

# **Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) - Phase 2**

**Band 1.1.1E2 der Antragsunterlage**

**Technisches Konzept**

Vorhabenträger:

Standort Hattorf  
Werk Werra  
Postfach 1163  
36267 Philippsthal



Generalplaner:

upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH  
Breite Straße 30  
39576 Stendal



Christian Artschwager  
Sachgebietsleiter Geotechnik



Hanka Poppitz  
Teamleiterin Halden

## Impressum

Fassung: 22.06.2021  
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) entwickelt. Des Weiteren ist als Sickerwasserminimierungsmaßnahme eine hydraulische Trennung auch in Phase 2 der Haldenerweiterung vorgesehen.

Inhalte des vorliegenden Bandes sind:

- **Verminderung des Eintrages von Haldenwasser der Erweiterung in die Bestandshalde** durch die Errichtung einer hydraulischen Trennung
- Ermittlung der **maßgebenden haldenspezifischen chemischen und mechanischen Beanspruchungen** zur Bemessung des Systems Basisabdichtung
- **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
- **Nachweis der Gleichwertigkeit** des für Phase 2 optimierten Systems 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

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	9
Abkürzungsverzeichnis .....	10
Anlagenverzeichnis.....	12
1      Veranlassung.....	13
2      Technische Maßnahmen zur Minimierung .....	14
2.1     Hydraulische Trennung von Bestandshalde und Erweiterung .....	14
2.1.1   Systembeschreibung .....	14
2.1.2   Fließwege im Haldenkörper .....	18
3      Grundlagen zur Entwicklung und zum Nachweis des Systems Basisabdichtung .....	21
3.1     Begriffsdefinition .....	21
3.2     Haldenkörperverhalten.....	21
3.2.1   Chemisches Haldenkörperverhalten .....	21
3.2.2   Mechanisches Haldenkörperverhalten .....	22
3.2.3   Hydraulisches Haldenkörperverhalten.....	22
3.3     Beurteilung und Einordnung der Rückstandshalden aus fachtechnischer Sicht .....	24
3.4     Stand der Technik von Dichtungssystemen .....	24
3.4.1   Überblick.....	24
3.4.2   Stand der Technik im Deponiebau/ Prüfung der Anwendbarkeit von Dichtungssystemen aus dem Bereich Deponiebau .....	26
3.4.2.1   Prüfung der Anwendbarkeit des Multibarrierenkonzeptes für Deponien .....	26
3.4.2.2   Prüfung der Anwendbarkeit einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB).....	27
3.4.2.3   Prüfung der Anwendbarkeit einer Asphaltabdichtung.....	28
3.4.2.4   Prüfung der Anwendbarkeit von Bentonitmatten .....	28
3.4.2.5   Prüfung der Notwendigkeit einer geologischen bzw. technischen Barriere....	28
3.4.3   Stand der Technik in der Kaliindustrie.....	29

3.4.4	Fazit.....	30
4	Anforderungen an das System Basisabdichtung für Rückstandshalden.....	31
4.1	Grundlagen.....	31
4.2	Mineralische Dichtung.....	32
4.3	Haldeninterne Entwässerungselemente.....	32
4.4	Haldenexterne Entwässerungselemente/ Haldenvorfeldgestaltung.....	33
4.5	Planum und Untergrund.....	33
5	Entwicklung, Beschreibung und Nachweis des Systems Basisabdichtung....	33
5.1	Entwicklung.....	33
5.2	Systembeschreibung .....	35
5.2.1	Gesamtsystem.....	35
5.2.2	Planum/ Untergrundgestaltung .....	36
5.2.3	Zweilagige mineralische Dichtung.....	36
5.2.3.1	Grundsätze zur Entwicklung und zum Nachweis des Systems Basisabdichtung .....	37
5.2.3.2	Nachweis der Gleichwertigkeit mit dem Dichtungssystem aus Phase 1 .....	39
5.2.4	Haldenwasserfassungssysteme.....	40
5.2.4.1	Haldeninterne Fassungssysteme .....	40
5.2.4.2	Haldenexternes Haldenwasserfassungssystem/ Haldenvorfeld .....	47
5.2.5	Anpassung des Systems Basisabdichtung an die rückstandshaldenspezifischen Anforderungen .....	48
5.3	Nachweis des Systems Basisabdichtung .....	51
5.3.1	Nachweis der technischen Machbarkeit.....	51
5.3.2	Nachweis der Wirksamkeit und Funktionalität.....	53
5.3.2.1	Einführung/ Allgemeines .....	53
5.3.2.2	Mineralische Dichtung.....	53
5.3.2.3	Allgemeine Angaben zu den hydraulischen Nachweisen der haldeninternen Entwässerungselemente im Endzustand .....	56
5.3.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit .....	56
5.3.3.1	Grundlagen.....	56
5.3.3.2	Grenzen der Gebrauchstauglichkeit.....	57
5.3.3.3	Modellvorstellungen zur Bewertung der Auswirkungen der Verformungen....	57

---

5.3.3.4	Numerische Untersuchungen - Vorgehen, Ergebnisse und Bewertung.....	60
5.3.3.5	Verformungsbetrachtungen zu haldeninternen Entwässerungselementen ....	67
5.4	Qualitätsmanagementplan .....	69
5.5	Monitoring zum Nachweis der Wirksamkeit, Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit .....	69
5.6	Weitere, parallel zu betreibende Untersuchungen und Forschungsthemen...	70
6	Zusammenfassung .....	71
	Literaturverzeichnis.....	73

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Hydraulische Trennung in Phase 2, Übersicht incl. Bezeichnung der relevanten Entwässerungselemente. Ausschnitt aus Anlage 8N zu Band 1.1, ergänzt um die Bezeichnungen der Phasen 1+2 sowie der Bestandshalde. ....	16
Abbildung 2-2:	Prinzipskizze zur Entwässerung der Bestandshalde und Erweiterung im Bereich der hydraulischen Trennung im Interimszustand ohne Berücksichtigung der Ausbildung eines Haldenkerns unterhalb der hydraulischen Trennung und in der Erweiterung.....	19
Abbildung 2-3:	Prinzipskizze zur Entwässerung von Bestandshalde und Erweiterung im Bereich der hydraulischen Trennung im Endzustand bei ausgebildetem Haldenkern. ....	20
Abbildung 5-1:	Arbeitsschritte zur Entwicklung und zum Nachweis sowie zur Genehmigungsfähigkeit des Systems Basisabdichtung .....	34
Abbildung 5-2:	Schema Haldenquerschnitt mit System Basisabdichtung.....	36
Abbildung 5-3:	Schematische Darstellung des Schichtenaufbaus des Systems Basisabdichtung (mineralische Dichtung mit flächenhafter Entwässerungsschicht) .....	37
Abbildung 5-4:	Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung zum Böschungsfuß).....	45
Abbildung 5-5:	Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung böschungsparell).....	46
Abbildung 5-6:	Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung zum Haldenkern) .....	46
Abbildung 5-7:	Schema Haldenvorfeld mit Anbindung der mineralischen Dichtung an den Haldengraben/ Haldenrandgraben .....	48
Abbildung 5-8:	Modellvorstellung Fest- und Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 54 m) .....	58
Abbildung 5-9:	Modellvorstellung Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 4 m) .....	58
Abbildung 5-10:	Modellvorstellung Stauchung/ Dehnung.....	59
Abbildung 5-11:	Modellvorstellung (Zerrung) .....	59
Abbildung 5-12:	Modellvorstellung nach Krümmung .....	60
Abbildung 5-13:	Lageplan der genehmigten Halde Hattorf und der geplanten Haldenerweiterung sowie mit den Schnittverläufen zu den numerischen Untersuchungen (siehe Band 3.18.1E, Anlage 6, Bild 1) .....	62

Abbildung 5-14:	Maßgebende horizontale Dehnungen und Stauchungen der mineralischen Dichtung unterhalb der Halde im Schnitt A-A' <sub>2018</sub> (vgl. Band 3.18.1E2, Anlage 3, Bild 15).....	63
Abbildung 5-15:	Generalisierte Setzungsmulde unter der geplanten Haldenerweiterung (Band 3.18.1, Anlage 3, Bild 26) .....	65
Abbildung 5-16:	Ermittlung der Setzungsdifferenz .....	65
Abbildung 5-17:	Modellvorstellung Verformung des Entwässerungselementes durch differenzierte Horizontalverformungen.....	68



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1:	Leistungsfähigkeit und Nachweise für die zweilagige mineralische Dichtungsschicht.....	55
Tabelle 5-2:	Grenzen der Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung .....	57
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.....	68
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.....	69

