser Weise auch eine „Bühne“ – für mögliche Nachnutzungen im Interesse der Allgemeinheit und kommender Generationen zu schaffen. Mit diesem Auftrag können wir auch zu einer nachhaltigen Entwicklung unserer Kommunen beitragen.

Mit unserem positiven Beitrag zum Klimaschutz und der Funktion der Deponie als Schadstoffsенke zur dauerhaften Entgiftung der Kreisläufe werden die Möglichkeiten zukünftiger Generationen nicht eingeschränkt. Damit handeln wir nachhaltig im Sinne der Definition der Brundtland-Kommission.

Unsere Schwerpunkte



Energie, Umwelt und Natur

Eine moderne und zukunftsweisende Kreislaufwirtschaft endet nicht bei einer gesetzeskonformen Abfallbehandlung. Ziel ist die effiziente Erzeugung von Sekundärrohstoffen durch eine nachhaltige Betriebsweise. Die Verringerung des Energiebedarfs – beispielsweise durch innovative Technik und die bedarfsorientierte Erzeugung eigener, grüner Energie – steht dabei an erster Stelle.

Dafür nutzen wir die Potenziale, die der Entsorgungsstandort Cröbern bietet: angefangen bei der Strom- und Wärmeerzeugung durch die Verwertung von Deponiegas in eigenen Blockheizkraftwerken bis hin zur Nutzung freier Betriebsflächen zur Errichtung von Photovoltaikanlagen. Die so erzeugte Energie wird vorrangig in unseren Anlagen verwendet und ersetzt elektrische Energie aus herkömmlichen Energieträgern.

Der Standort bietet vielfältige Möglichkeiten, die reine Abfallbehandlung effizienter und ganzheitlicher zu gestalten. Unsere Anstrengungen zielen auf eine optimale Nutzung aller energetischen Potenziale ab.

Mit über 80 Hektar Gesamtfläche bietet das Betriebsgelände neben Platz für erneuerbare Energien auch Raum für „Natur auf Zeit“ an geeigneten Standorten. Ob Zauneidechsenhabitat, Sandarium oder Wildblumenwiese – eine naturnahe Gestaltung des Firmengeländes ist möglich.

Unsere Schwerpunkte



Personal und gesellschaftliches Engagement

Warum gibt es Unternehmen? – „Weil einer allein es nicht kann“ ist die schlichte Antwort. Eine dauerhaft sichere Zentraldeponie bauen, den Abfall von ca. 860.000 Menschen umweltgerecht verwerten, regenerative Energie produzieren, ein naturnahes Betriebsgelände mit Biotopen pflegen – und dabei alles sauber, sicher und klimaneutral halten: Das kann niemand allein. Weder von der Arbeitskraft her noch vom Know-how.

Bei uns arbeiten Menschen mit vielfältigen Qualifikationen zusammen, um all das zu leisten. Alle werden gebraucht. Um gute Arbeit zu ermöglichen und zu schützen, investiert die WEV in die Gesundheit und Entwicklung ihrer Mitarbeitenden. Höchste Standards im Arbeitsschutz, ein betriebliches Gesundheitsmanagement mit jährlich wechselnden Schwerpunktthemen, Weiterbildungen sowie das unabhängige Unterstützungssystem (kurz EAP) für berufliche und persönliche Krisen sind ausgewählte Beispiele unserer Bemühungen um soziale Nachhaltigkeit.

Die WEV fordert und fördert ein wertschätzendes und diskriminierungsfreies Miteinander – das ist verbindlich in unserem Verhaltenskodex festgehalten – und will so für Menschen mit unterschiedlichen Hintergründen und Voraussetzungen gute Arbeitsbedingungen schaffen.

Eine gute Beziehung zu unseren unmittelbaren Nachbarn ist uns wichtig. Die WEV versteht sich als verlässlicher Partner, um die Region nachhaltig als lebenswerten Raum mitzugestalten. Als Spenderin oder Sponsorin engagieren wir uns über unser Kerngeschäft hinaus – mit den Schwerpunkten Umweltschutz und Umweltbildung, Bergbaugeschichte sowie der Unterstützung von Kultureinrichtungen in benachbarten Gemeinden.

Gemeinsam mit dem Zweckverband Abfallwirtschaft Westsachsen (ZAW) geben wir Einblicke in unsere technischen Anlagen und teilen unser Fachwissen im Rahmen von Führungen über das Gelände – mit Schulklassen, Studierenden und Fachleuten. So fördern wir Bildung für nachhaltige Entwicklung. Dabei pflegen wir den Dialog auch über die Region hinaus – etwa mit zahlreichen internationalen Gästen.

Mit einem neuen InfoCenter auf dem Top-Bereich des Deponiebergs wird ein einzigartiger Raum für diesen Dialog geschaffen.

Unsere Schwerpunkte



4. Unser Beitrag zu den UN-Zielen: Beispiele für konkrete Maßnahmen

4.1 SDG 6 – Sauberes Wasser | SDG 9 – Infrastruktur

Als Teil der kommunalen Daseinsvorsorge ist es unser zentraler Auftrag, Entsorgungssicherheit zu gewährleisten. Für die Deponie umfasst dies Basisleistungen wie Entsorgungskapazität, Grundwasserschutz, Sickerwassererfassung und -reinigung sowie weitere wichtige Aufgaben. In Deutschland gelten diese Leistungen heute als selbstverständlich, werden kontinuierlich verbessert und müssen an dieser Stelle nicht im Detail erläutert werden.

Als besondere Infrastrukturleistung ermöglicht die ZDC-Genehmigung die Zwischenlagerung von bis zu 70.000 Mg Abfall auf der Deponie – eine Kapazität, die auch für den Katastrophenschutz genutzt werden kann, zuletzt während des Mulde-Hochwassers 2013. Die jüngsten Flutkatastrophen im Ahrtal 2023 und in Bayern 2024 haben die Notwendigkeit solcher Reserven eindrucksvoll bestätigt.

4.2 SDG 13 – Massnahmen zum Klimaschutz

Drei Faktoren sind am Standort Cröbern für die CO₂ Bilanz in der Abfallwirtschaft wesentlich:

- die Freisetzung von diffusem Methan
- die CO₂ Bilanz bei der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Abfall.
- die CO₂ Bilanz hinter dem prozessbedingten Energiebedarf in Form von Strom, Diesel, Erdgas.

Aus Angaben zur Größenordnung der klimaentlastenden Wirkung können Prioritäten abgeleitet werden.

4.2.1 Minimierung der diffusen Methanfreisetzung aus Deponien

Für die von uns verantworteten Deponien – die ZDC Cröbern im aktiven Betrieb sowie zwei Deponien in der Nachsorge – wurde der Stand der Technik umgesetzt. Mit der NKI-Förderung ergab sich die Möglichkeit, auf jeder Deponie Projekte zur weiteren Optimierung der Gasfassung durchzuführen. Das aktuellste Projekt auf der Deponie Seehausen wurde nach Antragseinreichung 2022 im Herbst 2024 bewilligt und befindet sich derzeit in der Umsetzung. Aus allen drei Projekten erwarten wir in den ersten Jahren eine klimaentlastende Wirkung von über 40.000 Mg CO₂-Äquivalenten [1].

Grundsätzlich muss an dieser Stelle angemerkt werden: Bei der Bewertung diffuser Methanemissionen sind nur grobe Schätzungen möglich, da exakte Messungen sehr aufwendig sind und häufig zu hohe Werte liefern. Absolut genaue Ergebnisse sind nicht realistisch – dennoch zeigen die Daten deutliche Verbesserungen, und die verbleibenden Unsicherheiten behindern den Fortschritt nicht.

Zudem ist Methan ein Klimagas, das unserer Einschätzung nach oft unterschätzt wird. Der üblicherweise genutzte Faktor von 28 für die Umrechnung von Methan in CO₂-Äquivalente basiert auf einer hundertjährigen Betrachtung der Wirkung [2]. Betrachtet man jedoch, dass sich die Frage der globalen Temperaturerhöhung um 2 oder mehr Grad Celsius nicht erst in 100 Jahren entscheidet, wäre der 20-jährige Wirkungsfaktor wesentlich – er liegt bei etwa 80 [3].

Daher sollte eine jederzeit sorgfältig gewartete und optimierte Gasfassung selbstverständlich zum Selbstverständnis eines Deponiebetreibers gehören.

4.2.2 Recyclingprozesse

In der MBA verarbeitet die WEV jährlich ca. 170.000 Mg Haus- und Sperrmüll aus dem Einzugsgebiet des Zweckverbandes Abfallwirtschaft Westsachsen – Stadt Leipzig und Landkreis Leipzig. Im Jahr 2020 ließ die WEV eine umfassende Öko- und Klimabilanz der MBA Cröbern durch das Öko-Institut e. V. erstellen. Dabei wurden die fünf Umweltkategorien **globale Erwärmung, terrestrische Versauerung, Feinstaubbildung sowie die Verknappung fossiler Rohstoffe und mineralischer Bodenschätze** detailliert betrachtet. Die Ergebnisse der MBA Cröbern wurden mit denen einer durchschnittlichen Müllverbrennungsanlage verglichen. Darüber hinaus wurden drei Szenarien mit verschiedenen Handlungsoptionen für den Betrieb der MBA bis 2035 entwickelt.

In den meisten relevanten Umweltkategorien schneidet die Müllverbrennungsanlage nur geringfügig besser ab als die MBA Cröbern. Gleichzeitig wurde eine klare Handlungsempfehlung ausgesprochen: Die Klimabilanz der MBA Cröbern ließe sich deutlich verbessern, wenn das bislang über die Nachrotte deponierte Unterkorn als biogener Ersatzbrennstoff thermisch verwertet würde und die Verwertung von Altglas (ca. 2,5 %) sowie Kunststoffen (ca. 10 %) realisiert würde.

Aus diesen Empfehlungen haben wir konkrete nächste Schritte abgeleitet: Seit 2023 können wir mithilfe biologischer Trocknung des Rotteguts biogenen Ersatzbrennstoff herstellen und der thermischen Verwertung zuführen. Dadurch konnte unsere energetische Verwertungsquote deutlich gesteigert werden – mit positiver Wirkung auf unsere CO₂-Bilanz in Form von Gutschriften.

Für die Verwertung von Altglas und Kunststoffen befinden wir uns derzeit in der Projektierung und haben zwei Förderanträge im Rahmen der Fachförderrichtlinie zur Förderung des Übergangs zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft beim **Sächsischen Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft** gestellt.

4.2.3 CO₂-Emissionen aus unserem Energieverbrauch

Strom – Umsetzung eines integrierten Energiekonzepts

Zu den Standortvorteilen der älteren Deponien gehört in der Regel die Verfügbarkeit von – wenn auch zunehmend weniger werdendem – Deponiegas. Bei einem Gesamtbedarf von ca. 10 GWh am Standort konnten wir 2023 dadurch und mit einer 1,4-MW-PV-Anlage etwa 55 % CO₂-neutral selbst erzeugen.

Um dem steigenden Fremdbedarf entgegenzuwirken, setzen wir derzeit schrittweise ein Energiekonzept um, das weitgehend klimaneutral zu geringen und stabilen Kosten führen wird. Kurz beschrieben:

- Die bestehende PV-Anlage wird von 1,4 MW auf ca. 8,3 MW erweitert.
- Die Deponiegasverstromung erfolgt mit neuen BHKWs und wird zusammen mit einem ca. 5.000 m³ fassenden Gasspeicher in die Nacht verlegt.
- Batteriespeicher gleichen die fehlende Synchronität von Produktion und Verbrauch aus und ermöglichen zudem den Zukauf zu Zeiten günstiger Bezugspreise sowie eine preisorientierte Einspeisung ins Netz.

So wird der externe Strombedarf deutlich reduziert. Diese Eigenproduktion trägt nicht nur maßgeblich zur Senkung unserer Emissionen bei, sondern leistet auch einen wichtigen Beitrag zur Gebührenstabilität: Durch unsere geringere Abhängigkeit von volatilen Öl- und Energiemärkten schützen wir die Bürgerinnen und Bürger vor stark schwankenden Entsorgungskosten.

Die Stromproduktion der Bioabfallvergärung in der KEA ist nach den EEG-Regeln vollständig extern zu vermarkten.

Dieserverbrauch

Der Deponie- und Anlagenbetrieb nutzt zahlreiche dieselbetriebene Geräte – darunter Raupen, Radlader, Bagger, Lkw sowie Hilfsaggregate wie Druckluftherzeuger oder Lichtmasten. Die Dekarbonisierung in diesem Bereich ist anspruchsvoll und wird bei Baumaschinen voraussichtlich vor allem durch den Einsatz von HVO-Diesel möglich sein. Herstellerabfragen haben ergeben, dass bis zu 80 % unserer Nutzfahrzeuge auf HVO-Diesel umgestellt werden können. Die Umstellung läuft derzeit.

Der aktuell bei uns eingesetzte HVO-Diesel wird aus Talloil gewonnen, einem Nebenprodukt der Papierindustrie, und ist palmölfrei (Stand 09/2025). Wir prüfen fortlaufend die Zertifikate zur Herkunft und Zusammensetzung des HVO-Diesels.

Bei einem durchschnittlichen Jahresverbrauch von rund 330.000 Litern erwarten wir eine CO₂-Einsparung von etwa 770 Tonnen pro Jahr.



Seit August 2024 auf unserem Gelände unterwegs: der erste 4-achsige E-Lkw mit Hakenliftaufbau auf einer deutschen Deponie. Unterstützt wurde die Anschaffung durch eine Förderung vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr - hier wurden 80% der Mehrkosten gegenüber einem herkömmlichen Diesel-Lkw übernommen.

Erdgas

Erdgas wird noch für den Betrieb der Abluftreinigung der RTO der MBA benötigt. Wir verfolgen Ansätze zur Reduzierung, unter anderem durch eine Optimierung der Abluftmengen aus der Abfalltrocknung bzw.

-rotte sowie durch die Zudosierung von Schwachgas aus der Bioabfallvergärung. Letzteres befindet sich seit Mitte 2025 in der Umsetzung.

Die Projektidee, aus Siebresten der Bioabfallverarbeitung Biokohle zu produzieren und das entstehende Gas in der RTO zu nutzen, lässt sich nach den Ergebnissen eines geförderten Entwicklungsprojekts mit dem Kompetenzzentrum Bioökonomie des Landkreises Leipzig [4] jedoch nicht wirtschaftlich umsetzen.

Dienstfahrten

Die WEV hat mittlerweile alle Dienst-Pkw auf 100 % Elektroantrieb umgestellt. Der Energiebedarf für die Elektrofahrzeuge wird durch vor Ort erzeugten Solarstrom bzw. Strom aus dem Deponiegas gedeckt. Darüber hinaus stehen am Standort 13 Stadträder sowie zwei Lastenfahrräder mit E-Antrieb zur Verfügung.

Bei Dienstreisen gilt: Flugreisen werden vermieden, Bahnreisen und E-Mobile haben Vorrang.

Mitarbeitermobilität: Anfahrten zur Arbeitsstätte

Aufgrund unseres Standortes ohne direkte Anbindung an das Netz der öffentlichen Verkehrsmittel ist das Auto so schnell nicht zu ersetzen. So braucht es einen Mix an verschiedenen Maßnahmen, um nachhaltige Mobilität unserer Mitarbeitenden zu fördern. Das tun wir z.B. mit Eco- und Fahrsicherheitstrainings, JobRad-Angeboten, der Förderung von Fahrgemeinschaften für den Arbeitsweg und dem günstigen Laden von privaten E-Fahrzeugen mit sauberem Strom an unserem Standort.

4.3 SDG 7 – Saubere Energie

Das oben beschriebene Energiekonzept ermöglicht es zudem, Stromüberschüsse – also saubere Energie – am Strommarkt zu vermarkten und damit auch einen Beitrag zum **SDG 7** zu leisten.

Bei unserer Vergärungsanlage für Bioabfall hatten wir uns 2020 für die Verstromung mit EEG-Einspeisung entschieden, da zu diesem Zeitpunkt die auf 20 Jahre garantierte EEG-Vergütung zu einer höheren Gebührenstabilität führte.

Eine weitere interessante Option ergibt sich aus der 2012 erfolgten Ansiedlung der **KELL** am Standort Cröbern. Die KELL ist als Gesellschaft des Landkreises Leipzig mit der Abfallsammlung beauftragt und nutzt hierfür über 30 Fahrzeugeinheiten. Werden diese auf E-Antrieb umgestellt und in unsere Energiestruktur integriert, können zusätzliche Synergieeffekte erzielt werden. So ließe sich auch die Abfallsammlung klimaneutral und mit stabileren Energiekosten durchführen. Derzeit ist für Abfallsammelfahrzeuge bidirektionales Laden noch nicht verbreitet – über die planbaren Standzeiten der Sammelfahrzeuge stünde jedoch eine nicht zu unterschätzende Batteriekapazität zur Verfügung, die interessante Optionen eröffnet. Aktuell begleiten wir hierzu eine Machbarkeitsstudie.

Die Abgabe von Überschusswärme aus den BHKWs scheidet an unserem Standort über ehemaligem Tagebaugelände leider aus. Zwar ist der Abstand von über 2 km zur nächsten Wohn- bzw. Gewerbebebauung immissions- und geruchsseitig vorteilhaft, jedoch lassen sich die geringen Wärmemengen auf diese Distanz nicht rentabel transportieren.

4.4 SDG 15 – Leben an Land - Biodiversität

Auf Deponien dient die Grünflächenpflege primär der Aufrechterhaltung aller technischen Schutzeinrichtungen. In der Praxis finden sich aber auch etliche Randflächen, Streifen oder Eckbereiche,

die zur Erhaltung oder Verbesserung der natürlichen Lebensgrundlage vieler Tier- und Pflanzenarten genutzt werden können.

Die Oberflächen- oder Zwischenabdeckung kann auf unterschiedlichste Art begrünt werden. Der Boden unserer temporär abgedeckten Flächen wird mit einer aus Wildpflanzen bestehenden Anspritzbegrünung versehen. Bei der Pflanzenauswahl liegt der Fokus auf einem heimischen Nahrungsangebot für Insekten, Vögel und weitere Kleinstlebewesen.

Weitere einfache Maßnahmen, die wir auf unserem Gelände ohne Störung des Betriebs realisieren konnten, sind u. a.:



Zauneidechsenhabitat



Eigenes Bienenvolk mit Honigproduktion



Steinhaufen für Steinschmätzer



Wildblumenwiese auf Kalkschotterfläche



Insektenhotel



Naturnahe Gestaltung von Wasserbecken



Sandarium für Insekten

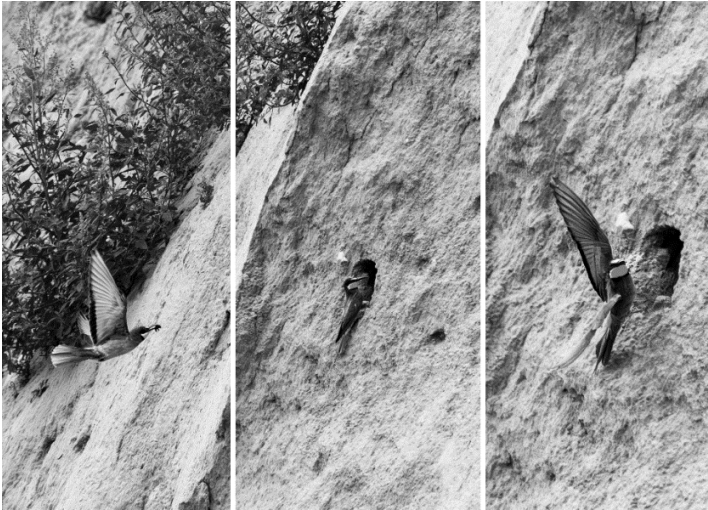


Streuobstwiese



Benjeshecken

Und manchmal sucht sich die Natur auch von ganz allein ihren Weg auf unser Gelände. Anfang 2024 hatten etliche Uferschwalben und Bienenfresser die nördliche Abbruchkante eines temporären Bodenlagers als perfekten Platz für ihre Bruthöhlen entdeckt. Eine weitere Bodenentnahme wurde gestoppt und der Bereich abgesichert, um die Vögel nicht zu stören. Inwieweit es gelingt, ein dauerhaftes Steilkanten-Habitat zu erhalten oder gezielt anzulegen, ist noch offen.

*Bienenfresser im Anflug*

All diese Maßnahmen entwickeln wir in enger Kooperation mit örtlichen Naturschutzorganisationen, insbesondere der **Ökologischen Station Borna-Birkenhain**, und im Austausch mit weiteren Engagierten. Ein Nebeneffekt dieser Maßnahmen – für uns sehr positiv und in dieser Dimension auch überraschend – ist die veränderte öffentliche Wahrnehmung der Deponie.

4.5 SDG 4 – Bildung

Seit Eröffnung der Zentraldeponie im Jahr 1995 ist der Ort Ziel von Schul- und Studiengruppen aus der Region und der ganzen Welt. Führungen über das Gelände betreut der ZAW in Kooperation mit der WEV. Sowohl die Anlagen wie MBA, KEA, Sickerwasserbehandlung als auch der Einbau auf dem Deponieberg und der Kontrolltunnel können mit Begleitung besichtigt werden.

Auf einem Lernpfad zur Aussichtsplattform am Nordwesthang der Deponie können sich Gäste über die Elemente einer sicheren und nachhaltigen Deponie informieren. Über ungewöhnliche Veranstaltungsformate wie Konzerte, Sonnenaufgangstouren, Sportveranstaltungen und Themenwanderungen können wir auch andere Interessenten erreichen und unsere Nachhaltigkeitsthemen platzieren.

Bei der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften in der Abfallwirtschaft können Deponiebetreiber frühzeitig unterstützen – zum Beispiel durch Bildungsangebote wie den Girls' Day, durch Führungen in unseren Anlagen zur Europäischen Woche der Abfallvermeidung oder als Praxispartner für die Ausbildung zur Fachkraft für Kreislauf- und Abfallwirtschaft.

Auch das Ermöglichen von Berufs- und Studentenpraktika bietet gute Möglichkeiten, Themen in Abschlussarbeiten zu bearbeiten und gleichzeitig qualifizierte Absolventinnen und Absolventen für das Unternehmen zu gewinnen. Hier haben wir als Praxispartnerin – unter anderem für die Stadtreinigung Leipzig, die HTWK Leipzig und das Berufsbildungswerk Leipzig für Hör- und Sprachgeschädigte – sehr gute Erfahrungen gesammelt.

Besonders hervorheben möchten wir die Deutschlandstipendien, die wir jährlich vergeben: Ein Stipendium geht in der Regel an die Fakultät Ingenieurwissenschaften, Studiengang Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig. Das zweite Stipendium wird an die Hochschule Merseburg, Studiengang Umwelttechnik, Abfalltechnik und Emissionen, vergeben.

Im Themenfeld Bildung pflegen wir gute Beziehungen mit inspirierenden Projekten aus der Entsorgungsbranche. Ein in vielerlei Hinsicht vorbildliches Leuchtturm-Projekt ist: Metabolon am

Entsorgungszentrum Leppe in NRW. Die Deponie wurde zum Innovationsstandort und außerschulischen Lernort für Groß und Klein entwickelt. Einige Module sind sogar Bestandteil des Lernplans in NRW (weitere Infos unter [5]).

MC.270° – Ein Raum mit Weitblick für nachhaltige Perspektiven

Viele Wettbewerbsbeiträge beinhalteten die Idee auf der Spitze der Deponie einen besonderen Ort zu schaffen – sei es als Infopavillon mit Café, Sternwarte, Aussichtspunkt oder gar als Start einer Mega-Wasserrutsche. Das hat uns in unserer langjährigen Vision, „etwas auf den Berg zu setzen“, bestärkt.

Nun haben wir das in die Tat umgesetzt. Wir sind im Genehmigungsverfahren für einen temporären Containerbau auf der Nordwestseite der Deponie: nahezu vollständig verglast, bietet er einen beeindruckenden 270-Grad-Panoramablick auf Stadt Leipzig und Landkreis Leipzig. Der Name MC.270° leitet sich von diesem Blickwinkel sowie der Abkürzung für „Mount Cröbern“ ab – eine Anspielung, die auch an die typischen Maschinenbezeichnungen aus dem Tagebau erinnert. So entsteht ein Name, der offen bleibt für vielfältige Assoziationen und Nutzungsmöglichkeiten.

Dem Ort wird ein umfassendes Verständnis von Nachhaltigkeit zugrunde gelegt. Die Abfall- und Kreislaufwirtschaft ist dabei nur ein Element unter vielen. Erst im Zusammenspiel mit ökologischen, sozialen, ökonomischen und kulturellen Aspekten kann nachhaltige Entwicklung ganzheitlich gedacht und gestaltet werden. Und wo wäre das besser möglich als an einem Ort, der buchstäblich Weitblick bis zum Horizont erlaubt?

Die Deutsche UNESCO-Kommission benennt Bildung als Schlüsselfaktor für eine nachhaltige Zukunft. In diesem Sinne ergänzt MC.270° auf sinnvolle Weise die bestehenden Maßnahmen am Standort – als Raum für Austausch, Lernen, Inspiration und neue Perspektiven.

4.6 SDG 17 – Partnerschaften zur Erreichung der Ziele

4.6.1 Globaler Austausch

Seit 1996 haben Akteurinnen und Akteure aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft aus über 50 unterschiedlichen Ländern den Entsorgungsstandort Cröbern besucht. Im Fokus steht dabei das wertschätzende voneinander und miteinander Lernen. Dass Ländern, die auf eine ungeordnete Abfallwirtschaft teils ohne Sammlung und Vorbehandlung zurückgreifen, das technische Know-how fehlt, ist jedoch nicht der Grund für die fehlende Umsetzung. Das haben wir im Austausch mit den Delegationen mehrfach lernen dürfen. Auch bei uns ist die Basis ein durchsetzbares Ordnungsrecht und das Grundbuchamt, dass einen Gebühreneinzug ermöglicht. Daher dreht es sich thematisch bei diesen Besuchen nicht nur um den Deponiebau und die Deponierung von Abfällen, sondern vor allem auch um gesetzliche Bestimmungen und organisatorische Abläufe.

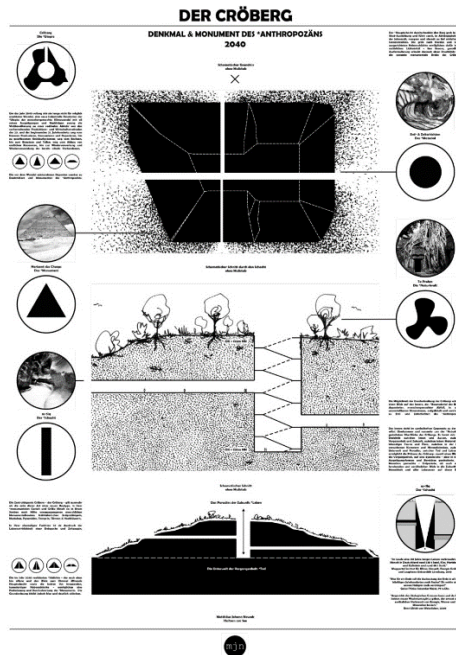
Das Ermöglichen solcher Besuche mit fachlichem Austausch über Ländergrenzen hinweg macht die ansonsten oft abstrakte und große Aufgabe, als Unternehmen nachhaltig zu agieren, sehr konkret und praxisnah. Gleichzeitig zeigt es, dass Engagement über die eigene Region hinaus möglich ist. Dies trägt dazu bei, dass die Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens – insbesondere für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter – nachvollziehbar wird. Nicht zu unterschätzen ist zudem, dass aus der Anerkennung durch die Besucherinnen und Besucher Stolz und Motivation bei unseren Mitarbeitenden erwächst.

4.6.2 Austausch mit Nachbarn und der Region

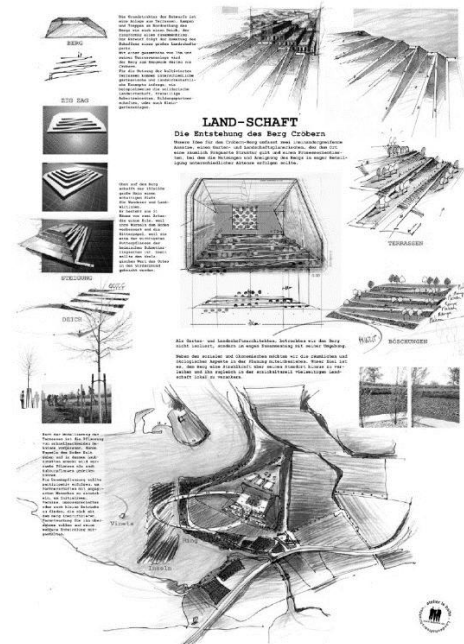
Bei 80% der Verfüllung der ZDC hat die WEV 2020 einen offenen Ideenwettbewerb mit der Fragestellung: „Wie können zukünftige Generationen die Deponie nutzen? Welche Möglichkeiten entstehen?“ veranstaltet. Die eingereichten Ideen sollten in der Nachsorge oder auch bereits im laufenden Betrieb realisierbar sein. Es wurden insgesamt 58 Beiträge eingereicht – sowohl von renommierten Planungsbüros als auch von Kindergruppen oder Familien in der Nachbarschaft. Die große Vielfalt der Beiträge zeigt nicht nur die Kreativität, sondern auch die Wünsche unserer Nachbarn.

Die Ausstellungen der Beiträge im Landratsamt, umgebenden Rathäusern, einem Einkaufszentrum und anderen ergaben weitere Diskussionen mit interessierten Bürgerinnen und Bürgern darüber, was auf der Deponie möglich wird – immer positiv mit dem Fokus auf die Zukunft. In einer flachen Landschaft stellt die Deponie Cröbern neben einer Hochhalde aus dem Bergbau eine der größeren Erhebungen dar. Dieses Alleinstellungsmerkmal wurde von vielen Vorschlägen aufgegriffen.

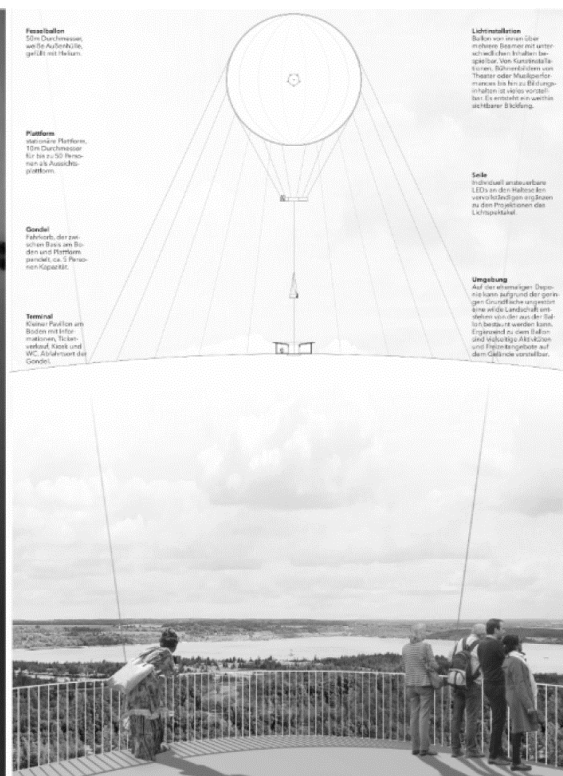
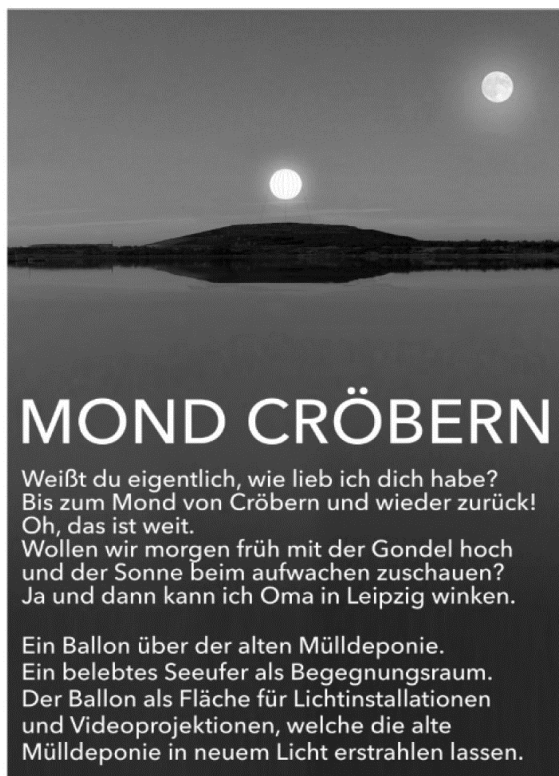
Ausgewählte Wettbewerbsbeiträge:



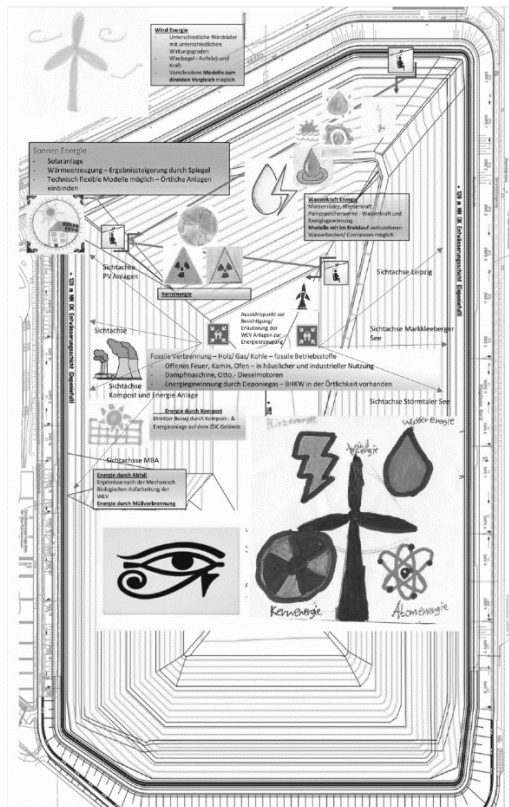
Der Cröberg – Denkmal & Monument
des Antropozäns (Matthäus Johann Nowak)



Land-schaft – die Entstehung des Berg Cröbern (atelier
le balto)



Mond Cröbern (FAKT – Office of Architecture) – ein beleuchteter Heliumballon mit Aussichtsplattform



Energie Erlebnis Park (Kinder der Klasse 6D, Kant
Gymnasium Leipzig)

Weiden Erhalten Vielfalt (Ökologische Station Borna-Birkenhain e.V.)

Die Beiträge und die Dokumentation zum Wettbewerb finden Sie hier:

<https://www.wev-sachsen.de/wettbewerb-zur-nachnutzung-der-zdc/>



5. Zusammenfassung

Wenn Deponien so gebaut und betrieben werden, dass sie schadstoffhaltige, nicht wiederverwendbare oder recyclingfähige Abfälle aus „Entgiftungsprozessen unserer Umwelt“ dauerhaft sicher abschließen, leisten sie einen Beitrag zu einer nachhaltigen Abfallwirtschaft. Voraussetzung ist, dass sie kein diffuses Methan und nur sauberes Wasser emittieren und die Deponienachsorge für die nachfolgenden Generationen sicher ausfinanziert ist.

Ein weiterer Beitrag entsteht, wenn Deponien bzw. Deponiestandorte so genutzt werden, dass am Standort Abfälle umweltgerecht recycelt und saubere Energie produziert wird.

Eine dritte Ebene kann erreicht werden, indem der Lern- und Deponiestandort zur Förderung der **Biodiversität** genutzt wird, Begegnungsmöglichkeiten zwischen Unternehmen, Nachbarn und regionalen Akteuren geschaffen oder andere Nachhaltigkeitsprojekte ermöglicht werden.

Voraussetzung: Nachhaltig auch durch eine sicher ausfinanzierte Nachsorge

Als „Mehrgenerationenprojekte“ erlangen Deponien im Sinne der Definition der **Brundtland-Kommission** eine weit in die Zukunft künftiger Generationen reichende Bedeutung: Die Nachsorge der Deponien wird über Jahrzehnte intensiv betrieben werden müssen.

Wenn „zukünftige Generationen nicht in ihren Möglichkeiten eingeschränkt werden“ sollen, muss die Nachsorge heute auskömmlich ausfinanziert werden. Die aktuell zurückgestellten Finanzmittel müssen auch ausreichen, um Risiken abzudecken. Hier besteht aus unserer Sicht noch Diskussionsbedarf – etwa über die anzusetzenden Nachsorgezeiträume, die Absicherung gegen negative Realzinsen oder gegen Mehraufwendungen durch Klimaveränderungen.

Zudem stellt sich die Frage, wie Risikoszenarien wie extreme Starkregenereignisse, lange Dürreperioden oder andere Unwägbarkeiten der kommenden Jahrzehnte berücksichtigt werden können.

6. Weiterführende Informationen

Unser Nachhaltigkeitsbericht und weitere Informationen ist hier zu finden:

<https://www.wev-sachsen.de/nachhaltigkeit/>



7. Literatur

- [1] KSI: Potenzialstudie Deponie Seehausen, CDM Smith, 2022
- [2] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan>
- [3] [https://scnat.ch/de/uuid/i/9bfeff23-d97b-5304-9b89-2e8d94227a76-Fragen und Antworten zur Klimawirkung von Methan](https://scnat.ch/de/uuid/i/9bfeff23-d97b-5304-9b89-2e8d94227a76-Fragen_und_Antworten_zur_Klimawirkung_von_Methan)
- [4] Kompetenzzentrum Bioökonomie, <https://kompetenzzentrum-biooekonomie.de/2024/03/22/abschluss-des-projekts-innovative-biooekonomie-von-einer-inspirierenden-idee-zur-echten-innovation/>
- [5] Bergischer Abfallwirtschaftsverband, <https://www.bavweb.de/-metabolon>

Deponie Vereinigte Ville - Neue Bohrlöcher für den Klimaschutz

Dr. Klaus Peter Arz¹

Inhalt

1. Einleitung	66
2. Die Deponie Vereinigte Ville / AVG Köln mbH	66
3. Zum NKI-Förderprojekt	67
4. Umsetzung der Maßnahme	68
5. Neue Bohrlöcher für den Klimaschutz	72

1. Einleitung

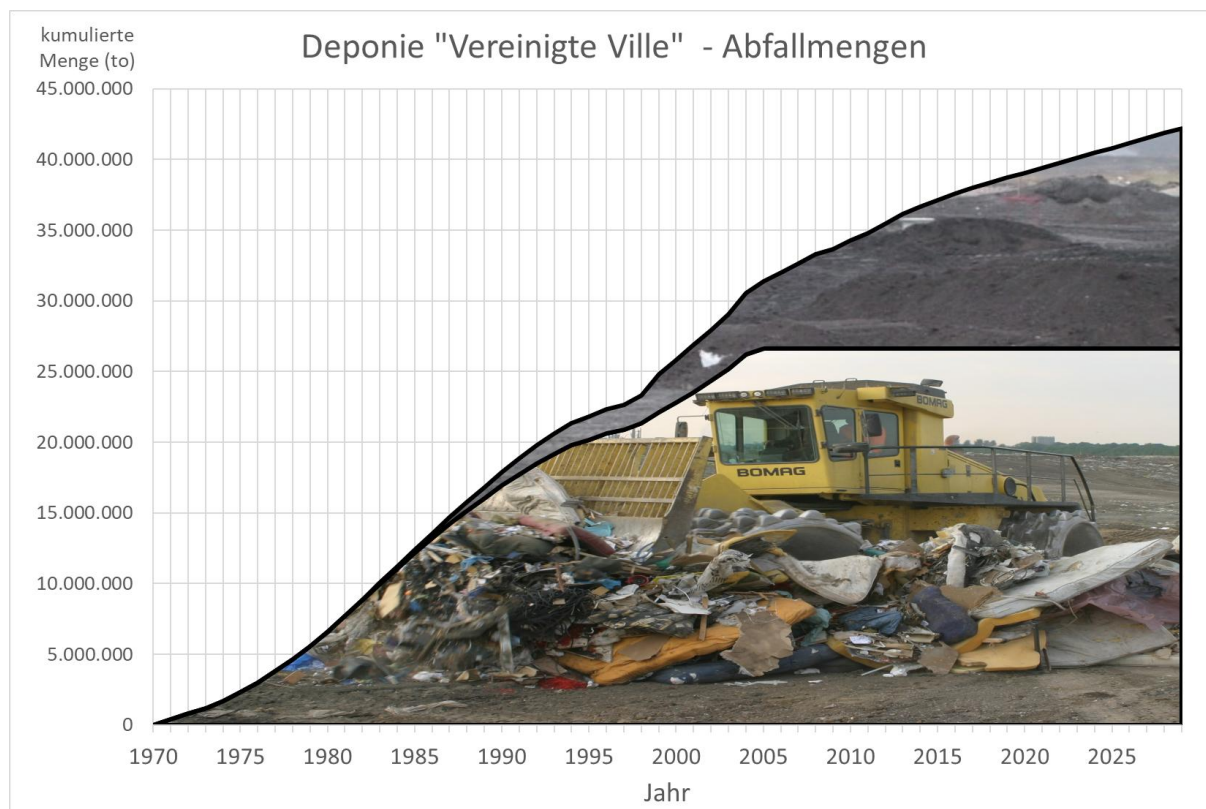
Seit Beginn der 1990er Jahre wird die Deponie Vereinigte Ville aktiv entgast. Während in den ersten Betriebsjahren das Deponiegas in Hochtemperaturfackeln verbrannt wurde, folgte ab 1997 eine energetische Verwertung im benachbarten Braunkohle-Kraftwerk, die durch eine Verstromung in BHKW im Jahre 2004 abgelöst wurde.

Heute wird die Deponie über insgesamt rund 260 Gasbrunnen, verteilt auf rund 90ha Betriebsfläche entgast. Das Deponiegas wird dabei in neun Teilabschnitten in Gassammelstationen (GSS) am Deponierand zusammengeführt. Der notwendige Unterdruck für die aktive Entgasung wird durch zwei Gasförderstationen bereitgestellt. Die Betriebserfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass etwa 90% des gefassten Gases aus den „jüngeren“ Deponieabschnitten GSS 5 – 9 - besaugt über die Gasförderstation 2 - stammen, während der südliche, ältere Deponiebereich nur noch wenig „verwertbares“ Deponiegas liefert. Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2024 die Gasförderstation 1 für den Altbereich durch eine neue Station ersetzt, die eine getrennte Entgasung für „Gutgas“ und „Schwachgas“ ermöglicht, verbunden mit der Alternative zur aktiven Belüftung. Über diese Arbeiten, die im Rahmen eines NKI-Förderprojektes durchgeführt wurden und werden, wird nachfolgend berichtet.

2. Die Deponie Vereinigte Ville / AVG Köln mbH

Die AVG Köln mbH (AVG) betreibt die Deponie als Betriebsführer im Auftrag der Stadt Köln als Deponieeigentümerin seit 1998. Auf der Deponie wurden bis zum 31.05.2005 rund 27 Mio. t. organische Abfälle ohne Vorbehandlung abgelagert (s. Abb. 1). Seit dem 01.06.2005 wird das Restvolumen mit mineralischen Abfällen der Deponieklasse 2 verfüllt. Die Deponie soll langfristig als Mineralikdeponie weiterbetrieben werden. Dazu wird die Bestandsdeponie stillgelegt und nach Aufbringung einer bifunktionalen Zwischenabdichtung ein neuer Deponieabschnitt eingerichtet und betrieben. Auf entsprechenden Antrag der AVG Köln mbH wurde dieser Weiterbetrieb mit Bescheid vom 20.09.2023 genehmigt.

¹ Dr. Klaus Peter Arz, AVG Köln mbH, Geestemünder Straße 23, 50735 Köln, Tel. +491721568544, karz@avgkoeln.de



*Abbildung 1: Mengenentwicklung (kumulierte Darstellung) der Deponie Vereinigte Ville
(Unvorbehandelte org. Abfälle bis 2005, danach Abfälle DK2)*

3. Zum NKI-Förderprojekt

Die Deponie Vereinigte Ville verfügt seit vielen Jahren über ein gut ausgebautes Gasfassungs- und Verwertungssystem. Gleichwohl hat die AVG sich – auch vor dem Hintergrund der Fördermöglichkeiten – mit der Frage weiterer Optimierungspotenziale beschäftigt. Im Ergebnis wurde herausgearbeitet, dass angesichts zunehmenden Aufwands für immer weniger Methan der Schwerpunkt auf die „aerobe In-Situ-Stabilisierung“ gelegt werden sollte; dies auch vor dem Hintergrund der Nachsorgeanforderungen.

Auf Basis der Ergebnisse der vorlaufenden Potenzialstudie und der daraus abgeleiteten Prognosen hat sich die AVG entschieden, einen entsprechenden Förderantrag zu stellen; dies auch als Ergebnis eines Abwägungsprozesses für unterschiedliche Emissions-Szenarien.

Am 16.12.2021 wurde ein entsprechender Antrag bei PtJ (Vorgänger ZUG) eingereicht. Am 25.02.2022 erfolgte die Eingangsbestätigung.

Da sich in der Zwischenzeit abzeichnete, dass die angenommenen Kosten in Folge der sprunghaften Baukostenentwicklung nicht ausreichen würden, wurden diese nach Erörterung mit der Z.U.G. aktualisiert und eine aktualisierte Kostenberechnung im Antragsverfahren nachgereicht. Dies war und ist aber nur möglich, solange noch keine Bescheiderteilung erfolgt ist. Nach Bescheiderteilung würde eine derartige Änderung ein vollkommen neues Verfahren erfordern.

In der Konsequenz wurde auch der Maßnahmenbeginn auf Anfang 2023 verschoben.

Der Fördermittelbescheid wurde schließlich am 13.12.2022 erteilt. Bewilligt wurde eine Förderung von 60 % der angesetzten Kosten mit einem Maximalförderbetrag von rd. 4,8 Mio. € bei errechneten CO₂-

Einsparungen über 15 Jahre von 420.000 tCO₂eq. und damit einer Fördermitteleffizienz von 11,38 €/tCO₂eq., dies mit einer Projektlaufzeit von 18 Monaten, beginnend am 01.01.2023 – 30.06.2024.

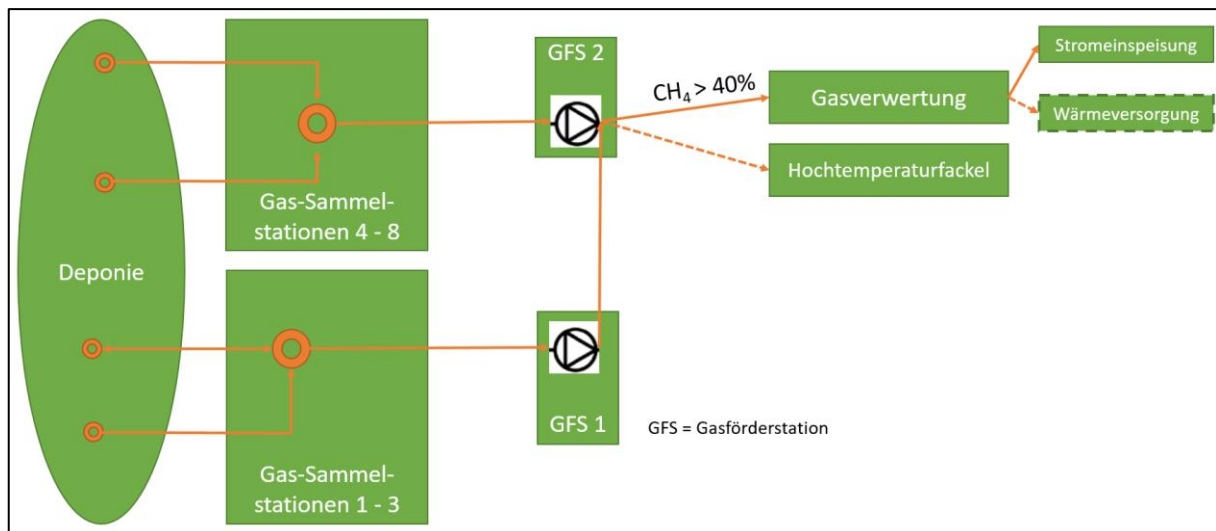
Die erforderliche EU-weite Ausschreibung führte zunächst zu völlig überkauerten Angeboten, so dass die Ausschreibung wiederholt werden musste. Aber auch das Ergebnis der wiederholten Ausschreibung führte im Ergebnis dazu, dass durch die Baupreisentwicklung der aufzubringende Eigenanteil anstieg.

Am 26.09.2023 erfolgte dann der konkrete Vorhabenstart. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass dieser grundsätzlich spätestens 9 Monate nach Laufzeitbeginn erfolgen muss.

Die Probleme mit der Ausschreibung wurden mit dem Projektträger „Zukunft Umwelt Gesellschaft“ (Z.U.G.) im Verfahren ausgetauscht und anschließend ein Antrag auf Laufzeitverlängerung um 1 Jahr eingereicht, der am 26.06.2024 auch positiv beschieden wurde. Danach lautete das geplante Ende der Projektlaufzeit: 30.06.2025. Im Frühjahr 2025 zeichnete sich ab, dass der Umfang der Arbeiten nicht vollständig bis zum Ende der Projektlaufzeit erledigt werden kann. Eine weitere Verlängerung der Projektlaufzeit bis zum 31.12.2025 wurde Antrag seitens Z.U.G am 10.06.25 genehmigt. Die Bauarbeiten werden voraussichtlich bis Ende Oktober abgeschlossen, parallel läuft derzeit die Inbetriebnahme. Mehr dazu im nachfolgenden Kapitel.

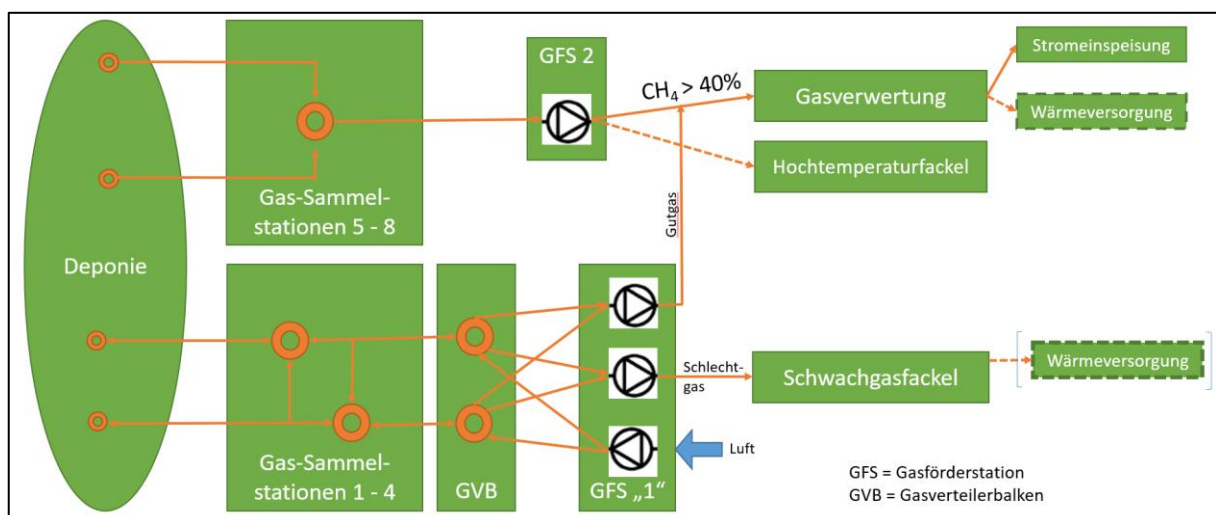
4. Umsetzung der Maßnahme

Die Erfassung von Deponiegas über ein System von Gasbrunnen wird am Standort Vereinigte Ville seit 1993 durchgeführt. Nach einer Übergangsphase mit Verbrennung des Deponiegases in Hochtemperaturfackeln und später einer energetischen Verwertung in einem benachbarten Braunkohlekraftwerk/BHKW wird das gefasste Deponiegas seit 2009 in einem eigenen BHKW mit drei Gasmotoren zur Stromerzeugung verbrannt. In Abb. 2 ist der prinzipielle Aufbau des Gesamtsystems dargestellt. Heute wird die Deponie über insgesamt rund 260 Gasbrunnen entgast. Die Gasförderstation 1 (GFS1) besaugt drei Entgasungsabschnitte, in denen in den Jahren 1970 bis ca. 1990 unvorbehandelte Abfälle abgelagert wurden. Die Gasförderstation 2 (GFS2) besaugt den „jüngeren“ Deponieteil mit den Entgasungsabschnitten 4 bis 9, wo unvorbehandelte Abfälle von ca. 1990 bis zum 31.05.2005 abgelagert wurden. Das Deponiegas der beiden Förderstationen wird zusammengeführt und in der Regel in den Gasmotoren verbrannt und zur Stromerzeugung genutzt. Ein geringer Teil der Abwärme wird zur Beheizung eines benachbarten Betriebsgebäudes genutzt. Bei Ausfall/Wartung der Gasmotoren werden Teilmengen oder der gesamte Gasstrom in einer bzw. zwei Hochtemperaturfackeln verbrannt.



**Abbildung 2: Deponiegas-Fassung und –Nutzung am Standort Vereinigte Ville (schematische Darstellung)
vor Umsetzung der NKI-Fördermaßnahme**

Im Rahmen der NKI-Fördermaßnahme wird die Gasförderstation 1 in deutlich veränderter Form erneuert. Statt eines reinen Absaugbetriebes ohne Unterscheidung der Gasqualität besteht künftig die Möglichkeit, das abgesaugte Deponiegas hinsichtlich des Methangehaltes in zwei Gasströme (Gutgas bzw. Schlechtgas) zu teilen. Das Gutgas wird wie bisher gemeinsam mit dem über die Gasförderstation 2 gefassten Deponiegas den Gasmotoren zur Stromerzeugung zugeführt. Das Schlechtgas wird über eine getrennte Transportleitung den sogenannten Schwachgasfackeln zugeführt. Um diese Trennung für jeden einzelnen Gasbrunnen individuell einrichten zu können, werden die Gas-Sammelstationen 1 bis 4 umgerüstet bzw. erneuert. Das gefasste Deponiegas wird hier alternativ einem der beiden Gassammelbalken zugeordnet. Bei sich ändernden Gasqualitäten ist ein Wechsel vom Gutgasstrang zum Schlechtgasstrang oder umgekehrt möglich.



**Abbildung 3: Deponiegas-Fassung und –Nutzung am Standort Vereinigte Ville (schematische Darstellung)
nach Umsetzung der NKI-Fördermaßnahme**

Zwischen den Gassammelstationen 1 bis 4 und der Gasförderstation 1 wird das Entgasungssystem um ein weiteres wesentliches Element ergänzt. Am sogenannten Gasverteilerbalken kann für jede der vier Gassammelstationen grundsätzlich ein reiner Entgasungsbetrieb – getrennt nach Gut- und Schlechtgas, wie zuvor beschrieben – eingestellt werden. Alternativ ist vorgesehen, für jede der vier Stationen auch auf den Belüftungsbetrieb umzustellen. Dazu wird neben den beiden Absaugverdichtern in der Gasförderstation 1 eine dritte Verdichtereinheit zur Beschickung mit Luft betrieben.

Folgende Vorgehensweise ist dabei vorgesehen:

- Zunächst werden alle vier Entgasungsbereiche im Absaugbetrieb gefahren, dabei wird das gefasste Deponiegas je nach Methangehalt dem Gutgas bzw. dem Schlechtgas zugeordnet.
- Sobald der überwiegende Teil der Gasbrunnen eines Entgasungsbereiches nur noch Schlechtgas mit geringen Methangehalten liefert, wechselt der komplette Entgasungsbereich in den Belüftungsbetrieb. In dieser Phase werden die einzelnen Gasbrunnen entweder mit Luft beschickt oder weiterhin besaugt, wobei die Abluft dem Schlechtgasstrom zugeführt wird. Die Verteilung wird wiederum in den Gassammelstationen vorgenommen.

Abbildung 4 zeigt eine Ansicht des Gasverteilerbalkens, der unmittelbar vor der neuen Gasförderstation 1 aufgestellt wurde.



Abbildung 4: Gasverteilerbalken mit Anschlussmöglichkeiten der Gassammelstationen (GSS) 1 bis 4 an die Belüftung (oberer Balken), an die Schwachgasabsaugung (mittlerer Balken) oder auch bei entsprechender Qualität noch an die Gutgasabsaugung (unterer Balken), daneben der Abgang zur Schwachgasfackelstation (SGF), die neue Gasförderstation 1 steht im Hintergrund

Aufgrund fehlender Betriebserfahrungen wird die Inbetriebnahme und auch die erste Betriebsphase durch ein Fachbüro begleitet. In dieser Phase sollen die “Umschaltunkte” für die Zuordnung zu

Gutgas/Schlechtgas einerseits und der Wechsel Absaugbetrieb/Belüftungsbetrieb andererseits standortbezogen ermittelt und festgelegt werden.

Um eine optimierte Gasfassung bzw. einen Belüftungsbetrieb zu ermöglichen, werden neben der zuvor beschriebenen Umrüstung der Anlagentechnik auch die rund 120 Deponiegasbrunnen der Entgasungsbereiche 1 – 4 im Altteil der Deponie ertüchtigt bzw. erneuert. Diese Arbeiten bildeten den Schwerpunkt im Laufe des Jahres 2024 und bis heute. Die neue Gasförderstation 1 mit ihren drei Verdichtereinheiten, die Schwachgasfackeln sowie der sogenannte Gasverteilerbalken sind geliefert und aufgestellt. Die Inbetriebnahme mit Leistungsfahrten ist abgeschlossen, derzeit läuft der Probebetrieb.

Die beiden Abbildungen 5 und 6 zeigen einige Komponenten des Entgasungssystems.



Abbildung 5: Umrüstung einer Gassammelstation mit alternativer Anschlussmöglichkeit der Gasleitungen auf zwei Gassammelbalken



Abbildung 6: Fackelplateau mit vier Schwachgasfackeln

Die gesamte Maßnahme soll bis zum Ende der genehmigten Projektlaufzeit (31.12.2025) soweit abgeschlossen sein, dass ein dauerhafter Regulär-Betrieb praktiziert werden kann. Über Effekte aus einem längerfristigen Belüftungsbetrieb kann erst in den Folgejahren berichtet werden.

5. Neue Bohrlöcher für den Klimaschutz

Die zuvor beschriebene Anlagentechnik kann nur sinnvoll und zielführend genutzt werden, wenn das besaugte oder belüftete Netz aus Gasbrunnen intakt ist. Aus diesem Grunde erfolgte eine Ertüchtigung des kompletten Entgasungssystems im Altbereich der Deponie. Dazu wurden mehrere Hektar temporär abgedeckter Oberflächen geöffnet, um Gasbrunnen zu ertüchtigen oder neu zu errichten. Alle Brunnen wurden mit neuen Saug-/Belüftungsleitungen versehen. Kondensatableitungen wurden so dimensioniert, dass sie auch bei Überdruck noch ordnungsgemäß entwässern.

Mehr als ein Jahr wurden Bohrarbeiten im südlichen Altbereich der Deponie durchgeführt. Nachfolgend einige Eckdaten:

- Bohrmeter insgesamt: 1990 m
- Bohrlochdurchmesser Gasbrunnen: 0,7 m

- Bohrlochdurchmesser (Kombibrunnen für Gas und Sickerwasser): 0,8 m
- Neue Gasbrunnen: 87
- Ertüchtigte Gasbrunnen: 28
- Saugleitungen: ca. 23km
- Gastransportleitungen: ca. 7km.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Zusammenführung der Transportleitungen vor dem Gasverteilerbalken mit Querung der Deponiezufahrt.



**Abbildung 7: Zusammenführung der Transportleitungen vom dem Gasverteilerbalken
mit Querung der Deponiezufahrt.**

Beseitigung gefährlicher Abfälle in der Untertagedeponie Herfa-Neurode

Mandy Kranz¹, Dr. Frauke Bretthauer²

Inhalt

1. Einleitung	74
2. Langzeitsicherheit	74
3. Geologische Voraussetzungen / Multi-Barrieren-System	75
4. Eingelagerte Abfallarten.....	75
5. Abfallverpackung	76
6. Abfallannahme, Annahmekontrolle und Abfallentsorgung untertage.....	77
7. Auslagerung von Abfällen.....	78
8. Organisation und Dokumentation.....	78

1. Einleitung

Die K+S Gruppe ist der Pionier im Bereich der untertägigen Deponierung von gefährlichen Abfällen. Seit 1972 werden Abfälle, die weder übertage deponiert noch verbrannt werden können, untertage langzeitsicher entsorgt. Neben der Untertagedeponie in Herfa-Neurode betreibt die K+S seit 1995 eine weitere Untertagedeponie in Zielitz. Die Einlagerungsbereiche befinden sich in Deponiefeldern in mehreren hundert Metern unter der Erde, getrennt von der Mineralgewinnung in Kali- und Salzbergwerken. Salzgestein ist basierend auf geologischen Erkenntnissen unbegrenzt dicht gegenüber Gasen und Flüssigkeiten. Somit ist nach menschlichem Ermessen bei richtiger Dimensionierung der Salzbarriere eine Einwirkung der Biosphäre auf die verbrachten Abfälle und umgekehrt der Abfälle auf die Biosphäre auszuschließen.

Die Unternehmen Remex und K+S haben 2021 mit der Gründung des Gemeinschaftsunternehmens REKS den Zusammenschluss zum Joint-Venture vollzogen. Während die REKS als Händler, Makler, Vertrags- und Ansprechpartner der Kunden tätig ist, stellt die K+S die Kapazitäten zur Einlagerung gefährlicher Abfälle in den Bergwerken zur Verfügung und betreibt die Untertagedeponien operativ.

2. Langzeitsicherheit

Bei der Untertagedeponie steht die langzeitsichere Beseitigung der Abfälle im Vordergrund. Dafür müssen neben idealen geologischen Voraussetzungen weitere Bedingungen erfüllt sein: Für die Einlagerung von Abfällen muss ein stillgelegtes Grubenfeld zur Verfügung stehen. Das Deponiefeld muss gegen das Gewinnungsfeld abschottbar sein. Die Abbau-Hohlräume müssen standfest sein. Das heißt, sie müssen auch nach langer Zeit zugänglich bleiben. Die Hohlräume, in die Abfälle eingelagert werden sollen, müssen

¹ Mandy Kranz, K+S Minerals and Agriculture GmbH,
In der Aue 1, 36266 Heringen, Werra, Tel: +49(6624)81-1764

² Dr. Frauke Bretthauer, K+S Aktiengesellschaft,
Bertha-von-Suttner-Straße 7, Kassel 34131, Tel: +49(561)9301-1764

gegenüber wasserführenden Schichten abgesichert sein. Voraussetzung für das Erlangen einer Deponiegenehmigung ist der Nachweis der Langzeitsicherheit. Eine Beeinträchtigung der Biosphäre muss während Errichtung, Betrieb und nach Stilllegung einer Untertagedeponie ohne menschliches Zutun ausgeschlossen werden können

3. Geologische Voraussetzungen / Multi-Barrieren-System

Von entscheidender Bedeutung für den Kali- und Steinsalzbergbau ist die geologische Situation der jeweiligen Lagerstätte. Die Kali- und Steinsalzschieben sind vor etwa 240 Mio. Jahren entstanden. Das salzhaltige Binnenmeer im germanischen Becken ist durch Sonneneinstrahlung langsam verdunstet. Dabei kam es zu Steinsalz- und Kaliablagerungen mit Mächtigkeiten von mehreren hundert Metern. Die kompakten Steinsalzmassen stellen eine gasundurchlässige geologische Barriere dar. Über dem Salz lagert eine wasserundurchlässige Gesteinsschicht. Diese ermöglichen eine sichere Versiegelung gegenüber den höherliegenden, wasserführenden Gesteinsschichten. Diese wasserundurchlässigen Gesteinsschichten sind bei tektonischen Einflüssen sehr anpassungsfähig und wasserundurchlässig. Trotz aller Bewegungen in der Erdkruste haben diese in den vergangenen Jahrmillionen ihre abdichtende Wirkung erhalten. Die geologischen Barrieren werden durch künstliche und technische Barrieren ergänzt. Beispielsweise werden Verbindungsstollen und – wege zwischen Deponiebereichen und im Abbau befindlichen Bergwerksteile durch technische Maßnahmen wie massive Salzdämme abgeriegelt. Nach dem Ende der Gewinnung von Rohstoffen und nach Betriebsende der Untertagedeponie wird das Bergwerk stillgelegt. Die Schächte als einzige Verbindung zur Biosphäre werden langzeitsicher verschlossen.

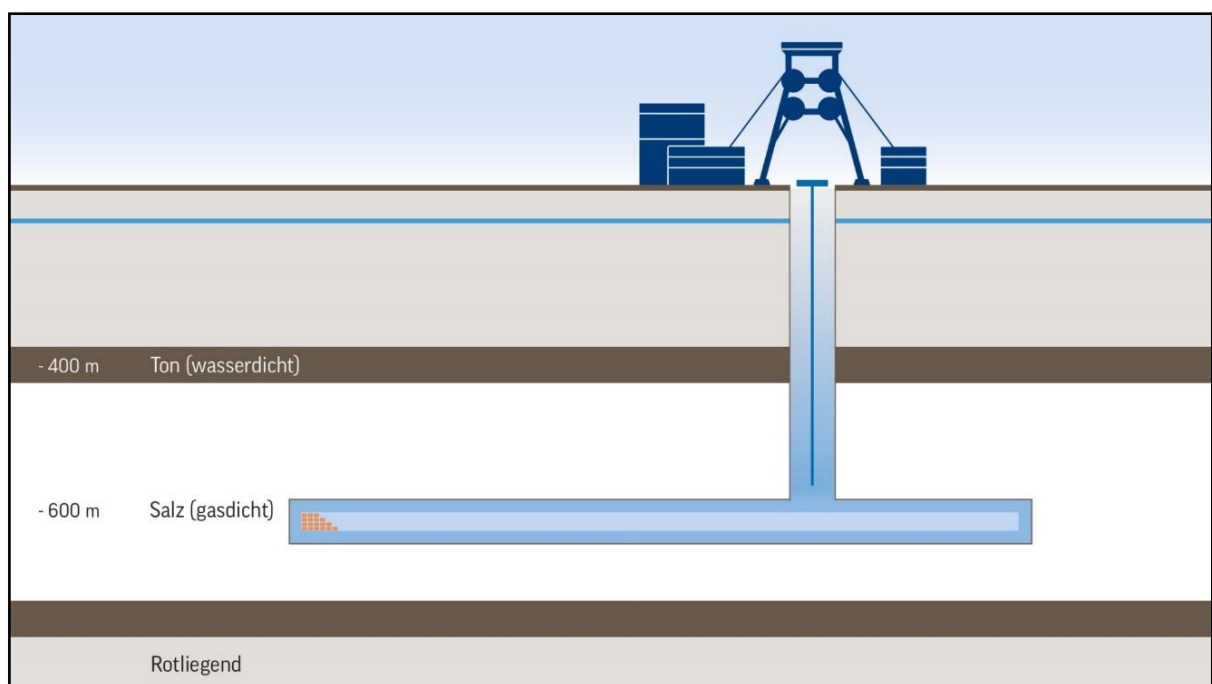


Abbildung 1: Schematische Darstellung Multi-Barrieren-System

4. Eingelagerte Abfallarten

Rückstände aus der Verbrennung von Haus-, und Sondermüll, feste Rückstände aus der chemischen oder der metallurgischen Industrie, kontaminierte Böden oder Bauschutt (z.B. mit PCB) sowie mit Arsen, Zyanid oder Quecksilber kontaminierte Abfälle sind typische Beispiele für eingelagerte Abfallarten. Alle Abfälle zur Beseitigung in einer Untertagedeponie müssen ein individuelles Zulassungsverfahren durchlaufen.

Anders als bei der Beseitigung von Abfällen auf oberirdischen Deponien, gibt es keine Limitierung hinsichtlich der Konzentration von löslichen Bestandteilen oder Schadstoffparametern, allerdings gibt es bestimmte Ausschlusskriterien.

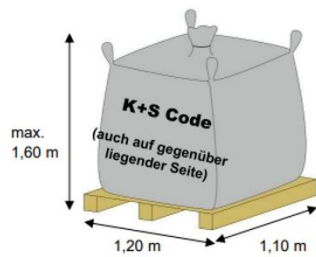
Folgende Abfälle dürfen nicht abgelagert werden:

- radioaktive Abfälle
- flüssige Abfälle (auch solche Abfälle, die freie Flüssigkeiten enthalten bzw. erst nach längerer Standzeit oder durch Erschütterungen freisetzen)
- infektiöse Abfälle sowie Körperteile und Organe,
- nicht identifizierte oder neue chemische Abfälle aus Forschungs-, Entwicklungs- und Ausbildungstätigkeiten, deren Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt nicht bekannt sind
- ganze oder zerteilte Altreifen
- Abfälle, die zu erheblichen Geruchsbelästigungen führen
- biologisch abbaubare (organische) Abfälle
- Abfälle, die unter Ablagerungsbedingungen (30° C) durch Reaktionen untereinander oder mit dem Gestein zu Volumenvergrößerungen, oder zu einer Bildung selbstentzündlicher, toxischer (> 10x AGW/MAK-Wert) oder explosiver Stoffe oder Gase (Gase > 10 % UEG1) oder zu anderen gefährlichen Reaktionen führen
- Abfälle, die unter Ablagerungsbedingungen (30° C) explosionsgefährlich
- hoch oder leicht entzündlich sind, einen stechenden Geruch freisetzen oder keine ausreichende Stabilität gegenüber den geomechanischen Bedingungen aufweisen

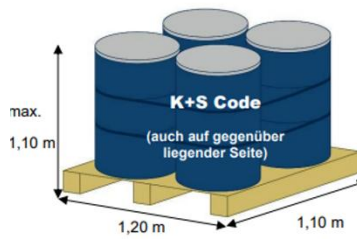
Für bestimmte Abfälle sind Ausnahmegenehmigungen möglich. Dazu zählen Abfälle, die unter die POP-Verordnung fallen, wenn keine Dekontamination möglich ist oder eine Dekontamination nicht die unter Umweltgesichtspunkten vorzuziehende Möglichkeit darstellt. Bei asbesthaltigen Abfällen kann im Einzelfall auf eine vollständige Deklarationsanalyse verzichtet werden, wenn die Abfallzusammensetzung der zuständigen Behörde bekannt ist. Für Akustikdämmplatten mit einem hohen Heizwert ist eine Ausnahmegenehmigung möglich, wenn die Ablagerung in einer Deponie der Klasse IV die umweltverträglichste Lösung darstellt. Deckenplatten mit „Künstlichen Mineral Fasern“ (KMF) enthalten mitunter gefährliche Fasern und weisen einen hohen Anteil an löslichem organischem Kohlenstoff auf. Bei Überschreitung der Grenzwerte (DK II und DK III) nach Deponieverordnung werden KMF-Platten untertage entsorgt.

