

# **Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) -Phase 3**

**Band 1.1.1E3 der Antragsunterlage**

**Technisches Konzept**

Vorhabenträger:

K+S Minerals and Agriculture GmbH  
Werk Werra, Standort Hattorf  
Hattorfer Straße  
36269 Philippsthal

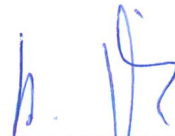


Generalplaner:

upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH  
Breite Straße 30  
39576 Stendal



Christian Artschwager  
Sachgebietsleiter Geotechnik



Dr. Hanka Poppitz  
Leiterin Umwelt- und  
Genehmigungsverfahren

## Impressum

Fassung: 10.04.2024  
Ansprechpartner: Christian Artschwager  
Telefon: 06620/79 2048  
Fax: 06620/79 4004  
e-Mail: [christian.artschwager@k-plus-s.com](mailto:christian.artschwager@k-plus-s.com)  
Web: [www.k-plus-s.com](http://www.k-plus-s.com)

### Ergebnisse im Überblick:

Zur Reduzierung des Sickerwassereintrages in den Untergrund wurden technische Systeme „System Basisabdichtung“ (bestehend aus einer zweilagigen mineralischen Dichtung sowie haldeninterne und -externe Entwässerungselemente zur Optimierung der Fassung und Ableitung des Haldenwassers) und eine Plateauabdeckung der Haldenerweiterung als 1. Ausbaustufe der Gesamtabdeckung mittels einer multifunktionalen, standortangepassten Oberflächenabdeckung entwickelt.

Ein angepasstes Schüttkonzept trägt der Minimierung der Untergrundbeanspruchung Rechnung und begünstigt die Entwicklung eines hydraulisch inaktiven Haldenkerns im Anschüttungsbereich der Bestandshalde.

Inhalte des vorliegenden Bandes sind:

- Ermittlung der **maßgebenden haldenspezifischen chemischen und mechanischen Beanspruchungen sowie hydraulischen Verhältnisse im Haldenkörper** als Grundlage für das technische Konzept
- **Verminderung der Untergrundbeanspruchung und Förderung der Ausbildung eines hydraulisch inaktiven Haldenkerns im Anschüttungsbereich der Bestandshalde** durch die Umsetzung eines angepassten Beschüttungskonzepts
- **Beschreibung der Komponenten des Systems Basisabdichtung**
- Weitergehende projektbezogene Eignungsuntersuchungen unter Verwendung regionaler Baumaterialien und **Nachweis der Herstellbarkeit der zweilagigen mineralischen Dichtung** im Rahmen eines Pilotversuches (Zielitz), der Phase 1 am Standort Hattorf und des 1. Bauabschnitts der Haldenerweiterung Wintershall sowie der Bauausführung am Standort Zielitz
- **Gleichwertigkeitsnachweise** der für Phase 3 optimierten Systemvarianten gegenüber dem in Phase 1 eingesetzten System
- **Nachweis der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit der zweilagigen mineralischen Dichtung** unter Berücksichtigung haldentypischer Belastungen durch Laboruntersuchungen gemäß dem Stand der Technik und Wissenschaft
- **Nachweis der Herstellbarkeit, Funktionalität und Wirksamkeit der haldeninternen und -externen Entwässerungselemente** unter Berücksichtigung der haldentypischen hydraulischen und mechanischen Randbedingungen
- Definition von **Systemanforderungen, darauf aufbauende Systembeschreibung und Nachweisführung zur Plateauabdeckung** der Haldenerweiterung

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	9
Abkürzungsverzeichnis .....	9
Anlagenverzeichnis.....	11
1      Veranlassung.....	12
2      Technische Maßnahmen zur Minimierung der vorhabenbedingten Auswirkungen .....	13
3      Haldenkörperverhalten.....	15
3.1    Chemisch-mineralogisches Haldenkörperverhalten	15
3.2    Mechanisches Haldenkörperverhalten	16
3.3    Hydraulisches Haldenkörperverhalten	17
3.3.1   Untersuchungsergebnisse und sachverständige Bewertung	17
3.3.2   Fließwege im Haldenkörper unter Berücksichtigung der Anschüttung der Erweiterung	21
4      Beschüttungskonzept.....	23
5      System Basisabdichtung.....	26
5.1    Grundlagen zur Entwicklung und zum Nachweis des Systems Basisabdichtung	26
5.1.1   Begriffsdefinition	26
5.1.2   Beurteilung und Einordnung der Rückstandshalden aus fachtechnischer Sicht	26
5.1.3   Stand der Technik von Dichtungssystemen	26
5.1.3.1   Überblick.....	26
5.1.3.2   Stand der Technik im Deponiebau/ Prüfung der Anwendbarkeit von Dichtungssystemen aus dem Bereich Deponiebau .....	28
5.1.3.2.1   Prüfung der Anwendbarkeit des Multibarrierenkonzeptes für Deponien .....	28
5.1.3.2.2   Prüfung der Anwendbarkeit einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB).....	29
5.1.3.2.3   Prüfung der Anwendbarkeit einer Asphaltabdichtung.....	30
5.1.3.2.4   Prüfung der Anwendbarkeit von Bentonitmatten .....	30
5.1.3.2.5   Prüfung der Notwendigkeit einer geologischen bzw. technischen Barriere.....	30

5.1.3.3	Stand der Technik in der Kaliindustrie .....	31
5.1.3.4	Fazit .....	32
5.2	Anforderungen an das System Basisabdichtung für Rückstandshalden	33
5.2.1	Grundlagen	33
5.2.2	Mineralische Dichtung	34
5.2.3	Haldeninterne Entwässerungselemente	34
5.2.4	Haldenexterne Entwässerungselemente/ Haldenvorfeldgestaltung	34
5.2.5	Planum und Untergrund	35
5.3	Entwicklung, Beschreibung und Nachweis des Systems Basisabdichtung	35
5.3.1	Entwicklung	35
5.3.2	Systembeschreibung	37
5.3.2.1	Gesamtsystem .....	37
5.3.2.2	Planum/ Untergrundgestaltung .....	38
5.3.2.3	Zweilagige mineralische Dichtung .....	38
5.3.2.4	Grundsätze zur Entwicklung und zum Nachweis des Systems Basisabdichtung .....	42
5.3.2.4.1	Nachweis der Gleichwertigkeit mit dem Dichtungssystem aus Phase 1 .....	44
5.3.2.5	Haldenwasserfassungssysteme .....	46
5.3.2.5.1	Haldeninterne Fassungssysteme .....	46
5.3.2.5.2	Haldenexternes Haldenwasserfassungssystem/ Haldenvorfeld .....	53
5.3.2.6	Anpassung des Systems Basisabdichtung an die rückstandshaldenspezifischen Anforderungen .....	54
5.3.3	Nachweis des Systems Basisabdichtung	57
5.3.3.1	Nachweis der technischen Machbarkeit .....	57
5.3.3.2	Nachweis der Wirksamkeit und Funktionalität .....	59
5.3.3.2.1	Einführung/ Allgemeines .....	59
5.3.3.2.2	Mineralische Dichtung .....	59
5.3.3.2.3	Allgemeine Angaben zu den hydraulischen Nachweisen der haldeninternen Entwässerungselemente im Endzustand .....	62
5.3.3.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit .....	62
5.3.3.3.1	Grundlagen .....	62
5.3.3.3.2	Grenzen der Gebrauchstauglichkeit .....	63
5.3.3.3.3	Modellvorstellungen zur Bewertung der Auswirkungen der Verformungen .....	64
5.3.3.3.4	Numerische Untersuchungen - Vorgehen, Ergebnisse und Bewertung .....	66

5.3.3.3.5	Verformungsbetrachtungen zu haldeninternen Entwässerungselementen .....	74
5.3.4	Qualitätsmanagementplan	76
5.3.5	Monitoring zum Nachweis der Wirksamkeit, Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit	77
6	Plateauabdeckung der Erweiterungsfläche .....	78
6.1	Grundlagen zur Konzeption und Nachweisführung des Abdecksystems	79
6.2	Anforderungen an das System	80
6.3	Systembeschreibung	81
6.3.1	Bauablauf	82
6.4	Nachweise	82
6.4.1	Standssicherheit und Gebrauchstauglichkeit	82
6.4.2	Eignungsnachweise der Systemkomponenten sowie des Systemverbundes Rückstandshalde -Oberflächenabdeckung	83
6.5	Monitoring und Instandhaltung	83
6.5.1	Bauphase	83
6.5.2	Betriebsphase	83
7	Zusammenfassung .....	85
	Literaturverzeichnis.....	87

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Haldenzonierung (Abb. identisch mit Abb. 5-10, Bd. 3.17.1) .....	17
Abbildung 4-1:	Beschüttungskonzept der unteren Schüttebene incl. Darstellung des Anbindungsbereichs (ABB), in welchem eine verzögerte Beschüttung erfolgt. Prinzipskizze, Konkretisierung der Schüttflächen C1 – C4 in nachfolgenden Planungen erforderlich. ....	24
Abbildung 5-1:	Arbeitsschritte zur Entwicklung und zum Nachweis sowie zur Genehmigungsfähigkeit des Systems Basisabdichtung .....	36
Abbildung 5-2:	Schema Haldenquerschnitt mit System Basisabdichtung .....	38
Abbildung 5-3:	System Basisabdichtung Variante 1 .....	40
Abbildung 5-4:	System Basisabdichtung, Variante 2 .....	41
Abbildung 5-4:	Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung zum Böschungsfuß) .....	52
Abbildung 5-5:	Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung böschungsparell) .....	52
Abbildung 5-6:	Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung zum Haldenkern) .....	53
Abbildung 5-7:	Schema Haldenvorfeld mit Anbindung der mineralischen Dichtung an den Haldengraben/ Haldenrandgraben .....	54
Abbildung 5-8:	Geplante Tiefendrainage umlaufend um Phase 3 (orange), sowie weitere in Vorbereitung befindliche Drainagen, darunter die Tiefendrainage zwischen Bestandshalde und FFH-Gebiet (Tiefendrainage Hessen, dunkelblau), sowie die Tiefendrainage an der Südostecke der Bestandshalde (Tiefendrainage Thüringen, rote Linie) siehe Kapitel 1.3.7.2). Schematische Darstellung. ....	54
Abbildung 5-10:	Modellvorstellung Fest- und Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 54 m) .....	64
Abbildung 5-11:	Modellvorstellung Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 4 m) .....	64
Abbildung 5-12:	Modellvorstellung Stauchung/ Dehnung .....	65
Abbildung 5-13:	Modellvorstellung (Zerrung) .....	65
Abbildung 5-14:	Modellvorstellung nach Krümmung .....	66
Abbildung 5-15:	Lageplan der genehmigten Halde Hattorf und der geplanten Haldenerweiterung in den Phasen 1 (blau), 2 (blassrot, orange) und 3 (grün, orange) sowie mit den Schnittverläufen zu den numerischen Untersuchungen (siehe Band 3.18.1E3, Anlage 7, Bild 9) .....	67
Abbildung 5-16:	Maßgebende horizontale Dehnungen und Stauchungen der mineralischen Dichtung unterhalb der Halde im Schnitt A-A' <sub>2018</sub> (vgl. Band 3.18.1E3, Anlage 3, Bild 15) .....	70

---

Abbildung 5-17:	Generalisierte Setzungsmulde unter der geplanten Haldenerweiterung (Band 3.18.1E3, Anlage 3, Bild 26, ; $\Delta x = 20$ m) .....	72
Abbildung 5-18:	Ermittlung der Setzungsdifferenz .....	72
Abbildung 5-19:	Ermittlung des Krümmungsradius .....	73
Abbildung 5-20:	Modellvorstellung Verformung des Entwässerungselementes durch differenzierte Horizontalverformungen.....	76
Abbildung 6-1:	Oberflächenabdeckungssystem in Orientierung an den Ausführungen des Anhangs 1, Tabelle 2, DepV 2020 .....	81



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1:	Leistungsfähigkeit und Nachweise für die zweilagige mineralische Dichtungsschicht, Variante 1 und 2 .....	61
Tabelle 5-2:	Grenzen der Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung .....	63
Tabelle 5-3:	Ermittlung des hydraulisch wirksamen Querschnittes sowie der Auslastung nach Verformung um den Betrag $x_h$ bei einer Ausgangslänge von $l_{EE} = 50,0$ m .....	76
Tabelle 5-4:	Ermittlung des hydraulisch wirksamen Querschnittes sowie der Auslastung nach Verformung um den Betrag $x_h$ bei einer Ausgangslänge von $l_{EE} = 50,0$ m .....	76

## Abkürzungsverzeichnis

ABergV	Allgemeine Bundesbergverordnung
Abs	Absatz
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BBergG	Bundesberggesetz
BQS	Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard
CT	Computertomografie
DepV	Deponieverordnung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
EEA	Entwässerungselement Abschlag
EEF	Entwässerungselement Fläche
EEHT	Entwässerungselement hydraulische Trennung
EEM	Entwässerungselement Mantelzone
EETP	Entwässerungselement Trennung Phasen
EEÜ	Entwässerungselement Übergangszone
EHG	Ertüchtigung Haldenrandgraben
FES	Flächenhafte Entwässerungsschicht
FSV	Flankenschüttverfahren
GBD	Geotechnisches Büro Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH
GDA	Geotechnik der Deponien und Altlasten
GOK	Geländeoberkante

HKE	Haldenkapazitätserweiterung
HG	Haldengraben
HRG	Haldenrandgraben
K+S	K+S Minerals and Agriculture GmbH (ehem. K+S KALI GmbH)
KDB	Kunststoffdichtungsbahn
KOM	Kommission
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSV	kombiniertes Schüttverfahren
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
MSO	Multifunktionale, standortangepasste Oberflächenabdeckung
MWEI-BREF BAT	Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries
NN	Normalnull
oL	obere Lage
PFB	Planfeststellungsbeschluss
RBP	Rahmenbetriebsplan
Rdnr	Rundnachricht
SBP	Sonderbetriebsplan
SP	Spülrohr
SyBa	System Basisabdichtung
uL	untere Lage
UVP-V Bergbau	Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben

## Anlagenverzeichnis

<b>A 1<sup>1)</sup></b>	<b>bleibt frei</b>
<b>A 2<sup>1)</sup></b>	<b>Regelquerschnitte</b>
A 2.1-2.3	bleibt frei
A 2.4.1N	Systemquerschnitte EEM, EEÜ
A 2.4.2N	Systemquerschnitt FES, EEA und SP
A 2.4.3 <sup>1)</sup>	Systemquerschnitt EETP
<b>A 3<sup>1)</sup></b>	<b>bleibt frei</b>
<b>A 4<sup>1)</sup></b>	<b>bleibt frei</b>
<b>A 5<sup>1)</sup></b>	<b>bleibt frei</b>
<b>A 6</b>	<b>Wasserdurchlässigkeit FES</b>
A 6.1	Dr.-Ing. Arjan Tuijnder (2012), Bericht Nr. 1027, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes von Brechkorn Basalt, Leichtweiß-Institut, Technische Universität Braunschweig
A 6.2 <sup>1)</sup>	Dr. Francisco Núñez-González (2021), Bericht Nr. 1112a, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes von Kiesen (2. Fassung), Leichtweiß-Institut, Technische Universität Braunschweig
<b>A 7<sup>1)</sup></b>	<b>Hydraulische Trennung</b>
A 7.1	bleibt frei
A 7.2 <sup>1)</sup>	RQS Entwässerungselement Haldengraben (EHG) und hydraulische Trennung (EEHT)
A 7.3-7.4	bleibt frei
<b>A8</b>	<b>bleibt frei</b>
<b>A 9</b>	<b>bleibt frei</b>
<b>A 10<sup>1)</sup></b>	<b>Gleichwertigkeitsnachweis</b>
A10.1 <sup>1)</sup>	SIG Hessen Ingenieure (2021), RM HA Phase 3 Betrachtung der Gleichwertigkeit eines modifizierten Regelaufbaus der Basisabdichtung, Projekt-Nr. 16528
A10.2 <sup>1)</sup>	QMGeo Prüfgesellschaft mbH (2021): Systemdurchlässigkeit RMHA, Gleichwertigkeitsbetrachtung Phase 3.
A10.3 <sup>1)</sup>	QMGeo Prüfgesellschaft mbH (2021): Systemdurchlässigkeit RMHA, Gleichwertigkeitsbetrachtung Variante 2

**A12<sup>1)</sup>      Übersicht der bislang erbrachten Materialeignungsprüfungen****A13<sup>1)</sup>      Restdurchsickerung der Mineralischen Dichtung unter der aufgeprägten Dehnung – siehe Ergänzungsband**

A13.1<sup>1)</sup> Sachverständigen-Stellungnahme zur Betrachtung der Restdurchlässigkeit bzw. des Durchlässigkeitsverhaltens bei aufgeprägter Dehnung der IG Braunschweig GmbH vom 24.08.2023

A13.2<sup>1)</sup> Sachverständigen-Stellungnahme zur Betrachtung der Restdurchlässigkeit bzw. des Durchlässigkeitsverhaltens bei aufgeprägter Dehnung der IG Braunschweig GmbH vom 22.11.2023

A13.3<sup>1)</sup> Geotechnischen Stellungnahme Nr. IK2035/07 der INGENIEURSOZIENTÄT PROF. DR.-ING. KATZENBACH GmbH vom 16.11.2023 zur Fragestellung der Restdurchsickerung der Mineralischen Dichtung unter der aufgeprägten Dehnung

**A14<sup>1)</sup>      Stellungnahme zur bautechnischen Realisierbarkeit des Systems Basisabdichtung inkl. hydraulischer Trennung und notwendiger Überschüttung im Bereich des 10 m Streifens Station +1.000 bis +550 bzw. 25 m Streifen Station +550 bis +450 mit Unterlagen – siehe Ergänzungsband**

1) Gekennzeichnete Anlagen wurden neu hinzugefügt oder ersetzt, in der Anlage ist dies jedoch nicht durch den Zusatz „N“ kenntlich gemacht.

## 1 **Veranlassung**

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH (Vorhabenträgerin; vormals K+S KALI GmbH; nachfolgend: K+S) betreibt in ihrem Werk Werra mit den Standorten Hattorf und Wintershall in Hessen sowie Unterbreizbach in Thüringen die Gewinnung und Aufbereitung von Kalirohsalzen. Die unter Tage abgebauten Rohstoffe werden zu Kali- und Magnesiumprodukten verarbeitet, die weltweit als landwirtschaftliche Düngemittel sowie als Grundstoffe für die chemische und pharmazeutische Industrie Verwendung finden. Die im Zuge der Produktion am Standort Hattorf anfallenden festen Rückstände werden auf der werkseigenen ESTA-Rückstandshalde Hattorf aufgehaldet, deren Kapazität im Jahr 2018 erschöpft war. Das Vorhaben „Nachhaltiges Rückstandsmanagement (RM) am Standort Hattorf“ zur Erweiterung der Halde wurde erstmals am 30.06.2014 beantragt. Für dieses Vorhaben war gemäß § 52 Abs. 2a BBergG ein Rahmenbetriebsplan aufzustellen und für dessen Zulassung ein Planfeststellungsverfahren nach Maßgabe des § 57a BBergG durchzuführen, weil es sich bei dem konkreten Vorhaben um eine betriebsplanpflichtige Halde(nerweiterung) um mehr als 10 ha handelte und dies gemäß § 1 Satz 1 Nr. 3 UVP-V Bergbau einer Umweltverträglichkeitsprüfung bedurfte. Der Ablauf des Planfeststellungsverfahrens, in dessen Ablauf sich die beantragte Fläche auf rd. 62 ha reduzierte, ist in Band 1.1E3 dargestellt. Mit Beschluss vom 10.10.2018 (Az.: 34/HEF-76 d 40-11-314-30/717) hat die Planfeststellungsbehörde die Erweiterung für die Phase 1 mit einer Flächengröße von rd. 26,9 ha zugelassen und eine Zulassung der Haldenerweiterung im Übrigen einer späteren Entscheidung vorbehalten.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass im Juni 2023 die gemäß dem Planfeststellungsbeschluss vom 10.10.2018 für Phase 1 genehmigte Haldenfläche erschöpft sein wird. Mit dem Rahmenbetriebsplan Stand 08/2021 wurde die Aufspaltung der ehemaligen Phase 2 der Haldenerweiterung in zwei weitere eigenständige Abschnitte im Sinne des § 52 Abs. 2b BBergG, nämlich in die Phasen 2 und 3, beantragt und der bisherige Antrag in Gestalt der 2. Planänderung (Stand: 05.2018) für die neue Phase 2 in Form der 3. Planänderung ([Abbildung 4-1](#)) modifiziert. Ende 2024 wird die Gesamtfläche der neuen beantragten Phase 2 von ca. 10,8 ha belegt sein, und die hier gegenständliche Erweiterung in Phase 3 (4. Planänderung) wird zur Aufrechterhaltung des Betriebs erforderlich. Gegenstand des in Phase 3 beantragten Vorhabens ist eine Haldenaufstandsfläche von ca. 24,5 ha sowie der angrenzende Randstreifen für die Infrastruktur.

## **2 Technische Maßnahmen zur Minimierung der vorhabenbedingten Auswirkungen**

Gemäß Anhang 6 (zu § 22a Abs. 3 Satz 1) der Allgemeinen Bundesbergverordnung (ABergV) ist die Bildung von Sickerwasser durch geeignete Maßnahmen so weit wie möglich zu vermeiden.

In dem vorliegenden Band wird das technische Konzept zur Umsetzung der Haldenerweiterung in Phase 2 vorgestellt. Es wurde unter Berücksichtigung der Rückstandseigenschaften und Strömungsprozesse im Haldenkörper konzipiert und umfasst die nachfolgend genannten vorhabensbezogenen technischen Minderungsmaßnahmen im Sinne der o.g. Anforderung:

- Umsetzung eines Beschüttungskonzepts, welches die hydraulischen Prozesse im Haldenkörper berücksichtigt (Kapitel 4),
- Errichtung des Systems Basisabdichtung (Kapitel 5),
- Errichtung einer Oberflächenabdeckung auf den Plateauflächen der Haldenerweiterungsfläche (sukzessive Abdeckung der Phasen 1, 2 und 3) (Kapitel 6).

Darüber hinaus sind im Rahmen der Phase 3 weitere Sickerwasserminimierungs-, Sicherungs- und Kompensationsmaßnahmen relevant. Diese sind im Band 3.30E3 erläutert und nicht Gegenstand dieses Bandes.

Das in Kapitel 4 vorgestellte Beschüttungskonzept trägt den in Kapitel 3 zusammengefassten Erkenntnissen zum Haldenkörperverhalten aus Band 3.17 Rechnung. Die in Phase 1 und 2 umgesetzte hydraulische Trennung wird in Phase 3 aufgrund dieser in Band 3.17 dokumentierten Erkenntnisse nicht fortgesetzt (vgl. Kapitel 3). Eine technische Beschreibung hierzu findet sich in den Rahmenbetriebsplänen 04/09-HA i. d. F. v. 2018 und 08.2021. Die Auswirkungsprognose zum Schutzgut Grundwasser (Band 3.12.2E3) bestätigt, dass die hydraulische Trennung nicht erforderlich ist, da sich auch ohne sie keine unzulässigen Auswirkungen der Haldenerweiterung ergeben.

Zur Vermeidung des Sickerwassereintrages in den Untergrund ist die Errichtung des „Systems Basisabdichtung“ bestehend aus einer zweilagigen mineralischen Dichtungsschicht sowie haldeninternen und -externen Haldenwasserfassungssystemen geplant. Die neu entwickelte, im Zuge der Haldenerweiterung ab Beginn der Phase 1 eingesetzte Basisabdichtung übertrifft den Stand der Technik. Die für die Phase 3 beantragten Varianten des Systems stellen eine Optimierung des Systems aus Phase 1 dar. Ihre Gleichwertigkeit zueinander bzw. zu dem in Phase 1 eingesetzten System wird nachgewiesen.

Aufbauend auf den Grundsätzen zur Entwicklung und zum Nachweis der Eignung des Systems Basisabdichtung werden in Kapitel 5 der Aufbau und die Eigenschaften des Systems Basisabdichtung beschrieben sowie der Nachweis der hydraulischen und mechanischen Eignung des Systems Basisabdichtung geführt. Die zur Herstellung der zweilagigen mineralischen Dichtung geeigneten Materialien sowie die Eignungsprüfungen (Labor- und Feldversuche) sind in den Bänden 3.29.1N2 und 3.29.2N3 beschrieben.

Zur Vermeidung der Bildung von Sickerwässern ist ferner eine Abdeckung des entstehenden Haldenplateaus der Erweiterungsfläche Gegenstand des technischen Konzepts für Phase 3 und damit Antragsgegenstand. Kapitel 6 enthält, aufbauend auf einer Beschreibung der Randbedingungen, Ausführungen zu deren Entwicklung, eine Systembeschreibung, sowie Grundlagen zum Nachweis des Systems. Zu den Ausführungen wird ergänzend auf Band

3.29.3N3 verwiesen, welcher eine Machbarkeitsstudie zur Plateauabdeckung und Ausführungen zum Gesamtsystem der für den Standort Hattorf geplanten multifunktionalen standortangepassten Haldenabdeckung (MSO) enthält.

### **3 Haldenkörperverhalten**

Das Haldenkörperverhalten ist Ausgangspunkt für die Entwicklung des technischen Konzepts und insbesondere für die Auswahl und Dimensionierung der technischen Einrichtungen - „System Basisabdichtung“ und Infrastruktureinrichtungen (z.B. Umfahrungsweg, Zaunanlage, sonstige Bauwerke) von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus ist die Kenntnis der Strömungsprozesse in der Halde wesentlich für die Planung von Entwässerungseinrichtungen. Die Strömungsprozesse wiederum können durch die Gestaltung des Schüttkonzepts beeinflusst werden, wie im Ergebnis der in Band 3.17 dokumentierten umfangreichen Untersuchungen gezeigt werden konnte.

Im Folgenden wird zwischen dem mechanischen, dem chemisch-mineralogischen und dem hydraulischen Haldenkörperverhalten unterschieden. Die Kenntnis der vorstehenden Gesichtspunkte ist wesentlich bei der Materialauswahl der technischen Komponenten und zur Bestimmung des Materialverhaltens im Hinblick auf die technische Machbarkeit, Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit.

#### **3.1 Chemisch-mineralogisches Haldenkörperverhalten**

Das chemisch-mineralogische Haldenkörperverhalten kann einerseits durch die zeitabhängige Haldenwasserzusammensetzung und deren Einwirkung auf die technischen Einrichtungen sowie durch die chemisch-mineralogischen Veränderungen im Haldenkörper und deren Auswirkung auf das hydraulische Verhalten des Haldenkörpers selbst beschrieben werden (siehe Band 3.17.1).

Aufgrund der Löslichkeit und Viskoplastizität des Rückstandes unterliegt der Haldenkörper fortwährenden Veränderungen (Oberfläche, Mantel-, Übergangs- und Kernzone). Der haldenwasserbedingte Massenauswurf führt langfristig zu Spannungsänderungen (in diesem Fall zu Verringerungen der Spannungseinträge).

Es ist gesicherter Kenntnisstand, dass unter den Standortbedingungen Hattorf eine Zeitabhängigkeit der Haldenwasserzusammensetzung in der Betriebs- und insbesondere in der Nachbetriebsphase besteht (vgl. Band 3.17.1).

Die Haldenwasserzusammensetzung wird infolge der Löslichkeit des Rückstandes durch einen Gesamtsalzgehalt von rund 360 bis rund 380 g/l und durch Chloridkonzentrationen in Größenordnungen von bis zu 200 g/l geprägt (Haldenwasserzusammensetzung gemäß Band 1.1.3E3: „Art der Abfälle und Salzwässer“). Der Hauptbelastungsparameter Chlorid kann im Gegensatz zu den Schadstoffbelastungen aus Deponien im natürlich anstehenden Boden oder auch in einer mineralischen Dichtungsschicht nicht durch Adsorption gebunden werden. Eine geologische Barriere, wie sie z.B. bei Deponien vorgegeben ist, ist deshalb ohne Funktion und verzichtbar. Die hohe Gesamtsalzbelastung des Haldenwassers verlangt eine angepasste Resistenz des Systems Basisabdichtung gegenüber dieser chemischen Belastung.

Deponiesickerwasser aus dem Anwendungsbereich der DepV unterliegenden Deponien weist demgegenüber bei Vorhandensein auch wassergefährdender Stoffe einen deutlich geringeren Gesamtsalz-/Chloridgehalt auf. Fast alle organischen und nichtorganischen Inhaltstoffe sind adsorbierbar und der überwiegende Anteil der organischen Inhaltstoffe ist trotz zum Teil vorhandener Persistenzen biologisch abbaubar.



In Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen innerhalb des Haldenkörpers und im Haldenvorfeld unterliegen die Stabilitätsbedingungen des Stoffinventars Veränderungen. So kommt es innerhalb des Haldenkörpers zu Alterationsprozessen und Sekundärbildungen aus den perkolierenden Lösungen und dem aufgehaldeten Rückstand, häufig unter Einbindung von Wasser in das Kristallgitter. Auch beim Austritt der hochmineralisierten und an Natriumchlorid gesättigten Haldenwässer aus dem Haldenkörper kommt es bei einem Wechsel der Umgebungsbedingungen (insbesondere der Temperatur) zu Kristallisationen aus der Lösung, welche im Zuge der Wartung und Instandhaltung der Entwässerungseinrichtungen zu berücksichtigen sind, um deren Funktionsfähigkeit zu erhalten.

Nach den Erfahrungen an Großhalden der K+S treten in Drainage-/ Schotterkörpern der Haldenentwässerung im unmittelbaren Haldenrandbereich bei sinkenden Temperaturen infolge Verminderung der Lösungskapazität im Haldenwasser Kristallisationen auf. Beobachtungen an Austrittsstellen linienförmiger haldeninterner Entwässerungselemente zeigen jedoch, dass dennoch im Drainage-/ Schotterkörper lokale Lösungs-/Fließbahnen verbleiben. Im Inneren des Haldenkörpers treten jedoch nur geringe Temperaturschwankungen auf (vgl. Band 3.17). Bereits im Haldenmantelbereich wurden in allen ausgewerteten Haldenbohrungen Temperaturen von minimal 15° C festgestellt, so dass hier und weiter innerhalb das Auftreten von temperaturbedingten Kristallisationen im Entwässerungssystem weitgehend ausgeschlossen werden kann.

### **3.2 Mechanisches Haldenkörperverhalten**

Das mechanische Haldenkörperverhalten wird maßgeblich durch die Haldenkubatur (Höhe ü. GOK, Böschungswinkel und -länge), die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Rückstandes (Lösungs- und Rekristallisationsverhalten, Dichteentwicklung, Verfestigung, Viskoplastizität) und den Baugrund der Aufstandsfläche (Geologie und Hydrogeologie) des Standortes bestimmt. Durch den Haldenkörper erfolgen Spannungseinträge in den Untergrund, deren Höhe von der Haldenkörperkubatur (Höhe ü. GOK, Böschungswinkel und -länge), der Morphologie der Aufstandsfläche und der Rückstandsdichte (Schüttdichte, Lagerungsdichteverteilung) abhängen. Das führt in Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften des Baugrundes zu Verformungen (horizontal und vertikal) des Haldenuntergrundes und direkten Haldenumfeldes sowie damit auch zu einer Beanspruchung des Systems Basisabdichtung, das aus der mineralischen Dichtung, den haldeninternen Entwässerungseinrichtungen und dem Haldenvorfeld mit dem in die mineralische Dichtung eingebundenen Haldenrandgraben besteht. Zum Nachweis der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung wurden angelehnt an den Stand der Technik und Wissenschaft Nachweisverfahren entwickelt, die basierend auf den materialtechnischen Eigenschaften der zum Einsatz kommenden Materialien das spezifische Haldenkörperverhalten berücksichtigen. Das betrifft sowohl die mechanischen als auch die chemischen Belastungen. Hinsichtlich der mechanischen Belastungen erfolgen Auslegung und der Nachweis des Systems Basisabdichtung so, dass die Verformungen, insbesondere die zu erwartenden Dehnungen/ Stauchungen ohne Verlust der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit aufgenommen werden können.

Die auflastbedingten Verformungen im Haldenuntergrund und -vorland werden durch das beantragte Beschüttungskonzept (vgl. Kapitel 4 und Band 1.1E3) und eine angepasste Böschungsgeometrie auf ein für das System Basisabdichtung verträgliches Maß verringert. Die

Beschüttung wird durch ein umfangreiches Monitoring begleitet, welches in Band 3.18.2E3 beschrieben ist und die Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung über die Einhaltung der dort genannten Überwachungswerte sicherstellt.

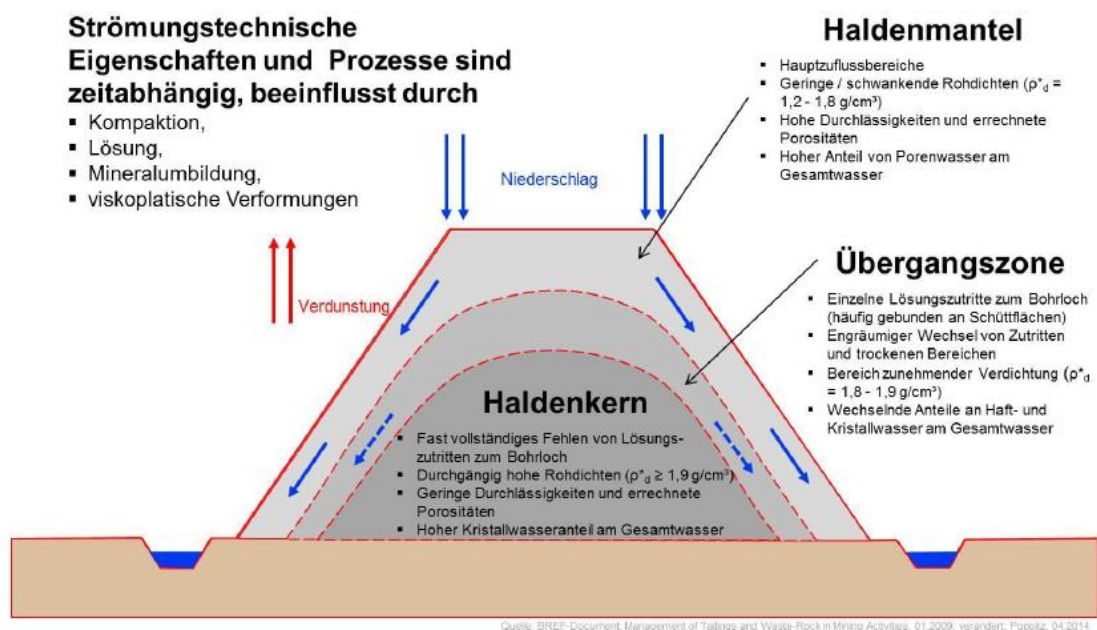
### 3.3 Hydraulisches Haldenkörperverhalten

#### 3.3.1 Untersuchungsergebnisse und sachverständige Bewertung

Unter Berücksichtigung der physikalischen und chemischen Rückstandseigenschaften (insbesondere Löslichkeit, Mineralisation, Rekristallisation, Dichteentwicklung/ Kompaktion) und der Haldenkubatur (Höhe ü.GOK, Böschungen) kann der Haldenkörper in Auswertung der horizontalen und vertikalen Haldenbohrungen an den Standorten Hattorf und Wintershall in drei hydraulisch unterschiedlich wirksame Zonen/Bereiche eingeteilt werden (vgl. Abbildung 3-1:

- eine hydraulisch aktive äußere Mantelzone;
- eine sich daran anschließende hydraulisch sehr wenig aktive Übergangszone und
- eine quasi hydraulisch inaktive Kernzone.

Das Haldenwasser gelangt über die hydraulisch aktiven Bereiche zum Abfluss. Dort bewegt es sich gemäß den Erkenntnissen aus Band 3.17.1 auf in Folge der Löslichkeit des Rückstandes gebildeten, bevorzugten Sickerwasserwegen.



