

E 1-11 Schadstoffrückhaltevermögen mineralischer Barrieren

April 2019

1 Allgemeines

Je nach Schadstoffgehalt im Feststoff und im Eluat werden zu deponierende Abfälle und Deponieersatzbaustoffe unterschiedlichen Deponieklassen (DK 0 bis DK III) zugeordnet. Mit zunehmendem Inventar an festen und potenziell auslaugbaren Schadstoffen sowie Gesamtkohlenstoff (TOC) im Deponat steigen die Anforderungen an die Abdichtungssysteme (siehe DepV 2009):

- Auf DK 0 – Deponien wird inertes Material mit geringem Gesamtgehalt an eluierbaren Stoffen abgelagert. Es bedarf einer geologischen Barriere, jedoch keiner Basisabdichtung.
- Deponien der DK I (z.B. Erdstoffdeponien) sind mit einer bzw. DK II-Deponien (z.B. MBA-Output) sind mit zwei Abdichtungskomponenten auszustatten.
- Auf DK III – Deponien werden Abfälle mit erheblichen Schadstoffgehalten (auch im Eluat) abgelagert. Entsprechend hohe Anforderungen werden an die Abdichtungskomponenten und die geologische Barriere gestellt.

Dem entsprechend besteht für die verschiedenen Deponieklassen ein jeweils unterschiedlicher Anspruch an das Schadstoffrückhaltevermögen der Barrieren.

Während an die mineralische Oberflächenabdichtung keine Anforderungen an das Schadstoffrückhaltevermögen gestellt werden, dienen die Barrieren an der Deponiebasis dazu, die Ausbreitung von Schadstoffen in Boden und Grundwasser zu verhindern.

An der Deponiebasis wird dies durch die folgenden Systemkomponenten bewirkt:

- Mineralische Entwässerungsschicht zur Ableitung des Deponiesickerwassers (E 3-12, E 4-02, E 5-06),
- Abdichtungskomponente(n) (E 2-03, E 3-01, E 3-03, E 5-02) und
- Geologische Barriere im Untergrund der Deponie (E 1-01).

In der vorliegenden Empfehlung wird das Schadstoffrückhaltevermögen in der geologischen Barriere thematisiert.

2 Geologische Barriere und Schadstoffrückhaltevermögen in Regelwerken

Eine geologische Barriere soll aufgrund ihrer Eigenschaften (geringe Durchlässigkeit, bis zu mehreren Meter Mächtigkeit, hohes Schadstoffrückhaltepotenzial) die Schadstoffausbreitung maßgeblich behindern. In der DEPONIEVERORDNUNG (DepV 2009) werden Mindestanforderungen an die Wasserdurchlässigkeit und die Schichtstärke der geologischen Barriere (mindestens 1 m bei DK0-, DK I-, DKII-Deponien, bzw. 5 m bei

DKIII-Deponien) quantifiziert.

Die nach DepV geforderten Durchlässigkeitsbeiwerte für die geologische Barriere von $k \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s für DK 0 bzw. $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s für die übrigen Deponieklassen sind im natürlichen Untergrund selten vorhanden. Daher lässt es die DepV zu, dass die geologische Barriere durch technische Maßnahmen vervollständigt, verbessert oder sogar geschaffen werden kann.

Darüber hinaus wird in der DepV beschrieben (jedoch nicht quantifiziert), dass die geologische Barriere auch aufgrund des Schadstoffrückhaltevermögens eine Schadstoffausbreitung aus der Deponie maßgeblich behindern soll. Der geologischen Barriere wird somit nicht nur eine abdichtende sondern auch eine retardierende Funktion zugeschrieben.

Die Hauptaufgabe der geologischen Barriere ist es demzufolge, alle bodenmechanischen Belastungen aus der Deponie aufzunehmen und beim Versagen der primären Sicherungssysteme (Basisdrainage und -abdichtung) die Ausbreitung und die Konzentration der Schadstoffe zu minimieren.

Mineralische Abdichtungsschichten weisen ebenfalls ein Schadstoffrückhaltevermögen auf. Es variiert je nach Tonmineralanteil und -art. Es besteht die Möglichkeit, in tonmineralogisch orientierten Kombinationen gezielt Schichten mit hohem Schadstoffrückhaltevermögen einzubauen (siehe E 2-38). Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt für den Schadstoffrückhalt ist der Abstand zwischen der Deponiebasis und dem Grundwasserspiegel von mindestens einem Meter.

3 Prozesse der Schadstoffausbreitung und -rückhaltung

Für die Stoffausbreitung von in Deponiesickerwässern gelösten Schadstoffen sind zwei Prozesse relevant:

- Advektion (abhängig vom hydraulischen Gradienten und vom Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenschichten),
- Diffusion (abhängig vom Konzentrations-Gradienten und dem Diffusionskoeffizienten).