5. Abfallverpackung

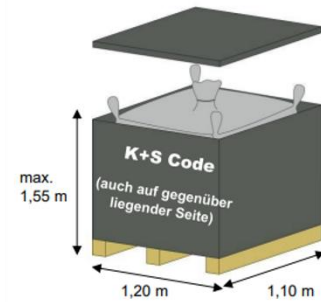
Grundsätzlich müssen Abfälle verpackt sein. Ausnahmen sind Anlieferungen im Silo-LKW, wenn in der UTD die Verpackung in BigBags erfolgt, sowie nicht verpackbare Großgeräte/Behälter nach Absprache. Die Art der Verpackung (Stahlblechfässer, Stahlblechkisten, Big-Bags) richtet sich nach den Abfalleigenschaften und wird im Rahmen des Nachweis-/Notifizierungsverfahrens verbindlich festgelegt.



Big-Bag (IBC-F)



Fassgebünde aus Stahlblechfässern



Stahlblechkiste (IBC)

6. Abfallannahme, Annahmekontrolle und Abfallentsorgung untertage

Vor einer Abfallanlieferung werden die Abfälle im Rahmen des Genehmigungsprozesses auf Ausschlusskriterien und auf ihre chemische Zusammensetzung sowie die physikalischen, chemischen und toxischen Eigenschaften analysiert und bewertet. Bevor ein Abfall angeliefert werden kann, muss ein gültiger Nachweis zur Entsorgung des Abfalls in der Untertagedeponie vorliegen. Erst dann kann der Transport geplant und angemeldet werden. Die abfallrechtlichen Begleitscheine, die Menge, die fachgerechte Verpackung und Kennzeichnung werden kontrolliert. Im Luftraum des Gebindes wird mittels Messsonde unter anderem auf leichtentzündliche Gase kontrolliert. Nach ersten Sicherheitsprüfungen folgt das Öffnen des Gebindes und die Probenahme zur chemischen Analyse des Gebindeinhalts im betriebseigenen Labor. Die Ergebnisse der Identitätskontrolle werden mit den Daten abgeglichen, die im vorangegangenen Genehmigungsprozess erhoben wurden und dokumentiert. Die Laborprobe dient als Rückstellprobe. Mit Freigabe der Anlieferung wird die Annahme des Abfalls bestätigt. Die einzelnen Paletten mit den Gebinden werden per Gabelstapler zum Schacht transportiert. Am Schachteingang untertage wird der Abfall übernommen und mit Spezialfahrzeugen zum vorbestimmten Ablagerungsort untertage verbracht. Bis zum Ziel sind es oft mehrere Kilometer. Deponieabfälle werden in Abhängigkeit von der Abfallbeschaffenheit in BigBags, Stahlblechfässern oder Stahlblech-Containern verpackt angeliefert. Durch die geringe Luftfeuchte in Salzbergwerken wird eine Außenkorrosion an den Verpackungsmaterialien verhindert. In den Stahlblechfässern und Containern werden Einlagen aus Plastik genutzt, um eine Innenkorrosion durch in den Abfällen enthaltene Feuchte zu verhindern. Obwohl ein direkter Kontakt der Abfälle untereinander durch die Behälter verhindert wird, werden aus Sicherheitsgründen Abfälle mit unterschiedlichen Eigenschaften in separaten Lagerbereichen sorgfältig gestapelt. Die Einteilung erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Abfallzusammensetzung und Abfallgenese
- Art des wesentlichen Schadstoffes
- pH-Wert
- Gasentwicklung bei Kontakt mit Wasser
- Heizwert

Die einzelnen Stoffgruppen werden durch Mauern oder Salzwälle von den übrigen Lagerbereichen abgeschottet. Während der Betriebszeit der Untertagedeponie dienen die Verpackung der Abfall-Chargen sowie das Verschließen der Einlagerungsbereiche gegeneinander und gegenüber dem aktiven Bergwerksbetrieb vor allem der Arbeitssicherheit.

7. Auslagerung von Abfällen

Die sorgfältige Dokumentation ist die Voraussetzung für die Wiederauslagerung von Abfällen, wenn die Rohstoffpreise den dafür notwendigen technischen Aufwand rechtfertigen. Aufgrund der guten Rückverfolgbarkeit ist eine Auslagerung gezielt für ein Recycling möglich und hat sich in Einzelfällen bereits als wirtschaftlich erwiesen.

8. Organisation und Dokumentation

Die Eigenschaften der Abfälle werden vor ihrer Beseitigung in einer Untertagedeponie bewertet mit der Zielstellung negative Auswirkungen während als auch in der Nachbetriebsphase auszuschließen. Untertagedeponien sind ähnlich wie Lagerhäuser organisiert: Von jedem Abfall sind Einlagerungsort und -zeitpunkt, sowie Menge und Beschaffenheit dokumentiert – einschließlich einer Rückstellprobe im Probenarchiv untertage. Somit ist jede einzelne Abfall-Charge zu jeder Zeit lokalisierbar. Die Dokumentation umfasst außerdem Verzeichnisse, Bergwerksrisse und -karten, mit vollständigen Angaben zu Deponiestandorten sowie technischen Barrieren.



Abbildung 2: Einlagerungsbereich für gefährliche Abfälle in der Untertagedeponie Herfa- Neurode

Innovativer Flächenfilter für die Sicherung PFAS-belasteter Böden in der Deponie oder im Feld

Stefan Niewerth¹, Daniel Neve², Christoph Schmüdderich³

Inhalt

1. Einleitung	79
2. Deponiebasisabdichtung und PFAS	80
3. Sickerwasserbehandlung und PFAS.....	81
4. Adsorptive Deponiebasisabdichtung.....	82
5. Effizienznachweise	84
6. Bemessung einer permeablen PFAS-Barriere für Deponien.....	86
7. Zusammenfassung und Ausblick	87
8. Literatur.....	88

1. Einleitung

Geotextile Flächenfilter – auch als permeable, reaktive Schadstoffbarrieren (PR-GBR) bezeichnet – sind Komposit-Matten, die für die Entfernung von PFAS aus Sickerwasser mit einem Kern aus Adsorbenten gefüllt sind. Sie sind durchlässig für Sickerwasser, zugleich aber eine Barriere für gelöste Schadstoffe. Sie ermöglichen eine Schadstoffaufnahme bei diffusen Quellen und sind im Zuge von Erdarbeiten einfach zu verlegen. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf den Erfahrungen mit PR-GBR für PFAS-belastete Böden. Der Umgang mit diesen Böden ist mitunter eine große Herausforderung für deren Eigentümer. Da viele der über 10.000 bekannten PFAS-Einzelverbindungen leicht wasserlöslich sind, verteilen sich die Stoffe weiträumig im Boden und gelangen ggf. auch ins Grundwasser. Das Zusammenwirken der großflächigen Ausbreitung der Stoffe durch ihre leichte Wasserlöslichkeit und den geltenden rechtlichen Regelungen führen dazu, dass vielerorts große Mengen an Boden deponiert werden. Das ohnehin abnehmende Deponievolumen, weite Transportstrecken und hohe Kosten für die stationäre Deponiesickerwasserbehandlung sind Preistreiber für die Deponierung der Böden. PR-GBR bieten eine effiziente Möglichkeit PFAS an der Ausbreitung im Boden zu hindern. Sie werden unterhalb des rückverfüllten Bodens verlegt, um so die gelösten Schadstoffe aus dem Bodensickerwasser direkt zu filtern. Ein Anwendungsbeispiel ist die Ertüchtigung der Basisabdichtung von Deponie(abschnitten). PR-GBR ersetzen hierbei das Trenn- und Filtervlies oberhalb der mineralischen Dränschicht und verhindern so die Ausbreitung der PFAS über die Dränage. Der Deponiebetreiber wird auf diese Weise in die Lage versetzt PFAS-belastete Böden anzunehmen, ohne die stationäre Sickerwasserbehandlungsanlage mit PFAS zu verunreinigen. Die Leistungsfähigkeit der PR-GBR wurden in Labor- und Feldversuchen nachgewiesen.

¹ Dr.-Ing. Stefan Niewerth, HUESKER Synthetic GmbH, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, 02542/701-327, niewerth@huesker.de

² Dipl.-Ing. Daniel Neve, HUESKER Synthetic GmbH, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher.

³ Dr.-Ing. Christoph Schmüdderich, HUESKER Synthetic GmbH, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher.

2. Deponiebasisabdichtung und PFAS

Deponiebasisabdichtungen bestehen aus mehreren technischen Schichten und sind ein wesentlicher Bestandteil der modernen Deponiekonstruktion. Sie sollen das Sickerwasser eindämmen und so verhindern, dass es die umliegende Biosphäre verunreinigt. Von unten nach oben besteht ein modernes Verbundauskleidungssystem einer Deponiebasisabdichtung aus einer geologischen Barriere, einer mineralischen Dichtschicht und einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB). Darauf folgt eine mineralische und/oder geosynthetische Schutzschicht und eine mineralische Drainageschicht. Zwischen der Drainageschicht und dem Abfall befindet sich ein Trenn-/Filtervlies, wie in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 4: Aufbau einer
Deponiebasisabdichtung**

Die KDB aus hochdichtem Polyethylen (PE-HD) bildet eine dauerhafte, flexible und wasserundurchlässige Barriere. Zusammen mit der mineralischen Dichtschicht verhindert sie, dass Sickerwasser in das darunter liegende Erdreich eindringt. Die Drainageschicht oberhalb der Schutzlage besteht aus grober, wasserableitender Gesteinskörnung. Sie fasst das Sickerwasser und leitet es zum Sickerwassersammel- und -behandlungssystem der Deponie. Diese Schicht verringert auch den hydraulischen Druck auf die Abdichtung und minimiert so das Potenzial des Wassertransports durch Leckagen. Zu beachten sei, dass die Leistungsfähigkeit dieses

Barriersystems für PFAS gesondert zu betrachten ist. Der Grund hierfür ist, dass die Schadstoffe aufgrund ihrer hohen Mobilität und ihres Diffusionspotenzials in der Lage sind durch Deponieauskleidungen zu migrieren. Der Transport durch die Abdichtung erfolgt dabei hauptsächlich mittels drei Mechanismen:

- **Advektion:** Bei dem Mechanismus werden Schadstoffe mit der Bewegung von Wasser transportiert. Bei Rissen und Fehlstellen in der Abdichtung kann PFAS-belastetes Sickerwasser mittels Advektion durch Öffnungen und Fehlstellen abfließen.
- **Diffusion:** Angetrieben durch ein Konzentrationsgefälle besitzen PFAS-Moleküle das Potenzial (sehr langsam) durch das Dichtungssystem zu diffundieren. Aufgrund ihrer geringen Molekülgröße und Persistenz können PFAS im Laufe der Zeit in das Strukturgefüge der PE-HD Dichtungsbahn eindringen und folglich durch die Abdichtung gelangen (Rowe & Somuah, 2023).
- **Sorption und Desorption:** Auch wenn Tonminerale PFAS-Moleküle vorübergehend adsorbieren, ist dieser Prozess reversibel. Änderungen der Umweltbedingungen, wie z. B. pH- oder Temperaturschwankungen, können dazu führen, dass zuvor adsorbierte PFAS desorbieren und erneut in das Sickerwasser gelangen, was zu einer verzögerten, aber anhaltenden Freisetzung von PFAS aus der Deponie führt.

Basierend auf Forschungsergebnissen von u.a. Bonaparte (2002) für Advektionsprozesse und DiBattista et al. (2023) sowie Rowe & Somuah (2023) für die Diffusion ist es möglich, die Menge an PFAS abzuschätzen, die jährlich durch ein modernes Deponieauskleidungssystem austreten könnte (Zusammengefasst als Whitepaper verfügbar auf <https://www.huesker.de/geokunststoffe/Anwendungsbereiche/Umwelttechnik/Altlasten-Bodensanierung/>). Derartige Berechnungen berücksichtigen statistische Daten für Materialschwachstellen und baubedingte Fehlstellen. Tan und

Benson (2023) rechnen vor, dass eine doppellagige Abdichtung (gemäß amerikanischem Vorbild, aber technisch i.W. vergleichbar mit deutscher Basisabdichtung nach DepV) mit statistischer Menge an Fehlstellen, PFAS mit einer geschätzten Rate von 0,28 ng/m²/Jahr entweichen lässt. Ausgehend von der Vereinfachung, dass sämtliche PFAS-Einzelverbindungen in ihrer Zusammensetzung PFOS ähnlich sind, entspricht dies auf einer einen Hektar großen Basisabdichtung über einen Zeitraum von einem Jahr einer PFOS-Menge von 7,5 µg. Dies ist in gewisser Hinsicht eine geringe Menge, die aber erwähnenswert ist, wenn man sie in Bezug zu den europäischen Trinkwasserleitwerten stellt. Die hohe Mobilität von PFAS führt dazu, dass selbst gut konzipierte, moderne Basisabdichtungen eine Migration der Stoffe auf lange Sicht nicht vollständig verhindern können. Dies unterstreicht die Bedeutung robuster Überwachungssysteme und zudem den Bedarf einer technischen Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen.

3. Sickerwasserbehandlung und PFAS

Selbst wenn unterstellt werden könnte, dass aus einer Deponiebasisabdichtung keine PFAS migrieren, bleibt die Behandlung des Deponiesickerwassers eine Herausforderung. Herkömmliche Sickerwasserbehandlungsmethoden, wie eine biologische Behandlung, Koagulation und Sedimentation, sind aufgrund der Resistenz der Chemikalie gegenüber dem Abbau und der Tendenz, in der Wasserphase zu verbleiben, unwirksam für die Entfernung von PFAS. Folglich sind spezielle Technologien erforderlich, um PFAS-kontaminiertes Sickerwasser wirksam zu behandeln. Die am häufigsten eingesetzten Verfahren sind die Adsorption an Aktivkohle oder Ionenaustauscherharzen oder Formen der Membranfiltration, wie die Umkehrosmose. Aktivkohle adsorbiert PFAS-Moleküle an seiner Oberfläche und entfernt sie so effektiv aus dem Wasser. Sie ist insbesondere effektiv für langkettige PFAS-Verbindungen und muss bei der Anwesenheit kurzkettiger PFAS oder hoher Konzentrationen vergleichsweise häufig ausgetauscht oder regeneriert werden. Ionenaustauscherharze sind ebenfalls äußerst wirksam für die Entfernung von PFAS aus Sickerwasser. Kurzkettige PFAS können mit speziell selektiven Ionentauscher effektiv abgereinigt werden. Diese Aktivstoffe wirken nicht nur durch Adsorption, sondern tauschen die PFAS-Ionen im Sickerwasser durch ungefährliche H⁺-Ionen aus, die an das Harz gebunden sind. Auf diese Weise entfernen sie PFAS selektiver aus der Lösung als es z.B. mit Aktivkohle oder anderen mineralischen Aktivstoffen der Fall ist. Die Umkehrosmose ist ebenfalls sehr wirksam bei der Abtrennung von PFAS aus Sickerwasser. All diese Behandlungstechnologien benötigen – neben elektrischer Energie und Frischwasser – eine entsprechende Infrastruktur und Betriebsanlagen. Sie gehen einher mit Investitionskosten für die Beschaffung sowie Betriebskosten für Wartung, Instandhaltung, Reinigung und Energieverbrauch. Nach der Nutzung fallen Entsorgungs- oder Regenerierungskosten für die Aktivstoffe oder die in Membrananlagen anfallende Sole an. Die Entsorgung beladener Aktivstoffe erfolgt häufig durch Hochtemperaturverbrennung. Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Vorhandensein von PFAS in Deponiesickerwasser sowohl für die Eindämmung als auch für die Behandlung eine große Herausforderung darstellt. Moderne Deponiebasisabdichtungen sind zwar für viele Schadstoffe wirksam, können aber aufgrund der einzigartigen chemischen Eigenschaften die Migration von PFAS nicht vollständig verhindern. Die Entwicklung effizienterer und kostengünstigerer Rückhaltelösungen ist insofern von entscheidender Bedeutung.

4. Adsorptive Deponiebasisabdichtung

4.1 In-situ Sickerwasserbehandlung

Die meisten Deponien in Europa verwenden Verbundabdichtungssysteme, wie in Kapitel 2 beschrieben, um Sickerwasserströme zu fassen und abzuleiten. Eine innovative Möglichkeit zur Systemverbesserung ist die Verwendung einer weiteren Komponente oberhalb der mineralischen Drainageschicht, die PFAS selektiv aus dem Sickerwasser entfernt (Martins, 2022). Permeable, reaktive Schadstoffbarrieren (PR-GBR) ersetzen das Trenn-/Filtervlies zur Behandlung des Sickerwassers vor dem Verlassen der Deponie bzw. des Deponieteilbereichs, der speziell für die Rückfüllung mit PFAS-Böden hergerichtet ist. Geotextile Schadstoffbarrieren stellen einen neuen und grundlegend anderen Ansatz zum Schutz von Boden und Grundwasser dar. Sie schützen den Untergrund, indem sie umweltrelevante Stoffe aus dem Sickerwasser entfernen, während das Wasser durch den Flächenfilter perkoliert, wie in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Im Sickerwasser werden die Chemikalien angereichert und zur Basisabdichtung transportiert. Vor dem Eintritt in die Drainageschicht entnimmt die PR-GBR die PFAS mit einer Effektivität, um definierte Grenzwerte einzuhalten.



Abbildung 5: Schematische Darstellung in-situ Sickerwasserbarriere oberhalb der Basisabdichtung und Schadstoffanreicherungskurve (Niewerth, 2021)

4.2 Geotextile, permeable, reaktive Schadstoffbarrieren (PR-GBR)

4.2.1 Geotextile Komponenten

Die geotextilen Komponenten einer PR-GBR bestehen aus Geweben und/oder Vliesstoffen. Sie werden durch mechanische Verfestigungstechniken wie Vernadelung oder Vernähung miteinander fixiert. PR-GBR haben einen Durchlässigkeitskoeffizienten $k \geq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Dies ist wichtig, um sicherzustellen, dass das Sickerwasser ungehindert durch die Schadstoffbarriere fließen kann. Die geotextilen Komponenten übernehmen anwendungsspezifische Funktionen (Niewerth & Wilke, 2021). Sehr wichtig für den Einsatz in Deponieauskleidungssystemen ist die Trenn- und Filtrationsfunktion im Sinne der ISO 10318-1:2018:

- **Trennung:** Verhinderung der Vermischung benachbarter ungleicher Böden und/oder Schüttmaterialien durch den Einsatz eines Geokunststoffes.
- **Filtration:** Verhinderung des unkontrollierten Durchgangs von Boden oder anderen Partikeln, die hydrodynamischen Kräften ausgesetzt sind, während der Durchgang von Flüssigkeiten in

oder durch ein geosynthetisches Material ermöglicht wird. Für den Einsatz in der Deponie sind in Deutschland die sog. BAM-Richtlinien einzuhalten.

- **Verstärkung:** Nutzung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens eines geosynthetischen Materials zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Bodens oder anderer Baumaterialien.

Darüber hinaus ist die Haltbarkeit der Materialien für den Einsatz in Deponien von großer Bedeutung. Die technischen Anlagen werden für eine Lebensdauer von 100+ Jahren gebaut. Daher müssen alle Komponenten ebendiese Langlebigkeit nachweisen. Mit Hilfe von Oxidationstests kann die Alterung der geotextilen Komponenten simuliert werden, um Aussagen über deren Lebensdauer in-situ zu treffen.

4.2.2 Aktivschicht

Aktivstoffe bzw. Adsorbenten sind Materialien, die umweltrelevante Schadstoffe aus einem flüssigen oder gasförmigen Medium entfernen und an ihre äußere Struktur binden. PFAS ist eine Gruppe, die aus mehreren tausend verschiedenen Einzelverbindungen besteht. Die Variation der Kohlenstoffkettenlänge und des Funktionskopfes führt zu der großen Bandbreite unterschiedlicher Molekülstrukturen. Zugleich muss berücksichtigt werden, dass in Deponiesickerwässern immer auch andere Störstoffe und Co-Kontaminanten in hohen Konzentrationen vorhanden sind. In diversen durch die Fa. HUESKER beauftragten oder eigens durchgeführten Studien hat sich ein besonderer Ionentauscher, selbst bei einer vergleichsweise kurzen Kontaktzeit mit dem Sickerwasser, als hochwirksam für die Entfernung eines breiten Spektrums einzelner PFAS-Verbindungen erwiesen. Neben der hohen Wirksamkeit des Mediums ist auch die Beladungskapazität für viele einzelne PFAS-Verbindungen hoch. Je nach Zusammensetzung des Sickerwassers ist die Kapazität des Ionentauschers wesentlich größer als die von Aktivkohle oder organophilen Tonen. Ein weiterer Vorteil ist die starke Bindung zwischen den PFAS und dem Aktivstoff. Der Ionenaustausch erschwert die Desorption deutlich, selbst bei Anwesenheit von Lösungsmitteln. Diese Eigenschaft ist für Langzeitanwendungen von großer Bedeutung. In den umfangreichen Testprogrammen zeigte sich, dass die Zugabe von Aktivkohle zum Ionentauscher für die spezifische Anwendung mit Bodeneluat diverse Vorteile mitbringt. Die Wirksamkeit der Sorbenten für ein bestimmtes Zielmolekül kann stark variieren, wenn bestimmte Co-Kontaminanten vorhanden sind. Zu den typischen Verunreinigungen, die mit Auswirkungen auf die Kapazität einhergehen, gehören gelöste organische Verbindungen (DOC), gelöste Anionen, wie Chlorid oder Sulfat, schwere organische Stoffe, wie Öle und Fette, sowie feine Partikel und Schwebstoffe. Trotz der starken Affinität für PFAS konkurrieren auch andere Anionen und DOC mit den PFAS-Molekülen um freie adsorptive Austauschstellen. Außerdem können sich DOC mit hohem Molekulargewicht auf der Oberfläche ansammeln und den Zugang zu den Oberflächen und Poren beeinträchtigen. Neben den Vorteilen der verschiedenen Aktivstoffe ist auch die Interaktion des Sickerwassers mit den Geotextilien wichtig für die Langlebigkeit der Schadstoffbarriere. Wie eingangs erwähnt, sind Schwebstoffe, feine Partikel oder größere Verunreinigungen problematisch für den Aktivstoff. In fast jedem Deponiesickerwasser sind diese feinen Partikel vorhanden. Daher muss verhindert werden, dass sich das Granulat zusetzt und den Zugang zur funktionalen Oberfläche oder den Poren des Mediums beeinträchtigen. Geeignete Deckvliese mit einer definierten Öffnungsweite sind für die Filtration und den Schutz der Aktivschicht erforderlich.

5. Effizienznachweise

Im Rahmen diverser Projektvorversuche wurden Perkolationstests in Glassäulen mit 5 cm Durchmesser, KG-Rohren mit 300 cm Durchmesser und Kunststoffcontainer mit 1 m³ Füllvolumen (sogenannte IPCs) durchgeführt. Ebenso wurden Feldversuche durchgeführt, bei denen Haufwerke aufgeschüttet und das Perkolat gesammelt wurde. Alle Labor- und Feldversuche zeigen eine hohe Wirksamkeit gegenüber PFAS, sowohl für kurz- und langkettige perfluorierte Sulfon- und Carbonsäuren als auch für Fluortelomeralkohole. Beispielhaft wird das Ergebnis einer Masterarbeit (Glaab, 2025) mit Böden von verschiedenen Standorten in Kap. 5.1 in aller Kürze vorgestellt. Außerdem wird in Kap. 5.2 das Ergebnis eines Säulenversuchs gezeigt, welches die hohe Relevanz der Kinetik bzw. Durchflussgeschwindigkeit des Sickerwassers auf die Effizienz des Flächenfilters aufzeigt.

5.1 Großmaßstäbliche Säulenversuche, Fokus Langzeiteffektivität

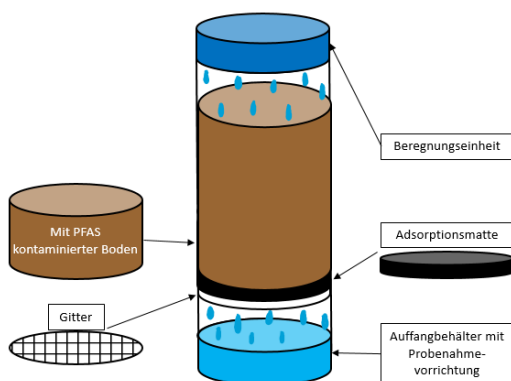


Abbildung 3: Schematischer Versuchsaufbau
(Glaab, 2025)

Glaab (2025) beprobte Sickerwasser, welches durch eine 1 m mächtige Schicht aus PFAS-belasteten Böden und eine PR-GBR vom Typ Tektoseal® Active PFAS 2000 AI (WB) der Fa. HUESKER perkoliert. Der Aufbau des Versuchs ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt. Dabei wurden zwei Böden, die durch Feuerlöschschäume kontaminiert wurden und ein landwirtschaftlich genutzter Boden, welcher durch Papierschlämme kontaminiert wurde, untersucht. Alle Böden sind im Sinne der Verwertungsklassen (VK) des Bundeseinheitlichen Leitfadens zur PFAS-Bewertung (BMUV, 2022) als > VK 3 einzustufen. Über eine Dauer von 30 Tagen wurde an

jedem Tag die durchschnittliche Niederschlagsmenge eines Jahres aufgebracht (692 mm/m², Durchschnitt der Jahre 2009 – 2023, Darmstadt). Entsprechend ergibt sich eine Vorschau über die Produktleistungsfähigkeit nach 30 Jahren im Zeitraffer.

Im Folgenden werden die Ergebnisse an zwei Böden näher betrachtet und die PFAS-Konzentrationen im Eluat und im Boden mit und ohne Verwendung der PR-GBR bewertet. Bei der Untersuchung der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser zeigte sich, dass alle untersuchten Einzelverbindungen durch die PR-GBR über den Versuchszeitraum effizient aus dem Sickerwasser entfernt werden konnten. Aus Kostengründen wurde nicht täglich beprobt, sondern lediglich das Sickerwasser ohne Flächenfilter sowie die Eluate an den Tagen 5, 25 und 30. Abbildung 4 zeigt die gemessenen Sickerwasserkonzentrationen ohne PR-GBR und die Konzentrationen an den unterschiedlichen Zeitpunkten.

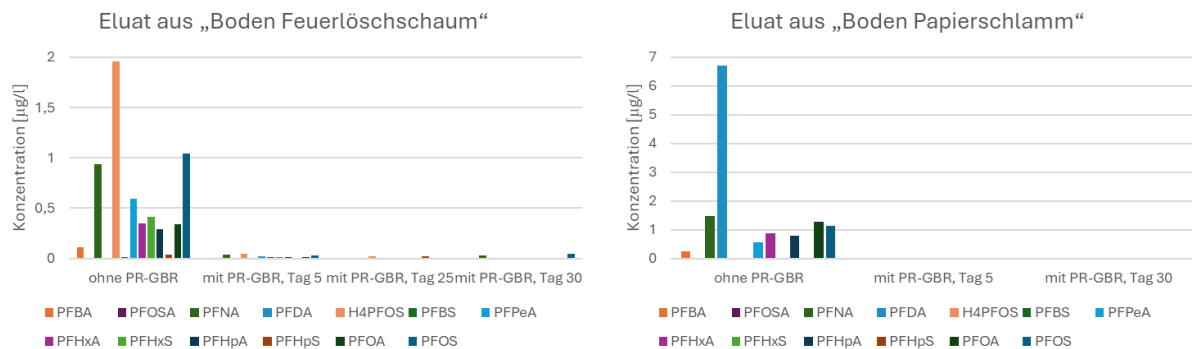


Abbildung 4: PFAS-Sickerwasserkonzentrationen nach 30-jähriger Wasserfracht (Glaab, 2025)

Neben der PFAS-Konzentration im Sickerwasser mit und ohne PR-GBR wurde der PFAS-Transport innerhalb der Bodenschichten untersucht, um die Mobilisierung innerhalb des Bodens zu beschreiben. Es stellte sich die Frage, ob die Böden in-situ „PFAS-frei“ gewaschen werden können. Diese Frage konnte nicht eindeutig beantwortet werden, jedoch konnten Tendenzen erkannt werden. Bei einem Boden waren nach der 30-jährigen Niederschlagsmenge (entspricht ungefähr einem Wasser-zu-Feststoff-Verhältnis von 21:1) ein deutlicher Transport erkennbar (nach Elution noch VK 1 in oberen 50 cm und VK 2 in unteren 50 cm). Bei zwei anderen Böden hat die Konzentration zwar abgenommen, lag aber immer noch bei > VK 3. Auch wenn somit die Forschungsfrage zunächst noch offenbleibt, gibt die Auswertung doch ein Bild über die Zukunftsaussichten im Zusammenhang mit der Anwesenheit von PFAS in unseren Böden.

5.2 Kleinmaßstäbliche Säulenversuche, Fokus Kinetik

In Vorversuchen für ein Projekt im europäischen Ausland wurde die Effektivität der PR-GBR bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten untersucht. Dabei wurde die Strömung mit einer Peristaltikpumpe variiert und der Flächenfilter laminar angeströmt. Der Versuch bestätigt die Theorie, nachdem die Kontaktzeit des Sickerwassers in der Aktivschicht ausschlaggebend für die Behandlungseffektivität ist, wie die Analytik in Tabelle 1 zeigt.

Tabelle 1: Sickerwasseranalyse bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten durch eine PR-GBR

Parameter [µg/l]	Rohwasser	Eluat bei 0,5 m/d	Eluat bei 1,0 m/d	Eluat bei 2,0 m/d
Perfluorbutansäure (PFBA)	0,041	0,002	0,005	0,008
Perfluorpentansäure (PFPeA)	0,101	0,001	0,008	0,016
Perfluorhexansäure (PFHxA)	0,129	0,004	0,010	0,020
Perfluorheptansäure (PFHpA)	0,137	0,004	0,011	0,017
Perfluoroctansäure (PFOA)	1,038	0,027	0,072	0,136
Perfluornonansäure (PFNA)	0,051	0,001	0,002	0,006
Perfluordekansäure (PFDeA)	0,007	0,000	0,000	0,000
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	0,033	0,001	0,002	0,004
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,917	0,015	0,047	0,095
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	0,165	0,003	0,009	0,020
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	3,956	0,007	0,048	0,182

1H,1H,2H,2H-Perfluorooctan-sulfonsäure (6:2FTS)	0,124	0,003	0,006	0,012
Perfluorooctansulfonamid (PFOSA)	0,031	0,001	0,012	0,024
Summe PFAS	15,514	0,042	0,190	0,524

Für die Planung und Dimensionierung von PR-GBR ist insofern das Zusammenwirken von umliegendem Boden und Flächenfilter von hoher Relevanz. Je grobkörniger der Boden ist, desto höher ist seine Wasserdurchlässigkeit, gemessen als Durchlässigkeitskoeffizient k_f . Entsprechend muss bei Anwesenheit hoher Fließgeschwindigkeiten für eine hohe Effektivität ggf. auch die Schichtstärke der Aktivschicht angepasst werden. Zur besseren Einschätzung der Perkulationsgeschwindigkeiten, können äquivalente Durchlässigkeitsbeiwerte bestimmt werden. So ergeben sich für 0,5 m/d, 1,0 m/d und 2,0 m/d jeweils Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f = 5,8 \cdot 10^{-6}$ m/s, $1,16 \cdot 10^{-5}$ m/s und $2,31 \cdot 10^{-5}$ m/s. Bei diesen Durchflüssen konnten für ein Produkt mit 2000 g/m² Flächengewicht in der Aktivschicht für die Summe der PFAS die jeweiligen Effektivitätsniveaus von 99,7 %, 98,8 % und 96,6 % (in der Reihenfolge der Geschwindigkeiten) bestimmt werden. Im Einzelfall sollte jedoch mit den Projektverantwortlichen und den Prüf- und Genehmigungsstellen geklärt werden, welche absoluten Zielwerte zu erreichen sind. Hierfür können unter anderem die VK-Werte aus dem Bundeseinheitlichen Leitfaden für PFAS-Bewertung (BMUV, 2022) herangezogen werden. Beim Anwendungsfall auf der Deponie erfolgt die Versickerung in der ungesättigten Bodenzone vertikal mit der Gravitation. Die Wasserhaltefähigkeit des Bodens ist somit ebenfalls eine wichtige Kenngröße. Sie variiert mit der Bodenart, dem Humusgehalt und der Bodenstruktur bzw. Kornverteilung.

6. Bemessung einer permeablen PFAS-Barriere für Deponien

Eine Herausforderung bei der Planung von PR-GBR für Deponien besteht darin, dass in der Planungsphase keine oder nur wenige Informationen über den später eingelagerten Boden zur Verfügung stehen. Folglich ist die PFAS-Sickerwasserkonzentration unbekannt und muss unter Berücksichtigung eines angemessenen Sicherheitsfaktors festgelegt werden. Da PR-GBR das Sickerwasser filtern, muss die Menge gelöster PFAS, die während und nach dem Betrieb der Deponie durch den Flächenfilter perkoliert, berücksichtigt werden. Sobald die Oberflächenabdichtung installiert ist, wird das Sickerwasservolumen stark abnehmen und langfristig bestenfalls gänzlich ausbleiben. Grund dafür ist, dass aufgrund der Oberflächenabdichtung kein oder nur sehr geringe Mengen des Niederschlagwassers in den Deponiekörper eindringen können. Für die Kapazitätsberechnung kann der verfüllte Boden in einer Deponie daher als zeitlich begrenzte Quelle angesehen werden. Kenntnisse über die Adsorptionskapazität einer PR-GBR erlauben aufschlussreiche Schätzungen zur Langlebigkeit des Flächenfilters. In Simini & Niewerth (2023) wurden dafür Kapazitätsisochrone aus mehreren Labor- und Feldmessungen abgeleitet. Diese sind für zwei PR-GBR mit unterschiedlichen Mengen an Adsorber in Abbildung 5 dargestellt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Isochronen projektspezifisch überprüft werden sollten.

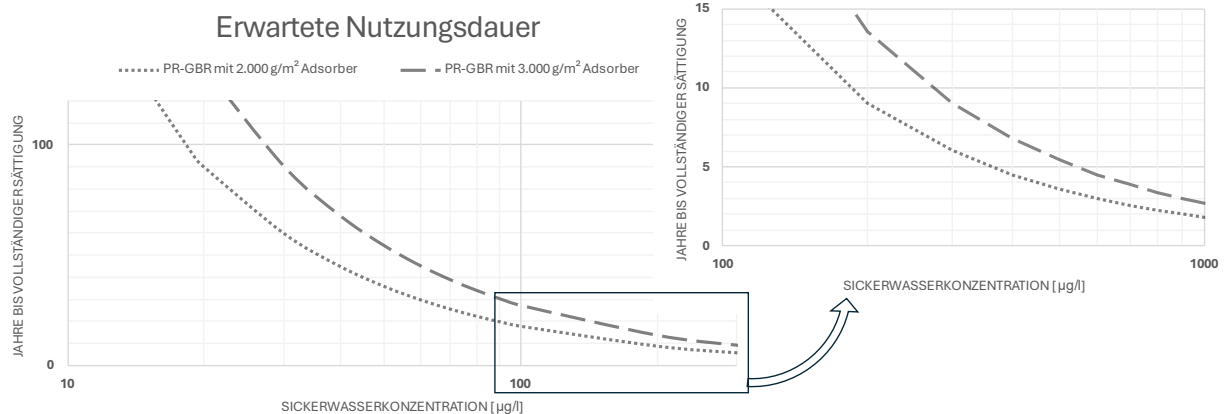


Abbildung 5: Kapazitätsisochronen für PFAS-selektive PR-GBR der Fa. Huesker

Beispielhafter Einsatz der Kapazitätsisochronen: Auf einer Deponie werden Böden mit unterschiedlichen Konzentrationen von mäßig bis stark kontaminiert abgelagert. Daher muss eine durchschnittliche Sickerwasserkonzentration im Vorfeld abgeschätzt werden. Der Deponiebetreiber kann zudem eine Höchstkonzentration für den annehmbaren Boden festlegen, um unterhalb der definierten, maximalen Sickerwasserkonzentration zu bleiben. Die frühere Nutzung des Bodens gibt Hinweise auf Co-Kontaminanten. Der Boden eines Flughafens enthält z.B. häufig kaum Co-Kontaminanten, wohingegen der Boden eines ehemaligen Galvanikstandortes zumeist auch Metalle enthält, die in Lösung gehen können. Entsprechend sollte im Rahmen der Eingangskontrolle die Menge der jeweils eingelagerten Böden überwacht und ggf. reguliert werden. Bei einem beispielhaften Durchschnittswert von 200 µg/l, kann eine Nutzungsdauer einer PR-GBR mit 3.000 g/m² Aktivstoff (Typ Tektoseal Active PFAS 3000 AI (WB)) von mehr als 13 Jahren ermittelt werden. Damit könnte die Deponie beispielsweise 6 Jahre betrieben werden, bevor eine Oberflächenabdichtung zu errichten ist. Danach hat das System weitere 7 Jahre rechnerische Kapazität um restliches, im Boden vorhandenes Sickerwasser zu filtern. Das Flächengewicht der Aktivschicht kann bei Bedarf weiter erhöht werden, was zu einer flexiblen Gestaltung des adsorptiven Auskleidungssystems der Deponie führt (Niewerth et al., 2022).

7. Zusammenfassung und Ausblick

PFAS stellen aufgrund ihrer Persistenz und Mobilität eine große Herausforderung für das Bodenmanagement dar. Es ist höchstwahrscheinlich, dass noch viele Jahre ein großer Teil der gelösten Böden auf Deponien abgelagert wird. Herkömmliche Basisabdichtungen können die Migration von PFAS nach heutigem Wissensstand nicht gänzlich verhindern, was den Bedarf an wirksameren technischen Möglichkeiten verdeutlicht. Permeable, reaktive Schadstoffbarrieren aus Geotextilien und Aktivstoffen (PR-GBR) bieten eine neue Lösung für den Rückhalt von PFAS. Sowohl Labor- als auch Feldversuche bestätigten, dass spezielle PR-GBR PFAS effektiv an der Ausbreitung hindern und so die Freisetzung aus Deponiekörpern deutlich einschränken. In Anbetracht des zunehmenden regulatorischen Drucks hinsichtlich der Grenzwerte für PFAS in Böden und Wasser kann die Einbeziehung von PR-GBR in Deponiekonzepte eine praktische Methode zur Verbesserung der langfristigen Rückhaltung darstellen. Die vielversprechenden Erkenntnisse zeigen, dass dieser Ansatz Risiken mindern und zu einem sichereren und nachhaltigeren Deponiebetrieb beitragen kann.

Künftig könnte eine weitere, ggf. nachhaltigere Möglichkeit im Umgang mit PFAS-kontaminierten Böden die Umlagerung und Sicherung der Böden am Entnahmeort, z.B. in einem technischen Bauwerk, sein. Bei diesem Lösungsansatz wird das Material ortsnahe als Baustoff wiederverwendet. Im Gegensatz zur abgedichteten Standardbauweise für technische Bauwerke aus Böden mit umweltrelevanten Inhaltstoffen gemäß dem Merkblatt MTSE ermöglicht die Sicherung mithilfe von PR-GBR den offenen Einbau der Böden. Dabei wird die Schadstoffbarriere unterhalb des technischen Bauwerks verlegt. Der infiltrierende Niederschlag löst die Schadstoffe aus der Bodenmatrix und transportiert sie zum Schadstofffilter. Hier werden die PFAS aus dem Wasser entnommen, ehe es in den Untergrund versickert. Diese Sicherungsmaßnahme spart lange Transportstrecken und Deponievolumen.

8. Literatur

- BMUV (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung; Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.
- Bonaparte, R.; Daniel, D.E.; and Koerner, R.M. (2002): Assessment and Recommendations for Improving the Performance of Waste Containment Systems, EPA/600/R-02/099 EPA National Risk Management Research Laboratory.
- DiBattista, V. et.al. (2023): PFOA and PFOS diffusion through LLDPE and LLDPE coextruded with EVOH at 22 °C, 35 °C, and 50 °C, Waste Management, Volume 117, 2020, Seiten 93-103, ISSN 0956-053X.
- Glaab, A. (2025): Untersuchung über eine Sanierung/ Sicherung von PFAS-belasteten Böden durch den Einsatz von aktiven Geoverbundstoffen, Masterarbeit Hochschule Darmstadt.
- Martins, G. (2022): Geosynthetic Barriers for PFAS containment: current options, historical precedents and new materials, Proceedings of 2022 Annual conference Institute of Public Works Engineering Australasia, Brisbane, Australia, Oktober, 2022.
- Niewerth, S. (2021): Landscaping with PFAS contaminated soil and thin permeable Barriers, Proceedings of the 12th International SedNet Conference, 28 Juni – 2 Juli 2021.
- Niewerth, S.; Carbone, L.; Lassnig, H. (2022): Passive Dekontamination von PFC-Böden im Landschaftsbauwerk mittels Sorptionsmatte, Proceedings of Recy und DepoTech, Leoben, Austria.
- Niewerth, S.; Wilke, W. (2021): Sanierung schadstoffbelasteter Sedimente in Oberflächengewässern mithilfe aktiver Geoverbundstoffe, GeoResources, Volume 3, Seiten 7-13.
- Rowe, K; Somuah, M. (2023): Effects of perfluoroalkyl substances (PFAS) on antioxidant depletion from a high-density polyethylene geomembrane, Journal of Environmental Management, Volume 328, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116979>.
- Simini, A.; Niewerth, S. (2023): Alternativa al conferimento in discarica, Recycling Journal, Volume 4, Seiten 102-107.
- Tan, Y.; Benson, C. (2023): Effectiveness of Composite Liners in Containing PFAS, Proceedings of WM2023 Conference, Februar 26 – März 2, 2023, Phoenix, Arizona, USA.

25 Jahre Betrieb der Lysimeteranlage Lemförde für Oberflächenabdichtungen mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen

Antje Müller¹, Lars Thiede²

Inhalt

1. Einleitung	89
2. Aufbau der Lysimeter.....	90
3. Ergebnisse	91
4. Schlussfolgerungen	97
5. Literatur	98

1. Einleitung

Bentonitmatten stellen in mehrschichtigen Oberflächenabdichtungen eine Alternative zur klassischen Tondichtungsschicht dar. Aufgrund ihrer geringen Mächtigkeit sowie der starken Abhängigkeit des Bentonits vom Wassergehalt zählen sie zu den besonders empfindlichen geotechnischen Bauelementen. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Eigenschaft der Bentonitmatten (im Weiteren auch GTD genannt), unter geeigneten Randbedingungen nach Trockenphasen eine anforderungskonforme Abdichtungsfunktion wiederherstellen zu können.

Verschiedene Untersuchungen zur Messung der Wirksamkeit von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTDs) unter Randbedingungen ähnlich zu Deponieabdeckungen wurden in [1], [2] und [3] beschrieben. Die meisten dieser und ähnlicher Feldversuche wurden durchgeführt, um die Dichtungswirksamkeit von GTDs nachzuweisen, wobei die Auswirkungen von Trocknungs- und Vernässungszyklen aufgrund von Niederschlagsschwankungen oder verschiedenen Überdeckungen und Bentonitstrukturen nicht spezifisch untersucht wurden.

Aus diesem Grund wurden in Lemförde sechs Lysimeter mit verschiedenen Aufbauten errichtet, um das langfristige Abdichtungsverhalten von GTDs zu untersuchen ([4], [5] und [6]). Diese Untersuchungen an GTDs mit Füllungen aus Natriumbentonitpulver sowie Natriumbentonitgranulat werden seit 1999 betrieben. In den Jahren 2002 und 2010/2011 wurden die Überdeckungen der GTDs erneuert, um den Einfluss der Wasserdurchlässigkeit und Speicherkapazität der Überdeckungsmaterialien auf die Wirksamkeit der GTDs weiter zu untersuchen.

Der vorliegende Beitrag fasst eine der weltweit am längsten durchgeführten Untersuchungen zur Funktionsweise von GTDs zusammen, die seit mehr als 25 Jahren durchgeführt wird, und stellt zentrale Ergebnisse vor.

¹ Prof. Dr.-Ing. Antje Müller -Kirchenbauer, HSBI, Hochschule Bielefeld, Campus Minden

² Lars Thiede , MKP Müller-Kirchenbauer Ingenieurgesellschaft mbH, Neustadt a. Rübenberge

2. Aufbau der Lysimeter

Mithilfe eines Lysimeters lässt sich ein „geschlossener“ Ausschnitt eines Abdichtungssystems modellieren, weshalb zur Auswertung der Untersuchungen eine vereinfachte Wasserbilanzgleichung angenommen wird.

$$N - ET - (DS + DA) - \Delta S = 0 \quad (1)$$

mit: N : Niederschlag; ET : Evapotranspiration; DA : drainiertes Wasser; DS : durch die GTD durchsickerte Wasser; S : Speicherwasser

Abbildung 1 zeigt die Errichtung der sechs Lysimeter (Lysimeter 1 bis 6 mit 2,0 m Durchmesser und 3,0 m Höhe), welche 1998 in einem hügelartigen Bodenkörper installiert wurden. So können Einflüsse wie Temperaturschwankungen minimiert werden.

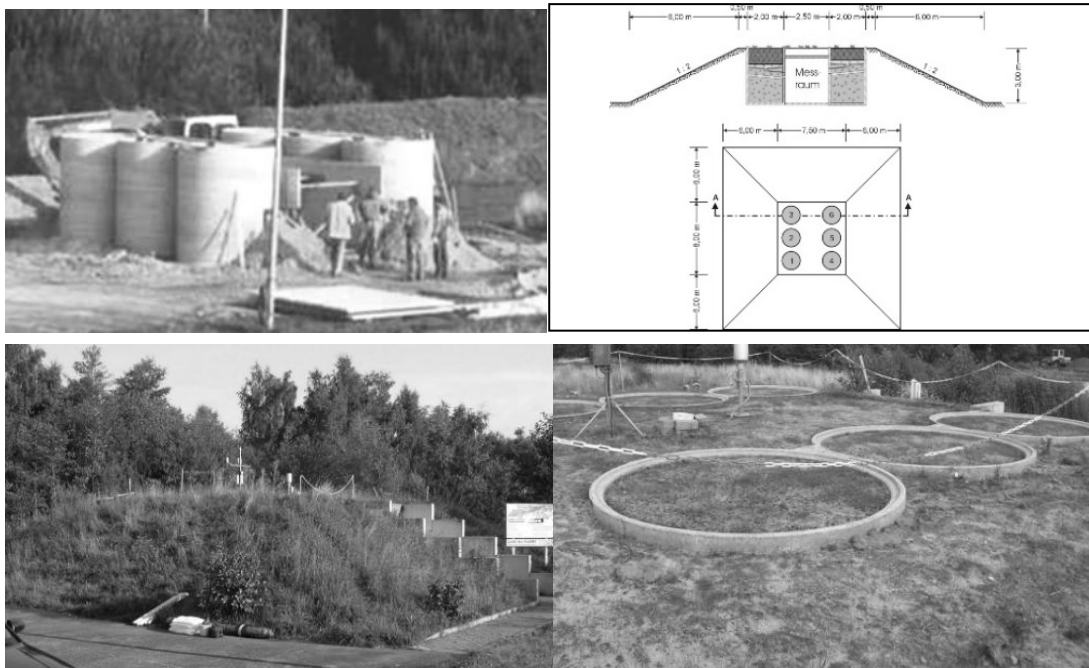


Abbildung 1.: Errichtung der Lysimeteranlage 1998

In der Mitte des Hügels wurde ein Messraum eingerichtet, der Geräte zur Messung des Niederschlags, der Menge des drainierten Wassers oberhalb der GTDs und der durch die GTDs sickern den Wassermengen enthält. Die GTDs der Lysimeter 1 bis 3 wurden 1998 installiert und bis heute nicht ersetzt. Die GTDs der Lysimeter 4 bis 6 wurden ebenfalls 1998 installiert, jedoch 2010/2011 ersetzt.

Abbildung 2 zeigt schematisch die Querschnitte sowie die charakteristischen Systemdaten, insbesondere die unterschiedlichen Überdeckungen der GTDs seit den Umbauten in 2010/2011.

Die Drainageschichten der Lysimeter 1 bis 3 bestehen aus Kies, während in den Lysimetern 4 und 5 geosynthetische Dränelemente verwendet werden. In Lysimeter 6 wurde keine Drainageschicht eingebaut. Für die Lysimeter 1, 2, 4 und 6 wurden GTDs mit Natriumbentonit in Pulverform verwendet, während für die Lysimeter 3 und 5 GTDs mit Natriumbentonit in Granulatform verwendet wurden.

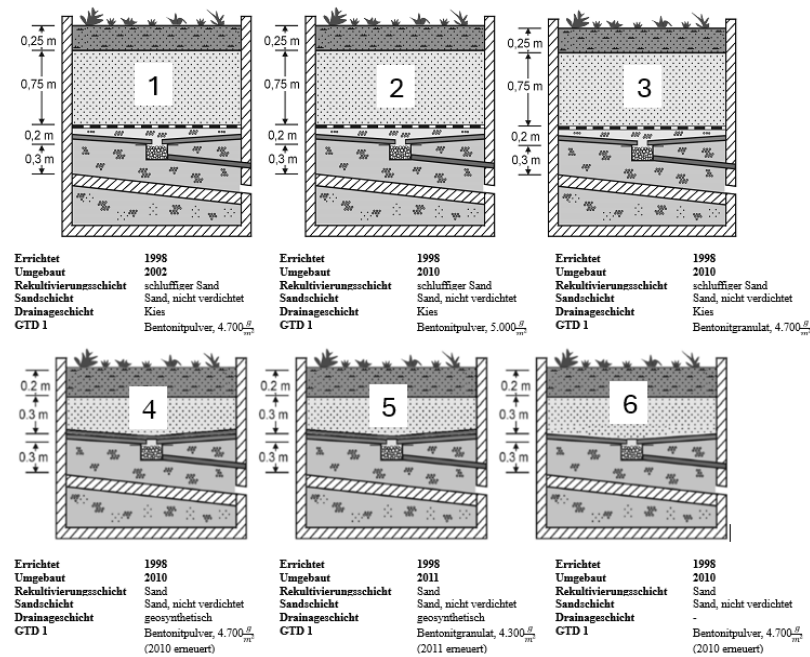


Abbildung 2.: Querschnitte und charakteristische Daten der Lysimeter 1 - 6

In jedem Lysimeter werden im 10 Minuten Rhythmus die Niederschlagsmenge, das Dränagewasser sowie das Durchsickerungswasser gemessen und ausgewertet. Die folgenden Beispiele beziehen sich mit einer Ausnahme auf die Lysimeter 1 bis 3, da diese die überwiegend genutzte Bauweise repräsentieren und die GTDs innerhalb des ausgewerteten Zeitraums von 25 Jahren nicht ersetzt wurden.

3. Ergebnisse

3.1 Allgemeine Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt die Summenkurven des Niederschlags, der Drainage und der Durchsickerung während des Zeitraums von 25 Jahren der Lysimeter 1 bis 3.

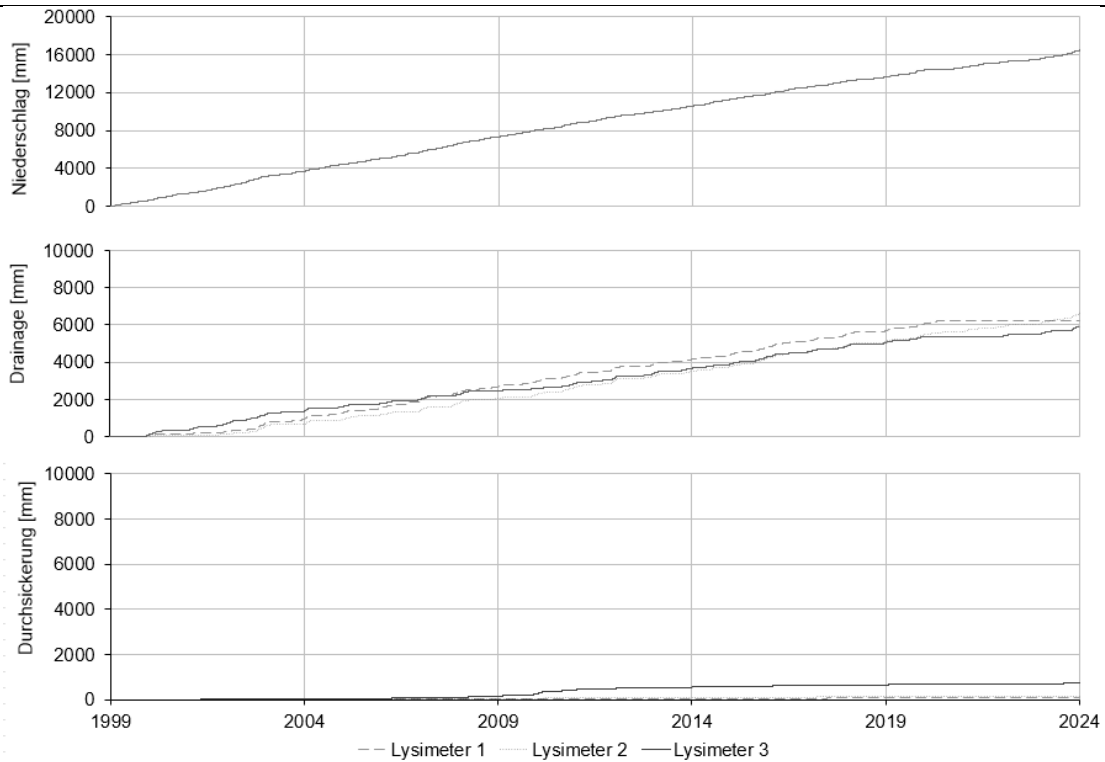


Abbildung 3.: Summenkurven des Niederschlags, der Drainage und der Durchsickerung der Lysimeter 1 bis 3

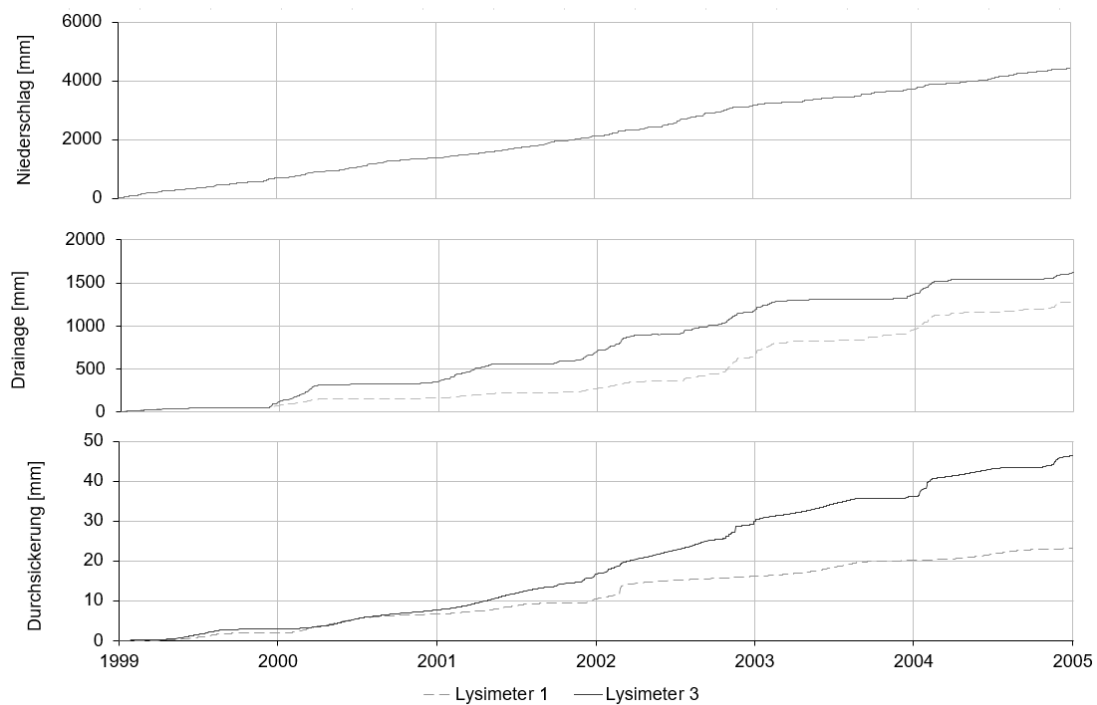


Abbildung 4.: Summenkurven des Niederschlags, der Drainage und der Durchsickerung in den ersten fünf Jahren der Lysimeter 1 und 3

Abbildung 4 zeigt die Summenkurven des Niederschlags, der Drainage und der Durchsickerung durch die GTDs in Lysimeter 1, 2 und 3 in einem größeren Maßstab für die ersten 5 Jahre nach der Errichtung. Die Durchsickerungskurven zeigen einen leichten Anstieg nach etwa einem Jahr, was auf den anfänglichen

Ionenaustausch zurückzuführen ist und ein typisches Verhalten einer GTD darstellt. Je nach Bentonitart (Pulver – gepunktete/gestrichelte Linie oder Granulat – durchgehende Linie) gibt es vor allem in der Durchsickerung deutliche Unterschiede.

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für die Tageswerte des Niederschlags, der Drainage und der Durchsickerung des Lysimeters 1 von der Errichtung 1999 bis 2019 (20 Jahre) mit einer Markierung der Erneuerung der Überdeckung 2002. Obwohl die GTD nicht ersetzt wurde, sank die Durchsickerung im Vergleich zu den ersten Jahren deutlich (siehe Abb. 4). Durch die neue Sandabdeckung erfolgt eine Wiedervernässung und somit eine Replastifizierung der GTD nach einem Niederschlag deutlich schneller als bei der vorher eingesetzten bindigen, schluffigen Bodenschicht. Je höher die Wasserspeicherkapazität der Überdeckung, desto länger sind offensichtlich die Trockenphasen, welcher die GTD ausgesetzt ist. Solche Effekte können auch bei Ausgrabungen aus Deponien seit Mitte der 90er Jahre festgestellt werden, bei welchen Wassergehalte zwischen weniger als 50 % bis zu über 100 % gemessen wurden.

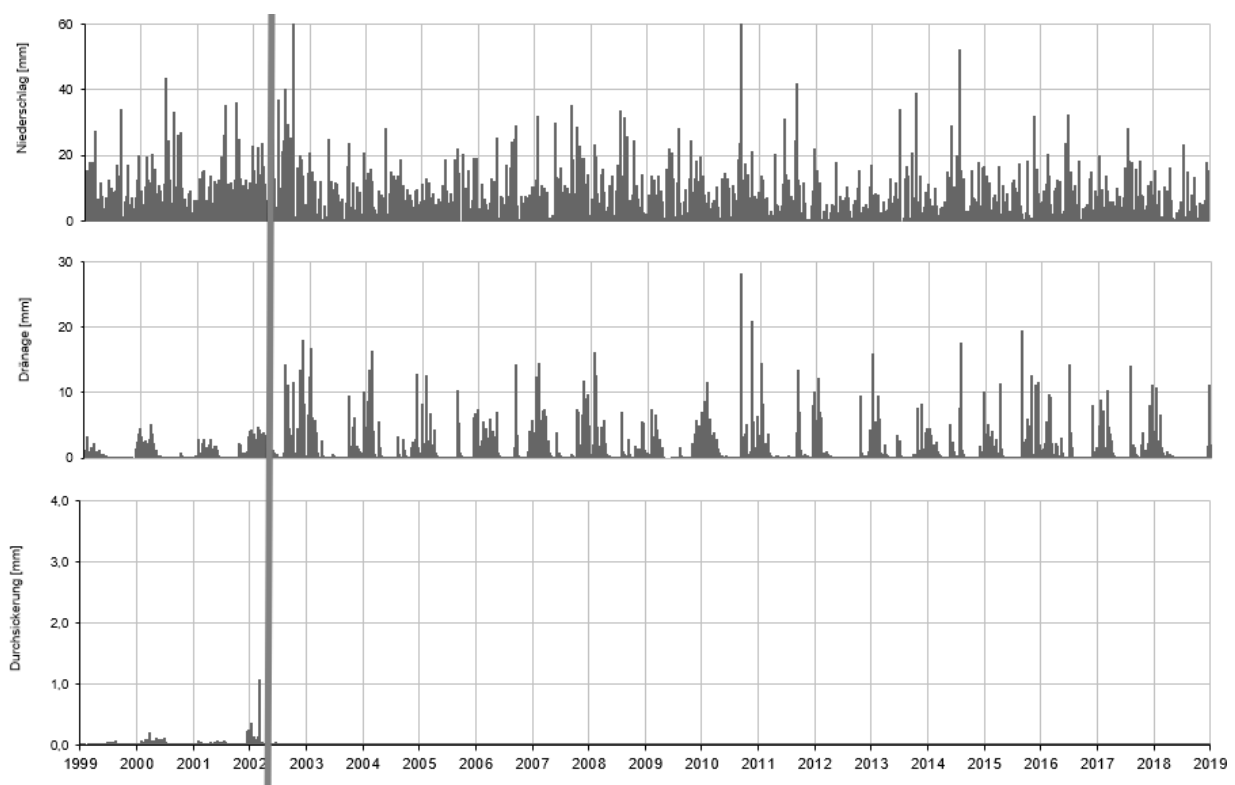


Abbildung 5.: Tageswerte des Niederschlags (N), der Drainage (DA) und der Durchsickerung (DS) des Lysimeter 1 im Zeitraum von 1999 bis 2019

Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für die Tageswerte des Niederschlags, der Drainage und der Durchsickerung des Lysimeters 3 ebenfalls für die Jahre 1999 bis 2019 (20 Jahre) mit einer Markierung der Erneuerung 2010, bei der die GTD ebenfalls mit einer neuen Sandabdeckung versehen wurde.

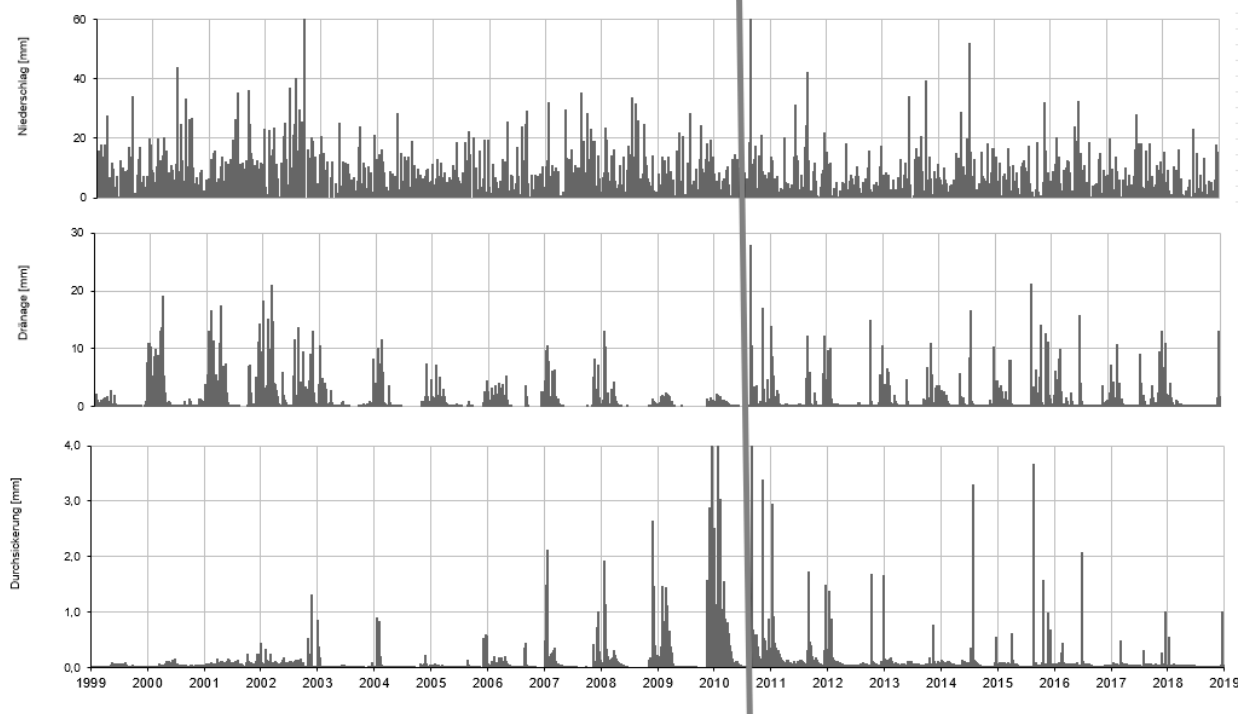


Abbildung 6.: Tageswerte des Niederschlags (N), der Drainage (DA) und der Durchsickerung (DS) des Lysimeter 3 im Zeitraum von 1999 bis 2019

Im Vergleich zu Lysimeter 1 (siehe Abb. 5) ist die Veränderung der Durchsickerung nach der Erneuerung grundsätzlich ähnlich, jedoch ist allgemein die Durchsickerung durch die GTD mit Granulat nach Regenereignissen höher als bei der GTD mit Pulver in Lysimeter 1. Dies deutet auf eine höhere Durchsickerung direkt nach dem Niederschlag hin und somit einer verlangsamten Replastifizierung des Bentonits. Unabhängig davon wird die Langzeitdurchlässigkeit nach Vernässung vergleichbar sein.

3.2 Trocknung und Vernässung der geosynthetischen Tondichtungsbahnen in den Lysimetern

Ein Vergleich der Reaktion auf ein Regenereignis im Juni 2016 der Lysimeter 1 und 3 ist in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt. Hier wird deutlich, dass bei derselben Abdeckung GTDs mit Pulver und Granulat unterschiedlich reagieren. Während bei dem Lysimeter 1 (Pulver) die Drainage verhältnismäßig gering ausfällt und bereits am Tag nach dem Regen wieder abfällt (26.06.2016), steigt im Lysimeter 3 die Drainage zum 26.06.2016 weiter an. Ebenso kommt es im Lysimeter 1 zu keiner nennenswerten Durchsickerung, wobei im Lysimeter 3 am zweiten Tag des Regens sowie am Tag danach eine deutliche Durchsickerung zu verzeichnen ist. Dies lässt sich auf die unterschiedliche Struktur und damit verbundene unterschiedliche Quellgeschwindigkeit des Bentonits nach der Wiederbefeuchtung zurückführen.

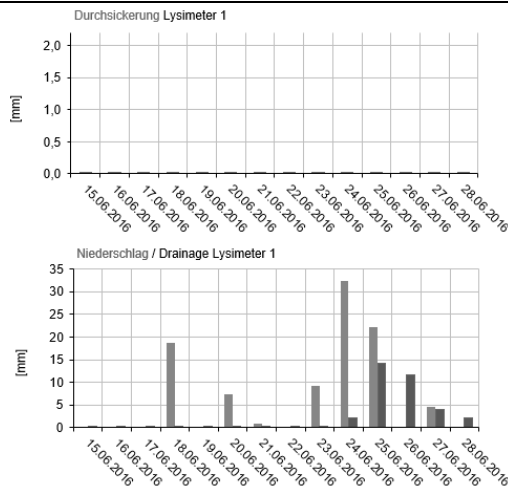


Abbildung 7.: Lysimeter 1, 15. bis 28. Juni 2016

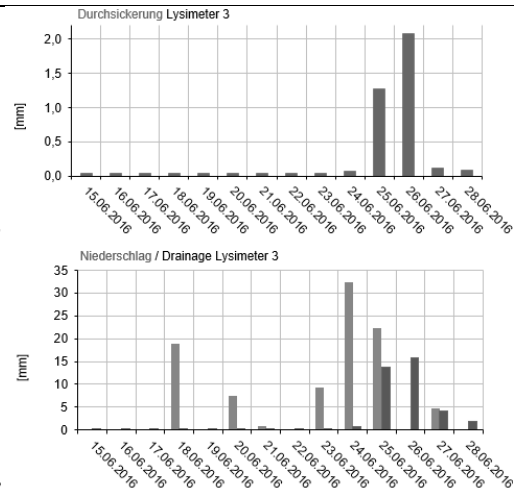


Abbildung 8.: Lysimeter 3, 15. bis 28. Juni 2016

Ein Vergleich für dasselbe Regenereignis bei einer geringeren Überdeckung bei den Lysimetern 4 (Pulver) und 5 (Granulat) ist in Abbildungen 9 und 10 dargestellt.

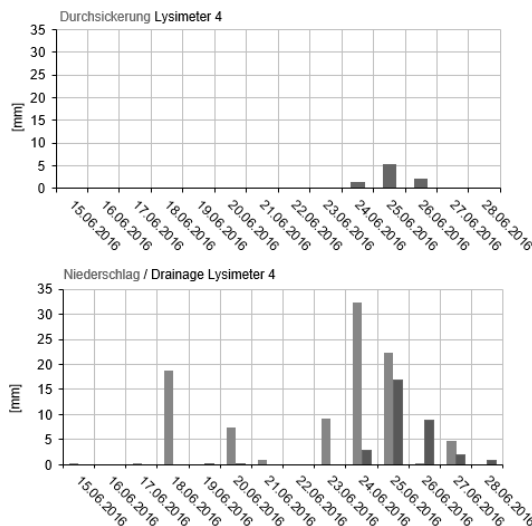


Abbildung 9.: Lysimeter 4, 15. bis 28. Juni 2016

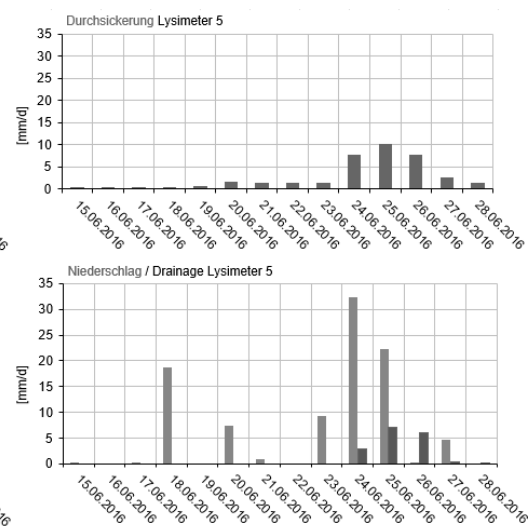


Abbildung 10.: Lysimeter 5, 15. bis 28. Juni 2016

Die Überdeckung ist in den Lysimetern 4 und 5 (Abb. 9 und 10) etwa halb so mächtig wie in den Lysimetern 1 und 3 (Abb. 7 und 8), was sich stark in der Durchsickerung widerspiegelt. Hierbei liegt das allgemeine Niveau der Durchsickerung deutlich höher als in den Abbildungen 7 und 8. Im Vergleich zwischen der Struktur des Bentonits kommt es jedoch zu vergleichbaren Ergebnissen. Die Durchsickerung ist nach dem Regenereignis beim Granulat in Abbildung 10 deutlich höher als beim Pulver in Abbildung 9.

