

## Machbarkeitsstudie zur Oberflächenabdeckung der Plateaubereiche der ESTA-Rückstandshalde Hattorf



Auftraggeber: K+S Minerals and Agriculture GmbH  
Werk Werra  
Hattorfer Straße  
36269 Philippsthal

Stand: Dezember 2021  
Dokument: L:\2\_Projekte\A-2687 K+S\_Machbarkeitsstudie Haldenabdeckung\Bericht\A-2687  
Machbarkeitsstudie OFA Halde Hattorf 2021\_12\_03\_RBP.docx

Dieser Bericht umfasst 23 Seiten.

### Büro Essen

Carnaperhof 10  
45329 Essen  
Fon: 0201 72085-0  
Fax: 0201 72085-99  
E-mail:  
info@ap-ingenieure.de  
www.ap-ingenieure.de

### Bankverbindung:

Sparkasse Essen  
BLZ 360 501 05  
Konto 259770  
IBAN  
DE10 3605 0105 0000 2597 70  
BIC SPESDE33XXX

### Postbank Dortmund

BLZ 440 100 46  
Konto 713 006 464  
IBAN  
DE09 4401 0046 0713 0064 64  
BIC PBNDDE33

### Verwaltungssitz:

Eiland 3  
45134 Essen  
HRB Essen 13501  
Ust-IdNr. DE200038500  
Steuer-Nr:  
112/5760/1517

### Geschäftsführer:

Dipl.-Ing. Detlef Asmus  
Dr.-Ing. Marc-J. Prabucki  
Dipl.-Ing. Carsten Lesny



## Inhalt

Blatt

1	Veranlassung.....	3
2	Rechtliche Situation .....	5
3	Technische Anforderungen.....	7
3.1	Setzungsverhalten des Haldenkörpers.....	8
3.2	Viskoplastizität des Haldenkörpers .....	8
3.3	Exponierte Lage der Plateauflächen des Haldenkörpers .....	8
3.4	Böschungsneigung der Flanken des Haldenkörpers.....	9
4	Vergleich potenzieller Abdichtungssysteme für die Plateaubereiche .....	9
5	Aufbau und Bewertung des präferierten Dichtungssystems.....	11
5.1	Aufbau des Dichtungssystems .....	11
5.2	Bautechnische Umsetzung des Dichtungssystems.....	13
5.2.1	Profilierung des Haldenplateaus; Herstellung des Auflagers für die Abdichtungskomponente .....	13
5.2.2	Verlegung und Einbau der KDB, der Kunststoffdrainelemente und des Rekultivierungsbodens.....	14
5.2.3	Wasserhaltung .....	15
6	Eignungsnachweise der vorgesehenen Dichtungskomponenten.....	16
6.1	Eignungsnachweise Kunststoffdichtungsbahn .....	16
6.1.1	Schutzwirksamkeitsnachweis Kunststoffdichtungsbahn / Rückstandssalz .....	16
6.1.2	Eignung der Kunststoffdichtungsbahn als Abdichtungskomponente unter Berücksichtigung der standörtlichen Gegebenheiten der Rückstandshalden .....	17
6.2	Eignungsnachweise Kunststoffdränelement.....	17
6.3	Eignungsnachweise Rekultivierungsböden.....	17
6.4	Standssicherheit / Gebrauchstauglichkeit des Oberflächenabdichtungssystems.....	18
7	Baulogistik .....	18
8	Zukünftiges Monitoring der abgedichteten Plateaubereiche.....	19
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	19
	Quellenverzeichnis.....	21

## Abbildung

Blatt

<b>Abbildung 1:</b>	Systemaufbau eines DK I Oberflächenabdichtungssystems.....	12
---------------------	------------------------------------------------------------	----



## 1 Veranlassung

Mit der Zielsetzung der kontinuierlichen Verbesserung des Gewässerzustandes von Werra und Weser und damit einhergehend der schrittweisen Reduktion der aus der Aufhaldung der Produktionsrückstände resultierenden Umweltauswirkungen, insbesondere des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls, beabsichtigt die K+S Minerals and Agriculture GmbH (im Folgenden: **K+S**) den möglichst zeitnahen Einstieg in die Abdeckung der Rückstandshalden des Werkes Werra. Durch die Umsetzung einer Haldenabdeckung wird sowohl den Anforderungen der Bewirtschaftungsplanung der Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser) als auch den Regelungsinhalten der bestehenden Planfeststellungen zur Bewirtschaftung der Halden an den Produktionsstandorten Hattorf und Wintershall Rechnung getragen.

Als bergbauliche Abfallentsorgungseinrichtung sind auf die Rückstandshalden der Kaliindustrie die Regelungen des Bergrechtes (Bundesberggesetz, Allgemeine Bundesbergverordnung) einschlägig anzuwenden. Bisweilen lassen sich jedoch weder aus der Bergbaugesetzgebung noch aus den hierzu bestehenden technischen Bezugsdokumenten Regelungen ableiten, auf deren Grundlage sowohl ein Stand der Technik definiert als auch die Eignung des Oberflächenabdeckungssystems unter Festlegung von qualitativen sowie quantitativen Merkmalen nachgewiesen werden können.

Die Konzipierung einer den vorgenannten Anforderungen genügenden Haldenabdeckung zur Reduzierung der betriebsbedingten Umweltauswirkungen auf ein Mindestmaß erfolgt deshalb unter Rückgriff auf die Verordnungen sowie einschlägigen technischen Normen und Regelwerke des Deponiebaus (*Deponieverordnung, Bundeseinheitliche Qualitätsstandards, Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik*) als technische Bezugsdokumente, wobei die Ausführungen der Deponieverordnung (DepV) auf die Rückstandshalden der Kaliindustrie allenfalls mittelbar anzuwenden sind. Die konzeptionelle Erarbeitung des Gesamtsystems der Haldenabdeckung, bestehend aus Haldenplateau- und Flankenabdeckung, betrachtet zwei Ausbaustufen (Bauzwischen- und Endzustand), die sowohl die Zulassungsfähigkeit als auch die anforderungsgerechte Herstellung beider Systemkomponenten unabhängig voneinander ermöglichen. Das System stellt sich dementsprechend wie folgt dar:

Oberflächenabdeckungssystem im Plateaubereich, aufgebaut aus

- $\geq 1,0$  m Rekultivierungsschicht;



- Kunststoff-Drainelement als Entwässerungskomponente mit Zulassung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM);
- $\geq 2,5$  mm Kunststoffdichtungsbahn als Abdichtungskomponente mit Zulassung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM);
- profiliertes Haldenplateau

Dünnschichtabdeckung im Flankenbereich, aufgebaut aus einer Vorschüttung aus mineralischen Ersatzbaustoffen entsprechend der Tabelle 1, Spalte 2 der TR Bergbau

Die nachfolgende Machbarkeitsstudie enthält die wesentlichen Randbedingungen für die angestrebte Plateauabdeckung der Halde und definiert diejenigen Schritte, die nach derzeitigem Stand in Vorbereitung auf die geplanten Abdichtungsmaßnahmen ab voraussichtlich Sommer 2022 noch erforderlich sind.