## 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
EEA	Entwässerungselement Abschlag
EEF	Entwässerungselement Fläche
EEHT	Entwässerungselement hydraulische Trennung
EEM	Entwässerungselement Mantelzone
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
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 <sup>1)</sup>	Systemquerschnitte EEM, EEÜ,
A 2.4.2N <sup>1)</sup>	Systemquerschnitt FES, EEA und SP
A 2.4.3N <sup>1)</sup>	Systemquerschnitt EET
<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, Braunschweig
A 6.2 <sup>1)</sup>	Dr. Francisco Núñez-González (2021), Bericht Nr. 1112a, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes von Kiesen (2. Fassung), Braunschweig
<b>A 7<sup>1)</sup></b>	<b>Hydraulische Trennung</b>
A.7.1	bleibt frei
A7.2 <sup>1)</sup>	Schematischer Schnitt hydraulische Trennung
A7.3	bleibt frei
A7.4	Stellungnahme IK IK1754_02
<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 2 Betrachtung der Gleichwertigkeit eines modifizierten Regelaufbaus der Basisabdichtung, Projekt-Nr. 16528
A10.2 <sup>1)</sup>	QMGeo Prüfungsgesellschaft mbH (2021): Systemdurchlässigkeit RMHA, Gleichwertigkeitsbetrachtung.
<b>A11<sup>1)</sup></b>	<b>Lageplan Entwässerung schematische Fließanalyse</b>
<b>A12<sup>1)</sup></b>	<b>Übersicht der bislang erbrachten Materialeignungsprüfungen</b>
<b>A13<sup>1)</sup></b>	<b>Gefälleverhältnisse</b>
A13.1 <sup>1)</sup>	Neigungsanalyse Gelände vor Setzung durch Haldenauflast (Plan identisch mit Anlage 9 zu Band 1.3E2)
A13.2 <sup>1)</sup>	Neigungsanalyse Gelände nach Setzung durch Haldenauflast

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 1.1E2. 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 Haldenfläche der Phase 1 erschöpft sein wird. Zur Sicherung der Produktion am Standort Hattorf bis Ende des Jahres 2024 ist daher eine Erweiterung der bestehenden ESTA-Rückstandshalde erforderlich. Mit diesem Antrag wird nunmehr die ehemalige Phase 2 der Haldenerweiterung gemäß dem RBP 2018 in zwei eigenständige Abschnitte im Sinne des § 52 Abs. 2b BBergG, nämlich in die Phasen 2 und 3 aufgespalten und der bisherige Antrag in Gestalt der 3. Planänderung im laufenden Verfahren für die neue Phase 2 erneut geändert. Die hier gegenständliche Phase 2 umfasst die Entsorgung der festen bergbaulichen Abfälle ab dem Jahr 2023 einschließlich aller mit dieser Entsorgung zusammenhängenden vor- und nachlaufenden sowie begleitenden infrastrukturellen und betrieblichen Maßnahmen. Die Erweiterung der Halde in Phase 3 bleibt einem eigenständigen Planänderungsverfahren vorbehalten. Gegenstand des in Phase 2 beantragten Vorhabens ist eine Haldenaufstandsfläche von ca. 10,8 ha sowie der angrenzende Randstreifen für die Infrastruktur.

In dem vorliegenden Band wird das technische Konzept zur Umsetzung der Haldenerweiterung in Phase 2 vorgestellt. Diesem vorangestellt sind die Grundsätze zur Entwicklung und zum Nachweis des beantragten Systems Basisabdichtung.

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.

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. Das für die Phase 2 beantragte System stellt eine Optimierung des Systems aus Phase 1 dar, dessen Gleichwertigkeit gegenüber dem in Phase 1 eingesetzten System nachgewiesen wird.

Aufbauend auf den Grundsätzen zur Entwicklung und zum Nachweis der Eignung des Systems Basisabdichtung werden der Aufbau, 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 3.29.1N und 3.29.2N beschrieben.

Zum Nachweis der Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung (SyBa) wurde die upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH (im Weiteren upi) mit der Eignungsprüfung der am Standort Zielitz entwickelten zweilagigen mineralischen Dichtung für die Verwendung am Standort Hattorf beauftragt (vgl. Band 3.29.1N: „Nachweise für das System Basisabdichtung im Pilotvorhaben Zielitz“).

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 Eignungsuntersuchungen sind Grundlage für die in der Phase 1 eingesetzte mineralische Dichtung und für deren Optimierung für die geplante Phase 2. Des Weiteren beinhaltet der Band 3.29.2N Eignungsuntersuchungen am modifizierten System Basisabdichtung (Erhöhung der Schichtmächtigkeiten, Einsatz einer flächenhaften Entwässerungsschicht (FES), Einsatz von Trennvliesen), die durch die upi im Dezember 2017 erfolgten.

## **2 Technische Maßnahmen zur Minimierung**

### **2.1 Hydraulische Trennung von Bestandshalde und Erweiterung**

#### **2.1.1 Systembeschreibung**

Um vorhabenbedingte Sickerwassereinträge im Anschüttungsbereich der Erweiterung an die Bestandshalde zu vermeiden, wurde in der Phase 1 eine hydraulische Trennung zwischen Bestandshalde und Haldenerweiterung errichtet. Diese wurde durch eine Dichtung, bestehend

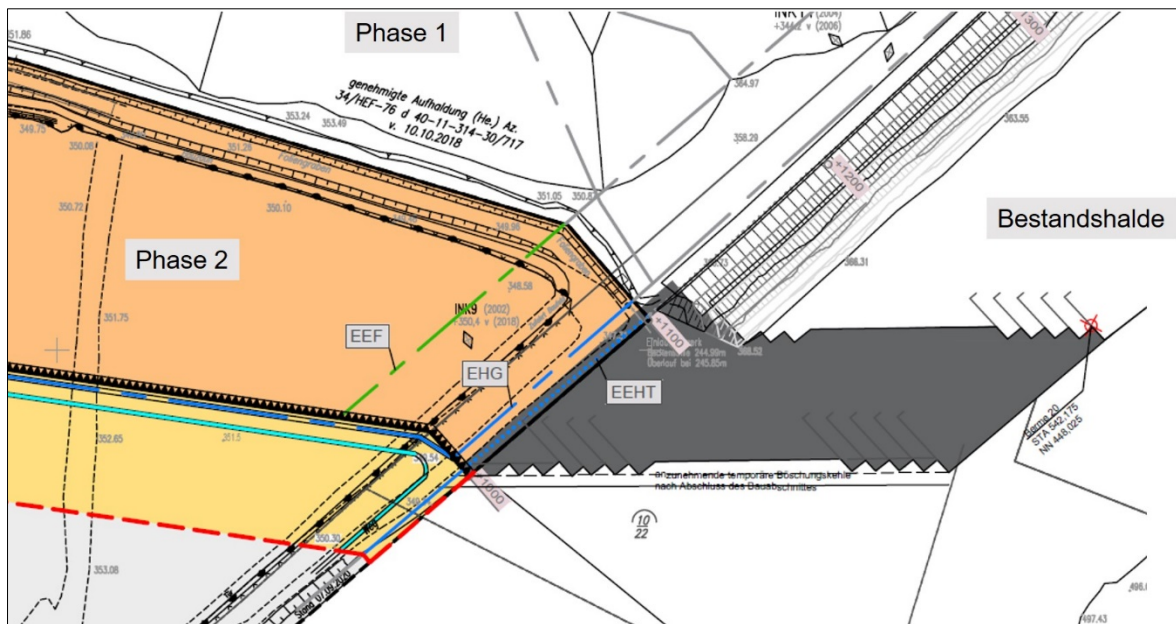
aus einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB), welche im Anschüttungsbereich aufgebracht wird, realisiert.

Zu diesem Zwecke wurde in Phase 1 zunächst die Haldenerweiterung als separate Halde aufgefahren, und dann im Zuge der Verfüllung des Zwischenbereichs parallel zur Beschüttung der Erweiterungshalde die böschungsparelle Dichtung errichtet. Nach erfolgter Verfüllung des Zwischenbereichs entstand so sukzessive wieder ein einheitlicher Haldenkörper. Die Errichtung einer hydraulischen Trennung ist auch für die Phase 2 auf deren gesamter Anschlusslänge an die Bestandshalde (Stat. +1100 bis +1000 der Bestandshalde) vorgesehen (vgl. Anlage 8N zu Band 1.1).

Die technische Umsetzung der hydraulischen Trennung soll gemäß der im Rahmen der Phase 1 erprobten und praktizierten Vorgehensweise auch im Rahmen der Phase 2 erfolgen. Sie orientiert sich an den Ausführungen des SBP HA-10/19 incl. der 1. und 2. Ergänzung und ihre Ausführung wird im Folgenden kurz dargestellt.

Parallel zur Errichtung der hydraulischen Trennung erfolgt die Flächenbelegung der Phase 2 zunächst von der Phase 1 aus, wobei wiederum ein rd. 50 m breiter Zwischenbereich zwischen Bestandshalde und Erweiterungsabschnitt 2 verbleibt. Dieser ist für den Bauzeitraum entwässerungstechnisch durch das Entwässerungselement Fläche (EEF) von der Erweiterungshalde getrennt, welches an das EEF der Phase 1 angeschlossen wird (vgl. Abbildung 2-1). Auch in dem Zwischenbereich wird zunächst das System Basisabdichtung errichtet.

Am Böschungsfuß im Bereich vor der Bestandshalde wird ein haldenfußparalleler Damm errichtet. An beiden Seiten des Damms werden Entwässerungselemente in der Erweiterung (EHG) und am Fuß der Bestandshalde (EEHT) errichtet, um die Abführung des Haldenwassers vor und hinter der hydraulischen Trennung zu gewährleisten (vgl. Abbildung 2-1). Diese werden an die vorhandenen Entwässerungselemente EHG und EEHT der Phase 1 angeschlossen (vgl. Anlage 8N zu Band 1.1).