3.3 Wirkungsgrade der installierten Systeme

Um die verschiedenen Systeme der Lysimeter bewerten zu können wurde der sogenannte Wirkungsgrad des installierten Systems sowie der Wirkungsgrad der GTD eingeführt. Der Wirkungsgrad des installierten Systems umfasst hierbei die Überdeckung einschließlich der GTDs und wird durch das Verhältnis vom um die Durchsickerung reduzierten Niederschlagswerte auf den gesamten Niederschlag berechnet (siehe Gl.

(2)). Der Wirkungsgrad der GTD gibt demgegenüber das Verhältnis zwischen der der Drainagewassermenge und dem insgesamt abgeführten Wasser (Drainage zuzüglich Durchsickerung, siehe Gl. (3)). Die Wirkungsgrade werden prozentual angegeben und liefern so Kennwerte, die für den Vergleich der Dichtungswirksamkeit verschiedener Oberflächenabdichtungen oder anderer Dichtungssysteme herangezogen werden können.

$$\eta_{\text{System}} = \frac{N-DS}{N} [\%] \quad (2)$$

$$\eta_{\text{GTD}} = \frac{DA}{DS+DA} [\%] \quad (3)$$

Die Abkürzungen gelten entsprechend Gl. (1).

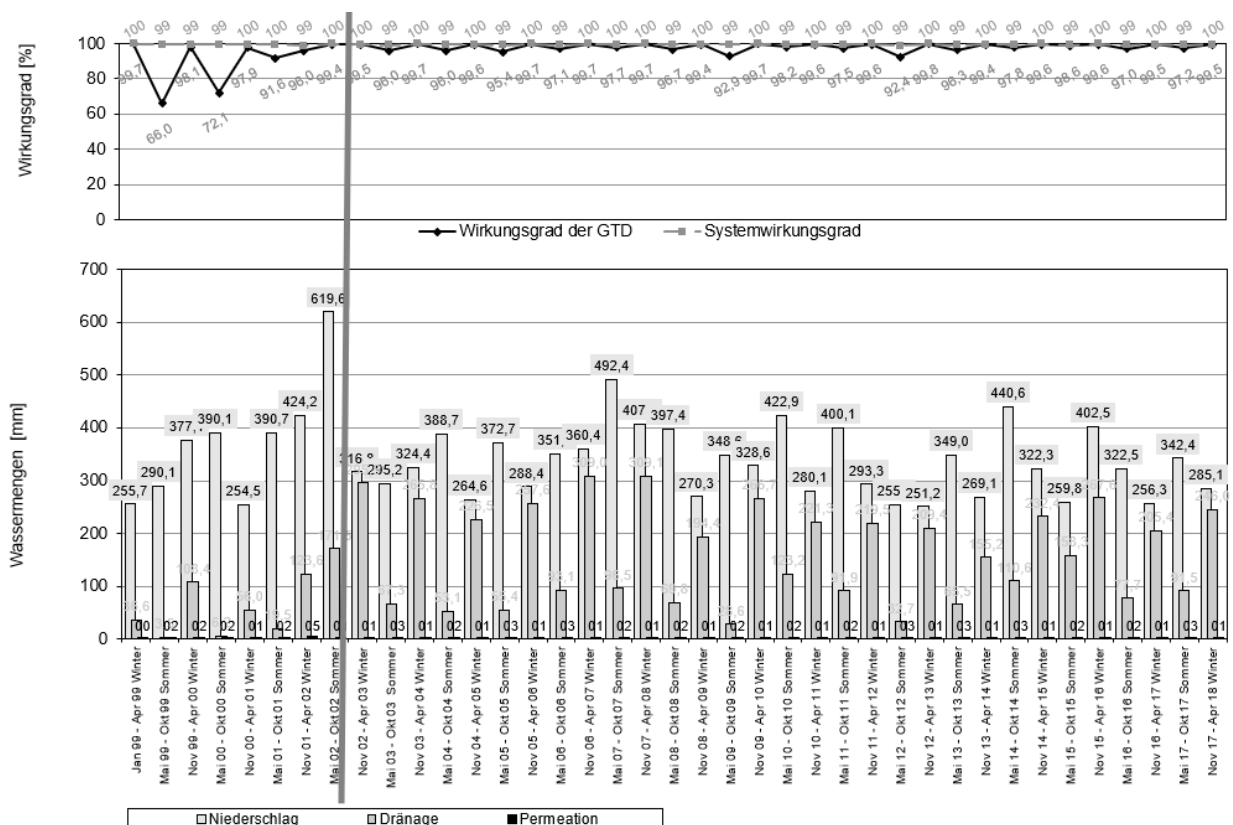


Abbildung 11.: Wirkungsgrade des Lysimeter 1 im Zeitraum von 1999 bis 2018

In Abbildung 11 sind die Wirkungsgrade des Lysimeters 1 im Zeitraum von 1999 bis 2019 beispielhaft mit Markierung des Umbaus in 2002 dargestellt. Hier wird deutlich, dass der Systemwirkungsgrad dauerhaft hoch (im Bereich von 98,9 % bis 99,8 % nach dem Umbau) liegt, während vor allem vor dem Umbau der Wirkungsgrad der GTD mit den Halbjahren abfällt und steigt. So nimmt der Wirkungsgrad der GTD in den Sommerhalbjahren aufgrund sehr geringer Drainagewassermengen ab, während in den Winterhalbjahren wieder ein sehr guter Wirkungsgrad erreicht wird. Die Permeation ist dauerhaft niedrig (siehe Abb. 11).

Im Vergleich dazu ist der Systemwirkungsgrad des Lysimeters 3 ebenfalls relativ hoch und es kommt zu einem starken Wechsel im Wirkungsgrad der GTD zwischen den Sommer- und Winterhalbjahren. Durch den Umbau auf eine Überdeckung aus Sand konnte vor allem der Wirkungsgrad der GTD gesteigert werden, dieser schwankt im Vergleich zu den Ergebnissen vor dem Umbau nur noch geringfügig. Die

Permeation blieb hier ebenfalls gering, liegt im Allgemeinen jedoch auf einem höheren Niveau als im Lysimeter 1.

Dies macht deutlich, dass eine dauerhafte Wasserversorgung der GTD für eine effektive Abdichtung notwendig ist und im Sommer gegen Austrocknung schützen kann. Durch den Umbau auf Sand als Überdeckung konnten die Schwankungen des Wirkungsgrades der GTD deutlich gedämpft werden.

4. Schlussfolgerungen

Lysimeter werden normalerweise zur Messung von Parametern des Bodenwasserhaushalts eingesetzt. In der beschriebenen Testanlage, die seit mehr als 25 Jahren in Lemförde, Deutschland, kontinuierlich betrieben wird, wurden die Daten von sechs Lysimetern mit unterschiedlichen Bodenschichten, Überdeckungsmächtigkeiten und GTDs analysiert, um die Einflüsse auf die Wirksamkeit der Abdichtung unter Realbedingungen zu bestimmen.

Hierfür wurden die Lysimeter so konstruiert und befüllt, dass eine Untersuchung der Wirksamkeit unter dem Einfluss von Trocknungs- und Wiedervernässungszyklen durch saisonale Niederschlagsschwankungen erfolgen konnte. Aus den Untersuchungen der GTDs, die in den Lysimetern installiert wurden und seit 1998 den klimatischen Bedingungen in Deutschland ausgesetzt sind, lassen sich folgende Schlussfolgerungen und Konsequenzen ziehen:

- Großversuche in Lysimetern unter In-situ-Bedingungen sind eine effektive und wirtschaftliche Methode, um das langfristige Durchlässigkeitsverhalten von Abdecksystemen mit GTDs nachzuweisen.
- Hochwertige GTDs, gefüllt mit 4.700 g/m² bis 5.000 g/m² Natriumbentonit (trocken) und bedeckt mit mehr als einem Meter Bodenüberdeckung, die den feuchten Klimabedingungen in Norddeutschland ausgesetzt sind, zeigten über einen Testzeitraum von mehr als 25 Jahren eine sehr hohe Dichtungswirkung.
- Der Ersatz des schluffigen Oberbodens mit einem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von etwa 10⁻⁷ m/s durch Sand mit einem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von etwa 10⁻³ m/s führte zu einer Verringerung der Durchsickerung aufgrund einer gleichmäßigeren Wasserversorgung und damit zu einer geringeren Austrocknung der GTDs während der Sommermonate.
- Die Dichtungswirksamkeit der GTDs hängt von der Menge des Drainagewassers ab, welches das Bentonit mit Wasser versorgt. Nach einem vorübergehenden Anstieg der Durchsickerung in den Sommerhalbjahren aufgrund des geringeren Wassergehalts des Bentonits erreichten die GTDs in der folgenden Winterperiode wieder ihre volle Dichtungswirksamkeit; dies kann als reversibles Materialverhalten oder Selbstheilungsfähigkeit bezeichnet werden.

Nicht jede GTD erreicht unabhängig von Art und Menge des Bentonits sowie den Randbedingungen die gleiche Systemeffizienz. Die Ergebnisse aus Testfeldern liefern Wirkungsgrade der GTD sowie des Gesamtsystems womit sich die Dichtungswirksamkeit verschiedener Strukturen und Überdeckungen vergleichen lassen oder zum Vergleich anderer Dichtungssysteme hinzugezogen werden können.

5. Literatur

1. W. U. Henken-Mellies, et al., Long-term field test of clay geosynthetic barrier in a landfill cover system, Tagungsband des Internationalen Symposiums IS Nürnberg. Nürnberg, 16-17 April (2002)
2. S. Melchior, et al., Zwischenergebnisse der Versuchsfelder der MEAB zu alternativen Oberflächenabdichtungssystemen auf der Deponie Deetz. In: Henken-Mellies, U (Ed.): 17. Nürnberger Deponieseminar. Abdichtung, Stilllegung und Nachsorge von Deponien. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Nürnberg, 85, pp 105–128. (2006)
3. N. Wolsfeld, Bodenphysikalische Eignung mineralischer Oberflächenabdichtungs-systeme für Monodeponien der Stahlindustrie. Schriftenreihe des Instituts für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., 43, Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen. (2005)
4. A. Müller-Kirchenbauer, Funktionsnachweis für geotextile Tondichtungsbahnen in Deponieoberflächenabdichtungen, Dissertation, Univ. Hannover (2009)
5. A. Müller-Kirchenbauer, W. Blümel, K. von Maubeuge, Performance of Geosynthetic Clay Liners in Landfill Cap Sealing Systems - Physical Processes in the Bentonite Layer during Drying and Rehydration Periods”. 3. Internationales Symposium über Geosynthetische Tondichtungsbahnen, Würzburg, 15-16 September (2010)
6. H. Ehrenberg, A. Müller-Kirchenbauer, 25 years of experience with a lysimeter system with geosynthetic clay liners, 8. Asiatische Regionalkonferenz für Geokunststoffe - GeoAsia8, Brisbane, 10-13 June (2025)

Erfahrungen mit einer PV-Anlage auf der Deponie Kirschenplantage - Errichtung und Energienutzung im Zusammenspiel mit einem Batteriespeicher -

Andreas Krieter¹

Inhalt

1. Einleitung	99
2. PV-Anlage.....	99
3. Batteriespeicher.....	103
4. Wirtschaftlichkeit.....	105
5. Ausblick	107
6. Literatur.....	107

1. Einleitung

Die Abfallentsorgung Kreis Kassel betreibt in Hofgeismar (25 km nördlich von Kassel) das Entsorgungszentrum Kirschenplantage. Auf diesem Standort befindet sich neben der Deponie (Deponieklasse 2) eine Abfallumladestation, eine Biokompostierungsanlage, ein Recyclinghof und die zentrale Werkstatt. Weiterhin sind hier die Abfalleinsammlung (Haus- und Sperrmüll) sowie der Containerservice stationiert. Der jährliche Stromverbrauch beläuft sich auf ca. 300.000 kWh.

Um für den Gebührenzahler möglichst geringe Gebühren zu gewährleisten, ist es für die Abfallentsorgung Kreis Kassel wichtig, die Energieversorgung möglichst kosteneffizient zu gestalten und gleichzeitig einen zuverlässigen und sicheren Deponiebetrieb zu ermöglichen sowie eine ökologische Vorbildfunktion zu erfüllen. Dies führte 2013 zu dem Entschluss, auf dem Entsorgungszentrum Kirschenplantage neben einer PV-Dachanlage (560 kWpeak) auch eine PV-Freiflächenanlage (2 MWpeak) auf der Deponie zu errichten. Der in den PV-Anlagen erzeugte Strom soll einerseits zur Deckung des betriebsbedingten Strombedarfs dienen, andererseits können durch den Verkauf des Überschussstroms Erlöse erzielt werden, die zur Finanzierung der Betriebskosten der Gesamtanlage beitragen

2. PV-Anlage

Da die Errichtung von PV-Dachanlagen mittlerweile Standard ist, soll nachfolgend im Wesentlichen auf die Besonderheiten bei der Errichtung der PV-Freiflächenanlage eingegangen werden

¹ Andreas Krieter, Abfallentsorgung Kreis Kassel, Parkstr. 12, 34117 Kassel

2.1 Genehmigungrechtliche Voraussetzung zur Errichtung einer PV-Anlage auf dem Deponiekörper

Die Errichtung einer PV-Freiflächenanlage kann prinzipiell nur auf bereits abgedeckten bzw. abgedichteten Deponieflächen, also in der Stilllegungs- und Nachsorgephase in Betracht kommen. Der Anlagenbau kann mit einem Eingriff in die Abdeckungs- bzw. Abdichtungssysteme verbunden sein, so dass die Funktionalität des Oberflächenabdichtungssystems verändert wird.

Sind diese Einwirkungen auf das Oberflächenabdichtungssystem als wesentlich im Sinne des § 16 BImSchG anzusehen, handelt es sich um eine wesentliche Änderung gemäß § 31 Abs. 2 KrWG-/AbfG mit der Folge, dass diese Änderung planfeststellungs- bzw. plangenehmigungsbedürftig ist. Ein eigenständiges Baugenehmigungsverfahren ist in diesem Fall nicht erforderlich.

Wenn die Baumaßnahme als nicht wesentliche Änderung zur Planfeststellung eingestuft wird, sieht hingegen das Fachplanungsprivileg nach §38 BauGB einen Vorrang vor der Bauleitplanung vor. Das Fachplanungsprivileg nach § 38 BauGB greift jedoch nur, wenn ein enger räumlicher und betriebstechnischer Zusammenhang mit der Deponie hergestellt werden kann und die PV-Anlage somit als Nebenanlage qualifiziert werden kann (u. a. Eigenverbrauch mehr als 50 %, PV-Anlage Teil der Stilllegungskonzeption).

Kann der Nachweis einer Nebenanlage zur Deponie nicht erbracht werden, ist somit eine Änderung des Bebauungsplanes erforderlich.

PV-Freiflächenanlagen auf Deponien mit Oberflächenabdichtungen sind gemäß Deponieverordnung Anhang 1 Ziff. 2.1 nach Vorgaben der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS), hier BQS 7-4a „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ zu errichten, da diese PV-Anlagen Teil der sogenannten Technischen Funktionsschicht des Oberflächenabdichtungssystems sind. Insbesondere sind hier die Funktionsfähigkeit der Oberflächenabdichtung und (soweit vorhanden) des Deponieentgasungssystems sicherzustellen.

2.2 Ausschreibung

Da es sich bei dem zu vergebenen Auftrag um eine Leistung handelte, die aufgrund ihrer technischen Anforderung (PV-Anlage auf Deponieabdichtung) über ein hohes Maß an Erfahrungen bzw. technische Einrichtungen erfordert, wurde der Auftrag im Rahmen einer Beschränkten Ausschreibung nach Öffentlichem Teilnahmewettbewerb vergeben. Im Rahmen des Teilnahmewettbewerbs waren umfangreiche Nachweise über die Eignung zu erbringen, wobei mindestens die Errichtung von 3 Referenzanlagen mit einer Leistung von $> 2 \text{ MW}_{\text{peak}}$ nachgewiesen sein musste, von denen mindestens eine Anlage auf einer Deponie errichtet worden war.

Die Referenz war mit folgenden Angaben darzustellen:

- Anlagenart: (Freiflächenanlage, Dachanlage, Konversionsfläche)
- Anlagenstandort mit Adresse und Ansprechpartner
- Anlagengröße
- Auftragssumme
- Angaben und Anzahl der Subunternehmer, Auflistung nach Gewerk

- Deponieklasse:
- Art des Abdichtungssystems:
- Art der Gründung und Unterkonstruktion
- Name und Adresse des betreuenden Geotechnikbüros (spezialisiert auf Deponietechnik)

Mit den Ausschreibungsunterlagen wurden allen Bietern die Kriterien der wirtschaftlichen Prüfung zur Verfügung gestellt:

- c) die statische Amortisationszeit (vereinfachter Return of Invest), welche folgendermaßen berechnet wird:

$$\frac{\text{Anlagenpreis [EUR]}}{\text{Anlagenleistung [kWp]} * \text{prognostizierte Ertragsleistung} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{a}} \right] * \text{EEG Vergütung}}$$

- d) Die Überprüfung der Bieterangabe zur „solaren Einstrahlung der jeweils angebotenen Anlage“ mit dem Simulationsprogramm PV*SOL.
- e) die aktuellen Vergütungssätze des EEG 2012

Die Wahl der Gründungskonstruktion war vom Bieter vorzunehmen. Maßgeblich für die Gründung waren die Ergebnisse des Baugrundgutachtens (im Rahmen der Baugrunduntersuchung waren insgesamt acht Schürfe mit Erkundungstiefen von 1,1 m bis zu 1,8 m uGOK niedergebracht worden), wobei eine Mindestüberdeckung von 0,5 m über der Dränschicht einzuhalten war.

Gefordert waren auf Grund des möglichen Setzungsverhaltens der Deponie Vorrichtungen zum Nachjustieren der Unterkonstruktion. Zur Entlastung der entstehenden Spannungen durch Torsion, sollte die Tischkonstruktion +/- 10 cm höhenverstellbar sein.

Die Modultische sollten so angeordnet sein, dass der darunter befindliche Bewuchs für Pflegearbeiten und Schafbeweidung weiter zugänglich ist. Die lichte Höhe der unteren Modulkante war auf > 1,0 m und die maximale Höhe der Modultische (Oberkante) auf 3 m üGOK begrenzt.

Abstände innerhalb der Felderlinien waren so zu wählen, dass ganzjährig ein verschattungsfreier Anlagenbetrieb ermöglicht ist

2.3 Bauausführung

Das Angebot, welches den Zuschlag erhielt, beinhaltete einen Sondervorschlag zur Gründung der Modultische. Hierfür wurden Ramppfosten jeweils 20 – 25 cm tief im Boden fixiert. Zur Beschwerung wurden gebrauchte Bahnschwellen aus Beton an der Konstruktion befestigt.

Dieser Art der Gründung ermöglicht für den Fall, dass ein Zugang zum Oberflächenabdichtungssystem erforderlich ist, einen vereinfachten Rückbau von Anlagenteilen.

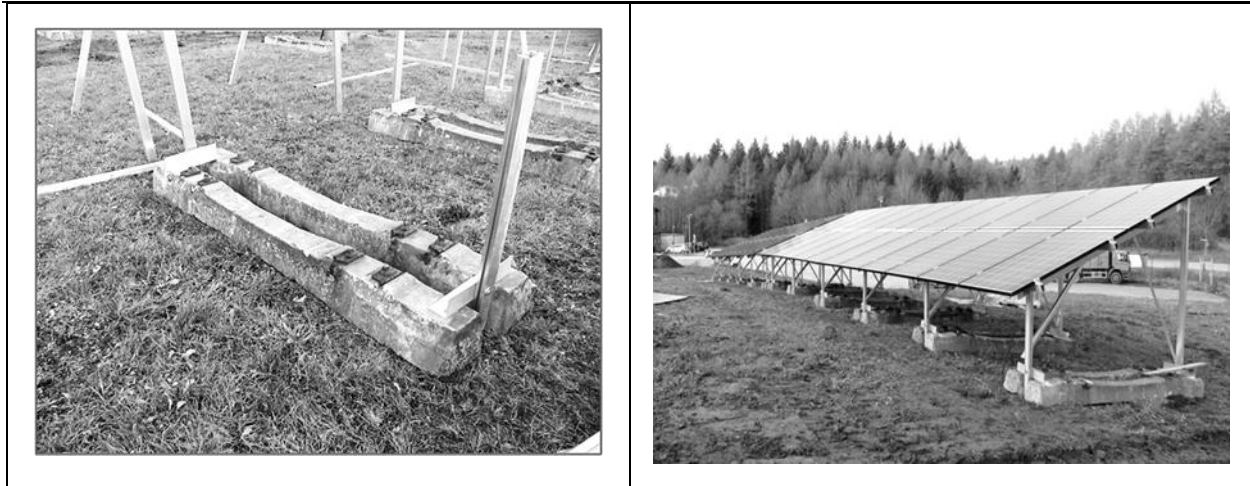


Abbildung 1: Flachgründung der PV-Anlage Deponie „Kirschenplantage“

Da jedoch davon auszugehen war, dass gebrauchte Bahnschwellen mit Schadstoffen belastet sein können (hier insbesondere mit PAK) war die Einhaltung der Grenzwerte gem. DepV 2009 Anhang 3 Tabelle 2 Spalte 9 (Rekultivierungsschicht) nachzuweisen. Dies wurde mittels eines Qualitätssicherungsplans, der das Verfahren der Beprobung und der stichprobenartigen Kontrolle beschreibt, gewährleistet.

Zum Nachweis der Gleitsicherheit der Gründungskonstruktion wurden an der steilsten Stelle der Deponie Zugversuche mit bis 300 kN Zugkraft erfolgreich durchgeführt.

Die Planung der Kabeltrassen bzw. die Anordnung der Modultische oblag der bauausführenden Firma, wobei die entgasungstechnischen Einrichtung (Gasbrunnen, Gasleitungen) nicht überbaut werden sollten.

Insgesamt wurden so auf einer Fläche von ca. 3,7 ha des endabgedichteten Bereichs der Deponie Kirschenplantage 7.872 Module mit einer Anlagenleistung von 2.001 kW_{peak} verbaut.



Abbildung 2: PV-Freiflächenanlage Deponie Kirschenplantage

3. Batteriespeicher

Seit Anfang 2014 ist auf dem Altdeponiekörper der Deponie Kirschenplantage eine 2 MW_{peak} PV-Freiflächenanlage und auf der Umladestation des Entsorgungszentrum Kirschenplantage eine 560 kW_{peak} PV-Dachanlage in Betrieb. Der auf der Dachanlage erzeugte Strom wird anteilig genutzt, um die auf dem gesamten Gelände tagsüber benötigte Energie bereitzustellen.

Um den Eigenstromanteil der PV-Anlagen von ca. 100.000 kWh/a auf ca. 200.000 kWh/a zu erhöhen, sollte mit dem Einsatz eines Batteriespeicher zusätzlich der tags erzeugte Strom gespeichert und des nachts abgerufen werden können. Hierfür war in einer ersten Ausbaustufe eine Speicherleistung von mindesten 350 kWh bei einer Lade- und Entladeleistung von mindestens 120 kW berechnet worden.

3.1 Ausschreibung des Batteriespeichers

Im Oktober 2019 wurde eine europaweite Ausschreibung eines Stromspeichers mit einer bereit zu stellenden Speicherleistung von mindesten 350 kWh bei einer Lade- und Entladeleistung von mindestens 120 kW durchgeführt. Hierbei sollte der anzubietende Stromspeicher zusätzlich auch so konzipiert sein, dass er modular um 30% erweiterbar ist, um auf künftige Bedürfnisse, wie z.B. ein höherer Eigenverbrauch durch Erhöhung der Anzahl der E-Fahrzeuge, entsprechend reagieren zu können. Der Batteriespeicher sollte darüber hinaus bei Netzausfall einen Notbetrieb der Gesamtanlage für zwei Stunden sicherstellen.

Da die Ausschreibung systemoffen angelegt worden war (keine Vorschrift hinsichtlich der Speichertechnologie), wurde zur Ermittlung des wirtschaftlichsten Angebots nicht allein der Angebotspreis herangezogen. Vielmehr waren auch Angaben des Herstellers zur nutzbaren Speicherenergie und zur Lebensdauer zu berücksichtigen

Die Kriterien der wirtschaftlichen Prüfung wurden allen Bietern im Leistungsverzeichnis mit den Vergabeunterlagen zur Verfügung gestellt

Für die Gewichtung der Kriterien „Leistung“, „Kapazität“ und „Restkapazität“ wurde festgelegt:

- 30 % für die Leistung,
- 50 % für die Speicherkapazität und
- 20 % für die Restkapazität nach zehn Jahren,

woraus sich der „Erfüllungsgrad gesamt“ ergibt. Da die Anlage möglichst passgenau sein sollte, also eine völlige Überdimensionierung der Anlagen nicht erwünscht ist, wurde nur ein maximaler Erfüllungsgrad von 150 % für die Bewertung gutgeschrieben.

Das wirtschaftlichste Angebot ergab sich dann aus dem jeweiligen Angebotspreis geteilt durch den „Erfüllungsgrad gesamt“.

3.2 Errichtung des Batteriespeichers

Zur Ausführung kam ein Speicher mit Lithium-Ionen-Technik mit einer Kapazität von 445 kWh. Der Speicher ist als vollintegrierte Containerlösung (Abmessungen 3,3 m x 2,2 m) konzipiert, die auf einem unterlüfteten Streifenfundament platziert ist. In dem Container befinden sich

- der Batterieraum mit den Batteriemodulen, die in Racks angeordnet sind

- Errichtung und Energienutzung im Zusammenspiel mit einem Batteriespeicher -

- der Transformator und der Wechselrichter
- die Klimatisierung mit Temperaturüberwachung des Innenraums

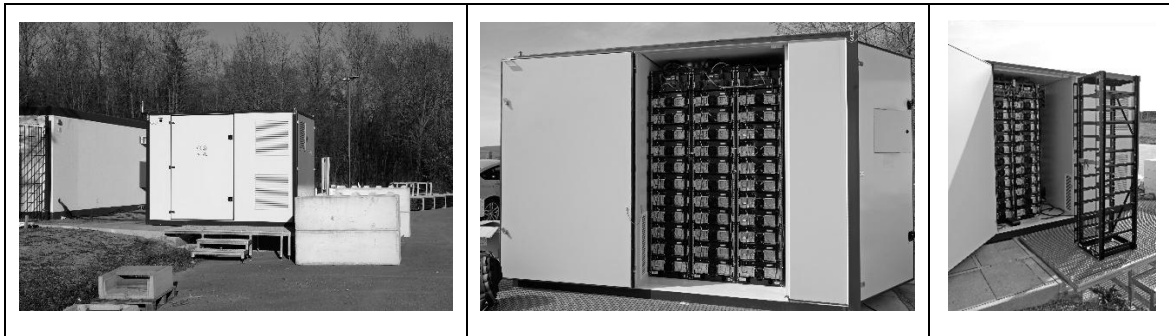


Abbildung 3: Stromepeicher in Containerbauweise auf dem Entsorgungszentrum Kirschenplantage

Der Batteriespeicher wird ausschließlich von den PV-Anlagen geladen. Eine Entladung ins öffentliche Stromnetz ist nicht vorgesehen. Nach Rücksprache mit dem Stromnetzbetreiber war ein anlagentechnisches Schutzkonzept vorzulegen, welches verschiedenen Betriebszustände zu berücksichtigen hatte:

- der Ausfall einer oder aller PV-Anlagen
- der Ausfall der Batterie
- Netzausfall

Damit es bei den entsprechenden Szenarien nicht zu Spannungsspitzen oder Rückströmen kommt (bei Ausfall bzw. Wiederanfahren), waren hier im Anschlußbereich der Batterie entsprechende Schutzvorrichtung zu errichten.

Mit Hilfe des Batteriespeichers, der im Dezember 2020 in Betrieb gegangen ist, konnte in den Monaten April bis September 2021 nahezu stromtechnische Autarkie auf dem Entsorgungszentrum Kirschenplantage realisiert werden:

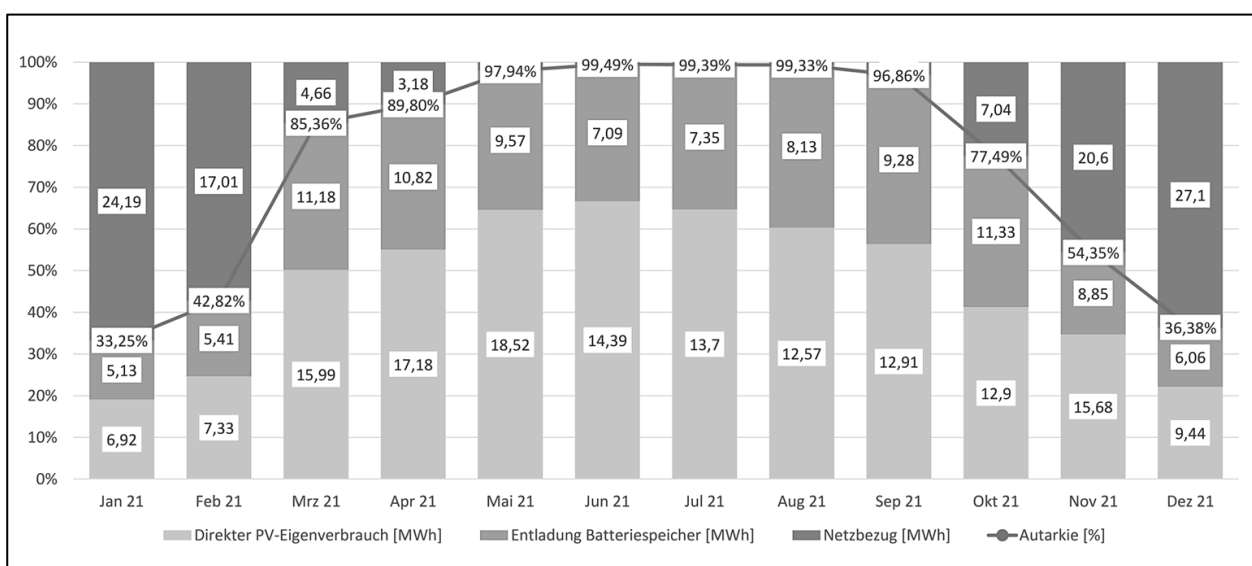


Abbildung 4: Verbesserung der Eigenstromnutzung durch Einsatz des Batteriespeichers – Daten aus 2021

[Quelle: Dittmayer, ABO Energie]

Bezogen auf ein vollständiges Betriebsjahr (2021) betrug die Eigennutzung des in den PV-Anlagen erzeugten Stromes 71% des Strombedarfs.

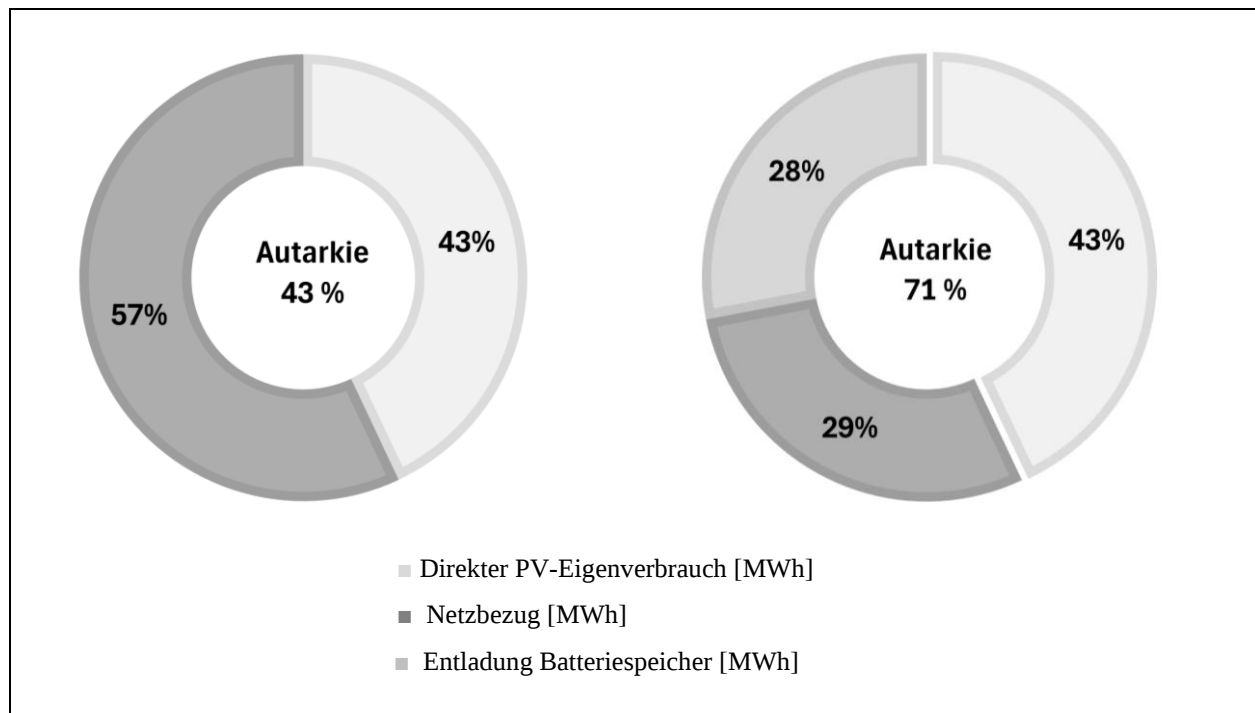


Abbildung 5: Eigenstromnutzung ohne und mit Batteriespeicher, Betrachtungszeitraum 2021
[Quelle: Dittmayer, ABO Energie]

4. Wirtschaftlichkeit

Die Errichtungskosten der PV-Anlagen lagen einschl. Baunebenkosten bei ca. 3,65 Mio. EUR (Stand 2014). Der Batteriespeicher erforderte einschl. Baunebenkosten sowie der schaltungstechnischen Einbindung einen Aufwand von ca. 530.000 EUR (Stand 2020).

Die jährliche Stromproduktion der PV-Anlagen beträgt ca. 2,5 MWh. Hiervon wurde ohne Batteriespeicher ca. 5% selbst genutzt. Mit Einsatz des Batteriespeichers konnte der Anteil der Eigenstromnutzung auf ca. 12% erhöht werden.

Tabelle 1: Stromverbrauch und Stromerzeugung des Entsorgungszentrum Kirschenplantage im Jahresvergleich

Jahr	Stromverbrauch [kWh]	Stromerzeugung PV-Anlagen [kWh]	Eigenstromnutzung [kWh]	Netzeinspeisung [kWh]
2014	154.099	2.203.854	51.767	2.152.087
2015	253.182	2.405.487	77.392	2.328.095
2016	267.418	2.597.504	98.660	2.498.844
2017	287.443	2.464.971	101.251	2.363.719
2018	304.338	2.791.932	110.324	2.681.608
2019	328.938	2.728.306	124.480	2.603.826
2020	293.073	2.592.029	141.234	2.450.794
2021	389.172	2.384.123	284.124	2.099.999
2022	380.341	2.723.934	278.668	2.445.267
2023	378.057	2.437.552	282.887	2.154.665
2024	381.725	2.449.260	282.795	2.166.464

Die Einspeisevergütung (EEG 2014) beträgt 10,28 ct/kWh (mittlerer Ertrag für die Dach- und Freiflächenanlage). Seit 2017 wird für PV-Anlage die EEG-Direktvermarktung nach dem Marktprämienmodell durchgeführt. Hieraus ergibt sich folgende Ertragssituation:

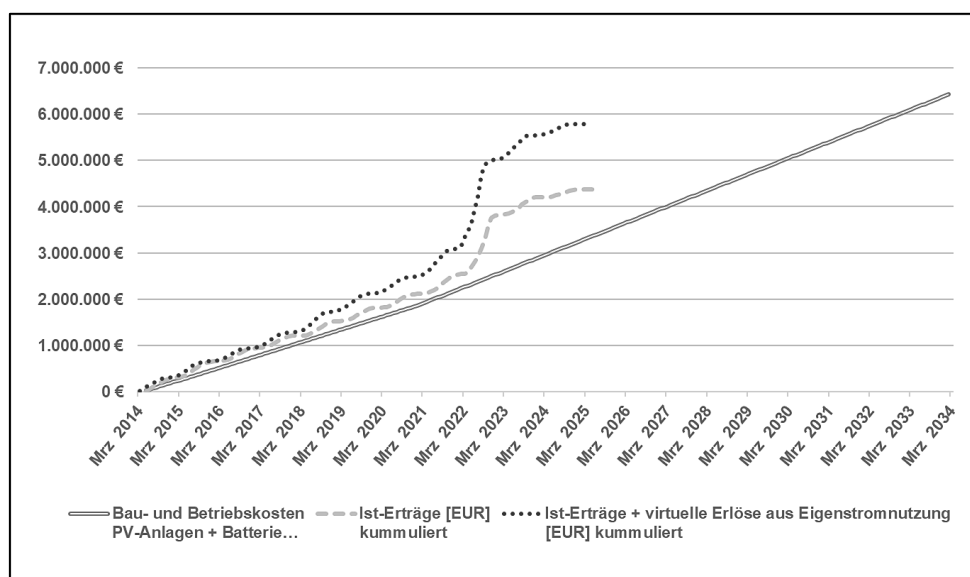


Abbildung 6: Kosten und Erträge für die PV-Anlage einschl. Batteriespeicher

Der Anstieg der Stromerlöse im Jahr 2022 resultiert aus den in diesem Jahr erhöhten Preisen an der Strombörse.

Wenn man das Einsparpotential, welches sich aus dem selbst genutzten Strom ergibt, mit dem im betreffenden Betriebsjahr aktuell gültigen Strombezugspreis multipliziert, erhält man als virtuellen Erlös nochmals eine verbesserte Ertragssituation (s. Abbildung 6).

5. Ausblick

Mittelfristig wird sich der Strombedarf für den Standort Entsorgungszentrum erhöhen. Um den Anteil des selbst erzeugten Stroms zu erhöhen, ist es jedoch erforderlich, die elektrische Infrastruktur (Trafostationen, Stromleitungen, Ladeinfrastruktur) zu erweitern.

Mit Hilfe dieser Erweiterungen sollen dann

- LKW's für die Abfalleinsammlung und den Containerdienst mit Batterieantrieb betrieben werden,
- die Umkehrosmoseanlage (Sickerwasserreinigung) mit PV-Strom versorgt werden, da die Stromerzeugung aus der Deponiegasnutzung rückläufig ist und
- die Wärmeversorgung über Wärmepumpen

ermöglicht werden. In diesem Zusammenhang wird auch geprüft, ob über eine Erweiterung der PV-Freiflächenanlage erforderlich ist.

6. Literatur

Appelt, J., 2023. Planung und Realisierung von Photovoltaikanlagen auf Deponien. In: Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung V, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH (Hrsg.).

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a „Technische Anforderungen an die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 01.12.2022. LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ 2023

Dittmayer, M., 2022. Mehr Sonnenpower auf der Halde –Batteriespeicher – Ein nachhaltiger Beitrag für eine kostengünstige und sichere Energieversorgung Ihrer Deponie. Tagungsbeitrag „Deponietage 2022“, Siegburg

Fotovoltaik auf Deponien und Altablagerungen, 2010, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.)

LUBW-Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg., 2022): Vom Deponie- zum Solarstandort, 1. Auflage, Karlsruhe

Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.4.2009 (BGBl I Nr. 22 vom 29.4.2009, S. 900) zuletzt geändert am 3. Juli 2024 (BGBl.2024 I Nr. 225)

Intelligente Bau- und Arbeitsmaschinen für den Betrieb und die Sanierung von Deponien:

Semantische Umwelterfassung und autonomer Werkzeugwechsel für sicheres Arbeiten in schwieriger Umgebung

Dr. Philipp Woock¹

Inhalt

1. Autonome Systeme auf Deponien.....	108
2. Systemübersicht und Sensorausstattung.....	109
3. Semantische Umgebungserfassung.....	110
4. Autonomer Werkzeugwechsel	115
5. Fazit.....	118
6. Literatur.....	118
7. Danksagung.....	118

1. Autonome Systeme auf Deponien

1.1 Anwendungsfelder im Deponiebetrieb

Autonome Robotersysteme können im Deponiebetrieb an vielen Stellen unterstützen: Sie können die Sicherheit erhöhen, indem Personen, Fahrzeuge, und Hindernisse wie etwa Gasbrunnen semantisch erkannt werden. Durch das zusätzliche Wissen steigt die Effizienz durch angepasste Wege, die die Systeme wählen. Gleichzeitig eröffnet sich die Möglichkeit die Dokumentation der Materialbewegungen zumindest teilweise zu automatisieren, indem Objekten oder Flächen georeferenziert mit Zeitstempel gelabelt werden können. Hinsichtlich des Personaleinsatzes können sich Fachkräfte auf besonders anspruchsvolle Tätigkeiten im Deponiebetrieb fokussieren, während monotone oder gefährliche Arbeitsschritte durch autonome Robotersysteme bearbeitet werden. Bei der Verdichtung können durch die Semantik klassifizierte Flächen je nach Befahrbarkeit mit gleichmäßiger Überdeckung befahren werden, während z. B. Geotextile als nicht befahrbar behandelt werden können. Autonome Systeme können mit temporären Hindernissen (Container, Haufwerke, Fahrzeuge) umgehen, indem befahrbare Wege um diese herum gefunden werden.

In dieser Veröffentlichung werden wir zwei Aspekte der autonomen Robotik schwerer Arbeitsmaschinen besonders beleuchten, nämlich die semantische Umwelterfassung und den autonomen Werkzeugwechsel.

1.2 Semantik der Umgebung

Die semantische Auswertung der Sensordaten liefert mehr Informationen als eine rein geometrische Auswertung. Beispielsweise kann ein erkanntes geometrisches Hindernis am Boden, wenn es als Gras

¹ Dr. Philipp Woock, Robotersysteme für Dekontaminationsaufgaben ROBDEKON e.V.
Ernststr. 24, 76131 Karlsruhe
philipp.woock@iosb.fraunhofer.de

identifiziert worden ist, vom System trotzdem befahren werden, während anderen Hindernissen wie einem Gasbrunnen, der als Objekt erkannt würde, besser ausgewichen werden sollte. Auch die Bestimmung der Befahrbarkeit des Untergrundes wird möglich, sobald der Untergrund durch semantisches Wissen in Klassen wie etwa „Erdreich“, „Geotextil“ oder „Abdichtmembran“ eingeteilt werden kann. Dann könnte man nur noch leichten Schreitrobotern das Betreten von Abdichtungen erlauben, schweren Robotern jedoch nicht mehr. Dadurch erlaubt die Kenntnis der Semantik der Umgebung eine robustere Abarbeitung einer Aufgabe. Zusätzlich sorgt die gezielte Erkennung von Personen im Arbeitsbereich der Roboter für mehr Sicherheit.

1.3 Autonomer Werkzeugwechsel

Ein wesentlicher Punkt autonomer Aufgabenbearbeitung durch autonome Robotersysteme ist die Tatsache, dass ein Robotersystem möglicherweise zur Erledigung einer Deponats-Umschichtung mit Trennung sein Werkzeug von Löffel auf Sortiergreifer wechseln muss. So kann ein Bagger für eine Aufgabe einen Löffel und einen Greifer benötigen. Sollte für eine Aufgabe weiterhin ein Mensch für den Werkzeugwechsel erforderlich sein, reduziert dies die Möglichkeiten für den Einsatz von Autonomie enorm. Auch wenn der Werkzeugwechsel ein diffiziler Vorgang ist, der üblicherweise Feingefühl erfordert, konnten wir hier große Fortschritte erzielen.

2. Systemübersicht und Sensorausstattung

Am Fraunhofer IOSB betreiben wir Deutschlands größtes Labor für autonome Arbeitsmaschinen. Zusätzlich zum 24t-Kettenbagger ALICE und dem Unimog LUCI verwenden wir drei Spot-Roboter und kleines Vierradfahrzeug (IOSB.Q2) für ergänzende Aufgaben wie etwa Kartierungsaufgaben. Neu hinzugekommen ist 2025 der Radlader Volvo L120H, der aktuell für Autonomie hard- und softwareseitig ertüchtigt wird (Abbildung 6).



Abbildung 6: Autonome Arbeitsmaschinen am Fraunhofer IOSB. Neu hinzugekommen ist der Radlader Volvo L120H (links). Mittig ist der Unimog LUCI zu sehen, im Vordergrund rechts davon drei Spot-Roboter, im Hintergrund ein kleines Vierradfahrzeug IOSB.Q2 und ganz rechts der Bagger ALICE.

Die Robotersysteme enthalten eine Sensorausstattung, die typischerweise LiDAR (3D-Laserscanner), Kameras, Inertialeinheit mit Satellitennavigation (IMU/GNSS) und verschiedene Odometriesensoren

umfasst. Alle Robotersysteme verwenden unsere gleiche Softwareplattform ATB (Algorithmen-Toolbox), die modular aufgebaut ist und sich um alle Aspekte der autonomen Aufgabenbearbeitung kümmert, von Sensordatenfusion über Kartierung und Navigation inkl. Hindernisvermeidung für statische und dynamische Objekte bis hin zur Abarbeitung von komplexen, großflächigen Aufgaben. Mehr Details zu den Systemen sind in [Fre22] zu finden. Mit dem Bagger ALICE wurden auch schon Praxistests in realen Umgebungen vorgenommen, diese wurden in [Woo24] vorgestellt.

3. Semantische Umgebungserfassung

3.1 Was ist semantische Annotation?

Die ATB basiert bisher auf geometrischer Wahrnehmung der Umgebung. Durch die Fortschritte bei maschinellen Lernverfahren ist es inzwischen möglich, mit den Robotersystemen in Echtzeit nicht nur eine geometrische Karte der Umgebung zu erstellen, sondern diese auch um die semantische Information zu erweitern, was diese geometrischen Daten eigentlich repräsentieren. Dazu wird jedem Messwert in Bildern oder Punktwolken eine Bedeutung in Form einer Klassenzugehörigkeit zugeordnet. In [Woo23] wurde bereits über Semantik bei synthetischen Daten und für den Fall einer einzigen Objektklasse berichtet.

3.2 Annotation von Bildern und 3D-Punktwolken

Annotation (oder auch Labeling) von Bildern und Punktwolken bedeutet, den einzelnen Punkten der Punktwolke (bzw. den Bildpixeln) eine Bedeutung, ein sog. Label, zuzuordnen. Diese Annotation kann händisch oder automatisch geschehen. Sie wird händisch vorgenommen, um fehlerfreie Trainingsdaten für maschinelle Lernalgorithmen zu erzeugen (Abbildung 7). Hat man mit den händisch gelabelten Daten ein KI-Modell trainiert, kann dieses Modell versuchen auf Basis der Eigenschaften der Trainingsdaten, neuen Messdaten passende Labels anzuheften. Hierbei kann beispielsweise nur nach der Objektklasse (z. B. ein Fass) vorgegangen werden, je nach Ausprägung der KI kann man auch unterschiedliche Instanzen einer Klasse separieren (Fass Nr. 1 ist unterscheidbar von Fass Nr. 2). Da die Messdaten von den Trainingsdaten typischerweise nicht vom identischen Robotersystem stammen, das für die Arbeit eingesetzt wird, passen die gelernten Modelle nicht perfekt zu den Daten eines Robotersystems. Daraus und aufgrund von Sensorrauschen entsteht eine gewisse Unsicherheit in der Zuordnung von Klassen zu den einzelnen Messpunkten.



Abbildung 7: Zu labelndes Bild (links) und Bild mit farbig überlagerten Labelkategorien (rechts). Für jedes Bild existiert ein pixelgenaues Labeling und ebenso Labels auf der zugehörigen LiDAR-Punktwolke (nicht abgebildet).

3.3 KI-Lerndatensatz GOOSE

Wir haben mit dem GOOSE-Datensatz einen Datensatz speziell für das KI-Training zur semantischen Umwelterfassung geschaffen [Hag25]. Bisherige Datensätze beschäftigen sich ausgiebig mit Straßenverkehr aber kaum mit Fahren in unstrukturiertem Gelände. Daher haben wir auch Daten aus einem Steinbruch und aus einer Abfalldeponie mit integriert, die verglichen zu Umgebungen im Straßenverkehr sehr unstrukturiert sind. Die Daten umfassen Kamerabilder und 3D-Punktwolken, bei denen händisch sowohl die Bildpixel als auch die 3D-Punkte einer von 64 Klassen zugeordnet wurden (Weitere Details sind in [Mor24] und [Hag25] zu finden). Dieser Datensatz ist öffentlich verfügbar² und stellt einen wichtigen Schritt zur Entwicklung von KI-Funktionen für autonome Baumaschinen dar.

3.4 Steinbruchumgebung

Im Steinbruch der Firma Zech Umwelt bei Exdorf konnten im Rahmen von ROBDEKON Tests des autonomen Baggersystems in realer Umgebung durchgeführt werden. Die Steinbruchumgebung ist eine hochinteressante Anwendungsdomäne, in der wir in Zukunft besonders breit gefasste Einsätze von autonomen Systemen vermuten. Zusätzlich zu den Tests mit weichem, feinkörnigem Bodenmaterial in einer ebenen Umgebung konnte hier eine deutlich unterschiedliche Umgebung in die Daten des Datensatzes mit einbezogen werden: Das Bodenmaterial ist gänzlich anders strukturiert, da es in groben Stücken vorliegt, während die Umgebung zudem von starken Steigungen geprägt ist. Einblicke gibt **Abbildung 8**.



Abbildung 8: Beispielbilder vom autonomen Bagger ALICE im Steinbruch. Als relevante Umgebung für autonome Arbeitsmaschinen Teil des GOOSE-Datensatzes.

Baumaschinen-Übungsgelände

Auf dem Konzernlehrgelände der Firma STRABAG BMTI GmbH in Bebra hatten wir die Gelegenheit, großräumige Graberversuche durchzuführen, was den Datensatz um Bilder von Erd-Haufwerken bereicherte. Zudem waren auf dem Gelände noch weitere unterschiedliche Baumaschinen zugegen, was den Datensatz in der Hinsicht der Erkennung von Baumaschinen weiter generalisiert (**Abbildung 9**).

Deponie

Ein Test in einer Deponie-Originalumgebung wurde uns durch die Firmen PolyFaktur GmbH und HERMANN HTI-Bau GmbH u. Co. KG ermöglicht. Wir konnten das ROBDEKON-System auf einer echten (Rest-) Abfalldeponie in Meudt erproben (**Abbildung 10**). Die Deponie wird aktuell saniert und bisher

² <https://goose-dataset.de>

noch unbearbeitete Teile des Abfallkörpers standen uns für Tests zur Verfügung. Hier hatten wir die Möglichkeit, den Datensatz mit relevanten Inhalten für den Deponiebetrieb anzureichern, so dass auch echtes Deponat mit seiner Struktur abgebildet wird.

Weiter ging die stark profilierte Umgebung der Deponie in den Datensatz ein, so dass damit auch reale Deponieumgebungen Teil des KI-Trainings werden und die damit trainierten Modelle ihr Weltwissen aus Beobachtungen realer Umgebungen schöpfen.



Abbildung 9: *Bagger ALICE führt autonomen Aushub durch. Die entstandenen Erdgeometrien gehen in den Datensatz mit ein, ebenso wie andere auf dem Gelände befindliche Baumaschinen.*



Abbildung 10: Autonomer Bagger auf Mülldeponie. Arbeiten am Hang (oben) und Beladen eines gewöhnlichen Transportfahrzeugs (unten) erzeugen realistische Eingabedaten für das KI-Modell.

3.5 Segmentierungsergebnisse

Nach dem Training des KI-Modells auf Basis der PTv3-Architektur (Point Transformer v3) [Wu24] mit den Daten aus GOOSE wurden echte Punktwolken-Messdaten ausgewertet. Einerseits wurden Daten der Spot-Plattform untersucht, andererseits wurden Daten der Unimog-Plattform LUCI verwendet. Die Trainingsdaten des KI-Modells enthielten Daten der Spot-Plattform, aber keine der Unimog-Plattform. Es ist daher zu erwarten, dass das Modell mit Daten des Spot-Roboters grundsätzlich besser zurechtkommt. Eine Punktwolke des Roboters Spot mit der semantischen Segmentierung durch das KI-Modell ist in **Abbildung 11** zu sehen.

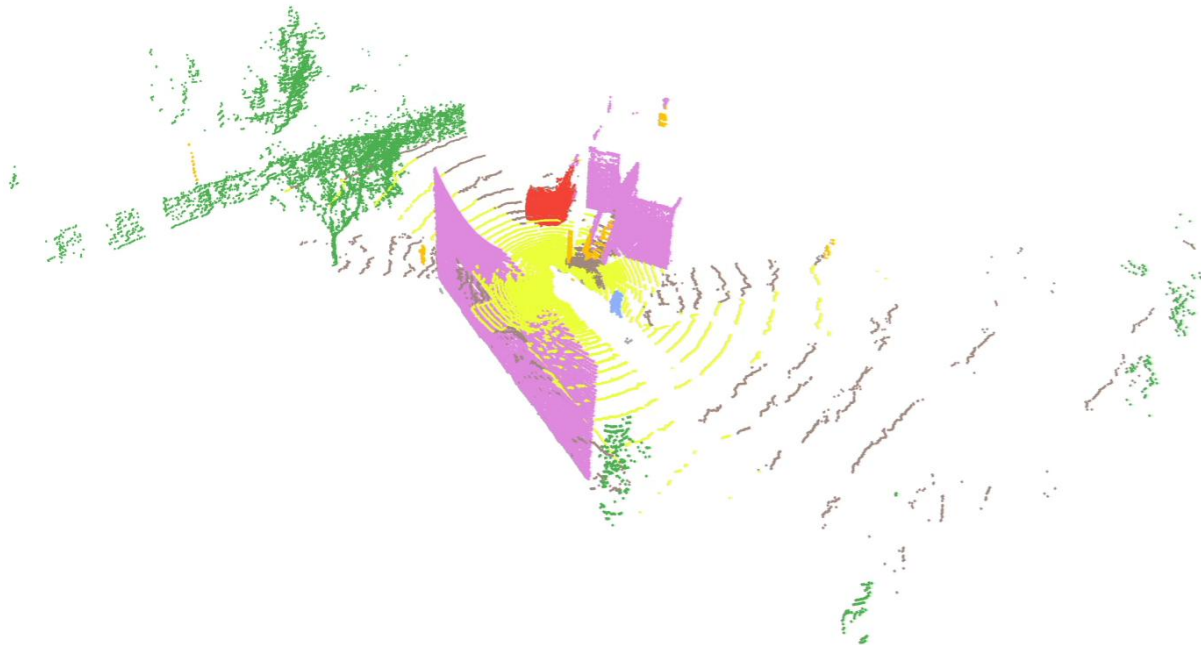


Abbildung 11: Schrägsicht auf semantisch segmentierte Punktwolke aus Roboter Spot.
Farbcodierung: Blau: Person, Grün: Vegetation, Pink: Gebäudestrukturen, Orange: Hindernis, Rot: Fahrzeug, Gelb: Künstlicher Boden, Braun: Natürlicher Boden.

In **Abbildung 12** befindet sich die Unimog-Plattform LUCI auf einer Wiese mit Bäumen, während auf der Wiese Fässer als Hindernisse platziert waren. Die Bäume werden korrekt als Vegetation erkannt, und auch die Fässer auf dem Rasen werden als Hindernisobjekte eingestuft. Am Rand wird korrekterweise auch ein Fahrzeug erkannt. Damit erfüllt das Modell das Ziel des plattformübergreifenden Transfers für die Klassen „Objekte“, „Gebäude“, „Fahrzeug“ und „Vegetation“ trotz Unterschieden zwischen den Unimog-Punktwolken und den Trainingsdaten

3.6 Verbesserte Sicherheit

Durch die semantische Erkennung von Personen, kann die Arbeitsraumüberwachung autonomer Maschinen robuster gestaltet werden. In **Abbildung 13** sind zwei Verfahren dargestellt, die auf die Plattformen des IOSB gebracht wurden. Die Verfahren basieren auf Punktwolken und auf Farbbildern. In jeder Sensormodalität findet eine Erkennung statt. Diese Detektionen können je nach Ausgestaltung des Systems auch fusioniert werden.

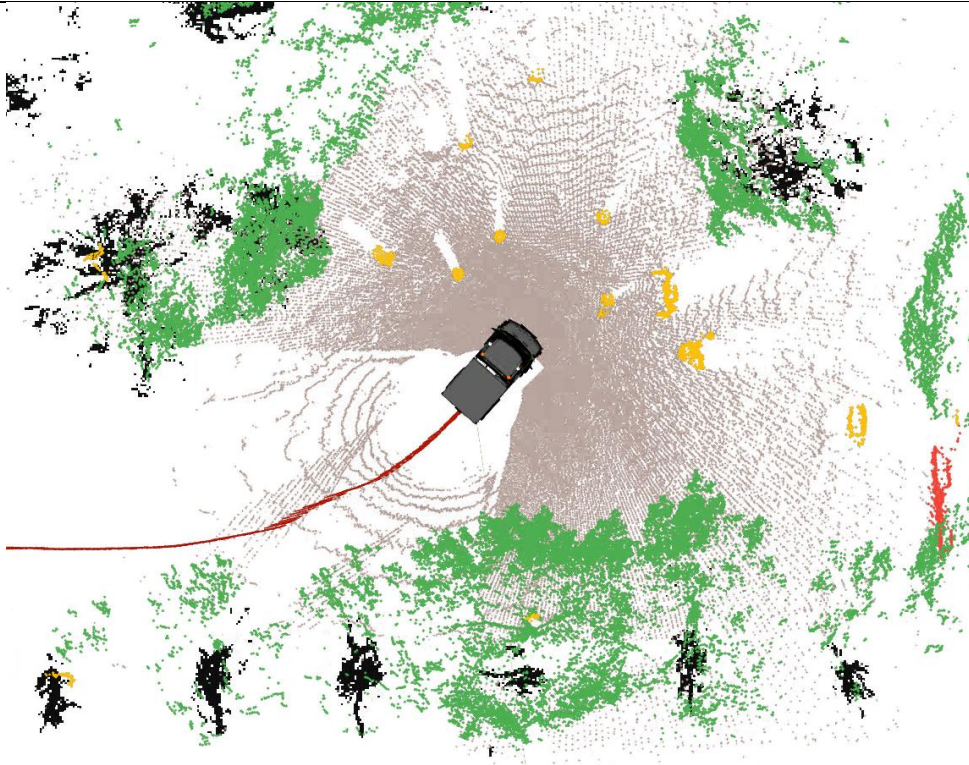


Abbildung 12: Anwendung des semantischen Modells auf Sensordaten des Roboters LUCI (Unimog) aus der Vogelperspektive. Die Farbcodierung ist gleich wie in Abbildung 11. Zusätzlich eingezeichnet ist die Fahrspur des Roboters (dunkelrot).

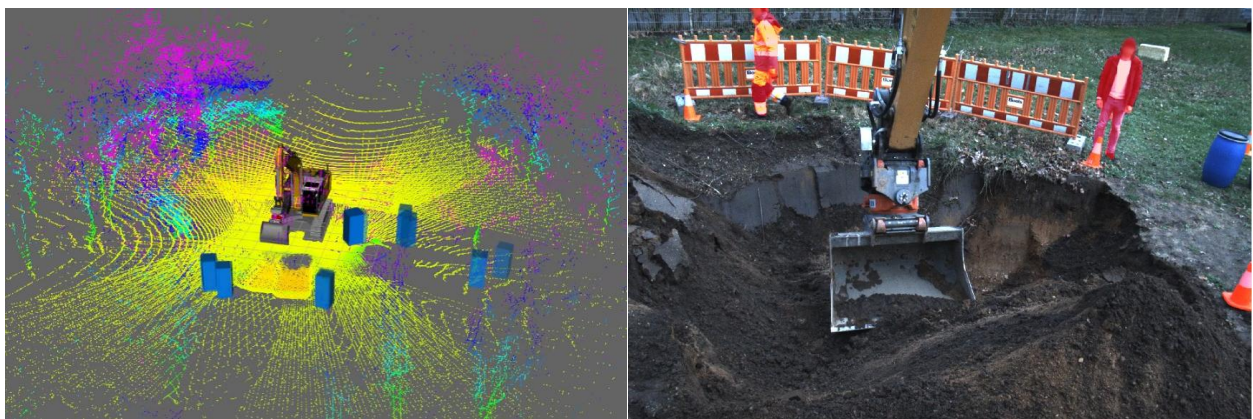


Abbildung 13: Arbeitsraumüberwachung durch ein punktwolken-basiertes Verfahren (links) und ein bildbasiertes Verfahren (rechts). Im 3D-Bild werden erkannte Personen mit einem blauen Quader überdeckt, im Bild durch eine rote Einfärbung hervorgehoben.

4. Autonomer Werkzeugwechsel

Der autonome Werkzeugwechsel ist unverzichtbar für komplexere autonome Aufgaben. Für den Bagger ALICE besitzt das IOSB neben dem Löffel (z. B. **Abbildung 6**) eine Vielzahl an Anbaugeräten, die in **Abbildung 14** dargestellt sind. Diese werden über einen MTS Tiltrotator und OilQuick Schnellwechsler mit dem Bagger verbunden.

Um das Anbaugerät wechseln zu können, muss der Bagger das alte Anbaugerät auf den Boden legen und abkoppeln, danach muss er die genaue Position des neuen Anbaugerätes ermitteln, um dort den Ankoppelvorgang durchzuführen. Sowohl Ab- als auch Ankoppeln bringen Herausforderungen mit sich,

da sich Geräte verkanten können, wenn sie nicht spannungsfrei auf dem Boden liegen. Speziell beim Ankoppeln muss die Positionierung und Ausrichtung der Baggeraufnahme sehr genau sein, um die Fallschutzhaken einzufädeln.



**Abbildung 14: Anbaugeräte für den IOSB-Bagger ALICE: Oben: schmaler Löffel, Sortiergreifer, Felsfräse;
Unten: Reißzahn, Zweischalengreifer, Palettengabel**

Am Fraunhofer IOSB wurden zwei unterschiedliche Herangehensweisen entwickelt, je nachdem, ob ein Anbaugerät eine Halterung besitzt oder nicht. Bei Geräten mit Halterung (z. B. Felsfräse) kann man an der Halterung optische Marker an einer bekannten Position anbringen, die der Bagger durch die ATB erkennt und daraufhin weiß, wo sich relativ zu den Markern der Aufnahmepunkt befindet. Dazu haben wir starre Halteplatten als Träger für die Marker an der Halterung der Felsfräse angebracht (**Abbildung 14** oben rechts, ohne Marker). Bei Geräten mit Halterung ist die genaue Kenntnis der Form des Anbaugeräts nicht notwendig, da nur die relative Pose zwischen dem angebrachten Marker und dem Anschlagpunkt bekannt sein muss. Es wird hierbei angenommen, dass das Anbaugerät immer identisch in seiner Halterung liegt.

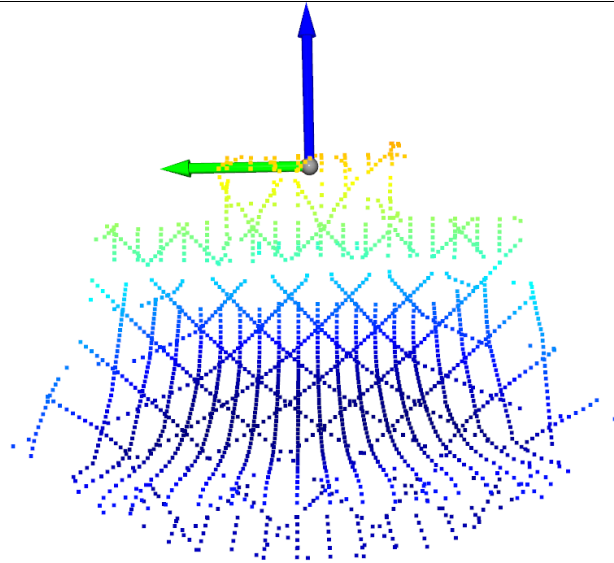


Abbildung 15: Simulierte LiDAR-Messdaten aus den drei LiDARen im Frontbereich des Baggers für die Suche nach dem Anbaugerät. Hier gezeigt für das Anbaugerät Löffel. Die Koordinatensystem-Pfeile zeigen den Anschlagpunkt des Löffels.

Für Geräte ohne Halterung ist es aktuell noch erforderlich, dass die Form des Anbaugeräts vorab bekannt ist. Diese Form muss dann in den aktuellen Messdaten gefunden werden. Hierbei wird simuliert, wie die 3D-LiDAR-Messdaten für das bekannte Anbaugerät aussehen müssten (**Abbildung 15**). Daraufhin wird das Anbaugerät in den Daten gesucht und der bekannte Anschlagpunkt durch den Baggerarm angefahren. Dann kann der Ankoppelvorgang starten. Dabei ist zu beachten, dass die Orientierung des Anbaugeräts gut erfasst werden muss, damit sich der Schnellwechsler nicht verkantet oder nur einer von beiden Fallschutzhaken eingefädelt wird. In **Abbildung 16** wird beispielhaft gezeigt, wie das autonome Abkoppeln des Reißzahns von statten geht.



Abbildung 16: Autonomes Abkoppeln eines Werkzeugs (Reißzahn):
Ablegen und Entriegeln, Ausdrehen, Arm vom Werkzeug lösen

5. Fazit

Durch die semantische Erfassung der Umgebung können Baumaschinen mit autonomen Fähigkeiten in mehr Szenarien zum Einsatz kommen und Aufgaben robuster abarbeiten. Durch den autonomen Werkzeugwechsel wird bei komplexeren Aufgaben vermieden, dass die autonome Ausführung von menschlicher Interaktion abhängt.

6. Literatur

- [Fre22] Christian Frese, Angelika Zube, Philipp Woock, Thomas Emter, Nina Felicitas Heide, Alexander Albrecht und Janko Petereit, An autonomous crawler excavator for hazardous environments, at - Automatisierungstechnik, 2022, 70 DOI: 10.1515/auto-2022-0068
- [Hag25] Raphael Hagmanns, Peter Mortimer, Miguel Granero, Thorsten Luettel und Janko Petereit Excavating in the Wild: The GOOSE-Ex Dataset for Semantic Segmentation 2025 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2025, 10378-10386 DOI: 10.1109/ICRA55743.2025.11127604,
- [Mor24] Peter Mortimer, Raphael Hagmanns, Miguel Granero, Thorsten Luettel, Janko Petereit und Hans-Joachim Wuensche, The GOOSE Dataset for Perception in Unstructured Environments, 2024 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2024
- [Woo23] Philipp Woock und Raphael Hagmanns, Intelligente Robotik für die Deponie- und Altlastensanierung, Proceedings of 33. ICP Deponie- und Altlastenseminar Karlsruhe, 2023
- [Woo24] Philipp Woock, Intelligente Robotik für die Deponie- und Altlastensanierung: Unterstützung der Altlastensanierung durch moderne Robotersysteme, Altlasten 2024 (Proceedings of 24. ICP Altlastenseminar Karlsruhe), ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt, 2024
- [Wu24] Xiaoyang Wu, Li Jiang, Peng-Shuai Wang, Zhijian Liu, Xihui Liu, Yu Qiao, Wanli Ouyang, Tong He und Hengshuang Zhao, Point Transformer V3: Simpler, Faster, Stronger

7. Danksagung

Diese Arbeit wurde vom Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw) unterstützt. Des Weiteren wurden die Arbeiten vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen des Kompetenzzentrums ROBDEKON (FKZ 13N16538) unterstützt.

CO₂-Sequestration oder Carbon Capture and Storage – Altlasten der Zukunft?

Dr. Walter Frenz¹

Inhalt

1. Neuer Anlauf für die CO ₂ -Sequestration: Erweiterung auf den Energiesektor	119
2. Eckpunktepapier	120
3. Referentenentwurf	121
4. Genehmigungen von Kohlendioxidleitungen	123
5. Genehmigung von Kohlendioxidspeichern	126
6. Gesamtfazit	127
7. Literatur	127

Die neue Bundesregierung hat die CO₂-Speicherung neu auf den Weg gebracht. Schon der Koalitionsvertrag enthält wichtige Eckpunkte, die deutlich von denen der Ampelkoalition abweichen. Inzwischen liegt bereits ein Referentenentwurf vor. Insgesamt soll die CO₂-Speicherung auch den Energiesektor erfassen. Vor allem stellt sich die Frage der Standards, damit keine Altlasten der Zukunft entstehen.