Das Leistungsbild der Machbarkeitsstudie für die Oberflächenabdeckung lautet wie folgt:

- Anforderungen an das Oberflächenabdichtungssystem unter Berücksichtigung der standort-spezifischen Besonderheiten der ESTA-Rückstandshalden.
- Vergleich potenzieller Dichtungssysteme mit den technischen Anforderungen als Grundlage für die späteren Planungsschritte durch das Planungsbüro einschließlich der gegebenenfalls notwendigen fachlichen Erörterung mit den Genehmigungsbehörden.
- Darstellung eines technisch umsetzbaren Oberflächenabdichtungssystems mit Angabe der erforderlichen Nachweise/Untersuchungen.
- Zusammenfassung der Ergebnisse mit Ausblick auf die weiteren Arbeitsschritte für diese Maßnahmen.

Die technische Realisierbarkeit einer Flankenabdeckung aus den vorgenannten Baustoffen ist nicht Bestandteil der vorliegenden Machbarkeitsstudie.



## 2 Rechtliche Situation

Die genehmigungsrechtliche Grundlage zur Errichtung eines Oberflächenabdichtungssystems auf der Rückstandshalde am Standort Hattorf bildet der Planfeststellungsbeschluss zum Rahmenbetriebsplan HA-04/09, DVS-Nr. 3002013, des Regierungspräsidiums Kassel vom 10.10.2018 (Gz.: 34/HEF-76 d 40-11-314-30/717).

Gemäß dem zuvor genannten Zulassungsbescheid sind Kompensationsleistungen zur Reduzierung des niederschlagsbedingten Sickerwasseranfalls zu erbringen, die in ihrer derzeitigen Form durch eine lediglich temporäre Abdeckung des Haldenplateaus in Form einzelner Polderbecken erbracht werden und zukünftig durch ein dauerhaftes Oberflächenabdichtungssystem abgelöst werden soll.

Die mit bergbaulichen Vorhaben in Verbindung stehenden Maßnahmen unterliegen den Regelungen der Bergbaugesetzgebung (BBergG, ABergV). Da auf Grundlage dieser jedoch weder ein Stand der Technik definiert noch Anforderungen an die Herstellung und Bewertung eines Oberflächenabdichtungssystems abgeleitet werden können, empfiehlt sich der Rückgriff auf die Technischen Normen und Regelwerke des Deponiebaus als Erkenntnisquelle bzw. Bezugsdokumente.

Der Stand der Technik im Deponiebau, insbesondere in Hinblick auf die Anforderungen an Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme, wird im Anhang 1, Kap. 2.1.1 der

- Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung, DepV), Stand 30. Juni 2020

definiert. Die Konkretisierung der technischen Anforderungen an die Einzelkomponenten sowie des Gesamt(abdichtungs-)systems erfolgt auf Grundlage

- der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) der LAGA-ad hoc-Arbeitsgruppe „Deponietechnik“ und
- der Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik, Arbeitskreis 6 („GDA-Empfehlungen“) sowie



- des LANUV-Arbeitsblattes 13, Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme, Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung

Darüber hinaus sind beim Einbau von polymeren Abdichtungs- und Entwässerungskomponenten die Regelungen der

- Richtlinien und Zulassungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und
- Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik (DVS)

zu berücksichtigen.

Legt man die Anforderungen der Deponieverordnung an Basisabdichtungssysteme zu Grunde, sind die Rückstandshalden der Kaliindustrie des Werkes Werra aufgrund ihrer Eigenschaften und der Standortgegebenheiten als Deponien der Klasse I zu bewerten. Im Sinne der Deponieverordnung (DepV) sind nach Anhang 1, Tabelle 2 für die Herstellung eines Oberflächenabdichtungssystems von DK I Deponien eine

- erste Abdichtungskomponente;
- Entwässerungsschicht sowie
- Rekultivierungsschicht

erforderlich.

Für die Herstellung eines Oberflächenabdichtungssystems auf Kali-Rückstandshalden im Sinne einer DK I Deponie sind die nachfolgenden technischen Regelwerke heranzuziehen:

➤ **Bundeseinheitliche Qualitätsstandards:**

- Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 4-1: Trag- und Ausgleichsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen
- Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-0: Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen in Verbindung mit den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 5-1 bis 5-6



- Bundeseinheitlicher Qualitätsstandards 6-1 und 6-2: Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus natürlichen / nicht natürlichen Baustoffen
- Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1: Rekultivierungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen

Gemäß den vorgenannten technischen Normen und Regelwerken des Deponiebaus sind vor Umsetzung entsprechender Oberflächenabdichtungsmaßnahmen Eignungsprüfungen an den zum Einsatz kommenden Baustoffen durchzuführen.

➤ **Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik:**

- GDA-Empfehlung 2-31: Rekultivierungsschichten in Verbindung mit
- GDA-Empfehlung 2-32: Gestaltung des Bewuchses auf Abfalldeponien
- GDA-Empfehlung 2-30: Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien
- GDA-Empfehlung 2-07: Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen
- GDA-Empfehlung 2-20: Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen
- GDA-Empfehlung 2-36: Oberflächenabdichtungssysteme mit Tondichtungsbahnen
- GDA-Empfehlung 3-05: Probefelder für Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme
- GDA-Empfehlung 3-09: Eignungsprüfung für Geokunststoffe

Gemäß dem Stand der Technik im Deponiebau unterliegen die Maßnahmen zur Herstellung von Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen einem geregelten Qualitätsmanagement auf Grundlage der

- GDA-Empfehlung 5-01: Grundsätze des Qualitätsmanagements und des
- Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 9-1: Qualitätsmanagement - Fremdprüfung beim Einbau mineralischer Baustoffe in Deponieabdichtungssystemen und der
- BAM-Richtlinie für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle für Kunststoffkomponenten im Deponiebau

### **3 Technische Anforderungen**

Aus dem Vergleich einer Rückstandshalde der Kaliindustrie mit einem aus dem klassischen Deponiebau bekannten Deponiekörper im Sinne der DepV ergeben sich vier wesentliche Unterschiede,





die maßgeblichen Einfluss auf die Errichtung und den Betrieb einer Plateauabdeckung besitzen können und in Folge dessen besondere Anforderungen an die Oberflächenabdeckungen von Kalirückstandshalden stellen.