**Abbildung 3-1: Haldenzonierung (Abb. identisch mit Abb. 5-10, Bd. 3.17.1)**

Die Zonierung des Haldenkörpers wurde anhand von Haldenbohrungen an den Standorten Hattorf und Wintershall ermittelt (vgl. Band 3.17.1). Weitere Erkenntnisquellen liegen mit den Berichten zur Salzhaldentomographie aus 2020 für den Standort Hattorf sowie aus 2021 für den Standort Wintershall vor (Band 3.17.2N). Diese haben die Ergebnisse der Haldenkörperbohrungen hinsichtlich der Strömungsprozesse bestätigt. In Band 3.17.3N wurden die bereits ausgeführten und dokumentierten Haldenbohrungen und Haldendurchörterungen an

den Standorten Hattorf, Wintershall, Neuhoof-Ellers, Zielitz und Bleicherode zusammengefasst und hinsichtlich der Modellvorstellung zur Ausbildung eines dichten Haldenkerns durch den Sachverständigen Prof. Dr-Ing. Katzenbach (SV) sachverständigenseits bewertet. Dabei wurden ebenfalls die geophysikalischen Untersuchungen an den Halden Hattorf und Wintershall (Band 3.17.2N) berücksichtigt. Im Ergebnis kann gemäß Band 3.17.3N, Kapitel 6, aus sachverständiger Sicht „die Modellvorstellung zum Haldenkörper mit der Ausbildung eines dichten, im Sinne der DIN18130 nahezu undurchlässigen Haldenkerns bei Rückstandshalden nach Sichtung und Auswertung der bisher ausgeführten Haldenbohrungen bzw. Haldendurchörterung und den durchgeführten Feld- und Laborversuchen sowie den geophysikalischen Erkundungen an der Halde Hattorf bestätigt werden“

Die Einschätzung des Sachverständigen stützt sich insbesondere auf die folgenden Sachverhalte:

- Im Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen sind für alle Bohrungen übereinstimmend mit der Teufe zunehmende Dichten, abnehmende Porositäten und Durchlässigkeiten belegt.
- Die gutachterliche Inaugenscheinnahme des Stollens in der Halde Bleicherode ergab, dass dort keine Wegsamkeiten im Haldenkernbereich vorhanden sind und auch keine Notwendigkeit für eine Wasserhaltung im zentralen Bereich der Halde besteht.
- Die Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen (Salzhaldentomographie, Band 3.17.2N) haben die Ergebnisse der Haldenbohrungen im Hinblick auf die hydraulischen Gegebenheiten bestätigt. Im Abgleich zu den Bohrerergebnissen boten die Ergebnisse der Salzhaldentomographie auch die Möglichkeit zur Ableitung von Grenzkriterien der elektrischen Widerstände und seismischen Wellengeschwindigkeiten, und damit zur Bewertung der von K+S ausgewiesenen Tiefen der Zonierung. Anhand der Ergebnisse der Salzhaldentomographie konnte somit auch die Zeitabhängigkeit der Entwicklung der Haldenzonierung bewertet werden.

Darüber hinaus finden sich in Band 3.17 weitere Belege für die Ausbildung des Haldenkerns. Hier sind insbesondere die folgenden Erkenntnisse hervorzuheben:

- Im Haldenkernbereich überwog der Kristallwasseranteil am Gesamtwassergehalt den Porenwasseranteil. Leichtlösliche kristallwasserhaltige Phasen konnten sich in diesen Bereichen offenbar erhalten, was ebenso wie die geringen Porenwassergehalte gegen einen Wasserzutritt spricht.
- Gestützt wird dies durch die Versuche zur Haftlösungssättigung aus Band 1.3E3, Anlage 16, die gezeigt haben, dass der Rückstand im Haldenkernbereich mehr Lösung gegen die Schwerkraft halten kann, als initial bei Gewinnung der Kernprobe darin enthalten war. Läge ein Niederschlagseinfluss vor, hätte sich ein Gleichgewicht mindestens in Höhe des Haftwassergehalts eingestellt.
- Neben Sekundärphasen waren in den tieferen Haldenbereichen auch metastabile Phasen (z.B. der Wertstoff-Restbestandteil Kieserit) angetroffen worden. Die Phasenumwandlung und das Potential zur Hydratisierung waren offenbar noch nicht abgeschlossen.

Im Hinblick auf die Beschreibung der Strömungsprozesse im Haldenkörper ist insgesamt zu beachten, dass in keiner der zahlreichen Proben der Haldenbohrungen eine vollständige Sättigung des Porenraums nachgewiesen wurde. Das hydraulische Verhalten der Halde ist somit durch eine Zweiphasenströmung zu charakterisieren, und die Fließprozesse geschehen in der Realität langsamer, als dies durch die im Labor unter Sättigungsbedingungen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte beschrieben werden kann. Unterhalb einer Sättigung von rd. 40% sind Strömungsprozesse nicht zu erwarten, unterhalb einer Sättigung von rd. 60% nur untergeordnet (vgl. Band 1.3E3, Anlage 17, dort Anlage 1 zu Anlage 2). Die betrifft weite Bereiche der untersuchten Bohrungen. Die Angabe eines Durchlässigkeitsbeiwertes in Band 3.17.1 und 3.17.3N ist daher als konservativ zu werten.

Es ist davon auszugehen, dass sich auch unter der geplanten unteren Schütteebe, d.h. in Haldenbereichen mit rund 90 bis 100 m Höhe im Endzustand, ein Haldenkern ausbildet. Das Vorhandensein eines dichten Haldenkerns auch für flachere Haldenbereiche wurde u.a. für die maximal rund 90 m hohe Halde Niedersachsen des stillgelegten Werkes Niedersachsen-Riedel in Wathlingen durch Bohrungen bestätigt (vgl. hierzu: Kali und Salz GmbH 1996 und Band 3.17). Auch das Sachverständigen-Gutachten in Band 3.17.3N bestätigt die Ausbildung des Haldenkerns bei geringer Höhe anhand der Befahrung der Halde Bleicherode mit einer geringen Haldenhöhe von im Mittel 75 m und lokal maximal 100 m (vgl. Band 3.17.3, Kapitel 6).

Die Breite der Mantel- und Übergangszone hängt von den zeit-, spannungs- und konzentrationsabhängigen Prozessen im Haldenkörper, wie z.B. von der Kompaktion des Rückstands, sowie von den äußeren klimatischen Einflüssen ab (vgl. Band 3.17.1).

Im Band 3.17.3N leitet der geotechnische Sachverständige anhand der Ergebnisse aus Band 3.17.1N und 3.17.2N Grenzkriterien für die Schichtgrenzen zwischen Haldenmantel und Übergangszone sowie zwischen Übergangszone und Haldenkern ab. Diese sind konservativ und auf die übrigen Haldenbereiche der Halden in Hattorf und Wintershall übertragbar. Demnach ist, bezogen auf die Haldenaufstandsfläche, der hydraulisch inaktive Haldenkern „in einem mittleren Abstand zum Haldenfuß (horizontal) von rd. 70 bis 80 m anzutreffen. Dies wird durch die Ergebnisse der Befahrung der Haldendurchörterung Bleicherode bestätigt, wo bei deutlich geringeren Überschüttungshöhen vergleichbare Ergebnisse abgeleitet werden konnten. „Im Ergebnis der Auswertung der Haldenkörperbohrungen und der geophysikalischen Untersuchungen können [seitens des Sachverständigen] die bislang vorliegenden Abschätzungen zur Breite des hydraulisch aktiven Bereichs (Haldenmantel und Übergangszone) gemäß [Rahmenbetriebsplan i.d.F.v. 2018] mit rd. 90 bis 110 m als konservativ bestätigt werden.“ (vgl. Band 3.17.3N, Kap. 6).

Die auf den Haldenbohrungen und der Salzhaldentomographie basierenden Angaben zur Breite von Mantel- und Übergangszone sind im technischen Konzept umzusetzen und finden insbesondere in der Positionierung der linienförmigen Entwässerungselemente Berücksichtigung.

Wie die Untersuchungen in Band 3.17.1 gezeigt haben, ist die Entwicklung der Haldenzonierung zeitabhängig, d.h. der Haldenkern wächst mit zunehmender Ablagerungsdauer auf Kosten der Übergangszone nach außen hin an. Eine Überschüttung und damit ein zusätzlicher Lasteintrag forcieren diese Entwicklung. Die Zeitabhängigkeit der Zonierung kann gem. Band 3.17.2N anhand der Situation an der Ostflanke bewertet werden (vgl. Band 3.17.2N, S. 45), wo im Rahmen der letzten Haldenerweiterung eine rd. 100 - 120 m mächtige Überschüttung einer

Altflanke erfolgte: „Die Überschüttung der Ostflanke im Bereich des Messprofils erfolgte überwiegend im Zeitraum 2015/2016. Dieser Haldenflankenbereich erfährt aufgrund der Überschüttung eine andere Setzungscharakteristik gegenüber der Aufschüttung des restlichen Haldenbereichs (konturparallele Schüttung). Durch diese Anschüttung wurde die ehemalige Ostflanke zusätzlich ballastiert und die dadurch hervorgerufene Kompaktion hat zu einer Verlagerung der „alten“ Haldenzonierung in den Bereich der Überschüttung geführt.“ Gleiches wurde im Vergleich der Zonierung der Vertikalbohrung B98/2013-HA aus 2013 mit den Ergebnissen der geophysikalischen Untersuchungen beobachtet. Auch dort kam es im Ablauf der Zeit und mit Zunahme der Last in Folge der Rückverfüllung zu einer Verlagerung des Übergangs zwischen den hydraulisch wirksamen Bereichen und der Haldenkernzone in Richtung der Haldenoberfläche. Diese Erkenntnisse sind Grundlage für das technische Konzept der Phase 3 (Verzicht auf die hydraulische Trennung) und die Festlegung der Schüttreihenfolge im Beschüttungskonzept (siehe Kapitel 4).

Auch die lösungsbedingte Ausbildung der bevorzugten Wegsamkeiten innerhalb des Haldenkörpers ist zeitabhängig. Wie ebenfalls in Band 3.17.1 dargestellt, kommt es in dem frischen Rückstand zunächst zu Rekristallisationsprozessen der anhaftenden, bei Beschüttung warmen Prozesslösung, zur Bildung von Aggregaten und Krusten. Die Bildung bevorzugter Wegsamkeiten in Abhängigkeit vom Niederschlag bedarf ebenso wie die Kompaktion einiger Zeit, da der Niederschlag sich unmittelbar nach Kontakt mit dem Rückstand aufsättigt und ohne weitere Lösungswirkung abfließt. So kommt es – unter Berücksichtigung der langen Fließwege an den hohen Haldenböschungen – im frischen Rückstand nicht bzw. nur untergeordnet zu Sickerwasseraustritten. Mit zunehmender Ablagerungszeit sind die Fließwege stärker ausgeprägt und die Sickerzeiten verkürzen sich.

Das flächendifferenzierte und zeitabhängige hydraulische Verhalten des Haldenkörpers verlangt in Verbindung mit den auflastbedingten Verformungen ein an diese Verhältnisse angepasstes haldeninternes Entwässerungssystem zur Fassung und Abführung des Haldenwassers. Das wird durch die flächenhafte Entwässerungsschicht erreicht, welches unter Berücksichtigung der ortskonkreten Gefälleverhältnisse durch linienförmige Fassungs- und Entwässerungselemente unterstützt wird, die in hydraulisch aktiven Bereichen angeordnet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass das Haldenwasser aus diesen hydraulisch aktiven Bereichen sicher abgeführt werden kann.

Die vorgenannten haldenspezifischen Beanspruchungen wurden bei der Entwicklung des technischen Konzeptes und der Auswahl des Basisabdichtungssystems berücksichtigt.

Im Rahmen der Phase 1 der Haldenerweiterung wurde ein Testfeld zur Entwicklung des Haldenkerns in den 1. Bauabschnitt der Erweiterungsfläche integriert (vgl. RBP 04/09 HA i.d.F.v.2018, Band 1.1.1). Das hydraulisch abgegrenzte Feld entwässert über ein Vollrohr nach außen und ermöglicht so eine Beobachtung des durch den Haldenkern perkolierenden Wassers. Das Feld wurde in 2019 überschüttet. Der betreffende Bereich liegt unterhalb des Plateaubereichs der Neuhalde Phase 1, randlich zur Haldenauffahrt, welcher bis zum Ende der Phase 1 sukzessive auf 100 m Höhe aufgefahren wird. Im Endzustand wird das Testfeld z.T. unter der Berme der unteren Schütteebene liegen und bis unter die Flanke der oberen Aufhaldungsebene reichen. Die Überdeckung beträgt damit rund 100 m; mit Stand 12.2021 ist diese Höhe von 100 erreicht, jedoch werden im Zuge der Erstellung der hydraulischen Trennung in unmittelbar angrenzenden Bereichen noch weitere Aufhaldungsmengen eingebracht (Anschluss an die Bestandshalde). Eine Kamerabefahrungen in 2020, 2022 und 2023 hatten im

Rahmen der Überprüfung der Entwässerungselemente gem. NB 4.4.10 des PFB 2018 gezeigt, dass das Rohr intakt ist. Seit 02.2019 wird monatlich eine Probe zur chemischen Analyse aus dem Vollrohr entnommen, wenn dort Lösung austritt. Bislang war das Rohr überwiegend trocken, es liegen nur wenige Analysen vor (Stand 11.2021). Diese zeigen gegenüber dem sonstigen Haldenwasser (auch bezogen auf den benachbarten Randgraben) erhöhte Werte von Magnesium und Chlorid, und (mit Ausnahme der Erstbeprobung nach Anlage unter Witterungsschutz) sehr hohe Gesamtmineralisationen von rd. 380 bis 415 g/l, was auf ein Abfließen der bei Aufhaltung anhaftenden Feuchte (Prozesswasser) schließen lässt. Seit 05.2021 ist das Rohr trocken, eine Probenahme war daher nicht möglich.

### **3.3.2 Fließwege im Haldenkörper unter Berücksichtigung der Anschüttung der Erweiterung**

Es ist davon auszugehen, dass sich die Anschüttung der unteren Schütteebene der geplanten Haldenerweiterung auf die Haldenzonierung der Bestandshalde auswirkt. Die Last der Anschüttung an die Flanke der Bestandshalde führt im zeitlichen Prozess der Beschüttung und Rückstandskompaktion zum allmählichen „Heranwachsen“ des Haldenkerns der Bestandshalde an seine ehemalige Flanke (vgl. Band 3.17.3N und Kapitel 3.3). Gleichermaßen wird sich lastabhängig im Schüttkörper der Haldenerweiterung der Haldenkern ausbilden, wobei das System Basisabdichtung an der Haldenbasis die Haldenwässer gezielt mit geringstmöglicher Umweltauswirkung zum Rand des Haldenkörpers führt.

Damit wird der Haupt-Abfluss von Haldenwasser vom ungedichteten Bestandshaldenbereich in den gedichteten Erweiterungsbereich verlagert. Das Haldenwasser fließt oberhalb des Haldenkerns in den durchlässigeren Mantel- und Übergangsbereichen in Richtung des Haldenfußes ab. Dies stellt unter Berücksichtigung der Ausführungen in Band 3.17.1 ein realistisches Szenario zu den Strömungsprozessen dar, die mit der Anschüttung der Haldenerweiterung an die Bestandshalde und den damit verursachten Verlagerungen/Entwicklungen der Haldenzonen in der Bestandshalde einhergehen. Im Rahmen der Haldenkörperbohrungen wurde nachgewiesen, dass eine ausgeprägte Anisotropie zwischen horizontalen und vertikalen Durchlässigkeiten innerhalb der Halde besteht, die zu einer Ableitung der Sickerwässer nach außen in die höher durchlässigen Bereiche der Mantelzone hineinführt.

Die in Band 3.17.4N durchgeführte Modellierung mittels Hydrus 2D/3D bestätigt die aus Band 3.17.1 – 3.17.3N abgeleitete Zonierung des Haldenkörpers und die sich gemäß Band 3.17.1 einstellenden Haupt-Fließrichtungen. Auch zeigt sich im Modell deutlich die bevorzugte Entwässerung über den Haldenmantel in den Haldenfußbereich. Zu beachten ist hierbei, dass die Schüttflächen innerhalb des Rückstandskörpers die Anisotropie der Durchlässigkeiten verstärken und damit die Entwässerung über Haldenmantel und -fuß noch zusätzlich begünstigen.

Des Weiteren stützen die hydraulischen Berechnungen gemäß Band 3.17.4N die bisherigen Erfahrungen und Kenntnisse bei der Beschreibung der Fließprozesse in Rückstandshalden. Im betrachteten Modellschnitt fallen 97,4 % der Wässer im Bereich der Haldenrandgräben und des zentralen Entwässerungselements an und werden so gefasst. Hierbei ist zu beachten, dass die linienförmigen Entwässerungselemente in Haldenmantel- und Übergangszone (EEM und EEÜ) der Haldenerweiterungsfläche nicht in dem konservativen Modellansatz berücksichtigt sind.

Es ist nicht auszuschließen, dass im Nahbereich der ehemaligen Böschungsflanke der Bestandshalde aufgrund der an das Schüttgefüge gebundenen lokalen/ diskreten Fließzonen auch innerhalb der neu entstandenen Kernzone zeitweise geringfügige Wasserführungen verbleiben. Um die optimale Wasserfassung in diesem Bereich zu gewährleisten, wird parallel zum (ehemaligen) Haldenfuß der Bestandshalde das Entwässerungselement EHG angeordnet (vgl. Kapitel 465.3.2.5.1). Aufgrund der Fortführung der Entwässerungsstränge aus Phase 2 bis an den südlichen Haldenrand besteht neben dem EHG im Übergangsbereich mit dem EEHT noch eine zusätzliche Entwässerungseinrichtung.

Im Band 1.1.1E des zugelassenen RBP 04/09 HA i. d. F. v. 2018 (Phase 1) war ferner eine Betrachtung der Fließwege in Richtung der Längsachse der Bestandshalde erfolgt, da diese für das Gesamtbild der Strömungsprozesse relevant ist. Die folgenden Ausführungen dazu gelten entsprechend: Die Oberkante der Haldenkernzone innerhalb der Bestandshalde fällt von Südwesten nach Nordosten ein. Das bedeutet, dass in der Bestandshalde ein deutliches Längsgefälle der Haldenzonierung in Richtung Nordosten besteht. Es ist davon auszugehen, dass es in dieser Größenordnung die Strömungsprozesse/ Fließwege signifikant beeinflusst, insbesondere auf dem Haldentop sowie im Böschungswinkel zwischen Haldenkern der Bestandshalde und der Erweiterung bis etwa zu Station +1100 der Bestandshalde (südlich davon befindet sich das weitgehend ebene Haldenplateau), da die Längskomponente der Strömungsprozesse/ Fließwege den Anstrom in Richtung Erweiterung vermindert.

Die antragsgegenständliche Haldenabdeckung auf dem Haldentop der Erweiterung sowie die vorlaufend umzusetzende Abdeckung des Plateaus der Bestandshalde werden sich zusätzlich günstig auf die Strömungsprozesse auswirken, da der niederschlagsbedingte Sickerwasseranfall durch diese in den abgedeckten Bereichen vermieden wird. Dies führt zu einer deutlichen Abnahme der am Strömungsprozess beteiligten Haldenwassermenge. Dies begünstigt entscheidend die Kernausbildung im tieferen Haldenkörper. Nach erfolgter Umsetzung der gesamten Erweiterung und Erreichen einer einheitlichen Haldenhöhe von 520 mNN sowie nach abgeschlossener Kompaktion des Rückstands wird sich die Oberfläche des Haldenkerns etwa parallel zum Haldentop ausgebildet haben.

Die Ermittlung der Restinfiltration der Rückstandshalde sowie der geplanten Erweiterung ist Gegenstand des Bandes 1.3E2.

## 4 Beschüttungskonzept

Die Beschüttung der Haldenerweiterung Phase 3 erfolgt im kombinierten Schüttverfahren mit Flankenschüttung auf mehreren Schütteebenen. Diese Vorgehensweise bezieht sich sowohl auf die Erweiterungsfläche der Phase 3 als auch auf die Beschüttung der oberen Schütteebenen der Haldenerweiterungsfläche der Phase 2, für die mit Antrag Stand 08/2021 zunächst nur die untere Schüttscheibe beantragt wurde, die mit der Phase 3 überschüttet wird. Des Weiteren erfolgt im zeitlichen Zusammenhang mit der Beschüttung der Phase 3 auch die Umsetzung der Beschüttung der Phase 1, die bereits mit Planfeststellungsbeschluss vom 10.10.2018 zugelassen wurde.

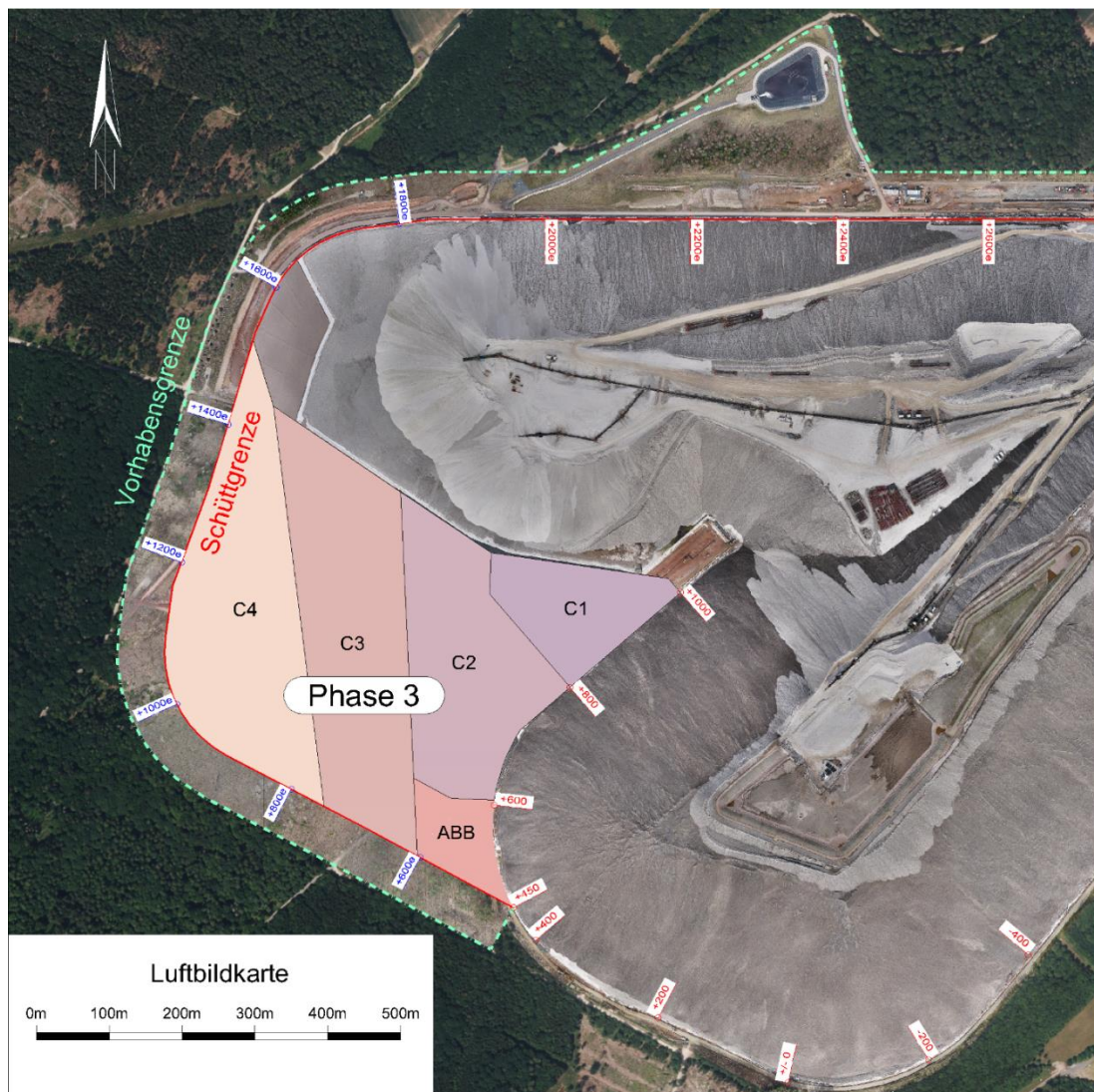
Im Sinne einer möglichst raschen Ausbildung eines hydraulisch inaktiven Haldenkerns im Anschüttungsbereich der Haldenerweiterung Phase 3 an die Bestandshalde wurde das Beschüttungskonzept derart konzipiert, dass die untere Schütteebene bis zu einer Aufhaldungshöhe von 100 m [zunächst in diesem Bereich](#) vorgenommen wird, beginnend mit der Anschüttung an die Bestandshalde im Anbindungsbereich an die Phase 2 bei Station +1000 ([Abbildung 4-1](#)). Danach setzt sich gemäß der [Abbildung 4-1](#) die Beschüttung [in den Abschnitten C1 und C2 zunächst](#) nach Südwesten, später nach Westen entlang der Bestandshalde [bis zur Station +600 fort](#).

[Südlich der Station +600 wird die Beschüttung im Anbindungsbereich an die Bestandshalde \(Abschnitt ABB\) zeitlich gestreckt und durch ein engmaschiges Monitoring gemäß Band 3.18.2E3 begleitet. Während die Haupt-Schüttmengen auf den sonstigen Flächen der unteren Schüttscheibe verbracht werden \(Abschnitte C3 und C4\), erfolgt die Beschüttung des Anbindungsbereichs mit verringerter Jahresmenge über einen Zeitraum von 4 Jahren. Bei Einhaltung der Überwachungswerte für den Anbindungsbereich wird dieser zeitgleich mit der Beschüttung der unteren Ebene insgesamt belegt sein.](#)

[Unter Fortschreibung der derzeitigen Aufhaldungsmengen ist die ~~Damit ist die~~ untere Schüttscheibe nach ca. 6 Jahren vollständig beschüttet. Innerhalb dieses Zeitraums wird sich im Anbindungsbereich zwischen Bestandshalde und Haldenerweiterung der hydraulisch inaktive Haldenkern ausgebildet haben. Entsprechende Erkenntnisse liegen mit den Untersuchungen zur Salzhaldentomographie in Band 3.17.2N vor. Wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, konnte dort für die Ostflanke der Bestandshalde Hattorf und einen Zeitraum von nur 4 Jahren ein deutliches Anwachsen des Haldenkerns auf Kosten der Übergangszone nach außen festgestellt werden. Bei einer Anschüttung von rund 100-120 m Breite erfolgte eine Verlagerung des Haldenkernbereichs bis auf die gedichteten Flächen der Erweiterung \(Abstand rd. 90 m vom heutigen Haldenfuß, vgl. auch Band 3.17.3N\). Des Weiteren belegt Band 3.17.3N, dass auch bei einer Schütthöhe von rund 100 m die Ausbildung eines Haldenkerns zu erwarten ist. Ergänzend verweisen wir an dieser Stelle auf die Ergebnisse des Testfelds Haldenkern, welche in Kapitel 3.3.1 dargelegt werden. Diese bestätigen die Haldenkernbildung auch bei geringen Schütthöhen.](#)

Im Zuge der Haldenbohrung am Standort Wintershall wurde ferner in Band 3.15 festgestellt, dass sich ein kontinuierlicher Schüttfortschritt in eine Haupt-Vorschubrichtung begünstigend auf die Ausbildung der Haldenzonierung auswirkt.





**Abbildung 4-1:** Beschüttungskonzept der unteren Schütteebene incl. Darstellung des Anbindungs Bereichs (ABB), in welchem eine verzögerte Beschüttung erfolgt. Prinzipskizze, Konkretisierung der Schüttflächen C1 – C4 in nachfolgenden Planungen erforderlich.

Die Untersuchungen und Vorgaben zum geotechnischen Nachweiskonzept/ Monitoring im Band 3.18E2 beziehen sich auf ein Beschüttungskonzept mit drei Schütteebenen, das auch Bestandteil des RBP und zugehörigen PFB für die Phase 1 war.

Am Süd- und Südwestrand der Bestandshalde traten in der Vergangenheit erhöhte Verformungen des Haldenvorfelds auf. Um eine zusätzliche Beeinträchtigung dieses vorbelasteten Bereichs zu vermeiden, wurde das Beschüttungskonzept der unteren Schütteebene wie vorstehend beschrieben angepasst, und auch das begleitende Monitoring- und Maßnahmenkonzept für den Anbindungs Bereich der Phase 3 an die Bestandshalde intensiviert (siehe Band 3.18.3E2). Es werden Überwachungswerte für das Vorland von Erweiterung und Bestand (Haldenstation +450 bis +250) im Vorfeld der Beschüttung festgelegt. Bei Einhaltung der Überwachungswerte für den Anbindungs Bereich wird dieser zeitgleich mit der Beschüttung der unteren Ebene insgesamt belegt sein. Bei einer etwaigen Überschreitung der

Überwachungswerte während der Annäherung der Beschüttung der Haldenerweiterung an die Südwestecke der Bestandshalde wird die Beschüttung in dem betreffenden Bereich zunächst eingestellt. Somit ist sichergestellt, dass es aufgrund der Beschüttung der Phase 3 nicht zu zusätzlichen Beeinträchtigungen des verformungsbeeinflussten Randbereichs der Bestandshalde kommt.

Sollen betriebsbedingte Anpassungen des Schüttkonzeptes im Zuge der Haldenerweiterung erfolgen, wie z. B. eine Reduzierung von drei auf zwei Schütteebenen, ist vom geotechnischen Sachverständigen vergleichbar zur Vorgehensweise bei der Flächenvorbereitung zu prüfen und zu bewerten, ob diese von den Randbedingungen der numerischen Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit abgedeckt sind. Handelt es sich gemäß dieser vergleichenden Bewertung um signifikante Änderungen der räumlichen bzw. zeitlichen Flächenbelegung und damit Lastaufbringung, die nicht mit den Modellrandbedingungen übereinstimmen, sind vom geotechnischen Sachverständigen für das geplante Beschüttungskonzept anhand ergänzender Untersuchungen die Nachweise zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erneut zu erbringen. Auf dieser Grundlage sind seitens K+S in Abstimmung mit dem geotechnischen Sachverständigen bedarfsweise die Überwachungswerte für das Verformungsmonitoring anzupassen. Die berechneten Verformungen und abgeleiteten Überwachungswerte müssen/ sollen in der Größenordnung den Angaben im RBP entsprechen und damit für den Haldenbetrieb ein vergleichbares Sicherheitsniveau bzgl. der Verformungsprozesse umsetzen.

Im Hinblick auf die Vermeidung potenzieller Staubeinträge in das benachbarte FFH-Gebiet wird bei Annäherung der Erweiterung an die südliche Beschüttungsgrenze gegenüber dem FFH-Gebiet auf der unteren Schütteebene die Fallhöhe des Rückstands vom Absetzer auf max. 8 m beschränkt. Damit wird bei Umsetzung dieser Maßnahme gegenüber der in den Bänden 2.1E3, 2.2E3 und 2.4E3 beschriebenen Vorgehensweise und dort angegebenen Fallhöhe ein deutlich konservativerer Ansatz gewählt.

## **5 System Basisabdichtung**

### **5.1 Grundlagen zur Entwicklung und zum Nachweis des Systems Basisabdichtung**

#### **5.1.1 Begriffsdefinition**

Unter dem Begriff „System Basisabdichtung“ werden im Folgenden die zweilagige mineralische Dichtungsschicht mit allen die Entwässerung fördernden Maßnahmen zusammengefasst (vgl. Kapitel 5.3.2).

#### **5.1.2 Beurteilung und Einordnung der Rückstandshalden aus fachtechnischer Sicht**

Grundlage der Entwicklung des Systems Basisabdichtung sind die standorttypischen technisch-technologischen Anforderungen an die Auffahrung des Haldenkörpers und das Haldenkörperverhalten der Rückstandshalde unter den gegebenen natürlichen Standortbedingungen (Klima, Baugrund, Haldenkubatur). Zu Fragen der Auffahrung der Halde und des Haldenkörperverhaltens liegen über Jahrzehnte gewachsene einschlägige Erkenntnisse an verschiedenen Standorten der K+S vor. Im Rahmen der Erarbeitung der Antragsunterlage wurde hiervon ausgehend unter Verwendung von Methoden, die dem Stand der Technik und/oder dem Stand der Wissenschaft entsprechen, das System Basisabdichtung entwickelt und beschrieben. Gleichfalls wurden in Anlehnung an den Stand der Technik und Wissenschaft, und hier nicht nur bezogen auf den Stand der Technik im Deponiebau, Nachweiskriterien und -verfahren entwickelt und angewendet, die eine Beurteilung der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung unter den gegebenen Standortbedingungen und dem Haldenkörperverhalten zulassen.

#### **5.1.3 Stand der Technik von Dichtungssystemen**

##### **5.1.3.1 Überblick**

Der Stand der Technik von Dichtungssystemen unter Siedlungsabfalldeponien ist in der Deponieverordnung, Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV 2020) beschrieben.

In der DepV heißt es, dass der Untergrund sämtliche bodenmechanische Belastungen und Setzungen aus der Deponie aufnehmen können muss, dabei aber keine Schäden an der Basisabdichtung und am Sickerwassersammelsystem entstehen dürfen. Durch die Schadstoffart und -menge kann die Deponieklasse (0 bis III) und somit der Aufbau des Basisabdichtungssystems bestimmt werden. Unterlagert von einer geologischen oder technologischen Barriere sind in Abhängigkeit der Deponieklasse ein und/oder zwei Abdichtungskomponenten mit definierten Wasserdurchlässigkeiten zu errichten.

Auch die Wahl des Standortes ist von Bedeutung. Zu beachten sind die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse. Gemäß DepV ist ein Mindestabstand von einem Meter von der Oberkante der geologischen Barriere bis zum höchsten zu erwartenden freien Grundwasserspiegel ist einzuhalten. Die Errichtung in besonders geschützten Gebieten wie Trinkwasser- und Heilquellschutzgebieten, Wasservorranggebieten, Wald- und Naturschutzgebieten sowie auf Biotopflächen ist untersagt.

Die Errichtung von Deponien erfolgt unter Berücksichtigung eines Multibarrierenkonzeptes. Das Multibarrierenkonzept ist ein Sicherheitskonzept, das nachteilige Veränderungen der Biosphäre langfristig verhindern soll. Das Multibarrierenkonzept für Deponien basiert in Abhängigkeit von der Deponieklasse auf folgenden grundsätzlichen Anforderungen:

- Vorhandensein einer geologischen Barriere mit differenzierter Mächtigkeit (in m) und Wasserdurchlässigkeit ( $k_f$ -Wert), Nachbesserung derselben oder Errichtung einer technischen Barriere mit vergleichbaren Anforderungen. Durch die geologische Barriere soll ein zusätzliches Schadstoffrückhaltevermögen (Retardation) realisiert werden.
- Basisabdichtungen bestehen in Abhängigkeit von der Deponieklasse aus einem oder zwei voneinander unabhängigen Dichtungssystemen (mineralische Dichtung und/oder Kunststoffdichtung) mit darüberliegendem Flächenfilter. Hierfür kommen differenzierte Schichtenaufbauten unter Verwendung von Geokunststoffen und Geotextilien zur Anwendung. Durch die Basisabdichtung soll das Eindringen von Schadstoffen in den Untergrund verhindert werden. Die Basisabdichtung ist so zu errichten, dass ein Sickerwasseraufstau verhindert wird und eine Entwässerung des Deponiekörpers in freier Vorflut nach außen erfolgt.
- Inerter „unveränderlicher“ Deponiekörper mit differenzierten geometrischen Anforderungen an die Deponiekörpergestaltung (Höhe üGOK, Böschungswinkel, -längen, Plateauflächen) und die Ablagerungsdichte, d. h. keine gegenseitige Beeinflussung der Deponieinhaltsstoffe und Errichtung eines stabilen Deponiekörpers mit technisch beherrschbaren Setzungen.
- Oberflächenabdichtung zur weitgehenden Vermeidung der Sickerwasserneubildung in der Nachbetriebsphase. In Abhängigkeit der Deponieklasse kommen hierfür differenzierte Schichtenaufbauten unter Verwendung von Geokunststoffen und Geotextilien zur Anwendung. Das endgültige Oberflächenabdichtungssystem darf erst nach Abklingen der Setzungen des Deponiekörpers aufgebracht werden und ist so zu errichten, dass stets ein freier Oberflächenwasserabfluss gewährleistet ist, der das Oberflächenabdichtungssystem nicht schädigt.

Ziel ist die Kombination mehrerer Barrieren zur zuverlässigen und langzeitsicheren Verhinderung der Ausbreitung der abgelagerten Schadstoffe.