1. Neuer Anlauf für die CO₂-Sequestration: Erweiterung auf den Energiesektor

Der schwarz-rote Koalitionsvertrag setzt wesentlich stärker auf CO₂-Sequestration als die Vorgängerregierung. Das Ziel der Klimaneutralität soll in Ergänzung des beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien durch CO₂-Abscheidung und Speicherungstechnologien (CCS) und auch Nutzungstechnologien (CCU) vorangebracht werden, und zwar umgehend durch Beschluss eines Gesetzespakets. Ziel sind vor allem die Abscheidung, der Transport, die Nutzung und die Speicherung von Kohlendioxid für schwer vermeidbare Emissionen des Industriesektors und für Gaskraftwerke.²

Damit wird die Energieversorgung entgegen den bisherigen Plänen der Ampelregierung in die CO₂-Sequestration einbezogen und Gaskraftwerken ebenfalls diese Möglichkeit eröffnet, nicht aber nationalen Kohlekraftwerken (s. nunmehr § 33 Abs. 5 KSpG-E), wohl aber wegen des Bezugs auf den räumlichen Geltungsbereich des TEHG dem Transport von CO₂ aus der Kohleverfeuerung aus anderen Staaten, insbesondere EU-Mitgliedstaaten, durch Kohlendioxidleitungen in Deutschland: So soll vor allem eine Beeinflussung der Nutzung der Energieressourcen, der Wahl zwischen verschiedenen Energiequellen und der allgemeinen Struktur der Energieversorgung dieser Staaten entgegen Art. 194 Abs. 2 UAbs. 2 AEUV

¹ Prof. Dr. Walter Frenz, Maître en Droit Public, RWTH Aachen University, Lehr- und Forschungsgebiet Berg-, Umwelt- und Europarecht, Wüllnerstraße 2, 52062 Aachen, Tel. 0241/8095691, frenz@bur.rwth-aachen.de

² Koalitionsvertrag vom 9.4.2025, Verantwortung für Deutschland, S. 33.

vermieden und so Unionsrecht gewahrt werden, das eine Schlechterstellung inländischer Kohlekraftwerksbetreiber nicht ausschließt.³

Soweit CCS-CCU-Anlagen und -Leitungen auf der Basis des Koalitionsvertrages gebaut werden, soll das überragende öffentliche Interesse festgestellt werden,⁴ sodass auch diese Anlagen wie schon strategische Rohstoffprojekte nach Art. 10 Abs. 2 CRMA (Critical Raw Materials Act – „EU-Rohstoffgesetz“) sowie auf der Basis von RED III Ökostromanlagen Vorrang gegenüber Arten- und Habitatschutz haben sollen. Um allerdings auch Projekte auf der Basis von § 34 Abs. 4 BNatSchG im Falle prioritärer Arten vorrangig sein zu lassen, sollte zudem für diese Projekte ein Interesse für die nationale Sicherheit und den Gesundheitsschutz festgelegt werden, weil diese Ausnahme vom Habitatschutz an diese beiden Komponenten anknüpft.⁵

Über die nationale Gesetzgebung hinaus sollen mit Nachbarländern bilaterale Abkommen geschlossen, ebenso soll eine Ratifizierung des London-Protokolls erreicht werden. Damit wird dann ermöglicht, dass CO₂ aus Deutschland in andere Länder transportiert wird. Hierfür wird sich allerdings die Begeisterung eher in Grenzen halten, wie das Scheitern des CO₂-Speicherungsgesetzes mit CO₂-Sequestration am Land Schleswig-Holstein im Jahr 2011 deutlich zeigt.⁶ Um eine CO₂-Speicherung onshore, wo geologisch geeignet und akzeptiert, zu ermöglichen, gilt es, eine Länderöffnungsklausel einzuführen. Direct Air Capture soll als eine mögliche Zukunftstechnologie betrachtet werden, um Negativemissionen zu erreichen.⁷

2. Eckpunktepapier

Damit wird der bisherige Ansatz für eine Novelle des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes⁸ fortgeführt. Einen Anlauf dazu unternahm bereits die Ampelregierung mit einem Gesetzentwurf zur Änderung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes vom 29.5.2024,⁹ welches das Erprobungs- und Demonstrationsgesetz ablösen sollte, das schon seit 2012 existiert und nie richtig Platz greifen konnte. Die Verabschiedung kam infolge des Ampelbruchs nicht mehr zustande. Durch den Entwurf sollten die Anwendung von CCS und CCU sowie der Transport und die Offshore-Speicherung von CO₂ ermöglicht werden. Meeresschutzgebiete wurden allerdings von der CO₂-Speicherung ausgeschlossen. Der strategische Fokus für den Einsatz von CCS lag auf schwer oder nicht vermeidbaren Emissionen. CCS (Carbon Capture and Storage) steht für die Abscheidung und Speicherung von CO₂, CCU (Carbon Capture and Usage) für die Abscheidung und Nutzung von CO₂.¹⁰ Nicht gefördert wurde dadurch allerdings die Verbrennung von Kohle. Die Kohleverstromung war eigens ausgenommen.

3 Gesetzentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes, abrufbar unter https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/2025/20250806-gesetzentwurf-kohlendioxid-speicherungsgesetz-aenderungsgesetz-kabinettsvorlage.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (letzter Abruf: 20.8.2025), S. 67 f.

4 Koalitionsvertrag vom 9.4.2025, Verantwortung für Deutschland, S. 33 f.

5 Frenz, RdE 2025, 285 (289) auch für das Folgende.

6 S. dazu Wasielewski, in: Frenz, CO₂-Sequestration (CCS), 2012, S. 45 ff.

7 Koalitionsvertrag vom 9.4.2025, Verantwortung für Deutschland, S. 34.

8 Dazu Frenz, EnK aktuell 2024, 010364 und ders., UPR 2024, 373 ff. auch zum Folgenden.

9 BT-Drs. 20/11900.

10 Pressemitteilung BMWK v. 29.5.2024, Kabinett macht Weg frei für CCS in Deutschland, Habeck: „Entscheidung für CCS ist Richtungsentscheidung für die Industrie in Deutschland.“, abrufbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/05/20240529-entscheidung-ccs-industrie-deutschland.html> (letzter Abruf: 20.8.2025).

Zweck war, dass trotz des Anfalls von CO₂ energieintensive Industrien fortgeführt werden können, ohne dass die nationalen Klimaziele verfehlt werden, was sonst der Fall sein würde, wie der frühere Bundeswirtschafts- und Klimaschutzminister Habeck betonte und der Bericht des Klimaexpertenrates vom 5.2.2025 bestätigte. Damit sollte dann 2045 eine Klimaneutralität trotz CO₂-relevanter Produktionen realisiert werden. Dieses Ziel steht in § 3 Abs. 2 KSG. Daran knüpft auch die Begründung zum jetzigen Referentenentwurf an und betont die Evaluierung nach § 44 KSpG, die zu dem Ergebnis kam, dass für die Erreichung der Klimaziele nach dem KSG der Einsatz von CCS und CCU notwendig und daher das KSpG so umzugestalten ist, damit der Bau einer CO₂-Transportinfrastruktur ermöglicht wird.¹¹

In der Ampelkoalition erfolgte eine Konzentration auf energieintensive Industrien. Zugunsten von CCS und CCU in diesem Bereich sollte eine Förderung durch projektbezogene Gebotsverfahren im Rahmen der Klimaschutzverträge oder durch die damals in der Finalisierung befindliche Bundesförderung Industrie und Klimaschutz erfolgen.

3. Referentenentwurf

3.1 Grundansatz

Unter Wahrung der Klimaziele geht es im jetzigen Gesetzesentwurf um die Schaffung eines einheitlichen Rechtsrahmens, der bisher zersplittet ist, indem Kohlendioxidleitungen für Zwecke von CCU einem anderen Rechtsrahmen unterfallen als Kohlendioxidleitungen zum Zwecke von CCS und die Rechtslage für gemischt genutzte Kohlendioxidleitungen gänzlich unklar ist.¹² Der „Flaschenhals“ für einen Hochlauf von CCS ist die Einspeisekapazität für CO₂ innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes und das Auffinden von geeigneten Speichern. Daher soll mit dem vorliegenden Gesetz auch die Errichtung von Kohlendioxidspeichern zum kommerziellen Einsatz im industriellen Maßstab und unter Berücksichtigung bestehender Nutzungen sowie verbindlicher ökologischer Kriterien ermöglicht werden.¹³

Damit erfolgt praktisch eine Neuauflage eines Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes, welches bereits 2009 auf den Weg gebracht, aber zunächst nicht erfolgreich realisiert und schließlich 2012 als reines Erkundungs-, Erprobungs- und Demonstrationsgesetz verabschiedet wurde. Ein weitergehendes umfassendes CCS-Gesetz scheiterte 2011 namentlich am Widerstand Schleswig-Holsteins im Bundesrat, welches nicht quasi das alleinige Aufnahmeland für CO₂ sein wollte.¹⁴ Nunmehr geht es bundesweit um eine Offshore-Speicherung mit entsprechenden Pipelines dorthin. Es werden weiterhin künftige Vorhaben grundsätzlich auf das Gebiet des Festlandssockels und der ausschließlichen Wirtschaftszone beschränkt, wobei zu beachten ist, dass das Gebiet des Festlandssockels und der ausschließlichen Wirtschaftszone nicht den Bereich des Küstenmeers umfasst.¹⁵ Es werden – wie schon nach den Ampelplänen – weitreichende Vorkehrungen zugunsten des Meeresumweltschutzes vorgesehen; so werden Meeresschutzgebiete grundsätzlich ausgenommen. Eine Speicherung von Kohlendioxid an Land wird auch weiterhin nicht bundesweit ermöglicht; ausgenommen sind nur Forschungsspeicher. Jedoch eröffnet das geplante Gesetz einzelnen Ländern, die dauerhafte Speicherung von Kohlendioxid auf ihrem Landesgebiet zuzulassen.

¹¹ Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 1.

¹² Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 1 f.

¹³ Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 2.

¹⁴ Im Einzelnen Wasielewski, in: Frenz (Hrsg.), CO₂-Sequestration (CCS), 2012, S. 45 ff.

¹⁵ Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 2.

3.2 Erweiterter Anwendungsbereich

Geblieben ist dementsprechend nach § 1 KSpG der Zweck, nämlich die Gewährleistung einer umweltverträglichen, dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid in unterirdischen Gesteinsschichten zum Schutz des Menschen, der Umwelt und des Klimas, auch in Verantwortung für künftige Generationen. Damit bleibt der verantwortungsvolle Umgang mit dieser Zielsetzung, um Altlasten der Zukunft zu vermeiden. Zudem soll dieses Gesetz nunmehr die Genehmigungen und den Betrieb von Kohlendioxidleitungen regeln. Dementsprechend wird § 2 KSpG angepasst. Das Gesetz geht nunmehr über den bisherigen Geltungsbereich der Erprobungen und Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid in unterirdischen Gesteinsschichten hinaus und erstreckt sich auf die Genehmigung und den Betrieb von Kohlendioxidleitungen (§ 2 Abs. 1 Nr. 1), die Genehmigung und den Betrieb von Anlagen zur dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid in unterirdischen Gesteinsschichten einschließlich der Untersuchung, der Überwachung, der Stilllegung und der Nachsorge für alle Anlagen und Einrichtungen zur Speicherung (Nr. 2 in Fortentwicklung des bisherigen § 2 Abs. 1 Nr. 1), den Transport von Kohlendioxid (Nr. 3) und sonstige Tätigkeiten, soweit dies ausdrücklich bestimmt ist (Nr. 4). Die engen Beschränkungen im bisherigen § 2 Abs. 2 zur Zulassung von Kohlendioxidspeichern entfallen. Der Anwendungsbereich bleibt aber wie bisher nach § 2 Abs. 4 im neuen § 2 Abs. 2 auch im Bereich der ausschließlichen Wirtschaftszone und des Festlandssockels. Die Injektion von Kohlendioxid im Bereich des Küstenmeers ist nach § 2 Abs. 3 Satz 2 ausgeschlossen.

Umfassend zulässig bleiben die Onshore-Kohlendioxidspeicher zu Forschungszwecken (§ 2 Abs. 4). Weitergehend können die Länder nach § 2 Abs. 5 für ihr Landesgebiet bestimmen, dass eine dauerhafte Speicherung von Kohlendioxid auch im geologischen Untergrund auf dem Gebiet des deutschen Festlands zulässig ist. Sie können dabei lediglich bestimmte Gebiete für diesen Zweck vorsehen und Länder übergreifende Speicherkomplexe zulassen, wobei dann beide Länder einverstanden sein müssen, sei es durch eine Zulassung beider Länder, sei es durch die Zulassung des Landes mit Injektion von CO₂ in den tieferen geologischen Untergrund und einen Staatsvertrag mit den anderen betroffenen Ländern, der die dauerhafte Speicherung in dem Speicherkomplex regelt. Auch für diesen Fall richtet sich die Genehmigung und der Betrieb entsprechender Kohlendioxidspeicher nach dem neu gefassten Kohlendioxidspeicherungsgesetz.

§ 2 Abs. 6 erstreckt den Anwendungsbereich des Gesetzes auch auf natürliche und juristische Personen, die Inhaber einer Genehmigung nach Art. 1 Nr. 3 RL 94/22/EG¹⁶ sind oder waren, und zwar bezüglich der durch die EU-Kommission festgelegten Verpflichtungen im Kontext der Schaffung einer Kohlendioxid-Injektionskapazität der Europäischen Union und wegen der Sanktionen bei einem Verstoß gegen solch eine Verpflichtung. Damit gestaltet das neue Kohlendioxidspeicherungsgesetz entsprechend dem Grundsatz der nationalen Vefahrensautonomie und der notwendigen Umsetzungsgesetzgebung die europäischen Regelungen näher aus, welche die Kohlendioxidspeicherkapazitäten erweitern sollen, um dieses Instrument im Interesse des Klimaschutzes voranzubringen.

16 RL 94/22/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30.5.1994 über die Erteilung und Nutzung von Genehmigungen zur Prospektion, Exploration und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen, ABl. 1994 L 164, S. 3.

4. Genehmigungen von Kohlendioxidleitungen

4.1 Grundsystem

Sodann werden die Genehmigungen näher geordnet. Dabei wird an die bisherige Regelung des § 4 KSpG angeknüpft. Indes wird diese Genehmigung neu ausgerichtet, nämlich daraufhin, dass die Kohlendioxidleitungen sowohl in ihrer Errichtung als auch in ihrem Betrieb wie in der wesentlichen Änderung im überragenden öffentlichen Interesse liegen. Wie mit diesem öffentlichen Interesse umzugehen ist, wird näher in dem neuen § 4 Abs. 1 ausgeführt, der in Satz 3 zugleich ausschließt, dass dieses überragende öffentliche Interesse in geschützten Meeresgebieten zum Durchbruch kommen kann. Im Übrigen aber ist bei der Abwägung im Rahmen von Planfeststellungsverfahren nach § 4 Abs. 1 Satz 4 KSpG-E besonders zu berücksichtigen, dass CO₂-Leitungen dem Klimaschutz dienen und dazu beitragen, die CO₂-Emissionen in Deutschland dauerhaft zu vermindern. Damit ist ihr positiver Beitrag vorgezeichnet. Auf diese Weise ist das hohe Gewicht dieses Belanges festgelegt und setzt sich regelmäßig gegen konkurrierende Belange durch.

Damit wird hier praktisch parallel zu anderen Regelungen wie im Bereich der Zulassung von Windkraftanlagen und der Zulassung als strategisch anerkannter Rohstoffprojekte nach Art. 10 Abs. 2 CRMA die Abwägung derart vorgezeichnet, dass eine Projektrealisierung regelmäßig gelingt. Es bedarf aber immer noch einer Einzelfallabwägung¹⁷ und damit einer konkreten Gegenüberstellung der für das Vorhaben streitenden Belange und der dagegen sprechenden.

Dementsprechend werden insbesondere Umweltstandards nicht ausgehebelt. Indes werden damit etwa auch Habitatschutzbelange und Artenschutzbelange überwindbar. Für die unionsrechtlich geregelten Bereiche ist es notwendig, dass auch auf europäischer Ebene eine entsprechende Abwägungsregelung geschaffen wird, wie dies für Ökostromanlagen in RED III erfolgte. Erst seitdem sind die Regelungen nach § 45b Abs. 8 BNatSchG¹⁸ unionsrechtskonform.¹⁹ Zudem sollten Kohlendioxidleitungen auch als im Interesse der öffentlichen Sicherheit und der Gesundheit liegend anerkannt werden, um auch im Rahmen der Abwägung bei prioritären Arten nach § 34 Abs. 4 BNatSchG zum Durchbruch kommen zu können.²⁰

4.2 Parallele Wasserstoffleitungen

Sodann spricht § 4 Abs. 1 Satz 5 die Zusammenlegung von Kohlendioxidleitungen und Wasserstoffleitungen in einer Trasse an.²¹ Dann soll davon ausgegangen werden, dass die Errichtung, der Betrieb sowie wesentliche Änderungen einer solchen Kohlendioxidleitung keine zusätzliche Beeinträchtigung anderer Belange darstellen, die über die alleinige Verlegung der Wasserstoffleitung hinausgeht. Das gilt allerdings nur im Grundsatz. Es wird ausdrücklich vermerkt, dass insoweit keine gegenteiligen Anhaltspunkte vorliegen dürfen. Dies ist allerdings jeweils näher zu prüfen. Allein schon das Vorliegen einer Kohlendioxidleitung bringt gegebenenfalls andere oder zusätzliche Gefährdungen wie eine Wasserstoffleitung, es sei denn, ein Austritt der durch die Leitung geleiteten Substanzen ist gänzlich

¹⁷ Explizit für strategische Rohstoffprojekte Erwägungsgrund 27 des CRMA.

¹⁸ Näher Lau, in: Frenz/Müggenborg (Hrsg.), BNatSchG, 4. Aufl. 2024, § 45b Rn. 16.

¹⁹ Frenz, Immissionsschutz 2023, 190 (190 f.).

²⁰ S. o. 1.

²¹ Näher Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 49.

ausgeschlossen. Es dürfen aber auch insoweit keine Umweltstandards umgangen werden. Daher ist jeweils im Einzelfall zu prüfen, ob sich insoweit zusätzliche Auswirkungen ergeben.

4.3 Werksgelände

Ausgenommen von dem Planfeststellungserfordernis, welches grundsätzlich aufgestellt wird, werden nach § 4 Abs. 3 KSpG-E Kohlendioxidleitungen, die den Bereich eines Werksgeländes nicht überschreiten und die einer Genehmigungspflicht nach anderen Vorschriften unterliegen. Indes kann gleichwohl der Träger des Vorhabens ein Planfeststellungsverfahren beantragen. Dies wird insbesondere dann in Betracht kommen, wenn sich gravierende Umweltauswirkungen ergeben. Schließlich ist eine Umweltauswirkung in ihrer Beeinträchtigungsintensität unabhängig davon, ob sie auf einem Werksgelände oder außerhalb davon erfolgt. Von daher ist auch insoweit sorgfältig zu prüfen und gegebenenfalls dem Vorhabenträger naheulegen, ein Planfeststellungsverfahren zu beantragen, soweit eine Umweltverträglichkeitsprüfung nötig ist. Die Gesetzesbegründung geht generell von einer Genehmigungspflicht nach immissionsschutzrechtlichen Vorschriften aus.²²

4.4 Weitere Ausgestaltung

Schließlich können nach § 4 Abs. 4 KSpG-E auf Antrag des Vorhabenträgers einzelne, dem Leitungsbetrieb dienende Anlagen und damit vor allem Verdichter-, Druckerhöhungs-, Entspannungs-, Regel- und Messanlagen vom Planfeststellungsverfahren ausgenommen werden, soweit sie schon nach anderen Vorschriften zu genehmigen sind. Sie können damit unabhängig genehmigt werden.²³

Im Folgenden werden die verfahrensmäßigen Einzelheiten näher geordnet. Nach § 4 Abs. 5 KSpG-E i.V.m. § 74 Abs. 6 VwVfG kann eine Plangenehmigung statt einer Planfeststellung erteilt werden. Anfechtungsklagen dagegen haben nach § 4 Abs. 6 KSpG-E i.V.m. § 43e Abs. 1 Satz 1 EnWG keine aufschiebende Wirkung; deren Anordnung auf Antrag ist nach Maßgabe von § 4 Abs. 6 KSpG-E i.V.m. § 43e Abs. 1 bis 3 EnWG beschränkt.²⁴

§§ 72 ff. des VwVfG werden für das Planfeststellungsverfahren teilweise modifiziert. Insbesondere setzen sich nach § 4a Abs. 1 KSpG-E die Vorschriften des § 43a Satz 1, § 43b Abs. 1 Nr. 2 und 3, § 43c, § 43d, § 43 f, § 43g, § 43i, § 43j, § 43k und § 45a und b EnWG durch. Damit erfolgt eine weitere Annäherung an das EnWG sowie eine Anpassung an dessen aktuellen Stand.²⁵

4.5 Enteignungen

§ 4a Abs. 5 KSpG-E legt eine vorrangige Bearbeitung für Vorhaben fest, welche der Errichtung, dem Betrieb sowie wesentlichen Änderungen von Kohlendioxidleitungen dienen. Dabei ist allerdings das Beschleunigungsinteresse auch anderer Vorhaben im überragenden öffentlichen Interesse zu beachten. Damit wird an das Vorliegen eines überragenden öffentlichen Interesses zugleich eine beschleunigte Bearbeitung geknüpft.

§ 4b KSpG erstreckt die bisherige Regelung des § 4 Abs. 5 zur Möglichkeit der Enteignung auf alle Kohlendioxidleitungen nach dem KSpG und damit über Kohlendioxidleitungen zu Kohlendioxidspeichern

22 Näher Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 50.

23 Näher Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 50.

24 Zum Hintergrund Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 50.

25 Näher Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 50 ff.

hinaus.²⁶ Das dafür erforderliche Wohl der Allgemeinheit wird weiterhin durch den Transport von Kohlendioxid zu einem Kohlendioxidspeicher definiert, durch welchen die Emission von Kohlendioxid in Deutschland zum Zweck des Klimaschutzes dauerhaft vermindert werden soll. Gleichgestellt wird aber nunmehr, wenn Kohlendioxid transportiert wird, um einen nachgewiesenen Bedarf für die Nutzung von Kohlendioxid als Rohstoffquelle für Kohlenstoffverbindungen zu decken, um auch so aus Gründen des Klimaschutzes die Emission von CO₂ in Deutschland dauerhaft zu vermindern oder um aus der Atmosphäre entnommenes Kohlendioxid zu einem Kohlendioxidspeicher zu transportieren, um es dort dauerhaft zu speichern. Damit bildet der Transport von CO₂ aus Gründen des Klimaschutzes ein gewichtiges Gemeinwohlinteresse, welches Enteignungen zu tragen vermag, ebenso nunmehr aber die Nutzung als Rohstoffquelle. Dabei kommt es nicht mehr darauf an, ob der Kohlendioxidspeicher in Deutschland oder im Ausland liegt.²⁷ Über die Enteignung wird zugleich im Planfeststellungsbeschluss entschieden.

Entfallen ist die Prüfung, ob der Enteignungszweck „an anderer Stelle“ erreicht werden kann, können doch Leitungen regelmäßig an anderer Stelle errichtet werden, sodass von dort wieder eine Zurückverweisung erfolgen kann, mithin ein Ping-Pong-Spiel droht.²⁸ Wie auch sonst bei Enteignungen gilt weiterhin das notwendige Bemühen um einen freihändigen Erwerb.

4.6 Verordnungsermächtigung

§ 4c der neuen Regelung enthält eine umfassende Verordnungsermächtigung zugunsten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, das dabei aber im Einvernehmen mit dem Bundesumweltministerium handeln muss und die Zustimmung des Bundesrates einzuholen hat, für Regelungen, welche die Einzelheiten des Planfeststellungsverfahrens und des Genehmigungsverfahrens näher bestimmen, ebenso für Vorkaufsrecht, vorzeitige Besitzeinweisungen etc. Damit kann die gesetzliche Grundregelung näher ausgestaltet werden, ohne den jetzigen Gesetzgebungsablauf über Gebühr zu belasten.

4.7 Potenzialbewertung und Leitfaden

Der bisherige § 5 KSpG regelt die Analyse und Bewertung der Potenziale für die dauerhafte Speicherung. Insoweit enthält § 5 KSpG-E ergänzende Regelungen. Insbesondere ist ein weiterer Leitfaden für die naturschutzfachlichen Grundlagen vor allem mit den in Anlage 1 Teil 2 aufgeführten Punkten und für die sonstigen Grundlagen für eine wirksame Umweltvorsorge für den Bereich der ausschließlichen Wirtschaftszone und des Festlandsockels vorgesehen (§ 5 Abs. 3). Auf dieser Basis kann eine umfassende Bewertung erfolgen. Die Bundesländer, welche die Speicherung an Land zulassen, müssen ihrerseits die erforderlichen naturschutzfachlichen Grundlagen im Benehmen mit dem Bundesamt für Naturschutz und sonstige Grundlagen im Benehmen mit dem Umweltbundesamt erarbeiten. Für die Erarbeitung dieser Grundlagen setzt das Bundeswirtschafts- und Energieministerium eine Frist von höchstens sechs Monaten (§ 5 Abs. 5 Satz 1 KSpG-E), sodass insgesamt die Zulassung von Kohlendioxidleitungen rasch vorangehen soll.

26 Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 55 f.

27 Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 56.

28 Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 56: „Scheinlösung“.

5. Genehmigung von Kohlendioxidspeichern

5.1 Parallelität zu Kohlendioxidleitungen

In Fortentwicklung der bisherigen Regelungen ordnen §§ 11 ff. KSpG-E die Genehmigung der Errichtung, des Betriebs sowie der wesentlichen Änderung eines Kohlendioxidspeichers. Auch sie bedürfen generell der vorherigen Planfeststellung. Diese Vorgänge liegen im überragenden öffentlichen Interesse, außer sie befinden sich in einem geschützten Meeresgebiet (§ 11 Abs. 1 KSpG-E). Die Abwägung hat entsprechend § 4 Abs.1 Satz 5 KSpG-E zu erfolgen. Es ist damit nicht von vornherein die Abwägung im Ergebnis bestimmt, sondern es ist dann immer noch eine Einzelfallabwägung erforderlich, bei der aber die Aspekte des Klimaschutzes und damit diejenigen, die für den Betrieb, die Errichtung oder die wesentliche Änderung eines Kohlendioxidspeichers sprechen, vorrangig zu berücksichtigen sind und damit regelmäßig überwiegen. Es besteht aber kein automatischer Effekt. Das gilt auch für die Frage, ob zusätzliche Beeinträchtigungen vorhanden sind, wenn sich Wasserstoffspeicher neben den Kohlendioxidspeichern befinden. Insoweit ist die Sachlage vergleichbar zu den Leitungen, nur dass Speicher generell stärkere Auswirkungen haben und damit auch insoweit intensiver zu prüfen sind.

5.2 Verschärfte materielle Anforderungen

Die materiellen Voraussetzungen des § 13 KSpG werden erweitert, so im Hinblick darauf, dass keine wesentliche Beeinträchtigung des Baus und Betriebs von Windenergieanlagen auf See und Offshore-Anbindungsleitungen, sonstigen Energiegewinnungsanlagen zur Erzeugung von Wasserstoff sowie von Wasserstoffleitungen kommt (§ 13 Abs. 1 Satz 1 Nr. 8 KSpG-E). Der Antragsteller muss nachweisen können, dass höchstens eine unwesentliche Beeinträchtigung vorliegt oder eine wesentliche Beeinträchtigung durch geeignete Maßnahmen verhindert werden kann. Dadurch wird dem Grundsatz der Priorität des Ausbaus erneuerbarer Energien und des Hochlaufs der Wasserstoffwirtschaft Rechnung getragen, um die Klimaziele nach dem KSG zu erreichen.²⁹ Zum Schutz der Meeresumwelt sind Anlagen, die der Injektion des Kohlendioxids dienen, in geschützten Meeresgebieten nach § 57 Abs. 2 BNatSchG sowie in einem Abstand von weniger als 8 Kilometern dazu ausgeschlossen (§ 13 Abs. 1 Satz 1 Nr. 9a) KSpG-E). Ebenso darf die Stelle am Meeresboden, an der das Kohlendioxid in den tieferen geologischen Untergrund injiziert werden soll, nicht in einem geschützten Meeresgebiet oder in einem Abstand von weniger als 8 Kilometern dazu liegen (§ 13 Abs. 1 Satz 1 Nr. 9b) KSpG-E). Die für die Speicherung vorgesehenen Gesteinsschichten dürfen sich nicht unterhalb eines geschützten Meeresgebietes befinden (§ 13 Abs. 1 Satz 1 Nr. 9c) KSpG-E), um auch eine Einwirkung etwa durch den zur Überwachung des Speicherkomplexes erforderlichen Schiffsverkehr zu verhindern.³⁰ Maßgeblich ist die Schutzzerklärung zum 31.12.2023.

5.3 Bedarfsregelung

§ 13 Abs. 1 Satz 3 KSpG-E ermöglicht allerdings, unter bestimmten Voraussetzungen von dem vorgenannten Ausschluss nach § 13 Abs. 1 Satz 1 Nr. 9a) bis c) KSpG-E im Verordnungswege nach § 25 Abs. 3 KSpG-E abzuweichen, wenn auf Basis der Evaluierung nach § 44 KSpG vor allem im Hinblick auf

²⁹ Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 61 f. auch zum Vorhergehenden.

³⁰ Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 62 auch zu weiteren Schutzregelungen..

den neuen § 44 Abs. 2 Nr. 3a) KSpG-E die Speicherkapazitäten nicht ausreichen (sog. Bedarfsregelung).³¹ Dies betrifft allerdings für § 13 Abs. 1 Satz 1 Nr. 9a) und b) KSpG-E nur den Abstand von 8 Kilometern, der damit verringert werden kann.

5.4 Verordnungsermächtigung für das Verfahren

Auch für das Genehmigungsverfahren für Kohlendioxidspeicher besteht eine Verordnungsermächtigung zugunsten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, das im Einvernehmen mit dem Bundesumweltministerium vorgehen muss und die Zustimmung des Bundesrates einzuholen hat. Es geht nach § 26 Abs. 1 KSpG-E um das Verfahren für die Untersuchungsgenehmigung, die Planfeststellung und die Plangenehmigung sowie die Stilllegungsgenehmigung. Besonders hervorgehoben werden nähere Vorschriften über die Bearbeitung von Anträgen und ein Vorrang bei der Bearbeitung sowie vorzulegende Unterlagen. Zwecks Bürokratieabbaus und Beschleunigung ist auch insoweit darauf zu achten, dass eine Vollständigkeitsprüfung in recht kurzer Zeit erfolgt und ab dann die regulären Bearbeitungsfristen laufen.³²

6. Gesamtfazit

Insgesamt wird eine Regelung vorgelegt, welche die Verfahren für Kohlendioxidleitungen und -speicher rechtssicher macht, sowie beschleunigt. Dass diese Projekte im überragenden öffentlichen Interesse liegen, bedeutet keinen Automatismus in der Abwägung, gibt Letztere aber doch in ihrem Ergebnis in starkem Umfange vor. Der Beschleunigung dient weiter, dass die erstinstanzliche Zuständigkeit des OVG nach § 39a KSpG-E festgelegt wird. Zugleich werden nicht Standards abgebaut, sondern weiterhin sorgfältig geprüft. Insbesondere bleiben Meeresschutzgebiete außen vor. Damit handelt es sich um eine verantwortungsvolle Regelung, sodass Altlasten für die Zukunft nicht zu befürchten sein sollten. Entscheidend ist dabei die Handhabung im Einzelfall sowie in den anstehenden Verordnungserlassen.

7. Literatur

Frenz, Walter: Bürokratieabbau in der Rohstoffgewinnung, in: UPR 2025, S. 281 ff.

Frenz, Walter: Das neue Kohlendioxid-Speicherungsgesetz – ein konsistenter Weg?; in: EnK aktuell 2024, 010364.

Frenz, Walter: WEA und REDIII: ein Vorbild für alle größeren BImSchG-Anlagen, in: Immissionsschutz 2023, S. 190 ff.

Frenz, Walter: Schwarz-rote Energiepolitik, in: RdE 2025, S. 285 ff.

Frenz, Walter: Neuauflage der Kohlendioxidspeicherung - unionsrechtskonformes Allheilmittel für den Klimaschutz?, in: UPR 2024, S. 373 ff.

Frenz, Walter: CO₂-Sequestration (CCS), 2012, Clausthal-Zellerfeld.

Frenz, Walter/Müggenborg, Hans-Jürgen (Hrsg.), BNatSchG, 4. Aufl. 2024, Berlin.

³¹ Begründung zum Gesetzesentwurf (Fn. 2), S. 63.

³² Dazu näher Frenz UPR 2025, 281 ff.

Untersuchungen zur Immobilisierung PFAS-kontaminierter Böden für die Deponierung – Ergebnisse aus einem AAV- Forschungsvorhaben

Michael Reinhard¹, Michael Gass²

Inhalt

1. Einleitung	128
2. Material und Methoden	129
3. Ergebnisse	129
4. Literatur	130

1. Einleitung

In Deutschland werden zunehmend mehr Standorte bekannt, auf denen Belastungen mit poly- und perfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) vorliegen. Der Umgang mit PFAS-verunreinigtem Aushub ist schwierig und derzeit auf eine nachfolgende Deponierung, Bodenwäsche oder thermische Verwertung bei hohen Temperaturen beschränkt. Wegen der hohen Kosten der thermischen Verwertung wird derzeit die Deponierung vorgezogen. Dem steht allerdings gegenüber, dass Deponien zunehmend weniger geneigt sind, PFAS-belastete Böden anzunehmen. Hintergrund ist, dass auf den in Betrieb befindlichen Deponien die PFAS durch versickernde Niederschläge aus den Böden eluieren. Das entstehende PFAS-belastete Deponie-Sickerwasser muss dann entsprechend kostenintensiv gereinigt werden. Insgesamt wird dadurch der für PFAS-belastete Böden verfügbare Deponieraum stark eingeschränkt.

Ein Ausweg aus dem Dilemma könnte die Immobilisierung der PFAS in ausgehobenen Böden bieten. Hier existieren bereits eine Reihe kommerziell erhältlicher Sorptionsmittel, die nach einem Zumischen die PFAS so weit immobilisieren, dass eine Elution durch Niederschläge nur zu PFAS-Belastungen im Sickerwasser unterhalb der Beurteilungswerte, meist sogar unterhalb der Bestimmungsgrenzen führt.

Das Thema Immobilisierung wurde auch anlässlich der Fachgespräche im Rahmen der Erstellung des UBA-Handbuches „Sanierungsmanagement für lokale und flächen-hafte PFAS-Kontaminationen“ intensiv diskutiert. Besondere Beachtung fand die Kombination einer Immobilisierung mit anschließender Deponierung (Abfallkonditionierung). Durch die Immobilisierung werden die Eigenschaften des Abfalls (PFAS-belasteter Boden) so weit „verbessert“, dass eine durch Niederschläge bedingte Eluierung der PFAS während der Einlagerungsphase weitgehend vermindert wird und so eine einfachere Deponierung möglich erscheint. Hieraus würde ein geringerer Anspruch an die Sickerwasseraufbereitung resultieren und mehr Deponien würden die PFAS-belasteten Böden annehmen können.

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Verbandes für Flächenrecycling und Altlastensanierung (AAV) wurde daher die Möglichkeit einer Ex-situ-Immobilisierung zur anschließenden

¹ Dr. Michael Reinhard , Arcadis Germany GmbH Karlsruhe, E-Mail: michael.reinhard@arcadis.com

² Dr. Michael Gass , AAV - Verband für Flächenrecycling und Altlastensanierung, Hattingen, m.gass@aav-nrw.de

Ablagerung des kontaminierten Bodens auf Deponien geprüft. Die Versuche erfolgten im Labor- und im halbertechnischen Maßstab an der Universität Duisburg-Essen. Im Vordergrund stand dabei die Entwicklung eines Vorgehens zur Prüfung der Langzeitbeständigkeit einer Immobilisierung sowie der Ableitung eines in der Praxis nachvollziehbaren Prüfverfahrens.

2. Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden Böden aus drei mit Löschschäumen kontaminierten Standorten und einem Boden aus einem Galvanik-Standort (GAL) verwendet.

Zur Verwendung kamen vier pulverförmige Sorptionsmittel, zwei basierend auf organisch modifiziertem Ton und zwei auf Aktivkohle. Nach einer Inkubationszeit von 7 Tagen (statisch) bei Raumtemperatur wurden Bodeneluate (2:1, Wasser: Feststoff) hergestellt. Aus der Gruppe der PFAS wurden die 13 gesetzlich geregelten Verbindungen nach der DIN 38407-42 (F42) analysiert.

Zur Untersuchung, inwieweit die Sorption der PFAS über sehr lange Zeiten stabil bleiben, fanden Versuche zur künstlichen beschleunigten Alterung der Sorptionsmittel (Zeitraffer) mit physikalischen, chemischen und biologischen Methoden statt. Bei einer Deponierung solcher Böden muss die Langzeitstabilität über den Zeitraum der Einlagerung in die Deponie gegeben sein. Nach dem Schließen der Deponie und einer nachfolgenden Oberflächenabdeckung sollte eine Desorption durch Niederschläge nicht mehr möglich sein.

Bei der physikalischen Alterung mittels Frier-Tau-Zyklen wurden über 6 Wochen lang die Boden-Sorptionsmittel-Gemische zyklisch bei -18 °C eingefroren und anschließend bei +40 °C wieder aufgetaut.

Für die Trocken-Feuchte-Zyklen wurden über einen Zeitraum von 6 Wochen die Ansätze bis zur Gewichtskonstanz bei 60 °C getrocknet und anschließend mit Leitungswasser für 12 Stunden bei Raumtemperatur wieder befeuchtet (40 % WHKmax).

Zur beschleunigten biologischen Alterung wurden die immobilisierten Bodenproben mit Biomasse (Klärschlamm) und einem Nährstoffmedium für die Bakterien versetzt, gemischt und bei 28 °C aerob für 6 Wochen gelagert.

Nach 2, 4 und 6 Wochen wurden aus allen Ansätzen zur Alterung Teilproben entnommen, eluiert und analysiert.

Bei dem ebenfalls angewendeten Verfahren des Accelerated Solvent Extraction (10 min bei 80 °C und Wasserextraktion bei 100 bar) wurde das Sorptionsmittel selbst künstlich gealtert und anschließend mit den Bodenproben vermischt.

3. Ergebnisse

Die Proben wiesen vor der künstlichen Alterung sehr hohe Konzentrationen auf.

Die künstlich gealterten Böden wiesen eine geringfügig schlechtere Sorption auf als die nicht gealterten Kontrollböden, die Sorption verbesserte sich sogar bis zur 6. Versuchswoche. Am Ende der Versuche wiesen alle, gealterte und nicht-gealterte, Ansätze PFAS-Konzentrationen im Eluat unterhalb der selbst gewählten Beurteilungswerte (GFS- und GOW-Werte als Vergleichsmaßstab) auf

Auf Basis der positiven Versuchsergebnisse wurde für die Anwendung der Immobilisierung in der Praxis ein Vorschlag unterbreitet.

Eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kam zu dem Schluss, dass eine Immobilisierung von Böden im Rahmen einer Deponierung wirtschaftlich sein kann.

In einem nächsten Schritt erfolgt derzeit die Übertragung in eine praktische Vorgehensweise und einem anschließenden Test in Feldversuchen, um die Anwendbarkeit zu verifizieren.

Der Forschungsbericht inklusiver aller Dokumentationen steht auf der Homepage des AAV als Download zur Verfügung.

4. Literatur

Held, T., Reinhard, M. (2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächen-hafte PFAS-Kontaminationen TEXTE 137/2020, Forschungskennzahl 3717 76 231 0, FB000332/ANH,D, Hrsgb: Umweltbundestamt, Dessau.

Untersuchungen zur Immobilisierung PFAS-kontaminierter Böden: aav-nrw.de/media/pages/neuigkeiten/untersuchungen-zur-immobilisierung-pfas-kontaminierter-boeden/50c7632458-1723012902/abschlussbericht_immobilisierung_pfas_boden.pdf (11.06.2025).

Rückholbare Zwischenlagerung von Klärschlammaschen auf Deponien- Problemlösung oder Problem?

Jan Deubig¹, Christian Rasquin²

Inhalt

1. Hintergrund	131
2. „Rückholbare Ablagerung“ auf Deponien?.....	132
3. Langzeitlager.....	133
4. Zwischenergebnis.....	133
5. Alternativen.....	134
6. Fazit.....	135

1. Hintergrund

Phosphor, ein für die Landwirtschaft als Düngemittel unerlässlicher Stoff, ist von der Europäischen Union als kritischer Rohstoff eingestuft worden, da es in der EU nur begrenzt eigene Vorkommen gibt und man für den Rohstoff zu großen Teilen auf den Import aus einigen wenigen Ländern beschränkt ist. Um diese Abhängigkeit zu verringern, hat der deutsche Gesetzgeber beschlossen, das Phosphorrecycling voranzutreiben. Ab 2029 besteht eine Pflicht zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm für Phosphorgehalte ab mind. 2% für Kläranlagen, die für mindestens 100.000 Personen Abwässer klären. 2032 wird diese Verpflichtung auf Kläranlagen ab 50.000 Einwohner ausgeweitet. Das Phosphor soll dabei nicht unmittelbar aus dem Klärschlamm, sondern aus den Klärschlammaschen gewonnen werden.

Perspektivisch werden wohl ca. 550.000 t Klärschlammaschen jährlich in Deutschland anfallen. Problematisch ist, dass aller Voraussicht nach für das Phosphorrecycling bis zum Jahr 2029 jedoch weder qualitativ noch quantitativ die nötigen Recyclingkapazitäten zur Verfügung stehen werden. Ein aktueller Sachstandsbericht zur Situation wird für den 10. Oktober 2025 erwartet, an dem das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) zum Branchendialog „Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm“ geladen hat. Es zeichnet sich ab, dass trotz der ehrgeizigen Ziele weder die nötige Technologie noch die entsprechenden Kapazitäten in hinreichendem Umfang zur Verfügung stehen werden. Sollte das Ministerium trotz nicht vorhandener Recyclingkapazitäten an diesem Zeitplan festhalten, ist zu fragen, wie ab 2029 mit den dann anfallenden aufbereitungspflichtigen Klärschlammaschen zu verfahren ist. Unter der Prämisse, dass bis 2035 ausreichend Recyclingkapazitäten am Markt verfügbar sind, akkumuliert sich bis dahin perspektivisch eine Menge von ca. 1,7 Mio. Mg Klärschlammaschen - ca. 2,8 Mio. m³, die irgendwo gelagert werden müssten.

Die Frage nach dem „Wohin“ war u.a. Gegenstand des Branchendialogs „Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm“, welches vom BUMKN im Mai 2024 durchgeführt wurde. Dort wurde u.a. diskutiert, ob man die Klärschlammaschen auf Deponien „lagern“ könnte. Rein kapazitätsmäßig könnten Deponien die

¹ Jan Deubig, Stellv. Vorsitzender der Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V., jan.deubig@zak-kl.de

² Christian Rasquin, Geschäftsführer der Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V., rasquin@inwesd.de

Klärschlammaschen zwar aufnehmen. Damit einher gehen jedoch eine Vielzahl offener Fragen, die der Klärung bedürfen.

2. „Rückholbare Ablagerung“ auf Deponien?

Deponien sind technische Bauwerke für die Ewigkeit. Sie dienen als Schadstoffsinken für belastete Materialien, die dem Stoffkreislauf für immer entzogen werden sollen. Deponien sind Beseitigungsanlagen am Ende der Abfallhierarchie. Als technisches Bauwerk sollen sie Entsorgungssicherheit gewährleisten. „Schubladen“ für wieder ausbaubare Materialien sind weder rechtlich vorgesehen noch technisch ohne weiteres möglich. Abfälle werden auf Deponien „eingebaut“, gehen also eine feste Verbindung mit dem Deponiekörper ein, die grundsätzlich unumkehrbar ist. Eine Rückholung von Materialien würde zudem durch die spezifische Bauweise von Deponien erschwert: Deponien werden oberflächenabgedichtet, um das Aufkommen an Sickerwasser zu minimieren. Die Abfälle werden somit eingekapselt. Nach dem Ende der Ablagerung wird eine Deponie rekultiviert und mit einer Rekultivierungsschicht überbaut. Dazu ist der Deponiebetreiber rechtlich verpflichtet. Der Einbau von Klärschlammaschen in einem Monobereich zur Rückholung konfliktiert daher mit nahezu allem, was den Grundsätzen einer ordnungsgemäßen Deponiebewirtschaftung entspricht – der sicheren, nichtemissiven Endlagerung von Abfällen.

Wollte man Klärschlammaschen nun auf einer Deponie rückholbar „einlagern“, müssten diese sortenrein separiert von den anderen Abfällen in sog. Monobereiche oder Kassetten eingebaut werden, die eine Rückholung in der Zukunft zwecks Phosphorrecycling grundsätzlich zulassen würden. Dennoch darf bei einem Ausbleiben der Rückholung weder Deponiebetrieb noch Deponiesicherheit gefährdet sein. Die Klärschlammasche muss für den Einbau befeuchtet werden, damit sie abbinden und möglichst staubarm eingebaut werden kann. Hier ist noch offen, wo die Befeuchtung der Aschen erfolgen soll. Mögliche Optionen wären bereits beim Verbrenner, in separatem Silo oder durch eine Bewässerungsanlage auf der Deponie. Aufgrund der Verfestigung der Asche ist im Übrigen ein späterer bergmännischer Abbau erforderlich. Für die Bodenmechanik stellen Klärschlammaschen ebenfalls ein Problem dar, da sie eine geringere Dichte als übriges Material haben und so eine Herausforderung für die Standsicherheit sind. Es stellen sich weitere technische Herausforderungen, etwa der Umgang mit Randbereichen, dem mengengleichen Rückbau, dem Ausgleich von Setzungen, uvm.

Nicht abschließend geklärt ist, ob eine separate Sickerwasserfassung und -behandlung (z.B. Molybdän, Selen, Arsen, Chrom VI, pH10) notwendig ist. Dem Vernehmen nach ist zwar keine separate Untergrundsichtung zum Deponiekörper und auch keine separate Sickerwasseraufbereitung erforderlich. Ob es dabei bleibt, hängt jedoch von der Qualität der Aschen und entsprechender Analyseergebnisse ab. Als weitere Herausforderung kommt hinzu, dass die Aschenerzeuger eine anlieferbezogene Ablagerung wünschen und die Aschen chargenweise gelagert werden sollen, da sie unterschiedliche Qualitäten haben. Die Rückholung von der Deponie wäre dann so lange möglich, wie der Lagerbereich nicht überschüttet würde. Hierzu müssten besondere Bereiche - etwa am Rand des Deponiekörpers - ausgewiesen werden, damit die An- und Ablieferung der Aschen unabhängig vom normalen Deponiebetrieb vonstattengehen könnten. Bei einem offenen Einbau stellt sich ferner das Problem, dass der Phosphor durch den Regeneintrag sukzessive schleichend eluiert und schlussendlich gar nicht mehr in den Aschen enthalten ist.

Neben diesen technischen Fragen und Problemen gibt es diverse rechtliche Fragen. Wäre für das Vorgehen eine separate Genehmigung erforderlich? Was ist, wenn die Aschen nicht rechtzeitig wieder zurückgeholt werden? Hemmt dies den Beginn der Stilllegungsphase? Was passiert im Falle der Insolvenz von

Aschenlieferant oder Deponiebetreiber? In jedem Fall bleiben Stilllegung und Nachsorge in der Verantwortung des Betreibers, sodass dieser durch die Annahme der Aschen nicht unerhebliche rechtliche und wirtschaftliche Risiken eingeht.

3. Langzeitlager

Eine weitere Möglichkeit wäre die Langzeitlagerung auf Deponien. Diese richtet sich für Langzeitlager der Klasse II für nicht gefährliche Abfälle oder der Klasse III für gefährliche Abfälle nach §23 und §24 DepV und unterliegt einem eigenständigen Zulassungsverfahren nach BImSchG. Voraussetzung für die Langzeitlagerung ist grundsätzlich der Nachweis, dass nur Abfälle angenommen werden dürfen, für die ein schriftlicher Nachweis darüber vorliegt, dass die nachfolgende ordnungsgemäße und schadlose Verwertung oder gemeinwohlverträgliche Beseitigung gesichert ist, vgl. § 23 Abs. 1 S. 2 DepV, wobei der Verordnungsgeber hier bereits eine Ausnahme davon für Klärschlammaschen vorgesehen hat, vgl. Abs. 3. Identisch zur Ablagerung stellen sich hier dieselben Probleme bei der technischen Ausführung: die chargenweise, anliefererbezogene Zwischenlagerung, eine notwendige Befeuchtung mit Verfestigung der Aschen, damit einhergehend erhöhter technischer Aufwand bei der Rückholung sowie die langfristige, schleichende Elution von Phosphor abhängig von der Einbauweise (offen/geschlossen). Darüber hinaus sind für Langzeitlager die Vorgaben der Deponieverordnung umzusetzen.

Auch für die Langzeitlagerung bedarf es vertraglicher Regelungen zwischen den Betreibern der Verbrennungsanlagen bzw. Kläranlage und den Deponiebetreibern, die bestehende Risiken und Kosten interessengerecht verteilen.

4. Zwischenergebnis

Sowohl die rückholbare Ablagerung als auch die Langzeitlagerung von Klärschlammverbrennungsaschen auf Deponien bringen diverse technische, rechtliche und wirtschaftliche Probleme mit sich und können eine ordnungsgemäße Deponiebewirtschaftung behindern. Deponien sind darauf ausgelegt, Abfälle dauerhaft aus dem Stoffkreislauf auszuschleusen und sicher abzulagern. Eine Rückholung von Stoffen aus dem Deponiekörper ist weder rechtlich vorgesehen noch technisch ohne weiteres möglich.

Werden Aschen angenommen, erfolgt die Rückholung in einem gegenwärtig nicht absehbaren Zeitraum. Es ist nicht seriös vorhersagbar, ob und wann die entsprechenden Recyclingkapazitäten bestehen werden. Zunächst einmal würden sich die Aschen auf den Deponien ansammeln, bis dass ausreichend Recyclingkapazitäten am Markt bestehen. Sodann wären de-facto Überkapazitäten an Recyclingvolumina erforderlich, um die abgelagerten Aschen sukzessive rückzuholen und einem Recycling zuzuführen. Dieser Prozess kann sich Jahrzehnte hinziehen. Ob dann noch der politische Wille (und damit die rechtliche Verpflichtung) besteht, jahrzehntelang abgelagerte, womöglich aus eluierte Aschen zwecks Aufbereitung zurückzuholen, ist fraglich. Ein Deponiebetreiber muss in jedem Fall davon ausgehen, dass das Material womöglich weit über den regulären Ablagerungszeitraum hinaus auf der Deponie verbleibt – ein unkalkulierbares rechtliches, technisches und betriebswirtschaftliches Risiko.

Ferner ist unklar, welche Auswirkungen auf Stilllegung und Nachsorge der Deponie bestehen. Kann die Deponie stillgelegt werden, obwohl noch die Aschen rückgeholt werden müssen und der entstehende Deponieraum verfüllt werden muss? Soll die stillgelegte Deponie vollständig rekultiviert werden? Dann müsste sie zwecks Aschenausbau später wieder geöffnet werden. Alternative wäre eine temporäre

Dichtung. Und welche Einrichtungen (z.B. Waage, Zuwegung) müssen bis zum Wiederausbau vorgehalten werden?

Die gegenwärtigen Diskussionen geschehen in einem Umfeld allerorts knappen Deponieraums. Es muss allen Beteiligten klar sein, dass die Zwischenlagerung von Aschen hier die Nachfrage nach Deponievolumina weiter erhöht. Auch die getrennte Lagerung der Aschen nach Anlieferer und der Einbau in Kassetten auf einem Plateau mit Randbeschränkungen führt zwangsläufig zu Flächenbeschränkungen.

5. Alternativen

Angesichts der vielen offenen technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Fragen ist es sinnvoll, sich über Alternativen Gedanken zu machen.

Das Einfachste wäre eine Öffnung der Zeitachse für die Phosphorrückgewinnung. Auch wenn nachvollziehbar ist, dass das BMUKN dem Vernehmen nach nicht den „Druck vom Kessel“ nehmen möchte, sollte ernsthaft hinterfragt werden, ob der enorme Aufwand und Einsatz erheblicher Ressourcen zur bloßen Zwischenlagerung von Klärschlammaschen angesichts noch nicht hinreichend ausgereifter Aufbereitungstechniken überhaupt verhältnismäßig ist.

Doch auch wenn man am bestehenden Zeithorizont festhalten will, gibt es womöglich bessere Vorgehensweisen als die rückholbare Ablagerung auf Deponien. Die Nutzung von Flächen mit abfallwirtschaftlicher Infrastruktur bietet sich aufgrund besonderer Spezifika (insbes. geeignete Zufahrt, Waage, Zaun, Annahmekontrolle, Dokumentation) dafür natürlich an. Denkbar wären Deponien in der Stilllegungs- oder Nachsorgephase, Altlastenstandorte oder Konversionsflächen. Hier könnten die Aschen als lose Schüttung auf überdachten Flächen oder in BigBags mehrlagig gestapelt gelagert werden.



Abbildung 1: So könnte eine Lagerung von Aschen in BigBags aussehen (Quelle: stock.adobe.com/angor75).

Solche Aschenlager müssten nach BImSchG genehmigt werden. Da von einem solchen Lager keine schädlichen Umwelteinwirkungen, keine erheblichen Nachteile und erheblichen Belästigungen für

Allgemeinheit und Nachbarschaft und auch keine sonstigen Gefahren ausgehen, spricht nichts gegen eine Genehmigung, vgl. § 5 BImSchG.

6. Fazit

Es ist nicht Aufgabe dieses Beitrags, die Frage nach der Sinnhaftigkeit der Aufbereitungsverpflichtung von Phosphor zu stellen. Jedoch ist bei der gegenwärtigen Problematik nicht vorhandener Recyclingkapazitäten ernsthaft zu hinterfragen, ob eine Zwischenlagerung von Klärschlammaschen mit dem Ziel einer späteren Aufbereitung angezeigt ist. Die verschiedenen skizzierten Vorgehensweisen der Zwischenlagerung führen zu erheblichen finanziellen Aufwendungen und belasten einen künftig womöglich recycelbaren Phosphor schon jetzt mit einem erheblichen ökologischen Fußabdruck. Auch wenn die Nutzung abfallwirtschaftlicher Infrastruktur für eine Zwischenlagerung sinnvoll erscheint, birgt zumindest der Einbau in bzw. die Langzeitlagerung auf Deponien erhebliche rechtliche, wirtschaftliche und technische Risiken. Diverse offenen Fragen müssen abschließend und rechtssicher geklärt sein, bevor an eine temporäre Ablagerung der Aschen auf Deponien gedacht werden kann.

Die Probenahme von Abfällen gemäß LAGA PN 98 vor Gericht

Henning Blatt¹

Inhalt

1. Einführung.....	136
2. Entstehung und Bindungswirkung	136
3. Gerichtsentscheidungen.....	137
4. Fazit.....	141

1. Einführung

Die LAGA PN 98 ist das zentrale Regelwerk zum Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Sie soll die Repräsentativität der Probenahme gewährleisten, um anhand der Untersuchungsergebnisse möglichst gesicherte Aussagen über die tatsächlichen Schadstoffgehalte des Abfalls zu erhalten. Hierzu stellt sie Anforderungen an die Probenahmestrategie (z.B. Hot-Spot-Beprobung vs. allgemeine Abfallbeprobung), den Probenahmeplan sowie die Durchführung der Probenahme auf. Mit Blick auf die Durchführung der Probenahme enthält sie spezifische Vorgaben zur Bestimmung des Volumens oder der Masse des Prüfguts, der Mindestanzahl von Einzel-, Misch-, Sammel- und Laborproben sowie der Mindestgröße der Einzelproben.

In der Praxis werden Untersuchungen von Abfällen den Anforderungen der LAGA PN 98 häufig nicht gerecht. Dies wirft die Frage nach den rechtlichen Folgen unzureichender Probenahmen auf.

2. Entstehung und Bindungswirkung

Die LAGA PN 98 wurde im Jahr 2001 von der LAGA Ad-hoc-Arbeitsgruppe „Analysenmethoden“ erarbeitet und als LAGA-Mitteilung 32 veröffentlicht. Im Mai 2019 und im Oktober 2024 wurde sie redaktionell überarbeitet.

Die Richtlinie hat keine originäre Verbindlichkeit, da sie kein staatliches Recht darstellt. Ihre Anwendung wurde 2001 durch die Amtschefkonferenz der Umweltministerkonferenz empfohlen. In den Ländern ist sie in unterschiedlichem Umfang innerbehördlich eingeführt, beispielsweise durch Anwendungserlasse. Zudem wird sie von zahlreichen Behörden auf Bundes- und Landesebene in behördlichen Informationsblättern herangezogen.

In bestimmten Kontexten ist die Anwendbarkeit der LAGA PN 98 durch staatliches Recht vorgeschrieben. Dies gilt für Probenahmen nach der Deponieverordnung sowie der Ersatzbaustoffverordnung und der Bundes-Bodenschutzverordnung. Es fehlt allerdings eine Verbindlichkeit insbesondere im allgemeinen Abfallrecht.

¹ Dr. Henning Blatt, Franßen & Nusser Rechtsanwälte PartGmbH, Hans-Böckler-Straße 1, 40476 Düsseldorf, Tel. 0211 540 13 777-30, blatt@fn.legal

Das Bundesverwaltungsgericht hat sich – soweit ersichtlich – bislang noch nicht mit der LAGA PN 98 befasst. Allerdings hat es sich zu anderen LAGA-Papieren geäußert, so insbesondere zur LAGA M 20. Diese spiegelt demnach einen allgemein anerkannten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis wider und kann, trotz fehlender rechtlicher Bindungswirkung, als Orientierungshilfe zur Konkretisierung des abfallrechtlichen Gebots der Schadlosigkeit herangezogen werden (Urteil vom 14.04.2005 – 7 C 26.03; Urteile vom 09.11.2017 – 3 A 3.15 und 3 A 4.15; Urteile vom 22.11.2018 – 7 C 11.17 und 7 C 12.17). Es spricht einiges dafür, diese Rechtsprechung auf die LAGA PN 98 zu übertragen.

3. Gerichtsentscheidungen

Bislang sind nur wenige Entscheidungen bekannt geworden, in denen Gerichte die LAGA PN 98 in ihre Entscheidungsfindung einbezogen haben. Diese sollen im Folgenden kurz dargestellt werden:

3.1 VG Freiburg (Breisgau), Beschluss vom 02.11.2010 – 2 K 138/10

In dieser Eilentscheidung ging es um die Erweiterung der Genehmigung einer Feuerungsanlage um bestimmte Althölzer. Kurz nach Produktionsbeginn traten bei einem immissionsschutzrechtlichen Nachbarn (wohnhaft 600 m von der Anlage entfernt) erhebliche gesundheitliche Probleme auf, woraufhin dieser gegen die Genehmigung klagte und einstweiligen Rechtsschutz gegen den Sofortvollzug beantragte. Das Gericht gab dem Antrag statt, da das in der Genehmigung festgeschriebene Qualitätssicherungskonzept keine hinreichende Begrenzung des Schadstoffgehalts der Althölzer gewährleistete. Als problematisch erachtete das Gericht insbesondere den Umstand, dass das Konzept sich an der in LAGA PN 98 vorgesehenen Mindestanzahl an Einzelproben orientiert, d.h. pro Altholzanlieferung (90 m³) nur 16 Einzelproben vorsehe. Die LAGA PN 98 verlange aber bei Inhomogenität des Materials eine höhere Probenzahl. Unter Berücksichtigung des Umstands, dass durch die Beprobung Althölzer unterschiedlichster Herkunft und stofflicher Zusammensetzung begutachtet würden, die bereits für sich ausgesprochen heterogen belastet seien, im Hinblick darauf, dass insoweit nicht nur mögliche Fehlwürfe, sondern auch Holzabfälle mit schwermetallhaltiger Beschichtung erfasst werden müssen, und unter Berücksichtigung des Umstands, dass es um den Ausschluss von bedenklichen Konzentrationen erheblich gesundheitsgefährdender, etwa kanzerogener Stoffe gehe, bestünden Zweifel daran, ob die Beschränkung auf die in der LAGA PN 98 vorgesehene Mindestanzahl an Einzelproben hier ausreichend ist, um hinreichend genaue und für die Gesamtabfallmenge repräsentative Schadstoffwerte ermitteln zu können.

3.2 Landgericht München II, Urteil vom 19.10.2015 – W5 KLS 70 Js 40053/12

Diesem Strafurteil ging der bundesweit bekannt gewordene sog. TechnoSan-Skandal voraus. Bei diesem Unternehmen handelte es sich um einen zertifizierten Entsorgungsfachbetrieb, der von seinen Kunden schadstoffbelastetes Material annahm und ihnen die ordnungsgemäße Entsorgung des Materials durch Sieben, Brechen oder thermische Behandlung und sodann Ablagerung in Gruben oder Deponien bestätigte.

Tatsächlich jedoch wurden erhebliche Anteile der angelieferten Materialien nicht oder nicht ausreichend behandelt. Beprobungen wurden teilweise so lange wiederholt, bis ein die Ablagerung ermöglichendes Ergebnis zustande kam, und für Beprobungen wurde gezielt Material ausgesucht, welches augenscheinlich eine geringere Belastung aufwies. Zudem wurden Deklarationsanalysen der Abfallerzeuger teilweise als zutreffend hingenommen, ohne eigene Analysen durchzuführen. Dadurch nahmen nach Auffassung des Gerichts verschiedene Mitarbeiter des Unternehmens TechnoSan billigend in Kauf, dass Abfälle

(104.071,05 t) mit einer für die Ablagerung zu hohen Schadstoffkonzentration abgelagert wurden und damit Grundwasser, Luft oder Boden der Gruben/Deponie nachhaltig verunreinigt wurden.

Das Gericht hat insbesondere den Geschäftsführer des Unternehmens wegen Betrugs, versuchten unerlaubten Umgangs mit Abfällen und unerlaubten Betreibens von Anlagen zu 4 Jahren Freiheitsstrafe und den Betriebsstättenleiter wegen Beihilfe zu 1 Jahr 10 Monaten Freiheitsstrafe auf Bewährung verurteilt.

Maßgeblich hierfür war die Feststellung des Gerichts, dass die Vorgaben der LAGA PN 98 an die Repräsentativität der Probenahmen sowohl bei den Untersuchungen der Anlieferer (Deklarationsanalysen) als auch bei den eigenen Untersuchungen des Unternehmens TechnoSan nicht eingehalten wurden. Diese Vorgaben sähen vor, dass ab einem Volumen von 30 m³ Abfall mindestens 2 Laborproben erforderlich sind, bei 300 m³ mindestens 7 Laborproben. Je größer die Probenanzahl, desto höher sei die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisse auf die Gesamtmenge übertragbar sind, wobei jedoch eine absolute Gewissheit nur bei Homogenisierung der Materialien erreichbar sei. Die jeweils vorgesehene Mindestanzahl erlaube „halbwegs gesicherte Aussagen“ über den Schadstoffgehalt. Diese Vorgaben seien jedoch bei den angelieferten, heterogenen Abfällen signifikant unterschritten worden. Daher ließen die Deklarationsanalysen der Abfallerzeuger keine sichere Aussage darüber zu, welchen Schadstoffgehalt die angelieferten Abfallmengen tatsächlich hatten, und auch die eigenen Untersuchungen ließen keine sichere Aussage darüber zu, welchen Schadstoffgehalt die letztlich abgelagerten Abfallmengen tatsächlich hatten.

3.3 Bayerischer VGH, Beschluss vom 27.03.2017 – 20 CS 16.2404

Im Nachgang zu dem vorstehend behandelten Strafurteil wurde der Geschäftsführer des Unternehmens TechnoSan, der für die Lagerung der angenommenen Materialien auf einer nicht versiegelten Freifläche durch das Unternehmen verantwortlich war, von der zuständigen Abfallbehörde verpflichtet, diese gelagerten Materialien zu verwerten bzw. zu beseitigen. Das Gericht stützte sich bei seiner Entscheidung u.a. auf verschiedene Gutachten und eine behördliche Stellungnahme, die das Gefährdungspotential des Materials bestätigten. Demnach waren die sog. Z-Werte des Bayerischen Leitfadens zur Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen teilweise um das 90fache überschritten. Das Material war zu einem großen Teil hoch bis sehr hoch belastet und potenziell geeignet, den unterlagernden Boden und Gewässer nachhaltig zu verunreinigen. Allerdings erfolgten die jeweiligen Probenahmen nicht nach den Vorgaben der LAGA PN 98.

Das Gericht war zwar der Auffassung, dass aufgrund der Abweichung von der LAGA PN 98 mit Blick auf die Art der Probeentnahme und die Anzahl der Proben keine statistisch valide Aussage über die durchschnittliche Belastung des Materials möglich sei. Es stellte aber fest, dass die LAGA PN 98 nur eine Richtlinie bzw. Empfehlung ohne verbindlichen Rechtsnormcharakter sei und dass es kein normiertes Verbot der Heranziehung von außerhalb der LAGA-Richtlinie vorgenommenen Proben gebe. Daher seien die erfolgten Probenahmen ausreichend für die Annahme einer hinreichenden Gefahr für Boden und Grundwasser.

3.4 VG Gera, Urteil vom 24.08.2017 – 5 K 84/16 Ge

Ein Tiefbauunternehmen beantragte eine Genehmigung für die Zwischenlagerung und Behandlung nichtgefährlicher Abfälle. Die Behörde qualifizierte den Anlagenoutput als Abfall und fügte der Genehmigung eine Nebenbestimmung zur Erbringung einer Sicherheitsleistung bei. Die Klage gegen diese Nebenbestimmung wurde abgewiesen, da nach Auffassung des Gerichts der Tiefbauunternehmen das Ende der Abfalleigenschaft gemäß § 5 Abs. 1 KrWG nicht nachweisen konnte und es sich daher bei dem

recycelten Beton weiterhin um Abfall handle. Die vorgelegten Analysen des Anlagenoutputs erlaubten nicht die Prognose, dass der Output nicht zu negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt führen kann.

So enthalte die LAGA PN 98 Vorgaben hinsichtlich der Anzahl der Einzel- und Mischproben nach Volumen der Grundmenge des Materials und hinsichtlich des Bereichs des Haufwerks, dem die Proben entnommen werden müssen. Diesen Vorgaben entsprächen die vorgelegten Prüfberichte für verschiedene Materialchargen nicht.

So enthielt ein Prüfbericht ein Probenahme-Protokoll ohne Angaben zum Volumen des beprobten Haufwerks von ca. 5.000 t und ohne Skizze mit den Entnahmestellen. Es sei daher nicht abschätzbar, wie viele Proben richtigerweise hätten genommen werden müssen. Nur 1 Mischprobe aus 40 Einzelproben sei jedenfalls zu wenig gewesen, da bei einem Volumen bis zu 30 m³ bereits 2 Mischproben zu 8 Einzelproben erforderlich gewesen wären.

Bei einem weiteren Prüfbericht sei zwar ein Probenahme-Protokoll zu einem Haufwerk mit einem Volumen von 700 m³ enthalten, diesem sei aber keine Skizze über die Entnahmeorte beigelegt. Zudem seien die genommenen 11 Mischproben aus 4 Einzelproben zu wenig, da 11 Mischproben zu 44 Einzelproben erforderlich gewesen wären.

Zwei weitere Prüfberichte betrafen Haufwerke von je 5.000 t, aus denen erneut jeweils nur 1 Mischprobe genommen wurde. Und schließlich betraf noch ein weiterer Prüfbericht ein Haufwerk von 1.900 t, das mit nur 1 Mischprobe beprobt wurde, und auch diesem Bericht war keine Skizze mit den Entnahmestellen beigelegt.

3.5 VG Sigmaringen, Urteil vom 04.09.2019 – 10 K 31/18

Ein Bau- und Abbruchunternehmen verwendete Abbruchmaterial für den Wegebau in Waldwegabschnitten. Die Behörde ordnete an, den Bauschutt auszubauen und zu entsorgen bzw. anderswo von Fremdbestandteilen durch deren Aussortierung zu befreien. Diese Anordnung wurde vom Gericht bestätigt. Nach Auffassung des Gerichts stellte die Verwendung des Materials zum Wegebau keine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung dar, sodass der Verwertungsvorgang noch nicht abgeschlossen und das Material weiterhin als Abfall zu qualifizieren war. Eine Verwertung sei insbesondere deswegen zu verneinen, weil der Unternehmer nicht nachgewiesen habe, dass das Material zuverlässig den erforderlichen Zuordnungswert Z1.1 nach dem sog. Dihlmann-Erlass einhält. Denn die Beprobung des Materials habe nicht den Vorgaben der LAGA PN 98 entsprochen. Bei einem Volumen von 600 m³ sei nur 1 Mischprobe aus 20 Einzelproben genommen worden, obwohl 10 Mischproben aus 40 Einzelproben erforderlich gewesen wären.

3.6 VG Frankfurt (Oder), Beschluss vom 19.10.2021 – 5 L 295/21

Auf einem Grundstück lagerten ca. 16.000 t Material unterschiedlicher Arten, die teilweise durch Sieben und Mischen vor Ort behandelt worden waren. Die Behörde ging von der Abfalleigenschaft der Materialien aus und erließ gegen den Anlagenbetreiber eine Stilllegungs- und Beseitigungsverfügung, da eine Genehmigung die Lagerung von Abfällen nicht vorlag. Das Gericht bestätigte diese Verfügung in seiner Eilentscheidung und stellte hierzu fest, dass das Ende der Abfalleigenschaft nicht erreicht war, da der Anlagenbetreiber den Nachweis der Einhaltung des Zuordnungswerts Z 1.2 der LAGA M 20 nicht erbracht habe. Denn das Material sei nicht hinreichend nach Maßgabe der LAGA PN 98 beprobt worden. Es sei

lediglich ein Haufwerk mit einem Volumen von 500 m³ (ca. 650 t) beprobt worden. Bei einer Gesamtmasse aller Haufwerke von ca. 16.000 t könne daher nicht von einer repräsentativen Beprobung ausgegangen werden.

3.7 VG Gelsenkirchen, Beschluss vom 20.03.2023 – 8 L 1438/22

Ein Betreiber einer immissionsschutzrechtlichen Anlage lagerte ca. 5.850 t zerkleinerten Bauschutt ohne Genehmigung. Die Behörde wertete die Materialien als Abfall und verpflichtete den Lagerbetreiber zur Entsorgung der Abfälle und zur Stilllegung des Abfalllagers. Das Gericht entschied jedoch in seiner Eilentscheidung, dass der Bauschutt kein Abfall mehr sei, da das Abfall-Ende gemäß § 5 Abs. 1 KrWG erreicht worden sei. Es sei insbesondere anzunehmen, dass die beabsichtigte Verwendung des Bauschutts insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führen werde. Denn die vorgelegten Analysen zeigen die Einhaltung der – für die beabsichtigte Verwendung ausreichenden – Zuordnungswerte Z 1 bis Z 2 der LAGA M 20. Die Probenahmen entsprachen zwar nicht den Vorgaben der LAGA PN 98, aber sie hätten jedenfalls einen indiziellen Erkenntniswert im Rahmen der nach § 5 Abs. 1 Nr. 4 KrWG vorzunehmenden Prognose.