**Abbildung 2-1: Hydraulische Trennung in Phase 2, Übersicht incl. Bezeichnung der relevanten Entwässerungselemente. Ausschnitt aus Anlage 8N zu Band 1.1, ergänzt um die Bezeichnungen der Phasen 1+2 sowie der Bestandshalde.**

Aus Standsicherheitsgründen wird das Zwischenabdichtungssystem mit einer im Vergleich zum Schüttwinkel des Rückstands flacheren Neigung auf einer abgeflachten Vorschüttung der Althaldenflanke vorgelagert (vgl. Anlage 7.2 zu Band 1.1.1). Hierzu werden, beginnend am Haldenfuß der Bestandshalde, abschnittsweise entsprechende Bereiche der Bestandshaldenböschung mit frischem Rückstand mit einer Böschungsneigung von ca. 1:3 bis 1:2 (in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten) profiliert und somit eine haldenangelehnte Vorschüttung als Planum (Auflager) für die Abdichtung errichtet. Auf dieser Vorschüttung wird die KDB aufgebracht. Auf der Vorschüttung ergibt sich eine Berme, auf der eine Sicherung der KDB durch Ballastierung erfolgen kann. Nach erfolgter Verlegung und Verschweißen der KDB wird der Zwischenbereich zwischen der Bestandshalde und der Erweiterung von der Erweiterungshalde aus mit Rückstand aufgefüllt, und auf diesem die nächste Vorschüttung errichtet. Die Vorschüttungen haben dabei Mächtigkeiten von rd. 5 m. So wird abschnittsweise von unten her die hydraulische Trennung errichtet. Die erste Berme wird zusätzlich eine horizontale KDB erhalten, welche mit der auf die Böschung der Vorschüttung aufgebrachten KDB verschweißt wird. Bei den folgenden Bermen erfolgt eine Verlegung der jeweiligen KDB auf der Böschung mit ausreichender Überlappung. Diese führt zu einer schnellstmöglichen Entwässerung im freien Gefälle in das Entwässerungselement Haldengraben (EHG), welches im Bereich der Haldenerweiterung verlegt ist und somit mit entsprechend hohen Qualitätsanforderungen umgesetzt wurde. Des Weiteren wird durch die überlappende Verlegung eine Überführung von Wässern aus dem Bereich der Bestandshalde in Richtung der Erweiterung ermöglicht, wodurch eine Verminderung möglicher Umweltauswirkungen durch Haldenwässer der Bestandshalde erreicht wird. Durch die konstruktive Ausführung mit vergleichsweise langen Überlappungsweiten und durchgehendem Gefälle sowohl in Richtung des EHG als auch in nördliche Richtung gemäß dem Längsgefälle der hydraulischen Trennung



in Phase 1 (dort Vorflut in nördlichen Randgraben), wird eine schnellstmögliche Ableitung anfallender Haldenwässer sichergestellt und ein Aufstau / Rückstau ausgeschlossen. Dies entspricht der im Rahmen der Phase 1 in Gestalt der 2. Ergänzung zum SBP HA 10/19 zugelassenen Verfahrensweise.

Die Verschweißung der Kunststoffdichtungsbahnen auf den Bermenböschungen erfolgt in erprobter Weise per Doppelnaht. Die Bermen werden mit einem Längs- und Quergefälle von ca. 3 % profiliert, um – wie im vorherigen Absatz erläutert – ein sicheres Ableiten von möglichen Wässern hin zum Tiefpunkt sowie in Richtung Norden sicherzustellen.

Die Ausführung der Arbeiten und die Prüfschritte während der Errichtung der hydraulischen Trennung werden wie in Phase 1 in einem projektbezogenen Qualitätsmanagementplan geregelt.

Die bauzeitliche Wasserhaltung auf den Arbeitsbermen wird im Rahmen der Ausführungsphase in nachfolgenden SBP geregelt.

Die Standsicherheit der Arbeitsbermen wurde mit der geotechnischen Stellungnahme Nr. IK1754/02 zur Standsicherheit der temporären Arbeitsbermen zur Herstellung der hydraulischen Trennung zwischen Bestandshalde und geplanter Haldenerweiterung Hattorf vom 27.04.2018 bereits im Rahmenbetriebsplan zu Phase 1 bewertet. Sie gilt für die Umsetzung der Phase 2 entsprechend und liegt daher als Anlage 7.4 diesem Band bei.

Durch die sukzessive Verfüllung des Zwischenbereichs im Zuge der Errichtung der hydraulischen Trennung entsteht im Endzustand ein einheitlicher Haldenkörper. Nach erfolgter Errichtung der hydraulischen Trennung wird deren Lage vor der Überschüttung mit Rückstandssalz eingemessen (analog zur NB 4.4.11 des PFB 2018 zu Phase 1).

Da die Haupt-Entwässerung der Rückstandshalde in deren Mantelbereich stattfindet, und dort mit entsprechend starken Lösungserscheinungen zu rechnen ist, ist eine Umsetzung der hydraulischen Trennung im endgültigen Haldenmantelbereich im Hinblick auf die Standsicherheit nicht zulässig und soll gem. Anlage 4 zu Band 3.18.1 des RBP 04/09\_HA i.d.F. v. 2018 (Geotechnische Stellungnahme Nr. IK1754/01 zu den Nachweisen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung Hattorf unter Berücksichtigung der hydraulischen Trennung) nicht erfolgen. Im Rahmen der Phase 2 wird kein endgültiger Mantelbereich im Bereich der hydraulischen Trennung bzw. angrenzend an die Bestandshalde entstehen. Im Falle einer vorfristigen Einstellung des Haldenbetriebs vor Anschluss der Phase 3 in diesem Bereich wäre dieser Randbereich mit Rückstand in einer horizontalen Mächtigkeit von 45 m zu überschütten, um die ausreichende Überdeckung des südlichen Endbereichs der hydraulischen Trennung an der Böschungskehle zwischen bestehender und neuer Halde zu gewährleisten.

Die Umsetzung der hydraulischen Trennung ist für den Zeitraum von 2023 bis 2025 vorgesehen. Die Anzahl der im ersten Jahr mindestens zu realisierenden Arbeitsbermen orientiert sich dabei an den Vorgaben des geotechnischen Sachverständigen im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit des Untergrunds. Eine entsprechende Stellungnahme wird auf Ebene des Sonderbetriebsplans vorgelegt. Die Fertigstellung der hydraulischen Trennung wird nachlaufend zu der Beschüttung der Phase 2 erfolgen, da für den Aufbau der Bermen ca.

390.000m<sup>3</sup> Rückstandssalz sowie für die Verfüllung des Arbeitsraumes ca. 1.000.000m<sup>3</sup> Rückstandssalz zu bewegen sind.

### 2.1.2 Fließwege im Haldenkörper

Die grundsätzliche Bewertung der Fließwege, die sich zeitlich in der Bestandshalde und geplanten Haldenerweiterung in Verbindung mit der hydraulischen Trennung ergeben, erfolgte im Band 1.1.1E des zugelassenen RBP 04/09 HA i. d. F. v. 2018 (Phase 1) und wird hier unter den planerischen Aspekten der hydraulischen Trennung auch für Phase 2 wiedergegeben.

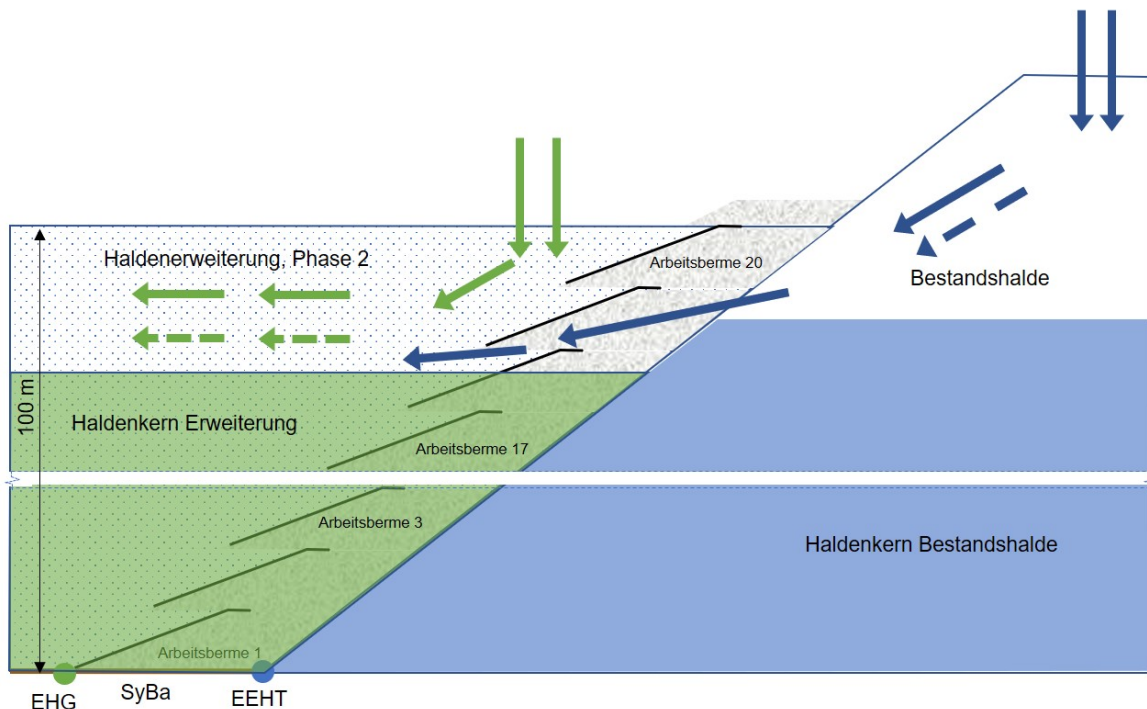
Es ist analog dazu auch für Phase 2 davon auszugehen, dass sich die Anschüttung der unteren Schüttebene der geplanten Haldenerweiterung auf die Haldenzonierung der Bestandshalde auswirkt. Die Last der Anschüttung an die Flanke der Bestandshalde führt im zeitlichen Prozess der Beschüttung und Rückstandskompaktion zum allmählichen „Heranwachsen“ des Haldenkerns der Bestandshalde an seine ehemalige Flanke. Gleichermäßen 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.