Der gegenständliche aufzuhaltende Rückstand ist ein bergbaulicher Abfall i.S. des § 22a Abs. 1 Satz 1 ABergV. Für die Entsorgung des bergbaulichen Abfalls sind daher die Regelungen des § 55 Abs. 1 Nr. 6 BBergG i.V.m. § 22a ABergV maßgeblich. Spezielle Anforderungen ergeben sich aus Anhang 6 Nr. 2 zu § 22a ABergV. Die Deponieverordnung (DepV) gilt aufgrund der Regelung des § 2 Abs. 2 Nr. 7 KrWG nicht. Gegen eine ergänzende oder konkretisierende Anwendung der DepV (vgl. Dippel KrWG, § 2 Rdnr. 19) sprechen zunächst ebenfalls die eindeutigen gesetzlichen Regelungen, insbesondere aber auch die Aussagen in der Begründung der Kommission zum Entwurf der Bergbauabfallrichtlinie (KOM2003 (319) vom 2. Juni 2003). Dort ist ausgeführt, dass die Behandlung bergbaulicher Abfälle gerade aus dem Anwendungsbereich der Deponierichtlinie herausgenommen werden sollten, da bestimmte Anforderungen dieser Richtlinie für die Behandlung bergbaulicher Abfälle als nicht geeignet erscheinen. Hierzu zählen insbesondere auch die Anforderungen zur Sicherung an Deponien durch Barriere und Abdichtung.

Insoweit geht ein Vergleich des in dem vorliegenden Fachgutachten dargestellten Systems Basisabdichtung mit den fachtechnischen Anforderungen der DepV an eine Deponie fehl (vgl. dazu auch Band 3.30N „Wasserrechtlicher Fachbeitrag zur Zulassungsfähigkeit der vorhabenbedingten theoretischen Restinfiltration sowie mittelbarer Beeinträchtigungen von Oberflächengewässern mit integrierter FFH-Vorprüfung für das FFH-Gebiet DE 5125-350, Werra zwischen Philippsthal und Herleshausen“, Kap. 8.2.2). Einschlägig sind hier die Rechtsvorschriften des BBergG und der § 22a ABergV. Soweit materielle Regelungen hier fehlen oder unbestimmt sind, muss sich aus technischer Sicht der Beurteilungsmaßstab zur Eignung und Bewertung des Systems Basisabdichtung für die Rückstandshalde am Stand der Technik in der Kaliindustrie und an den aus dem Haldenkörperverhalten resultierenden Anforderungen orientieren.

Im Zuge der Bewertung der Basisdichtung der Haldenerweiterung, Phase 1, wurde trotz der vorstehend beschriebenen Nichtanwendbarkeit ein Analogieschluss für die Rückstandshalde zu den Einstufungskriterien der Deponieklasse 1 gezogen. Nach diesem Analogieschluss handelt es sich bei der ESTA-Rückstandshalde Hattorf und ihrer Erweiterung ferner um eine Monodeponie im Sinne der DepV 2020, §2, Nr. 29 (Ablagerung „ausschließlich spezifischer Massenabfälle, die nach Art, Schadstoffgehalt und Reaktionsverhalten ähnlich und untereinander verträglich sind“). Für Monodeponien eröffnet auch die DepV Raum für Einzelfallentscheidungen (vgl. Anhang 1 Nr. 3).

Obwohl die DepV aus den oben genannten Gründen nicht herangezogen werden kann, wurde geprüft, inwieweit sich das Basisabdichtungssystem im Sinne der DepV) bzw. einzelne Komponenten für Rückstandshalden der Kaliindustrie eignen, um den Anforderungen des § 22a ABergV an eine möglichst weitgehende Reduzierung der Restinfiltration unter Beachtung des bergbauabfallrechtlichen Standes der Technik gerecht zu werden.

#### **5.1.3.2 Stand der Technik im Deponiebau/ Prüfung der Anwendbarkeit von Dichtungssystemen aus dem Bereich Deponiebau**

##### **5.1.3.2.1 Prüfung der Anwendbarkeit des Multibarrierenkonzeptes für Deponien**

Das Multibarrierenkonzept für Deponien basiert auf den im Kapitel 5.1.3.1 beschriebenen grundsätzlichen Anforderungen.

Die Auswahl der zum Einsatz kommenden Baumaterialien für Deponien unterliegt bezüglich der technischen Anforderungen den Maßgaben der DepV 2020 und dem Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard. Ausgewählte Materialien, z. B. Kunststoffdichtungsbahnen, sind nach den Richtlinien der Bundesanstalt für Materialforschung unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen (Schadstoffinventar etc.) zertifiziert. Die Eignung der zum Einsatz kommenden Baumaterialien ist vorhabenengebunden nachzuweisen. Hierfür sind baumaterialabhängig unterschiedliche Nachweisverfahren anzuwenden. Die technische und bautechnologische Machbarkeit ist gemäß DepV unter den konkreten Standortbedingungen vor Beginn der Baumaßnahme in einem Probefeld nachzuweisen.

Das Multibarrierensystem der Deponieverordnung hat in den Stand der Technik des Bergbauabfallrechts keinen Eingang gefunden; und dies aus gutem Grund: Zum einen sind bergbauliche Abfallentsorgungseinrichtungen vielmehr als Deponien ortsgebunden und müssen in aller Regel am Ort des Abbaus betrieben werden. Demgemäß verlangt das MWEI BREF BAT

2018 in BAT 35 entweder eine hinreichend undurchlässige (weniger als  $10^{-9}$  m/s) natürlich vorhandene Basisdichtung oder alternativ eine künstlich hergestellte Dichtung. Das Multibarrierenkonzept ist auf Rückstandshalden zum anderen aber auch deshalb nicht übertragbar, weil Rückstandshalden über ein deutlich andersartiges Inventar verfügen. Wie vorstehend beschrieben, kann der Hauptbelastungsparameter Chlorid nicht durch Adsorption in einer geologischen Barriere gebunden werden. Die Haldenkörperkubatur und damit auch die auf den Baugrund wirkenden Belastungen unterscheiden sich deutlich von Deponiebauwerken und weisen daraus resultierend ein anderes Haldenkörperverhalten auf. Dem wird grundsätzlich durch die Aussagen in der Begründung der Kommission zum Entwurf der Bergbauabfallrichtlinie KOM2003 (319) Rechnung getragen. Die im MWEI-BREF BAT 2018 unter BAT 38 aufgeführten Techniken sind aufgrund der an Großhalden der Kaliindustrie vorliegenden Höhen und Böschungsgeometrien sowie des viskoplastischen Verhaltens nicht anwendbar. Oberflächenabdichtungen sind gemäß MWEI-BREF BAT 2018 nicht Stand der Technik zur Anwendung an Großhalden (vgl. auch Rauche 2015). Technisch umsetzbar sind nach Kenntnisstand und Stand bisheriger Erfahrungen seitens K+S Oberflächenabdeckungen (vgl. Kap.6). Eine dünnsschichtige Abdeckung von Großhalden ist als Zukunftstechnologie („emerging technique“) Gegenstand des MWEI-BREF BAT 2018 (dort Kap. 6.3). Geeignete Materialien zur Anwendung an den Haldenflanken benennt die TR Bergbau (TR LAB 2020).

#### 5.1.3.2.2 Prüfung der Anwendbarkeit einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB)

KDB sind ein zugelassenes Dichtungselement in Basis- und Oberflächenabdichtungen von Deponien, die dem Zuständigkeitskreis der DepV unterliegen. Sie sind nach den Richtlinien der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM, Berlin) unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen und Einwirkungen (mechanische Beanspruchung, Schadstoffinventar, Langzeitbeständigkeit etc.) zugelassen.

Die grundlegende Voraussetzung für den Einsatz entsprechender KDB im Rahmen der Basisabdichtung von Großhalden der Kaliindustrie ist der Nachweis der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit. Zur Prüfung der Anwendbarkeit einer KDB in der Untergrundabdichtung wurde im Zeitraum 2018 bis 2020 ein Forschungsprojekt in Kooperation mit der Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH (IK), der Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH (GBD) sowie weiteren namhaften Partnern und unter Begleitung des Behördengutachters UMTEC GmbH durchgeführt. Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer Nachweisführung zur Errichtung einer standsicheren Halde mit einer technisch dichten Basisdichtung unter Einsatz einer KDB. Hierzu wurden weitergehende Laboruntersuchungen insbesondere zur mechanischen Funktionalität in Verbindung mit der Langzeitbeständigkeit erforderlich, um die Randbedingungen des Haldenkörpers (hohe sowie dauerhafte mechanische Belastungen aufgrund der Haldenhöhe und Viskoplastizität des Rückstandssalzes), die entscheidend von deponietypischen Randbedingungen sowie den Zulassungsrichtlinien der BAM abweichen, abzubilden. Für diese Laboruntersuchungen wurden stellvertretend nach BAM-zugelassene KDB für Deponien mit glatter und strukturierter Oberfläche ausgewählt. Die daraus abgeleiteten Verbundreibungswinkel unter Berücksichtigung der Bemusterung der KDB-Oberflächen nach den Versuchen sind in die numerischen Untersuchungen zum Gesamtsystem Untergrund – Dichtung – Halde durch IK eingeflossen.

Im Ergebnis der numerischen Untersuchungen durch IK wurde festgestellt, dass die prognostizierten Verschiebungsraten und Gesamtverschiebungen der geplanten

Haldenerweiterung (Phase 1 bis 3) mit KDB deutlich über denen für das bisherige System Basisabdichtung mit mineralischer Dichtung liegen und die Gebrauchstauglichkeit der Halde nicht sichergestellt ist. Daher war aus Sicht des Sachverständigen IK vom Einsatz einer KDB in der Untergrundabdichtung abzuraten.

Zum Abschluss des Projektes wurde im Protokoll vom 14.09.2020 festgestellt, dass in dem Projekt alle für den Einsatz einer KDB unter Rückstandshalden großer Mächtigkeit als relevant angesehenen Sachverhalte berücksichtigt und abgearbeitet wurden. Als eindeutiges Fazit war demnach festzuhalten, dass die Gebrauchstauglichkeit des untersuchten Systems mit KDB nach BAM-Standard nicht nachgewiesen werden kann. Diese Einschätzung wurde auch durch den Behördengutachter UMTEC geteilt.

Aus fachgutachterlicher Sicht seitens GBD ist auszuschließen, dass die Untersuchung einer BAM-zugelassenen KDB eines anderen Herstellers zu einem grundlegenden anderen Ergebnis hinsichtlich eines möglichen Einsatzes in Dichtungssystemen unter Rückstandshalden führt, so dass eine Übertragbarkeit der vorliegenden Ergebnisse auf andere nach BAM zugelassene KDB dem Grunde nach als gegeben anzusehen ist.

Im Ergebnis wird daher der Einsatz einer KDB als Dichtungselement für die im Projekt betrachteten Großhalden und deren typischen Randbedingungen ausgeschlossen.

#### 5.1.3.2.3 Prüfung der Anwendbarkeit einer Asphaltabdichtung

Die Asphaltbetondichtung ist ein Mineralstoffgemisch aus Splitt oder Kies verschiedener Körnungen, Sand, Füllern (Gesteinsmehl) und dem Bitumen als Bindemittel. Unter Bitumen versteht man ein hochmolekulares Kohlenwasserstoffgemisch mit thermoplastischen Eigenschaften. Aufgrund der haldentypischen Belastungen ist eine Asphaltbetondichtung herkömmlicher Bauart im Hinblick auf die Langzeitsicherheit und -beständigkeit unter Rückstandshalden ungeeignet.

#### 5.1.3.2.4 Prüfung der Anwendbarkeit von Bentonitmatten

Bentonitmatten (Geosynthetische Tondichtungsbahnen - GTD) sind fabrikmäßig hergestellte Verbundprodukte aus Kunststoffen und Bentonit. In der Regel sind Bentonitmatten dreischichtig aufgebaut. Zwischen zwei Geokunststofflagen (obere Deck- und untere Trägerschicht) befindet sich eine Schicht aus Bentonit in Pulver- oder Granulatform. Der Bentonit übernimmt dabei die Funktion der hydraulischen Barriere. Der Verbund wird durch Vernadelung oder Vernähung hergestellt. In Abhängigkeit der Auflast und des Gradienten wurden für die Dichtungsmatten Durchlässigkeitsbeiwerte von  $1,0 \cdot 10^{-10}$  m/s bis  $1,0 \cdot 10^{-12}$  m/s gemessen.

Als Alternative zu einer mineralischen Basisabdichtung scheiden Bentonitmatten aus erdstatischen Gründen von vornherein aus. Neben dem Versagen durch Setzungsverformungen aufgrund der hohen Haldenaullast besteht die Gefahr des Versagens infolge unzulässiger Dehnungen.

#### 5.1.3.2.5 Prüfung der Notwendigkeit einer geologischen bzw. technischen Barriere

Die Notwendigkeit einer geologischen bzw. technischen Barriere am Standort einer Rückstandshalde kann nur unter Berücksichtigung des Stoffinventars der Halde bewertet werden. Durch die geologische Barriere gemäß DepV soll ein zusätzliches Schadstoffrückhaltevermögen realisiert werden. Chlorid als Hauptbelastungsparameter des Haldenwassers kann jedoch nicht durch Adsorption in der geologischen Barriere gebunden werden, wie im Kapitel 3.1 beschrieben. Deponiesickerwasser aus dem Anwendungsbereich



der DepV unterliegenden Deponien weist demgegenüber bei Vorhandensein auch wassergefährdender Stoffe einen deutlich geringeren Gesamtsalz-/Chloridgehalt auf. Fast alle organischen und nichtorganischen Inhaltstoffe sind adsorbierbar und der überwiegende Anteil der organischen Inhaltstoffe ist trotz zum Teil vorhandener Persistenzen biologisch abbaubar.

Aufgrund der vorstehenden Sachverhalte ist eine geologische bzw. technische Barriere kein geeignetes Auswahlkriterium und nicht erforderlich (vgl. Kapitel 3.1).

### 5.1.3.3 Stand der Technik in der Kaliindustrie

Die bergrechtlichen Vorschriften bestimmen den Begriff des „Standes der Technik“ nicht. Nach Art. 3 Ziffer 18 der Bergbauabfall-Richtlinie sind unter den „besten verfügbaren Techniken“ (best available techniques, BAT) im Bergbauabfallrecht die Techniken im Sinne von Art. 2 Abs. 11 der Richtlinie 96/61/EG zu verstehen. Nach Art. 4 Abs. 3 der Bergbauabfallrichtlinie sind bei den in Absatz 2 genannten Maßnahmen unter anderem die BAT im Hinblick auf die Eigenschaften der Abfallentsorgungseinrichtung, ihres Standorts und der Umweltbedingungen vor Ort heranzuziehen, ohne jedoch den Einsatz einer bestimmten Technik oder Technologie vorzuschreiben. Nach Art. 21 Abs. 3 der Bergbauabfallrichtlinie organisiert die Kommission zwischen den Mitgliedstaaten und den einschlägigen Organisationen einen Informationsaustausch über die besten verfügbaren Techniken sowie über die entsprechenden Überwachungsmaßnahmen und Entwicklungen und veröffentlicht die Ergebnisse dieses Informationsaustauschs. Diese Veröffentlichungen wiederum sind nach Art. 7 Abs. 4 der Richtlinie u.a. im Rahmen der Zulassung einer Abfallentsorgungseinrichtung zu berücksichtigen.

Maßgeblich für die Bestimmung der BAT ist demnach das BAT-Dokument „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries“ der EU-Kommission aus dem Jahr 2018 (MWEI-BREF BAT 2018). Bei der Erstellung des MWEI-BREF BAT 2018 wurden die Kriterien des Art. 2 Abs. 11 und des Anhangs IV der IVU-Richtlinie (96/61/EG) berücksichtigt. In diesem Zusammenhang ist stets auch eine Kosten-/Nutzen-Rechnung hinsichtlich der Vertretbarkeit des Einsatzes einer bestimmten Technik anzustellen. Unter Berücksichtigung der Kriterien des Anhangs IV der IVU-Richtlinie kommt das MWEI-BREF BAT 2018 in BAT 35, Spalte 3 („Applicability“), zu dem Ergebnis, dass die Herstellung einer (natürlichen oder künstlichen) „impermeablen“ Basisabdichtung dem Stand der Technik für bergbauliche Abfallentsorgungseinrichtungen entspricht. Dieser Begriff „impermeabel“ ist in Kap. 8.7 definiert mit einem  $k_f$ -Wert von  $\leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Das BAT-Dokument geht damit ausdrücklich nicht davon aus, dass die Basisabdichtung jeglichen Eintrag von Sickerwasser in den Untergrund und das Grundwasser ausschließt. Ganz allgemein verfolgt das BAT Dokument nicht ein spezifisches Emissionsziel und schon gar nicht das Ziel einer „Nullemission“. Das Papier beschreibt vielmehr in BAT 35 eine Reihe von Techniken zur Vermeidung oder Reduzierung von Emissionen. Die Ausgestaltung der nach BAT 35 herzustellenden Basisabdichtung ergibt sich dabei aus dem Verweis am Ende der Tabelle zu BAT 35, wonach diese BAT sich aus den Ausführungen in den Kapitel 4.3.1.1.1, 4.3.1.1.2 und 4.3.1.1.3 ableiten. In Kapitel 4.3.1.1.1 wiederum finden sich unter Abschnitt 4 („Environmental performance and operational data“) u.a. Angaben zu den üblichen und tatsächlich eingesetzten Parametern einer Basisabdichtung, etwa zur üblichen Mindestmächtigkeit von 0,3 bis 0,5 m und einer horizontalen und vertikalen Durchlässigkeit von unter  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Des Weiteren ist unter Abschnitt 4 ausgeführt, dass typisches Dichtungsmaterial aus Naturmaterialien mindestens 30% Feinkornanteil enthält und bis zu 50 Gew.-% Kies enthalten kann.



Auch die Errichtung von Haldenwasserfassungssystemen in Form von externen Grabensystemen und/oder Drainagesystemen an der Haldenbasis oder einer flächigen Entwässerungsschicht mit einer Dicke von 200-1000 mm entspricht gemäß BAT 21b dem Stand der Technik. Diese können einzeln oder in Kombination eingesetzt werden. Nähere Ausführungen dazu finden sich in Kapitel 4.2.1.3.5.2 des Dokuments MWEI-BREF BAT 2018. Dort ist im Hinblick auf externe Entwässerungssysteme u.a. eine Entwässerung der im freien Gefälle oder unter Zuhilfenahme von Pumpen beschrieben. Für die Randgrabensysteme und Becken wird eine technische Undurchlässigkeit beschrieben (zum Begriff „impermeabel“ siehe vorstehend). Die verwendbaren Materialien sind demnach vielfältig und reichen von einer Tonabdichtung bis zu HDPE-Materialien. In Bezug auf interne Entwässerungssysteme ist die Kombination aus einer Basisabdichtung und einer überlagernden Drainage (z.B. mit fischgrätenartiger Anordnung) oder einer Drainageschicht beschrieben, die bei der Errichtung neuer Halden oder Haldenerweiterungen zum Einsatz kommen kann. Die Ableitung der gefassten Wässer erfolgt demnach in die externen Sammelgräben. Zur Vermeidung von Kristallisationen ist ferner das Spülen der Drainagen für Kalirückstandshalden beschrieben.

Die Dimensionierung der Drainagesysteme erfolgt demnach auf Basis hydrologischer und geotechnischer Berechnungen und unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, der ausgewählten Systeme, der klimatischen Bedingungen (incl. des Klimawandels) und der Haldenwasserbilanz.

Die Inhalte des MWEI-BREF BAT 2018 entsprechen der rechtlichen Bedeutung des Standes der Technik, der per Definition darauf ausgerichtet ist, bestimmte Maßnahmen zu beschreiben, deren technische Eignung bei Anlagen der fraglichen Art im Sinne einer branchenspezifischen Betrachtung praktisch gesichert sein muss. Auch mit Blick auf den Grundwasserschutz geht es dem MWEI-BREF BAT 2018 also nicht um einen absoluten Schutz im Sinne einer „Nullemission“, sondern allein um die Beschreibung technischer Maßnahmen, die zur weitgehenden Reduzierung der Restinfiltration verfügbar sind. Die den BVT entsprechenden Maßnahmen gemäß MWEI-BREF BAT 2018 zielen damit – im Einklang mit den Vorgaben der Bergbauabfall-RL – nicht auf einen absoluten Grundwasserschutz, sondern auf eine möglichst weitgehende Reduzierung von Sickerwassereinträgen in das Grundwasser.

#### **5.1.3.4 Fazit**

Die abfallrechtspezifischen bau- und materialtechnischen Anforderungen gem. DepV 2020 und BQS sind aufgrund des rückstandshaldenspezifischen Verhaltens nicht auf die Baumaterialien, die bei der Errichtung von mineralischen Dichtungen für Rückstandshalden Verwendung finden, übertragbar. Die Eignungsbeurteilung der zum Einsatz kommenden Baumaterialien für Basisabdichtungen unter Rückstandshalden kann nur unter Berücksichtigung der aus dem Haldenkörperverhalten resultierenden Anforderungen erfolgen, die auf das System Basisabdichtung einwirken. Das sind die Einwirkungen in der Betriebs- und Nachbetriebsphase infolge der haldenkörperspezifischen Beanspruchungen, konkret:

- die rückstandshaldentypischen mechanischen Belastungen und die daraus resultierenden zeitabhängigen Verformungen an der Haldenbasis und im direkten Haldenumfeld,
- das rückstandshaldentypische Verhalten des Haldenkörpers (Löslichkeit, Mineralumbildung, Rekristallisation, viskoplastisches Verhalten) und die daraus resultierenden zeitabhängigen Veränderungen des Haldenkörpers (Kubatur,

Oberfläche) sowie deren Auswirkungen auf die Haldenbasis und das direkte Haldenumfeld sowie

- die rückstandshaldentypische Zusammensetzung des Haldenwassers und seiner chemischen Einwirkung auf das System Basisabdichtung, insbesondere die mineralische Dichtung,
- auf die Baustoffe bzw. Bauelemente des Systems Basisabdichtung.

Unter Berücksichtigung des Standes der Technik von Basisabdichtungen und dem Haldenkörperverhalten wurden technische Anforderungen für die Entwicklung eines standortangepassten Systems Basisabdichtung mit mineralischer Dichtungskomponente abgeleitet.

## **5.2 Anforderungen an das System Basisabdichtung für Rückstandshalden**

### **5.2.1 Grundlagen**

Die Anforderungen an das System Basisabdichtung (SyBa) ergeben sich aus dem spezifischen Haldenkörperverhalten, welche durch die Haldenkubatur und die Rückstandseigenschaften geprägt sind (vgl. Kapitel 3). Die hieraus resultierenden mechanischen, chemischen und hydraulischen Belastungen in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase müssen im Rahmen der Auslegung und bei der Nachweisführung der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung berücksichtigt werden.

Auflastbedingte Verformungen im Untergrund, insbesondere die zu erwartenden Dehnungen und Stauchungen müssen ohne Verlust der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit aufgenommen werden können. Ebenfalls muss der chemische Einfluss, geprägt durch das Haldenwasser, bei der Materialauswahl der Einzelkomponenten und im Zuge der Eignungsprüfung und -feststellung berücksichtigt werden.

Die rückstandshaldenspezifischen Anforderungen an das System Basisabdichtung, abgeleitet aus dem Haldenkörperverhalten und den Rückstandseigenschaften sowie der Auffahrung (vgl. Band 1.1E2 und Kapitel 5) sind nachfolgend zusammengefasst:

- Mechanische Widerstandsfähigkeit unter der Haldenauflast und den daraus resultierenden Verformungen im Untergrund (Normal- und Schubbeanspruchung, Setzung, Krümmung, Rekompaktion des Rückstandes; zeit- und lastabhängige Erhöhung der Lagerungsdichte);
- Mechanische Widerstandsfähigkeit gegen viskoplastische Verformungen (Verformungen des Haldenkörpers und Baugrundes in der Betriebs- und Nachbetriebsphase);
- Hinreichend dichte Basisabdichtung zur Verminderung der Restinfiltration;
- Hydraulische Widerstandsfähigkeit unter Berücksichtigung des restfeuchtebedingten und niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls (vgl. Band 1.3E);

- Langzeitbeständiger Funktionserhalt der haldeninternen und –externen Entwässerungselemente in den hydraulisch aktiven Bereichen unter Berücksichtigung der Haldenwasserzusammensetzung;
- sichere Fassung sowie Ableitung des Haldenwassers im freien Gefälle aus dem Haldenkörper unter Berücksichtigung Neignungsverhältnisse vor und nach Setzungen;
- sichere randliche Fassung und Ableitung des gefassten Haldenwassers in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase.

### **5.2.2 Mineralische Dichtung**

Die Anforderungen an die mineralische Dichtung unterscheiden sich aufgrund des Haldenkörperverhaltens grundsätzlich von den technischen Anforderungen, die an Dichtungsmaterialien für Deponien gestellt werden. Die zum Einsatz kommende mineralische Dichtung für die Rückstandshalde ist den Anforderungen an die mechanische und hydraulische Widerstandsfähigkeit (Schichtenaufbau und -stärke, Durchlässigkeitsbeiwert, Verformungsverhalten) angepasst. Die haldeninduzierten Spannungen und die daraus resultierenden Verformungen an der Basis der Rückstandshalde müssen von der mineralischen Dichtung aufgenommen und ohne Verlust der Funktionalität und Wirksamkeit in den Untergrund abgeleitet werden können.

Unter Berücksichtigung der materialtypischen Eigenschaften natürlicher mineralischer Baustoffe wurde im Weiteren ein zweischichtiger Aufbau untersucht. Dieser besteht aus einer oberen Lage mit einer hohen mechanischen Widerstandsfähigkeit (Reibungswinkel) bei hinreichender hydraulischer Widerstandsfähigkeit (Wasserdurchlässigkeitsbeiwert) und einer unteren Lage mit einer hohen hydraulischen Widerstandsfähigkeit (Wasserdurchlässigkeitsbeiwert) bei hinreichender mechanischer Widerstandsfähigkeit (Reibungswinkel).

### **5.2.3 Haldeninterne Entwässerungselemente**

Die Entwässerung des Haldenkörpers erfolgt unter Berücksichtigung des zu erwartenden Haldenkörperverhaltens und der Herausbildung hydraulisch unterschiedlich aktiver Haldenbereiche (vgl. Kapitel 3) sowie des im MWEI BREF BAT 2018 definierten Standes der Technik. Planungsziel für die Entwässerung ist daher die Fassung des Haldenwassers dort, wo es entsprechend der Erkenntnisse zur Haldenkörperzonierung maßgeblich anfällt.

Die Ausführung der haldeninternen Entwässerungselemente erfolgt unter Berücksichtigung der Neigung des vorbereiteten Planums vor und nach Setzung und der Entwässerungsleistung des Rückstandes.

### **5.2.4 Haldenexterne Entwässerungselemente/ Haldenvorfeldgestaltung**

Das Haldenvorfeld umfasst den Bereich zwischen Haldenfuß bis zur Außenkante des Haldenrandgrabens (HRG, entlang des endgültigen Haldenrandes) bzw. Haldengrabens (HG; entlang des temporären Haldenrandes). Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Anbindung der mineralischen Dichtungsschicht an den HG/ HRG.

Durch das Haldenvorfeld muss eine sichere Haldenwasserfassung auch bei der abschnittsweisen Herstellung der Bauabschnitte sichergestellt werden. Nicht vermeidbare Verformungen infolge des Haldenkörperverhaltens müssen unter Beibehaltung der Wirksamkeit und Funktionalität aufgenommen werden können. Weiterhin müssen die Kontrollierbarkeit sowie die Wartung und Instandhaltung gegeben sein. Bei möglicher Überschreitung zulässiger Verformungen in einzelnen Bereichen muss die Instandsetzung möglich sein.

### **5.2.5 Planum und Untergrund**

Der natürlich anstehende Untergrund dient als Planum/ Auflager der mineralischen Dichtungsschicht und muss somit folgende Anforderungen genügen.

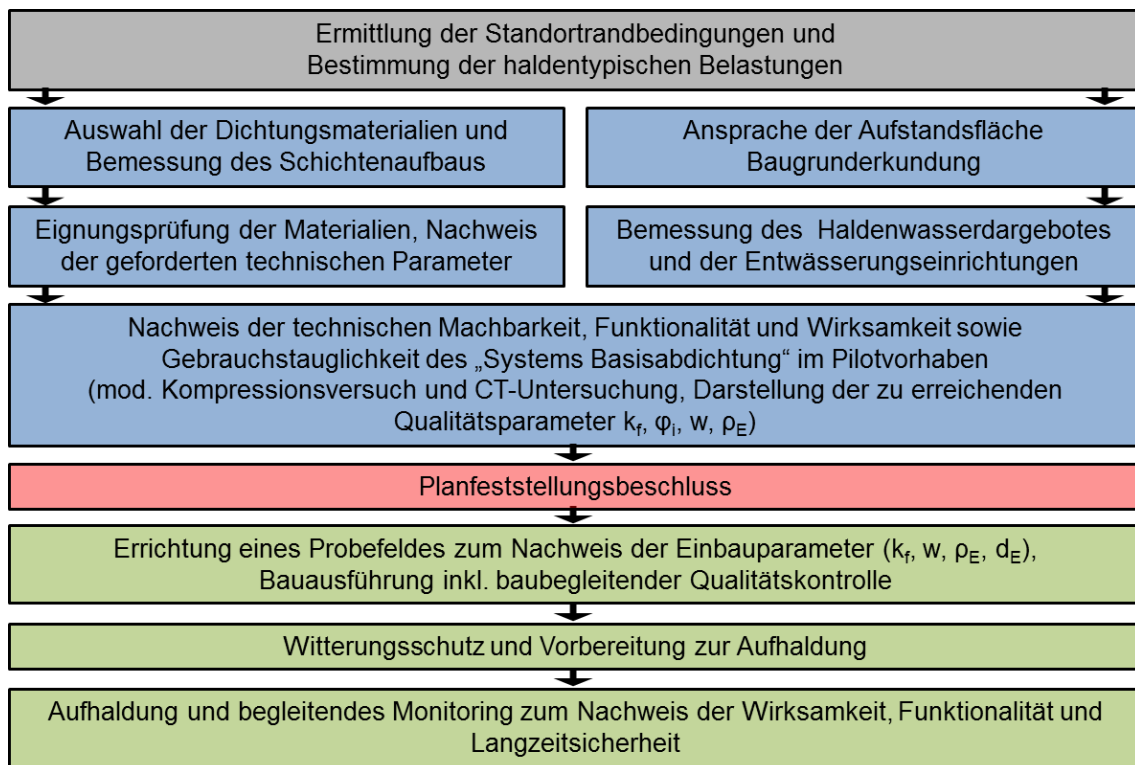
- Sicherstellung der erforderlichen Mindesttragfähigkeit des Untergrundes zur Gewährleistung der Herstellbarkeit der mineralischen Dichtung
- Profilierung des Untergrundes aus entwässerungstechnischer Sicht im Bereich Haldenfuß und Haldenvorfeld sowie in der Fläche zum Ausgleich lokaler Unebenheiten bzw. zu notwendigen lokalen Anpassungen des Geländeprofils

## **5.3 Entwicklung, Beschreibung und Nachweis des Systems Basisabdichtung**

### **5.3.1 Entwicklung**

Die Entwicklung des Systems Basisabdichtung, insbesondere der mineralischen Dichtungsschicht, erfolgte unter Berücksichtigung des Standes der Technik für die Errichtung flächenhafter mineralischer Dichtungssysteme sowie der haldenspezifischen Beanspruchungen und dem Stand der Technik in der Kaliindustrie. Der Stand der Technik mineralischer Dichtungssysteme im Deponiebau wird insbesondere in der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV 20), in den Merkblättern „Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-0, 2-1, 2-2“, der LAGA Ad-hoc-AG sowie in einschlägigen sonstigen Normen beschrieben. Im MWEI-BREF BAT 2018 ist der Stand der Technik von Dichtungs- und Entwässerungssystemen für bergbauliche Abfallentsorgungseinrichtungen, unter welche die Halden der Kaliindustrie fallen, beschrieben (siehe Kap. 5.1.3.3).

Der Entwicklung und Genehmigungsfähigkeit liegen die in Abbildung 5-1 dargestellten Arbeitsschritte zugrunde. Die Arbeitsschritte zur Ermittlung der Standortrandbedingungen und haldentypischen Belastungen, der Baugrunderkundung der Aufstandsfläche, der Materialauswahl und deren Eignungsprüfung sowie die Bemessung des Haldenwasserdargebotes sind erfolgt. Darauf aufbauend erfolgten die Nachweise der technischen Machbarkeit, der Funktionalität und Wirksamkeit sowie Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung in Laborversuchen und in einem Pilotvorhaben.



**Abbildung 5-1: Arbeitsschritte zur Entwicklung und zum Nachweis sowie zur Genehmigungsfähigkeit des Systems Basisabdichtung**

Der Nachweis der Wirksamkeit, Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung wurde materialtechnisch anhand von Laboruntersuchungen, rechnerisch und experimentell (Labor und Feldversuche) unter den haldentypischen Beanspruchungen mit Materialien aus der Region des Standortes Zielitz im Rahmen eines Pilotvorhabens geführt. Die Eignung regional verfügbarer Materialien zur Herstellung der zweilagigen mineralischen Dichtungsschicht für den Standort Hattorf wurde im Zuge von weitergehenden Eignungsuntersuchungen (Labor- und Felduntersuchungen, vgl. Band 3.29.2N) im Zuge der Phase 1 nachgewiesen. Auf Grundlage dieser Materialeignungsprüfungen in Anlehnung an BQS 2-2, wurde die grundsätzliche, anforderungsgerechte Herstellbarkeit der mineralischen Dichtung im System Basisabdichtung unter Verwendung regional verfügbarer Baustoffe sowie Hilfsstoffe zur Vergütung (Tonmehl, Polymer) nachgewiesen und zur Ausführung in der Phase 1 zugelassen.

Es wurden für das bereits in der Phase 1 umgesetzte erweiterte technische Konzept des Systems Basisabdichtung (mineralische Dichtungsschicht und zusätzliche flächenhafte Entwässerungsschicht), ergänzende Detailuntersuchungen zum Zusammenwirken der mineralischen Dichtungsschicht mit der flächenhaften Entwässerungsschicht sowie den geotextilen Trenn-/ Filterlagen ober- und unterhalb der flächenhaften Entwässerungsschicht durchgeführt (Band 3.29.2N). Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das untersuchte System aus oberer Dichtungsschicht und Entwässerungsschicht zeigt phänomenologisch das gleiche Last-/ Verformungsverhalten, wie die Dichtungsschicht allein (Untersuchungen gemäß Band 3.29.1N und 3.29.2N).

- Für das System aus mineralischer Dichtungsschicht und flächenhafter Entwässerungsschicht besteht damit unter realen Haldenauflasten/ Verformungen eine ausreichende mechanische Widerstandsfähigkeit.
- Geotextile Vliese sind unter realen Haldenauflasten/ Verformungen als Trenn-/ Filterschicht geeignet.

Um die dauerhafte Wirksamkeit der mineralischen Dichtungsschicht zu gewährleisten, müssen die auflast- und viskoplastisch bedingten Verformungen reduziert werden. Das wird durch die Reduzierung der Belastungen im Haldenrandbereich mittels einer angepassten Böschungsgeometrie erfolgen (vgl. Kapitel 4 und Band 1.1E3). Eine schematische Darstellung der Böschungsgeometrie ist in Anlage 3 zu Band 1.1E3 enthalten. Die nicht vermeidbaren haldenbedingten mechanischen Belastungen und die daraus resultierenden Verformungen werden über die einzelnen Schichten der mineralischen Dichtung in den Untergrund übertragen.

Zur Sicherstellung der Einhaltung der aus den oben beschriebenen Untersuchungen abgeleiteten Qualitätsmerkmale des Systems Basisabdichtung dient die baubegleitende Qualitätskontrolle. Die speziellen Elemente der Qualitätssicherung sowie die Zuständigkeiten, sachlichen Mittel und Tätigkeiten, um die Qualitätsmerkmale einzuhalten, werden in einem Qualitätsmanagementplan festgelegt (QMP; siehe Band 1.1E3).

Die erfolgreiche Umsetzung des QMP zum System Basisabdichtung im Zuge der Flächenvorbereitung der Haldenerweiterung Phase 1 und darauf basierende Freigabe zur Beschüttung durch die Bergbehörde bestätigt die Entwicklung eines herstellbaren Systems, das trotz der haldenspezifischen Beanspruchung über die Anforderungen der MWEI-BREF BAT 2018 hinausgeht und auch die Anforderungen der DepV 2020 übertrifft.