3.8 VG München, Urteil vom 30.03.2023 – M 17 K 18.1564

In dieser Entscheidung ging es ebenfalls um die Bereinigung der Folgen des bereits angesprochenen TechnoSan-Skandals.

Einer der Anlieferer hatte das Unternehmen TechnoSan mit der Entsorgung von schadstoffbelastetem Bodenmaterial aus einem Sanierungsprojekt beauftragt. Die zuständige Behörde identifizierte zwei Haufwerke auf dem Gelände des Unternehmens TechnoSan als solche des Anlieferers und verpflichtete diesen als Erzeuger bzw. ursprünglichen Besitzer zur Verwertung bzw. Beseitigung der Materialien.

Das Gericht hob diese Anordnung auf. Nach seiner Auffassung konnte die Zuordnung der mineralischen Abfälle zum Sanierungsprojekt des Anlieferers anhand ihrer chemischen Zusammensetzung bzw. Schadstoffbelastung nicht nachgewiesen werden. Zwar waren in der von dem Anlieferer durchgeführten Eingangsanalyse seiner Abfälle auffällige Parameter (MKW, PAK, Cyanid, Kupfer, Chrom, Zink, Chlorid) festgestellt worden. Es waren allerdings je Anlieferung nur eine Laborprobe genommen worden. Die Beprobungen entsprachen deshalb nicht den Vorgaben der LAGA PN 98. Der Analytik komme folglich kein Erkenntniswert zum Zwecke des Abgleichs der Anlieferungen mit den Belastungen der streitgegenständlichen Materialien zu.

3.9 VG Trier, Urteil vom 16.10.2023 – 9 K 207/23.TR

Zur Verfüllung von Hohlräumen in einem Bergwerk mit Abfällen beabsichtigte der Bergbauunternehmer die Verwendung von 300.000 t Gleisschotter aus Italien und begehrte hierfür von der Bergbehörde die Erweiterung der bereits zugelassenen Abfallstoffe um den Abfallstoff Gleisschotter. Die Behörde lehnte dies ab, da die vorgesehenen Gleisschotter-Chargen von den zuständigen italienischen Behörden aufgrund ihrer Asbestbelastung als gefährliche Abfälle eingestuft waren. Die daraufhin erhobene Untätigkeitsklage wies das Gericht ab. Der Bergbauunternehmer habe keinen Beweis für eine niedrigere Asbestkonzentration und damit die Ungefährlichkeit des Gleisschotters erbringen können, da die Vorgaben der LAGA PN 98 nicht eingehalten worden seien. Diese fordere pro 300 m³ (ca. 500 t) eine Laborprobe, bei den vorgesehenen

300.000 t also 600 Proben. Tatsächlich seien aber nur 10 Laborproben entnommen und sodann nur eine Probe analysiert worden. Es sei auch keine gleichbleibende Qualität des Gleisschotters erkennbar.

4. Fazit

Die Gerichte gehen überwiegend von der Maßgeblichkeit der LAGA PN 98 aus. Vor dem Landgericht München II wurde durch hinzugezogene Gutachter ausdrücklich bestätigt, dass die LAGA PN 98 den Stand der Technik darstellt. Die Nichtbeachtung der Vorgaben der LAGA PN 98 führt damit zur Unverwertbarkeit von unzureichenden Probenahmen. Insbesondere kann mit unzureichenden Probenahmen das Vorliegen der Voraussetzungen für einen bestimmten Umgang mit Materialien nicht nachgewiesen werden. Zwar existieren auch Entscheidungen, in denen unzureichende Probenahmen ausnahmsweise dennoch berücksichtigt wurden, aber diese enthalten keine überzeugende Rechtfertigung hierfür.

Die bisherige Rechtsprechung erging allerdings jeweils zu deutlichen bzw. massiven Abweichungen von den Vorgaben der LAGA PN 98. Es fehlen damit gerichtliche Stellungnahmen zu Grenzfällen, in denen die tatsächlich durchgeführten Probenahmen nur geringfügig hinter den Vorgaben zurückbleiben. Zu denken ist z.B. an die Entnahme einer Mischprobe aus 38 Einzelproben anstelle einer Mischprobe aus 40 Einzelproben. Ob auch in diesem Fall die Probenahme als nicht aussagekräftig angesehen würde, ist fraglich. Hier bleibt die weitere Behandlung der LAGA PN 98 durch die Rechtsprechung abzuwarten.

Aktuelle Situation der Deponiekapazitäten – mögliche Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung

Hartmut Haeming¹

Inhalt

1. Einleitung	142
2. Ausgangssituation	142
3. Deponiesituation in den Bundesländern	143
4. Einschätzung der Entsorgungssicherheit in der Bundesrepublik	158
5. Plausibilitätsprüfung anhand der Veröffentlichung der „Kreislaufwirtschaft Bau“	159
6. Mögliche Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung	160
7. Fazit	165

1. Einleitung

Seit mehr als einer Dekade beobachte und analysiere ich die Entwicklung der Deponiekapazitäten in Deutschland für die Deponieklassen 0 - III. Die Ergebnisse der Erfassung und Analyse stelle ich regelmäßig dem Bundesumweltministerium, dem Umweltbundesamt und den Umweltministerien der Bundesländer zur Verfügung. So verfügen alle beteiligten Akteure über jeweils möglichst aktuelle Zahlen, da die Erfassung und Analyse auf Daten beruht, die mir von den Bundesländern alljährlich gemeldet werden. Diese sind normalerweise aktueller als die von destatis veröffentlichten Zahlen und beinhalten auch Vorhaben im Genehmigungsverfahren sowie konkretere Deponieplanungen. So sind alle mit diesen Zahlen quasi „immer auf dem letzten Stand“.

Mein Dank gilt deshalb den Landesumweltministerien und zuständigen Landesumweltämtern, ohne deren regelmäßige Mitwirkung die Schaffung einer für alle nützlichen möglichst aktuellen Übersicht nicht möglich wäre.

2. Ausgangssituation

Gemäß § 30 Abs. 2 KrWG ist in den Abfallwirtschaftsplänen jeweils der Nachweis der mindestens 10-jährigen Entsorgungssicherheit zu erbringen. Dabei fällt den Bundesländern gemäß § 30 Abs. 1 Satz 2 KrWG insbesondere auch die Planungsverantwortung für ausreichende Deponiekapazitäten zu. Für Deponien ist dabei neben dem Planungszeitraum der oftmals sehr lange dauernde Genehmigungsprozess zu berücksichtigen, der – wie die Erfahrungen zeigen - durchaus mehr als 10 Jahre in Anspruch nehmen kann

Über alle Deponieklassen hinweg bestand in der Vergangenheit bundesweit betrachtet oftmals nur eine Entsorgungssicherheit von knapp über 10 Jahren und dies über Jahre hinweg. Je nach Erwartungsprognose wurde dieser Zeitraum zum Teil auch unterschritten (z.B. Auswirkungen der Mantelverordnung, insbesondere ErsatzbaustoffVO). In einigen Bundesländern bestand für einzelne Deponieklassen quasi

¹ Dipl.-Verw.wirt Hartmut Haeming, Vorstandsvorsitzender InwesD – Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V. Am Coloneum 4, 50829 Köln, Tel. +49 221 77268660, E-Mail haeming@inwesd.de

bereits akuter Entsorgungsnotstand, weil verbleibende Kapazitäten nur noch für wenige Jahre reichten. Oftmals lebte man sozusagen „von der Hand in den Mund“, d.h. neu geschaffene Kapazitäten reichten gerade einmal dafür aus, das jährliche Abfallaufkommen aufzunehmen, ohne dass sich an der grundlegenden Situation etwas verändert hätte.

Diese Situation hat sich in den letzten Jahren erfreulicherweise spürbar verändert. Zahlreiche Bundesländer haben Deponiebedarfsanalysen in Auftrag gegeben oder diese gar selbst durchgeführt und die Bedarfe i.d.R. aus der Betrachtung unterschiedlicher Szenarien hergeleitet. Dabei festgestellte Defizite wurden von den meisten Bundesländern aufgegriffen und diesen durch entsprechende Planungen begegnet, die zum Teil auch vergleichsweise kurzfristig realisiert werden konnten. Daher ist heute eine deutlich verbesserte Situation über alle Deponieklassen festzustellen, vorausgesetzt, es kommen in Zukunft nicht zusätzliche Massenströme zur Ablagerung auf die Deponien zu.

Die nachfolgende Darstellung zeigt die aktuelle Deponiesituation in den Bundesländern, gibt einen Überblick über die Entsorgungssicherheit in der Bundesrepublik und gleicht die zu deponierenden Mengen im Sinne einer Plausibilitätskontrolle mit den von der „Kreislaufwirtschaft Bau“ veröffentlichten Mengenentwicklungen ab. Schließlich werden perspektivische Entwicklungen aufgezeigt und bewertet.

3. Deponiesituation in den Bundesländern

Die nachfolgenden Daten basieren bis auf wenige Ausnahmen auf Meldungen der einzelnen Bundesländer und fußen in Folge der Meldekette zumeist auf den Daten zum 31.12.23/01.01.24. Die Herkunft der Basisdaten ist jeweils einzeln vermerkt. Wenn auch einzelne Unterschiede in den Meldezeitpunkten oder der Datenherkunft bestehen, dürfte die Gesamtschau die aktuelle Deponiesituation in der Bundesrepublik realitätsnah abbilden.

DK-III-Deponien stehen nicht in allen Bundesländern zur Verfügung. Ursächlich ist, dass diese vielfach aus ehemaligen Werksdeponien der chemischen Industrie entstanden sind. DK-III-Deponien haben deshalb zumeist einen bundesweit zugelassenen Einzugsbereich.

Hamburg verfügt über keine eigenen Deponien für Siedlungsabfälle und fehlt daher in der Betrachtung.

3.1 Baden-Württemberg

BL:		Baden-Württemberg							
Stand:		01.01.2024							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023	248	42.299.259	3.170.500	1.811.714	23	4.318.570	796.440	5.115.010
	(2022)	(233)	(49.928.133)	(5.171.710)	(2.955.263)	(17)	(0)	(60.298.063)	(60.298.063)
	(2021)	(233)	(50.862.560)	(5.597.281)	(3.198.446)	(16)	(0)	(8.898.835)	(8.898.835)
	(2020)	(273)	(50.648.272)	(5.074.921)	(2.899.954)	(17)	(0)	(6.115.500)	(6.115.500)
	(2019)	(268)	(81.990.070)	(4.780.167)	(2.731.524)	(30)	(0)	(0)	(0)
DK I	2023	14	5.843.131	302.115	188.822	31	500.000	6.788.500	7.288.500
	(2022)	(12)	(4.411.161)	(453.093)	(283.183)	(16)	(0)	(19.936.462)	(19.936.462)
	(2021)	(12)	(4.607.708)	(464.418)	(290.261)	(16)	(0)	(7.194.740)	(7.194.740)
	(2020)	(14)	(4.968.859)	(440.779)	(275.486)	(18)	(0)	(5.523.000)	(5.523.000)
	(2019)	(14)	(10.463.115)	(403.664)	(252.290)	(41)	(0)	(0)	(0)
DK II	2023	23	16.541.958	699.888	437.430	38	680.000	2.870.500	3.550.500
	(2022)	(23)	(18.546.560)	(862.976)	(539.360)	(34)	(0)	(40.048.120)	(40.048.120)
	(2021)	(23)	(20.606.524)	(817.136)	(510.710)	(40)	(0)	(2.920.000)	(2.920.000)
	(2020)	(22)	(19.004.256)	(902.571)	(564.106)	(33)	(0)	(505.000)	(505.000)
	(2019)	(22)	(27.767.432)	(797.398)	(498.374)	(56)	(0)	(0)	(0)
DK III	2023	1	81.603	11.612	6.451	13	0	0	0
	(2022)	(1)	(97.593)	(15.181)	(9.488)	(10)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(1)	(106.000)	(19.990)	(12.494)	(8)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(1)	(80.275)	(34.570)	(21.606)	(4)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(keine Angabe)	./.	./.	(0)	(0)	(0)

Quelle: E-Mail Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg vom 16.12.2024 (angegebenes Schüttgewicht DK III 1,8t/m³)

Baden-Württemberg hat seine Entsorgungssicherheit für die Deponieklassen 0 – II nachgewiesen. Das Bundesland verfügt nur über sehr begrenzte DK-III-Kapazität. Als erfreulich sind die erheblichen Planungen im DK 0-II-Bereich. „Verfügbares (genehmigtes) Volumen“ ist teilweise aber noch nicht eingerichtet. Dies kann dazu führen, dass Genehmigungsverfahren aktualisiert werden müssen.

Regional besteht in Baden-Württemberg teilweise noch Deponiebedarf; dies insbesondere um Fahrwege zu verkürzen.

Im Übrigen finden in Baden-Württemberg noch erhebliche Verfüllungen außerhalb von Deponien in übertägigen Abbaustätten (Gruben, Brüche, Bergbau) statt.

3.2 Bayern

BL:	Bayern								
Stand:	01.01.2023								
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023	276	55.000.000	4.400.000	2.514.286	22	21.300.000	0	21.300.000
	(2022*)	(279)	(32.300.000)	(5.334.800)	(3.048.457)	(11)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2021)**	(279)	(32.300.000)	(1.070.000)	(611.429)	(53)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2020)	(284)	(55.000.000)	(1.800.000)	(1.028.571)	(53)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2019)								
DK I	2023	15	5.300.000	240.000	150.000	35	8.700.000	0	8.700.000
DK II	2023	27	6.300.000	330.000	206.250	31	2.300.000	0	2.300.000
DK I + II	(2022*)	(43)	(13.800.000)	(519.700)	(324.813)	(42)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2021)**	(43)	(13.800.000)	(368.000)	(230.000)	(60)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2020)	(47)	(21.000.000)	(601.000)	(375.625)	(56)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2019)								
DK III	2023	2	200.000	30.000	18.750	11	0	0	0
	(2022*)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2021)**	(2)	(700.000)	(39.859)	(24.912)	(28)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2020)	(2)	(600.000)	(35.500)	(22.187)	(27)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)
	(2019)								

Quelle: E-Mail Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz vom 18.02.2025

*Quelle: Verfüllmengen DK 0 bis II gem. destatis genesis Datenbasis 31.12.2020

**Quelle: E-Mail Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz vom 28.07.2021 bzw. 20.10.2021 Datenbasis 31.12.2019

Rein rechnerisch weist Bayern seine Entsorgungssicherheit nach. Erfreulich sind die erheblichen Volumina, die sich bereits im Genehmigungsverfahren befinden. Dennoch besteht trotz der Vielzahl der Deponien in erheblichen Maße regionaler Deponiebedarf mit der Konsequenz weiter Fahrwege. Hieran arbeitet Bayern aktuell, wie mir auch Vertreter des Bayerischen Staatsministeriums gesprächsweise erläutert haben.

Bayern verfügt wie Baden-Württemberg nur sehr eingeschränkt über DK-III-Kapazität.

Im Übrigen werden auch Mengen aus Bayern in erheblichem Maße in übertägigen Abbaustätten abgelagert.

3.3 Berlin und Brandenburg

BL:		Berlin / Brandenburg							
Stand:		01.01.2024							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023	0	0	keine Angaben	0	0	5.860.000	keine Angaben	5.860.000
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(5.860.000)	(1.340.000)	(7.200.000)
	(2021*)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DK I	2023	10	14.780.000	911.663	569.789	26	11.420.000	keine Angaben	11.420.000
	(2022)	(8)	(16.027.000)	(1.097.696)	(686.060)	(23)	(8.231.000)	(14.930.000)	(23.161.000)
	(2021**)	(7)	(18.600.000)	(3.754.200)	(2.346.375)	(8)	(6.125.000)	(12.200.000)	(18.325.000)
	(2020)	(7)	(18.600.000)	(3.754.200)	(2.346.375)	(8)	(6.125.000)	(12.200.000)	(18.325.000)
	(2019)	(5)	(9.410.000)	(2.784.000)	(1.740.000)	(5)	(9.145.000)	(11.200.000)	(20.345.000)
DK II	2023	7	2.410.000	163.038	101.899	24	1.600.000	keine Angaben	1.600.000
	(2022)	(7)	(3.380.000)	(248.683)	(155.427)	(22)	(2.200.000)	(2.000.000)	(4.200.000)
	(2021**)	(7)	(7.053.000)	(387.000)	(241.875)	(29)	(0)	(3.700.000)	(3.700.000)
	(2020)	(7)	(7.053.000)	(387.000)	(241.875)	(29)	(0)	(3.700.000)	(3.700.000)
	(2019)	(7)	(2.960.000)	(387.000)	(241.875)	(12)	(0)	(2.200.000)	(2.200.000)
DK III	2023	0	0	89.800	56.125	0	1.240.000	keine Angaben	1.240.000
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	0	0	0	0
	(2021)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Quelle: E-Mail MLEUV Brandenburg vom 04.03.2025

* Destatis Fachserie 19 2017 - Abgelagerte DK 0 - II-Mengen

** Wegen fehlender Angabe Vorjahresmenge unterstellt

Berlin selbst verfügt über keine aktiven Deponien mehr. Deshalb erfolgt schon seit Jahren eine gemeinsame Betrachtung der Entsorgungsregion. Erfreulich ist, dass für alle Deponieklassen Deponievolumina – zum Teil in erheblicher Größenordnung - im Genehmigungsverfahren sind, für DK 0 und III erstmals. Rein rechnerisch kann Brandenburg für DK I und II Entsorgungssicherheit nachweisen. Auffällig sind erhebliche Differenzen zu den Meldungen der letzten Jahre, die sich bis Redaktionsschluss nicht aufklären ließen. Dies gilt insbesondere für die Ablagerungsmengen. Bei ähnlichen Mengen wie in den Vorjahren wäre zeitnahe Zubau von Kapazitäten erforderlich.

3.4 Hansestadt Bremen

BL:		Bremen							
Stand:		01.01.2025							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2024	0	0	0	0	0	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(1)	(38.525)	(57.000)	(32.571)	(1)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(34.169) *	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DK I	2024	2	531.824	keine Angabe		?	keine Angabe	keine Angabe	0
	(2022)	(1)	(466.961)	(65.420)	(40.888)	(11)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(1)	(45.000)	(65.420)	(40.888)	(1)	(449.769)	(0)	(0)
	(2020)	(2)	(85.000)	(58.500)	(36.562)	(2)	0	(440.000)	(440.000)
	(2019)	(2)	(500.000)	(33.501)	(20.938)	(24)	(0)	(0)	(0)
DK II	2024	0	0	0	0	0	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DK III	2024	2	106.369	keine Angabe		?	keine Angabe	keine Angabe	(0)
	(2022)	(1)	(144.857)	(27.710)	(17.319)	(8)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(1)	(110.000)	(27.000)	(16.875)	(7)	(0)	(59.000)	(59.000)
	(2020)	(1)	(127.000)	(32.000)	(20.000)	(6)	(0)	(70.000)	(70.000)
	(2019)	(1)	(355.000)	(24.048)	(15.030)	(24)	(0)	(0)	(0)

* Einsatz als Deponiesatzbaustoff

Quelle: E-Mail Die Bremer Stadtreinigungs-Anstalt des öffentlichen Rechts vom 21.02.2025 für Blocklanddeponie

Quelle: InwesD-Deponiebuch

Für Bremen liegen leider keine vollständigen Angaben vor. Es existieren geringe Restvolumina im Bereich DK I und III. DK-0- und DK-II-Deponien gibt es nicht. Bremen selbst geht von einer Entsorgungssicherheit bis 2026 aus und hat Deponiebedarf in seiner Abfallbilanz 2021 auch ausdrücklich bestätigt. Angemerkt sei, dass Bremen in der Vergangenheit seine Kapazitäten genehmigungsrechtlich an vorhandenen Standorten weiterentwickelt hat. Ob bzw. in welchem Umfang dies auch in Zukunft möglich sein wird, bleibt abzuwarten.

3.5 Hessen

BL:	Hessen								
Stand:	31.12.2020								
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbr auch bei einem Schüttgewicht 1,75t/m³ DK 0	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³ mindestens	in Jahren	in m³ mindestens	in m³ mindestens	in m³ mindestens
DK 0	2020	3	343.550	763.000	436.000	1	0	0	0
	(2018)	(2)	(0)	(74.100)	(42.343)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2017)	(2)	(315.000)	(858.000)	(490.286)	(1)	(0)	(0)	(0)
DK I	2020	3	2.104.041	1.017.000	635.625	3	0	4.700.000	4.700.000
	(2018)	(3)	(588.200)	(190.300)	(118.938)	(5)	(0)	(8.025.000)	(8.025.000)
	(2017)	(3)	(2.818.200)	(1.144.000)	(715.000)	(4)	(0)	(8.025.000)	(8.025.000)
DK II	2020	11	4.785.261	763.000	476.875	10	5.150.000	5.122.000	10.272.000
	(2018)	(11)	(2.483.300)	(411.000)	(256.875)	(10)	(1.110.000)	(4.500.000)	(5.610.000)
	(2017)	11	(6.783.000)	(858.000)	(536.250)	(13)	(1.110.000)	(4.500.000)	(5.610.000)
DK III	2020	1	Keine Daten	keine Angaben	0	0	0	0	0
	(2018)	(1)	(546.000)	keine Angaben	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2017)	(1)	(546.000)	keine Angaben	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Restvolumina Hochrechnung auf Basis E-Mail Hessisches Umweltministerium vom 28.02.2025, Stand 31.12.2020
Vorfüllmengen 2020 gem. destatis

Von Hessen liegen leider keine aktuellen Daten vor. Das hessische Umweltministerium hat mit Mail vom 28.02.2025 auf seine Daten aus 2020 verwiesen. Eine seriöse Beurteilung der Entsorgungssicherheit kann daher aufgrund fehlender aktueller Daten nicht erfolgen. Im Abfallwirtschaftsplan geht das Bundesland selbst davon aus, dass Entsorgungssicherheit nicht landesweit gegeben ist. Dies deckt sich auch mit Presseberichterstattungen der letzten Jahre.

In der Vergangenheit waren Planungen in Höhe von rd. 8 Mio. cbm im DK-I-Bereich und in Höhe von rd. 4,5 Mio. cbm im DK-II-Bereich bekannt. Dies deckt sich in etwa mit Aussagen im Abfallwirtschaftsplan 2021. In Gesprächen mit hessischen Kollegen wurde von diesen akuter Deponiebedarf benannt.

3.6 Mecklenburg-Vorpommern

BL:		Mecklenburg-Vorpommern							
Stand:		01.01.2024							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
	2023	4	2.336.000	115.000	65.714	36	1.500.000	0	1.500.000
DK 0	(2022)	(4)	(1.261.714)	(329.000)	(188.000)	(7)	(1.314.286)	(0)	(1.314.286)
	(2021)	(4)	(2.379.000)	(192.000)	(109.714)	(22)	(0)	(7.000.000)	(7.000.000)
	(2020)	(4)	(1.500.000)	(186.000)	(106.286)	(14)	(0)	(2.280.000)	(2.280.000)
	(2019)	(4)	(2.380.000)	(270.000)	(154.286)	(15)	(0)	(0)	(0)
DK I	2023	2	2.935.000	126.000	78.750	37	0	0	0
	(2022)	(2)	(477.500)	(147.000)	(91.875)	(5)	(3.750.000)	(0)	(3.750.000)
	(2021)	(2)	(215.000)	(192.000)	(120.000)	(2)	(5.730.000)	(7.000.000)	(12.730.000)
	(2020)	(2)	(850.000)	(223.000)	(139.375)	(6)	(1.780.000)	(1.670.000)	(3.450.000)
	(2019)	(2)	(705.000)	(350.000)	(218.750)	(3)	(0)	(0)	(0)
DK II	2023	1	5.639.000	120.600	75.375	75	0	0	0
	(2022)	(1)	(1.091.875)	(253.000)	(158.125)	(7)	(2.931.250)	(0)	(2.931.250)
	(2021)	(1)	(2.000.000)	(305.000)	(190.625)	(10)	(5.025.000)	(0)	(5.025.000)
	(2020)	(1)	(1.570.000)	(135.000)	(84.375)	(19)	(4.460.000)	(0)	(4.460.000)
	(2019)	(1)	(1.500.000)	(150.000)	(93.750)	(16)	(0)	(0)	(0)
DK III	2023	1	1.926.000	208.000	130.000	15	2.940.000	0	2.940.000
	(2022)	(1)	(1.988.125)	(224.000)	(140.000)	(14)	(2.320.625)	(0)	(2.320.625)
	(2021)	(1)	(1.656.000)	(305.000)	(190.625)	(9)	(5.900.000)	(0)	(5.900.000)
	(2020)	(1)	(1.022.000)	(623.000)	(389.375)	(3)	(4.306.000)	(0)	(4.306.000)
	(2019)	(1)	(4.700.000)	(600.000)	(375.000)	(13)	(0)	(0)	(0)

Quelle: E-Mail des Ministeriums für Klima, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt M-V vom 26.01.2025 (ohne Deponieersatzbaustoffe)

Rechnerisch ist in Mecklenburg-Vorpommern die Entsorgungssicherheit über alle Deponieklassen hinweg gegeben. Auffällig sind die erheblichen Mengenabweichungen gegenüber den Vorjahren, die sich aber bis Redaktionsschluss nicht aufklären ließen.

In der Vergangenheit wurden hohe Planungsvolumina für DK 0 – III benannt, die sich in der aktuellen Meldung nicht mehr wiederfinden. Stattdessen sind die verfügbaren Volumina für DK 0 – III gegenüber den letzten Jahren spürbar erhöht. Dies legt den Schluss nahe, dass ehemals im Planungsstadium ausgewiesene Vorhaben inzwischen genehmigungsrechtlich bereits realisiert wurden. Aus Gesprächen mit Kollegen in MV ist bekannt, dass es dennoch weitere Planungen gibt. Bei ähnlichen hohen Verfülltonnagen wie in den vergangenen Jahren wären diese im DK-0- und DK-I-Bereich auch erforderlich, um die Entsorgungssicherheit zu gewährleisten.

Auch in Mecklenburg-Vorpommern wurden – wie bereits seit vielen Jahren – erhebliche Mengen in übertägigen Abbaustätten (Tagebauen) abgelagert.

3.7 Niedersachsen

BL:		Niedersachsen							
Stand:		01.01.2024							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
	2023	8	2.793.755	380.000	217.143	13	2.880.000	0	2.880.000
DK 0	(2022)	(9)	(3.050.748)	(380.000)	(217.143)	(14)	(2.630.000)	(0)	(2.630.000)
	(2021)	(9)	(3.124.390)	(380.000)	(217.143)	(14)	(1.750.000)	0	(1.750.000)
	(2020)	(9)	(3.220.558)	(380.000)	(217.143)	(15)	(1.750.000)	(0)	(1.750.000)
	(2019)	(15)	(3.280.500)	(380.000)	(237.500)	(14)	(1.750.000)	(0)	(1.750.000)
DK I	2023	8	6.356.323	1.000.000	625.000	10	7.696.000	0	7.696.000
	(2022)	(9)	(8.663.364)	(1.000.000)	(625.000)	(14)	(6.170.000)	(0)	(6.170.000)
	(2021)	(11)	(8.741.371)	(1.000.000)	(625.000)	(14)	(7.610.000)	(0)	(7.610.000)
	(2020)	(8)	(9.484.849)	(1.000.000)	(625.000)	(15)	(7.050.000)	(0)	(7.050.000)
	(2019)	(8)	(9.354.000)	(1.000.000)	(625.000)	(15)	(7.610.000)	(0)	(7.610.000)
DK II	2023	19	12.119.445	510.000	318.750	38	0	0	0
	(2022)	(19)	(11.852.868)	(510.000)	(318.750)	(37)	(430.000)	(0)	(430.000)
	(2021)	(19)	(11.590.609)	(510.000)	(318.750)	(36)	(700.000)	(0)	(700.000)
	(2020)	(19)	(12.076.651)	(510.000)	(318.750)	(38)	(700.000)	(0)	(700.000)
	(2019)	(19)	(8.719.000)	(510.000)	(318.750)	(27)	(0)	(0)	(0)
DK III	2023	0	0	30.000	18.750	0	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(30.000)	(18.750)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(30.000)	(18.750)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(30.000)	(18.750)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(30.000 - 200.000)	(18.750 - 125.000)	(0)	(0)	(0)	(0)

Quelle: E-Mail Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz vom 28.01.2025

Niedersachsen kann die Entsorgungssicherheit nachweisen. Die Anstrengungen der letzten Jahre insbesondere im DK-I-Bereich haben zum Erfolg geführt, wie die im Genehmigungsverfahren befindlichen Vorhaben belegen.

Im westlichen und nordwestlichen Landesteil besteht bislang allerdings auch weiter regionaler Bedarf an DK-I-Kapazität.

Im DK-III-Bereich ist Niedersachsen – wie andere Bundesländer auch – auf die Kooperation mit solchen Bundesländern angewiesen, die über entsprechende Kapazitäten verfügen.

3.8 Nordrhein-Westfalen

BL:		Nordrhein-Westfalen							
Stand:		01.01.2024							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t/m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023	74	37.900.000	5.100.000	2.914.286	13	2.600.000	8.600.000	11.200.000
	(2022)	(80)	(35.400.000)	(4.500.000)	(2.571.429)	(14)	(5.000.000)	(2.700.000)	(7.700.000)
	(2021)	(76)	(36.900.000)	(4.000.000)	(2.285.714)	(16)	(5.000.000)	(1.800.000)	(6.800.000)
	(2020)	(73)	(23.200.000)	(4.600.000)	(2.628.571)	(9)	(7.900.000)	(1.500.000)	(9.400.000)
	(2019)	(71)	(28.200.000)	(4.500.000)	(2.571.429)	(11)	(4.600.000)	(4.100.000)	(8.700.000)
DK I	2023	26	37.000.000	3.400.000	2.125.000	17	9.300.000	16.400.000	25.700.000
	(2022)	(29)	(42.200.000)	(3.800.000)	(2.375.000)	(18)	(6.100.000)	(12.600.000)	(18.700.000)
	(2021)	(24)	(43.600.000)	(3.000.000)	(1.875.000)	(23)	(8.000.000)	(12.600.000)	(20.600.000)
	(2020)	27	46.500.000	2.800.000	(1.750.000)	(27)	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
	(2019)	(21)	(35.900.000)	(3.400.000)	(2.125.000)	(17)	(8.400.000)	(9.800.000)	(18.200.000)
zzgl. KWR- Dep. und BrK- Tagebau	2023	4	87.800.000	2.900.000	1.812.500	48	2.300.000	0	2.300.000
	(2022)	(4)	(93.100.000)	(3.400.000)	(2.125.000)	(44)	(6.300.000)	(0)	(6.300.000)
	(2021)	(4)	(96.100.000)	(4.300.000)	(2.687.500)	(36)	(0)	(13.000.000)	(13.000.000)
	(2020)	(4)	(99.700.000)	(6.100.000)	(3.812.500)	(26)	keine Angabe	(13.000.000)	(13.000.000)
	(2019)	(4)	(97.700.000)	(4.700.000)	(2.937.500)	(33)	(20.600.000)	(9.400.000)	(30.000.000)
DK II	2023	17	58.000.000	2.400.000	1.500.000	39	3.400.000	2.000.000	5.400.000
	(2022)	(18)	(40.100.000)	(2.000.000)	(1.250.000)	(32)	(18.300.000)	(2.900.000)	(21.200.000)
	(2021)	(18)	(42.600.000)	(2.000.000)	(1.250.000)	(34)	(1.900.000)	(20.000.000)	(21.900.000)
	(2020)	(18)	(43.200.000)	(3.000.000)	(1.875.000)	(23)	(1.900.000)	(19.000.000)	(20.900.000)
	(2019)	(18)	(44.500.000)	(3.800.000)	(2.375.000)	(19)	(1.900.000)	(19.000.000)	(20.900.000)
DK III	2023	9	21.100.000	1.500.000	937.500	23	0	3.200.000	3.200.000
	(2022)	(10)	(18.100.000)	(1.900.000)	(1.187.500)	(15)	(7.400.000)	(0)	(7.400.000)
	(2021)	(11)	17800000	(2.000.000)	(1.250.000)	(14)	(1.500.000)	(9.000.000)	(10.500.000)
	(2020)	(11)	(18.600.000)	(1.700.000)	(1.062.500)	(18)	(1.500.000)	(9.000.000)	(10.500.000)
	(2019)	(11)	(18.600.000)	(1.800.000)	(1.125.000)	(17)	(1.500.000)	(9.000.000)	(10.500.000)

Quelle: E-Mail LANUV NRW vom 30.01.2025

Nordrhein-Westfalen kann seine Entsorgungssicherheit deutlich nachweisen und verfügt dank im Genehmigungsverfahren befindlicher Vorhaben und zusätzlicher Planungen über landesweit ausreichende Kapazitäten. Regionale Ergänzungen können zur Vermeidung weiter Fahrwege sinnvoll sein.

Nordrhein-Westfalen hat seine „Hausaufgaben gemacht“ und ist derzeit führend bei der Entsorgungssicherheit in Deutschland.

3.9 Rheinland-Pfalz

BL:	Rheinland-Pfalz								
Stand:	31.12.2023								
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023	5	2.611.975	24.701	14.530	180	0	0	0
	(2022)	(4)	(245.697)	(18.728)	(11.016)	(22)	(2.400.000)	(0)	(2.400.000)
	(2021)	(4)	(269.149)	(45.230)	(26.606)	(10)	(2.400.000)	(0)	(2.400.000)
	(2020)	(4)	(294.323)	(44.265)	(25.294)	(12)	(2.400.000)	(0)	(2.400.000)
	(2019)	(4)	(705.883)	(82.150)	(46.943)	(15)	(0)	(0)	(0)
DK I	2023	3	5.878.405	519.000	324.375	18	5.255.000	0	5.255.000
	(2022)	(3)	(6.599.700)	(931.614)	(582.259)	(11)	(5.256.782)	(864.000)	(6.120.782)
	(2021)	(3)	(6.885.255)	(900.494)	(562.809)	(12)	(5.896.000)	(0)	(5.896.000)
	(2020)	(3)	(7.176.270)	(1.050.619)	(656.637)	(11)	(5.896.000)	(0)	(5.896.000)
	(2019)	(3)	(14.079.556)	(970.504)	(606.565)	(23)	(0)	(0)	(0)
DK II	2.023	13	5.498.629	1.234.943	771.839	7	0	7.150.000	7.150.000
	(2022)	(13)	(7.651.029)	(1.224.441)	(765.276)	(10)	(0)	(7.187.000)	(7.187.000)
	(2021)	(13)	(7.839.151)	(1.012.598)	(632.874)	(12)	(750.000)	(7.187.000)	(7.937.000)
	(2020)	(13)	(7.091.387)	(972.521)	(607.826)	(12)	(1.689.255)	(7.185.000)	(8.874.255)
	(2019)	(13)	(9.674.082)	(1.122.228)	(701.393)	(14)	(0)	(0)	(0)
DK III	2023	0	0	0	0	0	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Quelle: E-Mail LfU Rheinland-Pfalz vom 04.04.2025

Für DK 0 und DK I kann Rheinland-Pfalz seine Entsorgungssicherheit nachweisen. Für DK I ist zudem erhebliches Volumen bereits im Genehmigungsverfahren. Für DK II gelingt dieser Nachweis zwar aktuell nicht, es befinden sich aber erhebliche Volumina in Planung, deren zeitnahe Realisierung dann auch erforderlich ist.

Auch Rheinland-Pfalz ist bei DK-III-Abfällen auf die Zusammenarbeit mit anderen Bundesländern angewiesen.

3.10 Saarland

BL:		Saarland							
Stand:		01.01.2024							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³ mindestens	in Jahren	in m³ mindestens	in m³ mindestens	in m³ mindestens
DK 0	2023	15	5.235.270	300.000 bis 500.000	(187.500 bis 312.500)	(17 bis 27)	0	400.000	400.000
	(2022)	(16)	(6.137.734)	(300.000 bis 500.000)	(187.500 bis 312.500)	(20 bis 33)	(0)	(400.000)	(400.000)
	(2021)	(15)	(6.922.430)	(300.000 bis 500.000)	(187.500 bis 312.500)	(22 bis 37)	(0)	(400.000)	(400.000)
	(2020)	(21)	(7.329.630)	(300.000 bis 500.000)	(187.500 bis 312.500)	(23 bis 39)	(2.217.830*)	(550.000)	(550.000)
	(2019)	(21)	(8.134.230)	(300.000 bis 500.000)	(187.500 bis 312.500)	(26 bis 43)			
DK I	2023	8	4.910.031	200.000 bis 400.000	(125.000 bis 250.000)	(19 bis 39)	1.563.000	0	1.563.000
	(2022)	6	(3.951.383)	(200.000 bis 400.000)	(125.000 bis 250.000)	(15 bis 31)	0	(3.050.000)	(3.050.000)
	(2021)	(7)	(3.153.000)	(200.000 bis 400.000)	(125.000 bis 250.000)	(13 bis 25)	(0)	(3.966.000)	(3.966.000)
	(2020)	(11)	(3.393.050)	(400.000 bis 600.000)	(250.000 bis 375.000)	(9 bis 14)	(1.595.000*)	(3.950.000)	(3.950.000)
	(2019)	(6)	(3.465.200)	(400.000 bis 600.000)	(250.000 bis 375.000)	(9 bis 14)			
DK II	2023	2	404.184	25.000	15.625	26	0	0	0
	(2022)	(2)	(163.446)	(25.000)	(15.625)	(10)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(2)	(198.852)	(25.000 bis 30.000)	(15.625 bis 18.750)	(11 bis 13)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(3)	(283.598)	keine Angabe	./.	./.	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(3)	(462.000)	(keine Angabe)	./.	./.			
DK III	2023	0	0	0	0	0	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)			

Quelle: E-Mail Ministerium für Umwelt, Klima, Mobilität, Agrar und Verbraucherschutz Saarland vom 06.03.2025

Das Saarland kann rechnerisch mit Ausnahme von DK-III-Abfällen seine Entsorgungssicherheit nachweisen. Für DK-III-Abfälle ist auch das Saarland auf die Kooperation mit anderen Bundesländern angewiesen.

Erfreulich ist die Zunahme an DK-I-Kapazität, für die sich zusätzlich erhebliche Volumina im Genehmigungsverfahren befinden. Die DK-II-Kapazität ist aufgrund des geringen Restvolumens kritisch zu betrachten. Angesichts der angegebenen geringen Ablagerungsmengen würde ein größeres Vorhaben diese Kapazitäten bereits aufzehren. Deshalb sind Planungen für den DK-II-Bereich dringlich.

3.11 Sachsen

BL:		Sachsen							
Stand:		01.01.2024							
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023*	3	1.767.000	52.500	30.000	59	0	6.300.000	6.300.000
	(2022*)	(2)	(333.500)	(52.500)	(30.000)	(11)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(2)	(1.910.000)	(35.000)	(20.000)	(96)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(2)	(1.933.000)	(keine Angabe)	(keine Angabe)	(./.)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(4)	(1.990.845)	(0)	(0)	(./.)	(0)	(0)	(0)
DK I	2023*	1	2.190.000	52.800	33.000	66	1.700.000	26.000.000	27.700.000
	(2022*)	(1)	(415.000)	(52.800)	(33.000)	(13)	(750.000)	(0)	(750.000)
	(2021)	(1)	(1.983.000)	(41.000)	(25.625)	(77)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(1)	(2.000.000)	(keine Angabe)	(keine Angabe)	(./.)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(2)	(2.000.000)	(11.900)	7.438	269	(0)	(0)	(0)
DK II	2023*	4	3.300.000	800.000	500.000	7	0	0	0
	(2022*)	(3)	(2.950.000)	(800.000)	(500.000)	(6)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(3)	(4.400.000)	(781.000)	(488.125)	(9)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(3)	(5.100.000)	(keine Angabe)	(keine Angabe)	(./.)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(3)	(3.624.000)	(804.200)	(502.625)	(7)	(0)	(0)	(0)
DK III	2023*	2	4.000.000	645.000	403.125	10	0	14.000.000	14.000.000
	(2022*)	(1)	(5.218.000)	(645.000)	(403.125)	(13)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(2)	(4.300.000)	(645.000)	(403.125)	(11)	(0)	(14.500.000)	(14.500.000)
	(2020)	(2)	(6.860.000)	(keine Angabe)	(keine Angabe)	(./.)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(2)	(9.227.593)	(0)	(0)	(./.)	(0)	(0)	(0)

* Auswertung destatis zu den Abfallmengen 2020, Verteilung geschätzt; keine Angabe zu Verfüllmengen vom Land Sachsen; Vorjahresmengen unterstellt.
Quelle: E-Mail des Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft vom 31.01.2025

Sachsen weist im Bereich DK 0 und DK I erhebliche Entsorgungssicherheit aus, die allerdings auf vergleichsweise geringe Ablagerungsmengen zurückzuführen ist. Dies legt die Vermutung nahe, dass zusätzliche Mengen in übertägigen Abbaustätten Verwendung finden. Erfreulich sind zudem erhebliche Planungen in beiden Deponieklassen.

Im DK-II-Bereich kann keine Entsorgungssicherheit nachgewiesen werden. Es sind auch keine Planungen ausgewiesen. Hier besteht grundsätzlich akuter Handlungsbedarf.

Im DK-III-Bereich kann die Entsorgungssicherheit nahezu punktgenau nachgewiesen werden, es bestehen jedoch zusätzlich erhebliche Planungen, so dass bei zeitnaher Realisierung bestehende Defizite im DK-II-Bereich aufgefangen werden könnten.

Unverändert besteht regionaler Deponiebedarf, vor allem im Westen und Südwesten des Landes.

3.12 Sachsen-Anhalt

BL:	Sachsen-Anhalt								
Stand:	01.01.2024								
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbr auch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023*	5	10.380.000	213.500	122.000	85	8.700.000	0	8.700.000
	(2022*)	(4)	(4.360.000)	(213.500)	(122.000)	(36)	(10.100.000)	(0)	(10.100.000)
	(2021)	(3)	(3.130.000)	(keine Angaben)		./.	(9.200.000)	(0)	(9.200.000)
	(2020)	(3)	(1.020.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(11.700.000)	(keine Angaben)	(11.700.000)
	(2019)	(3)	(1.100.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(10.900.000)	(keine Angaben)	(10.900.000)
DK I	2023*	5	10.920.000	883.000	504.571	22	7.750.000	0	7.750.000
	(2022*)	(3)	(16.370.000)	(883.000)	(504.571)	(32)	(6.300.000)	(0)	(6.300.000)
	(2021)	(3)	(16.970.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(6.300.000)	(0)	(6.300.000)
	(2020)	(3)	(15.010.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(9.200.000)	(keine Angaben)	(9.200.000)
	(2019)	(3)	(15.700.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(9.200.000)	(keine Angaben)	(9.200.000)
DK II	2023*	4	1.810.000	315.000	180.000	10	3.800.000	0	3.800.000
	(2022*)	(4)	(2.170.000)	(315.000)	(180.000)	(12)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(4)	(2.280.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(4)	(2.660.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(4)	(2.400.000)	(keine Angaben)	./.	./.	(0)	(0)	(0)
DK III	2023*	0	0	(keine Angaben)	./.	./.	0	0	0
	(2022*)	(0)	(0)	(keine Angaben)	./.	./.	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(keine Angaben)	(0)	(0)	0	0	0
	(2020)	(0)	(0)	(keine Angaben)	(0)	(0)	0	0	0
	(2019)	(0)	(0)	(keine Angaben)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Quelle: E-Mail Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt vom 24.02.2025
*Angaben der abgelagerten Mengen gemäß destatis Abfallentsorgung 2020

Sachsen-Anhalt weist die Entsorgungssicherheit für die Deponieklassen 0-II nach. Zusätzlich befinden sich für diese Deponieklassen erhebliche Volumina im Genehmigungsverfahren. Regionaler Bedarf besteht im Westen des Landes

Für DK-III-Abfälle ist auch Sachsen-Anhalt auf die Kooperation mit anderen Bundesländern angewiesen.

Auch in Sachsen-Anhalt werden mineralische Abfälle auf übertägigen Abbaustätten abgelagert (bergrechtliche Verfüllungen).

3.13 Schleswig-Holstein

BL: Schleswig-Holstein									
Stand: 01.01.2023									
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbr auch bei einem Schüttgewicht 1,75t /m³ DK 0	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0	2023	9	9.058.000	652.000	372.571	24	0	650.000	650.000
	(2022)	(9)	(10.426.739)	(750.327)	(428.758)	(24)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(9)	(8.697.143)	(530.000)	(302.857)	(29)	(60.000)	(0)	(60.000)
	(2020)	(9)	(9.000.000)	(530.000)	(331.250)	(27)	(60.000)	(0)	(60.000)
	(2019)	(8)	(9.080.000)	(415.000)	(259.375)	(35)	(0)	(0)	(0)
DK I	2023	6	1.243.000	262.000	163.750	8	0	8.419.000	8.419.000
	(2022)	(6)	(1.931.981)	(299.736)	(187.335)	(10)	(2.300.000)	(4.190.000)	(6.490.000)
	(2021)	(5)	(2.375.000)	(360.000)	(225.000)	(11)	(0)	(4.700.000)	(4.700.000)
	(2020)	(5)	(2.600.000)	(360.000)	(225.000)	(12)	(0)	(4.700.000)	(4.700.000)
	(2019)	(5)	(1.990.000)	(287.000)	(179.375)	(11)	(0)	(0)	(0)
DK II	2023	5	2.331.000	318.000	198.750	12	0	5.955.000	5.955.000
	(2022)	(5)	(2.263.826)	(261.784)	(163.615)	(14)	(2.825.000)	(1.730.000)	(4.555.000)
	(2021)	(5)	(3.143.750)	(410.000)	(256.250)	(12)	(0)	(2.700.000)	(2.700.000)
	(2020)	(5)	(3.400.000)	(410.000)	(256.250)	(13)	(0)	(2.700.000)	(2.700.000)
	(2019)	(5)	(3.980.000)	(460.000)	(287.500)	(14)	(0)	(0)	(0)
DK III	2023	0	0	0	0	0	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Daten laut Deponiebedarfsprognose 2024

Quelle: E-Mail des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung SH vom 20.02.2025

Unter Berücksichtigung der erheblichen Planungen, insbesondere im DK-I- und DK-II-Bereich kann Entsorgungssicherheit für Schleswig-Holstein angenommen werden, auch wenn diese aktuell im DK-I-Bereich nicht gegeben ist. Dies setzt allerdings die zügige Umsetzung der Planungsvorhaben voraus.

Deponiebedarf besteht seit vielen Jahren im westlichen Landesteil. Eine dortige Deponierealisierung ist allerdings aufgrund der geologischen Situation problematisch.

Auch Schleswig-Holstein ist bei DK-III-Abfällen auf die Kooperation mit anderen Bundesländern angewiesen.

Schleswig-Holstein übernimmt im Übrigen wie Niedersachsen oder Mecklenburg-Vorpommern Entsorgungsfunktionen für Hamburg.

3.14 Thüringen

BL:	Thüringen								
Stand:	01.01.2024/AB 2023								
Deponie- klasse		Anzahl der in Betrieb befindlichen Deponien	verfügbares Volumen	abzulagernde Mengen p.a.	Volumenverbrauch bei einem Schüttgewicht 1,75t/m³ DK 0 von 1,6 t/m³ DK I-III	Entsorgungs- sicherheit	Volumen im Genehmigungs- verfahren	geplantes Volumen	künftiges neues Volumen
			in m³	in t	in m³	in Jahren	in m³	in m³	in m³
DK 0*	2023	0	0	0	0	./.	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	./.	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DK I*	2023	4	609.546	247.632	154.770	4	0	unbekannt	0
	(2022)	(3)	(391.500)	(148.320)	(92.700)	(4)	(0)	(2.110.000)	(2.110.000)
	(2021)	(3)	(656.000)	(143.733)	(89.833)	(7)	(0)	(2.110.000)	(2.110.000)
	(2020)	(3)	(520.000)	(164.082)	(102.551)	(5)	(0)	(2.110.000)	(2.110.000)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DK II*	2023	7	1.383.784	212.971	133.107	10	0	unbekannt	0
	(2022)	(8)	(1.523.283)	(444.381)	(277.738)	(5)	(0)	(948.000)	(948.000)
	(2021)	(8)	(1.752.105)	(400.730)	(250.456)	(7)	(0)	(948.000)	(948.000)
	(2020)	(8)	(2.000.000)	(278.663)	(174.164)	(11)	(0)	(948.000)	(948.000)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DK III*	2023	0	0	0	0	0	0	0	0
	(2022)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2021)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2020)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	(2019)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

* Auswertung aus AWP 2018 bzw. Abfallbilanz 2023

Quelle: E-Mail des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz vom 10.12.2024

Das thüringische Umweltministerium hat mit Mail vom 10.12.2024 auf die Abfallbilanz 2023 verwiesen. Die genannten Daten beruhen daher auf einer Auswertung derselben sowie des Abfallwirtschaftsplans.

Thüringen hat mit Ausnahme des DK-II-Bereiches keine Entsorgungssicherheit. Und auch in diesem Bereich dürfte die 10-Jahres-Frist in der Folgeperiode unterschritten sein, es sei denn, dass neue Kapazitäten geschaffen wurden. Planungen sind aber nicht bekannt.

Thüringen selbst geht von Entsorgungssicherheit aus, was aber aufgrund der vorhandenen Datenlage nicht nachvollzogen werden kann.

Im DK-III-Bereich ist Thüringen ebenfalls auf die Kooperation mit anderen Bundesländern angewiesen.

Aus Sicht des Autors besteht in Thüringen für alle Deponieklassen akuter Handlungsbedarf. Für die Ablagerung genutzt werden intensiv Kalihalden, Tagebaue und Restlöcher. Allein auf Kalihalden wurden 2023 über 1,1 Mio. Tonnen entsorgt. Ohne Nutzung der bergrechtlichen Entsorgungswege gäbe es vermutlich heute schon massive Entsorgungsprobleme.

4. Einschätzung der Entsorgungssicherheit in der Bundesrepublik

Die nachfolgende Darstellung spiegelt meine persönliche Einschätzung der Entsorgungssicherheit in den einzelnen Bundesländern wider. Dabei gilt: Je heller, desto besser und umgekehrt, je dunkler, desto kritischer.



Nach dem „Statistischen Bericht Abfallentsorgung 2020 vom 14.07.2022“ von destatis hatten rd. 54 % der deutschen Deponien eine Restlaufzeit von 10 Jahren oder weniger.

Land	Deponien insgesamt	Restvolumen	Input insgesamt	Davon mit einer verbleibenden Betriebsdauer von ... bis ... Jahren	
				bis 10	11 und mehr
	Anzahl	1 000 m ³	1 000 t	Anzahl	
Baden-Württemberg	302	38 381	6 534,8	139	163
Bayern	345	50 250	6 155,1	200	145
Berlin	-	-	-	-	-
Brandenburg	17	34 911	3 274,3	6	11
Bremen	8	1 167	216,0	4	4
Hamburg	1	.	279,9	.	.
Hessen	28	11 526	748,9	15	13
Mecklenburg-Vorpommern	8	13 421	655,0	3	5
Niedersachsen	52	41 763	3 340,5	25	27
Nordrhein-Westfalen	128	191 743	13 663,1	87	41
Rheinland-Pfalz	40	12 777	1 616,3	18	22
Saarland	29	8 922	1 125,6	18	11
Sachsen	6	.	901,7	.	.
Sachsen-Anhalt	12	19 692	1 493,8	4	8
Schleswig-Holstein	12	6 074	896,0	5	7
Thüringen	17	3 256	533,5	11	6
Deponien insgesamt	1 005	443 902	41 434,4	540	465
1 Einschließlich Langzeitlager.					
Quelle: destatis "Statistischer Bericht Abfallentsorgung 2020 vom 14.07.2022"					

Diese Entwicklung ist glücklicherweise so nicht eingetreten, hätte sie doch zumindest eine massive Verlängerung der Fahrwege bedeutet.

Aktuell stellen sich die verfügbaren Kapazitäten (auf Basis der Meldungen) wie folgt dar:

Verfügbare Kapazitäten						
DK	Anzahl	Verfügbares Volumen in cbm	Im Genehmigungsverfahren in cbm	Gesamtes nutzbares Volumen in cbm	Geplantes Volumen in cbm	Gesamtes Volumen in cbm
0	649	169.724.809	52.413.570	222.138.379	16.746.440	238.884.819
I	107	100.601.301	48.629.000	149.230.301	62.307.500	211.537.801
II	140	120.523.261	16.930.000	137.453.261	23.097.500	160.550.761
III	18	27.313.972	4.180.000	31.493.972	17.200.000	48.693.972
Summe	914	418.163.343	122.152.570	540.315.913	119.351.440	659.667.353
Volumenverbräuche						
DK	Anzahl	Verfüllte Volumina in cbm	Entsorgungssicherheit Jahre	Entsorgungssicherheit Jahre		Entsorgungssicherheit Jahre
0		8.671.173	20	26		28
I		5.454.974	18	27		39
II		5.063.869	24	27		32
III		1.570.701	17	20		31
Summe		20.760.717		26		32

Die Entsorgungssicherheit in Deutschland hat sich damit im Vergleich zu den Vorjahren sehr positiv entwickelt. Die Ursachen dafür sind sicherlich vielschichtiger Natur. Folgende Aspekte spielen aber mit Sicherheit eine Rolle:

- In den letzten Jahren gab es einen kontinuierlichen Zubau von Deponiekapazitäten.
- Zeitgleich haben sich die Ablagerungsmengen spürbar verringert. Dies ist neben entsprechenden Verwertungsanstrengungen sicherlich vor allem auch der schwächelnden Baukonjunktur zuzuschreiben.
- Gleichzeitig steht der Entsorgungsweg „Bergbauliche Verfüllung/Ablagerung auf überträgigen Abbaustätten“ noch bis 2031 in der bisherigen Form zur Verfügung.

5. Plausibilitätsprüfung anhand der Veröffentlichung der „Kreislaufwirtschaft Bau“

Die Plausibilitätsprüfung erfolgte auf Basis der von der „Kreislaufwirtschaft Bau“ veröffentlichten Werte für die Jahre 2020 und 2022. Demnach war in diesem Zeitraum eine Verringerung des Mengenaufkommens um rd. 13 Mio. Tonnen festzustellen.

	Gesamtaufkommen		Boden+Steine		Bauschutt		Straßenabruch		Bauabfälle Gipsbasis		Baustellenabfälle		Insgesamt	
	in Mio. t		in Mio. t		in Mio. t		in Mio. t		in Mio. t		in Mio. t			
	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020
Insgesamt	207,9	220,6												
Recycling			14	14	45	47	16	16	0	0	0	0	76	77
Bergbau/Deponieverwertung			92	97	7	9	1	1			13	13	112	120
Deponie			16	19	3	3	0	1	0	0	0	0	20	23
Gesamt			122	129	55	60	17	17	1	1	13	14	208	221

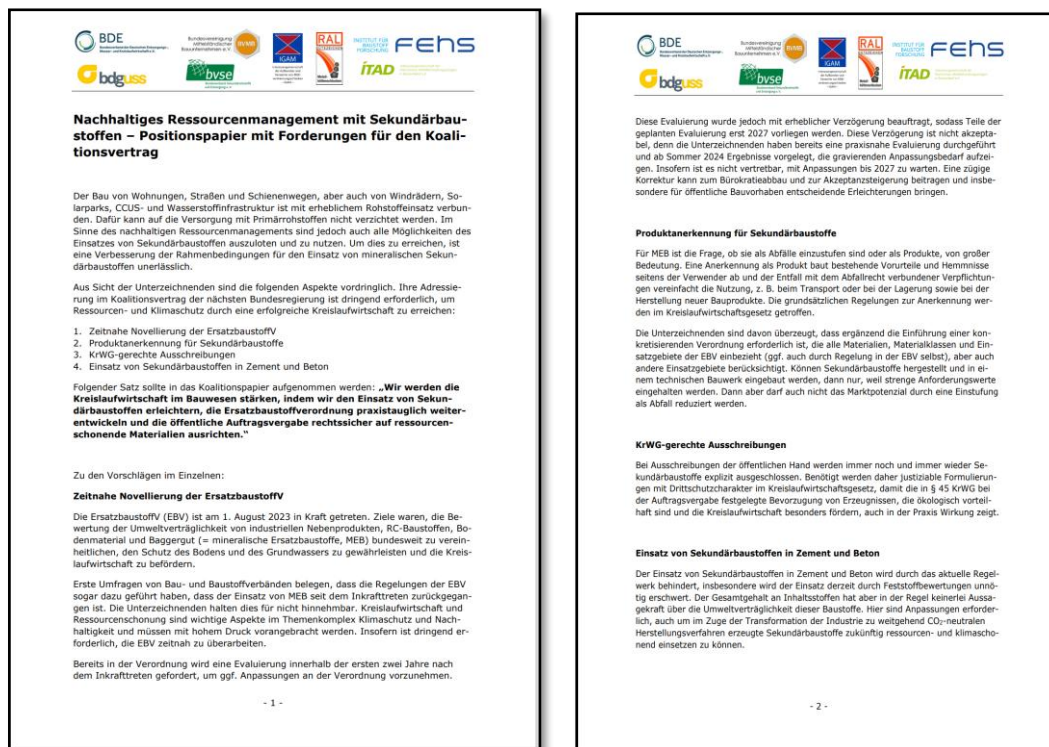
Von diesem Aufkommen wurden 2022 etwa 132 Mio. t abgelagert, davon rd. 20 Mio. t deponiert. Die nachfolgende Übersicht zeigt die Entwicklung über die Jahre.

Ablagerung lt. Kreislaufwirtschaft Bau									
					2022	2020	2016	2015	2014
Bergbau/Deponieverwertung					112	120	101	94,7	105
Deponierung					20	23	46,6	44,1	45
Insgesamt					132	143	147	139	150

6. Mögliche Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung

6.1 Fehlende Abfallende-Eigenschaft von mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB)

Es gibt die Forderung zahlreicher Verbände an den Gesetzgeber, für mineralische Ersatzbaustoffe grundsätzlich ein Ende der Abfalleigenschaft festzustellen; dies u.a. mit der Begründung, dass ansonsten ein Akzeptanzproblem bestehe und erhebliche Massenströme dann in Richtung Deponie drängen würden.



Die InwesD unterstützt grundsätzlich die Bemühungen zur Verwertung von MEB. Die Zuordnungswerte für die Deponieklassen beschreiben, ab wann Materialien auf eine Deponie gehören, um Gefahren für Mensch und Umwelt auszuschließen. Erfüllen MEB also diese Zuordnungswerte, gehören sie nach InwesD-Auffassung in eine Schadstoffsenske, sind also dem Stoffkreislauf zu entziehen und damit auf eine Deponie.

Das gilt nach unserer (InwesD-) Meinung auch dann, wenn sie zuvor in gesicherter Weise verwertet wurden, dann aber (z.B. aus einem Leitungsgraben) wieder ausgebaut werden müssen. Die Erfahrung lehrt, dass trotz aller Dokumentationspflichten in 20 oder 30 Jahren niemand mehr über konkret am Ort eingebaute MEB-Bescheid weiß. Das macht skeptisch.

Mit Blick auf die behaupteten zu erwartenden erhöhten Massenströme von MEB in Richtung Deponie hat die InwesD Ende 2024 eine verbandsinterne Umfrage zu den einschlägigen korrespondierenden Abfallschlüsselnummern durchgeführt. Im Ergebnis sind keine Zunahmen bei derartigen Ablagerungen, sondern Rückgänge zu verzeichnen. Eine Mehrbelastung war bis dato definitiv nicht feststellbar. Konjunkturelle Entwicklungen in der Bauwirtschaft mögen dabei eine Rolle spielen und können von InwesD nicht mit hinreichender Seriosität beurteilt werden. Fakt ist aber ein Fehlen der behaupteten Mehrbelastung.

6.2 LAGA M 23

Die novellierte LAGA M 23 kennt als neues Unterscheidungsmerkmal abweichend von der bisherigen „Null-Faser-Politik“ die Merkmale „asbestfrei“ und „schwach asbesthaltig“. Hintergrund sind vor allem die vielfältigen öffentlichen Sanierungsmaßnahmen, bei denen leicht asbesthaltige Abfälle (z.B. Abstandshalter in Brückenbauwerken) anfallen, aber auch eine Stärkung der Recyclingbemühungen. Hier bestand und besteht Unklarheit, ob dies Ablagerungsmengen erhöht.

Konkrete Erfahrungswerte liegen bislang nicht vor, es steht aber zu vermuten, dass es nicht zu einer absoluten Ablagerungserhöhung kommt. Entweder mussten in der Vergangenheit asbestbelastete Abfälle

separat entsorgt oder ggf. vorab behandelt werden. Die übrigen Materialien aus einer Abbruchmaßnahme blieben z.B. gleich. Wenn nun leicht belastete Materialien ohne weitere separate Behandlung auf Deponien abgelagert werden dürfen, dürfte dies in Summe auch nicht die Gesamtbilanz verändern. Bislang sind keine messbaren Veränderungen festzustellen. Jedoch sind auch bei der nach LAGA nun möglichen angefeuchteten Schüttung leicht belasteter Abfälle die arbeitsrechtlichen Vorschriften zu beachten. Die Situation wird weiter beobachtet.

6.3 PFAS-belastete Abfälle

PFAS-belastete Abfälle finden sich inzwischen in nahezu allen Lebensbereichen, so auch in mineralischen Abfällen und Böden. Aktuell laufen mehrere Untersuchungen, wie PFAS z.B. in den Waldboden gelangen konnten. Hier wird z.B. der Vermutung nachgegangen, dass dies über den Luftpfad erfolgt ist. Die Ergebnisse der Untersuchungen bleiben abzuwarten.

Als PFAS-haltige Abfälle identifizierte Materialien sind als gefährliche Abfälle einzustufen. Schon heute tun sich die Abfallbesitzer schwer, derartige Abfälle zu deponieren. Grund ist, dass nur wenige Deponiebetreiber willens sind, diese Materialien auf ihren Deponien abzulagern und die meisten Deponiebetreiber wissentlich allenfalls schwach belastete derartige Abfälle annehmen.

Ursächlich ist, dass die PFAS auf dem Wasserpfad in das Sickerwasser gelangen und damit das gesamte Sickerwasser kontaminieren. In biologischen Reinigungsverfahren werden die PFAS nicht abgeschieden. Vielmehr bedarf es dort einer adsorptiven Stufe (Aktivkohle), um PFAS zu fassen. Bedauerlicherweise gibt es mehrere tausend PFAS-Verbindungen mit unterschiedlichem Gefährlichkeitsgrad für Mensch und Umwelt. Nach den bisherigen Kenntnissen und Erfahrungen lagern sich in der adsorptiven Stufe vorzugsweise nur die langkettigen PFAS-Verbindungen ab und setzen die Oberfläche der Aktivkohle sehr schnell zu, was zu spürbar erhöhten Wechselraten der Aktivkohle führt.

Dies ist für die Deponiebetreiber ein erheblicher Kostenfaktor. Dies wird dadurch befördert, dass die Aktivkohle nicht mehr regeneriert werden kann, sondern in der thermischen Sonderabfallbehandlung entsorgt werden muss, um die PFAS gesichert zu zerstören. Aktuell laufen nach unserer Kenntnis Entwicklungs- und Forschungsvorhaben, die PFAS thermisch von den Aktivkohlen zu lösen und damit in den Gaspfad einzubinden und dann nur noch den Gaspfad mittels Hochtemperatur zu behandeln. Dann stünde die Kohle für eine Regenerierung wieder zur Verfügung.

Als weitere Option bleibt die Umkehrosmose, bei der allerdings ein Drittel als hochkontaminiert verbleibt und ebenfalls thermisch zu entsorgen ist.

Tatsache ist, dass bislang nahezu ausschließlich auf Deponien PFAS in der Sickerwasserreinigung ausgeschleust werden; wahrscheinlich werden PFAS auch in Kläranlagen mit 4. Stufe PFAS ausgeschleust. Dies führt dann zu den gleichen Problemen wie auf Deponien.

Die Wissenslage fußt zusammengefasst in vielen Bereichen bis hin zur Immobilisierung von PFAS vielfach auf noch nicht gesicherten oder stabilen Erkenntnissen. Viele Bereiche werden aktuell erforscht; dies gilt im Übrigen europaweit.

Die PFAS-kontaminierten Massen sind nach Einschätzung der InwesD, vor allem aber weiterer Experten in Deutschland und Europa erheblich.

Vor diesem Hintergrund haben Dr. Michael Tiedt (LANUV NRW, heute LANUK NRW) schon vor mehr als 10 Jahren im DWA/VKU-Fachausschuss „Deponien“ den Gedanken entwickelt, Monodeponien oder

hydraulisch getrennte Monoabschnitte speziell für PFAS-belastete Abfälle einzurichten; die Idee war, quasi eine oder zwei Deponien für derartige Abfälle je Bundesland vorzuhalten, ggf. in länderübergreifender Zusammenarbeit. Voraussetzung wäre - und ist auch noch heute - aber gewesen, dass eine verbindliche und kontrollierte Zuweisung dieser Abfälle zu diesen Deponien hätte erfolgen müssen, um die wirtschaftliche Existenzfähigkeit dieser Deponien zu gewährleisten. Dies ließ sich aufgrund juristischer Bedenken seinerzeit nicht realisieren und wurde verworfen. Ergebnis der juristischen Bedenken ist, dass das Sickerwasser der Deponien, die PFAS-belastete Materialien angenommen haben (oder annehmen mussten) heute mit den entsprechenden Kosten kontaminiert ist.

Das Problem ist ja bis heute nicht erledigt, sondern verschärft sich mit zunehmender Erkenntnislage voraussichtlich noch. Möglicherweise gelingt es ja doch noch, dass sich die juristische Erkenntnislage den naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten annähert; vielleicht hilft dabei auch die Erkenntnis, wieviel Geld die Juristerei durch ihre Haltung „bislang schon versenkt hat“ und bei Beibehaltung ihrer Sichtweise in Zukunft auch „noch versenken wird“.

Da vermutlich halb Europa inzwischen mit PFAS kontaminiert ist (wissenschaftliche Erkenntnisse liegen uns nur für Deutschland vor) müsste man zur Beseitigung der PFAS-Belastung in vielen Bereichen wohl einen halben Meter Oberboden in Europa abschieben und deponieren; Eine völlig aberwitzige Vorstellung!

Es wird deshalb auf die Risikoabschätzungen ankommen, die unter der Expertise von Human- und Umweltoxikologen erstellt werden muss. Kurz: Welche PFAS können (oder wollen) wir uns in unserer Umgebung leisten? Welche können wir immobilisieren usw.? Letztlich werden diese Fragen vermutlich politisch – wahrscheinlich auf EU-Ebene – beantwortet werden.

Wenn diese Antworten vorliegen, kann man anfangen abzuschätzen, was denn da wohl auf die Deponien an Massenströmen zukommen mag. Und möglicherweise nähern sich dann auch juristische Sichtweisen pragmatischen Lösungen an.

6.4 Wegfall der bergrechtlichen Verfüllgenehmigungen in 2031

Ab dem 01.08.2031 werden viele der heute noch geltenden Verfüllgenehmigungen für obertägige Abbaustätten entfallen oder müssen erneuert bzw. modifiziert werden. Der Zeitraum erscheint heute noch weit entfernt, relativiert sich aber massiv im Hinblick auf die Dauer von Genehmigungsverfahren und ggf. beizubringende Gutachten.

Nach destatis 2023 wurden 2023 rd. 78 Mio. t bergbaufremde Materialien in derartigen Abbaustätten abgelagert und rd. 27,5 Mio. t dort verwertet. Die Kreislaufwirtschaft Bau ging für 2022 von ca. 112 Mio. t für Verfüllung/Deponieverwertung aus. Summiert ähneln sich die Zahlen also.

Für einige Bundesländer stellen diese Verfüllrechte heute noch einen entscheidenden Beitrag zu ihrer Entsorgungssicherheit dar. Ein Wegfall hätte z.T. dramatische Folgen für die Entsorgungssicherheit, weil erforderliche Deponiekapazitäten zur alternativen Aufnahme von Abfällen fehlen.

Ob die Bundesländer – auch im Lichte deutscher und europäischer Verfüllregelungen bzw. –anforderungen diese Verfüllrechte in Gänze oder teilweise verlängern werden können, ist heute zumindest völlig unklar.

Klar ist allerdings, dass die Deponien kapazitätsmäßig nicht in der Lage sein werden, einen solchen zusätzlichen Massenstrom dauerhaft im Rahmen heutiger Zeitfenster aufnehmen zu können. Das erklärt möglicherweise auch die Bemühungen einiger Bundesländer, gerade im DK 0-Bereich zusätzliche Kapazitäten zu schaffen.

In diesen Zusammenhang sind auch die Bestrebungen nach einer Feststellung der Abfallende-Eigenschaft einzuordnen, weil es nämlich für „Produkte“ wohl immer noch möglich sein wird, diese in den Entsorgungsweg einzubringen. Ob dies auch europarechtlich eine Triebfeder ist – auch dort wird die Abfallende-Eigenschaft diskutiert – entzieht sich bislang unserer Kenntnis.

Sollten diese Massenströme ab 2031 auch auf die Bundesrepublik zurollen, werden auch die bundesdeutschen Deponien als „Schadstoffausschleuse“ überfordert sein. Das deutsche Deponievolumen wäre innerhalb kürzester Zeit verfüllt und wir hätten angesichts der gigantischen Mengen Entsorgungsnotstand. Ich frage mich bis heute, wie das auf EU-Ebene ehrlich erfolgen soll.

Zusammengefasst: Wir wissen also bis heute nicht, ob und ggf. welche gigantischen Massenströme möglicherweise auf die Deponien „zurollen“. Es bedarf hier dringendst einer länderübergreifenden Klärung mit dem Bund, ohne dass Partikularinteressen entscheidungsrelevant sind. Gerade für unsere Industrie bedarf es langfristiger „Leitplanken“. Und aus diesen „Leitplanken“ leiten sich dann die Erfordernisse ab.

6.5 Sonderaufgaben als Zwischenlagerflächen

Je mehr unklare oder heute noch nicht definierbare Stoffe mit Zukunftspotential ins Gespräch kommen, desto mehr stehen auch immer wieder Deponien als „Zwischenlagerungsflächen“ im „Zentrum der Begierde“. Die Deponieverordnung selbst kennt ja das Instrument der „Zwischenlagerung“. Schon in der Vergangenheit wurde erkannt, dass es Materialien geben möge, die aktuell noch nicht recyclebar sind, für die sich aber eine solche Option abzeichnet. Deponien sollten solche Stoffe also über einen definierten Zeitraum „verwahren“ können. Dabei wurden allerdings seinerzeit die Anforderungen so hoch gesetzt, dass mir bis heute quasi kein realistisch umgesetzter Fall bekannt ist.