Wie vorstehend in Kapitel 2.1.1 dargestellt, erfolgt eine überlappende Verlegung der KDB der hydraulischen Trennung gemäß der zugelassenen Vorgehensweise im Rahmen der Phase 1. Hierdurch entsteht ein hydraulisch offenes System, das einen Abfluss von Haldenwasser vom ungedichteten Bestandshaldenbereich in den gedichteten Erweiterungsbereich erlaubt. Dies stellt unter Berücksichtigung der Ausführungen in Band 3.17 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 Mantelzone hineinführt. Dieser Tatsache kommt die überlappende Verlegung der KDB ohne horizontale Komponente entgegen. Das gewählte technische Konzept für die Zwischenabdichtung ist von der Bestandshalde zur Haldenerweiterung hydraulisch „offen“ und ermöglicht eine Entlastung/ den Abstrom von Haldenwasser, das an der Bestandshalde entsteht, in die Haldenerweiterung (vgl. dazu Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3).

Die hydraulische Trennung führt über die Abschirmung nach oben zu einer verringerten Niederschlagseinzugsfläche an der Bestandshalde, sie behindert aber nicht die dortige Ausbildung der Haldenkernzone. Unabhängig davon ist nicht auszuschließen, dass im Nahbereich der ehemaligen Böschungsflanke und hydraulischen Trennung aufgrund der an das Schüttgefüge gebundenen lokalen/ diskreten Fließzonen auch innerhalb der Kernzone zeitweise geringfügige Wasserführungen verbleiben. Vorteil der hydraulischen Trennung ist, dass sie diese auch ohne hydraulische Trennung grundsätzlich mögliche Situation positiv beeinflussen kann. In jedem Fall ist über die vorgesehenen Entwässerungselemente am Haldenfuß beiderseits der hydraulischen Trennung eine Ableitung gegeben (siehe Abbildung 2-3).



Mögliche Entwässerungspfade im Endzustand (nach Ausbildung eines Haldenkerns)



**Abbildung 2-3: Prinzipskizze zur Entwässerung von Bestandshalde und Erweiterung im Bereich der hydraulischen Trennung im Endzustand bei ausgebildetem Haldenkern.**

Die temporäre und die endgültige Haldenabdeckung auf dem Haldentop der Bestandshalde werden sich zusätzlich günstig auf die Strömungsprozesse auswirken, da der niederschlagsbedingte Sickerwasseranfall durch diese verringert wird. Diese Reduzierung führt zu einer deutlichen Abnahme der am Strömungsprozess beteiligten Haldenwassermenge. Auch ohne Erreichen der für die Haldenkernzone charakteristischen Rückstandsdichten aufgrund der geringeren Haldenhöhe in Phase 2 (Realisierung nur der unteren Schütteebe) ist daher zu erwarten, dass bereits in der Mantel- und Übergangszone der ursprünglichen Böschungsflanke in Verbindung mit der Möglichkeit zum Übertritt der Wässer in den Erweiterungsbereich die Strömungsprozesse/ Fließwege in einen nahezu inaktiven Zustand übergehen. 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.

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 Böschungszwickel zwischen Haldenkern der Bestandshalde und der hydraulischen Trennung, da die Längskomponente der Strömungsprozesse/ Fließwege den Anstrom in Richtung hydraulische Trennung vermindert.

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

#### **3.1 Begriffsdefinition**

Unter dem Begriff „System Basisabdichtung“ werden im Folgenden die zweilagige mineralische Dichtungsschicht mit allen die Entwässerung fördernden Maßnahmen zusammengefasst (vgl. Kapitel 5.2).

#### **3.2 Haldenkörperverhalten**

Das Haldenkörperverhalten ist für die Auswahl und Dimensionierung der technischen Einrichtungen - „System Basisabdichtung“ und Infrastruktureinrichtungen (z.B. Umfahrungsweg, Zaunanlage, sonstige Bauwerke) von besonderer Bedeutung. Dabei muss zwischen dem mechanischen, dem chemisch-mineralogischen und dem hydraulischen Haldenkörperverhalten unterschieden werden. Die Kenntnis der vorstehenden Gesichtspunkte ist wesentlich bei der Materialauswahl und Bestimmung des Materialverhaltens im Hinblick auf die technische Machbarkeit, Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit.

##### **3.2.1 Chemisches 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).

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).

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 1.1.3E2: „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.

### **3.2.2 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. Band 1.1E2) und eine angepasste Böschungsgeometrie auf ein für das System Basisabdichtung verträgliches Maß verringert. Dies gilt erst recht für die Phase 2, in welcher nur eine Aufhaltung der unteren Schüttebene mit einer Höhe von rd. 100 m im Endzustand erfolgt.

### **3.2.3 Hydraulisches Haldenkörperverhalten**

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. Eine hydraulisch aktive äußere Mantelzone, ca. 45 m mächtig; eine sich daran anschließende hydraulisch sehr wenig aktive Übergangszone, ca. 45 m bis 65 m mächtig und eine quasi hydraulisch inaktive Kernzone. D. h. das Haldenwasser gelangt über die hydraulisch aktiven Bereiche zum Abfluss. Dort bewegt es sich gemäß den Erkenntnissen aus Band 3.17 auf in Folge der Löslichkeit des Rückstandes gebildeten, bevorzugten Sickerwasserwegen.

Es ist davon auszugehen, dass sich auch unter der geplanten unteren Schüttebene, 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: Rahmenbetriebsplan Westerweiterung Halde Neuhoof-Ellers (2000): Zusammenfassende Informationen über Rückstandshalden – Dichtigkeit des Haldenkerns und Band 3.17).

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).

Gleiches gilt auch für die Ausbildung der bevorzugten Wegsamkeiten innerhalb des Haldenkörpers. Wie ebenfalls in Band 3.17 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.

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.

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

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

### **3.3 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.

### **3.4 Stand der Technik von Dichtungssystemen**

#### **3.4.1 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 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 Deponierrichtlinie 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.

Obwohl die DepV aus den oben genannten Gründen nicht herangezogen werden kann, wurde geprüft, inwieweit sich das Basisabdichtungssystem im Sinne der Deponieverordnung (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.

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

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

Das Multibarrierenkonzept für Deponien basiert auf den im Kapitel 3.4.1 beschriebenen grundsätzlichen Anforderungen.

Die Auswahl der zum Einsatz kommenden Baumaterialien für Deponien unterliegt bezüglich der technischen Anforderungen den Maßgaben der DepV und dem Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard. Ausgewählte Materialien, z. B. Kunststoffdichtungsbahnen, sind nach den Richtlinien des Bundesamtes für Materialforschung unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen (Schadstoffinventar etc.) zertifiziert. Die Eignung der zum Einsatz kommenden Baumaterialien ist vorhabengebunden 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 Multibarrierenkonzept ist auf Rückstandshalden 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 Verhalten 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. 5.6). Eine dünnsschichtige Abdeckung von Großhalden ist als Zukunftstechnologie („emerging technique“) Gegenstand des MWEI-BREF BAT 2018 (dort Kap. 6.3).

#### **3.4.2.2 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.

#### **3.4.2.3 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.

#### **3.4.2.4 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 Haldenaufkast besteht die Gefahr des Versagens infolge unzulässiger Dehnungen.

#### **3.4.2.5 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 3.2.1 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 3.2.1).

### 3.4.3 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.

#### **3.4.4 Fazit**

Die abfallrechtspezifischen bau- und materialtechnischen Anforderungen gem. DepV 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.

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

### **4.1 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 3.2). 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 3) sind nachfolgend zusammengefasst:

- Mechanische Widerstandsfähigkeit unter der Haldenaufast 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 Neigungsverhältnisse vor und nach Setzungen;
- sichere randliche Fassung und Ableitung des gefassten Haldenwassers in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase.