Aus der Errichtung des Systems Basisdichtung auf einer Fläche von rd. 27 ha im Rahmen der Phase 1 am Standort Hattorf sowie aus den Bauabschnitten A1-A1 und -A2 mit einer Flächengröße von rd. 11 ha am Standort Wintershall liegen umfangreiche weitere Untersuchungen mit ortskonkreten Materialien vor. Die hierzu vorgelegten ergänzenden Materialeignungsnachweise der bauausführenden Firma wurden durch die QMgeo Prüfgesellschaft als Fremdprüfung in den Beschüttungsabschnitten A1 bis A5 im Einzelnen bewertet und zur Ausführung empfohlen. Anlage 12 enthält eine Übersicht der bereits vorgelegten Materialeignungsnachweise im Zusammenhang mit den Haldenerweiterungsprojekten.

## **5.3.2 Systembeschreibung**

### **5.3.2.1 Gesamtsystem**

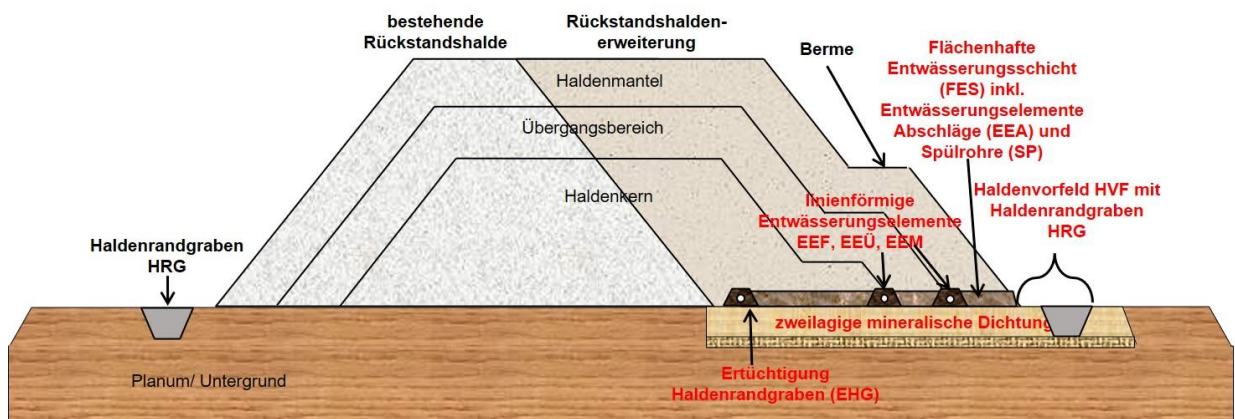
Unter dem Begriff „System Basisabdichtung“ wird die mineralische Dichtungsschicht mit allen die Entwässerung fördernden Maßnahmen zusammengefasst. Hierzu gehören haldeninterne und -externe Fassungssysteme (Haldenrandgraben, temporäre Haldengraben, haldeninterne Entwässerungselemente in der Mantel- und Übergangszone). Ziel dieses Systems ist die Reduzierung des Eintrages von Haldenwasser in den Untergrund sowie die gezielte Ableitung des auf der mineralischen Dichtungsschicht gefassten Haldenwassers.

Das System Basisabdichtung setzt sich, wie auch in der Phase 1 (Flächenvorbereitung abgeschlossen) und der in Genehmigung befindlichen Phase 2 aus den folgenden Hauptbestandteilen/Hauptkomponenten zusammen:

- Baugrund/Planum (Kapitel 5.3.2.2 bzw. Band 1.1.E3),
- Mineralische Dichtung (Kapitel 5.3.2.3),
- haldeninternes Entwässerungssystem (Kapitel 5.3.2.5.15.3.2.5) mit
  - flächiger Entwässerungsschicht (FES) und Spülrohren (SP) am permanenten Haldenrand und
  - linienhaften Entwässerungselementen.
- Haldenvorland mit dem in die zweilagige mineralische Dichtung eingebundenen Haldenrandgraben (HRG) (Kapitel 5.3.2.5.2).

Linienhafte Entwässerungselemente werden als Ergänzung zur FES dort eingesetzt, wo sie die Fließwege des Haldenwasser zum Haldenrand verkürzen und damit die Wirkung des Entwässerungssystems verbessern können.

In der Abbildung 5-2 ist das System Basisabdichtung schematisch dargestellt.



**Abbildung 5-2: Schema Haldenquerschnitt mit System Basisabdichtung**

### 5.3.2.2 Planum/ Untergrundgestaltung

Die Flächenvorbereitung des Untergrundes ist im Band 1.1E3 beschrieben. Über den gesamten Bereich der Phase 3 wird im Zuge der Auf- und Abtragsplanung ein Massenausgleich angestrebt, sowie ein Außengefälle des Planums, welches auch nach Setzung Bestand hat.

### 5.3.2.3 Zweilagige mineralische Dichtung

Der gemäß Kapitel 5.3.1 entwickelte technische Lösungsansatz für die zweilagige mineralische Dichtung erfüllt die im Kapitel 5.2 beschriebenen haldenspezifischen Anforderungen. Das an der Haldenbasis auf der mineralischen Dichtung anfallende Haldenwasser wird durch das

haldeninterne Fassungssystem abgeleitet (vgl. Kapitel 5.3.2.5). Ausgehend von dem Stand der Technik wurde das System Basisabdichtung der Phase 3 unter besonderer Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstandes zum Einsatz mineralischer Dichtungen an Rückstandshalden sowie der bautechnologischen Erfahrungen bei der Umsetzung des SyBa in der Phase 1 hinsichtlich des Optimierungspotentials des Schichtenaufbaus (Lagenmächtigkeit, Materialkenngrößen) weiterentwickelt. Als Abdichtungskomponente ist der Einsatz einer „künstlichen“ mineralischen Dichtung und einer polymeren Dichtung entlang der linienhaften Entwässerungselemente vorgesehen.

Als Grundlage für die Optimierung wurde die Durchlässigkeit der Einzellagen und des Gesamtsystems auf Basis eines Nachweises der Gleichwertigkeit zum System aus Phase 1 (planfestgestellt) und 2 (beantragt) vorgegeben, um die angestrebte Optimierung des Systems Basisabdichtung durch Reduzierung der Dicke der Einzellagen sowie der Gesamtlagenstärke zu erreichen. [Das derart optimierte System wurde zwischenzeitlich für Phase 2 planfestgestellt und soll in Phase 3 in gleicher Weise zum Ansatz kommen. Es wird im Folgenden beschrieben.](#)

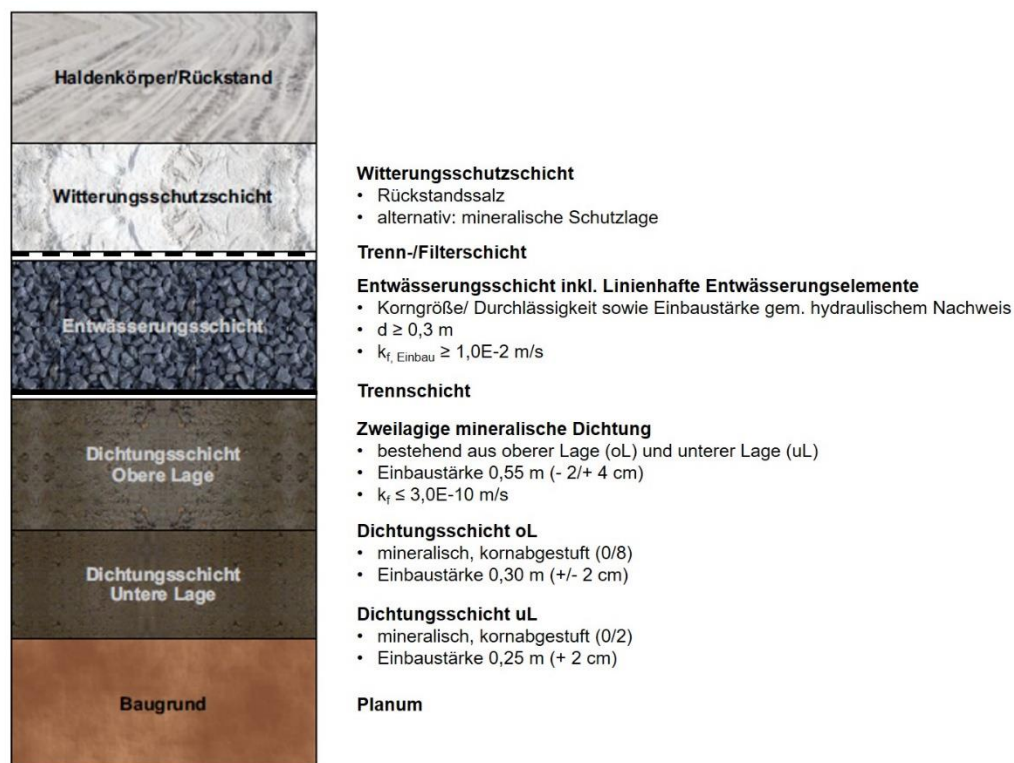
Die Chronologie der Entwicklung der hier beantragten mineralischen Basisabdichtung ist in Band 3.29.2N3 „Projektbezogene Eignungsuntersuchungen zum System Basisabdichtung der Halde Hattorf“ dargestellt.

Im Rahmenbetriebsplan zur Phase 3 werden zwei hinsichtlich der Auswirkungsprognose gleichwertige Varianten des Systems Basisabdichtung zur Zulassung beantragt, die im Folgenden beschrieben sind. Die Entscheidung darüber, welche Variante zum Einsatz kommt, wird im Rahmen der Genehmigungsplanung getroffen.

#### ***Variante 1 – System RM HA, Phase 2***

Das in Abbildung 5-3 dargestellte System Basisabdichtung mit einer Mächtigkeit der Dichtungsschicht von 55 cm zzgl. einer 30 cm mächtigen flächenhaften Entwässerungsschicht (FES) ~~wurde~~ bereits [Antragsgegenstand](#) in der Phase 2 [planfestgestellt und umgesetzt](#).





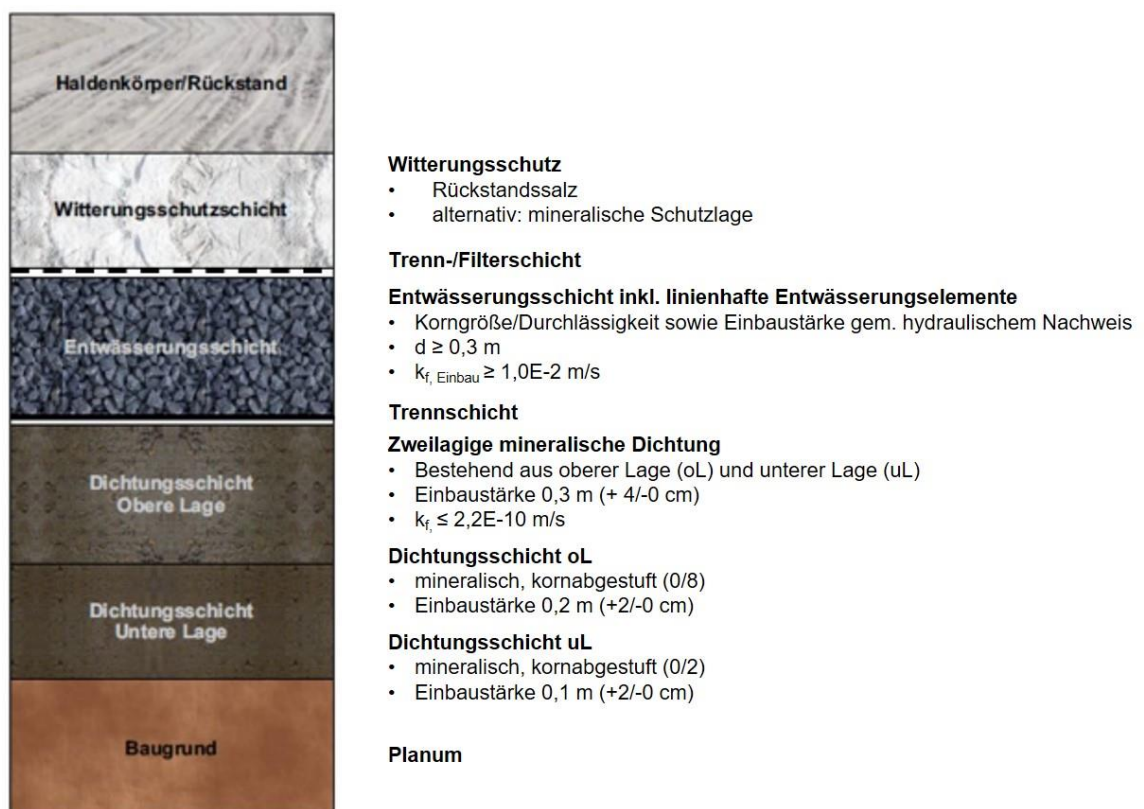
**Abbildung 5-3: System Basisabdichtung Variante 1**

### ***Variante 2 – System Dreischichttonminerale***

In der Variante 2 werden bei sonst vergleichbarem Grundkonzept des Schichtenaufbaus zur Variante 1 (untere Lage (uL) & obere Lage (oL) aus regional verfügbaren Sanden und Kiesen; oL Kornabgestuft nach FULLER) alternative Additive eingesetzt. Dies sind in der uL und oL quellfähige Dreischichttonminerale sowie in der uL ein anionisches Acrylamid-Acrylat-Copolymer. Die Variante 2 entspricht damit im Wesentlichen dem Materialkonzept, das bereits im RBP 04/09 HA i. d. F. v. 2018, Band 3.29.1N, beschrieben und für das eine hinreichende Eignung, insbesondere chemische Beständigkeit gegenüber Haldenwasser (Salzwasserresistenz) nachgewiesen wurde. Bei Einhaltung der entsprechenden Einbauwassergehalte und Einbau-Trockenrohdichten ist ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f \leq 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$  sicher gewährleistet. Insoweit entspricht und übersteigt dieses Materialkonzept die übergeordneten Anforderungen des Punktes 2 der GDA E 2-38.

Ausgehend vom Dichtpotential (der Systemdurchlässigkeit) der mineralischen Dichtung der Phasen 1 und 2 wurde die Schichtdicke der Variante 2 unter Berücksichtigung ihres maximalen Durchlässigkeitsbeiwertes anhand eines Gleichwertigkeitsnachweises abgeleitet und optimiert. Die Dicken der Einzellagen berücksichtigen bautechnische/ bautechnologische Aspekte sowie die Erfahrungen mit dem Einbau des vergleichbaren Systems im Zuge der Haldenkapazitätserweiterung 2 in Zielitz in den Jahren 2020 und 2021.

Die Salzwasserresistenz, d. h. eine hinreichende Restquellfähigkeit des Dreischichttonminerals auch in Verbindung mit dem vorstehend benannten Polymer zur langzeitsicheren Gewährleistung der festgelegten Dichtwirkung zeigen die Langzeitversuche in Zielitz (vergleiche hierzu Band 3.29.1N2 des Rahmenbetriebsplans der Phase 2). Das Materialkonzept und der Schichtenaufbau zeichnen sich durch eine sehr hohe hydraulische Dichtwirkung und eine den haldentypischen geomechanischen Belastungen sowie Verformungen (lagenspezifischer geomechanischer Parameter Reibungswinkel  $\varphi$ ,  $\varphi_{oL} > \varphi_{uL}$ ) angepasste Scherfestigkeit und Plastizität aus (siehe hierzu das in modifizierten Kompressionsversuchen nachgewiesene Verhalten der Dichtung unter haldentypischen Belastungen und Verformungen in Bergrechtliches Planfeststellungsverfahren „Haldenkapazitätserweiterung II Werk Zielitz (HKE II)“, Band 7 der Antragsunterlage, Fachgutachten System Basisabdichtung, 23.02.2018).



**Abbildung 5-4: System Basisabdichtung, Variante 2**

#### **5.3.2.4 Grundsätze zur Entwicklung und zum Nachweis des Systems Basisabdichtung**

Im zweilagigen Schichtenaufbau der mineralischen Dichtung soll die untere Lage insbesondere die erforderliche hydraulische und chemische Widerstandsfähigkeit sowie eine ausreichende Verformbarkeit sicherstellen. Das Dichtungsgemisch wurde für den in obiger Abbildung definierten Wasserdurchlässigkeitsbeiwert bezüglich eines möglichst großen Reibungswinkels optimiert.

Für die obere Lage wurde ein gemischtkörniger Aufbau mit Kornverteilung in Annäherung an die Fuller-Verteilung gewählt, um die mechanischen Beanspruchungen aus Haldenauflast bei möglichst geringer Verformung des Dichtungssystems in den Untergrund abzuleiten und eine ausreichende Scherfestigkeit in der Trennfuge zwischen Rückstandshalde und Basisabdichtung zu gewährleisten.

Unter den zu erwartenden haldentypischen Beanspruchungen (Vertikal- und Schubspannung) und Verformungen wirken beide Lagen im Verbund, die Schichtgrenzen der oberen und unteren Dichtungsschicht verzahnen sich und stellen als Schichtsystem die Wirksamkeit, Funktionalität sowie Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung sicher. Dies wurde im Rahmen des Pilotvorhabens durch Laborversuche zur Eignungsprüfung/-feststellung und einen Großversuch (Pilothalde) grundsätzlich nachgewiesen (vgl. Band 3.29.1N).

Das dem Pilotvorhaben zugrunde liegende Untersuchungsprogramm wurde in Anlehnung an den Stand der Technik (Deponieverordnung DepV 2020, bundeseinheitliche Qualitätsstandards BQS, GDA-Empfehlungen etc.) entwickelt. Es besteht aus Standardlaboruntersuchungen aus dem Bereich Grundbau und Bodenmechanik sowie aus speziell entwickelten wissenschaftlichen Laborversuchen, die über den Stand der Technik hinausgehen, um die spezifischen Beanspruchungen von Rückstandshalden der Kaliindustrie zu berücksichtigen. Schwerpunkte des Untersuchungsprogrammes sind:

- Voruntersuchungen zur Materialauswahl (bodenmechanische Standarduntersuchungen, Scherfestigkeitsuntersuchungen, Proctorversuche in Anlehnung an das Merkblatt Trisoplast®, Trisoplast 2009)
- Nachweisverfahren, die haldenspezifische Belastungen berücksichtigen:
  - modifizierte Kompressionsversuche unter Berücksichtigung realer Haldenauflasten und Verformungen.
  - modifizierte vergleichende Wasserdurchlässigkeitsversuche in Triaxialzellen mit Variation
    - der Prüflüssigkeit (entlüftetes Haldenwasser und Leitungswasser) sowie
    - des Probenzustands (verformte und unverformte Probekörper).
  - In Anlehnung an die Forderung gemäß BQS 2-0 werden seit 2010 Langzeituntersuchungen zum Nachweis der Beständigkeit der zweilagigen mineralischen Dichtung durchgeführt.
- CT-Untersuchungen an verformten und unverformten Probekörpern

Mit den CT-Untersuchungen wird nachgewiesen, dass sich die haldenspezifischen Beanspruchungen und Verformungen nicht nachteilig auf das Poren-/ Korngefüge der mineralischen Dichtungsschicht und damit auch nicht auf deren Durchlässigkeit auswirken.

Durch die SIG-Hessen Ingenieure erfolgte der Eignungsnachweis der zweilagigen mineralischen Dichtung unter Verwendung von ortsnah verfügbaren Materialien (d.h. regional verfügbare Gesteinskörnungen unterschiedlicher Korngruppen) in Verbindung mit Tonmehl und Polymer (vgl. Band 3.29.2N: „Projektbezogene Eignungsuntersuchungen zum System Basisabdichtung der Halde Hattorf“). Diese projektbezogen durchgeführten Eignungsuntersuchungen haben gezeigt (vgl. Band 3.29.2N), dass mit den im Pilotvorhaben entwickelten grundsätzlichen technischen Lösungsansätzen auch unter Verwendung regionaler Baumaterialien die gestellten Anforderungen an die Einzellagen sowie an das System der Dichtungsschicht bezüglich Scherfestigkeit, Verformbarkeit und Wasserdurchlässigkeit erfüllt werden können.

Auf Basis dieser Unterlagen wurde für die Phase 1 eine Zulassung zur Errichtung der mineralischen Dichtungsschicht gemäß dem in Abbildung 5-3 als Variante 1 dargestellten Systemaufbau, jedoch mit einer Gesamtmächtigkeit von 75 cm und einem Gesamtdurchlässigkeitsbeiwert von  $k \leq 5,0E-10$  m/s zzgl. 50 cm flächenhafter Entwässerungsschicht erteilt. Die weiteren Anforderungen an das System waren zuvor im Band 1.1 des RBP 04/09-HA i. d. F. v. 2018 definiert worden und sind in Kapitel 2.1 der Anlage 10 dargestellt. Das System Basisabdichtung wurde daraufhin auf rd. 27 ha Aufstandsfläche im Bereich der Phase 1 in mehreren Teilabschnitten (BA A1 – A5) errichtet. Die Errichtung wurde durch eine umfangreiche Qualitätskontrolle, bestehend aus Eigen- und Fremdüberwachung für die jeweiligen Komponenten des Systems Basisabdichtung, sowie durch einen Behördengutachter engmaschig überwacht, deren Stellungnahmen ausschlaggebend für die Freigabe der jeweiligen Teilflächen zur Beschüttung waren. Die Teilfreigaben der einzelnen Flächen bestätigen deren anforderungsgemäße Herstellung. Auch am Standort Wintershall wurde das System Basisdichtung zugelassen und bereits auf einer Fläche von rd. 11 ha anforderungsgemäß hergestellt und freigegeben.

Im Rahmen der Phase 2 der Haldenerweiterung Hattorf erfolgte zu diesem System eine Optimierung der Variante 1, unter der Prämisse einer Gleichwertigkeit im Hinblick auf die Restdurchsickerung (vgl. Kapitel 5.3.2.4.1). Die umfangreichen, im Zuge des Dichtungsbaus gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten die Erhöhung der Anforderungen an die Durchlässigkeit des Gesamtsystems und der Einzellagen bei gleichzeitiger Verringerung der Lagenstärke.

Im Zuge der Optimierung des Systems Basisabdichtung wurden darüber hinaus basierend auf den Eignungsuntersuchungen zum System Basisabdichtung gemäß dem Materialkonzept Zielitz (vergleiche hierzu Band 3.29.1N2 des Rahmenbetriebsplans RM HA Phase 2 bzw. Bergrechtliches Planfeststellungsverfahren „Haldenkapazitätserweiterung II Werk Zielitz (HKE II)“, Band 7 der Antragsunterlage, Fachgutachten System Basisabdichtung, 23.02.2018) Untersuchungen zu deren Fortschreibung und Konkretisierung für das Werk Werra unter Verwendung regional verfügbarer Materialien (Gesteinskörnungen) sowie gleicher Additive / Hilfsstoffe (Bentonit und Polymer) durch das Geotechnische Büro Prof. Dr. Ing. H. Düllmann GmbH sowie die upi GmbH durchgeführt. Deren Ergebnisse liegen als Anlage 3 dem Band 3.29.2N3 bei, wobei Anlage 3c eine zusammenfassende Darstellung zu diesen enthält. Die Untersuchungen zur Optimierung des Systems Basisabdichtung für die Haldenerweiterung Hattorf Phase 3 gemäß Anlage 3 einschließlich deren mitgeltenden Anlagen vereinen die Kenntnisse und Erfahrungen zu den bisherigen Materialkonzepten der mineralischen Dichtungen an den Werken Zielitz und Hattorf. Sie kombinieren im Dichtungssystem Variante 2 die bisher im Werk Werra eingesetzten Sand-Kies-Baustoffe mit Additiven/ Hilfsstoffen (Polymer

und Bentonit), die den Eignungsuntersuchungen zum System Basisabdichtung sowie dem Einbau des entsprechenden Systems im Zuge der Haldenkapazitätserweiterung II Werk Zielitz in den Jahren 2020 und 2021 zu Grunde lagen.

Die Untersuchungen umfassen Korngrößenverteilungen, Proctorversuche und Scherversuche sowie Versuche zur Wasserdurchlässigkeit für beide Dichtungslagen, sowie die Bestimmung der Eigenschaften der Grundmaterialien und des Dreischichttonminerals IBECO Seal 80. Die Versuche haben gezeigt, dass die gestellten Materialanforderungen (vgl. Kapitel 5.3.3) zum jetzigen Stand der durchgeführten bodenmechanischen Untersuchungen der Eignungsprüfung vollständig eingehalten werden. Hieraus kann gemäß der Ergebnisberichte die grundsätzliche Eignung der untersuchten Materialmischungen der oberen und unteren Lage der Variante 2 des Systems Basisabdichtung für die Phase 3 der Haldenerweiterung Hattorf abgeleitet werden.

Die in Anlage 3 zu Band 3.29.2N3 beschriebenen Untersuchungen zur Durchlässigkeit der mineralischen Dichtung zur Variante 2 werden fortgeführt. Des Weiteren ist analog zu den bisherigen Eignungsuntersuchungen an den Materialkonzepten Zielitz und Werra die Durchführung eines modifizierten Kompressionsversuches geplant. Die Untersuchungsberichte in Anlage 3 zu Band 3.29.2N3 stellen insofern einen fortzuschreibenden Zwischenstand für die Eignungsuntersuchung der Variante 2 dar.

Unter Berücksichtigung der Vergleichbarkeit der Materialkonzepte und eingesetzten Additive/Hilfsstoffe für die Variante 2 und das System Basisabdichtung mit Materialkonzept Zielitz kann jedoch abschließend bewertet werden, dass die Nachweise zum System Basisabdichtung mit Materialkonzept Zielitz gemäß Band 3.29.1N2 auf die Variante 2 übertragen werden können und damit auch für diese Variante vollständige Eignungs- und Langzeitnachweise vorliegen.

#### 5.3.2.4.1 Nachweis der Gleichwertigkeit mit dem Dichtungssystem aus Phase 1

Im Zuge der Umsetzung der Phase 1 und der dabei gesammelten Erfahrungen zur Prüfung des Durchlässigkeitsbeiwertes im Labor nach DIN 18130 mit einem  $i$  von 30 an Proben aus dem Baufeld wurden i. d. R. in beiden Lagen der mineralischen Dichtung ähnlich geringe Durchlässigkeitsbeiwerte, teils deutlich unterhalb der Anforderungen des QMP, ermittelt. Dies wurde durch Eigen- (EP) und Fremdprüfung (FP) bestätigt. Aus diesem Grunde erfolgte eine Prüfung zur Reduzierung der Gesamtmächtigkeit bei gleichbleibender Rückhaltefunktion der Dichtung aufgrund der verringerten Durchlässigkeit. Der Nachweis, dass es durch diese Optimierung gegenüber dem System Basisdichtung aus Phase 1 der Haldenerweiterung nicht zu einem erhöhten Durchfluss kommt, erfolgt rechnerisch auf Basis der Durchlässigkeit des Gesamtsystems, die anhand der Durchflussrate  $q$  beschrieben wird. Er liegt diesem Band als Anlage 10.1 bei. Die Stellungnahme wurde gegenüber der zu Phase 2 vorgelegten Fassung im Hinblick auf die zu Phase 3 ermittelten Aufstauhöhen aus Band 1.3E3 angepasst und liegt nunmehr in der Fassung 12.2021 vor. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass bei einer Reduzierung der Aufbaumächtigkeit bereits mit einer vergleichsweise geringen Abnahme des Durchlässigkeitsbeiwertes eine Gleichwertigkeit des Abdichtungssystems hinsichtlich der Durchflussrate  $q$  nachgewiesen werden kann. Bei einer Reduzierung der Gesamtmächtigkeit der Basisabdichtung auf 0,5 m, entsprechend dem Standard der Deponieverordnung, ist die Gleichwertigkeit bei einem fiktiven Ansatz eines Einstaus von 30 cm in der flächenhaften Entwässerungsschicht (FES) für eine Systemdurchlässigkeit von  $k_f = 4,38 \cdot 10^{-10}$  m/s nachgewiesen.

Aus baupraktischen Erwägungen wurde die beantragte Systemgesamtstärke zu 55 cm (- 2/+4 cm) festgelegt, so dass ein Einbau in zwei Lagen mit einer Stärke der unteren Lage 25 cm (+ 2 cm) und der oberen Lage 30 cm (+/- 2 cm) erfolgt. Die Parameter wurden auf der sicheren Seite liegend gewählt, das System geht damit in Lagenstärke und Durchlässigkeit über den Stand der Technik im Deponiebau und erst recht im Bergbauabfallrecht hinaus.

Für den Nachweis der gleichwertigen Dichtwirkung erfolgte die Berechnung der Leistungsfähigkeit der bisher umgesetzten und der nunmehr beantragten Dichtung gemäß der Vorgaben der DIBt-Grundsätze mit einem theoretischen Einstau in der FES von  $h = 30$  cm und dem Formelansatz  $i = (h+d)/d$ . Wie in Band 1.3E2 dargelegt, wird dieser theoretische Einstau in der Realität keineswegs erreicht. Ferner ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass diese Vorgehensweise zur Ermittlung der realen Restdurchsickerung nicht anwendbar ist. Zur Unterscheidung zwischen dem rechnerischen Nachweis der gleichwertigen Dichtwirkung auf der einen und der Ermittlung der Restinfiltration auf der anderen Seite bzw. zur Anwendbarkeit des Formelansatzes  $i = (h+d)/d$  im Hinblick auf die Ermittlung der Restinfiltration wird auf die Stellungnahme der Geotechnisches Büro Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH (im Folgenden GBD) in Anlage 15.2 des Bandes 1.3E2 verwiesen.

Eine Prüfung des Nachweises in Anlage 10.1 durch die QM<sub>Geo</sub> Prüfgesellschaft mbH, die als Fremdprüfer im Rahmen der Phase 1 der Haldenerweiterung tätig war, erfolgte im Hinblick auf die Übereinstimmung mit geltenden Vorschriften (insbesondere der Vorgaben der DepV 2020) sowie durch rechnerische Vergleichsbetrachtungen.

Die Bewertung liegt als Anlage 10.2 (Stand 12.2021) bei und kommt zu dem Ergebnis, „dass eine Gleichwertigkeit des bisherigen Abdichtungssystems von 0,75 m mit einer Durchlässigkeit von  $k_f \leq 5,0E-10$  m/s zu einem System von 0,53<sup>a</sup> m mit einer Durchlässigkeit von  $k_f \leq 3,0E-10$  m/s gegeben ist. Die nach DepV geforderte Mindestmächtigkeit der Basisabdichtung von 0,50 m wird hierbei nicht unterschritten, wobei diese Mindestmächtigkeit nach DepV für die vorliegende Anlage nach Bergrecht nur als Vergleichswert herangezogen wird.“ (vgl. Anlage 10.2: 8).

Zwischenzeitlich wurde das optimierte Dichtungssystem für Phase 2 zugelassen und nach erfolgtem Nachweis der Dichtigkeitsanforderungen sowie der Einhaltung aller Vorgaben des Rahmenbetriebsplans auf rd. 8,8 ha Fläche zur Beschüttung freigegeben.

Um die Gleichwertigkeit im Hinblick auf die Restdurchsickerung bei einem fiktiven Einstau von 50 cm (Vergleichsmaßstab: Volleinstau FES gemäß Phase 1) in der flächenhaften Entwässerungsschicht (FES) zu gewährleisten, und um die angestrebte Optimierung des Systems Basisabdichtung durch Reduzierung der Dicke der Einzellagen sowie der Gesamtlagenstärke zu erreichen, wurde für die Eignungsuntersuchungen zur Variante 2 des Systems Basisabdichtung der Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f \leq 2,2E-10$  m/s vorgegeben.

Die Gleichwertigkeit der Variante 2 zur Ursprungsvariante aus dem Rahmenbetriebsplan i. d. F. v. 2018 (in ihrer ursprünglichen Mächtigkeit mit 0,75 m und mit einer Durchlässigkeit von  $k_f \leq 5E-10$  m/s) und 2 wird in der fachtechnischen Stellungnahme der QM<sub>Geo</sub> Prüfgesellschaft mbH vom 06.12.2021 bestätigt (Vgl. Anlage 10.3: 7). Im Rahmen konservativer Betrachtungen liegt diesem Gleichwertigkeitsnachweis ein fiktiver Aufstau von 50 cm auf der mineralischen Dichtung zu Grunde.

---

<sup>a</sup> minimale Einbaustärke/-dicke unter Berücksichtigung der Toleranzen (vgl. Abbildung 5-3)



Damit ist eine Gleichwertigkeit zwischen dem in Phase 1 bereits umgesetzten System sowie den beiden hier beantragten Varianten gegeben.

In Bezug auf die Unterschreitung der nach DepV geforderten Mindestmächtigkeit der Basisabdichtung von 0,5 m für die Variante 2 ist folgendes auszuführen: Wie vorstehend beschrieben, ist die DepV 2020 nicht einschlägig für die betrachtete bergbauliche Abfallentsorgungseinrichtung. Sie wird lediglich als Erkenntnisquelle und Referenz herangezogen. Auch die DepV 2020 eröffnet aber Raum für Einzelfallentscheidungen in Bezug auf Monodeponien.

Im Vergleich zu dem vorgestellten Dichtungssystem der Variante 2 liegt die Durchflussrate einer DK1-Dichtung mit einer Einstauhöhe  $h=0,5$  m mit  $q=1,00E-9$  m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>\*s) höher. Die Durchflussrate der Variante 2 beträgt demgegenüber  $q=5,87E-10$  m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>\*s) und damit nur rd. das 0,6-fache des Systems DK1. Dies entspräche einem „Sicherheitsfaktor“ von 1,7.

Für die Zulassungsfähigkeit des SyBa kommt es – neben den an anderer Stelle dargelegten materiellen Anforderungen des Wasserrechts – allein darauf an, dass der im MWEI BREF 2018 definierte einschlägige Stand der Technik durch die vorgestellten optimierten Varianten deutlich übertroffen wird. Auch den Anforderungen des § 22a ABergV trägt das System Rechnung, da die Restdurchsickerung durch die mineralische Dichtung in Kombination mit der flächigen Entwässerungsschicht und den haldeninternen und -externen Entwässerungselementen weitestgehend minimiert wird. Aufgrund der baubegleitenden umfangreichen Qualitätssicherung kann der hohe Standard des Dichtungssystems sicher realisiert werden. Die Thematik des Fehlerausgleichs wird in der Stellungnahme der QMGeo Prüfgesellschaft mbH in Anlage 10.3 für Variante 2 durch die Einführung eines Abminderungsfaktors gewürdigt, welcher dem reduzierten Einbau der oberen Lage in einer statt zwei Schichten Rechnung trägt. Das gleiche Vorgehen wurde im Übrigen auch zur optimierten Variante in Anlage 10.2 gewählt. Zur Begründung heißt es dort (S. 6) „Da die Schichten [in der Variante 1 mit höherer Mächtigkeit der Dichtung] versetzt errichtet wurden und fehlerausgleichend wirkten, ist dieses durch den Entfall einer Schicht reduzierte Schutzniveau durch eine Erhöhung der Anforderung mittels eines Sicherheitsbeiwertes Rechnung zu tragen“.

#### 5.3.2.5 Haldenwasserfassungssysteme

Die Haldenbeschüttung ist in 3 Schüttphasen unterteilt, wobei die Flächengröße der im Norden der Erweiterung befindlichen Phase 1 rd. 26,9 ha und die Flächengröße der Phase 2 rd. 10,8 ha beträgt. Die Beschüttungsfläche der Phase 3 besitzt eine Größe von rund 24,5 ha. Im Bereich der drei Phasen werden als Bestandteil des Systems Basisabdichtung geeignete haldeninterne und externe Haldenwasserfassungssysteme eingesetzt (vgl. Band 1.1E3, Anlage 8N). Als Grundsatz wurde in Phase 1 und 2 jeweils berücksichtigt, dass die Entwässerung nachfolgender Phasen, aber auch die Entwässerung der jeweiligen Phase ohne Anschluss nachfolgender Phasen gegeben ist. Die Phase 3 schließt daher nun an die in Phase 2 [vorgesehene Planung der errichteten flächigen Entwässerungsschicht und](#) linienförmigen Entwässerungselemente an [bzw. setzt diese bis zur finalen Beschüttungsgrenze fort.](#)

##### 5.3.2.5.1 Haldeninterne Fassungssysteme

Die haldeninternen Fassungssysteme der Schüttphasen werden unter Berücksichtigung des Haldenkörperverhaltens (siehe hierzu auch Kapitel 3) mit der daraus resultierenden Entwicklung

der hydraulisch differenzierten Haldenzonen (Mantel-/ Übergangs- und Kernzone), des Haldenwasserchemismus sowie der Beschüttungsabschnitte und Lage innerhalb der Haldenerweiterung errichtet.