Der Schwerpunkt der Deponieplanung zur Schadstoffrückhaltung liegt in der Minimierung des konvektiven und diffusiven Schadstofftransports durch entsprechende Entwässerungs- und Abdichtungskomponenten. Die geologische Barriere soll zusätzlich der langfristigen Schadstoffrückhaltung dienen.

Die Stoffrückhaltung erfolgt im Untergrund durch verschiedene komplexe chemische und physikalische Prozesse, die auf lange Sicht zum Teil reversibel sind (z.B. Adsorption / Desorption).

Die Wechselwirkungen der Deponie-Inhaltsstoffe mit Ton- und anderen Kontaktmineralen beschreiben TADJERPISHEH & KOHLER in HILTMANN & STRIBRNY (1998). Demnach finden folgende Prozesse statt:

- Ionenaustausch: Kationen an der Mineraloberfläche werden gegen kationische Sickerwasserinhaltsstoffe ausgetauscht. Der Anionenaustausch spielt

eine nur untergeordnete Rolle.

- Koagulation: Mehrwertige anorganische Kationen bilden Aggregate.
- Auflösung: Säuren führen zur Auflösung von meist karbonatischem Porenzement oder sonstigen karbonatischen Bestandteilen. Mobilisierung von Schwermetallen.
- Fällung: Ausfällung z.B. von karbonatischen Verbindungen an anderer Stelle.
- Oxidation von Eisensulfiden: Bildung von adsorptiven Hydroxokomplexen auf (Kluft-)Oberflächen.
- Mineralneu- und -umbildung.
- Adsorption und Desorption: Anlagerung von gelösten organischen und anorganischen Verbindungen und Ionen in Abhängigkeit von Tonmineraltyp und sonstigen Begleitsubstanzen.

In Tabelle 1 sind die Prozesse der Stoffrückhaltung zusammengestellt, wobei die rechte Spalte wichtige Einflüsse enthält, die bei der fallspezifischen Beschreibung der Prozesse zu berücksichtigen sind.

Tabelle 1-11.1: Für das Rückhaltevermögen eines Bodens gegenüber wassergelösten Stoffen relevante Prozesse

Prozesse	zu berücksichtigende Einflüsse
<ul style="list-style-type: none"> - advektiver Stofftransport - molekulare Diffusion - Filtration - Fällung - Adsorption (bei niedrigen Konzentrationen, hauptsächlich Ionenaustausch) - Desorption - Spezifische Bindung / Mineralneubildung (Einbau im Inneren der Strukturen, langsamer Prozess) - chemischer und biologischer Abbau (aerob, anaerob) 	<ul style="list-style-type: none"> - Hydraulischer Gradient - Wasserdurchlässigkeit - Schadstoff-Konzentrationsgefälle - Löslichkeit - Temperatur - pH-Wert - Redoxbedingungen - geochemisches Milieu - Kationenaustauschkapazität (KAK) des Bodens - Porenraumstruktur (Porendurchmesser und -größenverteilung sowie Tortuosität) - zeitliche Entwicklung der Einflüsse

4 Inhaltsstoffe in Deponiesickerwässern und ihre Wechselwirkung mit der geologischen Barriere

Je nach Deponieklasse, Art der angelieferten Abfälle, Alter der Ablagerungen, Einbauweise sowie klimatischen und sonstigen Verhältnissen am Standort unterscheiden sich die Sickerwässer in ihrer Zusammensetzung und Konzentration.

Die tatsächliche Sickerwasserbeschaffenheit lässt sich nicht mit den Eluat-Zuordnungswerten nach DepV gleichsetzen. Diese geben allenfalls einen ersten Anhaltspunkt, mit welchen Stoffen und welchen Größenordnungen im jeweiligen Deponiesickerwasser zu rechnen ist.

Seit dem Verbot der Einlagerung biologisch aktiver Abfälle im Jahre 2005 sind auf neuen Deponien oder Deponieabschnitten mit Ausnahme von einzelnen DKIII-Deponien die organischen Verbindungen von untergeordneter Bedeutung.

Stattdessen können in Deponien der Klasse DK II erhöhte Salzkonzentrationen in den Vordergrund treten (gemäß LANUV-Fachblatt 24 insbesondere Sulfat). Aufgrund des meist neutralen bis alkalischen Sickerwassers spielen Schwermetalle eine nur untergeordnete Rolle. Industrieabfälle hingegen können zu erhöhten Schwermetallkonzentrationen führen.