Trotz dieser vergleichsweisen hohen Anforderungen holt uns aktuell die Thematik „Zwischenlagerung/Rückholbare Ablagerung von Klärschlammverbrennungsaschen“ ein. Die Bundesregierung hat 2017 die KlärschlammVO mit dem Ziel novelliert, Phosphor als elementares in Deutschland als Bodenschatz nicht verfügbares Element, zurückzugewinnen. Deutschland ist für den lebenswichtigen Phosphor auf Zulieferungen aus dem Ausland angewiesen und damit auch den geopolitischen Strömungen ausgesetzt. Insoweit machte die Regelung auch Sinn, zumindest einen Teil des Bedarfes aus heimischen Möglichkeiten zu decken. Da es zum Zeitpunkt der Verabschiedung der Verordnung noch keine geeigneten Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor gab, sind von Seiten der Bundesregierung viele Millionen Euro in die Bezuschussung zur Verfahrensentwicklung geflossen.

Und tatsächlich – es wurden auch entsprechende Verfahren entwickelt. Einziger Nachteil: Sie stehen bis zum Verordnungszeitpunkt in 2029 weder in erforderlichem Technikreifeegrad, noch in vorhandener industrieller Infrastruktur zur Verfügung.

Deshalb hat der Bund in 2024 einen sog. „Branchendialog“ durchgeführt. Ergebnis war abgekürzt die Idee, Klärschlammverbrennungsaschen bis zur Verfügbarkeit geeigneter Techniken auf Deponien „zwischenzulagern“. Leider überschreitet die zeitliche Vorstellung diejenige, die seinerzeit in der Deponieverordnung implementiert wurde. Es gibt also zahlreiche rechtliche, technische und vor allem wirtschaftliche Fragen, die für ein solches Ansinnen zu klären wären. Zumindest in Teilen laufen diese Klärungen aktuell noch und sollen im Oktober 2025 vorgestellt werden.

Das Beispiel zeigt aber eine neue Aufgabe, die auf die Deponien zukommen kann: „Verwahre relevante Stoffe, bis wir etwas damit anfangen können“. Eine ehrenvolle Aufgabe, die allerdings in der Realität sehr schnell an ihre Grenzen stößt. Solche „Verwahrungsaufgaben“ können nämlich immer nur an Stellen

der Deponie gelöst werden, die nicht mehr überschüttet werden müssen; also zumeist im Endstadium der Deponie oder bestenfalls des Deponieabschnittes. Was passiert, wenn die Deponie zwischenzeitlich endet oder abgedeckt werden muss, sind bis heute ungelöst. Daran schließen sich unzählige weitere Fragestellungen an, die dem BMUKN und auch der LAGA bekannt sind. Hier warten wir auf Antworten.

Es werden in Zukunft vermutlich weitere Stoffe auftauchen, für die sich eine Aufbereitung lohnen würde. Da stellt sich immer die Frage der Dimension.

Fest steht, dass wir Deponien immer die „Ultima Ratio“ sind. Wenn keiner akut mehr weiß, wohin mit den Stoffen, kommen sofort die Deponiebetreiber in Rede; dabei wird deren Auftrag oftmals verkannt: Sie sind Schadstoffsinken, in denen wir unsere Materialien unterbringen, für die wir zumindest heute keine Verwendung haben.

6.6 Neue stigmatisierte Stoffe

Wir sind in der Kreislauf- und Abfallwirtschaft in den vergangenen Jahren sowohl aus Deutschland wie auch der EU „überrollt worden“. Keiner der heutigen Experten weiß nach meiner Kenntnis, welche zusätzlichen stoffbezogenen Anforderungen noch auf uns zukommen. Das können zweierlei Themen sein, nämlich

- Welche Stoffe müssen künftig dem Wirtschaftskreislauf entzogen werden?
- Welche Stoffe müssen bis zu welchem Zeitpunkt auf Deponien verwahrt werden?

Im Ergebnis werden diese Fragen politisch beantwortet werden. Es bleibt die Hoffnung, dass man den in Deutschland vorhandenen Sachverstand (wohl an der Spitze in Europa) sinnhaft nutzt!

7. Fazit

Im vergangenen Jahrzehnt war die Deponiesituation in Summe angespannt. Einzelne Bundesländer waren knapp oder bereits im Entsorgungsnotstand. Diese Situation hat sich bundesweit entscheidend verbessert. Gleichwohl gibt es Bundesländer, die dringenden Handlungsbedarf haben, während sich gleichzeitig andere Bundesländer zukunftssicher aufgestellt haben.

Die Entwicklung der letzten Jahre ist grundsätzlich erfreulich, auch wenn vielfach noch Handlungsbedarf besteht. Deponievolumina wurden geschaffen, zeitgleich gingen Ablagerungsmengen zurück. Es bleibt abzuwarten, ob dies nur konjunkturbedingt oder kreislaufwirtschaftsbedingt angelegt ist.

In Zukunft warten vielfältige Aufgaben auf die Deponien als letztem Glied in der Entsorgungskette. Wie wichtig sie sind, haben zuletzt die Konsequenzen aus den Hochwasserkatastrophen gezeigt.

Zeitgleich warten aber auch neue Herausforderungen auf die bundesdeutsche Deponielandschaft. Welche Stoffe müssen wir in Zukunft aufnehmen? In welchen Dimensionen? Wie wird das rechtlich, technisch und wirtschaftlich geklärt?

Wir haben jährlich rd. 240 Mio. t mineralische Abfälle, von denen heute nur ein Bruchteil auf Deponien landet. Müssen wir diese künftig, oder zumindest teilweise, auf Deponien aufnehmen?

Dann würde heute schon Handlungsbedarf bestehen. Der Gesetzgeber ist dringsten aufgefordert, die planungsrechtlich zwingenden Leitplanken zeitnah zu definieren. Dazu muss es klare Aussagen geben, wie es weitergeht.

Wenn die Verfüllgenehmigungen 2031 fortfallen, sind die Deponiebetreiber „ohne Vorwarnung“ überfordert. Hier muss schnellstens Klarheit geschaffen werden.

Wir werden das genau beobachten und als letztes Glied in der Kreislaufwirtschafts als Schadstoffausschleuse „immer wieder unseren Finger heben“ .

Kreislaufwirtschaft wird nur als Gesamtheit funktionieren!

Aktueller Stand und Perspektiven der MBA aus Sicht der Abfallwirtschaftsplanung Niedersachsens

Gunther Weyer¹, Katharina Endler²

Inhalt

1. Entwicklung der Restabfall-Entsorgungsstruktur in Niedersachsen	167
2. Technische Ausgestaltung der MBA-Anlagen in Niedersachsen	168
3. Perspektiven der MBA	170
4. Die MBA in der niedersächsischen Abfallwirtschaftsplanung	171
5. Zusammenfassung	172
6. Literatur	172

1. Entwicklung der Restabfall-Entsorgungsstruktur in Niedersachsen

Die Restabfall-Entsorgungsstruktur in Niedersachsen ist dezentral durch die Entscheidungen der zuständigen Kommunen als öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (örE) im Rahmen ihres „eigenen Wirkungskreises“ festgelegt. In Niedersachsen gab es zum Zeitpunkt dieser Entscheidungen - im Vorfeld des Stichtatums 01.06.2005, zu dem die Möglichkeit der Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle auf Deponien auslief, 49 öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, die der Abbildung 1 zu entnehmen sind.

Mit Erlass der Abfallablagerungsverordnung, mit der das vorgenannte Stichtatum auf Verordnungsebene „gehoben“ wurde (vorher TA Siedlungsabfall), wurde die stoffstromspezifische Behandlung von Siedlungsabfällen ein optionaler und zugelassener Weg der Restabfallbehandlung, der mit eigenen Zuordnungswerten und Einbauvorschriften für den mechanisch-biologisch behandelten Abfall ausgestaltet war.

¹ Gunther Weyer, c/o Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Archivstr. 2, 30169 Hannover, Tel. 0511 / 120-3260, E-Mail: Gunther.Weyer@mu.niedersachsen.de

² Katharina Endler, c/o Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Archivstr. 2, 30169 Hannover, Tel. 0511 / 120-3168, E-Mail: Katharina.Endler@mu.niedersachsen.de

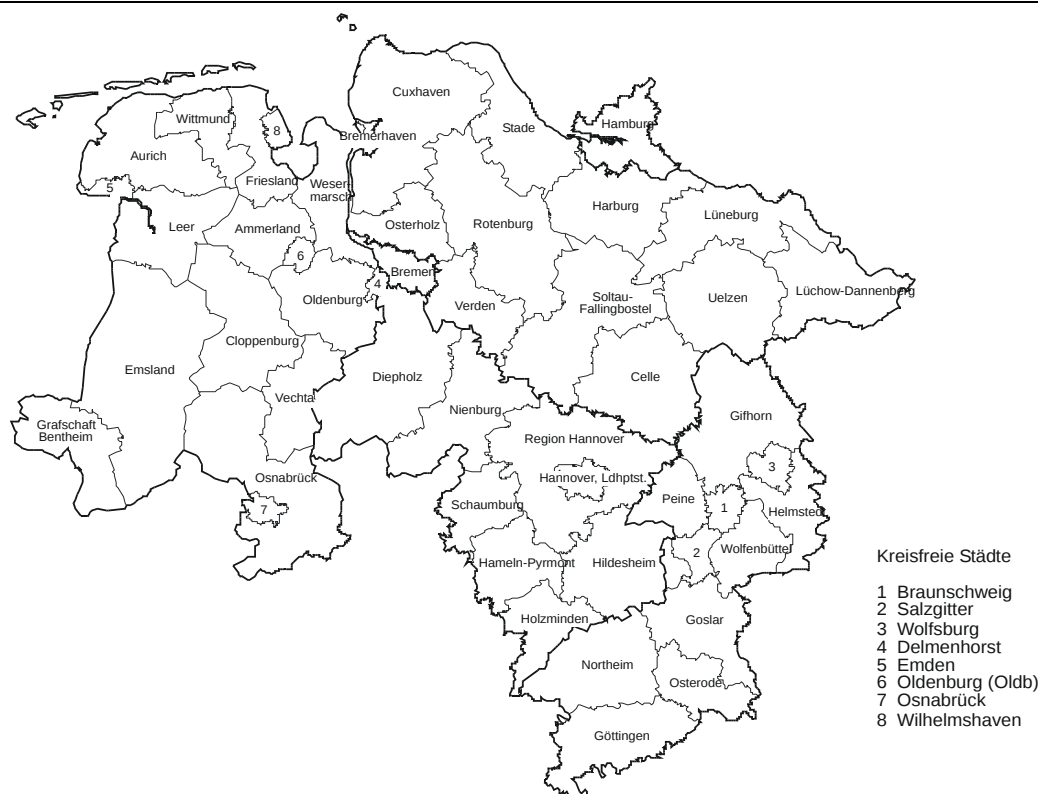


Abbildung 17: ÖrE und deren Entsorgungsgebiete in Niedersachsen zum Zeitpunkt 1.6.2005

Nach Vorliegen klarer Bundesregelungen in der Abfallablagerungsverordnung und der Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen (30. BImSchV) im Jahr 2001 hatte sich jede entsorgungspflichtige Kommune auf Ebene ihrer politischen Gremien zu entscheiden zwischen

- der Sicherung von Entsorgungskapazitäten bei Dritten (privatwirtschaftlich betriebene Müllverbrennungsanlage oder i. d. R. öffentlich-rechtlich betriebene MBA-Anlage) oder
- der Projektierung einer eigenen Anlage.

In Niedersachsen entstanden zehn MBA-Anlagen. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger mussten ihre Entscheidung für eine bestimmte der so gegebenen, rechtlich zulässigen Restabfall-Behandlungsstrategien nicht gegenüber dem Niedersächsischen Umweltministerium rechtfertigen. Im eigenen Wirkungskreis unterliegen die öRE lediglich der Rechtsaufsicht. Das Niedersächsische Umweltministerium hat zu beaufsichtigen, dass die öRE ihre Pflichten vollständig und rechtskonform erfüllen.

Aktuell ergeben sich die Kernanforderungen und die Zulässigkeit der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung aus § 6 Abs. 4 Deponieverordnung (DepV) i. V. m. den gesonderten Zuordnungswerten gemäß Vorspann zur Tabelle 2 im dortigen Anhang 3 und der 30. BImSchV. Danach ist die MBA fortgesetzt eine Option, für die sich die öRE im eigenen Wirkungskreis entscheiden können. Dies ist im Abfallwirtschaftsplan Niedersachsens (Teilplan Siedlungsabfälle und nicht gefährliche Abfälle) abgebildet.

2. Technische Ausgestaltung der MBA-Anlagen in Niedersachsen

In der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung erfolgt die Restabfallbehandlung regelmäßig in zwei Stufen:

- Mechanische Aufbereitung
mit der Abtrennung von Wertstoffen wie Eisen- und ggf. Nichteisenmetallen und der Gewinnung einer heizwertreichen Fraktion (Ersatzbrennstoff),
- Biologische Behandlung
mit Abbau der nativ-organischen Bestandteile und Erzeugung eines ablagerungsfähigen Materials (bzw. in Sonderverfahren eines stabilisierten Materials für eine weitergehende energetische Verwertung); dabei wird unterschieden in Rotte-, Vergärungs- und Stabilisierungs- bzw. Trocknungsverfahren.

Die erfolgte Implementierung der MBA-Technik mit Gewährleistung der vollständigen Entsorgungssicherheit setzte voraus, dass Deponiekapazitäten für die behandelte und ablagerungsfähige Fraktion sowie gesicherte Entsorgungswege für die heizwertreiche Fraktion zur Verfügung stehen.

In Niedersachsen gibt es derzeit acht MBA-Anlagen, die im Zusammenhang mit einer Deponie bzw. mit zur Verfügung stehenden Deponiekapazitäten betrieben werden und in denen etwa 40 % des kommunal erfassten Restabfalls Niedersachsens behandelt werden. Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die Verteilung der MBA-Standorte in Niedersachsen (einschließlich der beiden zwischenzeitlich nicht mehr als MBA betriebenen Anlagen) unter jeweiliger Angabe des Behandlungsprinzips der biologischen Stufe bei den betriebenen Anlagen.

Jede MBA-Anlage ist in Hinblick auf ihre Konzeptionierung ein „Unikat“. Differenziert nach dem Grundprinzip der biologischen Stufe stellt sich der Anlagenbestand in Niedersachsen wie folgt dar: zurzeit gibt es fünf MBA-Anlagen mit einer Vergärungsstufe und drei MBA-Anlagen mit einer Rotte.

Die Trockenstabilat®-Anlage in Osnabrück wurde Ende 2022 außer Betrieb genommen und zurückgebaut. Die ehemalige MBA-Anlage Osterholz wird seit 2010 nur noch zur mechanischen Aufbereitung von Siedlungsabfall genutzt.

Für die acht verbliebenen MBA-Anlagen bestehen entsprechende Entsorgungswege für das ablagerungsfähige Material und die heizwertreiche Fraktion.

Die in den MBA-Anlagen abgetrennte heizwertreiche Fraktion wird in EBS-Kraftwerken oder in Müllverbrennungsanlagen energetisch verwertet, die das in Anlage 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes unter dem Verwertungsverfahren R 1 genannte Energieeffizienzkriterium für Verbrennungsanlagen erfüllen.

Das bei den MBA-Anlagen mit Vergärungsstufe erzeugte Biogas wird in Blockheizkraftwerken in Energie umgewandelt und i. d. R. zur Deckung des Eigenenergiebedarfs verwendet. Zusätzlich wird an einigen Standorten die Abwärme für die Wärmeversorgung öffentlicher Gebäude (z. B. Krankenhaus, Schule) genutzt.



- MBA mit Vergärung: Bassum, Deiderode, Hannover, Schaumburg, Wiefels
- ⊘ MBA mit Rotte: Großefehn, Lüneburg, Wilsum
- MBA außer Betrieb: Osnabrück, Osterholz

Abbildung 18: Übersicht der MBA-Standorte in Niedersachsen

3. Perspektiven der MBA

Die MBA-Technologie ist aufgrund ihres modularen Aufbaus flexibel anwendbar und kann an veränderte Rahmenbedingungen und Entwicklungen angepasst bzw. mit Blick auf erweiterte Zielsetzungen weiterentwickelt werden.

Die in Niedersachsen betriebenen MBA-Anlagen sind mittlerweile „in die Jahre gekommen“ und es stellt sich die Frage der Weiterentwicklung der Restabfallbehandlung. Das Bild hierzu ist differenziert. Während bei einigen Anlagenbetreibern bereits Zukunftskonzepte und somit Planungs- und Investitionsbereitschaft vorliegen, gibt es bei anderen MBA-Betreibern noch Diskussionen über die grundsätzliche Ausrichtung der Restabfallbehandlung.

Die Optimierungspotenziale der MBA-Anlagen bestehen insbesondere im Hinblick auf die weitergehende Minimierung der Treibhausgasemissionen und der Option weitere verwertbare Fraktionen zur stofflichen Verwertung auszuschleusen (vgl. auch UBA-Studie zur „Weiterentwicklung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) mit den Zielen der Optimierung der Ressourceneffizienz und Minimierung von Treibhausgasemissionen“).

Der Schwerpunkt der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung liegt bislang in der Erzeugung von Ersatzbrennstoffen einerseits und einer umweltneutral ablagerungsfähigen Deponiefraktion andererseits. Zurzeit werden hauptsächlich Metalle (insbesondere Fe-Metalle) als Wertstoff aus dem Restabfall

abgetrennt. Die verstärkte Ausschleusung weiterer recycelbarer Fraktionen, wie z. B. Kunststoff, ist eine denkbare Möglichkeit zur Weiterentwicklung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. Die Ausschleusung von Kunststoffen aus dem Restabfall zur stofflichen Verwertung steht jedoch unter dem Vorbehalt der Möglichkeiten zur Vermarktung dieser Kunststofffraktion, was derzeit eher nicht gegeben scheint. Die CO₂-Bepreisung der energetischen Verwertung von Abfällen nach dem Brennstoff-Emissionshandelsgesetz (BEHG) könnte perspektivisch Anreize für die Ausschleusung kunststoffhaltiger Abfälle zum Recycling aus den Siedlungsabfällen bewirken.

Bei MBA-Anlagen mit einer Vergärungsstufe, die gegenüber einer aerob betriebenen Biologie ohnehin schon den Vorteil der Erzeugung eines energetisch verwertbaren Biogases mit sich bringt, kann die Klimagasbilanz durch Optimierung der Stoffströme noch weiter verbessert werden. Dies betrifft z. B. die Ausschleusung inerter Bestandteile vor Zuführung in die Vergärungsstufe, die optimierte Abtrennung biologisch abbaubarer Stoffe aus der Grobfraction und deren Zuführung zum Vergärungsprozess sowie die Zuführung weiterer biologisch abbaubarer Bestandteile (z. B. PPK-Anteile) in die biologische Stufe. Bei MBA-Anlagen mit einer Rottstufe kann die Umrüstung auf Vergärungstechnik eine Optimierungsmöglichkeit im Hinblick auf die Energieeffizienz sein.

Im Zusammenhang mit den Vergärungsstufen von MBA-Anlagen werden zukunftsorientierte Ansätze wie die Erzeugung von Biomethan und weitergehend Wasserstoff (aus dem Biomethan), die Nutzung des abgeschiedenen CO₂ aus dem erzeugten Biogas oder die Methanisierung des bei der Biogasaufbereitung abgetrennten CO₂ angedacht und aufgegriffen (vgl. auch UBA-Studie, aha).

Es gibt aber auch den Planungsansatz – wie bei dem früheren MBA-Standort Osterholz – auf die biologische Behandlung der nach Abscheiden der heizwertreichen Grobfraction (Ersatzbrennstoff) verbleibenden Feinfraction zu verzichten und damit bei ehemals zweistufigen Anlagen keine Fraction mehr zur Ablagerung auf einer Deponie zu erzeugen.

4. Die MBA in der niedersächsischen Abfallwirtschaftsplanung

Die Entscheidung der örE für eine MBA-Anlage begründete sich in der Vergangenheit u. a. auch in der damit einhergehenden Wertschöpfung vor Ort (Erhalt kommunaler Arbeitsplätze und Aufträge für die regionale Handwerkerschaft) und als regionale Lösung mit eigenem Gestaltungsspielraum. Diese Gesichtspunkte können auch für den Weiterbetrieb von MBA-Anlagen eine Rolle spielen und werden in der Abfallwirtschaftsplanung des Landes Niedersachsen respektiert.

Aus Sicht der Abfallwirtschaftsplanung ist darüber hinaus von Interesse, dass bei den Anlagen spätestens bei anstehenden Ersatzinvestitionen die Möglichkeiten zur Optimierung unter Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ins Auge gefasst und geprüft werden.

Die technologieoffene MBA-Konzeption bietet zumindest technisch die Möglichkeit der Weiterentwicklung mit Blick auf Klimaschutzbelange und die Anforderungen der stofflichen Kreislaufwirtschaft (Ausschleusung weiterer Stoffe zum Recycling).

Dabei bleibt abzuwarten, in welchem Umfang die Optimierungsmaßnahmen und -möglichkeiten von den Anlagenbetreibern unter den derzeitigen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bereits aufgegriffen und umgesetzt werden. Inwieweit diese Möglichkeiten jedenfalls zukünftig zum Tragen kommen, wird maßgeblich auch von der Entwicklung der umweltrechtlichen Rahmenbedingungen abhängen.

5. Zusammenfassung

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) ist in Niedersachsen ein von etlichen öffentlich-rechtlichen Entsorgerträgern (örE) genutzter Entsorgungsweg zur Restabfallbehandlung. Etwa 40 % des Restabfalls Niedersachsens werden in den insgesamt acht MBA-Anlagen, die in Niedersachsen derzeit betrieben werden, behandelt. Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung ist neben der thermischen Vollstrombehandlung durch Abfallverbrennung eine weitere gesetzeskonforme Möglichkeit, Restabfälle umweltverträglich zu behandeln. Mit der technologieoffenen Anlagenkonzeption bietet die mechanisch-biologische Abfallbehandlung die Möglichkeit, sich auf verändernde Rahmenbedingungen in Bezug auf die Ressourcennutzung auszurichten. Das Entwicklungspotenzial der MBA-Anlagen liegt neben der verstärkten Bereitstellung von Sekundärrohstoffen in der Transformation zu einer nachhaltigen und dekarbonisierenden Energieauskopplung.

6. Literatur

30. BImSchV: Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen vom 20. Februar 2001 (BGBl. I S. 305, 317), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1800).

Abfallablagerungsverordnung (AbfAbtV): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen vom 20. Februar 2001 (BGBl. I S. 305), aufgehoben zum 15.07.2009 durch Artikel 4 der Verordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900).

Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG): Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2728; 2022 I S. 2098), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Februar 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 70).

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

Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56).

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz: Abfallwirtschaftsplan Niedersachsens, Teilplan Siedlungsabfälle und nicht gefährliche Abfälle, 2019.

TA Siedlungsabfall (TASi): Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz - Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993, aufgehoben zum 15.07.2009 durch die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Aufhebung von Verwaltungsvorschriften zum Deponierecht vom 27. April 2009.

Umweltbundesamt (Hrsg.): Weiterentwicklung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) mit den Zielen der Optimierung der Ressourceneffizienz und Minimierung von Treibhausgasemissionen, Texte 156/2023 (UBA-Studie), November 2023.

Zweckverband Abfallwirtschaft Region Hannover (aha): Bio-Methan-Plasmalyse: Den Energiekreislauf schließen, <https://www.aha-region.de/aktion/wasserstoffantrieb-1/methan-plasmalyse-1-1>, Aufruf: 15.09.2025.

Flexible Konzepte zur Sickerwasseraufbereitung – Praktische Erfahrungen zur PFAS-Elimination

Matthias Berg¹

Inhalt

1. Einleitung	173
2. Sickerwasseraufbereitungsanlagen in Deutschland.....	174
3. Flexible, modulare Anlagenkonzepte für die Sickerwasserreinigung.....	176
4. Betriebsführungskonzepte	179
5. Vorteile der mobilen und modularen Aufbereitungsanlagen in der Sickerwasseraufbereitung	179
6. Praktische Erfahrungen zur PFAS-Elimination	180
7. Literatur.....	182

1. Einleitung

Die Entsorgung der Siedlungsabfälle in Deutschland wurde bis in das Jahr 2005 auf geordneten Abfalldeponien vorgenommen, wo die Abfälle auf einer abgedichteten Ablagerungsfläche deponiert wurden. Dort werden die bei der Ablagerung durch biologische Prozesse entstehenden Biogasmengen in Gasbrunnen gefasst, und soweit möglich einer Verwertung mittels Gasmotors zugeführt. Das anfallende Sickerwasser wird mittels speziell installierten Sickerwasserdrainageleitungen im Bodenbereich des Deponiekörpers gesammelt, und einer geeigneten Aufbereitung direkt vor Ort zugeführt, oder extern entsorgt.

Seit dem 01 Juni 2005 ist in Deutschland die Ablagerung von unbehandelten, organischen, biologisch abbaubaren Siedlungsabfälle (Restabfälle) mit einem Organikanteil von > 10% GV auf Deponien ohne vorherige Vorbehandlung nicht mehr zulässig. [1]

Damit hat sich der Betrieb der Deponien deutlich verändert, so dass dort lediglich noch weitestgehend mineralische Abfälle mit unterschiedlicher Einstufung (DK-0 bis DK-III) eingebaut werden können.

Die meisten Deponien für Siedlungsabfälle befinden sich derzeit in der Stilllegungsphase, und wurden mit einer temporären Oberflächenabdichtung, oder wenn möglich, auch schon mit einer Endabdeckung versehen, um eine weitere Sickerwasserneubildung oder auch Biogasemissionen zu minimieren.

Doch auch nach der genehmigten Stilllegung muss der Deponiebetreiber gemäß §§ 11+12 der Deponieverordnung [1] während der Nachsorgephase der Deponie alle erforderlichen Maßnahmen zur Kontrolle, Verminderung und Vermeidung von Emissionen, Immissionen, Belästigungen und Gefährdungen durchführen, und hat dafür Sorge zu tragen, diese zu minimieren.

Für die Deponienachsorge nach der Stilllegung wird für die Deponieklassen I- IV von einem Zeitraum von 30 Jahren ausgegangen. In dieser Zeit muss neben der Deponiegasverwertung auch weiterhin eine ordnungsgemäße Sickerwasserreinigung /-entsorgung durchgeführt werden. [§18 Deponieverordnung]

¹ Dipl.-Ing. FH Matthias Berg, OVIVE GmbH, Bierkellerstraße 3, 77694 Kehl. Tel: +49 170-5442075 - Email: mberg@ovive.de

Derzeit zeigt sich die Situation, dass sich sowohl die Gasproduktion, als auch die Mengen und Konzentrationen des Sickerwassers deutlich verändert haben, seit keine organikhaltigen Siedlungsabfälle mehr auf den Deponien abgelagert werden.

Die Sickerwassermengen, und oft auch die Sickerwasserkonzentrationen sind meist stark zurückgegangen, so dass die Sickerwasserreinigungsanlagen, die zum Zeitpunkt der Ablagerungsphase der Deponien, in den 1980 - 1990iger Jahren errichtet wurden, heute oft deutlich zu groß sind, und nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden können. Des Weiteren sind viele Anlagen seit mehr als 25-30 Jahren in Betrieb, und dadurch aufgrund der veralteten Aggregate störungsanfällig, was zu hohen Reparatur- und Wartungskosten und einem erhöhten Personalaufwand für die Störungsbehebung führt. Damit einher geht eine verminderte Anlagenverfügbarkeit und Betriebssicherheit für die Einhaltung der geforderten Ablaufgrenzwerte.

Unter der Berücksichtigung der noch recht langen Nachsorgephase vieler Deponien, sollte der Weiterbetrieb der bestehenden Sickerwasserreinigungsanlagen unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten geprüft werden, um eine Entscheidung für die zukünftige Sickerwasseraufbereitung für jede einzelne Deponie treffen zu können.

Diese Entscheidung benötigt eine detaillierte Bestandaufnahme und Beurteilung der bestehenden Sickerwasserreinigungsanlagen unter Berücksichtigung folgender Aspekte.

- Erstellung einer Sickerwasserprognose hinsichtlich der anfallenden Mengen und Konzentrationen.
- Zukünftige Planungen für die Deponie
 - Installation einer Endabdeckung
- Bewertung des bestehenden Sickerwasseraufbereitungsverfahrens
- Bewertung der bestehenden Anlagentechnik
- Bewertung des erforderlichen Betriebsaufwandes für die Sickerwasseraufbereitung

Bei der Entscheidungsfindung für die zukünftige Sickerwasseraufbereitung sollten zusätzlich folgende Aspekte überprüft werden.

- Welche bestehende Anlagenkomponenten sind noch für einen Weiterbetrieb geeignet, bzw. welche sollten demontiert und entsorgt werden.
- Inwieweit muss die Messtechnik und die Anlagensteuerung im Hinblick auf eine ausreichende Anlagensicherheit erneuert werden.
- Modernisierung der Aufbereitungstechnologien nach dem heutigen Stand der Technik und auf Basis der heutigen und zukünftig zu erwartenden Anforderungen an die Sickerwasseraufbereitung (z.B. PFAS)
- Unsicherheit über die Entwicklung der Sickerwassermengen und der Sickerwasserkonzentrationen während der Nachsorgephase.

Auf Basis dieser Bestandsbewertung sollte für jede Deponie ein Konzept hinsichtlich einer wirtschaftlichen Sickerwasseraufbereitung für die Nachsorgephase erstellt werden.

2. Sickerwasseraufbereitungsanlagen in Deutschland

Die Deponien in Deutschland sind mit verschiedensten Verfahrenstechniken für die Sickerwasseraufbereitung ausgestattet, wobei die nachfolgend aufgeführten Aufbereitungstechnologien zu den wichtigsten gehören, und oft auch in Kombination auf den Deponien installiert sind. [2]

1. Biologische Aufbereitung für die CSB- und Stickstoffelimination

2. Aktivkohle für die Entnahme von biologisch nicht abbaubaren organischen Verbindungen wie z.B. AOX und PFAS
3. Direkt-Umkehrosmose für die Separation von organischen und stickstoffhalten Verbindungen, sowie die AOX- und PFAS-Verbindungen aus dem Sickerwasser
4. Fällung / Flockung für die Abscheidung von organischen Verbindungen
5. Oxidation

Die am häufigsten installierte Verfahrenskombination für die Sickerwasserreinigung in Deutschland besteht aus der biologischen Aufbereitung mit nachfolgender Aktivkohlestufe, wobei sowohl konventionelle Biologien mit Absetzbecken als auch Membranbioreaktor-Anlagen mit einer Ultrafiltration für die Belebtschlammabtrennung in Betrieb sind. Mit der Biologie werden die organischen und stickstoffhaltigen Verbindungen weitestgehend abgebaut, und mit der nachgeschalteten Aktivkohlestufe werden die biologisch nicht abbaubaren Verbindungen und der AOX entnommen. Diese Verfahrenskombination wird zumeist als Indirekteinleiteranlage in eine kommunale Kläranlage eingesetzt.

Für die Indirekteinleitung in eine kommunale Kläranlage ist jedoch nicht immer eine Stickstoffelimination für die Sickerwasservorbehandlung erforderlich, so dass nur die CSB- und AOX-Konzentrationen im Sickerwasser reduziert werden müssen. In diesem Fall kann das Sickerwasser lediglich mittels einer Aktivkohlestufe aufbereitet werden.

Eine weitere oftmals eingesetzte Aufbereitungstechnologie stellt die Umkehrosmoseanlage dar, die direkt mit Sickerwasser aus den Speicherbecken beschickt wird. Mit diesem Verfahren können neben den organischen und stickstoffhaltigen Verbindungen auch Salze und niedermolekulare Verbindungen zu einem sehr hohen Anteil aus dem Sickerwasser separiert werden. Je nach Anlagenauslegung erhält man einen gereinigten Anlagenablauf, der direkt in einen Vorfluter eingeleitet werden kann. Die im Sickerwasser enthaltenen Schadstoffe, werden in einem Konzentratstrom stark aufkonzentriert, der jedoch meist kostenintensiv extern entsorgt werden muss.

Des Weiteren wird an mehreren Sickerwasserreinigungsanlagen auch das Verfahren der chemischen Fällung / Flockung eingesetzt, um organische Verbindungen aus dem Sickerwasser zu entnehmen. Diese Aufbereitungstechnologie wird oft in Kombination mit einer vorgeschalteten biologischen Aufbereitungsstufe eingesetzt, so dass nur noch die biologisch nicht abbaubaren Verbindungen herausgefällt werden müssen.

Neben diesen beschriebenen Verfahren werden in Deutschland noch weitere Aufbereitungstechnologien eingesetzt, wie zum Beispiel die chemische Oxidation, wobei deren Anzahl vergleichsweise gering ausfällt.

Die meisten festinstallierten Sickerwasseranlagen beruhen noch auf der ursprünglichen Auslegung, welche von der Ablagerungsphase der Deponien herrührt. Da sich die Sickerwassermengen und -konzentrationen in den letzten Jahren jedoch sehr stark verringert haben, können diese oft nicht mehr bedarfsgerecht und wirtschaftlich betrieben werden.

Für die zukünftige Nachsorgephase können demzufolge die meisten Anlagen deutlich kleiner dimensioniert werden. Durch eine ausgereifte Anlagentechnik mit entsprechender Messtechnik und einer bedarfsorientierten Anlagensteuerung für den Energie- und Chemikalieneinsatz können damit auch deutlich wirtschaftlichere Betriebskosten erreicht werden.

Die Modernisierung oder gar der Neubau einer Sickerwasseraufbereitungsanlage erfordert zunächst immer eine nicht unbeträchtliche Investition, die jedoch immer unter der Unsicherheit der anfallenden Sickerwassermengen und -konzentrationen während der Nachsorgephase steht.

Hierbei gilt es immer zu beachten, dass die neue Sickerwasserreinigungsanlage auch wirtschaftlich betrieben werden kann, da die Betriebskosten über die Anlagenlaufzeit meist den deutlich höheren Kostenanteil ausmachen. Ziel muss es sein, die gesamten Aufbereitungskosten möglichst gering für den Deponiebetreiber zu halten.

Die Entscheidung über die zukünftige Sickerwasseraufbereitung sollte möglichst auch immer die Einhaltung von gegebenenfalls zukünftig geforderten Einleitgrenzwerten (PFAS), und die dafür erforderliche Anlagentechnik berücksichtigen.

Aus diesem Grund sind flexible Konzepte für die Anlagenerrichtung und den Anlagenbetrieb zu empfehlen.

3. Flexible, modulare Anlagenkonzepte für die Sickerwasserreinigung

Für die Sickerwasseraufbereitung stehen unter anderem folgende modulare und mobile Aufbereitungstechnologien zur Verfügung, die bedarfsorientiert unter Berücksichtigung möglichst niedriger Investitionskosten flexibel eingesetzt werden können.

3.1 Installation einer modularen biologischen Aufbereitungsstufe mit Ultrafiltration

Für die teilweise veralteten biologischen Sickerwasseraufbereitungsanlagen besteht die Möglichkeit, die Belebungsbecken durch mobile, modulare Bioreaktoren zu ersetzen, mit denen ein effizienterer biologischer Abbau der organischen und stickstoffhaltigen Verunreinigungen erzielt werden kann. Durch eine erhöhte Behältertiefe der Bioreaktoren in Verbindung mit einem optimierten Lufteintragssystem können hier merkliche Energieeinsparungen für die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen erreicht werden.

Durch den Einsatz von Ultrafiltrations-Containeranlagen erhält man einen feststofffreien Ablauf, und schafft damit sehr gute Bedingungen für die gegebenenfalls erforderlichen Nachbehandlungsstufen wie Aktivkohle, Nanofiltrations- und Umkehrosmoseanlagen oder auch Ionenaustauscher.

Mit diesen mobilen, biologischen Anlagen kann das ursprüngliche Aufbereitungsverfahren bestehend aus Biologie und Aktivkohle beibehalten werden, was sich oft bei der weiteren Betriebsgenehmigung als vorteilhaft erweist.



Abbildung 1: Mobile Bioreaktoranlage mit Ultrafiltrationscontainer und nachgeschalteter Aktivkohlestufe

Die mobilen biologischen Aufbereitungsanlagen werden mit standardisierten Bioreaktoren in verschiedenen Größen ausgeführt, und können so auf den jeweiligen Bedarf angepasst werden. Der Ultrafiltrationscontainer kann ebenso für verschiedene Durchsatzleistungen ausgerüstet werden, so dass auch für die Biomasseabtrennung eine hohe Flexibilität zur Verfügung steht.

Sollten sich die Sickerwassermengen im Laufe der Stilllegungs- oder Nachsorgephase der Deponie längerfristig ändern, besteht mit diesem Anlagenkonzept die Möglichkeit einzelne Behälter wegzunehmen, oder einen Ultrafiltrationscontainer mit geringerer Durchsatzleistung zu installieren. Dadurch können dann auch die Anlagenbereitstellungskosten für derartige Anlagen an den aktuellen Bedarf angepasst, und reduziert werden.

Dieses flexible Anlagenkonzept ermöglicht es, der Unsicherheit hinsichtlich der zukünftig anfallenden Sickerwassermengen und -konzentrationen zu begegnen, und die Sickerwasseraufbereitung langfristig sicherzustellen, ohne vorab hohe Investitionen tätigen zu müssen.

Derartige biologische Sickerwasseraufbereitungsanlagen sind bei der OVIVE GmbH auf Mietbasis in Verbindung mit einem Wartungs- und Betreuungsvertrag erhältlich.

Des Weiteren besteht auch die Möglichkeit die gesamte Sickerwasseraufbereitung inklusive Anlagen-gestellung und dem vollumfänglichen Anlagenbetrieb an die OVIVE GmbH zu beauftragen.

3.2 Mobile Aktivkohle-Anlagen

In der Sickerwasseraufbereitung werden Aktivkohleanlagen einmal als Nachbehandlungsstufe für die Entnahme von den biologisch nicht abbaubaren organischen Verbindungen wie AOX oder PFAS eingesetzt, oder, falls keine Stickstoffelimination gefordert ist, auch als Einzelanlagen mit der direkten Beschickung von Rohsickerwasser installiert.

Da die Aktivkohleanlagen einen vergleichsweise geringen Betriebsaufwand erfordern, und schnell zu installieren sind, können veraltete Sickerwasserbehandlungsstufen mit einer Fällung/Flockung auch sehr gut durch eine Aktivkohle-Stufe ersetzt werden. Mit der Aktivkohle können dann auch die immer mehr im Fokus stehenden PFAS-Verbindungen zum großen Teil aus dem Sickerwasser entnommen werden.

Die mobilen Aktivkohlebehälter werden im Freien aufgestellt, wobei die zugehörige Anlagentechnik in einem Container installiert wird. Für die Aufstellung ist hierfür lediglich die Errichtung einer geeigneten Betonplatte, sowie einer befestigten LKW-Zufahrt zur Anlage für den Aktivkohlewechsel erforderlich.

Je nach Sickerwasseranfall und -konzentrationen müssen mehrere Aktivkohlebehälter in Reihe installiert werden, um die geforderten Einleitgrenzwerte einhalten zu können. Sollten sich die Sickerwassermengen oder -konzentrationen ändern, besteht mit den mobilen Anlagen immer die Möglichkeit einen Aktivkohlebehälter wegzunehmen, und damit die Anlagenbereitstellungskosten zu reduzieren.



Abbildung 2: Mobile Aktivkohle-Behälter für den flexiblen Einsatz

3.3 Umkehrosmose

Mit der Direkt-Umkehrosmose können die organischen und stickstoffhaltigen Verbindungen, sowie die AOX- und PFAS-Verbindungen aus dem Sickerwasser entnommen werden. Das aufbereitete Sickerwasser kann je nach Anlagenausführung direkt in einen Vorfluter oder auch indirekt in eine kommunale Kläranlage abgeleitet werden.

Die Umkehrosmoseanlagen können mit verschiedenen Durchsatzleistungen sehr gut in mobilen Anlagencontainer installiert werden.

Sollten sich die Sickerwassermengen dauerhaft reduzieren, besteht auch hier die Möglichkeit die Containeranlagen durch eine angepasste, kleinere Anlagengröße auszutauschen, und so eine Kosteneinsparung für die Anlagenbereitstellung zu erreichen.



Abbildung 3: Umkehrosmose-Container mit verschiedenen Durchsatzleistungen

4. Betriebsführungskonzepte

Auf dem Hintergrund der teilweise geringen Verfügbarkeit an qualifiziertem Fachpersonal für den Betrieb der Sickerwasseraufbereitungsanlagen, kann durch die stark verbesserte Automatisierung mit bedarfsorientierten, bewährten Betriebsroutinen der Personaleinsatz deutlich reduziert werden. Somit können die Anlagen mit weniger Personal bzw. mit deutlich geringerem Arbeitsaufwand betrieben werden.

Ein mögliches Konzept für den Anlagenbetrieb der Sickerwasseraufbereitungsanlagen stellt auch die Einbeziehung bzw. Beauftragung von qualifizierten Fachfirmen wie der OVIVE GmbH dar, welche das Betriebspersonal vor Ort kompetent und praxisnah unterstützen können.

Des Weiteren kann die Betriebsführung der Sickerwassereinigungsanlage auch komplett an die OVIVE GmbH beauftragt werden, welche dann in voller Eigenverantwortung die Sickerwasseraufbereitung im Auftrag des Deponiebetreibers ausführt. Im Rahmen dieser Dienstleistung werden von OVIVE alle mit dem Anlagenbetrieb verbundenen Tätigkeiten fachkompetent und verantwortungsbewusst durchgeführt.

- f) Kontroll- und Überwachungstätigkeiten
- g) Durchführung der Analysen gemäß der Eigenkontrollverordnung
- h) Anlageninstandhaltung
- i) Reparatur und Wartung
- j) Bereitschaftsdienst
- k) Berichtswesen

Über die Beteiligung von OVIVE wird der Anlagenbetrieb langfristig sichergestellt, und es können immer die neuesten Erkenntnisse in der Sickerwasseraufbereitung an den einzelnen Aufbereitungsanlagen umgesetzt werden, um den Anlagenbetrieb so sicher und wirtschaftlich wie möglich zu gestalten.

5. Vorteile der mobilen und modularen Aufbereitungsanlagen in der Sickerwasseraufbereitung

Die mobilen und modularen Anlagenkonzepte in Verbindungen mit den verschiedenen Varianten für die Betriebsführung bieten folgende Möglichkeiten für eine kostenorientierte und betriebssichere Sickerwasseraufbereitung während der Nachsorgephase der Deponie.

- Kurzfristige Anpassung der Anlagentechnik bei Veränderung der Sickerwassermengen und -konzentrationen.
- Reduzierung der Anlagenkosten durch Verkleinerung, Wegnahme oder Austausch von Anlagenkomponenten wie Bioreaktoren, Aktivkohlebehälter oder Filtrations-Containeranlagen.
- Kurze Installationszeiten durch angepasste Standardanlagen in Containerbauweise
- Installation von zeitgerechter Anlagentechnik mit ausgereifter Automatisierung inklusive Fernüberwachung und Fernbedienung für den Anlagenbetrieb.
- Niedrige Investitionskosten, lediglich für die Infrastruktur wie Betonplatten und –fundamenten, sowie Strom- und Wasseranschluss.

- Nutzung von vorhandenen Anlagenkomponenten und Integration in das Anlagenkonzept möglich. (z.B. Sickerwasserspeicher, etc.)
- Geringere Reparatur- und Wartungseinsätze bei neuwertigen Anlagen.
- Kurze Stillstandzeiten mit erhöhter Anlagenverfügbarkeit und Anlagensicherheit.
- Ergänzung der Anlagentechnik bei veränderten oder neuen Anforderungen an die Sickerwasseraufbereitung möglich.
- Kostenanpassung für die Anlagengestellung bei sich ändernden Sickerwasserbedingungen während der Stilllegungs- und Nachsorgephase möglich.
- Anpassung der Einsatzzeiten für das Betriebspersonal auf die veränderte Anlagenkapazität möglich.
- Nutzung der Dienstleistungen von qualifizierten Fachfirmen für den Anlagenbetrieb (Betriebsunterstützung oder kompletter Anlagenbetrieb) sichern auch langfristig eine ordnungsgemäße Sickerwasseraufbereitung.

6. Praktische Erfahrungen zur PFAS-Elimination

Im Hinblick auf die zu erwartenden, neuen Anforderungen für die PFAS-Elimination in der Sickerwasseraufbereitung wurden von OVIVE mehrere Untersuchungen im Pilotmaßstab an Sickerwasseraufbereitungsanlagen durchgeführt.

Hierbei wurde insbesondere ein Augenmerk darauf gerichtet, wie die bestehende Verfahrenskombination aus biologischer Sickerwasseraufbereitung mit anschließender Aktivkohlebehandlung mit einem effizienten, zusätzlichen Aufbereitungsverfahren ergänzt werden kann, um weiterhin eine möglichst wirtschaftliche Sickerwasserbehandlung zu erreichen.

6.1 Zweistufige Aktivkohleanlage: AK1 -> CSB-orientiert + AK2 -> PFAS-orientiert

Die Pilotanlage wurde an einer Sickerwasseraufbereitungsanlage mit einer biologischen Vorbehandlung mittels Membranbioreaktoranlage mit einer Biomasseabtrennung mit einer Ultrafiltration installiert. Das Ultrafiltrationspermeat wurde dann zunächst der Aktivkohlstufe-1 (AK1) zugeführt, die mit einem Aktivkohletyp für die weitergehende CSB-Reduzierung auf ca. 300 mg CSB/l befüllt war. Anschließend wurde das Sickerwasser über eine zweite Aktivkohlestufe (AK2) behandelt, die mit einem speziell für die PFAS-Adsorption geeigneten Aktivkohlentyp befüllt war.

Während der Untersuchung hat sich gezeigt, dass in der Aktivkohlestufe AK1 nicht nur der CSB reduziert, sondern auch schon ein Teil der PFAS-Verbindungen aus dem Sickerwasser entnommen wurde. In der AK1 wurden vorwiegend die langkettigen PFAS-Verbindungen adsorbiert. In der zweiten Aktivkohlestufe AK2 fand eine weitergehende PFAS-Entnahme statt, in der auch teilweise kurzkettige Verbindungen adsorbiert wurden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Verbindungen PFBS und PFBA lediglich zu 83-99% an der Aktivkohle adsorbiert wurden. Die langkettigen PFAS-Verbindungen wurden bis unter die Nachweisgrenze von 20 ng/l entnommen.

Insgesamt wurden die 20 untersuchten PFAS-Parameter zu 99,2 % über die zweistufige Aktivkohleanlage aus dem Sickerwasser entnommen.

Ziel der Pilotuntersuchung war es, durch die zweistufige Aktivkohleanlage eine möglichst hohe Effektivität der jeweiligen Aktivkohlen zu erreichen, und damit die Betriebskosten für die Sickerwasseraufbereitung insgesamt zu reduzieren.

Tabelle 1: Analysedaten für den Prozess AK1 + AK2

Parameter	UF-Permeat	AK-1	AK-2	Reduktion
	ng/l	ng/l	ng/l	%
PFBS	6800	612	42	> 99,3%
PFBA	410	90	67	83,6%
PFPeS	55	< 20	< 20	> 67,0 %
PFPeA	1300	78	< 20	> 98,5 %
PFHxS	240	60	< 20	> 91,7 %
PFHxA	1900	722	< 20	> 98,9 %
PFHpS	< 20	< 20	< 20	-
PFHpA	480	58	< 20	> 95,8 %
PFOS	400	36	< 20	> 95,0 %
PFOA	1300	65	< 20	> 98,5 %
NAFP	95	< 20	< 20	> 79,0 %
NSFPS (NSFPS)	< 20	< 20	< 20	-
PFDS	< 20	< 20	< 20	-
PFDA	130	< 20	< 20	>85%
PFUnDA; PFUnA	< 20	< 20	< 20	-
PFUnDS	< 50	< 50	< 50	-
PFDoDA; PFDoA	< 20	< 20	< 20	-
PFDoDS	< 50	< 50	< 50	-
PFTTrDA; PFTTrA	< 20	< 20	< 20	-
PFTTrDS	< 50	< 50	< 50	-
Summe 20 PFAS	13110		109	99,2%

Die Untersuchung hat gezeigt, dass mit der Installation einer zweiten Aktivkohlestufe die PFAS-Konzentrationen im Sickerwasser deutlich gesenkt, und damit auch alle Schwellenwerte gemäß dem „Leitfaden zur PFAS-Bewertung“ des BMUKN eingehalten werden können. [3]

6.2 Kombination aus Aktivkohle + Ionenaustauscher

Diese Pilotuntersuchung wurde an der gleichen Sickerwasseraufbereitungsanlage durchgeführt, wobei hier der Ablauf aus der ersten Aktivkohlestufe (AK1), anschließend über eine Ionenaustauscheranlage behandelt wurde. Auch hier hat sich die Reduktion der CSB-Verbindungen durch die vorgeschaltete Aktivkohlestufe für den Betrieb des Ionenaustauschers als vorteilhaft erwiesen.

Durch das speziell für die PFAS-Adsorption geeignete Austauscherharz wurden auch kurzkettige PFAS-Verbindungen entnommen, die nach der Aktivkohlestufe AK1 noch höhere Konzentrationen aufgewiesen hatten.

Insgesamt wurden über diese Verfahrenskombination die 20 untersuchten PFAS-Verbindungen zu 99,5% im Sickerwasserablauf reduziert.

Tabelle 2: Analysedaten für den Prozess AK1 + Ionenaustauscher

Parameter	UF-Permeat	AK-1	IT	Reduktion
	ng/l	ng/l	ng/l	%
PFBS	6800	612	< 20	> 99,7%
PFBA	410	90	45	89,0%
PFPeS	55	< 20	< 20	> 67,0 %
PFPeA	1300	78	26	> 98,5 %
PFHxS	240	60	< 20	> 91,7 %
PFHxA	1900	722	< 20	> 98,9 %
PFHpS	< 20	< 20	< 20	-
PFHpA	480	58	< 20	> 95,8 %
PFOS	400	36	< 20	> 95,0 %
PFOA	1300	65	< 20	> 98,5 %
NAFP	95	< 20	< 20	> 79,0 %
NSFPS (NSFPS)	< 20	< 20	< 20	-
PFDS	< 20	< 20	< 20	-
PFDA	130	< 20	< 20	>85%
PFUnDA; PFUnA	< 20	< 20	< 20	-
PFUnDS	< 50	< 50	< 50	-
PFDoDA; PFDoA	< 20	< 20	< 20	-
PFDoDS	< 50	< 50	< 50	-
PFTTrDA; PFTTrA	< 20	< 20	< 20	-
PFTTrDS	< 50	< 50	< 50	-
Summe 20 PFAS	13110		71	99,5%

Derzeit werden noch weitere Untersuchungen und Bewertungen zu den ermittelten Betriebsdaten für die PFAS-Elimination im Sickerwasser vorgenommen, um ein wirtschaftliches Aufbereitungskonzept für die verschiedenen Standortbedingungen auf den Deponien anbieten zu können.

7. Literatur

- [1] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV)
- [2] LAGA – Länderabfrage 2023
- [3] Leitfaden zur PFAS-Bewertung (BMUKN)

Ein Verfahren ist nicht genug: Ertüchtigung einer Deponieaufstandsfläche im Karstgebiet

Dr. Bertram Schulze¹, Paul Zant², Dietmar Eckl³

Inhalt

1. Bauvorhaben	183
2. Überraschungen zu Baubeginn.....	185
3. Ertüchtigungskonzept.....	186
4. Hohlraumverfüllung	188
5. Tiefenverdichtung mittels Fallgewicht.....	190
6. Abschlussverdichtung mittels LANDPAC [®] -Walze	192
7. Beprobung der ertüchtigten Fläche	193
8. Zusammenfassung.....	194
9. Literatur	194

1. Bauvorhaben

Die Gießerei HEUNISCH GmbH benötigt für ihren Gießereistandort in Bad Windsheim Entsorgungsmöglichkeiten für die beim Herstellprozess der von HEUNISCH hergestellten Gussteile anfallenden Altsande und Schlacken. Die dafür in früherer Zeit verwendete Deponie „Am Weinberg“ in Bad Windsheim ist verfüllt und so muss das Deponiegut bis heute auf andere, weiter entfernte Deponien verbracht werden, was ca. 250.000 km Entsorgungsfahrten pro Jahr bedeutet.

Um die damit verbundenen Kosten und die Belastung für die Umwelt zu reduzieren und um Entsorgungssicherheit für die nächsten 25 bis 30 Jahre zu gewinnen, ist eine Erweiterung der bestehenden Deponie in zwei Bauabschnitten nach Süden/Südosten vorgesehen (Abbildung 1).

¹ Dr. Bertram Schulze, Kösliner Straße 86, 76139 Karlsruhe, schulze@spezialtiefbau-consult.de,
Tel: 0721 46 47 29 49

² Paul Zant, Franz Kassecker GmbH, Egerer Str. 36, 95652 Waldsassen, paul.zant@kassecker.de, Tel: 09632 501-180

³ Dietmar Eckl, Gießerei HEUNISCH GmbH, Hofmannstraße 25 a, 91438 Bad Windsheim,
dietmar.eckl@heunisch.eu, Tel.: 09841 408 - 3111

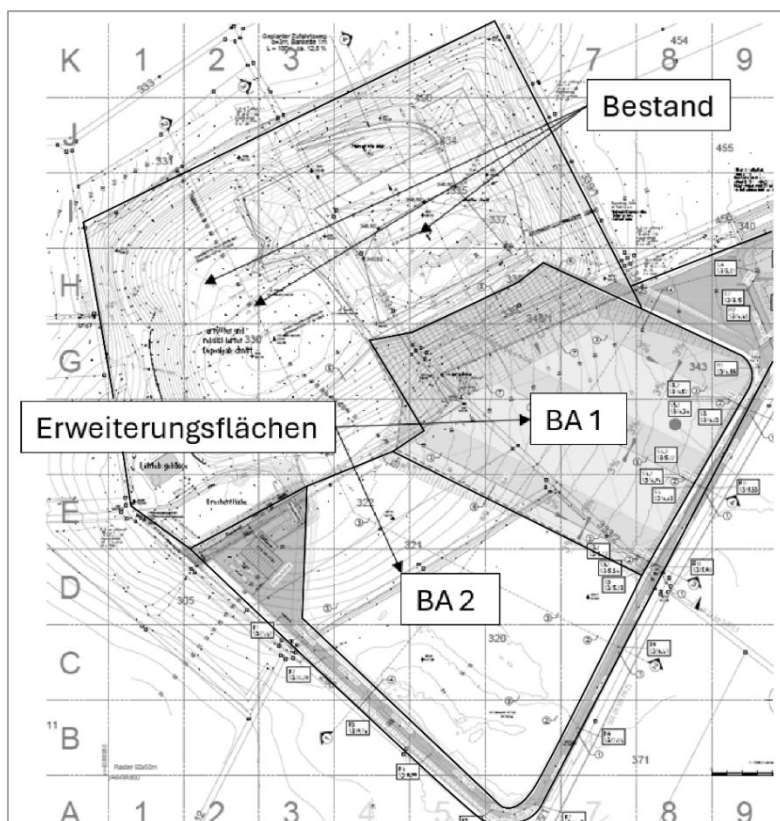


Abbildung 19: Lageplan mit Bestandsdeponie und Erweiterungsfläche (I1)

Die Deponiebasisfläche und die Böschungsbereiche zu angrenzenden Bestandsdeponie (in BA1 und BA2 insgesamt rund 32.000 m²) müssen gemäß Deponieverordnung mit einem Basisabdichtungssystem für eine DK0-Deponie abgedichtet werden. Die Funktion einer flächenhaft wirksamen geologischen Barriere wurde von der Genehmigungsbehörde (LRA Neustadt a.d.Aisch/ Bad Windsheim) wegen der verkarsteten und verkarstungsfähigen Gipsgesteine im Untergrund bereits frühzeitig in Frage gestellt, so dass zusätzliche technische Maßnahmen zur Ertüchtigung der Deponieaufstandsfläche (Ersatzbarriere) erforderlich waren.

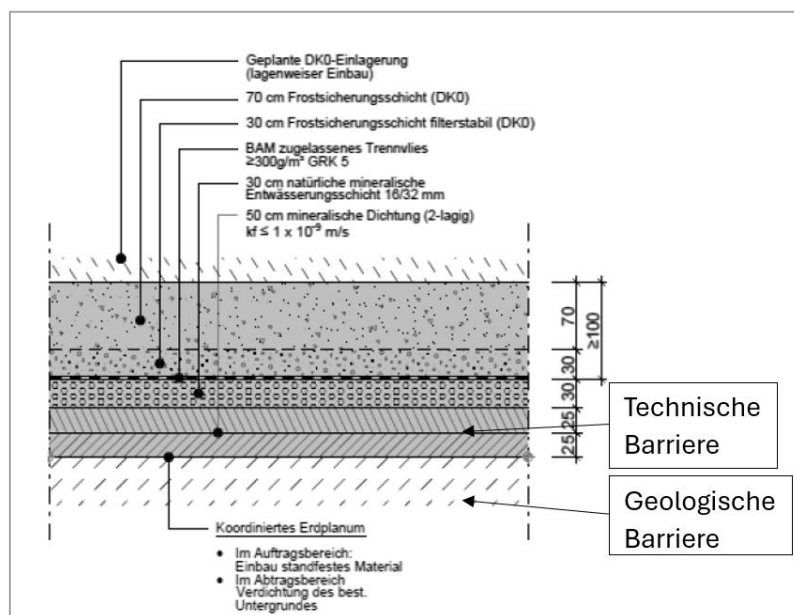


Abbildung 20: Systemaufbau der Basisabdichtung (I1)

An die geologische Barriere werden folgende Anforderungen gestellt:

- Ausreichend standfest
- Homogenes Setzungsverhalten
- Ausreichend mächtig
- Geringe Wasserdurchlässigkeit
- Hohes Schadstoffrückhaltevermögen

Für die Franz Kassecker GmbH war diese Aufgabe i.W. mit folgenden Leistungen verbunden:

- 56.000 m³ Erdbewegung
- 3.500 m³ Felsabbau
- 18.000 m³ Tondichtungsmaterial
- 32.000 m³ technische Ersatzbarriere
- 32.000 m³ Entwässerungsschicht
- 32.000 m³ filterstabile Schutzschicht
- 32.000 m³ Frostsicherungsschicht

2. Überraschungen zu Baubeginn

Bei den Abtragsarbeiten zum Vorbereiten der Deponieaufstandsfläche wurden zahlreiche Hohlräume/Erdfälle entdeckt. Art und Größe der Erdfälle reichten von aufgelockertem, felsigen Material bis hin zu großen Hohlräumen mit Tiefen von über 5 m und horizontalen Ausdehnungen bis zu 5 m (Abbildungen 3 und 4).

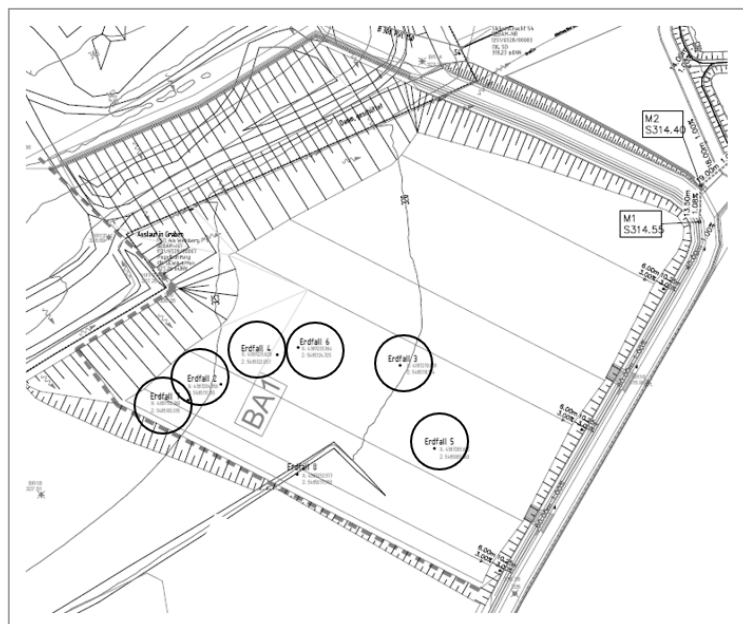


Abbildung 21: Lage der festgestellten/Sichtbaren Erdfälle im Bauabschnitt BA1 (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2024):



Abbildung 22: Erdfall Nr. 6 (exemplarisch), (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2024)

Um auch in dem Teil der Deponieaufstandsfläche, in dem keine Erdfälle sichtbar wurden, Informationen über möglicherweise vorhandene tiefer gelegene Hohlräume/Schwächezonen zu erhalten, wurden flächendeckend geophysikalische Messungen mit Reichweiten bis 6 m unter Gelände durchgeführt. Diese ergaben, dass über die gesamte Fläche mit Karsterscheinungen gerechnet werden muss, dass sich also die Ertüchtigung über die gesamte Fläche erstrecken muss.

3. Ertüchtungskonzept

Mit der Ertüchtigung mussten folgende Ziele erreicht werden:

- Herstellen ausreichender Arbeitssicherheit für Personal und Erdbaugeräte
- Herstellen homogener Verhältnisse (Tragfähigkeit, Verformbarkeit) im Erdplanum und dem oberflächennahen Untergrund
- Herstellen ausreichender Standsicherheit des Erdplanums für die spätere Belastung aus dem Deponiebetrieb
- Schaffung einer flächendeckend technischen und normativ ausreichenden geologischen Barriere
 - i. Wasserdurchlässigkeit ($k_f \leq 10^{-7}$ m/s)
 - ii. Dicke ≥ 1 m
 - iii. Schadstoffrückhaltevermögen $KAK_{eff} > 5$ cmol+/kg

Da der Untergrund außerhalb der sichtbaren und der möglicherweise verborgenen Hohlräume als gut genug eingeschätzt wurde, um die oben genannten Anforderungen zu erfüllen, lag es nahe, sich bei der Auswahl von Sanierungs-/Ertüchtigungsvarianten auf die Detektion und die Verfüllung der Hohlräume zu konzentrieren, z.B. durch Injektionsbohrungen. Mit den Ergebnissen der geophysikalischen Messungen wäre dazu aber ein dichtes Raster aus ausreichend tiefer Bohrungen über die gesamte Basisfläche außerhalb der Böschung erforderlich, was einen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand und ein sehr hohes Ausführungsrisiko im Hinblick auf die Massen an Verfüll-/Injektionsgut bedeuten würde.

In der Planungsphase zeigte sich, dass eine flächendeckende Tiefenverdichtung mit einem Fallgewicht zusammen mit weiteren Erdbau- und Verdichtungsmaßnahmen an der Geländeoberfläche bzw. dem Erdplanum die Anforderungen ebenfalls erfüllen könnte, dies aber viel schneller und mit wesentlich geringerem Kostenaufwand. Bei dieser Variante wurde allerdings ein schwer einzuschätzendes Risiko für die Standsicherheit der Böschung der Bestandsdeponie während der Tiefenverdichtungsarbeiten adressiert. Das letztlich abgestimmte Ertüchtungskonzept sah also eine Kombination aus Fallgewichts- Tiefenverdichtung im größten Teil der Fläche) mit Erschütterungsmessungen auf der Böschung und Injektionsarbeiten/Hohlraumverfüllungen in einer ca. 20 m breiten Pufferzone zwischen Bestandsböschung und mit Tiefenverdichtung bearbeiteter Fläche vor (Abbildung 5). Weitere Elemente der Ertüchtigung waren eine Abschlussverdichtung der gesamten Fläche (also Verdichtungs- und Injektionsbereich) mittels tiefenwirksamer LANDPAC®-Walze und flächendeckender Verdichtungskontrolle sowie eine rasterförmige Beprobung der ertüchtigten geologischen Barriere (technische Ersatzbarriere) durch Eigen- und Fremdüberwachung.

Auf alle 4 Elemente der Ertüchtigung wird nachfolgend eingegangen.

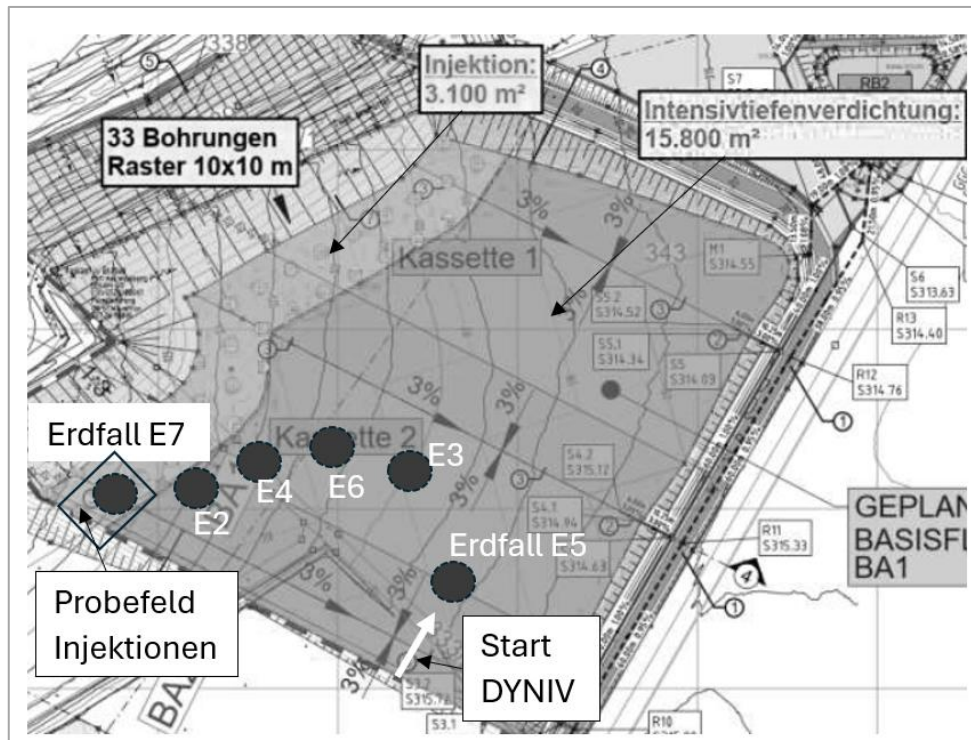


Abbildung 23: Ertüchtigungskonzept für die Deponiebasisfläche im Karst (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2024)

4. Hohlraumverfüllung

In einem Probefeld rund um den Erdfall E7 (siehe Abbildung 5) wurden über 12 Bohransatzpunkte, einer davon im ca. 5 m tiefen, vorab mit Dämmersuspension verfüllten Erdfall E7, Bohr- und Injektionsverfahren erprobt, die Bohrtiefen und das Verfüll-/Injektionsgut sowie die Dokumentation der Bohr- und Injektionsarbeiten optimiert. Wesentliche Erkenntnisse aus dem Probefeld und damit maßgebend für die Ausführung im "Regelbereich" waren:

- Vollkronenbohrung mit Luftspülung geeignet und sinnvoll
- Verfüllgut Dämmersuspension mit MIXXAN®620 B von Heidelberg Materials, w/z = 0,9:
 - i. Absetzmaß < 3%
 - ii. einaxiale Druckfestigkeit nach 28 Tagen: $q_u \geq 2,0 - 2,5 \text{ MPa}$
 - iii. Wasserdurchlässigkeit nach 28 Tagen $k_f < 5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$
 - iv. aus wasserhygienischer Sicht unbedenklich (Hygiene-Institut Gelsenkirchen)
- Kontraktorverfahren über ins Bohrloch eingestellte Verfüllrohre und Einsatz von Kolbenpumpen
 - i. Einpressrate 15 l/min bis 5 l/min
 - ii. Keine Mengenbegrenzung
 - iii. Stopp bei stabilem Suspensionsspiegel am Bohrlochmund
 - iv. Elektronische Erfassung aller relevanten Pumpdaten und Dokumentation
- Hohe Aufnahme in Bohrtiefen unter 6 m, d.h. Bohrtiefe muss nach geologischer Ansprache (fester Anhydrit) festgelegt werden, das bedeutete Bohrtiefen bis zu 14 m
- Ergebnisse der Bohrungen geben keinen zuverlässigen Hinweis auf Aufnahmefähigkeit des Untergrundes
- Bohrraster muss gegenüber dem Konzept (10 m x 10 m) verfeinert werden (Primärraster 10 m x 10 m, dann 5 m versetzt Sekundärraster 10 m x 10 m, siehe Abbildung 6)

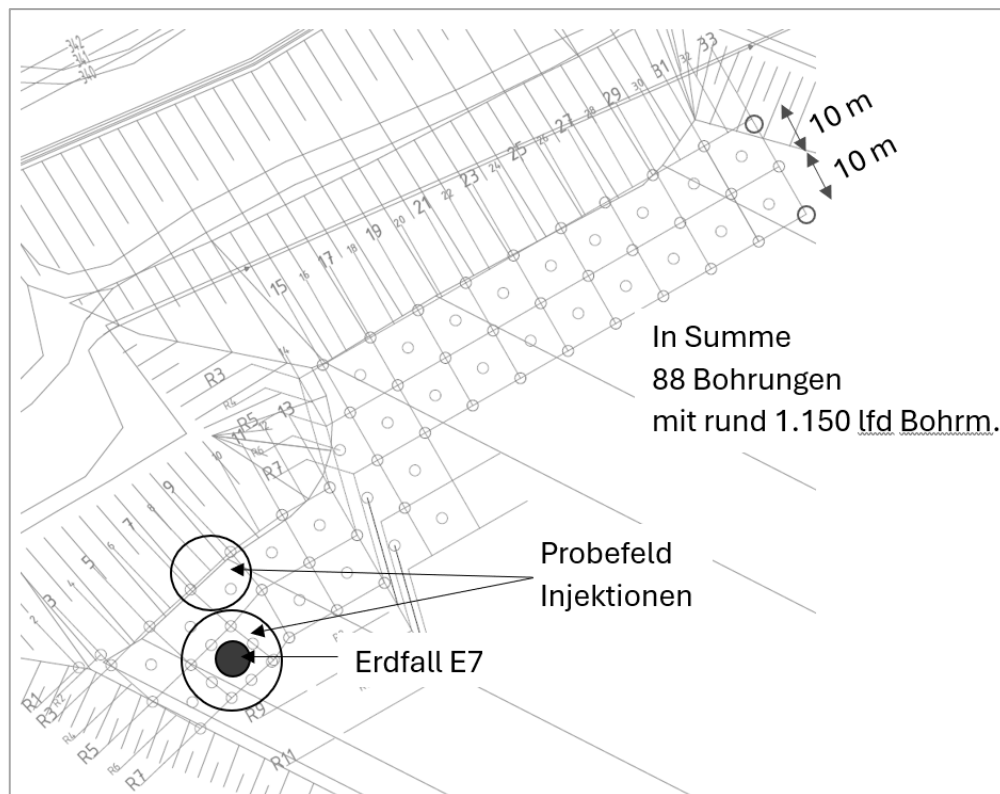


Abbildung 24: Bohr-/Injektionsraster Probefeld und Regelbereich ([2])

Wesentliche Ergebnisse der Injektionen/Verfüllarbeiten im Regelbereich waren:

- Verpressmengen sind unregelmäßig verteilt, keine "hot spots" der Verfüllgutaufnahme
- Wesentliche Daten zu den Verfüll-/Verpressmengen:
 - i. Minimalwert: 92 l (nur Bohrlochverfüllung, kompakter Fels)
 - ii. Maximalwert: 52.501 l (Erdfall E7 und darunter liegender Untergrund bis 14 m)
 - iii. Mittelwert: 17.456 l (2/3 der Bohrungen haben eine Aufnahme < 20.000 l)
 - iv. Gesamte Verfüll-/Verpressmenge: 1.500.000 l
- Verpress-/Verfülldrücke meist (< 3 bar). Anstieg erst zum Ende des Verfüllvorgangs
- Mittleres verfülltes Kluft-/Hohlraumvolumen beträgt rund 3%
- Injektion über die Bohrlochwandung, d.h. alle Hohlraumstrukturen im Einflussbereich der Bohrungen wurden verfüllt.
- Im Injektionsbereich (rund 3.100 m²) liegen über die gesamte Bohrtiefe (10 m – 14 m) keine offenen Strukturen mehr vor, die die Standsicherheit des Arbeitsplanums und die Standsicherheit der geplanten Deponie gefährden.