### **Grundsätze, Funktionen sowie Art und Anordnung**

Das haldeninterne Entwässerungssystem besteht aus einer flächenhaften Entwässerungsschicht (FES), die unter Berücksichtigung

- der Standortmorphologischen Gegebenheiten bzw. Gefälleverhältnisse,
- des Haldenkörperverhaltens (siehe hierzu auch Kapitel 3) mit der daraus resultierenden Entwicklung der hydraulisch differenzierten Haldenzonen (Mantel-/ Übergangs- und Kernzone),
- des Haldenwasserchemismus sowie
- der Beschüttungsabschnitte und Lage innerhalb der Haldenerweiterung

mit linienhaften Entwässerungselementen (EE) kombiniert wird. Die potentielle Lage der einzelnen Entwässerungselemente innerhalb des Haldenkörpers für den Endzustand der Haldenerweiterung ist in der Abbildung 5-2 sowie in der Anlage 18N, Band 1.1E3, schematisch dargestellt. Die in Anlage 1 des Bandes 1.1E3 dargestellte Anzahl der Spülrohre entspricht dabei im Grundsatz einem Mindestumfang, welcher im Rahmen der nachgeschalteten Ausführungsplanung bedarfsweise erhöht wird. Davon ausgenommen sind Entwässerungselemente, für welche es fachlich die Funktion und/ oder Herstellbarkeit begründet und der Nachweis erbracht werden kann, dass sich bei Änderungen der Entwässerung im Vergleich zur Darstellung in Anlage 1 die hydraulische Leistungsfähigkeit nicht nachteilig auf die Restinfiltration Band 1.3E3) auswirkt. Dies bezieht sich insbesondere auf die Entwässerungselemente Abschlag (EEA), sowie im endgültigen Haldenkern angeordnete, temporär wirksame Entwässerungselemente.

Linienhafte EE sind in der hydraulisch aktiven Mantel- und weniger aktiven Übergangszone sowie in der hydraulisch inaktiven Kernzone grundsätzlich mit den folgenden Funktionen vorgesehen:

- Verkürzung der Fließpfade und damit Beschleunigung der Entwässerung,
- Spüloption in temporären und endgültigen Haldenrandbereichen bei der Beschüttung,
- Hydraulische „Abgrenzung“
  - von Teilflächen der Flächenvorbereitung für eine Jahresscheibe und/ oder
  - der im Endzustand ausgebildeten Haldenkernzone.

In der Mantel- und Übergangszone werden die linienhaften EE

- Entwässerungselement Mantelzone (EEM),
- Entwässerungselement Übergangszone (EEÜ),
- Entwässerungselement Abschlag (EEA)

und in der im Endzustand der Haldenerweiterung ausgebildeten hydraulisch inaktiven Kernzone die linienhaften EE

- Entwässerungselement Fläche (EEF),



- Entwässerungselement Tiefpunkt (EET),
- Entwässerungselement Ertüchtigung temporärer Haldengraben/ Haldenrandgraben Bestandshalde (EHG) und
- Entwässerungselement hydraulische Trennung (EEHT) sowie das
- Entwässerungselement Trennung Phasen (EETP)

errichtet.

### **Flächenhafte Entwässerungsschicht**

Die **FES** übernimmt die Hauptentwässerungsfunktion. Die linienhaften EE haben im Entwässerungssystem im Wesentlichen eine unterstützende/ verbessernde Funktion, die sich vor allem auf die Spüloption bezieht (dazu nachstehend in diesem Kapitel).

Im Rahmen der Phase 1 wurde als Bestandteil des Systems Basisabdichtung eine FES mit einer Mächtigkeit von  $d \geq 50$  cm mit einer Körnung 16/32 umgesetzt. Die Betrachtungen zur maximalen Einstauhöhe gemäß GDA-Empfehlung E2-20 ergaben bereits zum damaligen Zeitpunkt, dass diese Mächtigkeit nicht erforderlich ist (vgl. Band 1.3E des RBP 04/09-HA i. d. F. v. 2018). In Band 1.3E3 wird auf Basis der Berechnungen nach GDA E2-20 gezeigt, dass die maximale Einstauhöhe in der FES im Bereich der Phase 3 unter Ansatz konservativer Randbedingungen bei 5,8 cm liegt (vgl. Tabelle 3). Gemeinsam mit den nun vorliegenden Betriebserfahrungen aus Bau und Betrieb der Phase 1 sowie der Haldenerweiterung Wintershall und diesen neuerlichen Berechnungen zu Phase 3 wird deshalb die Umsetzung der FES in einer reduzierten Mächtigkeit von  $d \geq 30$  cm beantragt (siehe auch Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4). Eine Reduzierung der Mächtigkeit ist gemäß den Vorgaben der DepV 2020 möglich: „Wenn nachgewiesen wird, dass es langfristig zu keinem Wasseranstau im Deponiekörper kommt, kann mit Zustimmung der Behörde bei Deponien der Klasse I, II und III die Entwässerungsschicht mit einer geringeren Schichtstärke oder einer anderen Körnung hergestellt werden“ (Anhang 1. Tab. 1 Fußnote 3). Dieser Nachweis ist durch die Berechnungen in Band 1.3E3 für die Flächen der Phase 3 grundsätzlich erbracht. Eine FES mit einer Stärke von  $d \geq 30$  cm bietet ausreichend Sicherheit im Hinblick auf den errechneten maximalen Einstau von 5,8 cm (s.o.). Auf Basis der Genehmigungsplanung wird unter Berücksichtigung der dann konkretisierten Gefälleverhältnisse und Fließlängen eine ortskonkrete Bestätigung dieser Berechnung im Rahmen nachfolgender Sonderbetriebspläne vorgelegt.

Des Weiteren ist auch eine Öffnung für den Einsatz verschiedener Körnungen auf Grundlage der oben zitierten Vorgaben der DepV vorgesehen. Gemäß der BQS 3-1 und 3-2 besteht eine grundsätzliche Vorgabe zur Durchlässigkeit von Drainageschichten im Einbau von  $k_f \geq 1 \cdot 10^{-2}$  m/s. Für den dauerhaften Zustand gibt DIN 19667 Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_f \geq 1 \cdot 10^{-3}$  m/s vor. Als dauerhaft wirksam wird im Band 1.3E3 ein  $k_f$ -Wert von  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s berücksichtigt und deswegen unter Berücksichtigung des Sicherheitsniveaus, das sich aus den o.g. Durchlässigkeitsbeiwerten im Zustand Einbau und dauerhaft ergibt, als projektspezifische Anforderung für den Einbau  $k_f \geq 1 \cdot 10^{-1}$  m/s festgelegt. Entsprechende Prüfergebnisse zu den verschiedensten Körnungen liegen in zwei Untersuchungsberichten von der TU Braunschweig vor, die der Anlage 6 zu entnehmen sind. Die  $k_f$ -Werte wurden für die untersuchten Körnungen 8/16, 8/32, 16/32 und 32/64 im Bereich hydraulischer Gradienten um 0,01 bis 0,1 mit  $k_f > 1 \cdot 10^{-1}$

1m/s bestimmt. Sie können deswegen in Bezug auf ihre Körnung und Durchlässigkeit als geeignet für die FES bewertet werden.

In der FES werden zur Sicherstellung der Entwässerungsfunktion am permanenten Haldenrand im regelmäßigen Abstand von ca. 30 m **Spülrohre (SP)** angeordnet. Damit kann möglichen temperaturbedingten Kristallisationen begegnet werden. Auf der sicheren Seite liegend werden die SP im gesamten Bereich der dauerhaft hydraulisch aktiven Haldenmantelzone, d.h. in einem 45 m breiten Streifen am Haldenrand, angeordnet.

Die FES wird nach unten von der mineralischen Dichtung durch eine Trennschicht und nach oben durch ein geeignetes geotextiles Vlies filterstabil von der Witterungsschutzschicht/ Halde abgetrennt, um Funktionsbeeinträchtigungen der Systemkomponenten zu verhindern (siehe auch Band 1.1E2 bzw. Band 3.29.2N).

### **Linienförmige Entwässerungselemente**

Die **linienförmigen Entwässerungselemente** bestehen aus einer vliesummantelten Schüttung mit stark durchlässigen mineralischen Materialien, welche auch unter hohen Haldenlasten die Entwässerung gewährleisten. Die Ausführung der linienförmigen Entwässerungselemente orientiert sich an den genehmigten und umgesetzten Entwässerungselementen der Phase 1.

Ihre Auslegung (geometrische und bautechnische Gestaltung) erfolgt dabei stets konservativ unter Berücksichtigung des im jeweiligen Entwässerungsabschnitt anfallenden Haldenwassers, der Planums-/ Sohlneigung und der zu erwartenden Verformungen für einen Ausnutzungsgrad von ca. 0,50.

Alle linienhaften EE werden im hydraulisch aktiven Bereich mit **Spülrohren** versehen. Damit ist in Verbindung mit den Spülrohren in der FES die Wartung und Instandhaltung der permanenten Haldenrandbereiche im Hinblick auf die Vermeidung möglicher abflussmindernder Salzkristallisationen gegeben.

Das **EEM und EEÜ** werden im Wesentlichen parallel zum Böschungsfuß angeordnet. Sie werden abschnittsweise dem Beschüttungsverlauf vorausseilend als eine Art Ringleitung errichtet und an den Haldenrandgraben durch Entwässerungselemente Abschlüsse (**EEA**) angebunden.

Die Regelquerschnitte der Entwässerungselemente EEM und EEÜ liegen in Anlage 2.4.1 jeweils für die Varianten 1 und 2 des Systems Basisabdichtung vor; Anlage 2.4.2 enthält die entsprechenden Regelquerschnitte zu EEA und SP.

Im nordwestlichen Randbereich der Haldenerweiterungsfläche am Standort Hattorf verläuft von Süden nach Norden der Ochsengraben. Dieser natürliche Geländeeinschnitt, der vor allem im Flächenbereich der Phase 1 morphologisch ausgeprägt ist, wurde im Zuge der Auffahrung der Phase 1 temporär zur Entwässerung der im endgültigen Haldenkernbereich liegenden Haldenerweiterungsflächen genutzt und zum haldeninternen Entwässerungselement Tiefpunkt (**EET**) ausgebaut. Dieses EET wird im Zuge der Phase 2 nach Südosten hin durch die gesamte Phase 2 verlängert. Nach Überschüttung und abgeschlossener Haldenkernausbildung verliert das EET seine hydraulische Funktion. In Folge der Geländeprofilierung wird das EET in der hier gegenständlichen Phase 3 nicht fortgesetzt.

In Abhängigkeit von den betrieblichen Randbedingungen erfolgt im Rahmen der Genehmigungsplanung eine Unterteilung der Fläche in Jahresscheiben. An den sich

ergebenden Grenzen zwischen den Jahresscheiben zur Flächenvorbereitung werden temporäre Infrastrukturen (Betriebsweg, Haldengraben) errichtet. Nach Beschüttung der jeweiligen Abschnitte erfolgt der Rückbau der temporären Betriebswege und ggf. unter Berücksichtigung der Neigungsverhältnisse des SyBa in den angrenzenden Jahresscheiben der Ausbau des temporären Haldenrandgrabens zu einem **EHG**.

Im Anschlussbereich der Bestandshalde zur Haldenerweiterung wird am Fuß der Bestandshalde ein weiteres EHG angeordnet. Es nimmt bis zur dortigen Ausbildung des Haldenkerns das im Bereich der ehemaligen Flanke der Bestandshalde abfließende und an der Haldenbasis austretende Haldenwasser auf. In den Phasen 1 und 2 wurde eine hydraulische Trennung realisiert, die in Phase 2 bis an deren südlichen Haldenrand geführt wurde. Daraus ergibt sich, dass neben dem EHG, welches in Bereichen mit hydraulischer Trennung erweiterungsseitig der KDB verlegt wurde, ein weiteres Element parallel zu diesem auf der Bestandshaldenseite der Dichtung angeordnet ist. Das Element hinter der KDB-Dichtung der hydraulischen Trennung, d.h. auf der Seite der Bestandshalde, wird als Entwässerungselement hydraulische Trennung (**EEHT**) bezeichnet und erfüllt in den Phasen 1 und 2 die Funktion des o.g. EHG., welches zur Aufnahme und Ableitung des an der Haldenbasis austretenden Haldenwassers konzipiert ist.

In Phase 3 erfolgt die Haupt-Entwässerung des südlichen Bereichs der Haldenerweiterung über die externen Entwässerungselemente um den Umring der Erweiterungsfläche herum und es wird keine hydraulische Trennung errichtet. Die beiden parallelen Entwässerungsstränge EHG und EEHT sollen dennoch innerhalb der Phase 3 fortgeführt werden, um das im Grenzbereich zur Bestandshalde anfallende Wasser im Zeitraum bis zur Ausbildung des Haldenkerns in diesem zu fassen und abzuleiten. Das EHG kann/ soll hier gleichzeitig die Funktion des EEHT übernehmen. Die Regelquerschnitte zu EHG und EEHT sind Anlage 7.2 zu entnehmen.

Zur hydraulischen Abgrenzung der Phase 3 von der nördlich angrenzenden Phase 2 wird analog zur Grenze Phase 1/Phase 2 ein Entwässerungselement Trennung Phasen (EETP) vorgesehen.

### **Fließwege innerhalb der Halde und Ableitung der Anordnung haldeninterner Fassungselemente**

Im Zuge der Beschüttung der Phase 3 werden die an der Westseite der Phase 2 befindlichen Entwässerungselemente in der Mantelzone (EEM) und der Übergangszone (EEÜ) entlang der Grenze der Phase 3 weiter nach Süden geführt, und umgeben die Phase 3 bis zu ihrem Anschluss an die Bestandshalde auf deren Südwestseite. Im Ergebnis der in Kapitel 3.3.1 beschriebenen Begutachtung durch den geotechnischen Sachverständigen erfolgt eine geringfügige Anpassung der Elemente EEM von bislang 45 m auf 55 m Entfernung vom Haldenfuß. Das EEÜ wird wie bislang in einer Entfernung von 90 m vom Haldenfuß, und damit im Grenzbereich zwischen hydraulisch aktivem Randbereich und Haldenkern angeordnet (vgl. Kapitel 3.3). Unterstützt werden diese böschungsp parallelen Entwässerungen durch die Entwässerungselemente Abschlüge (EEA), wodurch die Entwässerung nach außen bei allen Gefälleverhältnissen gewährleistet ist. Durch die Errichtung der Entwässerungselemente Abschlüge (EEA) werden die Fließpfade des Haldenwassers auf der mineralischen Dichtung verkürzt und somit die Entwässerung des haldeninternen Systems beschleunigt.

Im Zuge der Genehmigungsplanung für die einzelnen Bauabschnitte werden die Betrachtungen zu den Fließwegen und den erforderlichen Entwässerungselementen konkretisiert. Die Darstellung im Rahmenbetriebsplan enthält einen Mindestumfang, von welchem auf Basis einer fachlichen Begründung abgewichen werden kann (vgl. Kapitel 5.3.2.5.1 in Bezug auf die erforderlichen Voraussetzungen).

In Bereichen mit parallelem bis nach innen gerichtetem Geländegefälle ~~stellen können~~ die linienhaften EE sicherstellen, dass auf der mineralischen Dichtung abfließendes Haldenwasser gefasst (EEM und EEÜ; Funktionen: Verkürzung der Fließpfade, Spüloption und hydraulische „Abgrenzung“ zum Haldenkern) und in Verbindung mit den EEA aus dem Haldenkörper geleitet werden. Die EEA führen damit gleichzeitig zu einer abschnittsweisen hydraulischen Entlastung von EEM und EEÜ. Die hydraulischen Nachweise für die Entwässerungselemente werden - sofern erforderlich, falls die Elemente nicht nur konstruktiven Charakter tragen – auf Ebene des Sonderbetriebsplans vorgelegt.

Zur Wirksamkeit der linienförmigen EE unter Berücksichtigung des Planungsgefälles wird ergänzend auf die untenstehenden Ausführungen verwiesen.

Im Bereich der Kernzone der Phase 3 werden Entwässerungselemente auf der Fläche (EEF) bedarfsweise unter Berücksichtigung der standortmorphologischen Gegebenheiten und der Gestaltung der Bauabschnitte so errichtet, dass eine Entwässerung zu jedem Zeitpunkt gegeben ist. Die Entwässerungsfunktion des EEF an der Grenze des Zwischenbereichs zwischen Bestandshalde und Erweiterung wird durch das EHG übernommen, daher entfällt das EEF in diesem Bereich, anders als in Phase 1 und 2.

Das zusätzlich errichtete und an der Nordgrenze der Phase 3 zu Phase 2 verlaufende EETP dient der hydraulischen Abgrenzung von Phase 2. Die dem Gefälle folgend auf das EETP treffenden Haldenwässer werden dem Haldenrandgraben im Westen bzw. dem EHG im Osten zugeführt.

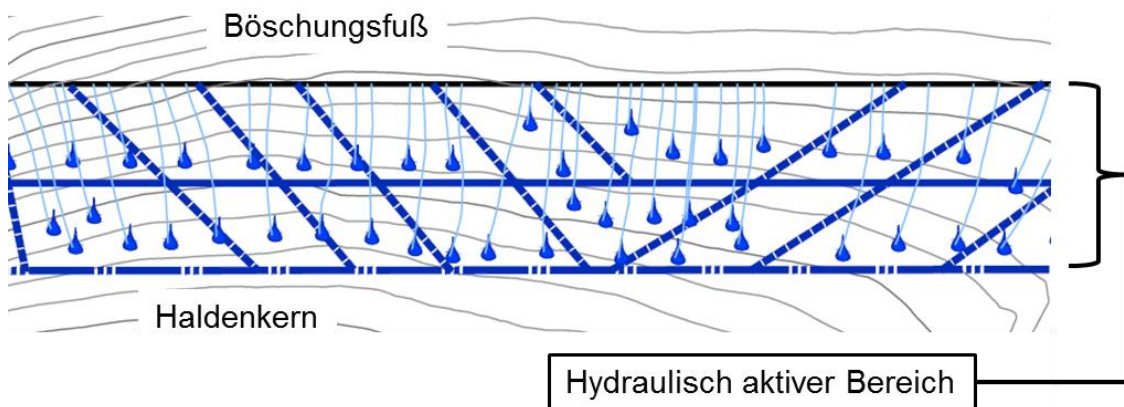
### **Wirksamkeit der linienförmigen Entwässerungselemente unter Berücksichtigung des Planungsgefälles**

In den folgenden Abbildungen sind exemplarisch mögliche Gefälleverhältnisse auf der Haldenbasis und die daraus resultierenden Entwässerungsbedingungen mittels Fließanalyse dargestellt. Grundlage der Darstellung ist das Urgelände. Die Wassertropfen zeigen jeweils den Beginn (Hochpunkt) der blauen Fließpfade. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Linien haben folgende Bedeutung:

- Volllinie (schwarz) Böschungsfuß, Haldenfuß
- Volllinie (blau) Entwässerungselement Mantelzone (EEM)
- Strichzweipunktlinie (blau) Entwässerungselement Übergangszone (EEÜ)
- Strichlinie (blau) Entwässerungselemente Abschlüsse (EEA)

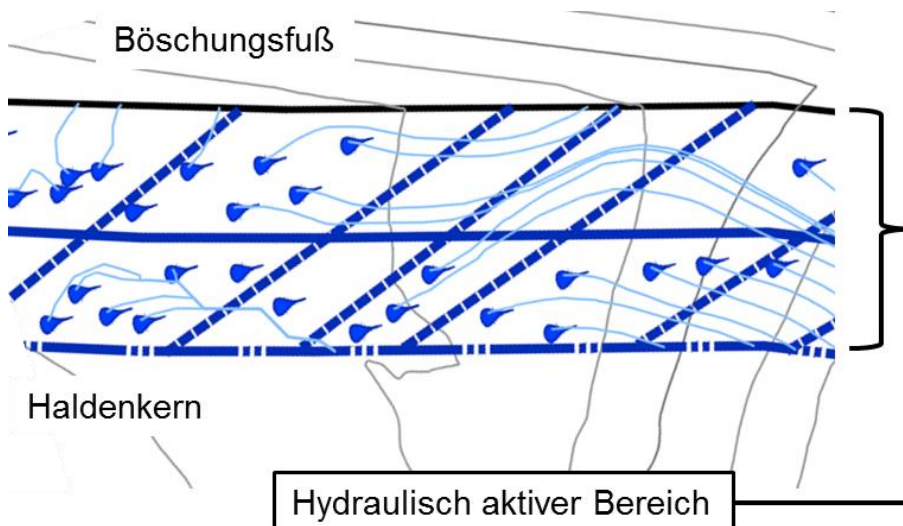
Vergleichbare Darstellungen mit Fließanalysen enthalten die Anlagen 7.1 und 7.2 im Band 1.1E3, diese basieren auf dem gegenwärtigen Stand der Auf- und Abtragsplanung zu Phase 3. Im Zuge der Flächenüberplanung können sich in den nachfolgend exemplarisch betrachteten Bereichen Gefälleänderungen ergeben.

Die Abbildung 5-5 zeigt die Neigung der Aufstandsfläche bzw. die Entwässerungsrichtung in Richtung Haldenfuß und steht damit stellvertretend z.B. für die Nordseite der Haldenerweiterung in den Phasen 1 und 2. Die Hauptentwässerungsfunktion übernimmt hier die FES.



**Abbildung 5-5: Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung zum Böschungsfuß)**

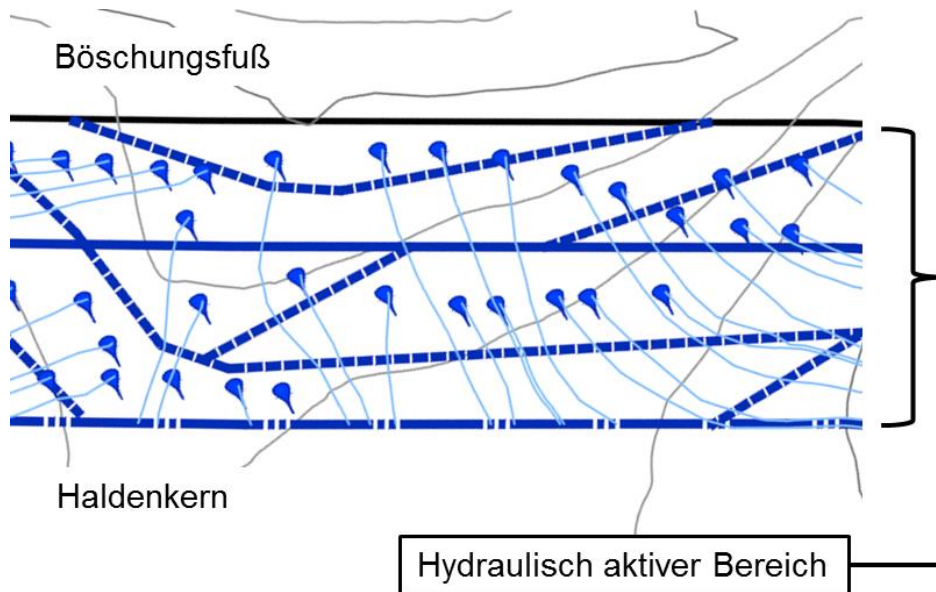
In Abbildung 5-6 ist die Neigung der Aufstandsfläche bzw. die Entwässerungsrichtung bei böschungspareller Fließrichtung in der Mantel- und Übergangszone dargestellt. Diese Situation besteht insbesondere im westlichen Rand- und südwestlichen Eckbereich der Haldenerweiterung. Durch die Anordnung der nach außen geneigten Entwässerungselemente Abschlüge (EEA) werden die Fließwege deutlich reduziert und durch die EEM und EEÜ ein Abströmen nach innen begrenzt.



**Abbildung 5-6: Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung böschungsparell)**

Mit einfallendem Gelände bzw. Entwässerungsrichtung zum Haldenkern fließt das in der Mantel- und Übergangszone anfallende Haldenwasser zunächst den entsprechenden Entwässerungselementen EEM und EEÜ zu und wird durch die regelmäßig angeordneten Entwässerungselemente Abschlüge (EEA) im freien Gefälle aus der Halde geführt (vgl. Abbildung 5-7). Entsprechende Haldenrandabschnitte bestehen bei Betrachtung des Urgeländes vor allem im Süden der Haldenerweiterungsfläche im Bereich der Phase 3.





**Abbildung 5-7: Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung zum Haldenkern)**

Die Abbildung 5-6 bis Abbildung 5-7 verdeutlichen die grundsätzliche Erfordernis und Funktion der linienhaften EE im haldeninternen Entwässerungssystem abhängig von den jeweiligen Gefälleverhältnissen.

Durch die Errichtung der Spülrohre in der flächenhaften Entwässerungsschicht sowie in den Entwässerungselementen Abschlüsse ist die Wartung und Instandhaltung der permanenten Haldenrandbereiche im Hinblick auf die Vermeidung möglicher abflussmindernder Salzkristallisationen gegeben.

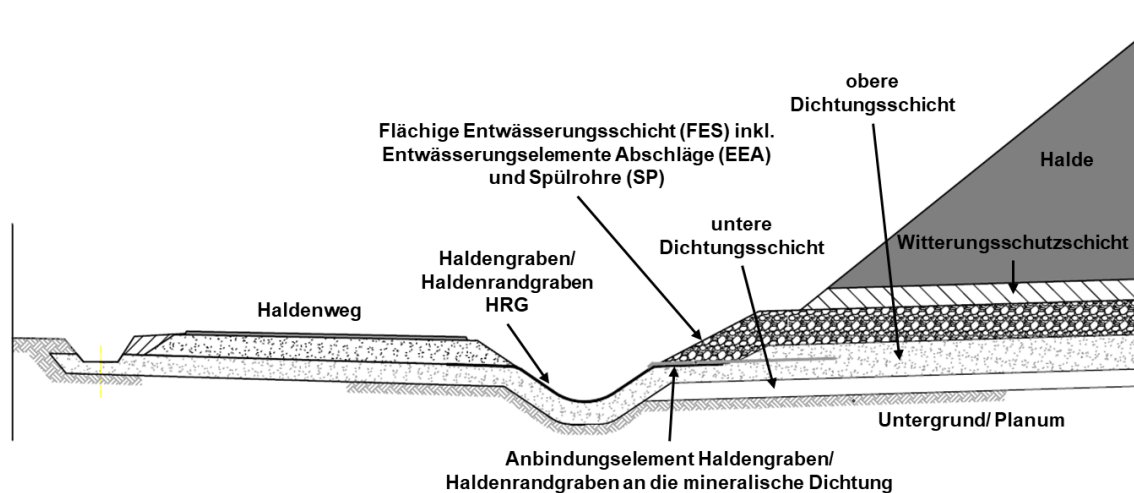
Die potenzielle Lage der einzelnen Entwässerungselemente innerhalb des Haldenkörpers für den Endzustand der Haldenerweiterung ist in der Abbildung 5-2 sowie im Band 1.1E3 Anlage 8N schematisch dargestellt. Die in Anlage 1 des Bandes 1.1.E3 dargestellte Anzahl der Abschlüsse (EEA) und Spülrohre entspricht dabei einem Mindestumfang, welcher im Rahmen der nachgeschalteten Ausführungsplanung bedarfsweise erhöht wird.

#### 5.3.2.5.2 Haldenexternes Haldenwasserfassungssystem/ Haldenvorfeld

Das Haldenvorfeld umfasst den Bereich zwischen Haldenfuß bis zur Außenkante des Haldengrabens/ Haldenrandgrabens. Das haldenexterne Haldenwasserfassungssystem besteht im Haldenvorfeld aus den (temporären) Haldengräben bzw. dem (permanenten) Haldenrandgraben (vgl. Abbildung 5-8). Die temporären Haldengräben werden an den Grenzen zwischen den ggf. auszuweisenden Jahresscheiben zur Beschüttung und der permanente Haldenrandgraben an der Grenze der beantragten Haldenerweiterung errichtet.

Mit der geplanten Kunststoffdichtungsbahn als Anbindungselement zwischen mineralischer Dichtungsschicht (in diese eingebunden) und Haldengraben/ Haldenrandgraben wird die hydraulische Anbindung der haldeninternen Abdichtungs-/ Entwässerungselemente an das externe Haldenwasserfassungssystem sichergestellt.

Durch die flächenhafte Entwässerungsschicht, die aus der Halde heraus bis an den Rand des Haldengrabens/ Haldenrandgrabens geführt wird, und die darunter befindliche Kunststoffdichtungsbahn (Anbindungselement Haldengraben/ Haldenrandgraben) wird die mineralische Dichtungsschicht vor direkter Witterung geschützt.

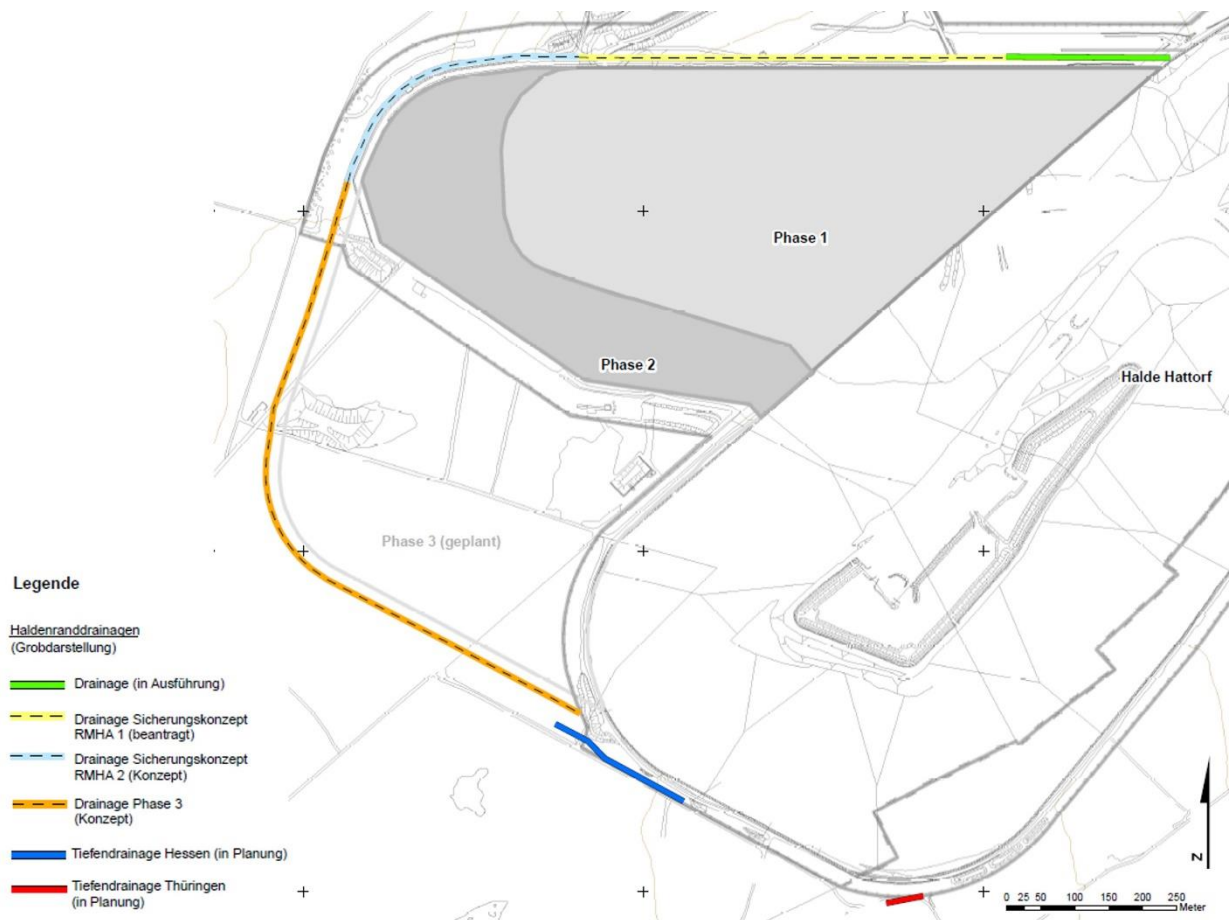


**Abbildung 5-8: Schema Haldenvorfeld mit Anbindung der mineralischen Dichtung an den Haldengraben/ Haldenrandgraben**

Auf der haldenabgewandten Seite des Haldenrandwegs wird eine Tiefendrainage umlaufend um die gesamte Fläche der Phase 3 angeordnet. Die Tiefendrainage stellt eine ergänzende Sicherungsmaßnahme zur Fassung etwaiger, nicht erwarteter salzhaltiger Haldenwässer im Infrastrukturbereich der Halde dar. Sie dient damit u.a. dem Schutz des FFH-Gebiets.

Aufgrund des gewählten Beginns der Drainage im Südosten der Phase 3 besteht eine Überlappung zu der bereits in Vorbereitung befindlichen, in Band 1.1, Kap. 8.2.5.4, beschriebenen Tiefendrainage zwischen Bestandshalde und FFH-Gebiet (Tiefendrainage Hessen). Im Nordwesten der Phase 3 endet die geplante Tiefendrainage am Planungsbereich der Sicherungsmaßnahmen, die mit dem PFB der Phase 2 vom 03.04.2023 beauftragt wurden, sofern die im PFB ebenfalls festgelegten Grenzwerte aufgrund der Haldenerweiterung überschritten werden (siehe Abbildung 5-9).

Bei der Auslegung der Drainagerohre wird eine spätere Überbaubarkeit im Rahmen einer Haldenabdeckung berücksichtigt.



**Abbildung 5-9:** Geplante Tiefendrainage umlaufend um Phase 3 (orange), sowie weitere in Vorbereitung befindliche Drainagen, darunter die Tiefendrainage zwischen Bestandshalde und FFH-Gebiet (Tiefendrainage Hessen, dunkelblau), sowie die Tiefendrainage an der Südostecke der Bestandshalde (Tiefendrainage Thüringen, rote Linie), siehe Band 1.1E3. Schematische Darstellung.

Die Tiefenlage der Drainage orientiert sich im Vergleich zu potenziellen Durchwurzelungstiefen an den örtlichen Gegebenheiten, hier insbesondere der geologischen Untergrundbeschaffenheit, der Lage der Festgesteinsoberfläche sowie der im Rahmen der Flächenvorbereitung geplanten Geländeprofilierung im Haldenvorland. Da davon auszugehen ist, dass keine Durchwurzelung des Festgesteins erfolgt, kann bei Anlage der Drainage im Bereich des zersetzten bis stark entfestigten Festgesteins eine Beeinträchtigung oberflächennaher Schutzgüter durch etwaige salzhaltige Wässer ausgeschlossen werden. Im Bereich des FFH-Gebiets (etwa östlich der GWM 8) wird in der Boden- bzw. Zersatzzone des Festgesteins eine Tiefenlage von rd. 4 m realisiert. Die Tiefenlage der Drainage wird im Zuge der weiteren Planung ggf. auf Grundlage ergänzender Baugrunderkundungen konkretisiert.

Die Errichtung der Tiefendrainage soll abschnittsweise mit den Bauabschnitten der Flächenvorbereitung und im Zuge der Errichtung der Infrastruktur am endgültigen Haldenrand erfolgen. Diese ist beginnend im östlichen Bereich vor dem FFH-Gebiet vorgesehen. Damit ist sichergestellt, dass zum Beschüttungsbeginn des jeweiligen Randbereichs die Drainage in dessen Vorland bereits besteht.



Etwaige, in der Drainage gefasste salzhaltige Wässer werden dem Haldenrandgraben zugeschlagen. Ggf. der Drainage zulaufende Süßwässer sollen ebenfalls gefasst und in den Süßwassergraben abgeleitet werden, um ein frühzeitiges Erkennen eines etwaigen Salzwasserzustroms zu gewährleisten. Zur Unterscheidung der Einleitsituation wird in der Tiefendrainage die Leitfähigkeit der gefassten Wässer gemessen.

Die Regelquerschnitte zur Infrastruktur mit Darstellung der Haldenrandgräben, der Infrastruktur und der umlaufenden Tiefendrainage sind dem Band 1.1E3, Anlage 4 und 5, zu entnehmen.