## 4.2 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).

## 4.3 Haldeninterne Entwässerungselemente

Die Entwässerung des Haldenkörpers erfolgt unter Berücksichtigung des zu erwartenden Haldenkörperverhaltens und der Herausbildung hydraulisch unterschiedlich aktiver Haldenbereiche (vgl. Kapitel 3.2) 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.



#### **4.4 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 abschnittswisen 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.

#### **4.5 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

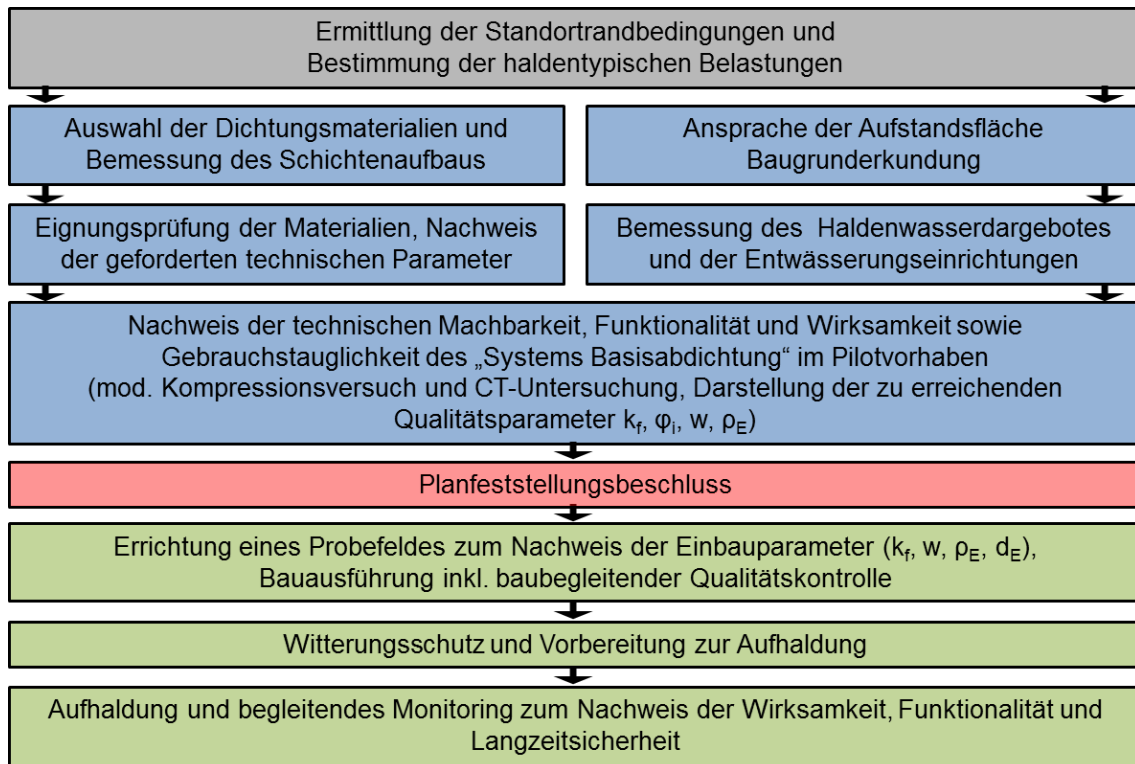
### **5 Entwicklung, Beschreibung und Nachweis des Systems Basisabdichtung**

#### **5.1 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. 3.4.3).

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. Band 1.1E2). 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 1.1E2).

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 übertrifft.

Aus der Errichtung des Systems Basisdichtung auf einer Fläche von rd. 27 ha im Rahmen der Phase 1 am Standort Hattorf sowie aus dem Bauabschnitt A1-A1 mit einer Flächengröße von rd. 6,75 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.

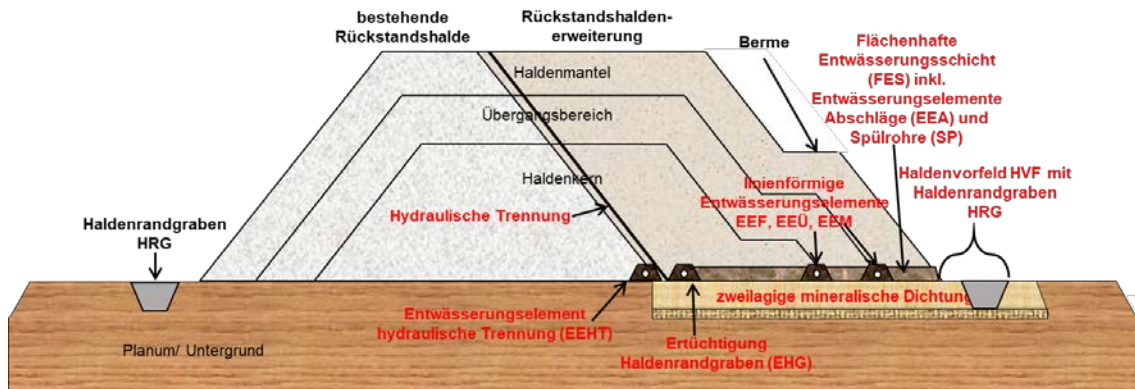
## **5.2 Systembeschreibung**

### **5.2.1 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.

In der Abbildung 5-2 ist das System Basisabdichtung, ergänzt um die Elemente der hydraulischen Trennung (vgl. Kapitel 2.1), schematisch dargestellt.



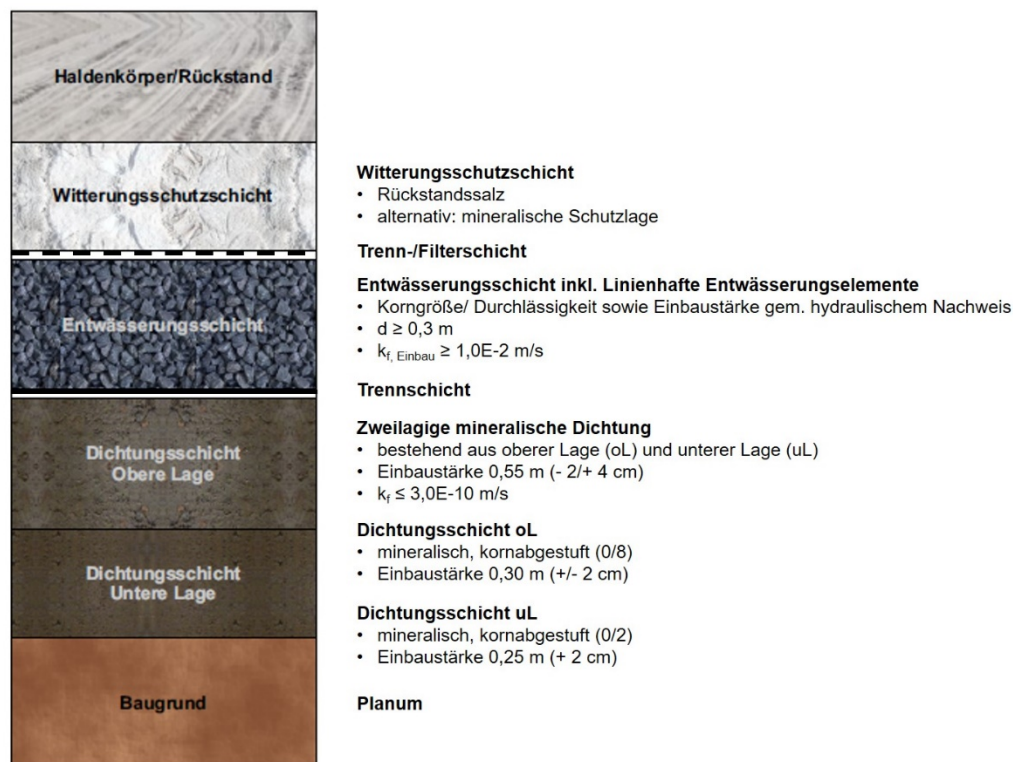
**Abbildung 5-2: Schema Haldenquerschnitt mit System Basisabdichtung**

## 5.2.2 Planum/ Untergrundgestaltung

Die Flächenvorbereitung des Untergrundes ist im Band 1.1E2 beschrieben.

## 5.2.3 Zweilagige mineralische Dichtung

Der gemäß Kapitel 5.1 entwickelte technische Lösungsansatz für die zweilagige mineralische Dichtung erfüllt die im Kapitel 4 beschriebenen haldenspezifischen Anforderungen. Das an der Haldenbasis auf der mineralischen Dichtung anfallende Haldenwasser wird durch das haldeninterne Fassungssystem abgeleitet (vgl. Kapitel 5.2.4). Die nachfolgende Abbildung 5-3 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des technischen Lösungsansatzes für das System Basisabdichtung.



**Abbildung 5-3: Schematische Darstellung des Schichtenaufbaus des Systems Basisabdichtung (mineralische Dichtung mit flächenhafter Entwässerungsschicht)**

### 5.2.3.1 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, 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.

Projektbezogen durchgeführte 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 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. 26,9 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. 6,75 ha anforderungsgemäß hergestellt und freigegeben.