### 3.1 Setzungsverhalten des Haldenkörpers

Bedingt durch die Aufhaltung des Rückstandes im Flankenschüttverfahren weist das frische Rückstandssalz eine Schüttdichte von ca. 1,3 bis 1,5 Mg/m<sup>3</sup> auf. Durch die sukzessive Erhöhung des Haldenkörpers kommt es zu auflastabhängigen Setzungen. Durch diese Kompaktion des Salzes erhöht sich die Lagerungsdichte auf ca. 1,9 Mg/m<sup>3</sup>, die der natürlichen Lagerungsdichte des Steinsalzes entspricht. Entsprechend besitzt das Rückstandssalz im frischen Zustand ein Setzungspotenzial von bis zu 40 %. Die Größenordnung und der zeitliche Verlauf dieser auflastabhängigen Setzungen unterscheiden sich wesentlich von der im Deponiebau bekannten und empirisch ermittelten Zeit-Setzungslinie entsprechend den GDA-Empfehlungen 2-6, 2-16 und 2-24. Gegenüber konventionellen Abfalldeponien ist das Setzungsverhalten des Rückstandssalzes unter der zusätzlichen Auflast eines standardisierten Oberflächenabdichtungssystems als vernachlässigbar gering zu bewerten. Die aus den vorgenannten Setzungen resultierenden Anforderungen an das Oberflächenabdichtungssystem werden im **Kapitel 4** und **5** bei der Wahl des Dichtungssystems näher betrachtet.

### 3.2 Viskoplastizität des Haldenkörpers

Neben dem Setzungsverhalten des Rückstandssalzes ist ebenfalls das auflastabhängige Fließverhalten des Salzes bei der Planung und Umsetzung eines Oberflächenabdichtungssystems zu berücksichtigen. Analog zu dem Verformungsverhalten in den natürlichen Lagerstätten des Salzes findet auch bei aufgehaldetem Salz unter dem Druck des Eigengewichtes eine viskoplastische Verformung statt. Diese Verformung hat langfristig betrachtet eine Abnahme der Höhe bei gleichzeitiger Zunahme der Breite des Haldenkörpers zur Folge. Auch dieses Verhalten führt zu entsprechenden mechanischen Beanspruchungen auf das Oberflächenabdichtungssystem, welche ebenfalls im **Kapitel 4** und **5** bewertet werden.

### 3.3 Exponierte Lage der Plateauflächen des Haldenkörpers

Durch die exponierte Lage der abzudichtenden Plateauflächen der Rückstandshalde Hattorf mit im Mittel ca. 180 bis 200 m über Grund ergeben sich standorttypische Anforderungen an die





Herstellung des Oberflächenabdichtungssystems und die Auswahl und die Pflege der Rekultivierungsschicht. Insbesondere ist bei Letztgenanntem mit erhöhter Evapotranspiration, länger andauernden Trocken- und Nassperioden, aber auch tieferen Temperaturen in den Winterperioden zu rechnen. Diese äußeren Einflüsse auf das System, insbesondere auf die Auswahl des Bewuchses und auf die Notwendigkeit eines Bewässerungssystems werden im **Kapitel 4** und **5** bewertet.

### **3.4 Böschungsneigung der Flanken des Haldenkörpers**

Durch das Flankenschüttverfahren stellt sich an den Haldenflanken der natürliche Schüttwinkel des granulierten Rückstandssalzes ein. Dieser beträgt ca. 37 bis 40 Grad und lässt somit ohne weiterführende Maßnahmen kein standardisiertes Abdichtungssystem in den Böschungsbereichen zu. Damit die Möglichkeit der Abdichtung der Böschungsbereiche erhalten bleibt ist es angezeigt, einen ausreichenden Arbeitsraum zwischen dem zukünftigen Oberflächenabdichtungssystem im Plateaubereich und den Böschungsaußenkanten zu gewährleisten. Hierdurch wird die Errichtung eines Abdichtungssystems auf den Haldenflanken, z.B. durch eine Vorschüttung, eine Abflachung oder durch Herstellung von Zwischenbermen, ermöglicht. Gleichzeitig dient dieser Arbeitsraum auch der Instandhaltung des Haldenplateaus in dem Zeitraum zwischen der Errichtung des Oberflächenabdeckungssystems und der Ausbildung der Flankenabdeckung.

## **4 Vergleich potenzieller Abdichtungssysteme für die Plateaubereiche**

Grundlage für die Zulassungsfähigkeit und damit die Errichtung von Oberflächenabdichtungssystemen ist der Nachweis der dauerhaften Funktionserfüllung der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems nach Anhang 1, Kapitel 2.1.1 der DepV. Hierbei liegt ein Betrachtungszeitraum von mindestens 100 Jahren zugrunde, für den der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sowohl der Einzelkomponenten als auch des Gesamtabdichtungssystems zu führen ist.