#### **5.3.2.6 Anpassung des Systems Basisabdichtung an die rückstandshaldenspezifischen Anforderungen**

Nachfolgend wird zusammenfassend dargestellt, wie die in Kapitel 3 beschriebenen rückstandshaldenspezifischen Anforderungen in das technische Konzept, und insbesondere in die Gestaltung des Systems Basisabdichtung, eingeflossen sind.

Das vorstehend beschriebene System Basisabdichtung, bestehend aus der zweilagigen mineralischen Dichtung, haldeninternen Entwässerungselementen und dem Haldenvorfeld mit eingebundenem Haldenrandgraben, muss die durch den Haldenkörper induzierten Spannungen in den Untergrund übertragen und wird dabei verformt. Die Festigkeits-, Verformungs- und Dichtungseigenschaften der mineralischen Dichtungskomponente sind u. a. wesentlich für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Gesamtsystems Halde-Untergrund. Insoweit muss das System Basisabdichtung sowohl den chemischen als auch den mechanischen zeitabhängigen Anforderungen genügen. Materialauswahl und Aufbau des Systems Basisabdichtung mit dem Schwerpunkt zweilagige mineralische Dichtung erfolgen unter Berücksichtigung der realen haldenkörperspezifischen mechanischen, chemischen und hydraulischen Einwirkungen/ Beanspruchungen (vgl. Kapitel 3) mit dem Ziel, die festgelegten Eigenschaften (Dichtung, Entwässerung) im Nachweiszeitraum zu gewährleisten.

Das System Basisabdichtung trägt durch die Umsetzung folgender Merkmale dem rückstandshaldenspezifischen Haldenkörperverhalten und den technisch-technologischen Randbedingungen Rechnung:

- Anpassung des mechanischen und chemischen Verhaltens der mineralischen Dichtungskomponente des Systems Basisabdichtung an die auflastinduzierten Verformungen und chemischen Belastungen.

Entwickelt wurde eine mineralische Dichtung bestehend aus einem zweilagigen Schichtenaufbau mit differenzierten Anforderungen an die mechanische Widerstandsfähigkeit ( $\phi_i$ ) und das mechanische Verformungsverhalten (Biegeradius). Der Nachweis dieser verbesserten Eigenschaften erfolgte durch materialtechnische Laborversuche ( $\phi_i$ ) und Verformungsversuche (Kombination von Kompression und Verformung) unter weitgehend realen Auflasten und Verformungen (Dehnungen und Stauchungen). Die Ergebnisdokumentation des Funktionserhalts infolge Verformungen erfolgte durch CT-Untersuchungen an Proben aus einem unter weitgehend realen Auflasten verformten zweilagigen Schichtenaufbau.

Die dafür eingesetzten Laboruntersuchungsmethoden zum Nachweis der materialtechnischen Eignung entsprechen dem Stand der Technik und gehen bezüglich des Nachweises des Funktionserhalts infolge Verformungen über den Stand der Technik hinaus.

- Verbesserung der chemischen Resistenz und des hydraulischen Verhaltens der mineralischen Dichtungskomponente des Systems Basisabdichtung gegenüber der haldenwassertypischen chemischen Beanspruchung.

Zur Verbesserung der chemischen Resistenz wurden schichtendifferenzierte Rezepturen (Kornverteilung, Tonmehl, Polymer) für die untere und obere Dichtungslage entwickelt. Der Nachweis der chemischen Resistenz gegenüber dem Haldenwasserangriff und der hydraulischen Widerstandsfähigkeit ( $k_f$ -Wert) erfolgte durch die Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes unter Verwendung von realem Haldenwasser und variablem hydraulischen Gradienten. Das Nachweisverfahren entspricht dem Stand der Technik.

- Die nachgewiesene Größe der hydraulischen Widerstandsfähigkeit ( $k_f$ -Wert) der mineralischen Dichtung übersteigt den Stand der Technik der Kaliindustrie.
- Mechanische und chemisch-mineralogische Einflüsse haben auf die Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung keinen nachteiligen Einfluss, weil diese die haldeninduzierten Verformungen aufnimmt, die Dichtigkeit erhalten bleibt und die haldeninternen Entwässerungselemente sich in Bereichen weitgehend konstanter Schubbeanspruchungen und damit horizontaler Verformungen befinden. Hierdurch wird sichergestellt, dass deren Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit in der Betriebs- und Nachbetriebsphase erhalten bleibt.
- Das Entwässerungssystem zur Fassung des Haldenwassers auf der mineralischen Dichtung und Ableitung zum Haldenrand besteht aus einer Kombination aus FES und linienhaften, lageoptimierten EE im Bereich der Mantel- und Übergangszone sowie im Bereich der Kernzone.

Die haldeninternen Entwässerungselemente werden als vliesummantelte Schüttung aus stark durchlässigen mineralischen Materialien, welche die Entwässerung gewährleisten, ausgeführt. Alle linienhaften EE werden im hydraulisch aktiven Bereich mit Spülrohren versehen. Damit ist in Verbindung mit den Spülrohren in der FES die Wartung und Instandhaltung der permanenten Haldenrandbereiche im Hinblick auf die Vermeidung möglicher abflussmindernder Salzkristallisationen gegeben.

Die EEM und EEÜ, die in die FES eingebettet sind, werden in der endgültigen Mantel- und Übergangszone im Wesentlichen parallel zum Böschungsfuß angeordnet. Sie werden abschnittsweise dem Beschüttungsverlauf vorausseilend als eine Art Ringleitung errichtet und abschnittsweise mittels der EEA an den Haldenrandgraben angebunden. Weiterhin wurde in den Phasen 1 und 2 den Gefälleverhältnissen angepasst im Taltiefsten (Ochsengraben) ein Entwässerungselement vorgesehen (EET), welches die Haldenentwässerung insbesondere in der Betriebs- und Beschüttungsphase begünstigt.

Die hydraulische Bemessung der Entwässerungselemente erfolgt unter Berücksichtigung des zu erwartenden Haldenwasseranfalls, der Planums-/Sohlneigung und der zu erwartenden vertikalen Verformungen. In allen Entwässerungselementen werden stark durchlässige Baustoffe eingesetzt. Die linienhaften EE mit ihrem Aufbau als vliesummantelte Schüttung können die zu erwartenden Verformungen ohne Funktionsverlust aufnehmen. Aufgrund dieser Randbedingungen verfügen die Entwässerungselemente über eine ausreichend bemessene Transportleistung für die Fassung und Abführung des Haldenwassers und können die Entwässerung dauerhaft sicherstellen.

- Berücksichtigung der zeitabhängigen Entwicklung des Haldenkörperverhaltens, insbesondere der Veränderung der haldeninternen Zonierung sowie der Ausbildung bevorzugter Wegsamkeiten.

Die Entwässerungselemente in der Kernzone werden im Wesentlichen an den Bauabschnittsgrenzen, unter Berücksichtigung der Gefälleverhältnisse, angeordnet. Befinden sich die haldeninternen Entwässerungselemente in der hydraulisch aktiven Mantel- und Übergangszone, so ist ein Dargebot vorhanden und die Wirksamkeit und Funktionalität gegeben. Die haldeninternen Entwässerungselemente in der Kernzone sind nur temporär bis zur Ausbildung des Haldenkerns wirksam und somit nach vollständiger Beschüttung in diesem Bereich funktionslos.

- Gewährleistung einer weitestgehend verlustfreien Haldenwasserfassung und -abführung über das Haldenvorfeld.

Dem Haldenvorfeld kommt im Hinblick auf die Gewährleistung der randlichen Entwässerung eine besondere Bedeutung zu. Deshalb werden die technische Ausführung und der Haldenbetrieb so gestaltet, dass die Ableitung des Haldenwassers über die mineralische Dichtung unabhängig von auflastbedingten Verformungen am Haldenrand sichergestellt ist. Das erfolgt einerseits durch eine entsprechende Einbindung des Haldenrandgrabens in die mineralische Dichtung, die geeignet ist, Verformungen aufzunehmen, und die zusätzliche Einbindung einer KDB, die das Haldenwasser von der mineralischen Dichtung in den

Haldenrandgraben leitet. Andererseits können durch entsprechende Wartungs- und Kontrollmaßnahmen verformungsbedingte Beeinträchtigungen des Haldenwasserabflusses erkannt und unverzüglich beseitigt werden.

Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit des Haldenvorfeldes werden zusätzlich zu dem Nachweis der technischen Eignung und Einhaltung der vorgesehenen Einbauparameter auch durch Maßnahmen der Wartung und Instandsetzung sichergestellt. Im Einzelfall erfolgt der Nachweis der technischen Machbarkeit, Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit hierfür bauabschnittsweise in Sonderbetriebsplanverfahren.

Neben dem System Basisabdichtung selbst trägt auch das angepasste Beschüttungskonzept, welches im Zuge der Haldenerweiterung geplant ist, dem Haldenkörperverhalten Rechnung, wie in Kapitel 4 gezeigt wurde. Durch die Modifizierung des an der Bestandshalde angewendeten Flankenschüttverfahrens (vgl. Band 1.1E3), in Kombination mit dem in Band 3.18.2E3 dargestellten Monitoringkonzept, erfolgt eine Verringerung der Verformungen im Haldenvorfeld und im Bereich der Mantelzone, und es wird sichergestellt, dass die für den Beschüttungsvorgang vorgegebenen Überwachungswerte eingehalten werden. Das hat im Vergleich zur an der Bestandshalde praktizierten Art und Weise der Haldenauffahrung funktions-, wirksamkeits- und gebrauchstauglichkeitsverbessernde Auswirkungen auf das System Basisabdichtung.

Die Eignung von Konvektionssperren in Form von Kunststoffdichtungsbahnen als flächige Abdichtung an der Basis von Rückstandshalden wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes geprüft und im Ergebnis verneint (siehe Kap. 5.1.3.2.2).

Zum Nachweis der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung wurden angelehnt an den Stand der Technik und Wissenschaft Nachweisverfahren entwickelt, die basierend auf den technischen Eigenschaften der zum Einsatz kommenden Materialien das spezifische Haldenkörperverhalten berücksichtigen. Das betrifft sowohl die mechanischen und die chemischen Belastungen. Hinsichtlich der mechanischen Belastungen erfolgen Auslegung und der Nachweis des Systems Basisabdichtung so, dass die Verformungen, insbesondere die zu erwartenden Dehnungen/Stauchungen ohne Verlust der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit aufgenommen werden können, wie im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

### **5.3.3 Nachweis des Systems Basisabdichtung**

Für das System Basisabdichtung wird für jedes Element die Eignung von mineralischer Dichtung, haldeninternen Entwässerungselementen und des Haldenvorfeldes unter den haldentypischen mechanischen Verformungen nachgewiesen. Dabei werden die technische Machbarkeit, Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit betrachtet.

#### **5.3.3.1 Nachweis der technischen Machbarkeit**

Das Nachweiskonzept der technischen Machbarkeit beinhaltet die

- Herstellbarkeit des Planums mit den Anforderungen an Gefällezug, Tragfähigkeit und Oberflächenbeschaffenheit,

- Herstellbarkeit der mehrlagigen mineralischen Dichtungskomponente mit den Anforderungen an Einbaulagenstärke, -trockendichte, -wassergehalt, Gefälledage, Oberflächenbeschaffenheit einschließlich Klimaschutz der mineralischen Dichtungskomponenten bis zum Zeitpunkt ihrer Überschüttung,
- Herstellbarkeit des Haldenvorfeldes bei Einhaltung der Einbauparameter der mineralischen Dichtungskomponenten, der funktionssicheren Einbindung des Haldenrandgrabens in die mineralischen Dichtungskomponenten einschließlich Klimaschutz der mineralischen Dichtungskomponenten und
- Herstellbarkeit der Haldenwasserfassungssysteme gemäß den hydraulischen Anforderungen.

Der grundsätzliche Nachweis der technischen Machbarkeit der mineralischen Dichtung erfolgte vor Zulassung des RBP 04/09-HA i. d. F. v. 2018 zunächst im Zuge der Errichtung eines Probefeldes stellvertretend für alle Rückstandshaldenstandorte im Sinne einer Grundsatzuntersuchung 2012 am Standort Zielitz und ist in Band 3.29.1N2 beschrieben. Hierbei wurde die Tragfähigkeit an der Oberfläche des verdichteten Planums ermittelt und die gewählte Einbautechnologie zur Herstellung der mineralischen Dichtung unter Einhaltung der Einbauparameter (Wassergehalt, Trockendichte, Lagenstärke) nachgewiesen. Die Untersuchungsergebnisse bilden die Basis der in den Antragsunterlagen dargestellten Parameter des Systems Basisabdichtung.

Zur Übertragung der Ergebnisse der Zielitzer Pilothalde auf die Standortbedingungen in Hattorf wurden projektbezogene Eignungsuntersuchungen unter Verwendung regionaler Baustoffe durchgeführt. (vgl. Band 3.29.2N2).

Nach Zulassung der Phase 1 des RBP 04/09-HA wurde das System Basisabdichtung mit einer Lagenstärke von  $d \geq 0,75$  m und einer Gesamtdurchlässigkeit von  $k_f \leq 5,0E-10$  m/s auf rd. 27 ha Aufstandsfläche in mehreren Teilabschnitten (BA A1 – A5) errichtet und damit der Nachweis der technischen Machbarkeit erbracht. Die Errichtung wurde durch eine umfangreiche Qualitätskontrolle, bestehend aus Eigen- und Fremdüberwachung für die jeweiligen Komponenten des Systems Basisabdichtung, sowie durch einen Behördengutachter engmaschig überwacht, und die anforderungsgemäße Herstellung durch die Teilfreigaben der einzelnen Flächen bestätigt. Auch am Standort Wintershall wurde das gleiche System Basisabdichtung zugelassen und bereits auf einer Fläche von rd. 11 ha anforderungsgemäß hergestellt und freigegeben.

Aufgrund des Dichtungsbaus am Standort Zielitz liegen für die Variante 2 ebenfalls Einbauerfahrungen mit einem vergleichbaren Materialkonzept vor.

Auch der Nachweis der technischen Machbarkeit der haldeninternen, linienförmigen und haldenexternen Entwässerungselemente wurde im Zuge der Bauausführung der Phase 1 des RBP 04/09-HA sowie im Rahmen der Haldenerweiterung Wintershall erbracht.

Die Wahl der Einbautechnologie zu allen Komponenten des hier beantragten hinsichtlich der Mächtigkeit und Gesamtdurchlässigkeit angepassten Systems Basisabdichtung erfolgt im Probefeld, welches im Rahmen der Umsetzung der ersten Jahresscheibe zur Beschüttung, unter den realen lokal vorhandenen Standortbedingungen errichtet wird. Die im Rahmen der Bauausführung zu Phase 1 gesammelten Erfahrungen zur Durchlässigkeit der mineralischen Basisabdichtung bestätigen die grundsätzliche technische Machbarkeit des angepassten Systems (siehe Ausführungen in Kapitel 5.3.2.4.1). Die hohe Qualität des errichteten Dichtungssystems

wird nicht nur durch die Ergebnisse der Eigen- und Fremdprüfung bestätigt, sondern auch durch die Auswertungen des geotechnischen Büros Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann (vgl. Anlage 16 zu Band 1.3E3).

Schließlich liegen nach erfolgter Planfeststellung im Jahr 2023 auch Nachweise zur technischen Machbarkeit des hier beantragten optimierten Basisabdichtungssystems, Variante 1, auf einer Fläche von rd. 8,8 ha vor.

### **5.3.3.2 Nachweis der Wirksamkeit und Funktionalität**

#### **5.3.3.2.1 Einführung/ Allgemeines**

Das Nachweiskonzept der Wirksamkeit und Funktionalität beinhaltet den

- Nachweis des weitgehend „freien“ Abflusses von Haldenwasser oberhalb der mineralischen Dichtung und die „verlustarme“ Fassung/ Ableitung durch die Entwässerungssysteme unabhängig von haldentypischen Verformungen an der Haldenbasis durch Nachweis der Gefällezuge in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase,
- Nachweis der Beständigkeit des Systems Basisabdichtung in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase unter besonderer Berücksichtigung des Haldenwasserangriffs sowie der horizontalen und vertikalen Verformungen im Bereich des Haldenkerns, der Haldenmantelzone und des Haldenvorfalles in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase.

#### **5.3.3.2.2 Mineralische Dichtung**

Die Beständigkeit der mineralischen Dichtung wurde im Rahmen des Pilotvorhabens Zielitz sowie durch Eignungsuntersuchungen am Standort Hattorf mittels Laborversuchen, insbesondere durch modifizierte Kompressions- und Wasserdurchlässigkeitsuntersuchungen unter haldenspezifischen Randbedingungen, nachgewiesen. Bei den Wasserdurchlässigkeitsuntersuchungen wurden die Parameter Prüflässigkeit (Haldenwasserzusammensetzung, gemäß Band 1.1.3E3) und der hydraulische Gradient variiert sowie auch verformte Probekörper untersucht (vgl. Band 3.29.1N2 und Band 3.29.2N3).

Am Standort Zielitz werden verfahrensbegleitend seit 2010 Wasserdurchlässigkeitsuntersuchungen als Langzeitversuche der zweilagigen mineralischen Dichtung durchgeführt. Am Standort Hattorf erfolgen seit 2015 vergleichbare Untersuchungen an Rezepturen gemäß Band 3.29.2N3.

Im Dezember 2017 wurden Kompressionsversuche an den Komponenten des System Basisabdichtung und anschließende Zugversuche an geotextilen Vliesen durchgeführt (siehe Band 3.29.2N, Anlage 1). Im Ergebnis dieser Untersuchungen konnte die Eignung der zum Einsatz kommenden geotextilen Vliese und der FES unter Haldenauflast und Kompression nachgewiesen werden.

Die im Rahmen der Bauausführung zu Phase 1 gesammelten Erfahrungen zur Durchlässigkeit der mineralischen Basisdichtung bestätigen den Nachweis zur Wirksamkeit und Funktion gemäß den o.g. Eignungsuntersuchungen. Wie auch in den Eignungsuntersuchungen erfolgten im Rahmen des QMP die Prüfungen zur Durchlässigkeit mit dem Prüfmedium Haldenwasser. Die hohe Qualität des errichteten Dichtungssystems wird nicht nur durch die Ergebnisse der

Eigen- und Fremdprüfung bestätigt, sondern auch durch die Auswertungen des geotechnischen Büros Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann (vgl. Anlage 16 zu Band 1.3E3).

In der Tabelle 5-1 sind die für die Eignungsbeurteilung der zweilagigen mineralischen Dichtung, Varianten 1 und 2, maßgebenden Parameter und Nachweisverfahren zusammengestellt.

**Tabelle 5-1: Leistungsfähigkeit und Nachweise für die zweilagige mineralische Dichtungsschicht, Variante 1 und 2**

Kriterien/ Einwirkungen	Leistungsfähigkeit	Nachweise
Dicke	Variante 1 0,55 m (-2/+4 cm) Gesamtstärke 0,30 m (+/- 2 cm) obere Lage, 0,25 m (+ 2 cm) untere Lage Variante 2 0,3 m (-0/+4 cm) Gesamtstärke 0,2 m (-0/+2 cm) obere Lage, 0,1 m (-0/+2 cm) untere Lage	im Rahmen der Bauausführung
Dichtigkeit	Variante 1 Gesamtdurchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 3,0E-10$ m/s Variante 2 Gesamtdurchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 2,2E-10$ m/s	k-Wert Bestimmung nach DIN 18130 (Eignungsprüfung)
Mechanische Widerstandsfähigkeit	verformbar ohne Erhöhung der Durchlässigkeit	k-Wert Bestimmung nach DIN 18130 an verformten Probekörpern (Eignungsprüfung)
	hydraulisch widerstandsfähig (erosions- und suffusionsbeständig)	Kornverteilung
	Reibungswinkel untere/ obere Lage	$\varphi_{UL} \geq 30^\circ / \varphi_{OL} \geq 35^\circ$
Beständigkeit	Langzeitbeständigkeit	Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes nach DIN 18130-1 mit Prüflüssigkeit Haldenwasser als mehrjährigen Langzeitversuch (seit 2010 am Standort Zielitz, vgl. Band 3.29.1N2), Nachweisführung der Einhaltung der Rezeptur gem. Eignungsprüfung (Mischprotokolle), Laborbestimmung der Rezepturbestandteile der fertigen Mischung, Monitoring der haldentypischen Verformungen
Herstellbarkeit	Die Errichtung muss unter Baustellenbedingungen mit Sicherheit erbringbar und reproduzierbar sein	Nachweis Pilotvorhaben sowie Dichtungsbau im Zuge Phase 1 HA und HKE II Zielitz in den Jahren 2020 und 2021; Probefeld im Rahmen der Errichtung der Teilabschnitte
sonstige Kriterien	systemverträglich	Probefeld
	frostsicher bis zur ausreichenden Überschüttung	Herstellung in den frostfreien Monaten, Vorschüttung aus Rückstand oder bedarfsweise Witterungsschutzschicht
	umweltverträglich	Verwendung von Baustoffen (Polymer, Tonmehl, Gesteinskörnungen) gem. Stand der Technik



#### 5.3.3.2.3 Allgemeine Angaben zu den hydraulischen Nachweisen der haldeninternen Entwässerungselemente im Endzustand

Wie vorstehend ausgeführt, erfolgt für die FES auf Basis der Flächenplanung im Rahmen der Genehmigungsplanung der ortskonkrete Nachweis, dass bei einer Stärke von  $d \geq 30$  cm ein vollständiger Wassereinstau langfristig vermieden wird. Dieser wird mit nachfolgenden Sonderbetriebsplänen geführt. Die grundsätzlichen Voraussetzungen für die Reduzierung der Mächtigkeit gegenüber der Phase 1 sind gemäß Kapitel 5.3.2.5.1 und den in Band 1.3E2 vorgelegten Berechnungen gemäß GDA E2-20 erfüllt.

Die hydraulischen Nachweise für die haldeninternen Entwässerungselemente im Endzustand werden ebenfalls auf Basis der Genehmigungsplanung und unter Berücksichtigung der Geländeneigung geführt und mit nachfolgenden Sonderbetriebsplänen vorgelegt. Das grundsätzliche Vorgehen orientiert sich dabei an der Vorgehensweise im Rahmen der Phase ~~4~~ [2 \(siehe Band 1.1.1E i.d.F.v. 2018\)](#); Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse in ähnlicher Größenordnung liegen, wie bislang zu Phase ~~4~~ [2](#) vorgelegt.

Ebenso wie zu der mineralischen Dichtung liegen auch zu den linienförmigen Entwässerungselementen als Bestandteil des Systems Basisabdichtung aufgrund deren Ausführung im Rahmen der Phase 1 und der Umsetzung der Haldenerweiterung Wintershall Erfahrungen vor. ~~Die Überwachung der Entwässerungselemente erfolgt durch regelmäßige Kamerabefahrungen gemäß den Vorgaben der Planfeststellungsbeschlüsse aus 2018 (Phase 1) und 2023 (Phase 2). Im Planfeststellungsbeschluss zur Phase 1 v. 10.10.2018 ist eine regelmäßige, zunächst im zweijährigen Turnus wiederkehrende Kamerabefahrung zur Funktionsprüfung der Elemente vorgesehen. Diese erfolgte erstmals in 2020 und ergab keine Auffälligkeiten in Bezug auf die Entwässerungselemente. Die Funktionstüchtigkeit auch unter der Überschüttung wurde damit nachgewiesen.~~

### 5.3.3.3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

#### 5.3.3.3.1 Grundlagen

Grundlage des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit sind die zu erwartenden zeitabhängigen Verformungsraten und Verformungen unter dem Haldenkörper (Kernzone), im Haldenrandbereich (Übergangs- und Mantelzone) und im Haldenvorfeld sowie eine Bewertung der Auswirkungen auf das System Basisabdichtung.

Im Rahmen von Kompressionsversuchen unter realen Auflast- und Verformungsverhältnissen konnte für die mineralische Dichtung gezeigt werden, dass die haldentypischen zeitabhängigen Beanspruchungen nicht zu einem Verlust der Funktionalität und Wirksamkeit führen. Der Nachweis hierfür erfolgte in Ergänzung des Standes der Technik durch CT-Untersuchungen von Bodenproben, die realen Beanspruchungen und daraus resultierenden Verformungen unterworfen wurden. Weiterhin konnte in Anlehnung an die GDA Empfehlung E 2-13 (GDA E2-13) gezeigt werden, dass auch bei einer Überschreitung der Zugfestigkeit der mineralischen Dichtung infolge auflastbedingter Verformungen sowie der auflastbedingten Überdrückung die Funktionsfähigkeit und somit die Wirksamkeit der mineralischen Dichtung erhalten bleibt (vgl. Band 3.18.1E).

Zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit müssen neben den zeitabhängigen mechanischen und chemischen Beanspruchungen auch die organisatorischen Maßnahmen zur Wartung, Instandhaltung und ggf. teilweisen Erneuerung des Systems Basisabdichtung berücksichtigt

werden. Deshalb werden zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit folgende Sachverhalte herangezogen:

- Die Beständigkeit des Systems Basisabdichtung gegenüber den zeitabhängigen haldentypischen chemischen und mechanischen Beanspruchungen,
- Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase sowie
- Monitoring ausgerichtet auf Erfassung und Nachweis der Haldenwasserabflüsse unter Berücksichtigung der klimatischen Ereignisse.

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der Dichtungsschicht erfolgt über den Vergleich der tatsächlichen bzw. prognostizierten mit den, bezüglich der Funktionalität und Wirksamkeit des Systems, zulässigen Verformungen.

#### 5.3.3.3.2 Grenzen der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der Dichtungsschicht erfolgt über den Vergleich der tatsächlichen bzw. prognostizierten Verformungen (gemäß den Bänden 3.18.1E3 und 3.18.2E3) mit den bezüglich der Funktionalität und Wirksamkeit des Systems zulässigen Verformungen. Für die mineralische Dichtung gemäß dem vorliegenden Band sind aus Band 1.1E3 die zulässigen Verformungen als Grenzkriterien in der Tabelle 5-2 zusammengefasst.

**Tabelle 5-2: Grenzen der Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung**

Kriterium		Grenzkriterium
Krümmungsradius	obere Lage (oL)	$\geq 150 \text{ m}$
	untere Lage (uL)	$\geq 8 \text{ m}$
Dehnung	zweilagige mineralische Dichtung	$\leq 100 \% ^1$

<sup>1)</sup> entspricht bei Volumenkonstanz einer max. Reduzierung der Dicke der Dichtungsschicht auf  $d/2$

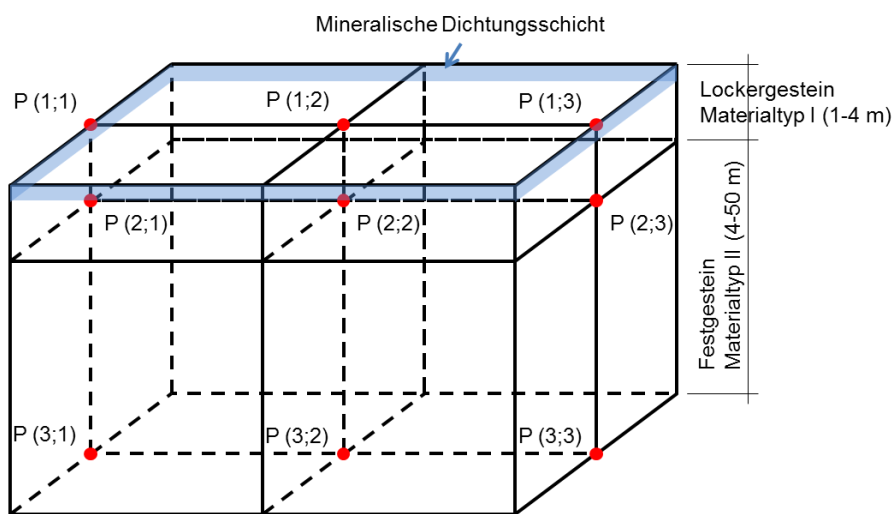
Die vorstehenden Grenzkriterien beziehen sich zur Sicherstellung der Funktionalität und Wirksamkeit der Dichtungsschicht auf deren Dichtwirkung. Das Dehnungskriterium berücksichtigt hierbei, dass Verformungen der mineralischen Dichtung bei der gegenständlichen Rückstandshalde unter sehr hohen vertikalen Auflasten bzw. Einspannungen erfolgen. Gleichzeitig ist erfahrungsbasiert sowie auf Grundlage vorliegender Untersuchungen davon auszugehen, dass die bei diesen Spannungsbedingungen eintretende Konsolidierung der Dichtungsmaterialien zu einer signifikanten Verminderung von deren Durchlässigkeit entsprechend etwa einer halben Zehnerpotenz führt.

Das Grenzkriterium der Dehnung basiert auf diesem physikalischen Sachverhalt. Es stellt fest, dass bei einer zu erwartenden volumenkonstanten Dehnung bis zu 100 % eine aus der Längenänderung der mineralischen Dichtung ( $l + 100\% = 2 \times l$ ) resultierende Verminderung der Dicke auf  $h/2$  und damit verbundene Erhöhung der Restinfiltration durch die spannungs-/auflastbedingte Verringerung der Durchlässigkeit mindestens kompensiert würde.

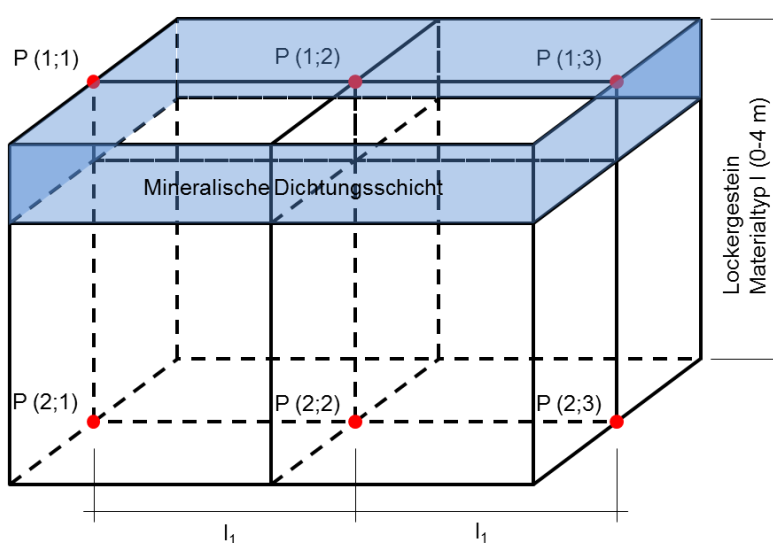
Ein Nachweis zum Durchlässigkeitsverhalten der mineralischen Dichtung bei aufgeprägter Dehnung und gleichzeitig geringen Auflasten liegt diesem Band als Anlage 13 bei.

### 5.3.3.3 Modellvorstellungen zur Bewertung der Auswirkungen der Verformungen

Um die haldeninduzierten zeitabhängigen Verformungen bewerten zu können, wurden Modelle entwickelt, mit denen die Auswirkungen auf das System Basisabdichtung (insbesondere die mineralische Dichtungsschicht und die haldeninternen Entwässerungselemente) beschrieben werden können. Hierzu wurden Punkte auf verschiedenen Horizonten im Untergrund vor und nach Verformung verglichen und bewertet, um Lage, Betrag und räumliche Ausdehnung der Stauchungs- und Dehnungsbereiche ermitteln und bewerten zu können. Weiterhin wurden diese Verformungen mit Zerrungen und Krümmungen infolge von Setzungen im Untergrund im Superpositionsprinzip überlagert. In der Abbildung 5-10 und Abbildung 5-11 sind die Modelle im Ausgangszustand dargestellt. Hierbei werden unterschiedliche Modelle (Höhe: 54 m und 4 m) berücksichtigt.

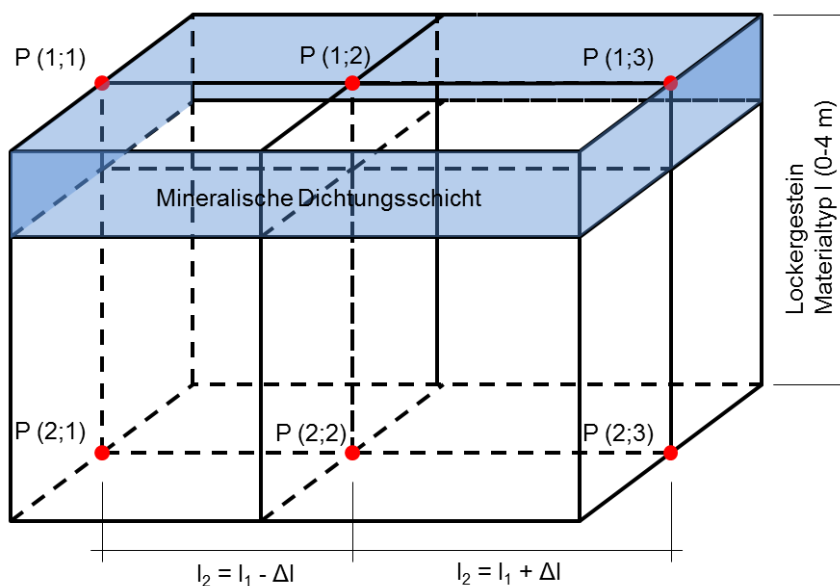


**Abbildung 5-10: Modellvorstellung Fest- und Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 54 m)**



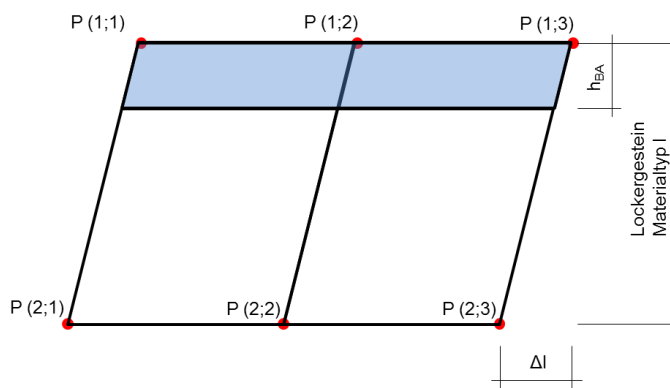
**Abbildung 5-11: Modellvorstellung Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 4 m)**

Die Abbildung 5-12 zeigt das Modell nach Verschiebung der Punkte P(1;2) und P(2;2). Hierbei wird der linke Bereich des Modells gestaucht und der rechte Bereich gestreckt. Die Gesamtverschiebung des Systems wird nicht berücksichtigt, da nur die Veränderung der Punkte im betrachteten Modell und somit jeder Teilbereich einzeln für sich bewertet wird.



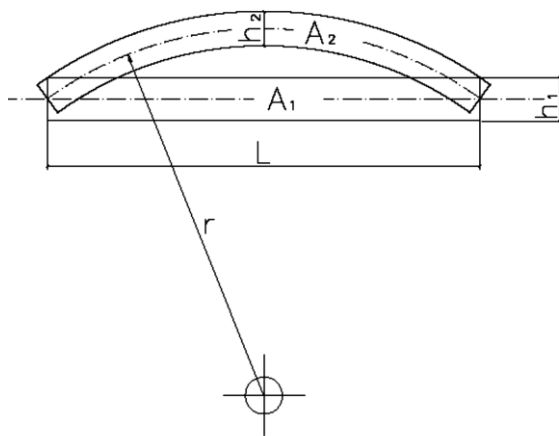
**Abbildung 5-12: Modellvorstellung Stauchung/ Dehnung**

In der Abbildung 5-13 erfährt das Modell eine Zerrung und somit eine Reduzierung der Gesamthöhe. Mithilfe dieses Modells wird eine Mächtigkeitsreduzierung der betrachteten Schichten berücksichtigt.



**Abbildung 5-13: Modellvorstellung (Zerrung)**

Das in der Abbildung 5-14 dargestellte Modell berücksichtigt die Krümmung des Untergrundes.