5. Tiefenverdichtung mittels Fallgewicht

Der weitaus größere Teil der Erweiterungsfläche wurde mittels hoher Fallenergie (Fallgewicht 30 t, Fallhöhe 20 m, Abmessungen des Fallgewichts 2 m · 2 m) tiefenverdichtet (Abbildungen 7 und 8).



Abbildung 25: Seilbagger mit Fallgewicht (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2024)



Abbildung 26: Schlagtrichter nach dem ersten Schlag (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2024)

In einem ersten Verdichtungsgang wurden in einem Raster von 7 m · 7 m 2 Schläge pro Punkt aufgebracht. Die Schlagtrichter wurden mit Material, das auch für die Basisabdichtung vorgesehen war, verfüllt und leicht verdichtet. In einem daran anschließenden zweiten Verdichtungsgang, sog. "Glättung", wurde das

Verdichtungsfeld in einem Raster von 3,5 m · 3,5 m mit 1 Schlag pro Punkt mit halbiertem Fallhöhe bearbeitet. Für jeden Schlag (2mal bei Erstverdichtung, 1mal bei Glättung) wurde die Eindringtiefe des Fallgewichts bestimmt und dokumentiert (Abbildung 9).

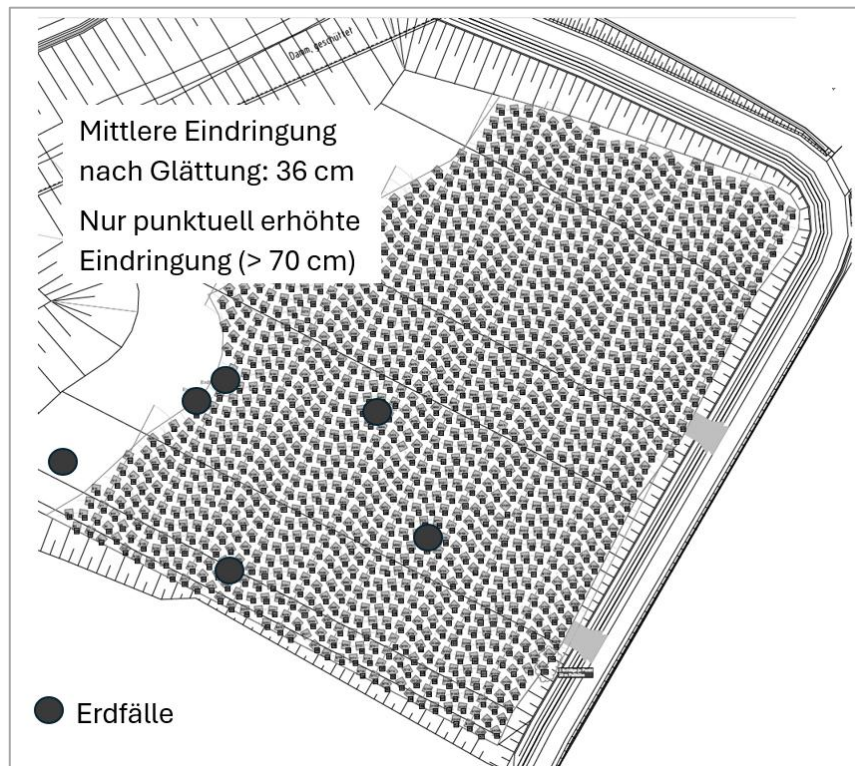


Abbildung 27: Schlagtrichtertiefen nach der Glättung (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2024)

Unerwartet war die relativ große Gleichmäßigkeit der Eindringung des Fallgewichts: Es gab kaum Unterschiede zwischen den (verfüllten) Erdfällen und dem Untergrund zwischen den sichtbaren Erdfällen. Nach dem Glättungsvorgang wurde eine sehr steile Verteilungskurve der Eindringtiefen um den Mittelwert von 36 cm ermittelt. Die Standardabweichung von diesem Wert war sehr gering. Das deutet bei dem konstanten impact auf eine sehr einheitliche Bodensteifigkeit hin. Somit ist auch zu erwarten, dass das Setzungsverhalten im Hinblick auf die Untergrundverhältnisse homogen ist. Die Setzungsmulde unter der Deponie hängt also "nur" von der Belastung durch den Deponiekörper ab und kann vorab gut prognostiziert werden. Die Belastungen für die Elemente der Basisabdichtung aus Verformungsdifferenzen können somit ebenfalls vorab gut prognostiziert werden.

Weitere wesentliche Ergebnisse der Tiefenverdichtung waren:

- Die Fläche wurde lückenlos und mehrfach mit Seilbagger inkl. Fallgewicht und – nach jeweiligem Verfüllen der Schlagtrichter – mit der Verdichtungswalze befahren. Risiken hinsichtlich der Arbeitssicherheit beim späteren Deponiebau bestehen nicht mehr.
- Durch die Lastausbreitung unter dem Fallgewicht ist zu erwarten, dass die Verdichtungsenergie bereits dicht unter der aktuellen Geländeoberfläche lückenlos auf die gesamte Fläche eingetragen wurde.
- Die Fläche wurde mit Erdbaugeräten vorprofiliert und für die Abschlussverdichtung vorbereitet.

- An der Böschung an mehreren Stellen zu verschiedenen Zeitpunkten durch die Eigenüberwachung der Fa. Kassecker durchgeführten Erschütterungsmessungen zeigten keinerlei Auffälligkeiten

6. Abschlussverdichtung mittels LANDPAC®-Walze

Nach Abschluss der Injektions-/Verfüllarbeiten und der Fallgewichtsverdichtung wurde die gesamte Fläche in insgesamt 16 Übergängen mit einer LANDPAC®-Walze verdichtet. Charakteristisch für die LANDPAC®-Walze ist die Walzenform (Abbildung 10) und die hohe Fahrgeschwindigkeit des Verdichtungsgerätes (bis zu 5mal höher als bei konventionellen Verdichtungsgeräten).



Abbildung 28: LANDPAC®-Walze, (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2025)

Durch die Walzenform kommt es zu stoßartigen Verdichtungsvorgängen mit lokal sehr hoher Energie und dementsprechend hoher Einwirkungstiefe. Gleichzeitig ist in der Walze ein GPS-unterstütztes Messsystem installiert, das flächendeckend die Bodenreaktion auf den Verdichtungs-impact (CIR®-Wert) und aufzeichnet (vergleichbar mit einem dynamischen Lastplattenversuch). Die Darstellung der Ergebnisse in farbcodierten Karten zeigt die Veränderung der Bodenreaktion nach jedem Übergang und hilft bei der Entscheidung darüber, ob und wo weitere Verdichtungsfahrten erforderlich sind, um das Verdichtungsziel (Homogenität, Tragfähigkeit) zu erreichen (Flächendeckende Verdichtungskontrolle).

Die wesentlichen Ergebnisse der Abschlussverdichtung waren:

- Die gesamte Fläche wurde lückenlos und in 16 Übergängen mit der Verdichtungswalze befahren. Risiken hinsichtlich der Arbeitssicherheit beim späteren Deponiebau bestehen nicht mehr.
- Der Untergrund (Verfüllte Hohlräume, verfüllte Verdichtungskrater und die Bereich zwischen den Behandlungen) wurde flächendeckend hochenergetisch verdichtet. Nach Firmenangaben ist eine Tiefenwirkung > 2 bis 4 m zu erwarten. Entsprechende Nachweise wurden allerdings nicht geführt.
- Nach den Ergebnissen der flächendeckenden Verdichtungskontrolle ist von einem über die gesamte Fläche sehr homogenen Steifigkeits- und damit Setzungsverhalten auszugehen. Der

Vergleich der Farbkarten zwischen dem 1. und dem letzten (16.) Übergang zeigt eine eindeutige Homogenisierung und Verbesserung des Untergrundes. Untergrundbedingte Standsicherheitsrisiken für die Belastung aus dem Deponiebetrieb liegen nicht mehr vor

7. Beprobung der ertüchtigten Fläche

Nach Fertigstellung der Abschlussverdichtung wurde die Fläche von der Eigenüberwachung der Fa. Kassecker und von der Fremdüberwachung (Dr.-Ing. Johann Spotka GmbH) beprobt.



Abbildung 11: In situ-Beprobung am 17.03.2025 (Quelle: Franz Kassecker GmbH, 2025)

Aus dem oberen Bereich der ertüchtigten geologischen Barriere wurden gemäß der Vorgaben der Fremdüberwachung in einem Raster von 1 Probe pro 2.000 m² Fläche (jeweils EÜ und FÜ) Ausstechzylinder entnommen und auf ihre Wasserdurchlässigkeit (DIN EN ISO 17892-11-2019-05) inkl. Dichte und Wassergehalt vor und nach dem Versuch, sowie durch die EÜ auf ihren Verdichtungsgrad untersucht.

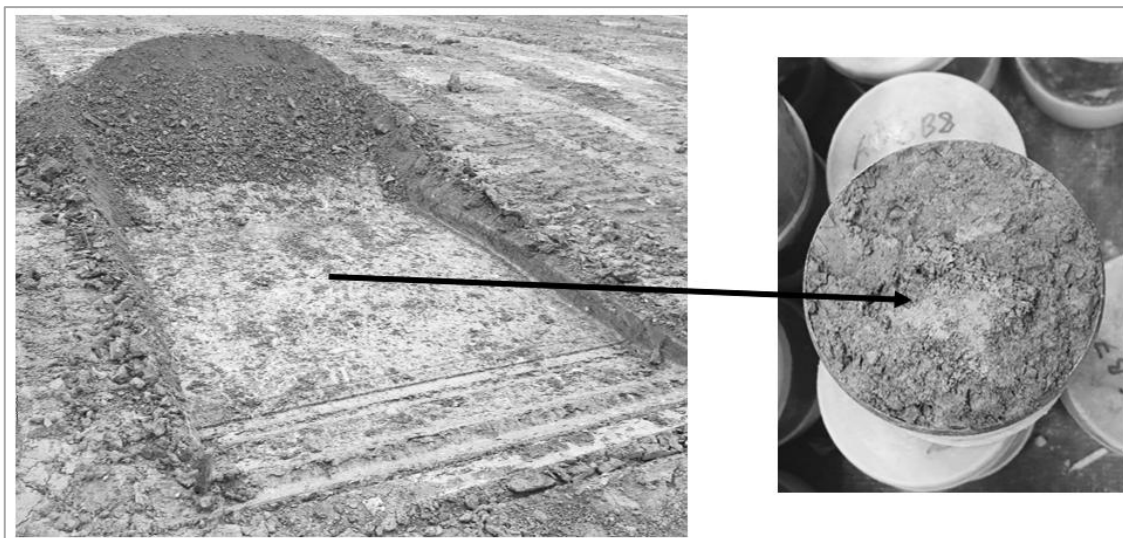


Abbildung 12: Schurf für die Probenahme aus dem oberen Teil der ertüchtigten geologischen Barriere (Bildquelle: Dr.-Ing. Johann Spotka GmbH, 2025)

Die von der Fremdüberwachung gestellten Anforderungen wurden – bei einer durch die Probenahme bedingt relativ großen Schwankung der Ergebnisse für die Durchlässigkeit – bei beiden Prüfinstituten erreicht.

8. Zusammenfassung

Bedingt durch die bekannten geologischen Verhältnisse mit verkarsteten und verkarstungsfähigen Gipsgesteinen und durch die Feststellungen bei der Vorbereitung der Deponieaufstandsfläche (mehrere Erdfälle in der Deponiebasis) wurden für die Erweiterung der DK0-Deponie "Am Weinberg" in Bad Windsheim Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich, um die normativen und die behördlichen Anforderungen an die geologische Barriere zu erfüllen. Nach der Ausführung der durch die Bestandsbebauung erforderlichen Kombination aus Hohlraumverfüllung und Tiefenverdichtung mittels Fallgewicht sowie einer hochenergetischen Abschlussverdichtung mit flächendeckender Verdichtungskontrolle konnte nachgewiesen werden, dass die Anforderungen an die geologische Barriere in der Aufstandsfläche erfüllt sind :

- Ausreichende Standfestigkeit
- Homogenes Setzungsverhalten
- Ausreichende Mächtigkeit
- Geringe Wasserdurchlässigkeit
- Hohes Schadstoffrückhaltevermögen (durch Verwendung der anstehenden Tonmaterialien)

Die Freigabe zum Weiterbau wurde zwischenzeitlich von der Genehmigungsbehörde erteilt.

9. Literatur

- [1] COPLAN AG (2023): Deponie "Am Weinberg-Süd" - Ausführungsplanung
- [2] Himmel und Papesch Bauunternehmung GmbH (2024): Deponie "Am Weinberg-Süd" –
Werkplanung Injektionsarbeiten

Innovative DK III-Oberflächenabdichtung mittels TRISOPLAST® am Standort SAD Hünxe-Schermbbeck

Vera Vorholz¹, Martin Sünnwoldt²

Inhalt

1. Über die Deponie	195
2. Über Trisoplast®	199
3. Ablauf auf der OFA-Baumaßnahme SAD Hünxe-Schermbbeck.....	201
4. Fazit.....	204
5. Literatur.....	205

1. Über die Deponie

Die Sonderabfalldeponie Hünxe-Schermbbeck (SAD HX) wurde mit Beschluss des Regierungspräsidenten Düsseldorf im Dezember 1980 planfestgestellt und gemäß dem Planfeststellungsbeschluss sowie zahlreichen nachfolgenden Genehmigungen von der AGR Abfallentsorgungsgesellschaft Ruhrgebiet mbH betrieben. Die SAD Hünxe-Schermbbeck befindet sich im Kreis Wesel, auf den Gebieten der Gemeinden Hünxe und Schermbbeck. Die Deponie hat eine planfestgestellte Fläche von etwa 35 Hektar. Bis zum Ende des Jahres 2018 wurden dort rund 4 Mio. m³ Abfall abgelagert.

Auf der SAD Hünxe-Schermbbeck bestehen verschiedene Ablagerungsbereiche für Abfälle, die den Anforderungen der Deponieverordnung (DepV) für die Klassen DK II und DK III entsprechen. Da die Ablagerungskapazitäten mittlerweile vollständig aufgebraucht sind, wurde seit 2020 mit den Maßnahmen zur Stilllegung der Deponie begonnen. Im Juli 2025 wurden die wesentlichen Arbeiten zur Errichtung der Oberflächenabdichtung abgeschlossen. Insgesamt sind 24 Hektar Ablagerungsfläche mit einer Oberflächenabdichtung versehen worden sein, diese teilen sich auf in ca. 7 Hektar DK II- und 17 Hektar DK III-Fläche.

Zusätzlich zu den Ablagerungsbereichen gibt es auf der Deponie verschiedene Nebeneinrichtungen, darunter ein Blockheizkraftwerk zur Nutzung des Deponiegases.

1.1 Ursprüngliche Oberflächenabdichtung

Für die Oberflächenabdichtung im DK III-Bereich war ursprünglich, noch vor in Kraft treten der Deponieverordnung, der folgende Aufbau geplant (von unten nach oben):

- 50 cm Trag- / Ausgleichsschicht (mit Eignung als Gasdränschicht), davon die oberen 10 cm als mineralische Schutzschicht für die Kunststoffdichtungsbahn, Körnung 0/3 bis 0/11 mm

¹ Vera Vorholz, G quadrat GmbH, Adolf-Dembach-Str. 4a, 47829 Krefeld, 02151 / 78883-39, vorholz@gquadrat.de

² Martin Sünnwoldt, G quadrat GmbH, Adolfs-Dembach-Str. 4a, 47829 Krefeld, 02151 / 78883-44, suennwoldt@gquadrat.de

-
- 1. Abdichtungskomponente: Kunststoffdichtungsbahn 2,5 mm, mit BAM-Zulassung, Oberflächenstruktur gemäß Standsicherheitsnachweis
 - 2. Abdichtungskomponente: Kapillarsperre, Kontrollsystem, Funktion zusätzlich als Entwässerungsschicht, bestehend aus:
 - 20 cm Kapillarkblock, z. B. Feinkies 2/8 mm, oder Kapillarkblockbahn
 - ggf. filterstabiles geotextiles Trennvlies (150 g/m²), Einbau abhängig von der Filterstabilität der Materialien der Kapillarsperre
 - 30 cm Kapillarschicht, z. B. Sand 0/2 mm
 - geotextiles Trennvlies, filterstabil (150 g/m²)
 - Rekultivierungsschicht mit einer Mächtigkeit in Abhängigkeit der Rekultivierungsziele Grünland und Waldflächen
 - 135 cm Rekultivierungsschicht für Wiesenflächen, Richtung Deponiefuß auslaufend, Mindeststärke im Bereich der Oberflächenabdichtung 1,00 m
 - 250 cm Rekultivierungsschicht für Waldflächen

1.2 Neue Oberflächenabdichtung nach Stand der Technik

Die ursprüngliche Planung für die Oberflächenabdichtung der gesamten Ablagerungsfläche sah eine Kapillarsperre in Kombination mit einer darunterliegenden Kunststoffdichtungsbahn (KDB) vor. Aufgrund veränderter Rahmenbedingungen wurde dieses System jedoch verworfen. Dies geschah zum einen, weil mit dem Inkrafttreten der Deponieverordnung im Jahr 2009 und den damit verbundenen Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards sowie den Eignungsbeurteilungen der LAGA-Ad-hoc AG „Deponietechnik“ nun auch alternative Dichtungskomponenten für DK II und DK III verfügbar wurden. Zum anderen war es wirtschaftlich und zeitlich nicht mehr realisierbar, die Komponenten für die Kapillarsperre in so hohen Mengen zu beschaffen. Die Anpassungen der OFA-Systeme wurden daher beantragt und in den entsprechenden Plangenehmigungen positiv beschieden.

Gemäß den Anforderungen der DepV [1] muss eine Oberflächenabdichtung für eine DK III-Deponie aus nachfolgenden Systemkomponenten bestehen:

- ggf. Trag- und Ausgleichsschicht
- ggf. Gasdränschicht
- erste Abdichtungskomponente
- zweite Abdichtungskomponente
- Dichtungskontrollsystem
- Entwässerungsschicht
- Rekultivierungsschicht / technische Funktionsschicht

1.2.1 Variante 1: Ton, KDB und DKS

In der Regel wird für die erste Dichtungskomponente mineralisches Tonmaterial verwendet, welches zweilagig und in einer Mindeststärke von insgesamt 50 cm eingebaut wird. Für die 2. Dichtungskomponente kommt oftmals eine 2,5 mm starke Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit BAM-Zulassung zum Einsatz. Das ebenfalls notwendige Dichtungskontrollsystem (DKS) muss auch über eine BAM-Zulassung verfügen, der Einbau erfolgt gemäß Herstellerangaben. Im Fall einer Tondichtung muss dieses DKS in die Tonlage integriert werden.

Die folgende Abbildung stellt diesen Aufbau dar.

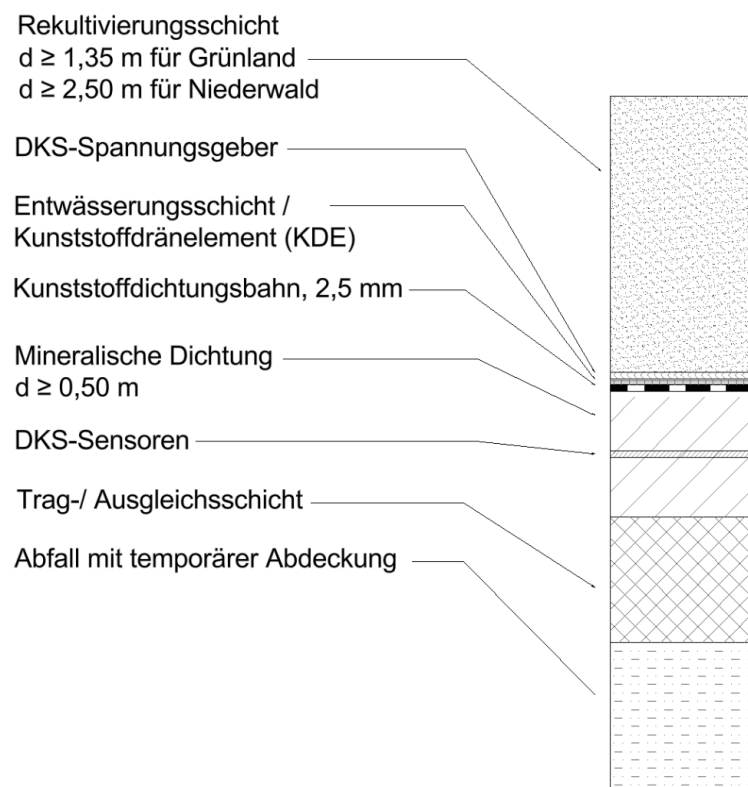


Abbildung 29: DK III-Oberflächenabdichtung mit Ton als 1. Dichtungskomponente, "Variante 1", Quelle: AGR mbH

Für die mineralische Dichtung gilt unter anderem ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s, der von der 50 cm starken Dichtung eingehalten werden muss.

1.2.2 Variante 2: Trisoplast®, KDB und DKS

Die Deponieverordnung lässt zu, dass statt der üblichen Abdichtung mit Ton auch alternative Dichtungssysteme eingesetzt werden können, sofern ihre Gleichwertigkeit nachgewiesen und anerkannt wurde. Das LANUV-Arbeitsblatt 13 „Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme“ [2], bietet zur Entscheidungsfindung einen guten Überblick über die verschiedenen Systemkomponenten. Für den DK III-Bereich stehen jedoch im Gegensatz zu DK II-Abdichtungskomponenten nur sehr wenige Alternativen zur Verfügung. Eine dieser wenigen Möglichkeiten besteht im Einsatz von Trisoplast®.

Der deutliche Unterschied zur mineralischen Dichtung ist hierbei, dass die 50 cm starke Ton-Dichtung, bestehend aus zwei Lagen, durch eine wesentlich dünnere Lage von nur 8 cm Trisoplast® ersetzt werden

kann, welche genau wie die Ton-Dichtung einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s einhalten muss.

Im Folgenden wird der Aufbau mit Trisoplast® dargestellt:

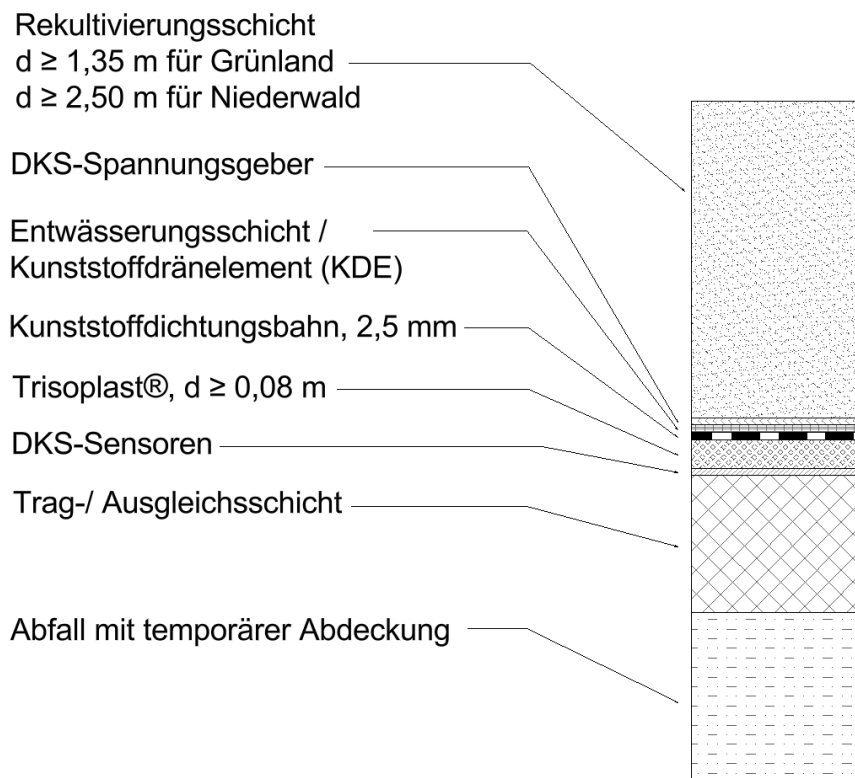


Abbildung 30: DK III-Oberflächenabdichtung mit Trisoplast® als 1. Dichtungskomponente,

"Variante 2", Quelle: AGR mbH

Eine Besonderheit ist, dass das Dichtungskontrollsystem nicht in der ersten Abdichtungskomponente, sondern bereits vorab in der darunterliegenden Trag- und Ausgleichsschicht verlegt werden kann. Das bedeutet, dass die Abdichtungskomponente intakt bleibt und keine punktuellen bzw. linearen Schwächungen durch Sensoren und Kabel erfährt.

Ein weiterer Vorteil durch ein 42 cm dünneres Oberflächenabdichtungssystem ist, dass dieses Volumen als dringend notwendiger Deponieraum z.B. für Deponieersatzbaustoffe verwendet werden kann.

1.2.3 Gewähltes Oberflächenabdichtungssystem

Nach ingenieurtechnischer Bewertung sowie einer betriebswirtschaftlichen Vergleichsbetrachtung wurde die Variante 2 mit Trisoplast® als Dichtungskomponente gewählt.

Ein wichtiger Aspekt waren hierbei die 42 cm Deponieraum, welche aufgrund des schlankeren Systemaufbaus hinzugewonnen wurden und für Deponieersatzbaustoffe genutzt werden konnten.

Die Gegenüberstellung in Abbildung 3 verdeutlicht diese 42 cm hinzugewonnenen Deponieraum.

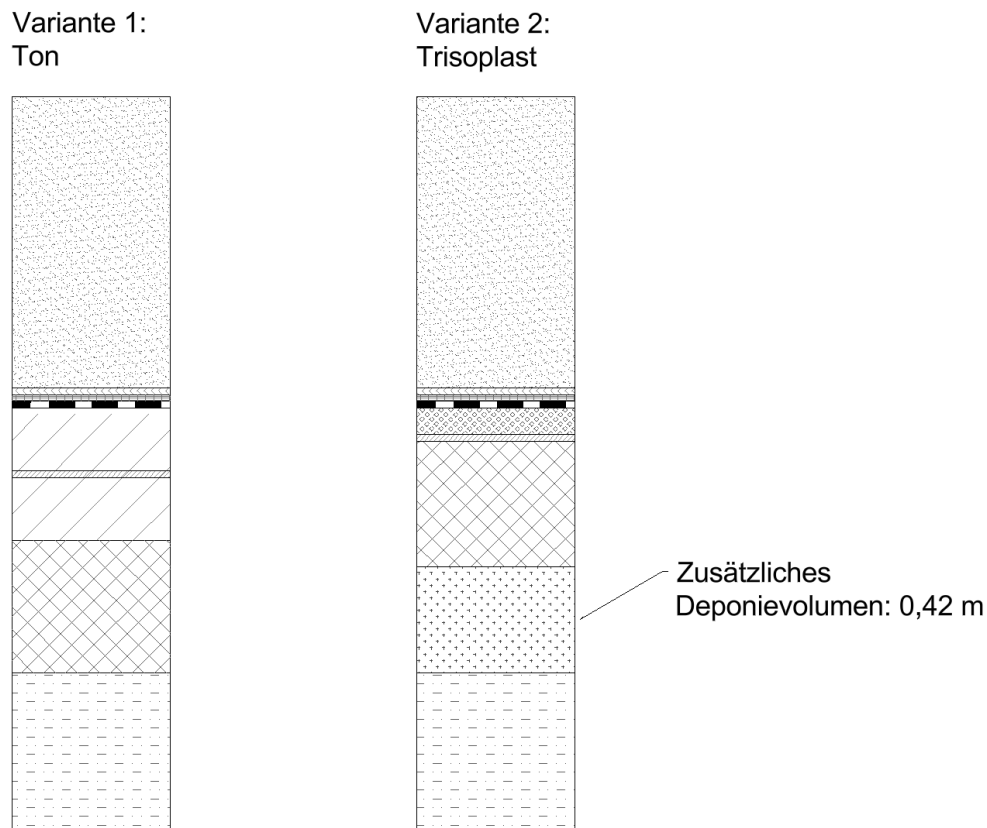


Abbildung 31: Gegenüberstellung der zwei OFA-Systeme mit Darstellung des zusätzlichen Deponievolumens bei Variante 2, Quelle: G quadrat GmbH

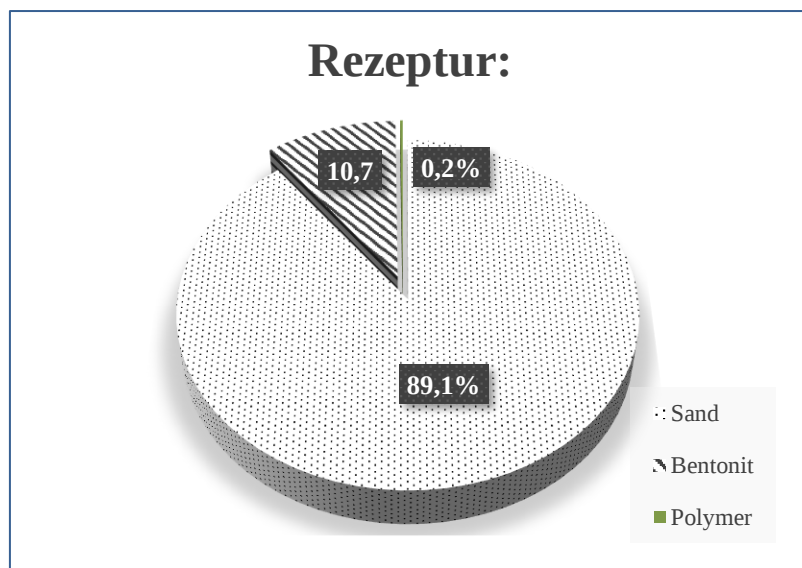
2. Über Trisoplast®

2.1 Bestandteile und Herstellung

Trisoplast® ist ein innovatives Abdichtungsmaterial aus den Niederlanden, das sich durch seine spezielle Zusammensetzung aus Sand, Bentonit-Polymer-Gemisch und Wasser auszeichnet.

Sand bildet mit über 89,1 % den Hauptbestandteil des Produktes, hinzu kommen mindestens 10,7 % Bentonit, auf das Polymer entfallen lediglich ca. 0,2 % Mengenanteil in der Zusammensetzung. Der Sand bildet das tragende Korngerüst, während das Bentonit-Polymer-Gemisch dieses Korngerüst umschließt und für die Dichtwirkung in den Porenräumen des Sandes sorgt.

Die Herstellung kann in klassischen Betonmischwerken oder in mobilen Mischanlagen stattfinden. Das Material wird hierbei batchweise in einem Zwangsmischer vermengt und in eine homogene Menge mit der Konsistenz von lockerer Erde verwandelt.



Neben dem generellen, projektunabhängigen Eignungsnachweis, auf dem die LAGA-Eignungsbeurteilung basiert, wird das Material für Deponiebaumaßnahmen ebenfalls projektbezogen geprüft, siehe LAGA-Eignungsbeurteilung Trisoplast®, Teil I, Kapitel 4 [3]. Das Material wird während der Herstellung durch die Eigenüberwachung überwacht. Es werden regelmäßige Proben der Einzelkomponenten und des fertigen Mischgutes entnommen und untersucht. Daraus resultiert der jeweilige Konformitätsnachweis für die Baumaßnahme.



Abbildung 32: Detailaufnahme von lockerem Trisoplast®, Quelle: G quadrat GmbH

In einer Schichtstärke von nur ≥ 8 cm erreicht Trisoplast® bereits eine Durchlässigkeit von $k \leq 3 \times 10^{-11}$ m/s, was es zu einem besonders effizienten Abdichtungsmaterial macht.

2.2 Anwendungsbeispiele

Als Dichtungsmaterial hat Trisoplast® vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.

Unter anderem findet es Anwendung in Teichen und Bachläufen. Es dient in beiden Fällen dazu, ein Versickern in den Untergrund zu verhindern. Es kann sich um organisch geformte Gestaltungsmaßnahmen im Garten- und Landschaftsbau oder auch um eine Abgrenzung zu darunterliegenden Altlasten handeln. Im Wasserbau besitzt Trisoplast® hierzu außerdem eine Zulassung der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) für den Einsatz als Abdichtungselement im Verkehrswasserbau. Es wurde unter anderem bereits erfolgreich in der Sohle eines Schifffahrtskanals verwendet.

Weitere Anwendungsfälle sind die Abdichtung von Gebäuden und die Einkapselung von Regen-, Trink- oder Abwasserkanälen, z.B. in sensiblen Bereichen wie Wasserschutzzonen.

Ebenfalls kommt das Material in Tanklagern in den Tank-Auffangräumen zum Einsatz. Das Material hat in diesen Fällen den Vorteil, dass es sich auch sehr kleinräumig verarbeiten und verdichten lässt und außerdem auch komplexe Geometrien und Durchdringungen umhüllen kann und dabei mit kleinem Handwerkzeug ausreichend verdichtet werden kann.

Trisoplast® bietet als verlässliches Dichtungsmaterial den Schutz gegen Feuchtigkeit an Gebäuden und dichtet im Falle von Leckagen große Auffangräume sowie undichte Kanäle von der Umwelt ab. Diese vielseitige Einsetzbarkeit macht es zu einem attraktiven Material in verschiedenen Bereichen der Umwelt- und Infrastrukturtechnik.

Hauptanwendungsbereich des Materials ist der Deponiebau, wo es als Dichtmaterial für Deponieabdichtungen eingesetzt wird. In diesem Bereich ersetzt eine nur 8 cm starke Schicht Trisoplast® eine bis zu 50 cm starke Tonschicht. Trisoplast® erreicht mit dieser geringen Schichtstärke die geforderten Durchlässigkeitsbeiwerte von $k \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s gemäß DepV bzw. Permeationsraten von $q \leq 8 \times 10^{-10}$ m³/m²s gemäß BQS 5-0 für DK III.

Diese hohe Dichtwirkung und weitere positive Eigenschaften werden durch die LAGA-Eignungsbeurteilung bestätigt, die Trisoplast® für den Einsatz in Deponiesystemen qualifiziert.

3. Ablauf auf der OFA-Baumaßnahme SAD Hünxe-Schermbeck

3.1 Trisoplast® Herstellung und Anlieferung

Trisoplast® wurde bei der Baumaßnahme SAD Hünxe-Schermbeck extern in einem lokalen Betonmischwerk gemischt. Es gab hierbei definierte Mischtage, an denen das Produkt gemischt und zur Baustelle transportiert wurde. Sofern möglich, wurden diese Lieferungen direkt ins Baufeld gebracht. Alle weiteren Lieferungen kamen auf ein Zwischenlager.

Im Vergleich zu einer just-in-time Lieferung, wie sie bei Ton möglich ist, bedeutet eine Lagerung auf dem Zwischenlager zusätzlichen internen Transportverkehr, gleichzeitig kann die Arbeit mit dem Produkt Trisoplast® losgelöst von eventuellen Lieferverzögerungen bei einer just-in-time-Anlieferung kontinuierlich weitergeführt werden, da immer ausreichend Material direkt vor Ort auf Lager ist. Bei längerer Lagerung empfiehlt es sich, das Material mit einer Plane zu bedecken, um es vor Austrocknung bzw. Vernässung zu schützen.

Wenn eine Lagerung der mineralischen Abdichtung auf dem Zwischenlager nötig ist, z.B. weil die interne Anlieferung direkt ins Baufeld mit den LKW nicht möglich ist, besteht der Vorteil darin, dass die

Trisoplast®-Dichtung deutlich weniger Materialbewegung und somit auch deutlich weniger internen Quertransport bedeutet als die Ton-Dichtung.

Sofern eine interne Andienung vom Zwischenlager gewählt werden muss, besteht immer die Gefahr, dass diese interne Andienung sich als Engpass des Bautempos erweist. Bei einer größeren benötigten Materialmenge kann diese Andienung die Bauleistung des gesamten auf der mineralischen Dichtung anstehenden Systems deutlich verlangsamen.

3.2 Einbaupersonal und -geräte

Der Einbau von Trisoplast® kann grundsätzlich durch jede qualifizierte Person oder Firma erfolgen. Eine Einweisung erfolgt bei Bedarf durch G quadrat auf der Baustelle. Es gibt Einbautechniken, die sich bereits bewährt haben und auf der SAD Hünxe-Schermbbeck zum Einsatz gekommen sind. Diese werden hier näher erläutert.

An die Herstellung des Planums werden die gleichen Anforderungen wie bei der Verwendung von Ton als Dichtungsmaterial gestellt.

Da die Trisoplast®-Dichtung nur in einer sehr geringen Schichtstärke aufgetragen werden muss, werden zumeist, wie auf der SAD Hünxe-Schermbbeck, Einbaulehren aus Kunststoffrohren oder Metallschienen auf das Planum gelegt und das Material in einem ersten Schritt mit einem Langarmbagger zwischen den Einbaulehren eingebracht und lose verteilt. Anschließend kann man mit einer Abziehschiene die Dichtung auf diesen seitlichen Schienen im noch unverdichteten Zustand auf ca. 12 cm abziehen um durch den anschließenden Verdichtungsvorgang die geforderten 8 cm Schichtstärke zu erreichen. Die Einbaulehren werden anschließend weiter gezogen zum nächsten Abschnitt, in die verbliebene Fuge wird händisch mit einer Schaufel Material eingefüllt.



Abbildung 33: Einbau von Trisoplast® mit Abziehlehre, Quelle: STRABAG Umwelttechnik GmbH

Im nächsten Schritt wird das Material mit einer speziellen und leichten Glattmantelwalze mit nur zwei statischen Überfahrten verdichtet. Gleichzeitig wird dadurch ein perfektes Planum für die darüber liegende Kunststoffdichtungsbahn (KDB) hergestellt.



Abbildung 34: Abwalzen der Trisoplast®-Dichtung mit einer leichten Glattmantelwalze, Quelle: G quadrat GmbH

Vergleicht man diese Bauweise mit der Herstellung einer herkömmlichen Ton-Dichtung, zeigen sich hier viele Vorzüge der Trisoplast®-Dichtung. Das Tonmaterial wird üblicherweise mittels Raupe lagenweise eingeschoben und im Anschluss mit einer schweren Schafffußwalze mit Vibration verdichtet. Nachdem dieser Vorgang für beide Lagen fertig gestellt wurde, wird anschließend mit einer Glattmantelwalze noch die Oberfläche geglättet, um das Planum für die KDB herzustellen.

Auch die Installation des DKS erfolgt effizienter, wenn man es in der Trag- und Ausgleichschicht integriert. Da die Trag- und Ausgleichschicht über lange Zeiten offen liegen kann, können große Flächen vorbereitet werden. Somit können in einem Installationseinsatz größere Flächen DKS verlegt werden. Der anschließende Trisoplast®-Einbau erfolgt losgelöst vom DKS-Einbau, während beim Einsatz von Ton die DKS-Sensoren und -Stränge innerhalb des Tons verlegt werden müssen. Das DKS kann also nicht witterungsunabhängig eingebaut werden, sondern ist auf den witterungsabhängigen Baufortschritt des Tones angewiesen.

Ton ist hierbei sowohl in Bezug auf trockene, warme Witterung, als auch bei feuchter Witterung empfindlich. Zu trockener Ton kann nur mit deutlicher Wasserzugabe und anschließendem ausführlichen einarbeiten wieder einbaufertig aufbereitet werden. Zu nasser Ton muss offen und großflächig ausgebreitet werden, um abzutrocknen. Zu trockener Ton lässt sich außerdem nicht ausreichend verdichten, bei zu nassem Ton kommen Verdichtungsgeräte besonders in Böschungen zudem schnell an ihre Grenzen.

3.3 Einbauleistung

Auf der SAD Hünxe-Schermbeck war zu beachten, dass es in Teilen steile Böschungen von 1:2,5 gibt, gleichzeitig gibt es auch sehr lange Böschungen von bis zu 160 m. In beiden Fällen nimmt die

Einbauleistung beim Ton bei steileren und längeren und ganz besonders bei langen steilen Böschungen schneller ab und wird aufwändiger als bei Trisoplast®.

Eine mineralische Dichtung aus Ton muss zudem in zwei Lagen eingebaut werden. Anschließend muss noch die Oberfläche geglättet werden. Bei Trisoplast® hingegen kann, wie bereits oben erwähnt, Einbau und Verdichtung und dementsprechend auch das Überbauen mit KDB vergleichsweise sehr schnell nacheinander erfolgen. Im Vergleich zu dieser Bauweise ist die Tondichtung über einen deutlich längeren Zeitraum möglichen schädlichen Witterungseinflüssen wie Austrocknung durch Sonne und Wind sowie Vernässung durch Niederschläge ausgesetzt. Die Gefahr, dass Nacharbeiten erforderlich werden, ist bei einer Tondichtung also deutlich größer. Die Ausfalltage, an denen mineralische Dichtung nicht oder nicht wirtschaftlich gebaut werden kann, sind bei einer Tondichtung zahlreicher. Die Saison ist für den Einbau von Trisoplast® daher auch länger als für den Einbau von Ton.

Eine realistische Tagesleistung beim Ton-Einbau liegt in Anbetracht der möglichen Unwägbarkeiten bei etwa 600-800 m², wobei zusätzlich ein witterungsbedingt kürzeres Bauzeitenfenster als bei Trisoplast® besteht. In langen heißen Sommern muss der Ton gegebenenfalls gewässert werden, in regnerischen Zeiten muss spätestens aufgrund der Probleme beim Verdichten in steileren Bereichen der Einbau eingestellt werden.

Durch die in Kap. 3.2. beschriebene Einbauweise von Trisoplast® konnten auf der SAD Hünxe-Schermbbeck arbeitstäglich ca. 1.000 m² - 1.200 m² mineralische Abdichtung hergestellt werden. Die Abdichtung von insgesamt 170.000 m² konnte somit in einer Bauzeit von nur 4 Jahren fertiggestellt werden.

Es lässt sich daher bei Einsatz von vergleichbaren Ressourcen an Personal und Gerät in einer Saison bei der Verwendung von Trisoplast® eine größere Fläche schneller abdichten.

4. Fazit

Auf der SAD Hünxe-Schermbbeck, einer Deponie der Deponieklasse III, wurde als Alternative zu Ton mit Trisoplast® als mineralischer Abdichtungskomponente abgedichtet.

Nach Abschluss der Baumaßnahme kann man rückblickend festhalten, dass die Wahl dieses Produktes die erwarteten wirtschaftlichen wie bauzeitlichen Vorteile erbracht hat.

Hierbei half unter anderen die Witterungsabhängigkeit des Materials, welche deutlich geringer ist als bei Ton, da es weniger empfindlich auf trockene oder feuchte Witterung reagiert und damit weniger wetterbedingte Baupausen erforderlich sind. Dies führt zu einer deutlich verlängerten Bauperiode und einer schnelleren Fertigstellung der Deponieflächen.

Die geringere Schichtstärke von nur 8 cm im Vergleich zu 50 cm bei einer klassischen Abdichtung hat zudem den Vorteil, dass mehr Raum für die Trag- und Ausgleichsschicht bleibt, was die Möglichkeit eröffnet, zusätzliche Deponieersatzbaustoffe einzubauen, was in Zeiten von Deponieraumverknappung einen wertvollen Beitrag zum Umweltschutz leisten kann.

Darüber hinaus ermöglicht die ortsnahe Herstellung von Trisoplast® eine Unabhängigkeit von Tonlagerstätten, was den Transportaufwand erheblich reduziert. Dies wiederum führt zu einer weiteren Einsparung von CO₂-Emissionen und reduziert das Verkehrsaufkommen sowie die Lärmbelastung durch den Anlieferverkehr.

Ein weiterer Vorteil des Trisoplast®-Systems liegt in der Integration der Sensoren und Leitungsstränge für das Dichtungskontrollsystem direkt in der Trag- und Ausgleichsschicht. Dies stellt sicher, dass die erste Dichtungskomponente intakt und ungestört bleibt und nicht durch die Sensoren und Kabel geschwächt wird.

Zudem bleibt die Qualität des Trisoplast®-Gemisches konstant, da es nach streng überwachten und kontrollierten Produktionsprozessen hergestellt wird. Eventuelle Aufbereitung von zu trockenem oder zu nassem Material werden weitestgehend verhindert. Es kann mit einem gleichbleibenden Material und gleichbleibender Qualität gearbeitet werden.

Diese vielfältigen Vorteile machen Trisoplast® zu einer nachhaltigen und effizienten Wahl für moderne Deponieoberflächenabdichtungen. Trisoplast® bietet nicht nur eine kostengünstigere Alternative zu traditionellen Ton-Dichtungen, sondern kann durch eine schnellere Bauweise und weniger Witterungsabhängigkeit einen klaren Vorteil in der Praxis bieten.

5. Literatur

- [1] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV), Stand 03.07.2024
- [2] LANUV-Arbeitsblatt 13 „Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme“, 3. aktualisierte Neuauflage 2015
- [3] Eignungsbeurteilung von Trisoplast® zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächensystemen von Deponien; LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ Stand 14.07.2023

Rekultivierung der Sonderabfalldeponie Gera-Aga mit innovativer Bentonitmatte als mineralische Komponente in der Oberflächenabdichtung

Christian Niehues¹

Inhalt

1. Vorhaben	206
2. Anforderungen an die mineralische Komponente der ODF einer DK III	208
3. Eignungsbeurteilung im Einzelfall	210
4. Auswahl bewerteter Kriterien	211
5. Erkenntnisse aus dem Probefeldbau	212
6. Zusammenfassung und Ausblick	213
7. Literatur	214

1. Vorhaben

Die Sonderabfalldeponie in Gera-Aga liegt am Rande des Ortsteils Seligenstädt. Diese Deponie wurde zu Zeiten der DDR zwischen 1975 und 1989 im sogenannten „Altteil“ mit damals typischen Sonderabfällen verfüllt (AWV, 2023). Die Basisabdichtung entsprach zu jener Zeit nicht dem heutigen Stand der Technik. Erst nach der Wiedervereinigung wurde der Aufwertung der technischen Barrieren höhere Priorität eingeräumt und 1990/91 zunächst eine provisorische Zwischenabdichtung aufgebracht. Parallel dazu wurde ein „Neuteil“ nach heutigem Stand der Technik errichtet, welcher seit 1993/94 als Deponie der Klasse III betrieben wurde.

Seit 2017 findet dort keine Ablagerung mehr statt. Mit dem Eigentümerwechsel an den Abfallwirtschaftszweckverband Ostthüringen (AWV) wurde 2021 die Sanierung und Rekultivierung der Gesamtdeponie eingeleitet. Zentrales Element der Sanierungsstrategie ist die Herstellung einer dauerhaft wirksamen Oberflächendichtung. Bereits durch die nach dem Eigentümerwechsel vollzogene vorläufige Abdeckung mit Ton konnte das Eindringen von Niederschlagswasser in den Deponiekörper deutlich reduziert werden. Seit April 2023 laufen die Hauptbauarbeiten für die Endprofilierung und vollständige Abdichtung, die bis 2026 abgeschlossen sein soll. Danach schließt sich eine langfristige Nachsorgephase an, in der Pflege und Überwachung der Deponie erfolgen.

Für Deponien der Klasse III – die höchste Klasse für oberirdische Deponien – legt die deutsche Deponieverordnung (DepV, 2009) strenge Anforderungen an den Aufbau der Oberflächenabdichtung fest. Nach § 13 DepV sind u. a. folgende Komponenten vorzusehen:

- Rekultivierungsschicht: mind. 1,0 m mächtig, als mechanischer Schutz der Dichtungskomponenten, zur Pufferung von Niederschlägen und zur Sicherung einer standortgerechten Vegetation.

¹ Dipl.-Ing. Christian Niehues, Naue GmbH & Co. KG, Gewerbestraße 2, 32339 Espelkamp, Tel.: 05743 / 41 – 549, cniehues@naue.com

- Dränschicht: mit einer Durchlässigkeit $k \geq 1 \times 10^{-3}$ m/s, Dicke 0,30 m um Niederschlagswasser zuverlässig abzuleiten.
- Die DepV (2009) fordert eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) nach Zulassungsrichtlinie der BAM (2024) mit zugelassenem Dichtungskontrollsystem und eine 0,5 m dicke mineralische Abdichtungskomponente mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s oder einem vergleichbarer mineralischen Abdichtungssystem nach BQS 5-1 (LAGA, 2020)
- Gasdränschicht (sofern erforderlich): zur kontrollierten Ableitung von Deponiegasen.

Die Abdichtung ist gemäß DepV (2009) so zu planen und auszuführen, dass sie über den Zeitraum der Nachsorge hinaus die geforderte Barrierewirkung aufrechterhält und den aktuellen Stand der Technik berücksichtigt.



Abbildung 1: Luftaufnahme der Sonderabfalldeponie Gera-Aga mit Altteil (A) und Neuteil (N)

Eine Oberflächendichtung für die Sonderabfalldeponie Gera-Aga leistet einen wesentlichen Beitrag zum Schutz der angrenzenden Böden und des Grundwassers vor Schadstoffeinträgen. Durch die Minimierung des Sickerwasseranfalls wird zugleich der Aufwand hinsichtlich der Sickerwasseraufbereitung / -Entsorgung reduziert. Damit erfüllt das Vorhaben zentrale umweltrechtliche Vorgaben und ist ein wichtiger Schritt hin zu einer langfristig sicheren und ökologisch verträglichen Nachsorge.

Eine wichtige Motivation für die Bemühung einer Eignungsbeurteilung im Einzelfall war die Zielsetzung, die zusätzliche Reduktion des Sickerwasseranfalls schnellstmöglich zu bewirken. Eine Beschaffung von qualifiziertem Ton für die Dichtung wäre mit hohem zeitlichem Aufwand für die Qualitätsprüfung, für den

Einbau und für die bautechnische Überwachung verbunden gewesen. Eine Lösung analog zu in Deponien der Klassen DK I / II erprobten Kombinationsdichtungssystemen mit KDB und geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) wurde im Rahmen der Planung durch die S.I.G. - DR. ING. Steffen Ingenieurgesellschaft mbH Thüringen mittels einer speziell entwickelten GTD angestrebt, welche für die erhöhten Anforderungen an mineralische Dichtungskomponenten in Deponien der DK III konzipiert wurde. An diesem Produkt wurden bereits im Rahmen eines Verfahrens zur allgemeinen Eignungsbeurteilung Prüfungen vollzogen.

Für den standortspezifisch angepassten Aufbau des Oberflächendichtungssystems wurde beim Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz um eine Eignungsbeurteilung im Einzelfall ersucht.

Der korrespondierende Aufbau des Dichtungssystems ergab sich nach den zur Verfügung gestellten Planunterlagen entsprechend dem in Abbildung 2 dargestellten Querschnitt.

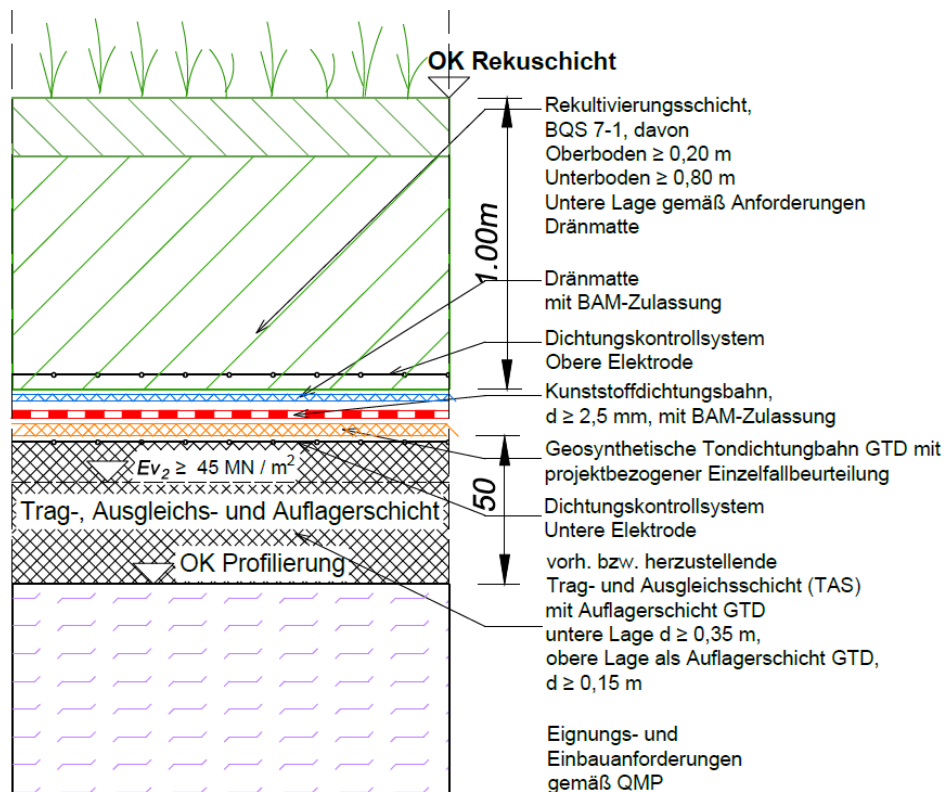


Abbildung 2: Querschnitt des Dichtungssystems mit GTD mit Eignungsbeurteilung im Einzelfall

2. Anforderungen an die mineralische Komponente der ODF einer DK III

2.1 Anforderungen des BQS 5-1

Der Bundeseinheitliche Qualitätsstandard 5-1 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“ (LAGA, 2020) der LAGA-Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ überführt die Anforderungen der Deponieverordnung (DepV, 2009) für mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten in konkrete, parametrische Kriterien an die mineralischen Baustoffe. LAGA (2020) definiert die Eignungsprüfungen, Materialqualitäten, bautechnischen Vorgaben und das

Qualitätsmanagement, die für Deponien aller Klassen – insbesondere Deponieklasse III – maßgeblich sind. Zentrale Anforderungen sind dabei u.a.:

- $k \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s bei einem hydraulischen Gradienten $i = 30$ nach DIN (2019a)
- Dicke der min. Dichtung $d \geq 0,5$ m, zweilagiger Einbau (Einzellagen ca. 0,25 m)
- Innere Scherfestigkeit: Nachweis abhängig von Auflast (bis 60 kN/m²), Temperatur (0–30 °C) und entsprechendem Einbauwassergehalt
- Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 95$ % pro Lage; Wassergehalt im Bereich des optimalen Proctorwertes; bei Unterschreitung w_{pr} Luftporenanteil ≤ 5 Vol-% (≤ 3 Vol-% angestrebt)

2.2 Analoge Anforderungen des BQS 5-5

Der BQS 5-5 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen“ (LAGA, 2025) übernimmt viele Grundforderungen aus BQS 5-1, ergänzt sie aber um produktspezifische Prüf- und Nachweisverfahren für GTD. Übergreifend gelten dabei beispielsweise die Anforderungen an:

- Hydraulische Dichtigkeit: Gleichwertiger Nachweis der Dichtwirkung wie mineralische Abdichtungen, Permeationsrate / Permittivität ist limitiert auf das Maß an zulässiger Permittivität des BQS 5-1
- Mechanische Widerstandsfähigkeit: Nachweise zu innerer Scherfestigkeit, Verformungs- und Standsicherheit, auch bei Setzungen und Temperaturschwankungen
- Langzeitbeständigkeit: Erfüllung der Funktion über Jahrzehnte, inkl. Nachweis gegenüber chemischen und biologischen Einflüssen sowie Deponiegasen
- Qualitätsmanagement: Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung bei Herstellung und Einbau

2.3 GTD-spezifische Anforderungen des BQS 5-5

BQS 5-5 ergänzt die übergreifenden DepV- und BQS 5-0/5-1-Vorgaben um eine Vielzahl ganz spezifischer Nachweise für geosynthetische Tondichtungsbahnen, darunter:

- Nachweis zur Permittivität: Einführung des Parameters Permittivität (ψ) als Kenngröße für die Dichtwirkung; Berechnung mit Anpassungsfaktoren A1 (Material- und Einbaustreuung) und A2 (Kationenaustausch)
- Kationenaustauschtests: Umfangreiche Laborprüfungen mit Calciumchlorid-Lösungen zur Beurteilung der Dichtwirkung bei Ionenaustausch, inkl. Prognosemethoden und Grenzwerten für Natrium-Restbelegung
- Langzeitscherversuche: Nachweis des Scherkriechverhaltens der geotextilen Verbundfasern bei 80 °C und definierter Belastung (Arrhenius-Auswertung)

- Alterungs- und Auslaugungstests: Prüfung der geotextilen Komponenten auf Oxidationsbeständigkeit und Auslaugung (DIN 2019b; DIN 2004)
- Spezielle Schutzmaßnahmen: Vorgaben für Schutz gegen Austrocknung, Wurzeldurchdringung und Witterungseinflüsse, z. B. obligatorische Sandschicht und Mindestmächtigkeit der Rekultivierungsschicht bei Aufbau ohne KDB

Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) werden nach den Vorgaben des BQS 5-5 bereits seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich in Oberflächenabdichtungen von Deponien der Deponieklassen I und II (DK I & DK II) eingesetzt. Für diese Klassen erfüllen GTD nachweislich die dort geforderten Grenzwerte für die hydraulische Durchlässigkeit und gelten als etablierte, bewährte Abdichtungskomponente.

Mit Blick auf Deponien der Klasse III (DK III) stellen sich jedoch neue Herausforderungen: Die DepV (2009) verlangt für mineralische Dichtungen in dieser höchsten Deponieklasse eine um etwa eine Zehnerpotenz strengere maximale Wasserdurchlässigkeit ($k \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s gegenüber $k \leq 5 \times 10^{-9}$ m/s in DK II).

Diese deutlich verschärften Dichtigkeitsanforderungen führen dazu, dass spezielle Typen von GTD für Oberflächendichtungen von Deponien DK III konzipiert und auf ihre Eignung getestet werden mussten, da sich durch die höheren Dichtigkeitsanforderungen nicht allein größere erforderliche Bentonitflächengewichte ergeben. Vielmehr bedingen sich auch Wechselwirkungen, z. B. bezüglich der inneren Scherfestigkeit und der Versuchslaufzeiten für Permeationsversuche. Als prinzipieller Aufbau des konzipierten Produktes wurden die Komponenten gemäß Abbildung 3 verwendet.

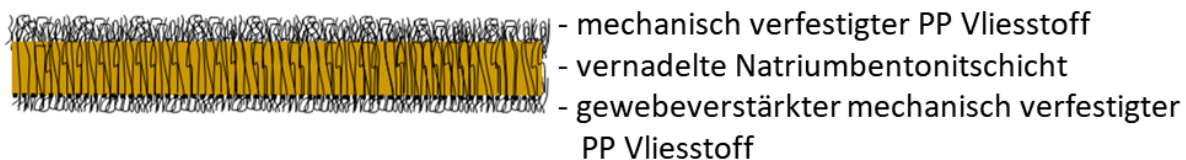


Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau der GTD Bentofix B 13000

Zum Zeitpunkt der Genehmigung der Oberflächendichtung für die Sonderabfalldeponie Gera-Aga entschlossen sich die beteiligten Parteien, mit den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Ergebnissen des laufenden Verfahrens zur Eignungsbeurteilung einer Bentofix B 13000 und unter Berücksichtigung der Randbedingungen auf der Sonderabfalldeponie Gera-Aga, bei der zuständigen Behörde um eine Eignungsbeurteilung im Einzelfall zu ersuchen.

3. Eignungsbeurteilung im Einzelfall

3.1 Mittel der Eignungsbeurteilung im Einzelfall

Das Mittel der Eignungsbeurteilung im Einzelfall ist ein gesetzlich verankerter Ausnahme- und Flexibilisierungsmechanismus innerhalb der DepV (2009). Es ermöglicht der zuständigen Behörde, im Rahmen des Planfeststellungs- oder Genehmigungsverfahrens abweichende Abdichtungskomponenten oder -aufbauten zuzulassen, wenn der Antragsteller nachweist, dass diese im konkreten Fall gleichwertig oder höherwertig sind als die in der Verordnung geforderten Standardlösungen.

Kernpunkte:

- Abweichung von Standardaufbauten: Zum Beispiel kann anstelle einer mineralischen Dichtungsschicht mit vorgeschriebener Mächtigkeit und Durchlässigkeit eine geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD) oder eine Kombination aus verschiedenen Dichtungselementen eingesetzt werden, wenn deren Barrierewirkung den Anforderungen entspricht.
- Nachweis der Gleichwertigkeit: Der Betreiber muss durch Gutachten, Labor- und Feldversuche oder langfristige Eignungsnachweise belegen, dass die vorgeschlagene Komponente die Schutzwirkung (z. B. maximale hydraulische Durchlässigkeit, chemische Beständigkeit, Dauerhaftigkeit) mindestens ebenso gut erfüllt wie die Regelanforderung.
- Behördliche Entscheidung im Einzelfall: Die Genehmigungsbehörde prüft diese Nachweise und erteilt eine Eignungsbeurteilung im Einzelfall nur, wenn die Anforderungen an den Schutz von Boden und Grundwasser sowie an die Langzeitbeständigkeit uneingeschränkt gewährleistet bleiben.

3.2 Ziel und Funktion

Die Eignungsbeurteilung im Einzelfall dient dazu, technologische Innovationen (z. B. innovative geosynthetische Abdichtungssysteme) und standortspezifische Lösungen zu ermöglichen, ohne den hohen Schutzzweck der DepV (2009) zu gefährden. Sie schafft Flexibilität, wenn die pauschalen Vorgaben der DepV (2009) den projektspezifischen Randbedingungen mit Hinblick auf den vorgesehenen Schutzzweck nur eingeschränkt gerecht werden, und sorgt gleichzeitig dafür, dass durch strenge Prüf- und Nachweispflichten das gleiche Sicherheitsniveau erreicht wird.

4. Auswahl bewerteter Kriterien

4.1 Dichtwirkung

Der vorrangige Parameter zur Bewertung der Gleichwertigkeit einer GTD zu einer natürlichen mineralischen Abdichtung nach BQS 5-1 ist die Dichtwirkung, die durch den Parameter Permittivität beschrieben wird. Die Permittivität von GTD ergibt sich durch Auswertung von Langzeit-Permeationsversuchen mit unterschiedlichen Konzentrationen von CaCl_2 -Lösungen. Dabei wurde festgestellt, dass Kriterien des BQS 5-5 hinsichtlich der Rate des Ionenaustauschs sich im Versuch nicht darstellen ließen. Vielmehr war das Versuchsetup limitiert durch die schiere Versuchslaufzeit und sich in diesen Zeiträumen ergebende Unwägbarkeiten. Es zeichnete sich aber zum Zeitpunkt der Einzelfallzulassung bereits ab, dass ein Beharrungswert der Permittivität erreicht wird, der unterhalb der zulässigen Permittivität einer mineralischen Dichtung nach BQS 5-1 liegt und damit die Folgerung zulässt, dass eine mindestens Gleichwertige Dichtwirkung gegenüber den Anforderungen der DepV (2009) an eine mineralische Dichtung für eine Oberflächendichtung der DK III zu erwarten ist.

4.2 Innere Scherfestigkeit

Dieser Parameter wurde in Langzeit-Scherversuchen an bestehenden GTD mit gleichen geotextilen Komponenten im Rahmen der Eignungsbeurteilung dieser GTD für DK I & II untersucht. Vergleichende Untersuchungen an der neu konzipierten GTD Bentofix® B 13000 belegten einen mindestens gleichwertigen inneren Scherverbund.

4.3 Interoperabilität mit Dichtungskontrollsystemen

Eine im Rahmen der Eignungsbeurteilungen für GTD auf Oberflächendichtungen DK I / DK II nicht relevante Fragestellung war diejenige nach der Interoperabilität von Dichtungskontrollsystemen (DKS), welche in Oberflächendichtungssystemen auf DK-III-Deponien obligatorisch sind, und einer Kombinationsdichtung aus KDB und GTD. Es zeigte sich auf bei zwei Probereinbauten auf Baustellen mit DKS beider nach BAM zugelassener Anbieter von DKS, dass die Messungen des DKS in jeder Konstellation (DKS auf / unter der GTD, vgl. exemplarisch Abbildung 4) plausible Ergebnisse lieferten. Die Bewertung der hinzugezogenen Sachverständigen sowie der Anbieter der DKS kam zum Ergebnis, dass eine GTD der in Kap. 2.3 beschriebenen Art unabhängig von der Positionierung des DKS in Oberflächendichtungen eingesetzt werden kann, ohne dass die Funktion des DKS kompromittiert wurde.



Abbildung 4: Testfelder mit Bentofix® B 13000 in Kombination mit DKS – in Bildmitte mit DKS auf Bentonitmatte, am rechten Bildrand mit DKS auf Planum

5. Erkenntnisse aus dem Probefeldbau

Der Probefeldbau auf der Sonderabfalldeponie Gera-Aga zeigte, dass auch GTD mit hohem Flächengewicht erfolgreich in Kombinationsdichtungssystemen eingebaut werden können. Vor der Verlegung erfolgte die fachgerechte Vorbereitung des Verlegeplanums durch die beauftragte Baufirma TiWaS Bau GmbH. Auch im temporären Zustand ohne Überdeckung bleiben GTD mit hoher Bentoniteinwaage lagesicher auf den mit 1:n = 1:3 profilierten Böschungsbereichen. Direkt im Anschluss wurde die GTD mit der primären Barriere (Kunststoffdichtungsbahn) überdeckt, so dass auch im Falle

einsetzenden Regens kein freies Quellen ohne Auflast erfolgen konnte. Nachfolgend wurden die Dränmatte und die erste Lage der Rekultivierungsschicht eingebaut. Es waren keine gesonderten Baugeräte im Vergleich zur Verlegung einer für den Einsatz auf DK I / II vorgesehenen GTD erforderlich. Die Rollendurchmesser sind fertigungstechnisch bedingt und für die Verladung in Standardfrachträume (Container, LKW) optimiert, so dass allein die Abrolllänge der GTD für DK III geringer ist. Dennoch können analog hohe tägliche Verlegeleistungen erreicht werden, da der Fortschritt beim Einbau der mineralischen Komponente so allein durch die nachlaufende Installation der KDB und nachfolgender Schichten limitiert wird.

Abbildung 5 zeigt das Probefeld auf der Westböschung der Sonderabfalldeponie Gera-Aga, welcher die steilste Böschungsneigung im Projekt aufwies und auf welchem das Probefeld eingebaut wurde. Die durch Bentonitpulver imprägnierten Längsüberlappungen sind deutlich erkennbar und gestatten eine fachgerechte, selbstdichtende Überlappung ohne manuelles Nacharbeiten.



Abbildung 5: Testfeld der Sonderabfalldeponie Gera-Aga mit Bentofix® B 13000

6. Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz von GTD als mineralische Komponente auf der Sonderabfalldeponie Gera-Aga (DK III) wurde von den zuständigen Genehmigungsbehörden in einer Eignungsbeurteilung im Einzelfall positiv bewertet. Dieses geschah unter Berücksichtigung der im Projekt vorliegenden Randbedingungen und der durch die DepV (2009) definierten Schutzziele und -kriterien.

Die Verwendung einer GTD im Projekt gestattet einen schnellen Bauablauf, mit dem die endgültige Oberflächendichtung eines vormals problematischen Altstandortes binnen kurzer Bauzeit effizient hergestellt werden kann.

Die Anwendung des Produkts bedingt keine Limitierungen bei der Einbautechnik gegenüber am Markt für Deponien der DK I / II zugelassenen GTD. Auch das Verhalten auf der Baustelle und die Verlegeleistung stellen sich annähernd identisch dar.

Die gewonnenen Erkenntnisse im Verfahren der Eignungsbeurteilung im Einzelfall und in der Baupraxis können für ähnliche Projekte und beim Verfahren einer Eignungsbeurteilung dienlich sein, um eine zeit-, ressourcen- und kostensparende Option für die mineralische Komponente einer Oberflächendichtung einer DK III zu realisieren.

Der Verfasser dankt hiermit allen Projektbeteiligten für die freundliche Bereitschaft zur Unterstützung dieses Beitrags und die konstruktive und zielführende Zusammenarbeit im gesamten Projekt.