Der Einsatz von im klassischen Deponiebau (insbesondere in Basisabdichtungssystemen) Anwendung findenden tonmineralischen Abdichtungssystemen gemäß BQS 5-1 erweist sich insbesondere unter den zu erwartenden Setzungserscheinungen einer Kalihalde als nicht zielführend, da der eingesetzte natürliche Baustoff bzw. das Baustoffgemisch im eingebauten Zustand den zu erwartenden Verformungen plastisch folgen muss (siehe Nr. 2c, BQS 5-1). Mittelplastische Tone können ohne weitere Nachweisführung Setzungsradialen bis 200 m schadlos aufnehmen (Kap. 2.1.1, BQS 5-1, bzw. NRW-Richtlinie 18). Da die prognostizierten Setzungen an den Rückstands-



halden im Vergleich jedoch geringere Radian erwarten lassen, kann ein dauerhafter Funktionserhalt unter diesen äußeren Randbedingungen nicht gewährleistet werden, so dass ein vollständiger Funktionsverlust bzw. das Versagen des Oberflächenabdichtungssystems bereits von vornherein nicht auszuschließen wären. Entsprechende nachteilige Auswirkungen des Setzungsverhaltens des Haldenkörpers sind auch für die artverwandten Dichtungssysteme aus polymer vergüteten mineralischen Abdichtungen gemäß BQS 5-2 bzw. den insbesondere an steileren Böschung bis ca. 1:2 (26,6°) zur Anwendung kommenden Asphaltabdichtungen (BQS 5-4) zu erwarten, deren grundsätzlichen Anforderungen an den dauerhaften Funktionserhalt unter den zu erwartenden Verformungen des Deponiekörpers sich auch im Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 5-0 widerspiegeln.

Aufgrund der ausschließlich losen Überlappung der einzelnen Bahnen sind geosynthetische Tondichtungsbahnen (BQS 5-5) unter den zu erwartenden Setzungen und Verformungen des Haldenplateaus insbesondere in Hinblick auf den dauerhaften Funktionserhalt als ungeeignet zu bewerten; darüber hinaus sind infolge möglicher Wechselwirkungen zwischen Natriumbentonit und Rückstandssalzen nachteilige Auswirkungen auf die Abdichtungswirkung der Dichtungsbahn und somit der Funktionsverlust des Oberflächenabdichtungssystems nicht auszuschließen.

Im Sinne eines ausreichenden Fehlerausgleichs und der Sicherstellung eines dauerhaften Funktionserhaltes des Oberflächenabdichtungssystems wären alle zuvor beschriebenen Systeme unter Berücksichtigung des Verhaltens des Haldenkörpers auf eine zusätzliche Abdichtungskomponente bzw. eine ausreichend dimensionierte Setzungsausgleichsschicht (BQS 4-1) angewiesen.

Als vergleichsweise setzungsunempfindlich in Bezug auf ihren dauerhaften Funktionserhalt sind Kapillarsperren (BQS 5-6) zu betrachten. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Entwässerungsfunktion benötigen Kapillarsperren eine dauerhafte Mindestneigung von  $\geq 1 : 7$  (8,1°); nach GDA-Empfehlung 2-33 sind in der Regel steilere Böschungen für eine ausreichende hydraulische Leistungsfähigkeit erforderlich. In Hinblick auf die erforderliche laterale Dränkapazität erweisen sich erfahrungsgemäß Böschungsneigungen von 1:3 (18,4°) als ideal. Die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit einer Kapillarsperre auf dem Haldenplateau wäre ausschließlich mit einem hohen Profilierungsaufwand und der deutlichen Erhöhung der Haldenplateaus zu erzielen.



Ähnlich wie Kapillarsperren werden auch Wasserhaushaltsschichten nicht bzw. nur in vernachlässigbarem Umfang durch Setzungen in ihrer Funktion beeinträchtigt. Aufgrund der bodenmechanischen und bodenphysikalischen Eigenschaften des Bodenmaterials können eine Restdurchsickerung und die damit verbundene Restinfiltration von Oberflächenwasser in den Haldenkörper selbst bei Auswahl besonders geeigneter Rekultivierungsböden von Vornherein nicht vollständig ausgeschlossen werden. Wasserhaushaltsschichten erheben deshalb, ebenso wie Kapillarsperren, nicht den Anspruch auf ein vollkommen dichtes Oberflächenabdeckungssystem. Darüber hinaus muss bei einem solch exponierten Standort ein besonderes Augenmerk auf die Auswahl und Pflege der Vegetation gelegt werden.

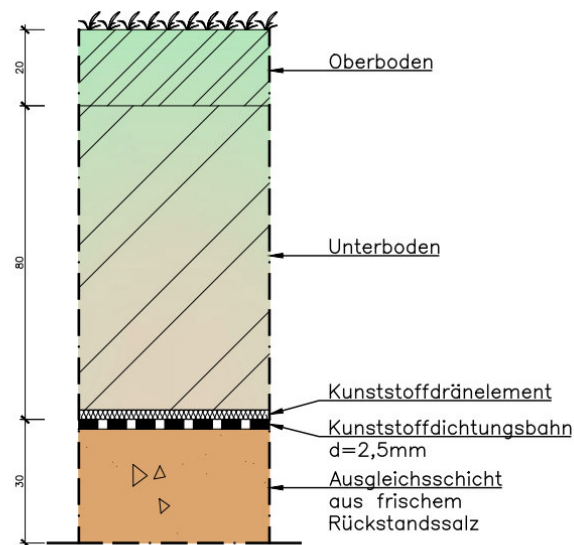
Aufgrund ihrer Materialeigenschaften, sich dem Verhalten bzw. den Bewegungen des Deponie- bzw. Abfallkörpers auch in Hinblick auf die zu erwartenden Setzungen anzugleichen, sind Konvektionssperren im Sinne BAM-zugelassener Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) als Abdichtungskomponente in Oberflächenabdichtungssystemen zu bevorzugen. Als wesentliche Randbedingungen für den auf den Betrachtungszeitraum ausgelegten Funktionserhalt sind hierbei die dauerhafte Verbindung der Einzelbahnen in den Fugebereichen, das Dehnungsverhalten längs und quer zur Fertigungsrichtung sowie die Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen zu bewerten. Der Nachweis der dauerhaften Funktionserfüllung sowohl von polymeren Abdichtungskomponenten als auch von polymeren Entwässerungselementen wird über den Zulassungsbescheid der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung für die jeweilige Systemkomponente abgedeckt.