**Abbildung 5-14: Modellvorstellung nach Krümmung**

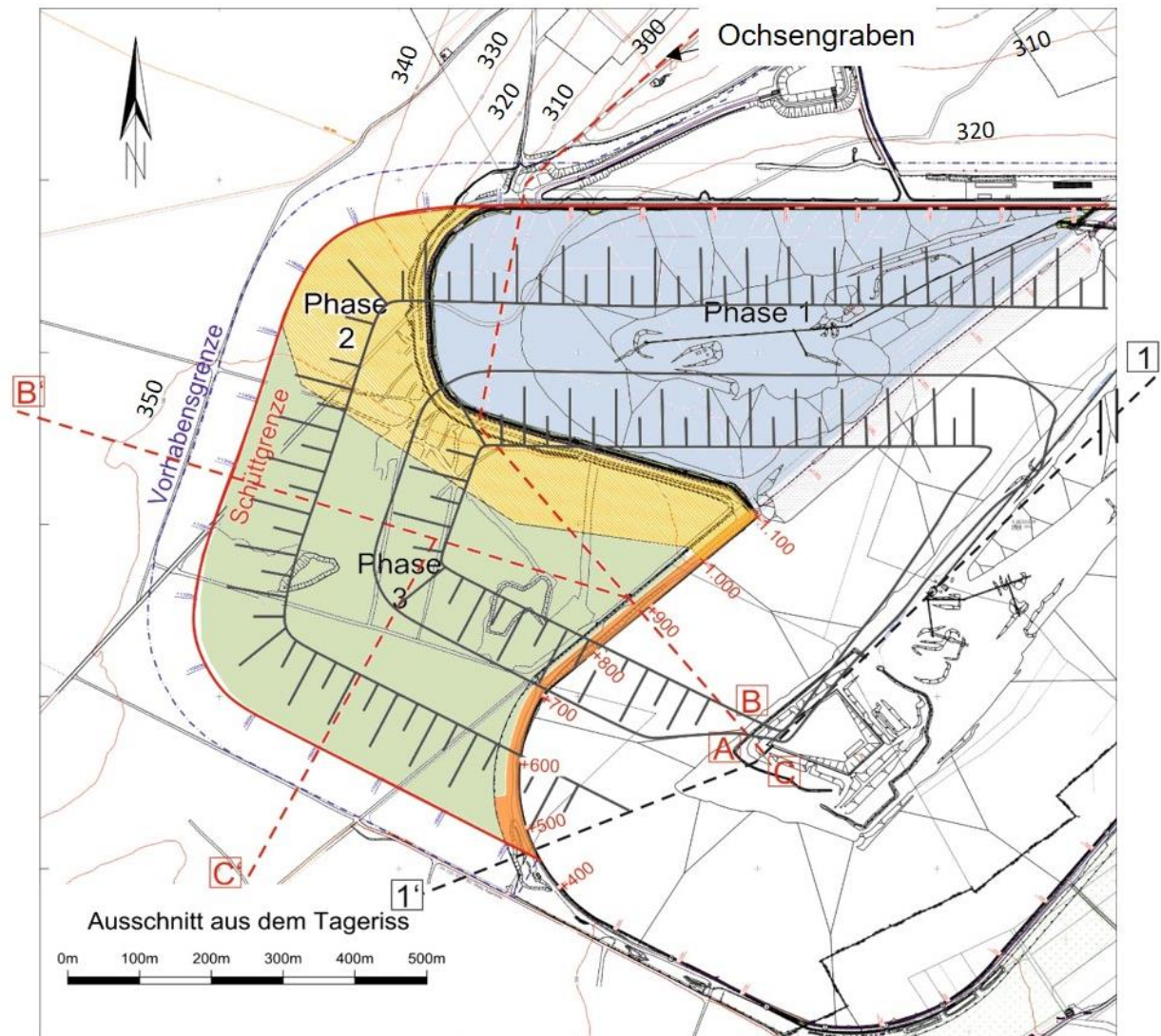
Neben den oben genannten Verformungsmechanismen werden zur Bewertung der Auswirkungen auf das System Basisabdichtung aufgabenbezogen die horizontalen und vertikalen Verformungsraten, die Gesamtverformungen in den maßgebenden Zeitschnitten (Betriebs- und Nachbetriebsphase) und/ oder deren räumliche Abtrennung (Dehnung, Stauchung) benötigt.

#### 5.3.3.3.4 Numerische Untersuchungen - Vorgehen, Ergebnisse und Bewertung

Das Vorgehen und die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen zum Nachweis der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die Bestandshalde und Haldenerweiterung sind im Detail im Band 3.18.1E3 beschrieben. Die folgenden Ausführungen geben hierzu als Grundlage für die abschließende Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des System Basisabdichtung eine kurze einführende Zusammenfassung.

#### **Vorgehen - Basisuntersuchungen**

Im Rahmen numerischer Untersuchungen wurden für das Gesamtvorhaben der Haldenerweiterung Hattorf (Phasen 1 bis 3) unter Berücksichtigung der standortspezifischen Baugrundverhältnisse, des Haldenkörperverhaltens, Schüttverfahrens (geplantes kombiniertes Schüttverfahren (KSV und zu Vergleichszwecken derzeitiges Flankenschüttverfahren (FSV)) und der Schütreihenfolge die mechanischen Belastungen und daraus resultierenden Verformungen im Untergrund entlang von drei Schnitten ermittelt (siehe Band 3.18.1E3, Anlagen 2 und 3 „Numerische Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung“). Für diese **Basisuntersuchungen** wurden die Schnitte A-A', B-B' und C-C' gewählt (siehe Abbildung 5-15), dass sie die Untergrundverhältnisse bzgl. Morphologie, Mächtigkeiten und Eigenschaften im Schichtenaufbau sowie die Beanspruchung von Basisdichtungssystem und Untergrund aus der ungünstigsten Haldenkonfiguration angemessen konservativ erfassen. Die Betrachtungszeiträume der numerischen Untersuchungen betragen zwischen 16 und 17 a in der Schüttphase (8 a Bestandshalde) sowie einheitlich 50 a in der Nachbetriebsphase.



**Abbildung 5-15: Lageplan der genehmigten Halde Hattorf und der geplanten Haldenerweiterung in den Phasen 1 (blau), 2 (blassrot, orange) und 3 (grün, orange) sowie mit den Schnittverläufen zu den numerischen Untersuchungen (siehe Band 3.18.1E3, Anlage 7, Bild 9)**

Zur Bewertung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die Phasen 2 und 3 der Haldenerweiterung wurde durch den geotechnischen Sachverständigen in erster Instanz geprüft, ob die Ergebnisse der Basisuntersuchungen übertragbar sind. Das Ergebnis dieser Prüfung zur Phase 2 (siehe Band 3.18.1E3, Anlage 6) und Phase 3 (siehe Band 3.18.1E3, Anlage 7) zeigt, dass die Modellierung und die zugehörige Modellkalibrierung das Halddenverhalten im Erweiterungsbereich repräsentativ erfassen. Unter Zugrundelegung aller Ergebnisse der begleitenden Messungen trifft dies für den Untersuchungsbereich mit einem Abstand  $\geq 10 \text{ m}$  /  $\geq 25 \text{ m}$  zum Haldenfuß der Bestandshalde zu, so dass hier vom geotechnischen Sachverständigen unter Bezug auf die Basisuntersuchungen die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit bestätigt werden kann. Dies gilt für die insgesamt geplante Haldenerweiterung mit der laufenden Phase 1 (Abbildung 5-15: blauer Bereich), der beantragten Phase 2 (Abbildung 5-15: blassroter Bereich) und der geplanten Phase 3 (Abbildung 5-15:



grüner Bereich). Für diese Bereiche sind mit den Basisuntersuchungen (siehe Band 3.18.1E3, Anlagen 2 und 3) die Nachweise zur Standsicherheit erbracht und liegen die Ergebnisse zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit. des Systems Basisabdichtung, wie die Lage und Größe der horizontalen Dehnungen/ Stauchungen und vertikalen Hebungen/ Setzungen an der Oberfläche der mineralischen Dichtung bzw. im oberflächennahen Untergrund der Haldenaufstandsfläche, vor.

### **Vorgehen – ergänzende Untersuchungen**

Der orange Bereich der Haldenerweiterung in den Phasen 2 und 3 kennzeichnet im Ergebnis der vorstehend beschriebenen gutachterlichen Prüfung einen Streifen mit weniger als 10 m Abstand zum bestehenden Haldenfuß der Bestandshalde, in dem die aktuell gemessenen Verformungen über denen liegen, die der Modellkalibrierung im Rahmen der Basisuntersuchungen zugrunde gelegt wurden. Hier war der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung detaillierter, beginnend für die Flächenvorbereitung sowie für geringe Überschüttungshöhen mit Rückstandssalz zu führen. Geringe Überschüttungshöhen können hier z. B. temporär bei Errichtung der hydraulischen Trennung innerhalb der Phase 2, aber auch im Endzustand der Haldenerweiterung beider Phasen im Anbindungsbereich zur Bestandshalde mit auf den Wert Null auslaufender Böschungshöhe auftreten. In einem ganz eng begrenzten Bereich um den östlichsten Anbindungsbereich der Haldenerweiterung Phase 3 an die Bestandshalde, das entspricht dem Austrittspunkt der Schnittlage 1-1' aus der Südwestflanke der Bestandshalde, werden in einem Streifen bis 25 m vom Haldenfuß entfernt ebenfalls Verformungen bestimmt, die über den Werten der Modellkalibrierung liegen (siehe Abbildung 5-15). Die hier dargestellte Länge des Streifens wurde unter Berücksichtigung der Messergebnisse der Permanentmessstationen konservativ gewählt.

Das Haldenverhalten in dem < 10 bzw. < 25 m breiten Anbindungsbereich wird durch ergänzende Untersuchungen bewertet, die im numerischen Modell die Baugrundverhältnisse entsprechend der Situation an der Südwestflanke der Bestandshalde (Band 3.18.1E3, Anlage 1) berücksichtigen. Hierfür wurden das entsprechende Schnittmodell 1-1' zur Bestandshalde gemäß Abbildung 5-15 weiterentwickelt und in dessen Vorland zur Betrachtung der Haldenerweiterung die Schichten des Systems Basisabdichtung ergänzt. Die numerischen Untersuchungen sind im Modell zum Beginn der Schüttung des Haldenkörpers und sich anschließenden Nachbetriebsphase von 50 a mit einer horizontalen Verschiebungsgeschwindigkeit von 1,0 m/a verbunden. Dies entspricht einer deutlich auf der sicheren Seite liegenden Annahme.

Der o.g. haldenfußnahe Bereich der Bestandshalde wurde im Schnittmodell 1-1'<sub>2021a</sub> gemäß Band 3.18.1E3, Anlage 6 mit einer 25 m hohen und breiten Anschüttung im Zuge der Haldenerweiterung untersucht, um bewerten zu können, ob auch bei einer derart geringen Belastung die Gebrauchstauglichkeit des System Basisabdichtung im verformungsbeanspruchten Haldenvorland der Bestandshalde nachgewiesen werden kann. Die hier vorgenommenen Berechnungen zur Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit gelten für die entsprechenden Situationen in der Phase 2 und 3.

Zur Bewertung der besonderen Situation im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Halde (siehe Abbildung 5-15), an den der schmal auslaufende südöstliche Rand der Haldenerweiterung Phase 3 anbindet, wurde gemäß Band 3.18.1E3, Anlage 7 als



Belastungsszenario die Böschungsflanke der 100 m hohen unteren Schütteebe einschließlich der sich anschließenden 100 m breiten Berme berücksichtigt. Im Ergebnis der durchgeführten Berechnungen an dem weiterentwickelten Schnittmodell 1-1'<sub>2021b</sub> wird die Standsicherheit des Systems aus Halde, Basisabdichtung, Untergrund belegt.

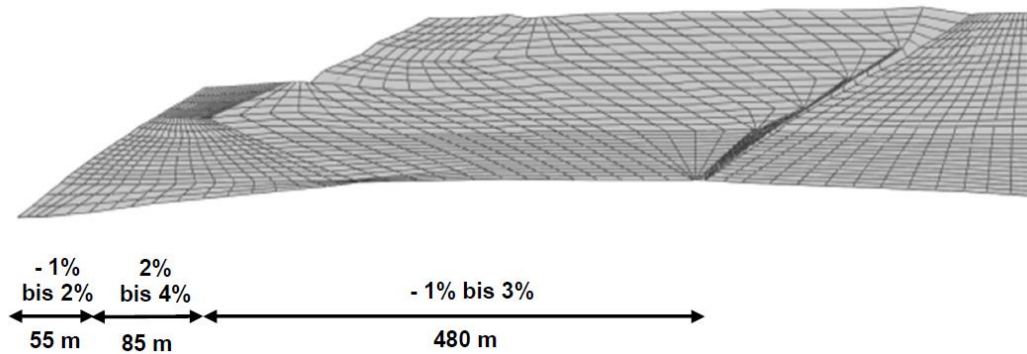
Obwohl die maßgebenden Baugrundverhältnisse und Verformungsmechanismen im Vorland der Bestandshalde nur bis in Breiten von < 10 m bzw. < 25 m vorliegen, wurden diese Verhältnisse in den numerischen Untersuchungen gemäß den Anlagen 6 und 7, Band 3.18.1E3, konservativ für den gesamten Untergrund, d. h. unter der Halde und im modellierten Vorland, angesetzt. Die Gebrauchstauglichkeitsbewertung in beiden Anlagen bezieht sich daher ausschließlich auf die Beanspruchung des System Basisabdichtung im Aufstandsbereich der Haldenerweiterung und nicht auf deren Vorland. Für die Bewertung der Untergrundbewegungen im südwestlichen Vorland der Haldenerweiterung Phase 3 gelten die Ergebnisse aus den Basisuntersuchungen entlang der Schnittlage C-C'.

Gemäß Band 3.18.1E3, Anlage 7, Kap. 5.1, haben die umfangreichen numerischen Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit in den Anlagen 2, 3, 6 und 7 Band 3.18.1E3 weiterhin Gültigkeit, wenn die darin berücksichtigten Schichtdicken zur mineralischen Dichtung und/ oder zum Flächenfilter zum System Basisabdichtung um bis zu rd. 50 % reduziert werden.

### **Dehnungen/ Stauchungen**

In den numerischen Untersuchungen 2018 unter Berücksichtigung des erweiterten technischen Konzepts (Band 3.18.1E3, Anlage 3) wurden im Gesamtbetrachtungszeitraum innerhalb der Haldenaufstandsfläche max. Dehnungen von ca. 4% im Schnitt A-A'<sub>2018</sub> bzw. 5 % im Schnitt C-C'<sub>2018</sub> und max. Stauchungen von ca. 2% (Schnitt A-A'<sub>2018</sub>) bzw. 1 % (Schnitt C-C'<sub>2018</sub>) ermittelt. Mit dem Schnittmodell 1-1'<sub>2021a</sub> wurden im Band 3.18.1E3, Anlage 6 in ähnlicher Größenordnung Dehnungen von ca. 2 % und Stauchungen von ca. 3 % berechnet. Für das Schnittmodell 1-1'<sub>2021b</sub> wurden im Band 3.18.1E3, Anlage 7 ausschließlich Stauchungen in einer Größenordnung von 3,5 bis 7,0 % berechnet

In der Abbildung 5-16 ist exemplarisch für den Schnitt A-A'<sub>2018</sub> die Dehnungs-/ Stauchungsverteilung dargestellt. Die prognostizierten max. Dehnungen liegen deutlich unter dem Grenzkriterium der Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung von 100 %. Im überwiegenden Teil der Haldenerweiterungsfläche betragen die Dehnungen am Ende des Gesamtbetrachtungszeitraumes <2 bis 3%.



**Abbildung 5-16: Maßgebende horizontale Dehnungen und Stauchungen der mineralischen Dichtung unterhalb der Halde im Schnitt A-A'2018 (vgl. Band 3.18.1E3, Anlage 3, Bild 15)**

Weiterhin ist festzustellen, dass die mineralische Dichtung zwar verformt wird, jedoch ausschließlich Druckbeanspruchung (vgl. Band 3.18.1E, Anlage 3) erfährt. Daher sind Risse infolge Zugbeanspruchung nicht zu erwarten.

Im Zuge der Haldenauffahrung erfährt jeder Bereich der Aufstandsfläche zunächst Stauchungen, Dehnungen und eine Reduzierung der Ausgangshöhe infolge der maximalen Haldenauflast. Daher wurden zur Bewertung der mineralischen Dichtung alle ungünstig wirkenden Verformungen (Dehnung/ Auflast) im Superpositionsprinzip überlagert. Stauchungen wurden hierbei vernachlässigt, da diese keine Reduktion der Höhe hervorrufen.

Die mineralische Dichtung wird im Untersuchungszeitraum durch die ausgewiesenen Dehnungen (max. ca. 5 %) sowie infolge der Last bedingten Konsolidation/ Setzung in der Dicke reduziert. Aus den im Rahmen des Pilotvorhabens durchgeführten Kompressionsversuchen ist bekannt (vgl. Band 3.29.1N2, Bild 2-5), dass sich die Höhe der mineralischen Dichtung infolge einer Haldenauflast von 2.500 kN/m<sup>2</sup> um ca. 8 % verringert. Die damit einhergehende Komprimierung/ Verdichtung der mineralischen Dichtung führt nach den bisherigen Erfahrungen zu einer irreversiblen Verringerung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes um etwa eine halbe Zehnerpotenz. Im gesamten Betrachtungszeitraum ergibt sich somit rechnerisch eine Reduzierung der Dicke der mineralischen Dichtung um max. ca. 13 %, was abhängig von der Ausgangsdicke Enddicken von rd. 0,68 cm (Phase 1:  $d_A = 0,75$  m), rd. 0,48 m (Phase 2 & Phase 3, Variante 1:  $d_A = 0,55$  m) bzw. rd. 0,26 m (Phase 3, Variante 2:  $d_A = 0,30$  m), entspricht. Unter ergänzender Berücksichtigung der aus der Haldenauflast resultierenden irreversiblen Verringerung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes der mineralischen Dichtung können diese Dickenreduzierungen in Bezug auf den Gleichwertigkeitsnachweis als vernachlässigbar bewertet werden (vgl. Kap. 5.3.2.3).

#### **Hebungen/ Setzungen – Haldenkontur und Betrachtungszeitraum gesamt**

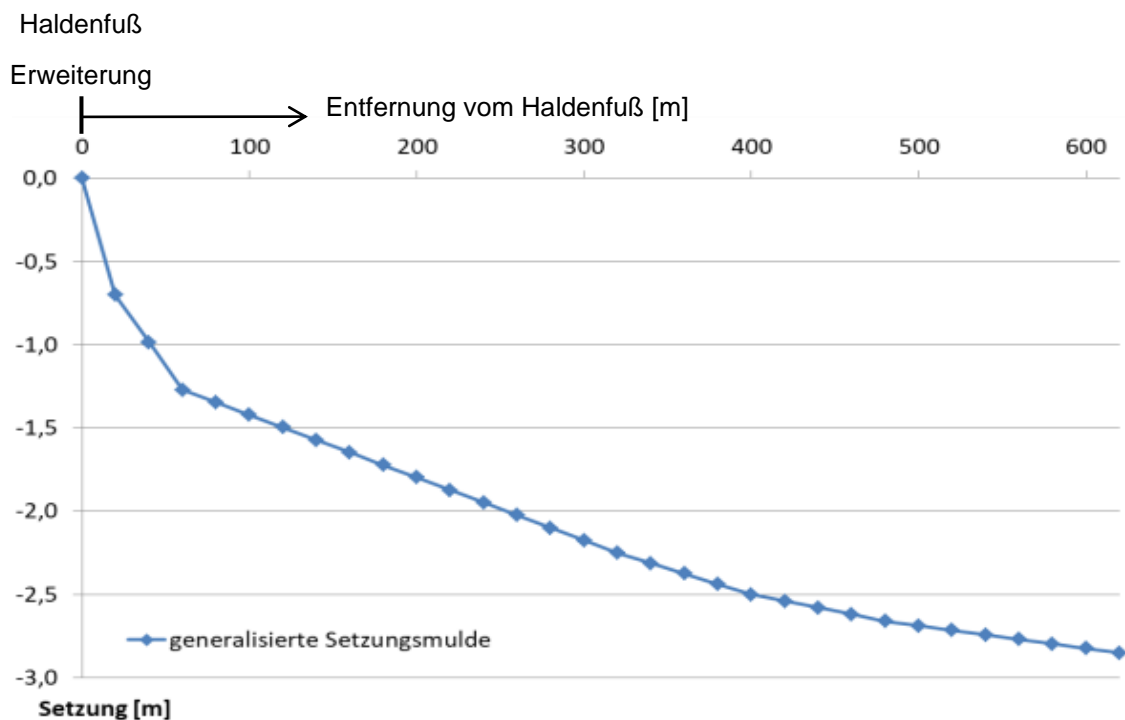
Für das Haldenvorfeld und Haldenvorland können gemäß den Anlagen 2 und 3, Band 3.18.1E2 in Abständen bis rd. 20 bis 25 m vom Haldenfuß horizontale Stauchungen in Kombination mit Hebungen abgeleitet werden. Dies entspricht den grundlegenden Verformungsprozessen, die mit dem Verformungsmonitoring an der Bestandshalde beobachtet werden. Die rechnerischen max. Hebungen betragen in diesem Bereich im Gesamtbetrachtungszeitraum zwischen rd.

0,5 m (Band 3.18.1E3, Anlagen 3, Schnitt A-A'<sub>2018</sub>) und 3,3 m (Band 3.18.1E3, Anlagen 2, Schnitt C-C'<sub>2017</sub>), was in Bezug auf die Nachbetriebsphase mittleren jährlichen Hebungen zwischen rd. 1 und 7 cm entsprechen würde. Den beobachteten und berechneten Verformungen angepasst wird das unmittelbare Haldenvorfeld als Bestandteil der haldennahen Infrastrukturanlagen, insbesondere die Anbindung des Haldenrandgrabens an die mineralische Dichtung, neu gestaltet. Des Weiteren ist in dem 65 m breiten Randstreifen auf einer Breite von ca. 10 m im Bedarfsfall Raum für die Errichtung optionaler, zusätzlicher Infrastrukturanlagen, sollte die Funktion der haldennahen Infrastrukturanlagen aufgrund erhöhter Verformungen wider Erwarten beeinträchtigt werden. In diesem Fall ist die Umverlegung der Infrastruktur nach außen möglich und die haldennahen Infrastrukturanlagen können in Stand gesetzt werden.

In Folge dessen ist zukünftig im Falle von Verformungen im Bereich der haldennahen Infrastruktur eine Beseitigung der Aufwölbungen zur Sicherstellung der Entwässerung nicht mehr notwendig, da die Entwässerungsfunktion durch die zweite Haldeninfrastruktur übernommen wird.

Für die Gesamtbetrachtungszeiten wurden in den gegenständlichen numerischen Untersuchungen der Anlagen 2 und 3 im Band 3.18.1E3, die als Basisuntersuchungen die Haldenerweiterung mit gesamter Schütthöhe betrachten, Setzungen des Untergrundes unter der Halde von max. 3,6 bis 3,8 m berechnet, wobei die Setzungen am Haldenfuß 1,1 bis 1,7 m betragen. Gemäß den Ausführungen Band 3.18.1E3, Anlage 7 hat die generalisierte Setzungsmulde unter der Halde aus dem Band 3.18.1E3, Anlage 3, weiterhin Gültigkeit. Die für die Schnittmodelle 1-1'<sub>2021a/b</sub> berechneten Setzungen sind wegen der untersuchten geringen Schütthöhen nicht maßgebend.

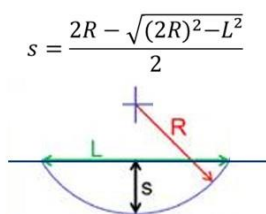
Für die Bemessung der Entwässerungselemente wird die generalisierte Setzungsmulde der numerischen Untersuchungen 2018 unter Berücksichtigung des erweiterten technischen Konzepts verwendet (vgl. Abbildung 5-17), die die stärkeren Neigungen und Setzungsbeträge unter der Halde ausweist.



**Abbildung 5-17: Generalisierte Setzungsmulde unter der geplanten Haldenerweiterung (Band 3.18.1E3, Anlage 3, Bild 26, ;  $\Delta x = 20$  m)**

Es ist zu erkennen, dass die vertikale Verformungsdifferenz des Untergrundes unter der Halde geringer als ca. 2,8 m ist und bezogen auf die horizontale Ausdehnung die Krümmungsradien im Böschungsfußbereich wesentlich größer als 150 m sind.

Alternativ kann nach dem in Abbildung 5-18 dargestellten Zusammenhang die Setzungsdifferenz ( $s$ ) in Abhängigkeit der Elementlänge ( $L$ ) und des Krümmungsradius ( $R$ ) ermittelt werden. Dieser setzt voraus, dass sich beiden Randpunkte des betrachteten Abschnitts auf gleicher Höhe befinden.

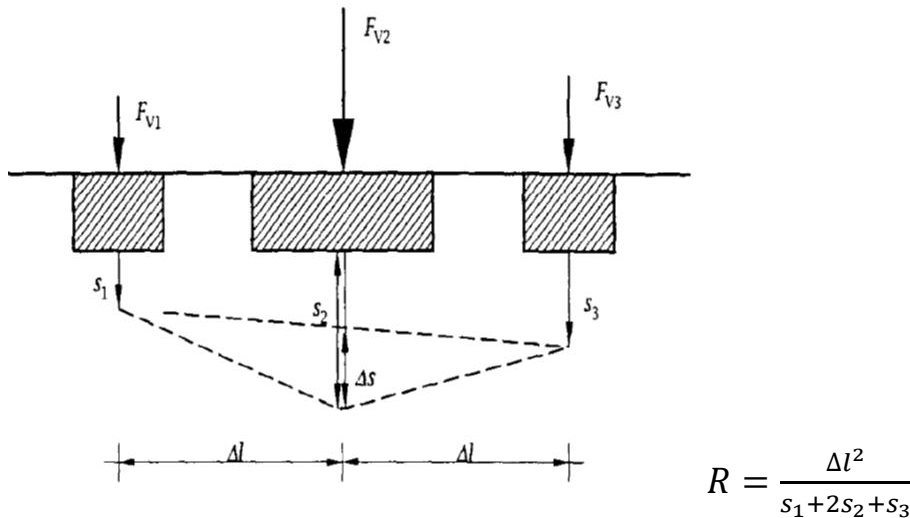


$$s = \frac{2R - \sqrt{(2R)^2 - L^2}}{2}$$

**Abbildung 5-18: Ermittlung der Setzungsdifferenz**

Unter Berücksichtigung des in Abbildung 5-18 dargestellten Zusammenhanges ergäbe sich für den zulässigen Krümmungsradius  $R_{zul} = 150$  m (gemäß Tabelle 5-2) und die zuvor beschriebene Setzungsdifferenz  $s$  von ca. 2,8 m eine Elementlänge  $L = 58$  m, die deutlich kleiner als die Länge der generalisierten Setzungsmulde gemäß Abbildung 5-17 ist. Zur Bewertung der lokalen Krümmungsradien innerhalb bzw. entlang der Setzungsmulde muss der Zusammenhang nach Abbildung 5-19 verwendet werden. Hiermit ergibt sich ein minimaler Krümmungsradius von  $R \approx$

960 m, so dass auch hierfür das Gebrauchstauglichkeitskriterium zur Krümmung gemäß Tabelle 5-2 mit  $R_{zul., oL} \geq 150$  m sicher erfüllt ist.



**Abbildung 5-19: Ermittlung des Krümmungsradius**

### **Hebungen/ Setzungen – Flächenvorbereitung Phase 2 und 3 sowie Anschüttung an Bestandshalde**

Unter Berücksichtigung mehrfach konservativer Annahmen werden mit den numerischen Untersuchungen im Sachverständigengutachten für die Phase 2 (Band 3.18.1E3, Anlage 6) im Modellzeitraum der Flächenvorbereitung über 1 Jahr im Haldenvorland der Bestandshalde Hebungen von max. 0,1m/a ausgewiesen. Diese beeinflussen die mineralische Dichtung nach deren Herstellung und führen zu einer Krümmung der Dichtungsschicht bis zur Überschüttung, die im Schnittmodell 1-1'\_{2021a} (vormals Variante V I) das 1. Quartal des Folgejahres umfasst. Im numerischen Modell werden die Zeiträume für Flächenvorbereitung und Beschüttung der Phase 2 früher als geplant angesetzt, um mit dem Schnitt 1-1'\_{2021}, der für die Südwestseite kalibriert ist, bezüglich der Verformungen an der Bestandshalde konservative Ausgangsrandbedingungen ansetzen zu können. Die Randbedingungen/ Vorgehensweise und Untersuchungsergebnisse zum Schnittmodell 1-1'\_{2021a} sind unter Berücksichtigung der Ausführungen zum Kapitel „Vorgehen – ergänzende Untersuchungen“ (siehe auch orange farbener Streifen in Abbildung 5-15) auch für das hebungsbeeinflusste Vorland der Bestandshalde im Anbindungsbereich der Haldenerweiterung Phase 3 zutreffend.

Das hebungsbeeinflusste Vorland ist im numerischen Modell gemäß Bild 11 in Band 3.18.1E3, Anlage 6 ca. 50 m breit, für das sich mit dem o.g. Hebungsbetrag im Zeitraum von einem Jahr ein Krümmungsradius von  $R \geq 3.000 \text{ m} \gg R_{zul}$  ergibt. Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist hierfür erfüllt. Dies gilt auch, wenn man den o.g. Hebungsbetrag auf die Anschüttungsbreite im Schnittmodell 1-1'\_{2021a} von 25 m bezieht ( $R \geq 780 \text{ m} \gg R_{zul}$ ).

Bezieht man den ausgewiesenen Hebungsbetrag alternativ auf die Streifenbreite von 10 m, in dem nach dem Sachverständigengutachten für die Phase 2 (Band 3.18.1E3, Anlage 6) die überwiegenden Verschiebungen im Haldenvorland eintreten, würde ein Krümmungsradius von  $R = 125 \text{ m} < R_{zul} \geq 150 \text{ m}$  resultieren. Zur Begrenzung der eintretenden Krümmung auf das zulässige Maß wären für diese Betrachtung nach Abbildung 5-18 Hebungen/ Setzungsdifferenzen bis  $s = 0,083 \text{ m}$  zulässig, die bei der Hebungsgeschwindigkeit von 0,1 m/a

einem Zeitraum von rd. 10 Monaten entsprechen würden. Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis der mineralischen Dichtung für den Zeitraum Flächenvorbereitung bis Überschüttung wäre auch für diese alternative, im Vergleich zum numerischen Modell konservative Betrachtung erfüllt, wenn die mineralische Dichtung im Anbindungsbereich an die Bestandshalde spätestens 10 Monate nach der Herstellung mit einer Anschüttung ballastiert wird, die in ihrer Wirkung mindestens der im Schnittmodell 1-1'2021a entspricht. Die Flächenvorbereitung im Anbindungsbereich an die Bestandshalde wäre hierfür möglichst spät auszuführen. Eine entsprechende Umsetzung der Flächenvorbereitung und Beschüttung stellen ein realistisches Szenario dar. Sie müssen zum lokalen Nachweis der Gebrauchstauglichkeit bei der Herstellung der Dichtung im verformungsbeanspruchten Haldenvorland der Bestandshalde durch ein geotechnisches Monitoring begleitet werden. Im Zusammenhang mit der Genehmigungs-/Ausführungsplanungsplanung für den betroffenen Flächenbereich wird dem RP ein durch den geotechnischen Sachverständigen bestätigtes bzw. aufgestelltes Konzept vorgelegt, wie die Gebrauchstauglichkeit des System Basisabdichtung im Anbindungsbereich an die Bestandshalde, der von signifikanten Verformungen beeinflusst ist, beginnend ab der Herstellung bis zur anforderungsgerechten Ballastierung im Zuge der Überschüttung sichergestellt werden kann. Dies schließt neben den einzuhaltenden Verformungskriterien entsprechende zeit- bzw. lastbezogene Vorgaben für die Flächenvorbereitung und den Haldenbetrieb sowie Maßnahmen zum geotechnischen Monitoring ein.

Zu den vorstehenden Ausführungen wurde mit Anlage 14 eine ergänzende Stellungnahme zur bautechnischen Realisierbarkeit des Systems Basisabdichtung und der notwendigen Überschüttung im Bereich des 10 m Streifens bei Stationen +1.000 bis +550 bzw. des 25 m Streifens bei Station +550 bis +450 erarbeitet.

Wie in Kapitel 234 beschrieben, erfolgt die Beschüttung im Anbindungsbereich ABB an der südöstlichen Ecke der Haldenerweiterung mit geringen Beschüttungsmengen und begleitendem Monitoring. Die Entwässerungselemente EHG und EEHT werden im Zuge des Dichtungsbaus im Anbindungsbereich auf kompletter Länge hergestellt. Daher ist vor Beginn der Beschüttung des Anbindungsbereichs ABB eine Ballastierung der Elemente mit Rückstandssalz notwendig. Diese wird im Zuge der Aufbringung des Witterungsschutzes realisiert. Die erforderliche Auflast der Ballastierung der Entwässerungselemente EEHT und EHG im Anbindungsbereich der Erweiterung an die Bestandshalde wird seitens des geotechnischen Sachverständigen vorgegeben. Im Rahmen der Phase 2 der Haldenerweiterung wurde bereits eine Auflast entsprechend eines Schüttblocks von 25 m Höhe und Breite untersucht (vgl. Band 3.18.1E3, Anlage 6). Diese Annahme einer Ballastierung mittels eines Schüttblocks von 25 m Höhe und 25 m Länge wird zunächst im Rahmen der Phase 3 berücksichtigt. Eine nachfolgende Optimierung der Lastaufbringung im Zuge ergänzender Betrachtungen des geotechnischen Sachverständigen zu geringeren Auflasten ist jedoch im Zuge der Genehmigungsplanung vorgesehen.

Der zugehörige Nachweis für die Haldenkontur und den der Haldenerweiterung in Gesamtheit wurde bereits vorstehend in Bezug auf Abbildung 5-17 erbracht.

#### 5.3.3.3.5 Verformungsbetrachtungen zu haldeninternen Entwässerungselementen

### **Setzungs-/Neigungsanalyse – Einfluss wechselnder Baugrundeigenschaften**

Auf Grundlage der im Band 1.1.1E, Kap. 5.3.3.4 des RBP HA-04/09 in der Fassung vom 05/2018 beschriebenen Setzungs-/ Neigungsanalyse wird bei der Bemessung der linienförmigen haldeninternen Entwässerungselemente zur Berücksichtigung möglicher Neigungsänderungen infolge wechselnder Baugrundeigenschaften eine pauschale Abminderung der geplanten Sohlneigung um 0,2%-Punkte berücksichtigt.

### **Exemplarische Betrachtung zu Querverschiebungen**

Im Rahmen einer Verformungsbetrachtung wurde untersucht, wie sich ggf. eintretende Verschiebungen/Dehnungen auf die Funktion der linienförmigen Entwässerungselemente auswirken. Aus dem Verformungsmonitoring der Bestandshalde sind für den Haldenrand bisher ausschließlich weiträumige Differenzverschiebungen mit gleichmäßigen Krümmungen und Differenzbeträgen von wenigen Metern bekannt. Für das Haldeninnere ist von geringeren Bewegungen auszugehen.

Aus der im Grundsatz parallelen Anordnung der Entwässerungselemente EEM und EEÜ zum Haldenrand resultiert, dass diese mit Ausnahme eventueller räumlicher Effekte im Wesentlichen durch Querverschiebungen beansprucht werden.