In DK I-Deponien gelangt durch Bauschutt vermehrt Sulfat ins Sickerwasser. Kraftwerksreststoffe führen zu erhöhten Sulfat- und Chloridgehalten.

Auf DK 0-Deponien wird nur inertes Material mit geringem Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen und minimalen Schwermetallgehalten im Eluat abgelagert. Dem entsprechend ist hier mit gering mineralisiertem, schadstoffarmem Sickerwasser zu rechnen.

In Bezug auf Barrierewirkung und Rückhaltung sind diese in Deponiesickerwässern anzutreffenden Stoffgruppen folgendermaßen zu bewerten:

- Lösliche Salze (z.B. Sulfat, Chlorid, Alkali- und Erdalkalitionen): Diese Stoffe werden nicht bzw. nur geringfügig adsorbiert. Eine Retardation in der geologischen Barriere bzw. in Sorptionsschichten findet daher kaum statt, wie z.B. Untersuchungen des BAYER. LFU (2011) zeigen.
- Schwermetalle werden von Tonen stark retardiert. Geländestudien in Form von Aufgrabungen an Deponien (u.a. WAGNER 1992, HENKEN-MELLIES & AXMANN 2012) zeigen, dass die Migrationsraten von Schwermetallen in Tonen nach einigen Jahrzehnten bei wenigen Millimetern bis Zentimetern liegen.
- Anionisch vorliegende Parameter (z.B. Chrom, Molybdän, Arsen, Cyanid) werden dagegen von Tonen praktisch nicht adsorbiert (RADLINGER 1997, BAYER. LFU, 2011).
- Organische Substanzen dürfen auf Deponien nur noch in geringen Anteilen abgelagert werden (siehe Deponieverordnung). Der Stofftransport kann in Abhängigkeit der Wasserlöslichkeit und Stoffkonzentration diffusiv oder konvektiv erfolgen. Eine Retardation findet z.B. statt, wenn in der geologischen Barriere dispers verteilte organische Substanz enthalten ist.
- Bei Altablagerungen ist das Deponiesickerwasser häufig durch die Parameter

CSB, Ammonium, Salzgehalt / Leitfähigkeit und in Einzelfällen spezifische Stoffe wie LHKW, BTEX etc. geprägt. Schwermetalle sind hier in der Regel nicht relevant. Maßgebende Prozesse können hier unter dem Sammelbegriff „Natural Attenuation“ zusammengefasst werden. Sie umfassen natürliche Vorgänge und können je nach Gegebenheiten biologisch, chemisch oder physikalisch ablaufen.

Sofern im Einzelfall angemessen, können die Randbedingungen einer geologischen Barriere-Schicht bzw. eines mineralischen Abdichtungs- oder Dichtwandmaterials in Diffusions- und Durchlässigkeitsversuchen simuliert werden, da in diesen Versuchen die tatsächlich vorhandene Porenstruktur und die Spannungsverhältnisse im tonmineralhaltigen Material berücksichtigt werden können. Aus der Darstellung des zeitabhängigen Schadstoffdurchtritts durch die Probe lässt sich das Schadstoffrückhaltevermögen bestimmen. Diese Versuche führen zu gut übertragbaren Ergebnissen und bilden eine Grundlage für Schadstofftransportberechnungen nach E 1-10, durch die das Schadstoffrückhaltevermögen mit den anderen Komponenten (Konvektion, Diffusion) des Schadstofftransportes z. B. durch mineralische Abdichtungsschichten in Verbindung gebracht wird. Grundlagen der Diffusion und Beschreibungen experimenteller Methoden finden sich in HILTMANN & STRIBRNY (1998).

Dem Planer bieten Laborversuche zum Schadstoffrückhaltevermögen und die Ergebnisse aus den Stofftransportberechnungen Entscheidungshilfen zur Materialauswahl und insbesondere bei multimineralischen Abdichtungsschichten zur benötigten Mächtigkeit. Die E 2-38 gibt weitere Hinweise zur Auswahl tonhaltiger Abdichtungsbaustoffe.

5 Zusammenfassung und Hinweise für die Standortuntersuchung

Die Schichten der Geologischen Barriere sollten gemäß der E 1-01 untersucht werden.

Die Materialien der einzelnen Schichten des Untergrundes sind im Detail zu beschreiben. Hierzu sind die Empfehlungen E 3-01 für die Eignungsprüfung mineralischer Basisabdichtungen und E 3-03 für die tonmineralogische Charakterisierung sinngemäß anzuwenden.