### 5.2.3.2 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. Er 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  $k_f = 4,38E-10$  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) sowie durch rechnerische Vergleichsbetrachtungen.

Die Bewertung liegt als Anlage 10.2 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).

## 5.2.4 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 1.1E2, Anlage 8N). Als Grundsatz wird hierbei jeweils berücksichtigt, dass die Entwässerung nachfolgender Phasen jeweils gegeben ist; die Entwässerung der gegenständlichen Phase 2 aber auch ohne Anschluss der Phase 3 gegeben ist.

### 5.2.4.1 Haldeninterne Fassungssysteme

Die haldeninternen Fassungssysteme der Schüttphasen werden unter Berücksichtigung des Haldenkörperverhaltens (siehe hierzu auch Kapitel 3.2) 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 3.2) 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 8N, Band 1.1E2, schematisch dargestellt. Die in Anlage 1 dargestellte Anzahl der Spülrohre entspricht dabei im Grundsatz

---

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



einem Mindestumfang, welcher im Rahmen der nachgeschalteten Ausführungsplanung bedarfsweise erhöht wird. Davon ausgenommen sind die Entwässerungselemente Abschlag (EEA), sofern es fachlich die Funktion und/ oder Herstellbarkeit dieser Entwässerungselemente begründet und die erforderlichen hydraulischen Nachweise erbracht werden können.

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)

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 1.3E2 wird auf Basis der Berechnungen nach GDA E2-20 gezeigt, dass die maximale Einstauhöhe in der FES im Bereich der Phase 2 unter Ansatz konservativer Randbedingungen bei 4,4 cm liegt. Gemeinsam mit den nun vorliegenden Betriebserfahrungen

aus Bau und Betrieb der Phase 1 und diesen neuerlichen Berechnungen zu Phase 2 wird deshalb die Umsetzung der FES in einer reduzierten Mächtigkeit von  $d \geq 30$  cm beantragt (siehe auch Abbildung 5-3). Eine Reduzierung der Mächtigkeit ist gemäß den Vorgaben der DepV 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 1.3E2 für die Flächen der Phase 2 grundsätzlich erbracht. Eine FES mit einer Stärke von  $d \geq 30$  cm bietet ausreichend Sicherheit im Hinblick auf den errechneten maximalen Einstau von 4,4 cm. 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 1.3E2 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  $k_f > 1 \cdot 10^{-1}$  m/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.

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 Abhängigkeit von den betrieblichen Randbedingungen wird im Rahmen der Genehmigungsplanung über die Notwendigkeit einer Unterteilung der Fläche in Jahresscheiben entschieden. An den sich ggf. 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. der Ausbau des temporären Haldenrandgrabens zu einem **EHG**.

Im Anschlussbereich der Bestandshalde zur Haldenerweiterung wird am Fuß der hydraulischen Trennung, d.h. auf der Seite der Haldenerweiterung, ein weiteres EHG angeordnet. Es nimmt das bis zur Ausbildung des Haldenkerns auf der KDB-Dichtung der hydraulischen Trennung abfließende Haldenwasser auf. Hinter der KDB-Dichtung der hydraulischen Trennung, d.h. auf der Seite der Bestandshalde, wird das Entwässerungselement hydraulische Trennung (**EEHT**) errichtet, welches zur Aufnahme und Ableitung des an der Haldenbasis austretenden Haldenwassers konzipiert ist. Die Wirkung des EEHT besteht solange, wie es sich in der hydraulisch aktiven Mantel- und Übergangszone befindet. Das EHG und EEHT der hydraulischen Trennung sind im Detail in Anlage 7.2 dargestellt (vgl. auch Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3).

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

Die Fließwege innerhalb der Halde sind auf Grundlage erster Vorüberlegungen zur Geländeprofilierung in einer schematischen Fließanalyse in der Anlage 11 dargestellt und werden nachfolgend der Erläuterung zur Anordnung der linienförmigen haldeninternen Fassungselemente zu Grunde gelegt. Die Profilierung des Geländes soll dergestalt erfolgen, dass sich in dem südlich an die Phase 1 angrenzenden Teil der Phase 2 kein nach innen

gerichtetes Gefälle auf die Phase 1 zu entsteht, sondern die Entwässerung dort auf das zu verlängernde EET der Phase 1 gerichtet ist, bzw. in deren östlichem Teil auf das EEÜ. Im westlichen Teil der Phase 2 sind die Fließrichtungen hauptsächlich nach Nordnordost gerichtet, auf die Tiefenlinie des Ochsengrabens hin. Daher wird zusätzlich zu dem in der Phase 1 vorhandenen EET der westliche bis südwestliche Haldenrandgraben um die Phase 1 im Abschnitt zwischen dem EEÜ und dem Schnittpunkt des EET mit der Grenze zwischen Phase 1 und Phase 2 als EHG ertüchtigt.

Im Zuge der Beschüttung der Phase 2 werden die an der Nordseite der Phase 1 befindlichen Entwässerungselemente in der Mantelzone (EEM) und der Übergangszone (EEÜ) entlang der Grenze der Phase 2 im entsprechenden Abstand weiter nach Süden geführt, wo die Phase 3 angrenzt. Hierdurch wird eine Fortsetzung der Elemente in der Phase 3 bis an den südlichen Bereich der Bestandshalde gewährleistet. Unterstützt werden diese böschungsparellen 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 Auf- und Abtragsplanung werden die Betrachtungen zu den Fließwegen und den erforderlichen Entwässerungselementen konkretisiert. Die Darstellung im Rahmenbetriebsplan enthält einen Mindestumfang.

In Bereichen mit parallelem bis nach innen gerichtetem Geländegefälle stellen die linienhaften EE sicher, 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.

Die Haldenwasserinfiltration aus der Phase 2 in die Bestandshalde wird durch die hydraulische Trennung verhindert (vgl. Kapitel 2.1 und Anlage 7). Im Zuge der hydraulischen Trennung ist die Anlage von Entwässerungssystemen im Bereich der Bestandshalde (Entwässerungselement hydraulische Trennung (EEHT)) und einer Ertüchtigung Haldenrandgraben (EHG) auf der Seite der Phase 2 vorgesehen.

Im Bereich der Kernzone der Phase 2 werden Entwässerungselemente auf der Fläche (EEF) unter Berücksichtigung der standortmorphologischen Gegebenheiten und der Gestaltung der Bauabschnitte so errichtet, dass eine Entwässerung zu jedem Zeitpunkt gegeben ist. Ein EEF wird an der Grenze des Zwischenbereichs zwischen Erweiterungshalde und Bestandshalde errichtet. Dieser Bereich bleibt von der Beschüttung zunächst ausgespart, um die Errichtung der hydraulischen Trennung realisieren zu können (vgl. Kapitel 2.1).

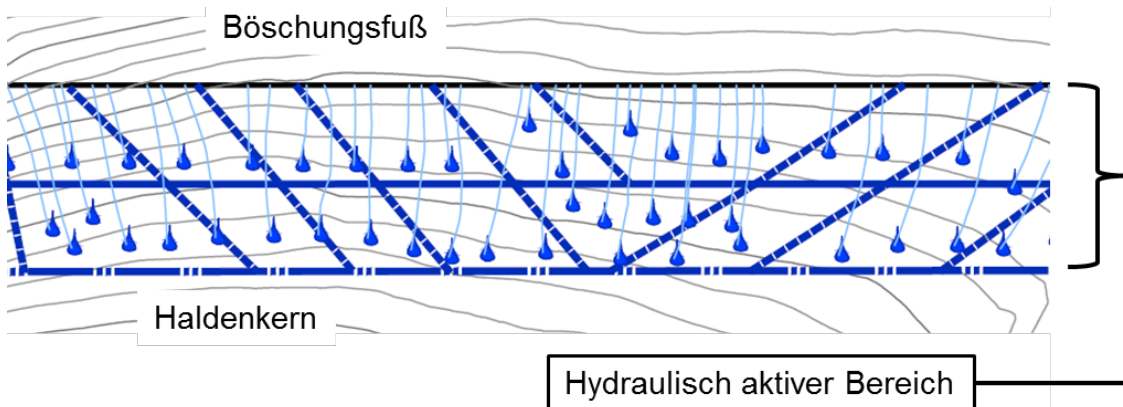
### **Wirksamkeit der linienförmigen Entwässerungselemente unter Berücksichtigung des Planungsgefälles**

In den folgenden Abbildungen sind exemplarisch mögliche Gefälleverhältnisse auf der Haldenbasis und die daraus resultierenden Entwässerungsbedingungen mittels Fließanalyse dargestellt. 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 Abschlüge (EEA)

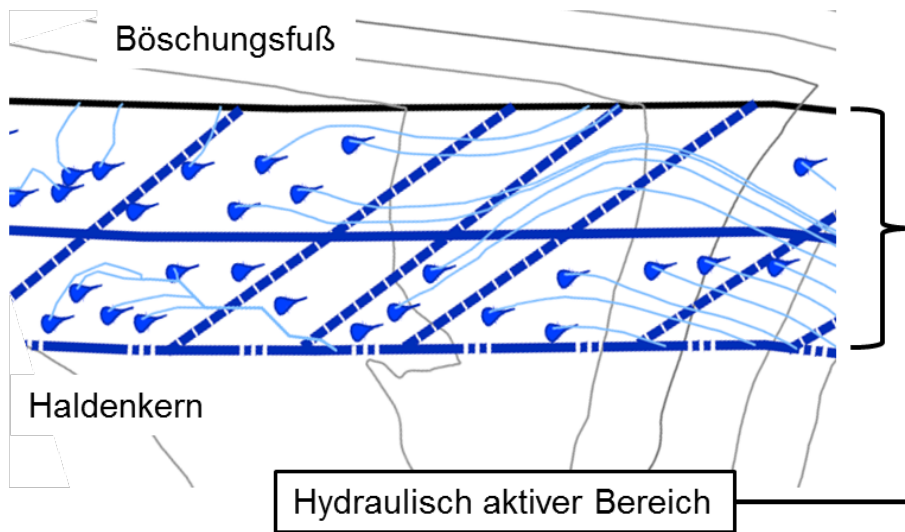
Vergleichbare Darstellungen mit Fließanalysen enthalten die Anlagen 7.1 und 7.2 im Band 1.1E2.