## **5 Aufbau und Bewertung des präferierten Dichtungssystems**

### **5.1 Aufbau des Dichtungssystems**

Unter Berücksichtigung der standörtlichen Gegebenheiten und den sich aus den vorstehenden Ausführungen ergebenden Anforderungen an ein Oberflächenabdichtungssystem auf den Rückstandshalden der Kaliindustrie, insbesondere im Hinblick auf die zu erwartenden vertikalen und horizontalen Bewegungen des Haldenplateaus, erweist sich gemäß den Anforderungen der DepV an ein Oberflächenabdichtungssystem von DK I-Deponien nachfolgender Systemaufbau als zielführend, dem nach DepV geforderten Funktionserhalt für einen Betrachtungszeitraum von  $\geq 100$  a gerecht werden zu können:





**Abbildung 1:** Systemaufbau eines DK I Oberflächenabdichtungssystems

Auf dem profilierten Haldenplateau erfolgt der Einbau einer Ausgleichs- und Auflagerschicht aus frischem Rückstandssalz. Die Funktion der Abdichtungskomponente im Sinne des Anhang 1, Tabelle 2 der DepV wird von einer BAM-zugelassenen, einseitig strukturierten KDB wahrgenommen. Bei den zu erwartenden vertikalen und horizontalen Verschiebungen ermöglicht eine glatte Seite der Kunststoffdichtungsbahn eine vergleichsweise freie Bewegungsmöglichkeit, wodurch die infolge des Setzungsverhaltens des Rückstands zu erwartenden Stauchungen der KDB auf ein technisch mögliches Mindestmaß reduziert werden können. Maximal zulässige Dehnungen von bis zu 6% im Sinne der BAM-Richtlinie sind unter Berücksichtigung des Setzungsverhaltens des Haldenplateaus nicht zu erwarten, da diese erst als Folge einer Gefälleumkehr des dachprofilartig herzustellenden Planums auftreten und erst in diesem Fall zu einer Beeinträchtigung der KDB führen würden.

Der Verbund zwischen darüberliegender, flächenhafter polymerer Entwässerungskomponente und der KDB wird durch die Struktur an der Oberfläche der KDB gewährleistet. Im Sinne der Ressourcenschonung und der Sicherstellung einer ausreichenden Schutzwirksamkeit oberhalb der Abdichtungskomponente ist der Einsatz eines Kunststoffdränelements („Drainagematte“) mit BAM-Zulassung vorgesehen. Deren Lagestabilität im Hinblick auf mögliche Verschiebungen kann

sowohl über den Verbund mit der strukturierten KDB als auch über den Vor-Kopf-Einbau der unteren Lage der Rekultivierungsschicht sichergestellt werden.

Unter dem Aspekt einer ausreichend durchwurzelbaren Vegetationsdecke, insbesondere aber auch im Hinblick auf die exponierte Lage auf dem Haldenplateau, erweist sich die Herstellung der Rekultivierungsschicht mit einer Mächtigkeit von ca. 1,00 m im Endzustand als geeignet, um einem erosionsbedingten Funktionsverlust der Vegetationsschicht entgegenwirken zu können.

## **5.2 Bautechnische Umsetzung des Dichtungssystems**

### **5.2.1 Profilierung des Haldenplateaus; Herstellung des Auflagers für die Abdichtungskomponente**

Zur Sicherstellung eines ausreichenden Setzungs- und Fehlerausgleichs innerhalb der Gesamtfläche, insbesondere unter Berücksichtigung der zu erwartenden, vertikalen und horizontalen Bewegungen des Haldenplateaus, sowie zur Verkürzung der Fließpfade und -längen des Kunststoffdränelements erweist sich im Zuge der vorlaufenden Profilierungsarbeiten des Haldenplateaus unseres Erachtens die Ausbildung eines an den Setzungen des Haldenplateaus ausgerichteten Dachprofils mit Querfalle in Richtung von randumlaufenden Entwässerungsgräben als zielführend. In Kombination mit außerhalb des Oberflächenabdichtungssystems anzulegenden Bauwerken (Randdämme, -wälle o.ä.) kann eine Reduzierung der Windlast bzw. der Windbelastung des Oberflächenabdichtungssystems erzielt werden.

Die Grobprofilierung des Haldenplateaus sollte mit ausreichendem zeitlichem Vorlauf erfolgen, um den insbesondere nach der Ablagerung auftretenden Setzungen des verbrachten Rückstandes Rechnung tragen zu können. Bei der Profilierung des Rückstandssalzes zur Herstellung ausreichender Längs- und Quergefälle sollten die bislang im Rahmen der hydraulischen Trennung am Standort Hattorf gesammelten Erfahrungswerte bei der Wahl einer geeigneten Einbautechnik Berücksichtigung finden.

Der Einbau der KDB kann auf einem Auflager aus frischem Rückstandssalz erfolgen. Der hierzu gehörige Schutzwirksamkeitsnachweis wurde bereits vorlaufend zu den Baumaßnahmen zur hydraulischen Trennung erbracht (vgl. auch **Kapitel 6.1.1**).



### 5.2.2 Verlegung und Einbau der KDB, der Kunststoffdrainelemente und des Rekultivierungsbodens

Beim Einbau der KDB und der Kunststoffdrainelemente sind sowohl die Maßgaben der diesbezüglichen BAM-Richtlinien als auch der BAM-Richtlinie für Verlegefachbetriebe zu berücksichtigen. Die Kunststoffdichtungsbahnen sind möglichst plan und faltenfrei zu verlegen. Die Verschweißung der Einzelbahnen hat entsprechend den DVS-Richtlinien zu erfolgen.

Die in Einzelbahnen verlegten Drainagematten sind mit ausreichender Überlappung der Dränkerne thermisch zu fügen. Der Einbau hat ebenfalls durch Verlegefachbetriebe zu erfolgen.

Die Herstellung der Rekultivierungsschicht hat zunächst mittels Vor-Kopf-Einbau in ausreichender Lagenstärke zu erfolgen, um Beschädigungen der Drainmatte und der KDB bei Überfahung mit Baugeräten zu vermeiden und die Lagestabilität sicherzustellen. Beim Einbau der Rekultivierungsschicht sollten ausreichende Sackungsreserven berücksichtigt werden. Die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht ergeben sich aus dem BQS 7-1.

Die an die Komponenten des Oberflächenabdeckungssystems gestellten Qualitätsanforderungen sind vor Baubeginn im Rahmen eines Qualitätsmanagementplans zu definieren, der die speziellen Elemente der Qualitätssicherung sowie die dafür erforderlichen Zuständigkeiten, sachlichen Mittel und Tätigkeiten so festlegt, dass die Qualitätsmerkmale während der gesamten Bauphase eingehalten werden. Maßgebend hierfür sind die Ausführungen der unter **Kapitel 2** aufgeführten Technischen Bezugsdokumente.