Die Angabe von Richt- oder Mindestwerten zum Schadstoffrückhaltevermögen ist nicht zielführend, da sich die Barrierewirkung nicht durch einzelne Materialkennzahlen beschreiben lässt. Mehrfach wurde festgestellt, dass es je nach Untersuchungsverfahren extreme Unterschiede z.B. hinsichtlich des Sorptionsverhaltens oder der Stofffreisetzung geben kann (z.B. WAGNER 1992, BAYER, LFU 2011).

Eine letztendliche Bewertung des Schadstoffrückhaltevermögens am jeweiligen Deponiestandort unter Berücksichtigung des zu erwartenden Deponiesickerwassers ist nur mit fachgutachterlicher Expertise unter Einbeziehung der für den Schadstoffrückhalt relevanten Prozesse (siehe Tabelle 1) und dann auch nur qualitativ möglich.

Die Beurteilung der Geologischen Barriere erfordert jeweils als Einzelfallbetrachtung die Einbeziehung der geologischen und hydrogeologischen Bedingungen sowie der

Schutzgüter im Umfeld. Daher sind die weiteren Planungen immer individuell auf die jeweiligen Standortgegebenheiten abzustellen.

Literatur:

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2011: Untersuchungen zum Austragsverhalten von Verwertungsmaterialien unter Berücksichtigung der Sorptionsfunktion von Bodenschichten. 150 S., Eigenverlag Bayer. LfU, Augsburg.
- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts, vom 27.04.2009, BGBl. I, S. 900, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 27.09.2017 (BGBl. I, S. 3465)
- GDA E 1-01, 2010: Geotechnische Standortuntersuchung. – Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) - <http://www.gdaonline.de/empfehlung.html>
- GDA E 1-10, 1997: Stofftransportmodelle für die Barrierewirkung von Abdichtungsschichten. – Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- GDA E 2-03, 2016: Kombiniertes Basisabdichtungssystem. – Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) – <http://www.gdaonline.de/empfehlung.html>
- GDA E 2-38, 2017: Tonmineralogisch orientierte Kombinationen in Basisabdichtungssystemen. – Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) - <http://www.gdaonline.de/empfehlung.html>.
- GDA E 3-01, 2010: Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen. – Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) - <http://www.gdaonline.de/empfehlung.html>
- GDA E 3-03, 2010: Tonmineralogische Charakterisierung von mineralischen Basisabdichtungen. - Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) - <http://www.gdaonline.de/empfehlung.html>.
- HENKEN-MELLIES, U. & AXMANN, M, 2012: Untersuchung einer mineralischen Basisabdichtung nach 30-jährigem Deponiebetrieb. In: Müll und Abfall, Heft 8/2012, S. 406 – 411, Erich Schmidt-Verlag, Berlin.
- HILTMANN, W. & STRIBRNY, B., 1998: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 5: Tonmineralogie und Bodenphysik. -

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 297 S.
- KOHLER, E., 1993: Geotechnik und Entsorgung. In: LAGALY, G., JASMUND, K. (HRSG.), 1993: Tonminerale und Tone - Struktur, Eigenschaften, Anwendungen und Einsatz in Industrie und Umwelt. Steinkopff Verlag, Darmstadt.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN, 2010: Beschaffenheit von Deponiesickerwasser in Nordrhein-Westfalen – LANUV-Fachbericht 24. - Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN, 2010: Langzeitbeständigkeit mineralischer Deponieabdichtungen – LANUV-Fachbericht 25. - Recklinghausen.
- MAIER-HARTH, U., 1996: Bewertung und Ergänzung des „Deponieauflagers“ als Teil der „Geologischen Barriere“. – Müll und Abfall, 28, 100-109. Erich Schmidt-Verlag, Berlin.
- RADLINGER, P., 1997: Geologische Barriere und mineralische Abdichtung in der Deponietechnik. Teil I: Funktionen und Funktionsbeeinträchtigungen, Teil II: Labortechnische Methoden für die Eignungsuntersuchung. – Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 98, 262 S., Erich Schmidt-Verlag, Berlin.
- TADJERPISHEH, N. & KOHLER, E., 1998: Tone und Tonminerale. In: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 5: Tonmineralogie und Bodenphysik. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York
- WAGNER, J.-F., 1992: Verlagerung und Festlegung von Schwermetallen in tonigen Deponieabdichtungen. Ein Vergleich von Labor- und Geländestudien. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, Bd. 22.

Ansprechpartner:

Dr. Beate Vielhaber
Berliner Stadtreinigung, Abteilung Projekte/Engineering
E-mail: Beate.Vielhaber@BSR.de

Maßgebliche Bearbeiter:

Dr. Beate Vielhaber, Berlin
Dr. Wolf-Ulrich Henken-Mellies, Nürnberg
Dipl.-Ing. Gerd Burkhardt, Karlsruhe
Dr. Ulrich Meier-Hardt, Mainz