Die Abbildung 5-4 zeigt die Neigung der Aufstandsfläche bzw. die Entwässerungsrichtung in Richtung Haldenfuß und steht damit stellvertretend für die Nordseite der Haldenerweiterung. Die Hauptentwässerungsfunktion übernimmt hier die FES.



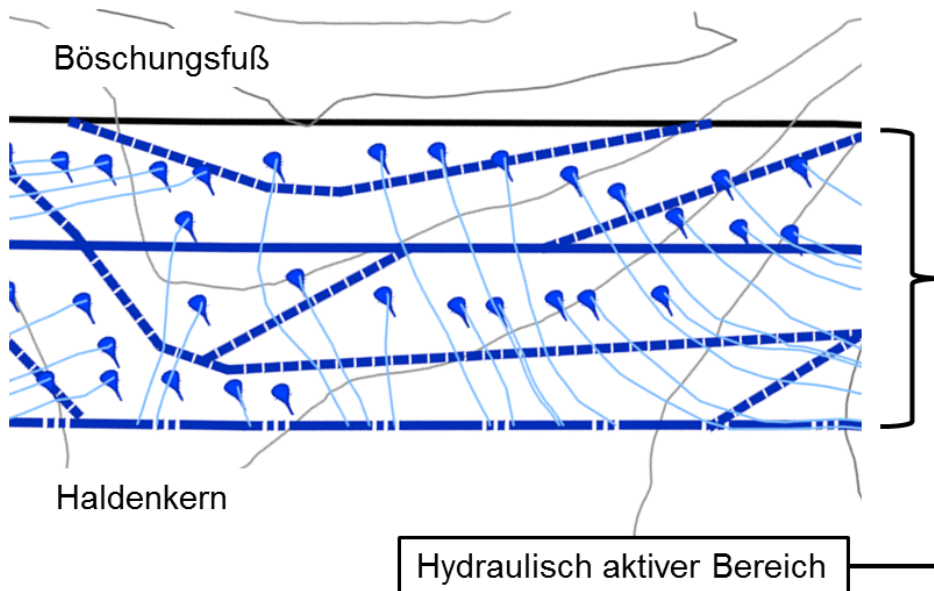
**Abbildung 5-4: Fließwege in der Mantelzone (Entwässerungsrichtung zum Böschungsfuß)**

In Abbildung 5-5 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 5-5: 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 Abschlüsse (EEA) im freien Gefälle aus der Halde geführt (vgl. Abbildung 5-6). Entsprechende Haldenrandabschnitte bestehen vor allem im Süden der Haldenerweiterungsfläche im Bereich der Phase 3 und diese Situation ist damit für Phase 2 nicht relevant, insbesondere aufgrund der geplanten Flächenprofilierung, wie zuvor in diesem Kapitel beschrieben (vgl. auch Anlage 11).



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

Die Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 verdeutlichen die grundsätzliche Erfordernis und Funktion der linienhaften EE im haldeninternen Entwässerungssystem.

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.

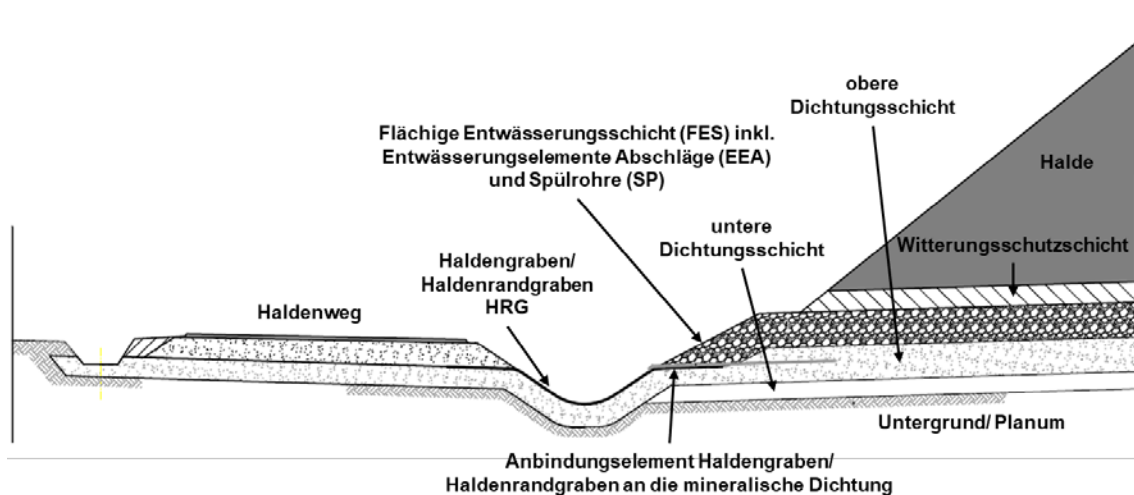
Die potentielle Lage der einzelnen Entwässerungselemente innerhalb des Haldenkörpers für den Endzustand der Haldenerweiterung ist in der Abbildung 5-2 sowie im Band 1.1E2 Anlage 8N schematisch dargestellt. Die in Anlage 1 dargestellte Anzahl der Abschlüsse (EEA) und Spülrohre entspricht dabei einem Mindestumfang, welcher im Rahmen der nachgeschalteten Ausführungsplanung bedarfsweise erhöht wird.

#### **5.2.4.2 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 5-7). 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 5-7: Schema Haldenvorfeld mit Anbindung der mineralischen Dichtung an den Haldengraben/ Haldenrandgraben**

Die Regelquerschnitte zur Infrastruktur mit Darstellung der Haldenrandgräben sind dem Band 1.1E2, Anlage 4 und 5, zu entnehmen.

### 5.2.5 Anpassung des Systems Basisabdichtung an die rückstandshaldenspezifischen Anforderungen

Nachfolgend wird zusammenfassend dargestellt, wie die in Kapitel 3.2 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 3.2) 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 ( $\varphi_i$ ) und das mechanische Verformungsverhalten (Biegeradius). Der Nachweis dieser verbesserten Eigenschaften erfolgte durch materialtechnische Laborversuche ( $\varphi_i$ ) 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 und die nachgewiesene Größe der hydraulischen Widerstandsfähigkeit ( $k_f$ -Wert) 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 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 wird im Taltiefsten (Ochsengraben) ein Entwässerungselement vorgesehen, 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 Abschnittsgrenzen, 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. Durch die Modifizierung des an der Bestandshalde angewendeten Flankenschüttverfahrens (vgl. Band 1.1E2, Kapitel 7.1), in Kombination mit dem in Band 3.18.2E 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. Im Rahmen der Phase 2 ist zunächst nur die Umsetzung der unteren Schüttebene auf einer Höhe von rd. 100 m ü. GOK vorgesehen.

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. 3.4.2.2).

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 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.

#### **5.3.1 Nachweis der technischen Machbarkeit**

Das Nachweiskonzept der technischen Machbarkeit beinhaltet die

- Herstellbarkeit des Planums mit den Anforderungen an Gefällelage, Tragfähigkeit und Oberflächenbeschaffenheit,
- Herstellbarkeit der mehrlagigen mineralischen Dichtungskomponente mit den Anforderungen an Einbaulagenstärke, -trockendichte, -wassergehalt, Gefällelage, 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. 26,9 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 Basisdichtung zugelassen und bereits auf einer Fläche von rd. 6,75 ha anforderungsgemäß hergestellt und freigegeben.

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 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

Basisdichtung bestätigen die grundsätzliche technische Machbarkeit des angepassten Systems (siehe Ausführungen in Kapitel 5.2.3.2). 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 15.2 zu Band 1.3E2).

### **5.3.2 Nachweis der Wirksamkeit und Funktionalität**

#### **5.3.2.1 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 Gefällelage 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 Haldenvorfeldes in der Bau-, Betriebs- und Nachbetriebsphase.

#### **5.3.2.2 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 Prüflüssigkeit (Haldenwasserzusammensetzung, gemäß Band 1.1.3E2) und der hydraulische Gradient variiert sowie auch verformte Probekörper untersucht (vgl. Band 3.29.1N und Band 3.29.2N).