Erfahrungsbasiert wurde bezüglich möglicher Querverschiebungen angenommen, dass zwei Punkte auf der Achse eines Entwässerungselementes im Abstand von:

$$l_{EE} = 50 \text{ m bzw. } 100 \text{ m}$$

um den Betrag von  $x$  [m] orthogonal zur Entwässerungsachse bei konstantem Krümmungsradius verschoben werden. Ausgehend von einer hydraulisch wirksamen Gesamtquerschnittsfläche von z.B.

$$A_{EE,A} = 2,70 \text{ m}^2$$

sowie einer Auslastung des Entwässerungselementes vor Verformung von

$$\eta_A = 0,5$$

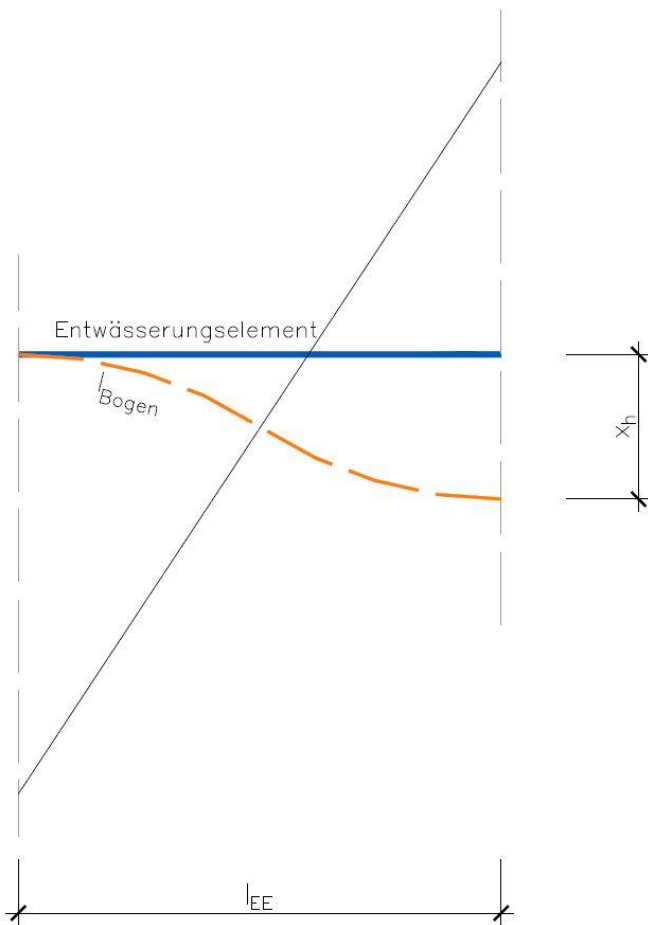
ergibt sich die abflusswirksame Querschnittsfläche unter Berücksichtigung des maximalen Angebotes von

$$A_{EE,min} = A_{EE,A} \cdot \eta_A$$

$$A_{EE,min} = 1,35 \text{ m}^2$$

Die Bogenlänge  $l_{Bogen}$  berechnet sich in Abhängigkeit der Ausgangslänge ( $l_{EE}$ ) und dem Querverschiebungsbetrag ( $x$ ) durch folgende Gleichung:

$$l_{Bogen} = 2\pi \cdot \sqrt{(l_{EE}^2 + x^2)} / \sin(90 - \tan^{-1}(l_{EE}/x)) \cdot (90 - \tan^{-1}(l_{EE}/x)) / 360^\circ$$



**Abbildung 5-20: Modellvorstellung Verformung des Entwässerungselementes durch differenzierte Horizontalverformungen**

Aus der Bogenlänge lässt sich unter Annahme der Volumenkonstanz des Entwässerungselementes eine hydraulisch wirksame Querschnittsfläche nach Verformung  $A_{EE,E}$  [m<sup>2</sup>] sowie die entsprechende Auslastung  $\eta_E$  ermitteln. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5-3 zusammengefasst.

**Tabelle 5-3: Ermittlung des hydraulisch wirksamen Querschnittes sowie der Auslastung nach Verformung um den Betrag  $x_h$  bei einer Ausgangslänge von  $l_{EE} = 50,0$  m**

$x_h$	[m]	1	2	5	50 <sup>1)</sup>
$l_{\text{Bogen}}$	[m]	50,01	50,05	50,33	78,54
$A_{EE,E}$	[m <sup>2</sup> ]	2,699	2,697	2,682	1,719
$\eta_E$	[-]	0,5001	0,5005	0,5033	0,7854

<sup>1)</sup> Werte unrealistisch, da horizontale Differenzverformung gleich Ausgangslänge



**Tabelle 5-4: Ermittlung des hydraulisch wirksamen Querschnittes sowie der Auslastung nach Verformung um den Betrag  $x_h$  bei einer Ausgangslänge von  $l_{EE} = 50,0$  m**

$x_h$	[m]	1	2	5	100 <sup>2)</sup>
$l_{\text{Bogen}}$	[m]	100,01	100,03	100,17	157,08
$A_{EE,E}$	[m <sup>2</sup> ]	2,6998	2,6993	2,6955	1,719
$\eta_E$	[-]	0,5000	0,5001	0,5008	0,7854

<sup>2)</sup> Werte unrealistisch, da horizontale Differenzverformung gleich Ausgangslänge

Unter Berücksichtigung der oben genannten Annahmen zeigt die Betrachtung, dass das Entwässerungselement bei differenzierter horizontaler Verformung einen ausreichenden großen abflusswirksamen Querschnitt aufweist, um anfallendes Haldenwasser abführen zu können. Selbst bei unrealistisch großen Verformungen (horizontale Verformungsdifferenz gleich Elementlänge) wäre die Auslastung kleiner eins.

Zur Bewertung möglicher Beanspruchungen in Längsrichtung wird auf die maximale axiale Dehnung (7 % im Böschungs-Bermen-Bereich) des Untergrundes im Untersuchungszeitraum Bezug genommen (vgl. Band 3.18.1E2, Anlage 2, bzw. Abbildung 5-16). Hierbei würde sich die Querschnittsfläche des Entwässerungselementes im Ausgangszustand von  $A_{EE} = 2,70$  m<sup>2</sup> auf 2,52 m<sup>2</sup> reduzieren ( $2,70 / 1,07 = 2,52$  m<sup>2</sup>) und der Auslastungsgrad von 0,50 auf 0,54 steigen. Die Funktion des Entwässerungselementes würde durch die Verformungsbeanspruchung nicht relevant beeinflusst werden.

### 5.3.4 Qualitätsmanagementplan

Das Vorgehen zum Qualitätsmanagement bei der Herstellung des Systems Basisabdichtung ist im Band 1.1E3 beschrieben. Es gelten hier die gleichen Vorgaben, die sich im Rahmen der Phase 1 und der Haldenerweiterung Wintershall bewährt haben und auch für Phase 2 vorgesehen sind. Die hohe Qualität des extrem aufwendigen Material- und Einbaukonzeptes

wird seitens des geotechnischen Büro Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH in Anlage 16 zu Band 1.3 E3 bestätigt.

### **5.3.5 Monitoring zum Nachweis der Wirksamkeit, Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit**

Das Monitoring zum Nachweis der Wirksamkeit, Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit basiert auf folgenden bautechnischen und bauorganisatorischen Schwerpunkten:

- Nachweis der materialtechnischen Eignung der eingesetzten Baumaterialien auf Einhaltung der Parameter Wasserdurchlässigkeitsbeiwert, Reibungswinkel und Trockendichte vor Beginn der Bauausführung
- baubegleitende Erfassung und Nachweise der Einbauparameter (Einbauwassergehalt, Trockendichte, Lagenstärke etc.) sowie begleitende Laboruntersuchungen (Wasserdurchlässigkeitsbeiwert, Reibungswinkel)
- Geodätisches Monitoring zum Abgleich der tatsächlichen Verformungen mit den zulässigen Verformungen
- Nachweis der Sicherstellung der hydraulischen Funktion (Gefälle) der haldeninternen Entwässerungseinrichtungen nach erfolgter Bauausführung vor Überschüttung
- Funktionsmindernde Auswirkungen auf das Haldenvorfeld (Klima-/ Witterungsgeschützte mineralische Dichtungsschicht, Haldenrandgraben und Ausmündungen der haldeninternen Entwässerungselemente) werden im Rahmen der Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen visualisiert und unverzüglich repariert

Durch diese Maßnahmen ist gemäß dem Stand der Technik zu jedem Zeitpunkt sichergestellt, dass das System Basisabdichtung so ausgeführt und betrieben wird, dass ein Versagen in der direkten Haldenaufstandsfläche nicht zu besorgen ist und funktionsmindernde Einflüsse im Haldenvorfeld jederzeit erkannt und behoben werden können. Im Rahmen der geodätischen Überwachung des Haldenkörpers und Umfeldes werden die direkten Auswirkungen der Verformungen dokumentiert. Im Rahmen der Haldenwasserfassung und -ableitung werden die Haldenwassermengen zeitabhängig erfasst und dokumentiert. Hierdurch ist die Langzeitsicherheit und Nachhaltigkeit gegeben. Weitere Ausführungen zum Monitoring sind dem Band 3.17 sowie Band 1.1E2 zu entnehmen.

## 6 Plateauabdeckung der Erweiterungsfläche

Mit der Zielsetzung der kontinuierlichen Verbesserung des Gewässerzustandes von Werra und Weser und damit einhergehend der schrittweisen Reduktion der aus der Aufhaltung der Produktionsrückstände resultierenden Umweltauswirkungen, insbesondere des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls, strebt die K+S den möglichst zeitnahen Einstieg in die Abdeckung der Rückstandshalden des Werkes Werra an. 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.

Da die Reduktionswirkung einer Haldenabdeckung auf den niederschlagsbedingten Haldenwasseranfall maßgeblich von dem funktionalen sowie räumlichen Verbund von Flanken- und Plateauabdeckung abhängig ist, stellt die Entwicklung eines technisch dichten und unter Berücksichtigung der geomechanischen Eigenschaften des abgelagerten Rückstandes dauerhaft funktionsfähigen bzw. wieder instandsetzbaren Bauwerkes immanenten Maßnahmenbestandteil dar. Das gewählte Abdeckkonzept mittels einer multifunktionalen, standortangepassten Oberflächenabdeckung (MSO) vereint die Anforderungen der Deponieverordnung an Oberflächenabdichtungssysteme und die Maßgaben der Technischen Regeln – Bergbau des Länderausschusses Bergbau in sich. Die konzeptionelle Erarbeitung des Gesamtsystems erfolgte dabei unter Betrachtung von zwei Ausbaustufen (Bauzwischen- und Endzustand), die sowohl die Zulassungsfähigkeit als auch die anforderungsgerechte Herstellung beider Systemkomponenten unabhängig voneinander ermöglichen.

Gegenstand der ersten Ausbaustufe des Gesamtsystems der Haldenabdeckung stellt die Errichtung der Plateauabdeckung dar. Konkret ist die dauerhafte Abdeckung der Plateauflächen der Phasen 1,2 und 3 der Haldenerweiterung auf einer Fläche von ca. 30 ha Antragsgegenstand. Die Abdeckung der Plateauflächen der Erweiterungsfläche erfolgt nachlaufend zu deren Errichtung etwa ab der 2. Hälfte der 2030er Jahre. Die Planung berücksichtigt auch die konzeptionelle Anbindung der Flankenabdeckung an das Oberflächenabdeckungssystem. Diese ist jedoch Gegenstand eines eigenständigen Genehmigungsverfahrens und einer – von der Errichtung der Plateauabdeckung – vorläufig unabhängigen Ausführung und ist somit nicht Gegenstand des hiesigen Verfahrens.

Die Abdeckung der Plateauflächen der Bestandshalde Hattorf ist einem eigenen Zulassungsverfahren vorbehalten. Da die Umsetzung der Plateauabdeckung der Erweiterung erst nach dessen Errichtung beginnen kann, die Plateauabdeckung der Bestandshalde hingegen bereits vorlaufend zum Beginn der Haldenerweiterung erfolgen wird, ist eine nachträgliche Konkretisierung des technischen Konzepts insbesondere im Hinblick auf die zu erbringenden Nachweise und das Monitoring vorgesehen und geboten.

Die abzudeckende Plateaufläche ist schematisch in der Anlage 1 des Bandes 1.1E3 dargestellt.

## **6.1 Grundlagen zur Konzeption und Nachweisführung des Abdecksystems**

Die Konzeption, Bemessung und Nachweisführung sowie die Umsetzung der dauerhaften Abdeckung des Haldenplateaus orientieren sich an den technischen Normen und Regelwerken (Bundeseinheitliche Qualitätsstandards, GDA-Empfehlungen, Richtlinien und Zulassungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung [BAM]) und somit am Stand der Technik in der Oberflächenabdichtung von Deponien entsprechend den – hier nicht einschlägigen, sondern nur unterstützend heranzuziehenden – Anforderungen der Deponieverordnung.

Detaillierte Ausführungen hierzu sind Band 3.29.3N3 zu entnehmen.

Aus den an die Abdeckung der Rückstandshalden der Kaliindustrie gestellten Anforderungen hinsichtlich

- der Genehmigungsfähigkeit des Haldenabdeckungssystems,
- der Reduzierung der mit dem niederschlagsbedingten Haldenwasseranfall in Verbindung stehenden Umweltauswirkungen sowie
- der Errichtung eines dauerhaft funktionsfähigen bzw. wieder instandsetzbaren Abdecksystems

ergeben sich die nachfolgenden Planungsrandbedingungen, die der Konzeption des auf den Rückstandshalden des Werkes Werra Anwendung findenden Abdecksystems zugrunde gelegt wurden:

- Flanken- und Oberflächenabdeckungssystem bilden im räumlichen Verbund ein in sich geschlossenes System mit gleichzeitiger, funktionaler Trennung der beiden Komponenten.
- Beide Systemkomponenten sind auch unabhängig voneinander herstellbar, funktional und gebrauchstauglich und führen zu einer deutlichen Reduzierung des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls.
- Aus dem räumlichen Verbund der beiden Systemkomponenten resultiert keine gegenseitige Beeinflussung, die zu einer Beeinträchtigung bzw. Benachteiligung der Einzelkomponenten und damit einhergehend dem Eintreten nachteiliger Umweltauswirkungen führen kann.

Planung und sich anschließende Ausführung der Haldenabdeckung beruhen demnach auf der Betrachtung von Bauzwischen- (1. Ausbaustufe) und Endzustand (2. Ausbaustufe). Der Bauzwischenzustand kennzeichnet dabei denjenigen Zustand, der sich allein aus der Errichtung der Plateauabdeckung ergibt, wohingegen der Endzustand den Verbund von Plateau- und Flankenabdeckung betrachtet. Im Rahmen des mit der Planung der Plateauabdeckung unmittelbar in Verbindung stehenden Technischen Konzepts erfolgt die rein konzeptionelle Betrachtung des Anbindungsbereiches beider Komponenten des Gesamtsystems „Haldenabdeckung“ und stellt unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Stands der Technik eine Möglichkeit der Ausführung zur Vermeidung nachteiliger Auswirkungen aus der Interaktion beider Systemkomponenten dar. Die Konkretisierung des Anbindungsbereiches bis hin zu seiner Ausführung erfolgt im Rahmen eines späteren Genehmigungsverfahrens zur Abdeckung der Flanken der Rückstandshalden des Werkes Werra.

## 6.2 Anforderungen an das System

Ziel der dauerhaften Haldenabdeckung ist eine weitgehende Minimierung der Umweltauswirkungen der Rückstandshalde, insbesondere im Hinblick auf den Anfall von Haldenwasser und die Restinfiltration in die Halde und den Untergrund.

Maßgeblich für den Stand der Technik in der Kaliindustrie auch im Hinblick auf die Oberflächenabdeckung ist das Dokument „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries“ (MWEI BREF). Es enthält in BAT 38 allgemeine Anforderungen zur Haldenabdeckung, aber keine konkreten Vorgaben zum Aufbau des Oberflächenabdeckungssystems oder dessen Bemessungszeitraum. Zudem sind die Ausführungen dort mit der Einschränkung versehen, dass die vorgestellten Maßnahmen Restriktionen im Hinblick auf Haldenhöhe und Flankenlänge unterliegen. Eine Oberflächenabdeckung von Großhalden der Kaliindustrie ist demzufolge nicht Stand der Technik.

Wie bereits in Kapitel 6.1 ausgeführt, ist auch die Deponieverordnung nicht einschlägig für die Bewertung einer Kali-Rückstandshalde, wird aber als Erkenntnisquelle herangezogen. Im Zuge der Bewertung der Basisdichtung der Haldenerweiterung, Phase 1, wurde ein Analogieschluss für die Rückstandshalde zu den Einstufungskriterien der Deponieklasse 1 gezogen. Es handelt sich bei der ESTA-Rückstandshalde Hattorf und ihrer Erweiterung ferner um eine Monodeponie.

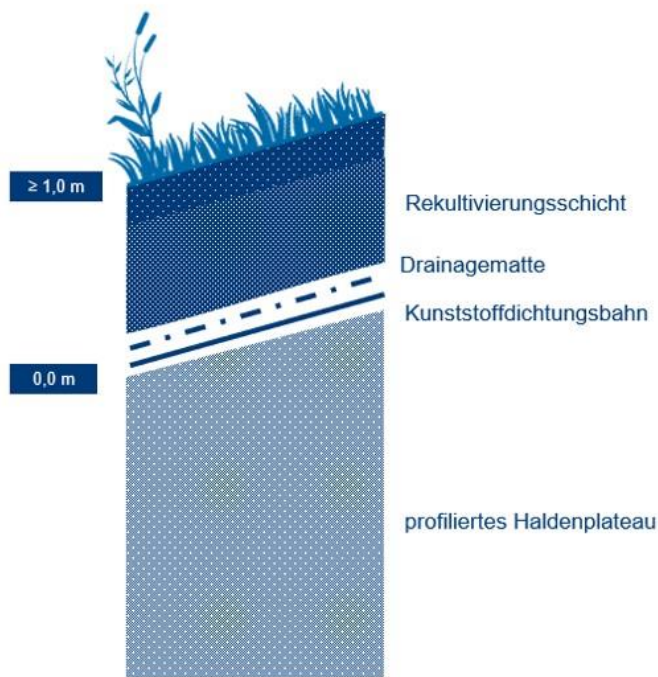
Gemäß der Ausführungen des Behördengutachters UMTEC in seiner gutachterlichen Stellungnahme vom 16.04.2021 in Bezug auf die Anforderungen an die Oberflächenabdeckung des Haldenplateaus ist „[m]it Bezug auf die in der Deponieverordnung gestellten Anforderungen [...] die Herstellung einer Oberflächenabdichtung mittels einer Wasserhaushaltsschicht als alleiniges Dichtungselement zulässig, insoweit eine Einstufung der Rückstandshalde in die Deponieklasse I erfolgt (wie es sinngemäß bei der Festlegung der Anforderungen an die Basiserweiterungen erfolgt ist) und die entsprechenden Anforderungen aus der DepV, insbesondere der Fußnoten zu Tabelle 2 im Anhang 1, erfüllt werden.“

Die Anforderungen an die Plateauabdeckung orientieren sich damit mangels konkreter Anforderungen für Kalirückstandshalden an den Regelwerken der DepV 2020, der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS), den GDA-Empfehlungen sowie im Hinblick auf polymere Komponenten an den Richtlinien und Zulassungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung [BAM]) und somit am Stand der Technik in der Oberflächenabdichtung von Deponien.

Neben den rechtlichen Anforderungen an das Oberflächenabdecksystem ergeben sich weitere technische Anforderungen, die im Wesentlichen aus den Standortgegebenheiten und somit den in Kapitel 3 beschriebenen Haldenkörperverhalten resultieren. Unter Berücksichtigung der rechtlichen sowie technischen Anforderungen, sind Konvektionssperren im Sinne BAM-zugelassener Kunststoffdichtungsbahnen 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 des dauerhaften Funktionserhaltes, sowohl der Abdichtungs- als auch polymeren Entwässerungsschichten, wird über den Zulassungsbescheid der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung für die jeweilige Systemkomponente abgedeckt (siehe auch Anlage 1, Band 3.29.3N3).

### 6.3 Systembeschreibung

Der geplante Aufbau des Abdeckungssystems der Plateauabdeckung ist schematisch in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Detailliertere Ausführungen sind dem Band 3.29.3N3 zu entnehmen.



**Abbildung 6-1: Oberflächenabdeckungssystem in Orientierung an den Ausführungen des Anhangs 1, Tabelle 2, DepV 2020**

Die Entwässerungs- und Abdichtkomponenten werden aus eignungsgeprüften Materialien hergestellt, die am Markt verfügbar sind, und auch im Falle einer späteren Instandhaltung dauerhaft bezogen werden können. Für die Errichtung der Rekultivierungsschicht ist die vorrangige Verwendung werks- bzw. standorteigener Böden vorgesehen. Sofern diese nicht ausreichend zur Verfügung stehen, sind Böden anderer Herkunft zu verwenden, die den Anforderungen an die Eignung nach BQS 7-1 sowie damit in Verbindung stehend der GDA E 2-31 gerecht werden.

Die Rekultivierungsschicht wird zeitnah nach ihrer Errichtung begrünt, um den Oberflächenwasseranfall zu minimieren und Erosionserscheinungen vorzubeugen. Es ist die Etablierung eines standortangepassten Bewuchses vorgesehen, die aufgrund der anspruchsvollen klimatischen Randbedingungen in ihrer Initialphase durch eine intensive Bewässerung unterstützt wird. Um einen standortangepassten Artenbestand zu etablieren, soll die natürliche Sukzession bis zur Strauchschicht gefördert werden. Die Ansiedelung höherer Arten wird hingegen im Zuge der Bewirtschaftung der Haldenplateauabdeckung vermieden, um eine dauerhafte Funktionsfähigkeit der Abdichtungs- und Entwässerungskomponenten zu gewährleisten (Vermeidung von Durchwurzelung).

Den in Kapitel 6.1 vorgestellten Grundsätzen folgend, wird die Randgestaltung der Oberflächenabdeckung eine nachträgliche Anbindung der Flankenabdeckung in der 2.

Ausbaustufe ermöglichen, jedoch werden die Abdecksysteme voneinander hydraulisch entkoppelt. Die Bauweise der Randgestaltung wird sich dabei an der Bauweise der Plateauabdeckung auf der Bestandshalde orientieren, welche hier nicht Antragsgegenstand ist. Eine Konkretisierung für die Abdeckung der Plateauflächen der hier gegenständlichen Erweiterung erfolgt im Zuge der Genehmigungsplanung.

Die Wasserhaltung der Plateauabdeckung erfolgt auf Basis einer ausreichenden Gefällesituation, die nach den Empfehlungen der GDA E 2-20 > 5 % beträgt. Die durch die Drainmatte gefassten Wässer werden in die KDB gedichteten, offenen Gerinnegräben geleitet und über diese einem doppelt gedichteten Retentionsbereich am Tiefpunkt der Oberflächenabdeckung zugeführt. Die hydraulische Bemessung der Entwässerungseinrichtungen erfolgt im Zuge der Genehmigungsplanung.

Die in den Drainagen und auf der Oberfläche des Abdecksystems anfallenden Wässer werden gefasst, zwischengespeichert und in der Bau- und Initialphase zur Bewässerung der Abdeckung wiederverwendet. Überschüssige Oberflächenwässer werden einer geordneten Entsorgung im Rahmen der dann geltenden Genehmigungen zugeführt. Die Vorgehensweise wird hier analog zur Umsetzung der Plateauabdeckung auf der Bestandshalde gewählt.

### **6.3.1 Bauablauf**

Dem Bauablauf und der anforderungsgerechten Herstellung der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems liegen die Maßgaben der diesbezüglichen technischen Normen und Regelwerke sowie der Zulassungsscheine der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zugrunde.

Vor Errichtung der polymeren Komponenten der Oberflächenabdeckung ist eine Profilierung des Haldenplateaus mit Rückstand vorgesehen. Dieser ist geeignet, um als Feinplanum eine Auflagefläche für die KDB zu bilden; entsprechende Schutzwirksamkeitsnachweise wurden im Rahmen anderweitiger standorteigener Baumaßnahmen bereits erbracht und werden bei Erfordernis im Rahmen der dann gegenständlichen Genehmigungsplanung noch einmal vorgelegt.

Es schließt sich der Aufbau der polymeren Systemkomponenten und daran die Aufbringung der Rekultivierungsschicht an.

Ein besonderes Augenmerk kommt auch in der Bauphase der Wasserhaltung zu. Die zu erwartenden Wassermengen werden konservativ ermittelt, um ihre geordnete Abführung jederzeit gewährleisten zu können.

## **6.4 Nachweise**

### **6.4.1 Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit**

Im Hinblick auf die Standsicherheit der Gesamthalde incl. der Plateauabdeckung wird auf Band 3.18.1E3 verwiesen. Da inklusive der Haldenabdeckung die beantragte Gesamthöhe von 520 m ü NN nicht überschritten wird, ist die Plateauabdeckung im Nachweis der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit mit berücksichtigt.

Durch die Ergreifung geeigneter techn. Maßnahmen in Planung und Umsetzung der Abdeckung kann ein negativer Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit, bis hin zu einem möglichen Versagen des Systems minimiert werden. Zur Gewährleistung der Langzeitgebrauchstauglichkeit des Systems ist vorgesehen, das Plateau dergestalt zu profilieren, dass die Funktionalität der Wasserhaltung infolge der zu erwartenden Setzungen nicht beeinträchtigt bzw. durch eine geeignete, dem Setzungsverhalten entsprechende Profilierung dauerhaft sichergestellt werden kann.

Durch den geringmächtigen Aufbau sowie die jederzeit mögliche Erreichbarkeit kann einem Versagen durch entsprechende Sanierungsmaßnahmen rechtzeitig entgegengewirkt werden.

#### **6.4.2 Eignungsnachweise der Systemkomponenten sowie des Systemverbundes Rückstandshalde -Oberflächenabdeckung**

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der polymeren Systembestandteile (Kunststoffdichtungsbahn, Kunststoffdrän-Dränelement) für einen Betrachtungszeitraum von  $\geq 100$  a gemäß Kap. 2.1.1 des Anhangs 1 der DepV ist nach Kap. 2.4, Anhang 1 DepV über den Zulassungsschein der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) abgedeckt.

Der Nachweis der Schutzwirksamkeit frischen Rückstandssalzes als Auflager für Kunststoffdichtungsbahnen wurde bereits vorlaufend zur Umsetzung der Baumaßnahmen zur hydraulischen Trennung erbracht und während der Bauausführung großflächig bestätigt.

Im Rahmen der Genehmigungsplanung erfolgt insbesondere für das Kunststoff-Dränelement der projektbezogene Nachweis hinsichtlich

- der langfristigen hydraulischen Leistungsfähigkeit,
- der Filterstabilität gegenüber der Rekultivierungsschicht sowie
- der Schutzwirksamkeit der Drainagematte gegenüber Kunststoffdichtungsbahn und Rekultivierungsboden.

Der Nachweis der prinzipiellen Eignung werks- und standorteigenen Bodenmaterials zu Rekultivierungszwecken wurde auf Grundlage des Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 7-1 im Rahmen eines Prüffeldes erbracht.

### **6.5 Monitoring und Instandhaltung**

#### **6.5.1 Bauphase**

Im Rahmen der Bauphase ist ein Qualitätsmanagement nach GDA-Empfehlung 5.1 vorgesehen. Der Qualitätsmanagementplan wird im Vorfeld der Bauausführung der Behörde zur Zustimmung vorgelegt.

#### **6.5.2 Betriebsphase**

Der Umfang der Monitoringmaßnahmen orientiert sich an Anhang 5 der DepV 2020 und erfolgt unter Anpassung / Ergänzung an die Standortgegebenheiten der Kalirückstandshalden. Konkret



soll das im Zuge der Plateauabdeckung der Bestandshalde zu etablierende Monitoring im Hinblick auf die Umweltaspekte Oberflächenwasser, Haldenwasseranfall und Verformungsverhalten der Rückstandshalde auf die Erweiterungsfläche übertragen werden. Der notwendige Messturnus ist im Zuge der Genehmigungsplanung auf Basis der dann vorliegenden Erfahrungen zur Plateauabdeckung der Bestandshalde zu konkretisieren.

Die Plateauabdeckung wird nach ihrer Errichtung Bestandteil des bestehenden Überwachungsplanes des Standorts Hattorf. Eine regelmäßige Pflege des Systems (Mahd, Bewässerung, Nachsaat, Vermeidung Verbuschung / Ansiedlung höherer Gehölze) wird im Überwachungsplan verankert. Im Rahmen der Überwachungsmaßnahmen gem. §22a ABergV werden zudem entsprechende regelmäßige betriebliche Kontrollen und ggf. Instandhaltungsmaßnahmen der Abdeckung erfolgen. Da das System stets zugänglich ist und die verbauten Materialien keinen Einschränkungen in ihrer Verfügbarkeit unterliegen, kann eine Instandhaltung bzw. Sanierung auch über die Betriebsphase hinaus jederzeit gewährleistet werden.

## 7 Zusammenfassung

Die K+S betreibt am Standort Hattorf, Werk Werra, die Gewinnung und Aufbereitung von Kalirohsalzen. Die dabei entstehenden Rückstände werden auf einer Rückstandshalde abgelagert, deren genehmigte Aufstandsfläche voraussichtlich im September 2018 erschöpft sein wird. Zur Sicherung des Standortes wird derzeit die Umsetzung einer Haldenerweiterung südöstlich im Anschluss der bestehenden Rückstandshalde geplant.

Das technische Konzept der Haldenerweiterung umfasst ein Beschüttungskonzept im kombinierten Schüttverfahren, welches einerseits die Beanspruchung des Untergrunds und des Systems Basisabdichtung minimiert, und andererseits an das Haldenkörperverhalten derart angepasst ist, dass die Ausbildung des hydraulisch inaktiven Haldenkerns begünstigt wird.

Zur Reduzierung des Sickerwassereintrages in den Untergrund ist darüber hinaus die Errichtung eines Systems Basisabdichtung, bestehend aus einer zweilagigen mineralischen Dichtung sowie haldeninterne und -externe Entwässerungselemente geplant. Es ist sichergestellt, dass das System Basisabdichtung die Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit unter dem Einfluss der nicht vermeidbaren haldentypischen chemischen und mechanischen Beanspruchungen (Salzwasserangriff, Verformungen des Untergrundes infolge Haldenauflast und Viskoplastizität) beibehält. Für das System Basisdichtung werden 2 Varianten zur Ausführung beantragt.

Zum Nachweis des Systems Basisabdichtung wurden neben dem Stand der Technik entsprechende Untersuchungen sowie darüber hinaus die Haldenkörperspezifik berücksichtigende Versuche (Kompressionsversuche mit realen Auflasten, CT-Untersuchungen zur zerstörungsfreien Visualisierung des Verhaltens der oberen und unteren Dichtungsschicht nach Verformung, Wasserdurchlässigkeitsuntersuchungen mit Haldenwasser) durchgeführt (weitergehende Informationen vgl. Band 3.29.2N3). Die Herstellbarkeit der mineralischen Dichtung unter Berücksichtigung der Einbauparameter (Lagenstärke, Einbautrockendichte, Einbauwassergehalt, Oberflächenbeschaffenheit) wurde zunächst im Pilotvorhaben am Standort Zielitz und nach Zulassung der Phase 1 der Haldenerweiterung am Standort Hattorf im Rahmen von deren Umsetzung auf einer Fläche von rd. 27 ha sowie im Zuge des 1. Bauabschnitts der Haldenerweiterung am Standort Wintershall auf einer Fläche von ca. 11 ha nachgewiesen. [Das für Phase 3 beantragte und auf diesen Nachweisen basierende optimierte System wurde zwischenzeitlich für Phase 2 zugelassen und auf einer Fläche von rd. 8,8 ha umgesetzt.](#) Darüber hinaus liegen aus dem Dichtungsbau im Rahmen der Haldenerweiterung Zielitz (HKE II) weitere Erfahrungen mit einem zur Variante 2 gleichartigen Materialkonzept vor. Aufbauend auf den vorliegenden Nachweisen und Erfahrungen zur Errichtung des Systems Basisabdichtung erfolgte eine Optimierung des Systems und die Beantragung von 2 Varianten zur Ausführung.

Für diese hier gegenständlichen Varianten des optimierten Systems Basisabdichtung zur Errichtung in der Phase 3 wurde jeweils die Gleichwertigkeit zu dem bisher eingesetzten System nachgewiesen.

Die haldeninduzierten Belastungen und daraus resultierenden Verformungen in den Bereichen Böschungsfuß und Haldenvorland werden durch eine geänderte Böschungskontur bzw. durch die Errichtung einer Berme reduziert. Im berechneten Umfang sind sie für das System Basisabdichtung verträglich und ohne Einfluss auf ihre Funktion (vgl. Kapitel 5.3.3). Sollte es doch zu einer Beeinträchtigung der Funktionalität und Wirksamkeit der im Haldenvorland

befindlichen Entwässerungssysteme durch unvermeidbare Verformungen kommen, können diese aufgrund ihrer Zugänglichkeit durch Instandsetzungsmaßnahmen wiederhergestellt werden.

Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass die mineralischen Dichtungen hinreichende Beständigkeit und Dichtigkeit gegen Haldenwasser besitzen. Sie sind unter den gegebenen Standortbedingungen technisch herstellbar und die mechanischen Verformungen können ohne Verlust der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit aufgenommen werden.

Für die flächenhafte Entwässerungsschicht (FES) in der geplanten Mächtigkeit von  $\geq 0,30$  m wurde die ausreichende Dimensionierung gutachterlich nachgewiesen. Eine ergänzende, ortskonkrete Prüfung erfolgt im Zuge der Genehmigungsplanung. Darüber hinaus konnte die Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit der haldeninternen und –externen Entwässerungselemente in Bezug auf deren hydraulische Auslastung und unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verformungen nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 5.3.3).

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, wird ferner eine Plateauabdeckung der Haldenerweiterungsfläche (Phasen 1,2,3) beantragt. Diese ist als 1. Ausbaustufe Teil des Gesamtkonzepts der multifunktionalen standortangepassten Oberflächenabdeckung. Für die polymeren Elemente der Plateauabdeckung sowie für die zum Einsatz vorgesehenen werks- und standorteigenen Böden liegen bereits entsprechende Nachweise vor. Die Nachweise der Dränelemente werden ortskonkret im Rahmen der Genehmigungsplanung erbracht.

Die vorstehend genannte technische Ausstattung der Haldenerweiterung in Phase 3 geht über den einschlägigen Stand der Technik hinaus. Sie trägt den Vorgaben des Anhangs 6 (zu § 22a Abs. 3 Satz 1) der Allgemeinen Bundesbergverordnung (ABBergV) Rechnung, nach welchen die Bildung von Sickerwasser durch geeignete Maßnahmen so weit wie möglich zu vermeiden ist, und führt damit zu einer Minimierung der vorhabenbedingten Umweltauswirkungen.

## Literaturverzeichnis

**BAM 2017:** Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen, Bundesamt für Materialforschung und -prüfung, Fachbereich 4.3, 8. Auflage, Mai 2017

**BQS 2-0:** LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-0, Mineralische Basisabdichtungskomponenten - übergreifende Anforderungen, vom 04.12.2014

**BQS 2-1:** LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-1, Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen, 04.12.2014

**BQS 2-2:** LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-2 Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen, 04.12.2014

**DepV 2020:** Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung-DepV), Ausfertigungsdatum 04.07.2020, Zuletzt geändert durch Artikel 2 V. v. 30.06.2020 BGBl. I S. 1533

**GDA E2-7:** Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen; GDA-Empfehlungen; 3. Auflage 1997 S.111, Bautechnik 9/1998, Bautechnik 9/2008, Überarbeitung 8/20015, Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt, Bauhaus-Universität Weimar

**GDA E2-13:** Verformungsnachweis für mineralische Abdichtungsschichten GDA-Empfehlungen, 3. Auflage 1997 S.135, Überarbeitung 4/2010

**GDA E2-20:** Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen, GDA-Empfehlungen, 3. Auflage 1997 S.185, Bautechnik 9/2000, Bautechnik 9/2003, Überarbeitung 5/2015

**GDA E2-31:** Rekultivierungsschichten, Bautechnik 9/2000, Bautechnik 9/2006, Überarbeitung 6/2010.

**GDA E2-38:** Tonmineralogisch orientierte Kombination in Basisabdichtungssystemen, GDA-Empfehlungen, Bautechnik 9/2003, Überarbeitung 11/2008, Überarbeitung 4/2017

**IK/upi 2009:** Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH, Konzeptstudie zur Entwicklung einer emissionsarmen Haldenwirtschaft, Bericht Nr. IK/UPI-02, 31.08.2009

**Kali und Salz GmbH 1996:** Zusammenfassende Information über Rückstandshalden, Dichtigkeit des Haldenkerns vom 02.07.1996, Rahmenbetriebsplan Westerweiterung der Halde Neuhof-Ellers, Anlage A.3-3

**MWEI BREF 2018:** Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries. In accordance with Directive 2006/21/EC. European commission, JRC science for policy report.

**Rauche 2015:** Rauche H., Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert, Stand der Technik bei der Rohstoffgewinnung sowie bei der Entsorgung der dabei anfallenden Rückstände, ©Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015 (ISBN 978-3-662-46833-3)

**Schneider 2012:** Bautabellen für Ingenieure, 20. Auflage 2012, Werner Verlag, ISBN: 978-3-8041-5251-9

**TR LAB 2020:** 4. Länderausschuss Bergbau: Anforderungen an die Verwertung von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage - Technische Regeln (TR Bergbau), Stand November 2020.