Die prinzipielle Herstellbarkeit des Oberflächenabdeckungssystems ist im Hinblick auf

- den Materialtransport auf die Halde;
- die Profilierung des Rückstandssalzes;
- die fachgerechte Herstellung der polymeren Abdichtungs- und Entwässerungskomponenten sowie
- die anforderungsgerechte Herstellung der Rekultivierungsschicht

in einem vorlaufenden Probefelddbau nachzuweisen. Die hieraus resultierenden Erkenntnisse bilden die Grundlage der Weiterentwicklung des Einbaukonzepts des Auftragnehmers sowie der



Fortschreibung des Qualitätsmanagementplans.

### 5.2.3 Wasserhaltung

Aufgrund der exponierten Lage des Dichtungssystems soll das anfallende Oberflächenwasser am Tiefpunkt des Plateaubereiches der Halde gefasst und zur Bewässerung der Rekultivierungsschicht sowie als Maßnahme zur Staubminderung verwendet werden. Hierdurch kann der Boden in Trockenperioden feucht gehalten und einem Stresswachstum der Wurzeln des Bewuchses entgegengewirkt werden. Gleichzeitig können Erosionserscheinungen im Sinne von Windverfrachtungen reduziert werden.

Unabhängig von dem gewählten Abdichtungssystem kommt der Gewährleistung eines ausreichenden Mindestgefälles nach Abklingen der Setzungen zur Sicherstellung der Entwässerungssituation der abgedichteten Flächen eine besondere Bedeutung zu. Wir empfehlen zur Sicherstellung möglichst kurzer Fließwege und damit der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Drainelementes, die Ausbildung eines Dachprofils mit einem Mindestgefälle von 5 %. Da auch nach Abklingen der Hauptsetzungen von weiterhin stattfindenden, jedoch degressiv verlaufenden sowie vergleichsweise gleichmäßigen Setzungen auszugehen ist, halten wir die Herstellung eines zusätzlichen Überprofils, insbesondere unter Berücksichtigung des Setzungsverhaltens des Haldenplateaus, für nicht erforderlich. Abhängig von dem Alter der Haldenbereiche und den Setzungsprognosen kann es angezeigt sein, die vorgenannte Hauptgefällesituation der Halden durch Ausprofilierung eines weiteren Hochpunktes zu drehen und in zwei Richtungen zu entwässern. Ausgehend vom Hochpunkt der Halde im Südwesten kann das Wasser über ausreichend dimensionierte offene Gräben den Retentionsbereichen zugeführt werden. In den Randgräben folgt das Oberflächenwasser der durch die Auffahrung der Halde entstandenen Gefällesituation. Hier ist aus unserer Sicht ein Gefälle von 1 % angemessen, um durch Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit gleichzeitig ein zusätzliches Rückhaltevolumen in den Gräben erzielen zu können.

Oberhalb der KDB und der Drainagematte kann im Endausbau in den Gräben eine Auskleidung mit Wasserbausteinen erfolgen. Unter Beachtung von zunehmenden Starkregenereignissen kommt der Dimensionierung der Gräben und der Auswahl der Wasserbausteine eine





besondere Bedeutung zu. Der Einsatz von Rohrleitungen sollte auf das notwendige Mindestmaß, z.B. in der gegebenenfalls notwendigen Verrohrung von Überfahrten sowie der Ableitung des Oberflächenwassers am Tiefpunkt, beschränkt bleiben. Dennoch sollten in der Planung und Bauausführung auch in diesen Bereichen eine offene Gestaltung geprüft und bevorzugt werden.

Der Abfluss aus dem Überlauf des Retentionsbereiches zum Haldenfuß bzw. in die Vorflut hat zwangsläufig über entsprechend dimensionierte Vollrohrleitungen zu erfolgen. Die Ausbildung der Randbereiche des Oberflächenabdichtungssystems bzw. die Übergangsbereiche zum Arbeitsraum der zukünftigen Böschungsabdichtung ist für die Gebrauchstauglichkeit und Instandsetzbarkeit von zentraler Bedeutung. Die Erfahrungen aus der Herstellung und Nachsorge des Pilotpolderbeckens zeigen, dass hier ein zu abrupter Übergang zu wartungsintensiven Ausspülungen im Rückstandssalz führt. Hier ist ein schleifender Übergang mit einem gering durchlässigen Bodenmaterial mit einem entsprechenden Wasserrückhaltevermögen (z.B. Rekultivierungsboden) zu empfehlen. Eine erste Abschätzung des benötigten Arbeitsraumes zur Herstellung einer Böschungsabdichtung beträgt ca. 20 m.

## **6 Eignungsnachweise der vorgesehenen Dichtungskomponenten**

### **6.1 Eignungsnachweise Kunststoffdichtungsbahn**

#### **6.1.1 Schutzwirksamkeitsnachweis Kunststoffdichtungsbahn / Rückstandssalz**

Die grundsätzliche Eignung von frischem **Rückstandssalz** der Körnung 0/2 mm als Auflager einer KDB wurde bereits im Vorfeld der Herstellung der hydraulischen Trennung am Standort Hattorf sowohl in Hinblick auf die Schutzwirksamkeit als auch in Bezug auf das Reibungsverhalten untersucht. Frisches Rückstandssalz hält sicher die nach BAM-Richtlinie an Auflagerschichten für KDB gestellten Anforderungen ein. Die Schutzwirkung des Rückstandssalzes wurde bereits unter einer Prüflast von 7.050 kN/m<sup>2</sup> versuchstechnisch nachgewiesen. Da im Rahmen der fortlaufenden Umsetzung der Baumaßnahmen zur hydraulischen Trennung die versuchstechnisch erbrachten Ergebnisse bestätigt werden, kann von einer weiteren Nachweisführung abgesehen werden.



### **6.1.2 Eignung der Kunststoffdichtungsbahn als Abdichtungskomponente unter Berücksichtigung der standörtlichen Gegebenheiten der Rückstandshalden**

Die Eignung der zur Verwendung vorgesehenen KDB ist über eine gültige BAM-Zulassung nachzuweisen. Über diese Zulassung ist gleichzeitig die Nachweisführung über die dauerhafte Beständigkeit und das Dehnungsverhalten der KDB abgedeckt.