7. Literatur

- AWV (2023): Abfallwirtschaftszweckverband Ostthüringen: Amtsblatt des Abfallwirtschaftszweckverbandes Ostthüringen, Ausgabe 2/2023, lfd. Nr. 112, 09. Juni 2023.
- DepV (2009): Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert worden ist
- BAM (2024): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen Herausgegeben vom Fachbereich 4.3 „Schadstofftransfer und Umwelttechnologien“, 14. Auflage, Mai 2024
- LAGA (2020): LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“. Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-1: Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen, Beschluss vom 2. Dezember 2020
- LAGA (2025): LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“. Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-5: Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen, Beschluss vom 29. April 2025
- DIN (2019a): DIN EN ISO 17892-11:2019-05. Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (ISO 17892-11:2019). Deutsche Fassung EN ISO 17892-11:2019, Ausgabe März 2021. Beuth Verlag.
- DIN (2019b): DIN EN ISO 13438:2019-05. Geokunststoffe – Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten gegen Oxidation (ISO 13438:2018); Deutsche Fassung EN ISO 13438:2018. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN (2004): DIN EN 14415:2004-08. Geosynthetische Dichtungsbahnen – Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Auslaugung; Deutsche Fassung EN 14415:2004. Beuth Verlag, Berlin.

Entsorgung, Sicherung und Langzeitlagerung von PFAS-haltigen Abfällen

Dr. Thomas Egloffstein¹

Inhalt

1. Veranlassung.....	215
2. Verwertung von PFAS-haltigem Bodenmaterial	216
3. Verwertung und Beseitigung von PFAS-haltigem Bodenmaterial auf Deponien.....	218
4. Sicherung von PFAS-verunreinigtem Bodenmaterial im Rahmen der Sanierung unter Altlasten- und Bodenschutzrecht	221
5. Neuere Entwicklungen bei der Bodenbehandlung	224
6. Literatur.....	226

1. Veranlassung

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS, ältere Synonyme: PFT für Tenside oder PFC für Chemikalien) stellen ein großes Problem für alle Umweltkompartimente wie Wasser, Boden, Pflanzen und Lebewesen dar. Aufgrund ihrer äußerst stabilen Kohlenstoff-Fluor-Verbindung werden sie in der Umwelt so gut wie nicht abgebaut, sondern reichern sich dort an. „Gekommen um zu bleiben“ oder „Ewigkeitschemikalien“ sind die plakativen Überschriften zur Beschreibung dieses Phänomens. Eine weitere Anreicherung von PFAS in der Umwelt muss schnellstmöglich unterbunden werden /1/. PFAS werden mit dem Oberflächenwasser und über die Luft transportiert, deshalb findet man sie selbst in den entlegensten Gebieten dieser Erde. Obwohl nicht akut toxisch, haben sie ein großes gesundheitsgefährdendes Potential: Sie gelten u. a. als reproduktionstoxisch, ökotoxisch, reizend und karzinogen. Aufgrund dessen sind sie nur extrem schwer und sehr aufwändig wieder aus der Umwelt zu entfernen. Infolge ihrer sehr nützlichen Eigenschaften, sie sind wasser-, fett- und schmutzabweisend, wurden sie seit den ca. 1970-er Jahren in einer Vielzahl von Produkten und Anwendungen eingesetzt und sind zwischenzeitlich ubiquitär in der Umwelt nachweisbar (Hintergrundgehalte). Die wohl häufigste Ursache für höhere PFAS-Gehalte bzw. Hot-Spots im Boden oder im Grundwasser sind der Einsatz von PFAS-haltigen A3F-Hochleistungs-Feuerlöschschäumen. Beispielsweise bei Brandschadensfällen oder bei den zahlreichen Feuerlöschübungsbecken vieler Feuerwehren. Eine zweite, in der Öffentlichkeit viel diskutierte Ursache, ist die Ausbringung von PFAS-verunreinigten Komposten (mit Industrierückständen, z. B. Papierschlämmen, verunreinigter Bioabfall) oder PFAS-haltige Klärschlämme auf den Feldern. Abfälle, Untergrundverunreinigungen, das Abwasser und manchmal sogar die Abluft aus der PFAS-Herstellung und Verwendung in Galvanik-, Papier-, Foto- und Textilindustrie sind eine weitere Ursache für Gewässer, Boden und Grundwasserverunreinigungen. Kläranlagen ohne eine 4. Reinigungsstufe reinigen PFAS nicht ab. PFAS-Abfälle müssen erkannt, richtig eingestuft, aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust und möglichst weitgehend zerstört werden /1/. Am häufigsten betroffen sind, neben dem Grundwasser, welches hier nicht thematisiert wird, PFAS-verunreinigte Böden. Die betroffenen Flächen, sei es z. B. in Mittelbaden (Baden-Baden / Rastatt) oder im Landkreis Altötting (Chemiepark Gendorf, PFOA) sind so

¹ Dr. Thomas Egloffstein, ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH, Auf der Breit 11, 76227 Karlsruhe, Tel.: 0721 94477-11, E-Mail: thomas.egloffstein@icp-ing.de

riesig, dass an eine flächendeckende Sanierung nicht zu denken ist. Die Deponierung von PFAS-belasteten Böden auf Bestandsdeponien (Mischdeponien) ist letztendlich auch keine nachhaltige Lösung, denn sie verschiebt die Risiken und löst die Probleme nur auf Zeit /2/. Man wird die Möglichkeit der Beseitigung PFAS-haltiger Abfälle auf Deponien als Teil einer Problemlösung brauchen. Dann aber, sollte in einem Monobereich für PFAS-haltige Abfälle mit getrennter und auf PFAS abgestimmter Sickerwasserbehandlung abgelagert werden. Aufgrund der Größenordnung des Problems muss jedoch intensiv über weitere, ggf. auch unkonventionelle Möglichkeiten der Verwertung, Sicherung und sicheren Verwahrung in Langzeitlagern von i. W. PFAS-verunreinigten Böden nachgedacht werden.

2. Verwertung von PFAS-haltigem Bodenmaterial

Die Verwertung und Beseitigung von PFAS-haltigen Bodenmaterialien wird durch den bundeseinheitlichen Leitfaden zur PFAS-Bewertung des BMUV /3/ geregelt. Einige Bundesländer haben den Leitfaden per Erlass eingeführt (z. B. NW, BW). Bayern wiederum hat eigene Leitlinien zur Bewertung von PFAS herausgegeben /4/. Grundlage für die Verwertung für beide Leitfäden/-linien sind die GFS (Geringfügigkeitsschwellenwerte) und GOW (gesundheitliche Orientierungswerte) der LAWA /5/. Es gibt 3 Verwertungskategorien von VK 1 für den uneingeschränkten offenen Einbau, VK 2 für den eingeschränkten offenen Einbau mit um den Faktor 2 erhöhten PFAS-Gehalten in Gebieten mit erhöhten PFAS-Gehalten und VK 3 für den eingeschränkten offenen Einbau in technischen Bauwerken mit definierten Sicherungsmaßnahmen. Diese VK-Werte in $\mu\text{g/l}$ im W:F=2:1 Eluat sind für VK 3 für kurzkettenige (mobile) PFAS um den Faktor 5 gegenüber VK 1 erhöht und für langkettenige um den Faktor 10.

2.1 Verwertung unter Tage in Versatzbergwerken

Es gibt in Deutschland insgesamt 9 Untertageversatzbergwerke im Salzgestein. Diese haben die Auflage, die aufgefahrenen Hohlräume durch den Salzabbau wieder zu verfüllen, um Setzungen nach über Tage zu vermeiden bzw. zu minimieren. Dies ist keine Untertagedeponie sondern hier können Abfälle zur Verwertung eingebracht werden. Vier von den neun Versatzbergwerken haben auch einen getrennten Bereich zur Untertagedeponierung von gefährlichen Abfällen (s. Abb. 1). Sieben von neun Versatzbergwerken liegen im Kalirevier Mitteldeutschlands, zwei im Muschelkalk-Salinar von Baden-Württemberg (Heilbronn/Kochendorf und Stetten-Haigerloch) (s. Abb. 1).

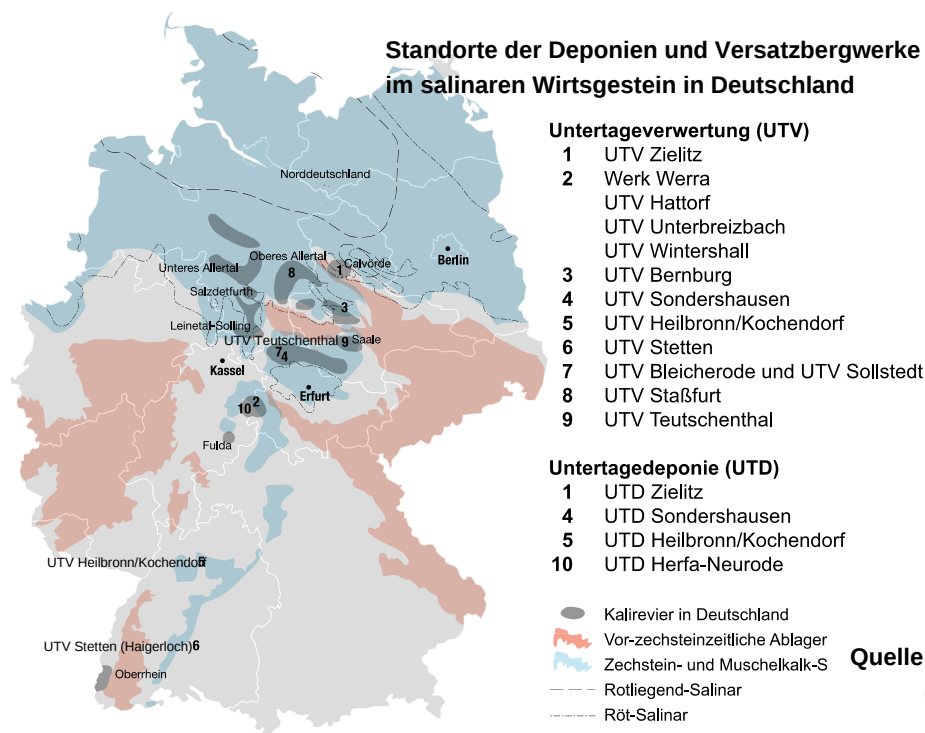


Abbildung 1: Standorte der Untertageversatzbergwerke (UTV) und Untertagedeponien (UTD) im salinaren Wirtsgestein in Deutschland

In der Grube Teutschenthal in Sachsen-Anhalt wurden bereits 2019 1.250 t PFAS-belasteter Boden aus Bayern verwertet. Als Grenzwert für PFAS galt 50 mg/kg PFOS gemäß EU-POP-Verordnung. Eluatwerte sind für die Zulässigkeit von Verwertungsmaßnahmen, wie auch für die Untertagedeponierung nicht relevant. Dort wo Salzgestein über Jahrtausende ansteht, gibt es in der Regel kein Grundwasser.

Die Grube Heilbronn/Kochendorf würde gemäß Nachfrage des Verfassers, PFAS-haltige Abfälle zur Verwertung annehmen, hat jedoch noch keine angenommen.

Die Genehmigungen nach Bergrecht sind in der Regel relativ zeitaufwändig. Für eine Genehmigung wird ein Bergbauverträglichkeitsgutachten von einem unabhängigen und fachkundigen Gutachter erstellt.

In Stetten (Haigerloch) gibt es eine bergrechtliche Genehmigung (Rahmenbetriebsplan) für den Versatz von PFAS-belastetem Boden aus Mittelbaden (Baden-Baden/Rastatt). Es ist lediglich die Einhaltung der Grenzwertliste Salzbergwerk Stetten - Haigerloch der Wacker-Chemie AG erforderlich. Als PFAS-Grenzwert gilt $\sum 19$ PFAS gem. PFAS-Leitlinien Bayern ≤ 50 mg/kg TM und PFOS ≤ 50 mg/kg sowie PFOA und PFHxS ≤ 1 mg/kg TM (EU-POP-VO). Des Weiteren TOC ≤ 6 M.-% bzw. TOC – EC (= elementarer Kohlenstoff) ≤ 6 M.-%, wenn TOC > 6 %. Glühverlust ≤ 12 M.-%, kristallines SiO₂ in der Fraktion $< 125 \mu\text{m} \leq 20$ M.-%. Die Einhaltung der PFAS-Grenzwerte, wie auch der anderen Feststoffgrenzwerte, bereiten i.d.R. keine Probleme. Die vollständige Grenzwertliste findet sich im PPT-Beitrag des Verfassers, den die Teilnehmer nach dem Seminar herunterladen können bzw. kann bei info.suedwest@remex.de angefordert werden. Eluatwerte werden nicht geprüft. Bei Oberböden kann der TOC bzw. der Glühverlust zuweilen Schwierigkeiten bereiten.

Die Grube Stetten bietet eine interessante Entsorgungsvariante für höher PFAS-belastete Böden $> \text{VK } 3$ gemäß PFAS-Leitfaden und $> \text{BMF-3}$ gemäß ErsatzbaustV aus Mittelbaden. Für andere Herkunftsorte als Mittelbaden, gilt die bergrechtliche Genehmigung derzeit nicht. Hier sind (noch) Einzelfallgenehmigungen

erforderlich. Wir gehen davon aus, dass sich dies im Laufe der Zeit nach mehr Erfahrung ändert. Die Grube kann über eine Rampe mit speziell zugelassen LKW (Brandschutz) bis zur Abladestelle in ca. 150 m Tiefe befahren werden. Es werden ca. 500.000 t Salz pro Jahr (ca. 250.000 m³) gewonnen. Die Förderung begann 1854 und die Förderrechte reichen noch über viele Jahrzehnte. Die Fa. REMEX Südwest in Karlsruhe hat die Vertriebsrechte für die Verwertung und gibt einen Preis von ca. 100 €/t (netto) inkl. Transport ab Großraum Karlsruhe an (ca. 120 km). Für den Verfasser ist der Untertageversatz eine gute Lösung für höher belastet Chargen der Ewigkeitschemikalie PFAS, im trockenen „ewigen“ Salz.

3. Verwertung und Beseitigung von PFAS-haltigem Bodenmaterial auf Deponien

Der in der Abfall- bzw. Kreislaufwirtschaft häufig verwendete Begriff der Entsorgung von Abfällen, schließt sowohl die Verwertung außerhalb von Deponien als auch die Beseitigung (und Verwertung) auf Deponien ein. Letzteres regelt die i. W. die Deponieverordnung (DepV) /6/ in der allerdings PFAS, auch in den letzten Änderungen bis heute, nicht vorkommen. Bezüglich der Verwertung und Beseitigung von PFAS-haltigem Bodenmaterial auf Deponien gelten die Empfehlungen des BMUV-Leitfadens zur PFAS-Bewertung, soweit sie z. B. durch Erlasse in den jeweiligen Bundesländern eingeführt wurden (z. B. NW, BW). Bayern hat den BMUV-Leitfaden nicht eingeführt, sondern seine eigenen PFAS-Leitlinien herausgegeben /4/ (in Teilen übereinstimmend aber auch mit abweichenden Regelungen). Kernpunkte im BMUV Leitfaden für PFAS sind die Einhaltung der VK 1-Werte im W:F=2:1 Eluat für die Deponieklasse 0 und die Einhaltung der Orientierungswerte von $\sum \text{PFAS}_{13}$ nach DIN 38414-14 $< 500 \mu\text{g/l}$ bei W:F=2:1 bzw. $\sum \text{PFAS}_{13} < 100 \mu\text{g/l}$ bei W:F=10:1 für die Deponieklasse DK I. PFAS-Orientierungswerte für die Deponieklassen DK II und DK III werden nicht genannt. Für alle drei oberirdischen Deponieklassen DK I-III wird eine geeignete Sickerwasserbehandlung gefordert, welche die Einleitungsbedingungen (Direkteinleitung in Gewässer, Indirekteinleitung in eine Kläranlage) einhält und PFAS nachhaltig aus dem Stoffkreislauf ausschleust. Die PFAS sind danach zu zerstören. Die Sickerwässer können auch in einer externen Abwasserbehandlungsanlage oder in Kombination mit einer Sickerwasserreinigung vor Ort gereinigt werden. „Empfohlen“ wird („kann in Betracht gezogen werden“) die Einrichtung von Monodeponien oder -bereichen mit getrennter Sickerwasserfassung und Reinigung der Sickerwässer für eine wesentlich effektivere Reinigung, der dann in der Regel nur PFAS-belasteten Sickerwässer. Des Weiteren die Minimierung der Sickerwasserentstehung durch Kleinhalten der Einbaubereiche und zeitnaher Abdeckung mit möglichst wasserdichtem Material. Diese „Empfehlungen“ sind für eine Entsorgung von PFAS-haltigen Abfällen auf Deponien uneingeschränkt zu unterstützen.

Für DK II und DK III Deponien gibt es im BMUV-Leitfaden keine Orientierungswerte für PFAS. Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen interpretieren dies so, dass für DK II und DK III die Grenzwerte des Anhangs IV der EU-POP-Verordnung /7/ für die oberirdische Ablagerung gelten. Diese sind z.T. sehr hoch und werden von PFAS verunreinigtem Bodenmaterial in der Regel nicht erreicht.

Tabelle 1: Anhang IV der EU-Verordnung EU 2019/1021 (EU-POP-VO) /7, 8, 9/:

PFOS und ihre Derivate $\leq 50 \text{ mg/kg}$ (bereits seit 26.08.2010)

PFOA und ihre Salze $\geq 1 \text{ mg/kg}$, (PFOA und PFHxS seit 10.06.2023)

PFOA-verwandte Verbindungen $\geq 40 \text{ mg/kg OS}$ (Summe),

PFHxS und ihre Salze $\geq 1 \text{ mg/kg OS}$ und

PFHxS-verwandte Verbindungen ≥ 40 mg/kg OS (Summe).

Baden-Württemberg verlangt für die Ablagerung von PFAS-haltigem Bodenaushub auf DK II und DK III Deponien einen Monobereich /10/. Es gibt derzeit keine Deponie in Baden-Württemberg, welche diese Anforderung erfüllt. Deshalb gehen PFAS-belastete Böden z. B. nach NRW, wo unter ansonsten gleichen Anforderungen, kein Monobereich für PFAS gefordert wird.

Rheinland-Pfalz /11/ bezieht sich zwar auf den Orientierungswert W:F=2:1 des BMUV Leitfadens PFAS-Bewertung von $500 \mu\text{g/l} \sum \text{PFAS}_{13}$ für DK I, definiert aber zusätzlich auch Orientierungswerte für die 13 Einzelverbindungen im Verhältnis der Höhe der GFS/GOW-Werte, die in Summe wieder den Summenwert $500 \mu\text{g/l}$ ergeben. Weiterhin dehnt das LfU Rheinland-Pfalz die Anwendung der DK I Werte auch auf die Deponieklasse DK II aus. Dies hat zur Folge, dass Böden bereits ab der Überschreitung eines neu definierten Einzelwertes für PFAS für die Deponieklasse DK I, zu gefährlichem Abfall (DK III) werden /11/.

3.1 Stand der Dinge und neuere Entwicklungen für die Beseitigung von PFAS-haltigem Bodenmaterial auf Deponien

Je nach Auslegung des Leitfadens zur PFAS-Bewertung für die Deponieklassen DK II und III werden mit den Grenzwerten der EU-POP-VO hohe PFAS-Belastungen auf diesen Deponien zugelassen. Da sich PFAS de facto nicht abbauen, sondern eher akkumulieren, kann heute niemand vorhersagen, wie die PFAS-Konzentrationen im Sickerwasser zukünftig aussehen und welche Grenzwerte für die Einleitung zukünftig gelten werden (z. B. GFS/GOW bzw. VK 1 in BW) /10/. Insofern werden die Deponiebetreiber möglicherweise nicht aus der Nachsorge entlassen. Deshalb und aufgrund des „Makels“ Problemabfall, nehmen viele Deponiebetreiber keine PFAS-haltigen Abfälle an. Das Konzept PFAS nur noch auf Monodeponien oder in Monobereichen mit eigens auf PFAS ausgelegter Sickerwasserbehandlung abzulagern, ist essenziell, bei Bestandsdeponie jedoch kaum umzusetzen. Derzeit gibt es, nach Kenntnis des Verfassers in Deutschland, keine Monodeponie oder keinen Monobereich für PFAS-haltige Abfälle. Aufgrund des „Makels“ Problemabfall ist auch die Standortsuche und Plangenehmigung für PFAS-Monodeponien schwierig. Im, vom PFAS-Problem stark betroffenen Landkreis Rastatt, wurde der Plan, einen PFAS-Monobereich auf dem Gelände der bestehenden DK II Deponie „Hintere Dollert“ zu errichten, aufgrund von Bürgerprotesten aufgegeben. Der ebenfalls von der PFAS-Problematik stark betroffenen Landkreis Albstadt (Chemiepark Gendorf, Burgkirchen a. d. Alz) schreitet bei der Planung einer PFAS-Monodeponie im nahe gelegenen Haiming voran. Optimistische Schätzungen gehen von einer Genehmigung 2025 und Baubeginn 2026 aus.

Die relativ wenigen Deponien z. B. in NRW und in den neuen Bundesländern, welche PFAS-haltige Abfälle (i.d.R. Böden) annehmen, sind Siedlungsabfall- bzw. Sonderabfalldeponien („Mischdeponien“), die über eine geeignete Sickerwasserbehandlung i.d.R. Membranverfahren (Ultra- und Nanofiltration oder 2-stufige Umkehrosmose) und/oder Aktivkohle verfügen. Dass diese Sickerwasserbehandlungsanlagen prinzipiell funktionieren, zeigte z. B. eine Versuchsanlage zur Reinigung mit PFAS-belastetem Sickerwasser aus der Deponie „Hintere Dollert“ im Landkreis Rastatt. Diese besteht aus einer Kombination von Denitrifikation, Nitrifikation (Biologie), Ultrafiltration und Nanofiltration mit anschließender Aktivkohlefiltration des Konzentrats /12/. Die feinporige Nanofiltration hielt alle PFAS zuverlässig zurück. Die Aufsalzung im Konzentrat der Nanofiltration, die durch die nachgeschaltete Aktivkohle nicht eliminiert werden kann, zeigte aber, dass es zumindest bei gemischten Abfällen mit PFAS auch Probleme geben kann. Es ist eher

unwahrscheinlich, dass dies auch in Monobereichen mit PFAS-verunreinigtem Bodenmaterial der Fall sein wird. Falls doch, könnte man eine zusätzliche Reinigungsstufe (z. B. Ionenaustauscher) einschalten. Bei Monodeponien für PFAS-belastete Bodenmaterialien würde voraussichtlich die vorgeschaltete Biologie entfallen und durch die voraussichtlich geringeren DOC- und CSB-Gehalte im Sickerwasser sich die Beladung der Aktivkohle mit PFAS deutlich verbessern. Die Ergebnisse der Versuchsanlage von Rastatt im Jahr 2021 /12/ deckten sich weitgehend mit denen der Deponie Burghof, Landkreis Ludwigsburg, die bereits (2013) veröffentlicht wurden /13/.

Erfahrungen von Deponiebetreibern geben zu Bedenken, dass die Aktivkohle wegen zu starker Beläge oftmals nicht mehr regeneriert werden kann, sondern verbrannt werden muss. Membranen der Ultra-/Nanofiltration oder Umkehrosmose müssen bei Monodeponien gegenüber „Mischdeponien“ weniger oft durch Rückspülen gereinigt werden, um z. B. eine Membranverblockung zu vermeiden.

3.1.1 Immobilisierung PFAS-verunreinigter Böden zur Verwertung / Beseitigung auf Deponien

Die Immobilisierung von mobilen Schadstoffen ist in der Altlastensanierung nichts Neues, wird aber immer wieder kritisch hinterfragt. Insbesondere die Langzeitbeständigkeit von Immobilisierungen wird immer wieder angezweifelt. Immobilisierungen zum Zwecke der sichereren Ablagerung auf Deponien waren bisher aus Australien und den USA bekannt. Hier hat sich die australische Firma Ziltek mit ihrem Produkt RemBind™ bekannt gemacht. In Deutschland war das bisher kein ernsthaftes Thema. Das hat sich mit einer Untersuchung des Verbandes für Flächenrecycling und Altlastensanierung (AAV) als Auftraggeber und Arcadis Germany GmbH als Auftragnehmer geändert. In dem Bericht „Untersuchungen zur Immobilisierung PFAS kontaminierter Böden für die Deponierung“, /14/ wurden je zwei verschiedene Immobilisierungsmittel auf Aktivkohlebasis und auf Basis modifizierter Tone produktneutral auf ihre Langzeitstabilität getestet. Dies geschah durch beschleunigte Alterung (Zeitraffer-Effekt), durch biologische, chemische und physikalische Verfahren an vier verschiedenen Versuchsböden (PFAS-verunreinigt durch 3 x A3F-Feuerlöschschäume, 1 x PFAS aus der Galvanik) mit 0,5 M.-% Zugabe an Sorptionsmitteln. Die Ergebnisse waren vielversprechend /15/:

- Zugaben geringer Mengen von Sorptionsmitteln verringern die PFAS- Ausgangskonzentrationen im Eluat deutlich
- Die unterschiedlichen Verfahren zur künstlichen Alterung haben sich bewährt
- Die gealterten immobilisierten Böden zeigten bei den Laborversuchen immer noch im Eluat PFAS-Konzentrationen unterhalb der Beurteilungswerte.
- Insbesondere bei höherem Anteil bindiger Bodenbestandteile ist die Machbarkeit einer großmaßstäblichen homogenen Einmischung zu prüfen
- Eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab, dass Immobilisierung bei Deponierung wirtschaftlich sein kann (Einzelfallbetrachtung erforderlich)

Details können im Beitrag Reinhard & Gass /15/ in diesem Seminarband nachgelesen werden.

3.1.2 Pilotversuch für den Einsatz von PFAS-Sorptionsmatten in einem Monobereich auf der Zentraldeponie Emscherbruch

Die AGR plant die Durchführung von Versuchen zur Schaffung einer Ablagerungsmöglichkeit von PFAS-belastetem Bodenmaterial auf Deponien /16/. Getestet werden soll in einem ca. 1.000 m² großen Versuchsfeld die Wirksamkeit einer Sorptionsmatte für die in-situ-Entfernung von PFAS aus migrierendem Sickerwasser. Hierzu soll die Sorptionsmatte in einem Monobereich, welcher mit PFAS-belastetem Boden

befüllt wird, eingebaut werden. Die PFAS-Verbindungen werden mit Hilfe von Ionenaustauschern und Adsorption in der Matte gebunden und somit dem Stoffkreislauf entzogen. Das Sickerwasser kann den Schadstofffilter ungehindert passieren, wird über eine Drainage abgeleitet, danach aufgefangen und auf PFAS analysiert. In dem Versuchsfeld soll darüber hinaus untersucht werden, inwieweit die PFAS-Sorptionsmatten in der Lage sind, die PFAS dauerhaft zu binden. Die Versuche sollen über einen Zeitraum von 6 bis maximal 9 Monaten voraussichtlich 2026 durchgeführt werden. Das Versuchsfeld wurde der zuständigen Bezirksregierung in Münster, gemäß § 35 Abs. 4 KrWG, angezeigt und von dieser bestätigt. Das LANUV NRW hat eine positive Stellungnahme abgegeben. Zum Einsatz soll u. a. die Sorptionsmatte „Tektoseal Active PFAS“ der Firma Huesker kommen. Produktinformationen sind sicherlich dem Beitrag von Dr. Niewerth von der Huesker Synthetic GmbH in diesem Seminarband /17/, oder dem Netz, zu entnehmen.

4. Sicherung von PFAS-verunreinigtem Bodenmaterial im Rahmen der Sanierung unter Altlasten- und Bodenschutzrecht

4.1 Umlagerung und Sicherung gemäß Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und Bundesbodenschutz und Altlastenverordnung (BBodSchV) in Bereichen derselben schädlichen Bodenveränderung

Wie den vorausgegangenen Kapiteln zu entnehmen, ist die Beseitigung von PFAS-verunreinigten Böden auf Deponien zwar ein sicherlich notwendiger Teil der Problemlösung, aber mit Sicherheit nicht die nachhaltigste Lösung. Viele Deponiebetreiber nehmen aus den vorgenannten Gründen keine PFAS-belasteten Abfälle an. Nachfolgend verlassen wir das Abfall-/Kreislaufwirtschaftsrecht und begeben uns in das Altlasten- und Bodenschutzrecht mit einem Beispiel aus Bühl in Mittelbaden (Raum Baden-Baden/Rastatt). Hier sind durch die Aufbringung von Komposten, welche mit Papierschlämmen versetzt waren oder wo PFAS-belastete Klärschlämme aufgebracht wurden, partielle, aber in Summe sehr große (ca. 1.105 Hektar) PFAS-Boden- und infolge Grundwasserverunreinigungen entstanden. Das Gewerbegebiet Bühl-Bußmatten soll nach Norden um weitere 12,4 Hektar erweitert werden. Auf der geplanten Erweiterungsfläche befindet sich jedoch ein PFAS-Hot-Spot-Gebiet mit höchsten Belastungen bis rund 700 µg/kg PFAS (ohne Berücksichtigung von Precursoren²) /18/. Durch die Bebauung war eine Aufhöhung des Geländes um ca. 0,5 bis zu 1,5 m erforderlich (rd. 120.000 cbm Volumen). Zeitgleich stand die Sanierung von fünf hochbelasteten Flächen im Grundwasseranstrom des Wasserwerks Bühl-Balzhofen (rd. 1 - 1,2 ha Ackerfläche) in einem ansonsten gering beeinflussten Grundwasserzustrom des Wasserwerkes. Mittelfristig war mit einem Anstieg der PFAS-Konzentrationen in der Wasserfassung zu rechnen. Deshalb sollte die Schadstoffquelle bis in eine Tiefe von ca. 0,6 m bis max. 1 m, rund 9.000 cbm Boden, ausgehoben und entfernt werden. Der Boden sollte in dem ca. 5,8 km entfernt liegenden Gewerbegebiet Bußmatten zur Auffüllung unter der späteren Versiegelung eingesetzt werden. Ebenfalls unter das zukünftige Gewerbegebiet eingebaut werden und durch Versiegelung gesichert eingebaut werden, sollte PFAS-verunreinigter Bodenaushub vom Gelände des Klärwerks Vimbuch, was eine Voraussetzung für den Ausbau der vierten Reinigungsstufe war.

PFAS verunreinigte Böden in situ unterliegen dem Altlasten- und Bodenschutzrecht gemäß Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und Bundesbodenschutz und Altlastenverordnung (BBodSchV).

² Vorläufersubstanzen von PFAS die sich durch Oxidation in PFAS umwandeln können

Die neue BBodSchV seit 01.08.2023, /20/ sieht in Anlage 2, Tabelle 3, Prüfwerte für PFAS für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Probennahme und im Sickerwasser am Ort der Beurteilung vor. Diese Prüfwerte entsprechen den Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS) der LAWA /5/ bzw. den VK 1-Werten gemäß BMUV-Leitfaden zur PFAS-Bewertung /3/.

Das Bundesbodenschutzgesetz erlegt dem Verursacher einer schädlichen Bodenveränderung, dem Grundstückseigentümer oder Inhaber der tatsächlichen Gewalt über das Grundstück, bei Belastungen durch Schadstoffe Pflichten zur Gefahrenabwehr auf, den Boden so zu sanieren, dass keine dauerhaften Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Hierzu kommen bei Belastungen durch Schadstoffe, neben Dekontaminations- auch Sicherungsmaßnahmen in Betracht, die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern (§ 4 (3) BBodSchG /19/).

Gemäß § 16 BBodSchV /20/ kann Bodenmaterial im Rahmen der Sanierung im Bereich derselben schädlichen Bodenveränderung oder Altlast oder innerhalb des Gebietes eines für verbindlich erklärten Sanierungsplanes, umgelagert werden, wenn die Anforderungen nach § 4 (3) des BBodSchG erfüllt werden (hier: Sicherungsmaßnahmen).

Eine schädliche Bodenveränderung...ist auch dann nicht zu besorgen, wenn in Gebieten... mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden, Bodenmaterial mit erhöhten Schadstoffgehalten innerhalb des Gebietes... umgelagert wird und die im... Bundes-Bodenschutzgesetzes genannten Bodenfunktionen nicht zusätzlich beeinträchtigt werden sowie die stoffliche Situation am Ort des Auf- oder Einbringens nicht nachteilig verändert wird (§ 6 (4) BBodSchV) /20/.

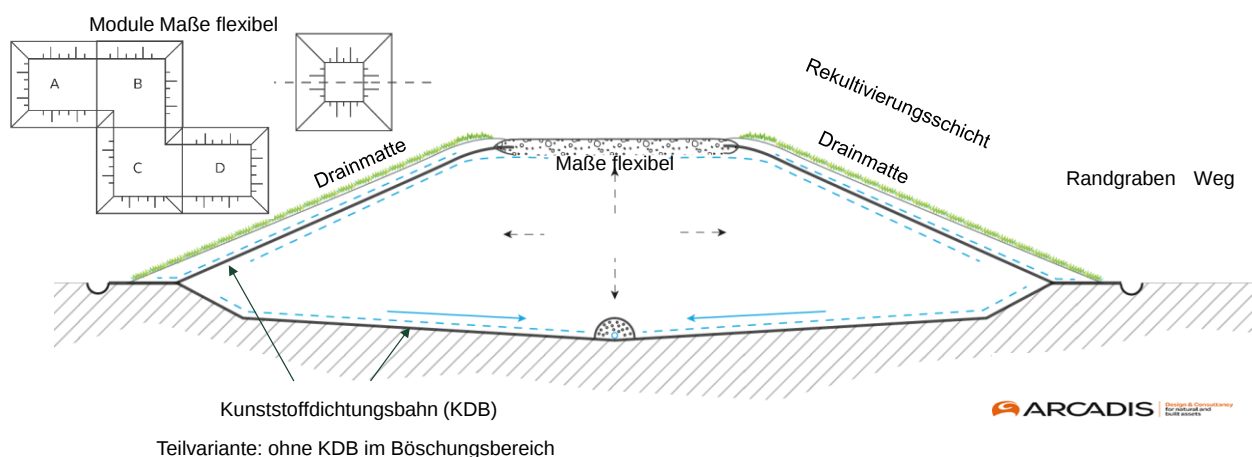
Wenn entnommenes Bodenmaterial im Bereich der von der Altlastensanierung betroffenen Fläche wieder eingebracht werden soll, gilt § 27 Absatz 1 Satz 1 des KrWG („Beseitigung auf zugelassene Abfallbeseitigungsanlagen“) nicht, wenn durch einen für verbindlich erklärten Sanierungsplan... sichergestellt wird, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird (§ 13 (5) BBodSchG) /19/.

Die in Bühl praktizierte Auslegung der rechtlichen Möglichkeiten gemäß BBodSchG und BBodSchV können nach Ansicht des Verfassers als Vorlage für andere großflächig PFAS-verunreinigte Standorte dienen (z. B. Landkreis Altötting).

4.2 Langzeitlagerung PFAS-verunreinigter Böden vor Ort in Sicherungsbauwerken

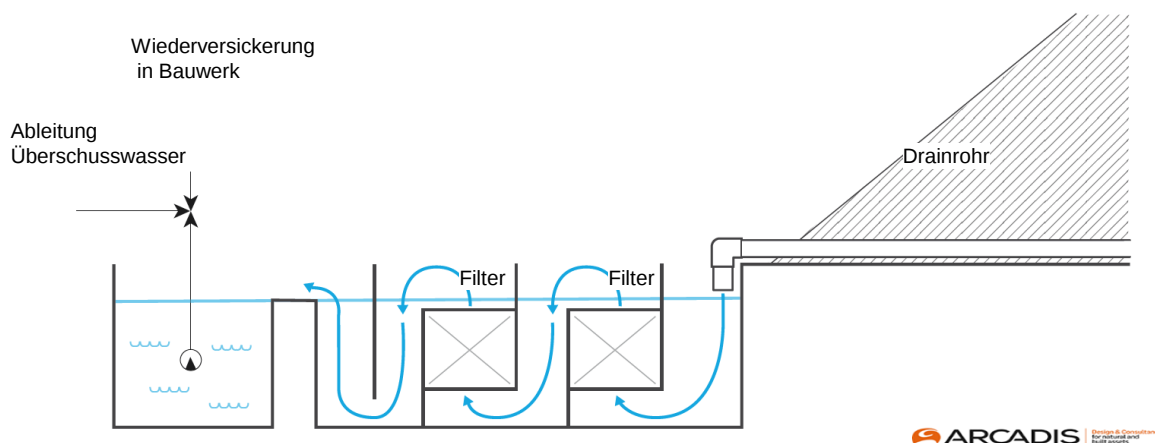
Bernd Garz von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) stellte auf dem 21. Karlsruher Altlastenseminar (2021) /21/ ein Sanierungsprojekt auf dem ehemaligen US-Militärflugplatz Airbase Bitburg (Rheinland-Pfalz) als Pilotprojekt für das Flächenmanagement auf PFAS-belasteten Liegenschaften vor. Einzelne Grundstücke auf dem ehemaligen Flugplatzgelände sollten an Investoren verkauft werden. Der Verkauf ging jedoch nicht voran, solange keine Lösung für die punktuell hohen, flächenmäßig jedoch nur mäßig PFAS-belasteten Flächen gefunden wurde. Deponieraum stand in Rheinland-Pfalz nicht zur Verfügung und technische Behandlungsmethoden schieden aufgrund der anfallenden Mengen von damals geschätzten ca. 80.000 m³, sowie der Beschaffenheit der Bodenmatrix aus. Die Lösung im Rahmen der Gefahrenabwehr und des Bodenmanagements war eine Sicherung des belasteten Bodenmaterials auf einer Zielfläche auf dem Gelände der BImA. Zusätzlich eröffnete sich dadurch die Option einer späteren Rückholung, sobald geeignete Reinigungsverfahren zur Verfügung stehen. Grundlage des Bodenmanagements ist ein Sanierungsplan nach § 13 BBodSchG, Abs. 5 /19/. Der Flugplatz Bitburg wird als Pilotprojekt der BImA für Feldversuche zu innovativen Sanierungsmaßnahmen und zur Umsetzung

standortnaher Verfahren – Bodenmanagement geführt. Gemäß § 4 BBodSchG (3) /19/ kommen bei Belastungen durch Schadstoffe neben Dekontaminations- auch Sicherungsmaßnahmen in Betracht, die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern. Die Idee war eine gesicherte Verwahrung PFAS-verunreinigter Böden auf dem Sanierungsgelände in modular, flexibler Anordnung (quadratische, in variabler Anordnung aneinandergereihte Kegelstumpfpfpyramiden) mit jeweils getrennter Entwässerung. Die Module sind mittels einer Kunststoffdichtungsbahn basisabgedichtet (Konvektionssperre). Zur Oberfläche hin sind sie semipermeabel, d. h. im Plateaubereich mit einem nicht abgedichteten Fenster durchlässig und in den Böschungsbereichen mittels Dränmatten und effektiver Oberflächenwasserableitung teilabgedichtet. Das Wasser auf dem Einbaufeld wird innerhalb der Randdämme zurückgehalten und in den Drainageabfluss-Leitungen gedrosselt abgeführt. Angeschlossen ist eine Abreinigung des Ablaufwassers über eine zweistufige Filteranlage. Bei einem moderaten Sickerwasserandrang ist vorgesehen, ein passives Reinigungssystem an den Abläufen der einzelnen Drainageleitungen zu installieren, in dem das Sickerwasser über zwei Filter (Aktivkohle, Ionenaustauscher oder vergleichbar) ohne Pumpeneinsatz gereinigt wird. Dies hat den Vorteil, dass vor allem die mobilen, kurzketigen PFAS, die am Boden nur mäßig adsorbiert werden, damit ausgewaschen und über die Sickerwasseraufbereitung entfernt werden. Dies soll eine spätere Behandlung der Böden nach Rückholung, falls zukünftig geeignete Behandlungsverfahren für PFAS-Verunreinigte Böden zur Verfügung stehen, unterstützen. Eine Nutzung z. B. für Fotovoltaik ist denkbar, solange die Sicherungsbauwerke Bestand haben. Die Übertragbarkeit des Bodenmanagementprinzips, mit der Option der Rückholbarkeit eingelagerter Böden, wird bereits für weitere Standorte geprüft. Die Erfahrungen aus dem Bitburg-Projekt werden dabei als äußerst hilfreich eingeschätzt, da hier sowohl für die Umweltbehörden als auch für die BImA Neuland betreten wurde /21/. Die Erstellung des Sicherungsbauwerkes ist für das Frühjahr 2026 geplant.



21. Karlsruher Altlastenseminar (2021)

Abbildung 2: Prinzipskizze Sicherungsbauwerk. Aufbau eines Moduls (Maße flexibel). (Garz, B. 2021).



21. Karlsruher Altlastenseminar (2021)

Abbildung 3: Sicherungsbauwerk. Prinzip passive Abreinigung Ablaufwasser mit Aktivkohle (B. Garz, 2021)

5. Neuere Entwicklungen bei der Bodenbehandlung

5.1 Thermische Abfallbehandlung – erforderliche Temperaturen zur sicheren Zerstörung von PFAS

Gemäß aktueller Aussage des Umweltbundesamtes (UBA) /22/, ist eine schadstofffreie Sanierung PFAS-verunreinigter Böden derzeit gesichert nur durch thermische Bodenbehandlung mit Temperaturen über 1.200 °C wirksam.

Eine aktuelle Studie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), veröffentlicht im Fachmagazin „Chemosphere“, untersucht die Rolle der Abfallverbrennung bei der Freisetzung von PFAS /23/. Das Forschungsteam, unter Leitung von Dr. Hans-Joachim Gehrman, hat gemeinsam mit internationalen Partnern analysiert, wie effektiv Fluorpolymere in Verbrennungsanlagen behandelt werden.

Die Versuche fanden in der Pilotbrennkammer BRENDA (Brennkammer mit Dampfkessel) am KIT statt. Ziel war es, herauszufinden, unter welchen Verbrennungsbedingungen eine möglichst vollständige Zerstörung der PFAS erreicht werden kann. Die Forscher verwendeten zwei Temperaturstufen: 860 Grad Celsius, entsprechend den europäischen Standards für die Hausmüllverbrennung und 1.095 Grad Celsius, wie sie bei der Verbrennung von gefährlichem Abfall üblich sind. In beiden Fällen betrug die Mindestverweilzeit der Abgase in der Brennkammer zwei Sekunden (17. BImSchV, § 6 u. 7 (1, 2, 3)) /24/.

Die Ergebnisse der Studie sind bemerkenswert: Bei 860 Grad Celsius und einer Verweilzeit von zwei Sekunden wurde ein Abbaugrad von über 99,99 Prozent erreicht. Dies bedeutet, dass die meisten Fluorpolymere unter diesen Bedingungen nahezu vollständig mineralisiert werden konnten. Interessanterweise ergab die Verbrennung bei 1.095 Grad Celsius keinen signifikanten zusätzlichen Abbau. „Eine Verbrennung bei 1 095 Grad Celsius hat den Abbaugrad nicht signifikant erhöht. Das legt nahe, dass eine höhere Temperatur keinen wesentlichen Einfluss auf die Mineralisierung der Fluorpolymere hat“, sagte Gehrman.

Für die Verbrennungstests wurde eine repräsentative Mischung von Fluorpolymeren gewählt, die etwa 80 Prozent der weltweit genutzten Fluorpolymere abdeckt. Dazu gehören unter anderem Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyvinylidenfluorid (PVDF), Perfluoralkoxy-Polymere (PFA) und Fluorkautschuk (FKM).

Der Verfasser ist nicht genug Chemiker, um sicher beurteilen zu können, dass diese Ergebnisse für die genannten Flurpolymere auch 1:1 auf die nicht-Polymere (syn. Monomere) zu übertragen sind, zu denen alle per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen gehören.

Wenn sich die Ergebnisse des KIT für alle PFAS bestätigen sollten, wäre dies eine sehr gute Nachricht für die Umwelt, denn de facto arbeiten alle der aktuell 66 Müllverbrennungsanlagen und 29 Klärschlammverbrennungsanlagen in Deutschland (Angaben UBA) in diesem Temperaturbereich von 850 – 950 °C mit 2 Sekunden Verweilzeit gemäß der 17. BImSchV /24/. Dies wäre zum einen gut für die sichere Zerstörung der PFAS im Haus- und Gewerbemüll, wie auch im Klärschlamm und zum anderen eröffnete es (allerdings begrenzte) Mitbehandlungsmöglichkeiten für PFAS-haltiger Abfälle (i. W. Böden).

5.2 Weiterentwicklungen in der Bodenwäsche

In den vergangenen Jahren wurde in der Literatur über zwei große und erfolgreiche Bodensanierungen berichtet; den In-Campus Ingolstadt /25, 26/ und den NATO-Flugplatz Wittmundhafen /27/. Beide Standorte mit PFAS-Verunreinigungen hatten Kies-Sand als Hauptbodenart (Ingolstadt) und Sand (Wittmundhafen). Eine Grundlage für den Sanierungserfolg war der geringe Feinkornanteil des Donaukieses, der in Ingolstadt in der Größenordnung von lediglich 5 – 7 M.-% lag. Dennoch mussten ca. 33.000 t d. h. 8,6 M.-% der Gesamtmenge von ca. 383.000 t als Filterkuchen > Z2 bis DK III entsorgt werden, was einen nicht unerheblichen Kostenfaktor darstellte. Es galt als Voraussetzung für eine erfolgreiche Bodenwäsche, dass der Feinanteil (i. W. Schluff) ein gewisses Maß nicht übersteigt. Die war z. B. auch in Wittmundhafen mit ca. 86 M.-% Sand, 3 M.-% Kies und 11 % Feinanteil der Fall /28/. Der Feinanteil hatte PFAS-Gehalte > Verwertungskategorie 3 (> VK 3) nach BMUV-Leitfaden PFAS Bewertung /1/.

Gemäß der Aussage von Dr. Benjamin Faigle von Züblin, ausgewiesener Fachmann auf dem Gebiet der Bodenwäsche, auf dem Expertenfachgespräch zu PFAS-haltigen mineralischen Abfällen des Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz im Juli 2025 in München, hat sich diese Grenze zwischenzeitlich verschoben. Auf Grundlage der seit dem Projekt In-Campus Ingolstadt (ab 2018) /25/ gewonnen Erfahrungen, hat sie sich deutlich in Richtung gemischtkörniger, bindiger Boden mit Feinkornanteilen ($\leq 0,063$ mm) von bis zu 30 M.-% verlagert. Allerdings steigt damit der Waschaufwand, die Anteile des zu entsorgenden Filterkuchens und insgesamt die Kosten, sodass eine erfolgreiche Bodenwäsche nach wie vor nur bei überwiegend rolligen Böden sinnvoll ist. Für die Bodenwäsche gut geeignet, sind Böden mit glatten Oberflächen (gerundeter Sand/Kies). Wiederum nicht gut geeignet, sind Böden mit porösen Oberflächen. Das Waschergebnis ist nicht völlig PFAS-frei (PFAS-Restbelastung). Die Verwertungskategorie 1 (VK 1) wird i.d.R. erreicht, VK 0 (halber VK 1-Wert nach Bay. Leitlinien PFAS Bewertung /4a/, Anm.: VK 0 in Versionsnummer: 05 gestrichen) wird i.d.R. nicht erreicht /29/.

6. Literatur

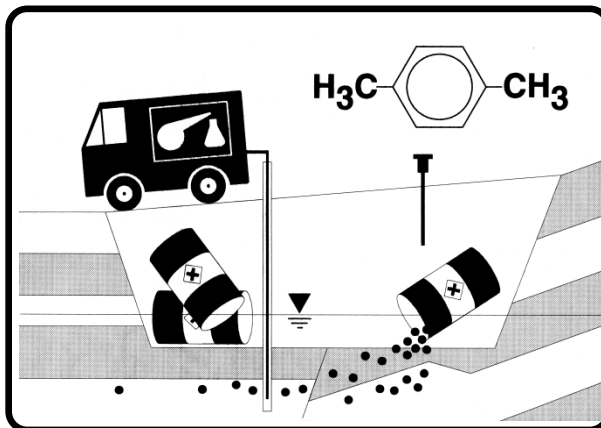
- /1/ Preuß, R. (2024): Der besondere Schadstoff PFAS (Die Ewigkeits-Chemikalien). SBB Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin. <https://www.sbb-mbh.de/fileadmin/media/publikationen/seminarunterlagen/>.
- /2/ Forster, H. (2024): Entsorgung PFAS-haltiger Abfälle auf Deponien – Lösung oder nur Verlagerung von Problemen? IAG Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft. 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar 2024. Der Vortrag musste krankheitsbedingt ausfallen. Unveröffentlicht.
- /3/ BMUV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung Stand 21.02.2022, Bonn.
- /4/ Bayerisches Landesamt für Umwelt (2025): Leitlinien zur Bewertung von PFAS. Stand: September 2025, Versionsnummer: 05, Augsburg.
- /4a/ Bayerisches Landesamt für Umwelt (2025): Leitlinien zur Bewertung von PFAS. Stand: Februar 2025, Versionsnummer: 04, Augsburg.
- /5/ LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser. Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) Redaktionsschluss: 28.07.2017.
- /6/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert worden ist.
- /7/ Verordnung EU 2019/1021 EU-POP-VO (2019): Verordnung des Europäischen Parlamentes und den Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung). Erstmalige Nennung PFOA und PFHxS im Anhang IV am 10.06.2023. Zu Anhang IV der POP-VO s. a. /8/ und /9/.
- /8/ LAGA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall (2024): Vollzugshilfe zur Umsetzung der abfallrechtlichen Vorgaben der EU-POP-Verordnung. Grundlagen und Anwendungsbereiche (LAGA Mitteilung 41)
- /9/ LAGA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall (2024): Technische Hinweise zur Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit.
- /10/ Regierungspräsidien Baden-Württemberg (2024): Ablaufschema Deponierung von PFAS-haltigem Bodenaushub. Stand März 2024. <https://rp.baden-wuerttemberg.de/>.
- /11/ Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (2023): Einstufung von Böden, die mit PFAS (Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) kontaminiert sind - Abgrenzung gefährlicher / nicht gefährlicher Abfall in Rheinland-Pfalz (1. Auflage Juni 2023).
- /12/ Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreis Rastatt / Ingenieurbüro Roth & Partner (2021): Versuchsanlage zur Reinigung mit PFAS-belastetem Sickerwasser. Durchführung eines Versuchsbetriebs zur Reinigung von PFC belastetem Sickerwasser aus der Deponie Hintere Dollert auf der Gemarkung Gaggenau Oberweier, Abschlussbericht vom 26.04.2021.
- /13/ Jedele und Partner (2013): Untersuchungen zum Verbleib von PFT-Verbindungen in abgelagerten Bodenmaterial und im Sickerwasser der Deponie Burghof im Landkreis Ludwigsburg. https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/153337/projekt26_bericht.pdf/.
- /14/ AAV Verband für Flächenrecycling und Altlastensanierung / Arcadis Germany GmbH (2024): Untersuchungen zur Immobilisierung PFAS-kontaminierter Böden Entwicklung und Erprobung neuer Technologien und innovativer Verfahren zur Sanierung von Altlasten und schädlichen Bodenverunreinigungen. <https://www.aav-nrw.de/media/pages/neuigkeiten/untersuchungen-zur-immobilisierung-pfas-kontaminierter-boeden/>.

-
- /15/ Reinhard, M., Gass, M. (2025): Untersuchungen zur Immobilisierung PFAS-kontaminierter Böden für die Deponierung – Ergebnisse aus einem AAV-Forschungsvorhaben. In diesem Seminarband ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Band 48.
- /16/ AGR Abfallentsorgungsgesellschaft Ruhrgebiet/ZDE Zentraldeponie Emscherbruch (2024): Durchführung von Versuchen zur Schaffung einer Ablagerungsmöglichkeit von PFAS-belastetem Bodenmaterial auf Deponien. <https://www.deponie.ruhr/zde/news/details/durchfuehrung-von-versuchen-zur-schaffung-einer-ablagerungsmoeglichkeit-von-pfas-belastetem-bodenmaterial-auf-deponien/>.
- /17/ Niewerth, S. (2025): Innovativer Flächenfilter für die Sicherung PFAS-belasteter Böden in der Deponie oder im Feld. In diesem Seminarband ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Band 48.
- /18/ Benkeser, M., Greinacher, D., Reinhard, M. (2023): Das PFAS-Sanierungsprojekt Bühl – Bußmatten - Ingenieurtechnische, rechtliche und kommunale Aspekte – 23. Karlsruher Altlastenseminar. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 43.
- /19/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25. Februar 2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist".
- /20/ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).
- /21/ Garz, B. (2021): PFC-Flächenmanagement am Beispiel ehemaliger Militärflugplätze. Altlasten 2021. Aus Altlasten und Schadensfällen lernen, von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 39.
- /22/ Umweltbundesamt (2025): <https://www.umweltbundesamt.de/pfas-sanierung-in-boeden-grundwasser> (18.03.2025).
- /23/ KIT Karlsruher Institut für Technologie (2024): Presseinformation https://www.kit.edu/kat/pi_2024_078_Keine-signifikanten-PFAS-Emissionen-durch-Abfallverbrennung.php. Studie veröffentlicht in: Fachmagazin Chemosphere, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143403
- /24/ 17. BImSchV (2013) Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV) vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 1021, 1044, 3754), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Februar 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 43) geändert worden ist"
- /25/ Ernst, A., Brozio, D. (2019): On-Site PFC- und MKW-Bodensanierung durch Bodenwäsche und nachgeschalteter Waschwasserreinigung Altlasten 2019. Aus Altlasten und Schadensfällen lernen, von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 35.
- /26/ Baur, J. (2021): Entsorgung von PFC- und MKW belasteten Böden – Bodenwäsche contra Deponie. Altlasten 2021. Aus Altlasten und Schadensfällen lernen, von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 39.
- /27/ Heine, K. (2024): PFAS Sanierung auf dem NATO Flugplatz Wittmundhafen. Altlasten 2024. Aus Altlasten und Schadensfällen lernen, von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 45.
- /28/ Faigle, B., Volz, B. (2024): PFAS Bodenwäsche – Möglichkeit und Grenzen. Altlasten 2024. Aus Altlasten und Schadensfällen lernen, von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 45.

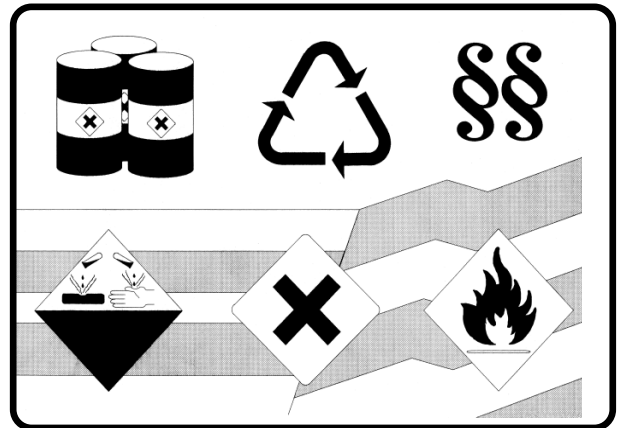
/29/ Expertenfachgespräch & fachlicher Austausch zu PFAS-haltigen mineralischen Abfällen, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) in München am 14.07.2025.

Begutachtung · Erkundung · Planung · Überwachung

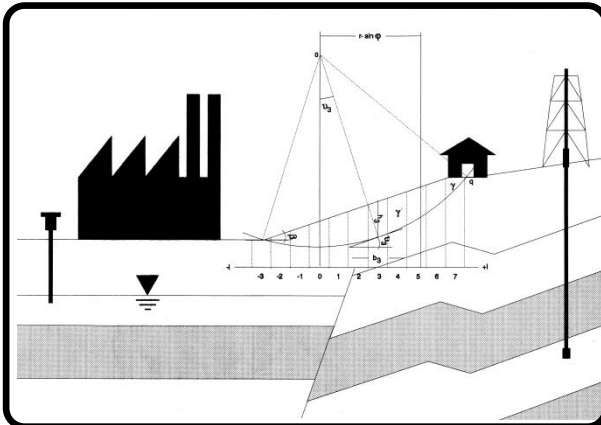
Altlasten



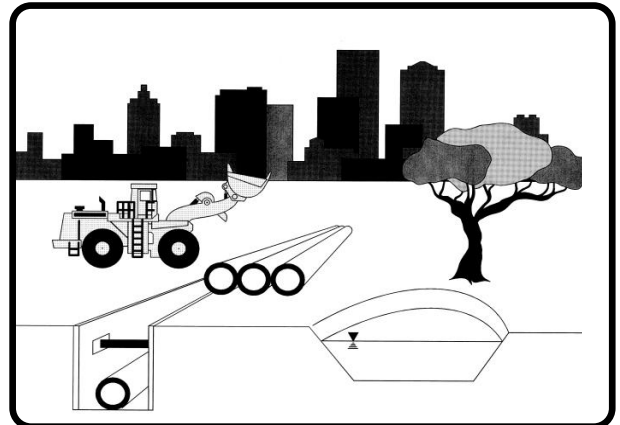
Abfallwirtschaft / Umwelttechnik



Geotechnik



Kommunaler Tiefbau / Infrastruktur- planung / Bauen im Bestand



Hauptsitz: ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH

Auf der Breit 11 • D-76227 Karlsruhe • Tel. +49(0)721/94477-0

E-Mail: icp@icp-ing.de • <https://icp-ing.de>

www.akgws.de

AK GWS
ARBEITSKREIS GRUNDWASSERSCHUTZ



*Fordern Sie den hohen Standard
des AK GWS für Ihre Bauwerke!*

Der AK GWS unterstützt im Bereich des Umwelt- und Grundwasserschutzes die Realisierung von sicheren Bauweisen unter Verwendung von Geokunststoffen sowie von Rohren, Schächten und Bauteilen aus Kunststoffen.



Initiative

Auf Initiative des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie wurde bereits **1989** für die Bereiche



- Bau von Abfallentsorgungsanlagen,
- Sicherung und Sanierung von Altlasten

zur Sicherstellung einer qualifizierten Ausführung die Überwachungsgemeinschaft „Bauen für den Umweltschutz“ e.V. gegründet.

Aufgabe

Der Schutz der Umwelt unter Einbeziehung qualifizierter Bau- und Dienstleistungen ist in einer Zeit sich verschärfen-der Haftungsrisiken für Auftraggeber und Auftragnehmer eine zwingende Notwendigkeit. Mehr als in anderen Bereichen sind beim Bauen für den Umweltschutz vor- und nachsorgend qualifizierte Leistungen erforderlich. Auch im WHG und KrWG („Entsorgungsfachbetriebe“) sind Fachbetriebskonzeptionen installiert.

Qualifizierte Umsetzung

Zentrale Grundforderungen beim Bauen für den Umweltschutz und beim Einsatz der Umwelttechnik sind die Umweltverträglichkeit und die Einhaltung von Sicherheitsstandards. Dies erfordert schlüssige Konzepte, fachkundige Planungen und qualifizierte Ausführungen. Eingangsvoraussetzung ist die betriebliche Eignung und damit die Qualitätsbefähigung des Auftragnehmers. Diese Voraussetzung erfüllen anerkannte Fachbetriebe der Überwachungsgemeinschaft BU.

Überwachungszeichen

Nur der anerkannte Fachbetrieb ist berechtigt, das vom Verein verliehene Betriebsstätten-bezogene Überwachungszeichen zu führen. Dem Auftraggeber wird so die Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Auftragnehmers transparent gemacht. Die in der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB), Teil A, vom Auftraggeber bei Ausschreibungen und Vergabe geforderte Prüfung der Eignung der Bewerber kann damit wesentlich vereinfacht werden, wie aktuelle Ausschreibungen belegen.

Fachbetriebsüberwachung

Anerkannte Fachbetriebe unterliegen der Eigen- und Fremdüberwachung durch unabhängige Sachverständige. Gewerk- und leistungsunabhängig muss jeder Fachbetrieb die betriebliche Grundqualifikation nachweisen. Diese sieht vor, dass Fachbetriebe über

- qualifiziertes Personal,
- geeignete Organisationsstrukturen,
- notwendige Vorschriften, Normen und Gesetze und
- die für die Tätigkeiten notwendige Ausstattung an Werkzeugen und Gerätschaften verfügen.

Kontakt: Prof. Dr.-Ing. Horst Görg

Göttelmannstraße 13 A, 55130 Mainz,
Tel.: 06131/22 86 01

www.bu-umwelt.de; E-Mail: zentrale@bu-umwelt.de

Neues Leistungsspektrum

Die Überwachungsgemeinschaft BU gilt als der führende Fachverband für Deponiebauunternehmen. Die dort zertifizierten Betriebe haben sehr viel Know-how und tolle Referenzen vorzuweisen, sind geschult im Umgang mit den passenden Baugeräten für mineralische und bituminös gebundene Abdichtungsmaterialien und die Vielzahl von sonstigen Materialien wie Kunststoffe und Geotextilien. Doch die Deponiebaumaßnahmen werden immer seltener. Nicht, dass keine Deponien mehr gebraucht würden, ganz im Gegenteil. Der Deponiebedarf ist hoch und die Anfahrtswege werden immer länger, auch ohne Massenverschiebungen von der Verwertung in die Beseitigung durch die Mantelverordnung. Doch der vermeintliche Widerstand in der Bevölkerung lässt Vorhabensträger zurückschrecken.

Außerhalb des Deponiebaus gibt es aber eine Nachfrage nach „ähnlichen“ Gewerken. Daher haben wir Bereiche identifiziert, bei denen die qualifizierte Herstellung von Dichtflächen und Abdichtungen im Erd- und Wasserbau - z.B. Straßenbaumaßnahmen in Wasserschutzzonen - mit Materialien aus Kunststoffen, Betonschutzplatten, Geotextilien und mineralischen Produkten oder in Asphaltbauweisen gehören, wie beispielsweise für Haldenabdeckungen, Böschungssicherungen, aber auch solche für Kläranlagen und Tunnelbauwerke. Die Sanierung und der Neubau von Dämmen und Deichen, der Bau von Rückhalte- und von Versickerungseinrichtungen, wie Becken, Rigolen und Schächte sind weitere Bereiche, die nun von BU im neuen Leistungsbereich „D - Bauausführungen zum Gewässerschutz“ zertifiziert werden.

A Betriebliche Grundqualifikation

B Deponiebau und -sanierung

- B 1 Bau von Oberflächen- und Basisabdichtungen
- B 2 Bau vertikaler Deponieabdichtungen
- B 3 Bau von Deponiegasfassungen
- B 4 Bau von Sickerwasserfassungen
- B 5 Rückbau, Stilllegung und Sanierung von Deponien
- B 6 Sonstige Bauweisen und -verfahren

C Flächenrecycling und Altlastensanierung

- C 1 Erdbau und Landschaftsgestaltung
- C 2 Selektiver Rückbau
- C 3 Herstellung von Ersatzbaustoffen und Konditionierung von Abfallstoffen
- C 4 Bau von Einkapselungen
- C 5 Hydraulische Maßnahmen
- C 6 Baugrund- und Bodensanierung (in-situ, on-site)
- C 7 Stationäre Anlagen (off-site; chemisch-physikalische, thermische, mikrobiologische Verfahren)

D Bauausführung zum Gewässerschutz

- D 1 Dämme und Deiche
- D 2 Rückhalteeinrichtungen
- D 3 Abdichtungen im Erd- und Wasserbau
- D 4 Versickerungseinrichtungen

E Sonderleistungen

- E 1 Projektierung
- E 2 Analytische Untersuchungen
- E 3 Stoffstrommanagement

Bücher im ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt

- Band 01** Abfallverwertung oder Abfallbeseitigung? ISBN 3-9806840-0-8.
- Band 02** Altlasten 2000: ISBN 3-9806840-1-8.
- Band 03** Egloffstein, Th. (2000): Der Einfluss des Ionen-austausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien, Oktober 2000, ISBN 3-9806840-1-6.
- Band 04** Altlasten2001: ISBN 3-9806840-3-2.
- Band 05** Altlasten 2002: ISBN 3-9806840-4-0.
- Band 06** Altlasten 2003: ISBN 3-9806840-5-9.
- Band 07** Altlasten 2004: ISBN 3-9806840-6-7.
- Band 08** Erneuerbare Energien. Februar 2004, 225 Seiten.
- Band 09** New advances on contaminated sites and waste disposal. China. Oktober 2004, 206 Seiten, ISBN 3-9806840-8-3.
- Band 10** Altlasten 2005: ISBN 3-9806840-7-5.
- Band 11** Altlasten 2006: ISBN 3-9806840-9-1.
- Band 12** Altlasten 2007: ISBN 978-3-939662-00-6.
- Band 13** Deponien und Altlasten 2007: ISBN 978-3-939662-01-3.
- Band 14** Altlasten 2008: ISBN 978-3-939662-03-7.
- Band 15** Deponien und Altlasten 2008: ISBN 978-3-939662-04-4.
- Band 16** Altlasten 2009: ISBN 978-3-939662-05-1.
- Band 17** Deponie- und Altlasten 2009: ISBN 978-3-939662-06-8.
- Band 18** Altlasten 2010: Aktive und passive Grundwassersanierung – innovative Verfahren/MNA|Grundwasser -/Ersatzbaustoffverordnung (aktuelle Entwürfe)
Vorsorgender Grundwasserschutz versus Recycling & Verwertung?
ISBN 978-3-939662-07-5.
- Band 19** Deponie- und Altlasten 2010: Die Umsetzung der neuen Deponieverordnung, ISBN 978-3-939662-08-2.
- Band 20** Altlasten 2011: Boden- und Grundwasserschutz im Zeichen der Kreislaufwirtschaft – die umweltverträgliche Verwertung von Abfällen. ISBN 978-3-939662-09-9.
- Band 21** Deponie- und Altlasten 2011: Praktische Erfahrungen im Vollzug der neuen Deponieverordnung. ISBN 978-3-939662-10-5.
- Band 22** Altlasten 2012: Aus Altlasten lernen, Präventivkonzepte zur Vermeidung von Neulasten – Von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz, ISBN 978-3-939662-11-2.
- Band 23** Deponie- und Altlasten 2012: Erstes dt. AbfG Abfallbeseitigungsgesetz. 1972 – Neues Kreislaufwirtschaftsgesetz 2012, ISBN 978-3-939662-12-9

- Band 24** Deponie und Altlasten 2013: Das Ziel hoher Verwertungsquoten um jeden Preis? ISBN 978-3-939662-13-6.
- Band 25** Altlasten 2014: Alte und neue Gefahren in der Altlastenbearbeitung - Von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-14-3.
- Band 26** Deponie und Altlasten 2014 - Planung und Bau neuer Deponien: Drohen Entsorgungsengpässe auf Deponien in Deutschland? ISBN 978-3-939662-15-0.
- Band 27** Altlasten 2015 - Aus Altlasten lernen - von der Altlasten-sanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-16-7.
- Band 28** Deponie und Altlasten 2015 - Planung und Bau neuer Deponien: Von Klimaschutzmaßnahmen für Altdeponien bis zum Bedarf an neuen Deponien für gering belastete mineralische Abfälle, ISBN 978-3-939662-17-4.
- Band 29** Altlasten 2016 - Aus Altlasten lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-18-1.
- Band 30** Deponie und Altlasten 2016 - Planung und Bau neuer Deponien: Zukünftige Deponiekapazitäten / mögliche Auswirkungen der Mantelverordnung - praktischer Umgang mit bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS). ISBN 978-3-939662-19-8.
- Band 31** Altlasten 2017 - Aus Altlasten lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-20-4
- Band 32** Deponie- und Altlasten 2017 - Planung und Bau neuer Deponien: Schaffung neuen Deponieraums, Deponie auf Deponie, Deponierückbau, Umgang mit Natur- und Artenschutz. ISBN 978-3-939662-21-1.
- Band 33** Altlasten 2018 - Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-22-8.
- Band 34** Deponie- und Altlasten 2018 - Planung und Bau neuer Deponien: Schaffung von neuem Deponieraum, Genehmigungsprozesse, Nachnutzung von Deponien, freigemessene nicht-radioaktive Abfälle, Entlassung aus der Nachsorge. ISBN 978-3-939662-23-5.
- Band 35** Altlasten 2019 - Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-24-2.
- Band 36** Deponie- und Altlasten 2019 - Planung und Bau neuer Deponien: Aktuelles aus Politik und Praxis, Deponie auf Deponie, Schaffung von neuem Deponieraum, Genehmigungsprozesse, Deponierückbau. ISBN 978-3-939662-25-9.

- Band 37** Altlasten 2020 - Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-26-6.
- Band 38** Deponie- und Altlasten 2020 - Planung und Bau neuer Deponien. ISBN 978-3-939662-27-3.
- Band 39** Altlasten 2021 - Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-28-0.
- Band 40** Deponie- und Altlasten 2021 - Planung und Bau neuer Deponien: Landschaftsbauwerke statt Deponien - Freimessung mineralischer Kernkraftwerksabfälle - Entsorgung asbesthaltiger Bauschutt - Klimaschutzmaßnahmen auf Deponien - Untertagedeponien. ISBN 978-3-939662-29-7.
- Band 41** Altlasten 2022 - Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-30-3.
- Band 42** Deponie- und Altlasten 2022 - Planung und Bau neuer Deponien: Marktsituation und Marktmechanismen bei Deponien, Bemessung von Rekultivierungsschichten, Umgang mit PFC-verunreinigten Böden, Deponiekonzepte weltweit – Systemvergleiche, Stand der Technik bei der Untertageentsorgung. ISBN 978-3-939662-31-0.
- Band 43** Altlasten 2023 - Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-32-7.
- Band 44** Deponie- und Altlasten 2023 - Planung und Bau neuer Deponien: Entwicklungen im Deponierecht, Genehmigungsprozesse, PFAS in der Umwelt, vom Deponie- zum Solarstandort, Illegale Abfallentsorgung im Ausland. ISBN 978-3-939662-33-4.
- Band 45** Altlasten 2024 - Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz. ISBN 978-3-939662-34-1.
- Band 46** 34. Karlsruher Deponien- und Altlastenseminar 2024 – Abschluss und Rekultivierung von Deponie und Altlasten - Planung und Bau neuer Deponien ISBN 978-3-939662-35-8.

- Band 47** Altlasten 2025 – Aus Altlasten und Schadensfällen lernen – von der Altlastensanierung zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz.
ISBN 978-3-939662-36-5.
- Band 48** 35. Karlsruher Deponien- und Altlastenseminar 2025 – Abschluss und Rekultivierung von Deponie und Altlasten - Planung und Bau neuer Deponien
ISBN 978-3-939662-37-2.

Erhältlich beim ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt

Auf der Breit 11, D-76227 Karlsruhe

Tel: +49(0)721 / 94477-0

E-Mail: eigenverlag@icp-ing.de

<https://icp-ing.de> oder im Buchhandel