Das mechanische Beanspruchungsverhalten von Kunststoffdichtungsbahnen aus PE-HD im Hinblick auf die zu erwartenden horizontalen und vertikalen Bewegungen eines Deponiekörpers (Zugbeanspruchung, Stauchung) wurden bereits in den frühen achtziger Jahren des vergangenen Jahrtausends nachgewiesen und ist elementarer Bestandteil der Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung im Rahmen des Zulassungsverfahrens für die heutigen Kunststoffdichtungsbahnen und den Fremdprüfungsleistungen polymer. Die bislang im Rahmen der Baumaßnahmen an den Kalirückstandshalden zum Einsatz kommenden BAM-zugelassenen Kunststoffdichtungsbahnen aus PE-HD weisen vor einem potenziellen Funktionsverlust ein Dehnungsverhalten von ca. 700 % auf. Stauchungen können ebenfalls durch die Materialeigenschaften der Kunststoff-Abdichtungskomponente abgefangen werden.

### **6.2 Eignungsnachweise Kunststoffdränelement**

Der Nachweis der prinzipiellen Eignung einer Drainagematte als Entwässerungselement ist über die entsprechenden Zulassungsscheine der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung erbracht. Gemäß der diesbezüglichen BAM-Richtlinie sind projektbezogen folgende Nachweise zu führen:

- langfristige hydraulische Leistungsfähigkeit;
- Filterstabilität gegenüber dem Unterboden;
- Reibungsverhalten zur KDB und
- Eignung als Schutzlage zwischen Rekultivierungsboden und KDB.

### **6.3 Eignungsnachweise Rekultivierungsböden**

Der Umfang der Eignungsprüfungen an den Rekultivierungsböden ergibt sich aus dem Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 7-1.



Unabhängig von dem Eignungsnachweis an den Rekultivierungsböden ist die Sicherstellung einer ausreichenden nutzbaren Feldkapazität im Hinblick auf die Lage der Maßnahmenflächen zu bewerten. Eine gezielte Rückbewässerung der exponierten Flächen erweist sich unseres Erachtens als zielführende Möglichkeit der Förderung einer geschlossenen und insbesondere standortangepassten Vegetationsdecke.

#### **6.4 Standsicherheit / Gebrauchstauglichkeit des Oberflächenabdichtungssystems**

Unter Berücksichtigung der vergleichsweise geringen Neigungsverhältnisse (5 % Gefälle entsprechen einer Neigung von ca. 2,9°) und des bereits im Rahmen der hydraulischen Trennung nachgewiesenen Reibungsverhaltens von unterschiedlichen (glatten) Kunststoffdichtungsbahnen zum Rückstandssalz ist die Gleitsicherheit als gewährleistet anzusehen und damit auch der Eintrag von unzulässigen Schubspannungen in die KDB ausgeschlossen. Der versuchstechnische Nachweis ist projektspezifisch zu erbringen.

Im Hinblick auf die exponierte Lage auf dem Haldenplateau und die daraus resultierende Winddruck- bzw. Windsogbelastung des Oberflächenabdichtungssystems empfehlen wir eine projektbezogene Windsogberechnung für die arbeitstägliche Windsicherung von verlegten, jedoch noch nicht ballastierten Kunststoffdichtungsbahnen und Kunststoffdränelementen. Eine ausreichende Ballastierung von Abdichtungs- und Entwässerungskomponente ist nach vollständigem Aufbau des Gesamtsystems durch die überlagernde Rekultivierungsschicht sicher gegeben.

### **7 Baulogistik**

Die Baustellenzufahrt und der Antransport der polymeren Systemkomponenten zum Plateaubereich der Halde können über die bestehende Zufahrt der Halde erfolgen. Für den Transport der mineralischen Baustoffe (Rekultivierungsböden, Wasserbausteine etc.) sollte die Möglichkeit der Verbringung per Förderband o.ä. geprüft werden. Auch der Antransport des Rekultivierungsbodens in das Baufeld selbst sollte zur Vermeidung von Querkontaminationen mit dem Rückstandssalz über ein Teleskopförderband oder ausreichend dimensionierte Auffahrtrampen mit Abrollstrecke erfolgen. Sowohl während des Transportes und des Einbaus der Systemkomponenten ist auf die Vermeidung der Verschleppung von Rückstandssalz in das Bauwerk, z.B. durch Trennung von Fahrwegen, zu achten. Zudem kann eine Salzverschleppung auch durch temporäre Abdeckung



bereits fertiggestellter Flächen bzw. durch Ergreifung geeigneter Sicherungsmaßnahmen (z.B. randumlaufende Gräben zur Ableitung ggf. anfallender, salzbeeinflusster Oberflächenwässer) erfolgen.

## **8        Zukünftiges Monitoring der abgedichteten Plateaubereiche**

Im Rahmen der Nachsorge der Oberflächenabdichtung empfehlen wir die Durchführung eines regelmäßigen Monitorings dieser Flächen. Hier kommt der Beobachtung des Setzungs- und Verformungsverhalten des Haldenkörpers in den abgedichteten Bereichen eine besondere Bedeutung zu. In der konkreten Umsetzung bedeutet dieser Schritt, dass über Setzungspegel in der Rekultivierungsschicht die vertikale und horizontale Verschiebung des Abdichtungssystems vermessungstechnisch aufgenommen werden kann und in Relation zu dem per se in einem Monitoring befindlichen Verhalten des gesamten Haldenkörpers gesetzt werden kann. Dieses Monitoring und das aus den langfristigen Messdaten abzuleitende Verhalten einer oberflächenabgedichteten Kallihalde ist aus technischer Sicht als entscheidende Grundlage für die Machbarkeit der zukünftigen Abdichtung der Haldenflanken zu werten.

Die Kontrolle der Entwicklung/Ausbildung des Bewuchses und der gegebenenfalls entstehenden Erosionsschäden an der Oberfläche der Rekultivierungsschicht sollten ebenfalls Bestandteil des Monitorings werden. Gleiches gilt für die Rand- bzw. Übergangsbereiche zu den Haldenflanken, an denen es erfahrungsgemäß zu Erosionsrinnen bzw. Verlagerungen kommen kann, die einer regelmäßigen Instandhaltung / Wiederinstandsetzung bedürfen.

Möglicher Instandsetzungsbedarf kann in allen Bereichen der Oberflächenabdeckung visuell identifiziert werden. Die innerhalb der Plateaubabdeckung verbauten Systembestandteile werden auch zukünftig in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen und können mit vergleichsweise geringem Aufwand mit konventioneller Technik auf Grundlage der bestehenden technischen Normen und Regelwerke wiederhergestellt werden.

## **9        Zusammenfassung und Ausblick**

Zur kontinuierlichen Verbesserung des Gewässerzustandes von Werra und Weser und der damit verbundenen Reduzierung des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls beabsichtigt die K+S den möglichst kurzfristigen Einstieg in die Haldenabdeckung. Als Entsorgungseinrichtung berg-



baulicher Abfälle sind auf die Rückstandshalden der Kaliindustrie die Regelungen der Bergbaugesetzgebung (BBergG, ABergV) anzuwenden; da sich aus diesen jedoch keine Anforderungen an Oberflächenabdeckungssysteme sowie Randbedingungen für die Nachweisführung der anforderungsgerechten Herstellung der Systemkomponenten ableiten lassen, empfiehlt sich bei der Konzipierung eines den standörtlichen Gegebenheiten Rechnung tragenden Oberflächenabdeckungssystems der Rückgriff auf die technischen Bezugsdokumente des Deponiebaus.

Gegenstand der vorliegenden Machbarkeitsstudie war die technische Realisierbarkeit einer Plateauabdeckung in Anlehnung an die Anforderungen der DepV an Deponiekörper der Deponieklasse I. Es konnte gezeigt werden, dass

- sich ein aus polymeren Systembestandteilen (KDB, Kunststoffdränelemente) aufgebautes Oberflächenabdeckungssystem gegenüber den anderen, im Deponiebau Anwendung findenden Systemen als zielführend in Hinblick auf die zu erwartenden horizontalen und vertikalen Bewegungen des Haldenplateaus erweist;
- durch den Einsatz ausschließlich BAM-zugelassener sowie vorlaufend auf Eignung geprüfter Baustoffe den Anforderungen des Kap. 2.1.1 des Anhangs 1 der DepV an die dauerhafte Funktionserfüllung auf einem Betrachtungszeitraum von  $\geq 100$  Genüge geleistet werden kann;
- der Funktionsnachweis der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems projektbezogen erbracht werden kann;
- das System dauerhaft zugänglich, überwacht und monitorbar ist und bei Bedarf mit dauerhaft verfügbaren Baustoffen und vergleichsweise geringem technischen Aufwand über die bestehende Infrastruktur wiederhergestellt werden kann.

Essen, im Dezember 2021

Berichtsverfasser:

  
Dipl.-Ing. D. Asmus

ASMUS+PRABUCKI · INGENIEURE  
BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH



## Quellenverzeichnis

**Bundesregierung, Bundesberggesetz-BbergG**, Stand 14. Juni 2021,

**Bundesregierung, Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche (Allgemeine Bundesbergverordnung-ABBergV)**, Stand 23. Oktober 1995

**Bundesregierung, Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV)**, Stand 30. Juni 2020

### **Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Arbeitskreis 6-1, GDA-Empfehlungen**

- GDA E 2-6 Grundsätze der Abfallmechanik, Stand 1997
- GDA E 2-07 Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen, Stand 2015
- GDA E 2-16 Setzungs- und Verformungsverhalten bei Deponien, Stand 1997
- GDA E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen, Stand 2015
- GDA E 2-24 Setzungsprognosen für nicht bodenähnliche Abfälle, Stand 1997
- GDA E 2-33 Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen, Stand 2010
- GDA E 2-36 Oberflächenabdichtungssysteme mit Tondichtungsbahnen, Stand 2021
- GDA E 3-05 Probefelder für Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme, Stand 2019
- GDA E 3-09 Eignungsprüfungen für Geokunststoffe, Stand 2016
- 

### **LAGA ad-hoc Arbeitsgruppe „Deponietechnik“ – Bundeseinheitliche Qualitätsstandards**

- BQS 4-1 Trag- und Ausgleichsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen, Stand 2014
- BQS 5-1 „Mineralische Oberflächenabdichtungs-komponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“; Stand 02.12.2020
- BQS 5-2 „Mineralische Oberflächenabdichtungs-komponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“; Stand 02.12.2020
- BQS 5-4 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus Asphalt“; Stand 07.07.2015



- BQS 5-5 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen“; Stand 05.03.2021
- BQS 9-1 „Qualitätsmanagement – Fremdprüfung beim Einbau mineralischer Baustoffe in Deponieabdichtungssystemen“

### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)**

- Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen, Stand Mai 2019
- Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen, Stand Mai 2019
- Richtlinie für die Zulassung von Schutzschichten für Kunststoffdichtungsbahnen in Deponieabdichtungen, Stand Mai 2019
- Richtlinie für die Zulassung von Geotextilien zum Filtern und Trennen für Deponieabdichtungen, Stand November 2016
- Richtlinie für die Anforderung an Fachbetriebe für den Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen, weitere Geokunststoffe und Kunststoffbauteile in Deponieabdichtungssystemen, Stand Juni 2017
- Richtlinie für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle für Kunststoffkomponenten im Deponiebau

### **Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren E.V. (DVS)**

- DVS 2212-3 Prüfung von Kunststoffschweißern - Prüfgruppe III - Bahnen im Erd- und Wasserbau, Stand Okt 1994
- DVS 2225-1 Schweißen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau, Stand Okt 2019
- DVS 2225-2 Fügen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau – Baustellenprüfung, Stand Feb 2019
- DVS 2225-3 Schweißen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) bei Grundwasserschutzmaßnahmen, Stand Okt 2019
- DVS 2225-4 Fügen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) für die Abdichtung von Deponien und Altlasten, Stand Okt 2019
- DVS 2226-1 Prüfen von Fügeverbindungen an Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen - Prüfverfahren, Anforderungen, Stand Sep 2000





- DVS 2226-2 Prüfen von Fügeverbindungen an Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen – Zugscherversuch, Stand Jul 1997
- DVS 2226-3 Prüfen von Fügeverbindungen an Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen – Schälversuch, Stand Jul 1997

**LWA Schriftenreihe Abfallwirtschaft NRW**

- Richtlinie Nr. 18, reproduzierte Originalfassung mit aktualisierten Hinweisen aus dem Jahr 2006

**Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen**

- LANUV-Arbeitsblatt 13, Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme, Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung, Stand 2015