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 3.29.2N.

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 15.2 zu Band 1.3E2).

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

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

Kriterien/ Einwirkungen	Leistungsfähigkeit	Nachweise
Dicke	0,55 m (- 2/+ 4 cm) Gesamtstärke 0,30 m (+/- 2 cm) obere Lage, 0,25 m (+ 2 cm) untere Lage	im Rahmen der Bauausführung
Dichtigkeit	Gesamtdurchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 3,0E-10$ 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 suffosionsbeständig)	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 Prüfflüssigkeit Haldenwasser als mehrjährigen Langzeitversuch (seit 2010 am Standort Zielitz, vgl. Band 3.29.1N), 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; Probefeld im Rahmen der Errichtung der Teilabschnitte
sonstige Kriterien	systemverträglich	Probefeld
	frostsicher bis zur ausreichenden Überschüttung	Herstellung in den frostfreien Monaten, Vorschüttung aus Rückstand
	umweltverträglich	Verwendung von Baustoffen (Polymer, Tonmehl, Gesteinskörnungen) gem. Stand der Technik

### **5.3.2.3 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 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 5.2.4.1 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 1 (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 1 vorgelegt.

## **5.3.3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit**

### **5.3.3.1 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.

### 5.3.3.2 Grenzen der Gebrauchstauglichkeit

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. Für die mineralische Dichtung gemäß den Bänden 3.18.1 und 3.18.2 sind die zulässigen Verformungen als Grenzkriterien in der Tabelle 5-2 zusammengefasst.

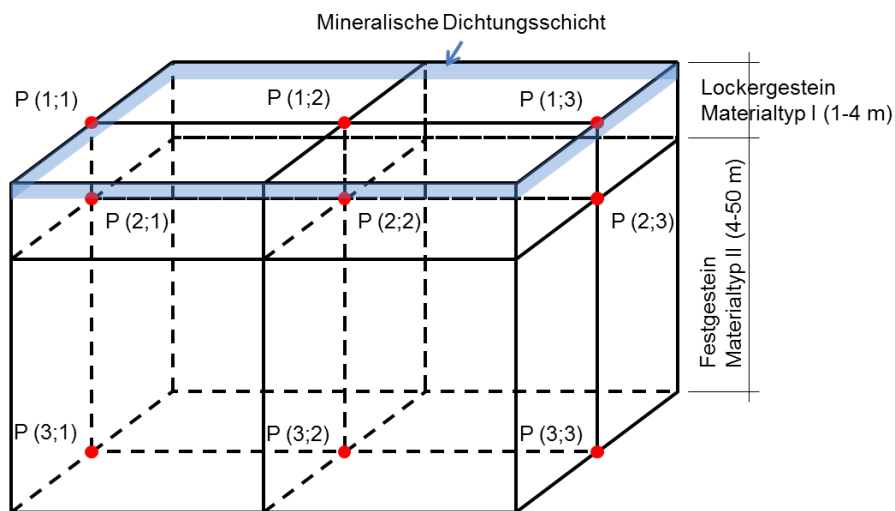
**Tabelle 5-2: Grenzen der Gebrauchstauglichkeit der mineralischen Dichtung**

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

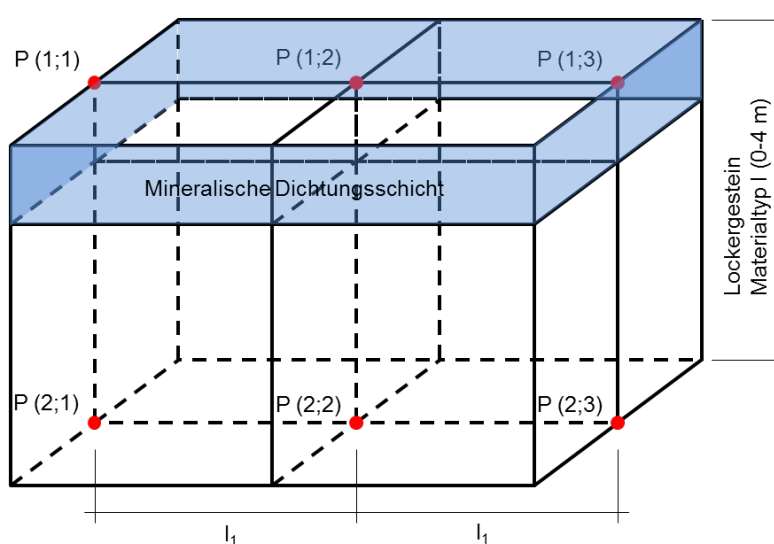
<sup>1)</sup> entspricht bei Volumenkonstanz einer max. Reduzierung der Dicke der Dichtungsschicht auf  $d/2$

### 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 5-8 und Abbildung 5-9 sind die Modelle im Ausgangszustand dargestellt. Hierbei werden unterschiedliche Modelle (Höhe: 54 m und 4 m) berücksichtigt.

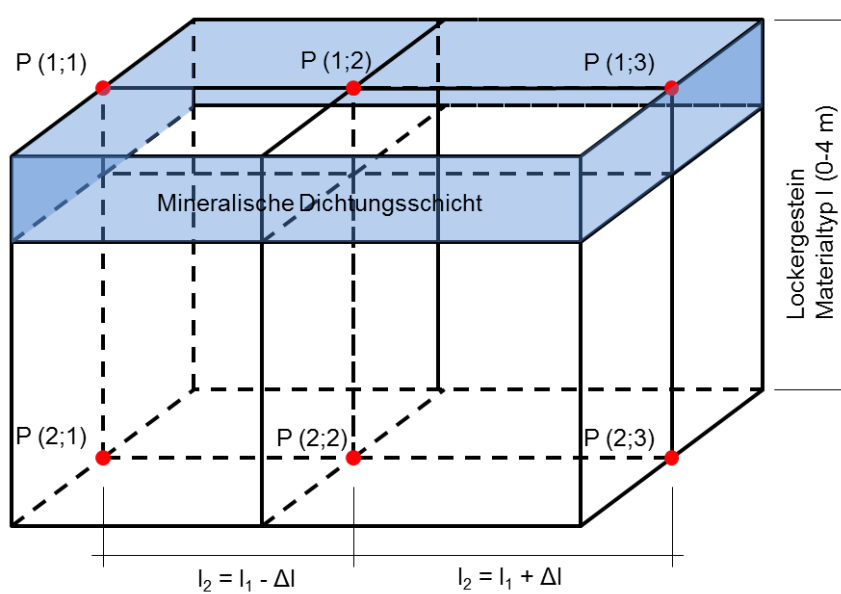


**Abbildung 5-8: Modellvorstellung Fest- und Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 54 m)**



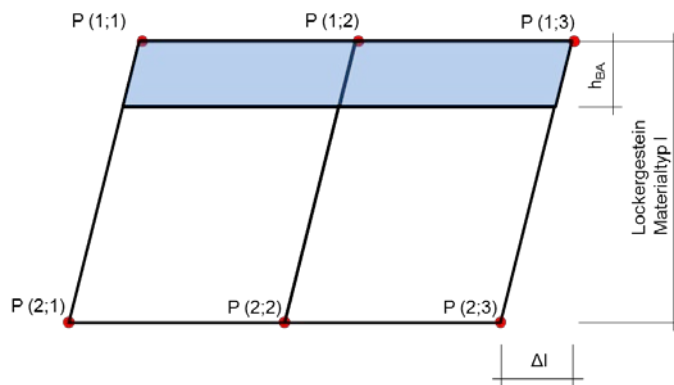
**Abbildung 5-9: Modellvorstellung Lockergestein im Ausgangszustand (Modellhöhe 4 m)**

Die Abbildung 5-10 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.



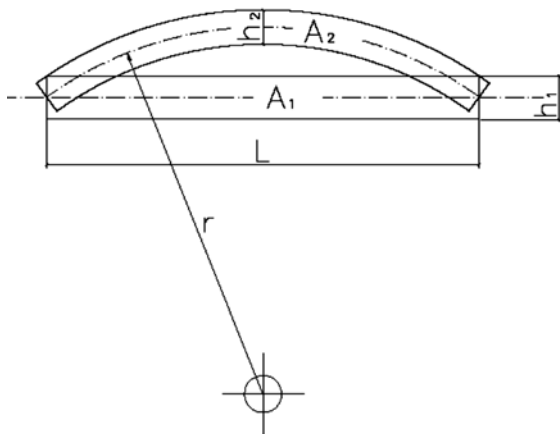
**Abbildung 5-10: Modellvorstellung Stauchung/ Dehnung**

In der Abbildung 5-11 erfährt das Modell eine Zerrung und somit eine Reduzierung der Gesamthöhe. Mithilfe dieses Modells wird eine Mächtigkeitsreduzierung der betrachteten Schichten berücksichtigt.



**Abbildung 5-11: Modellvorstellung (Zerrung)**

Das in der Abbildung 5-12 dargestellte Modell berücksichtigt die Krümmung des Untergrundes.



**Abbildung 5-12: Modellvorstellung nach Krümmung**

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

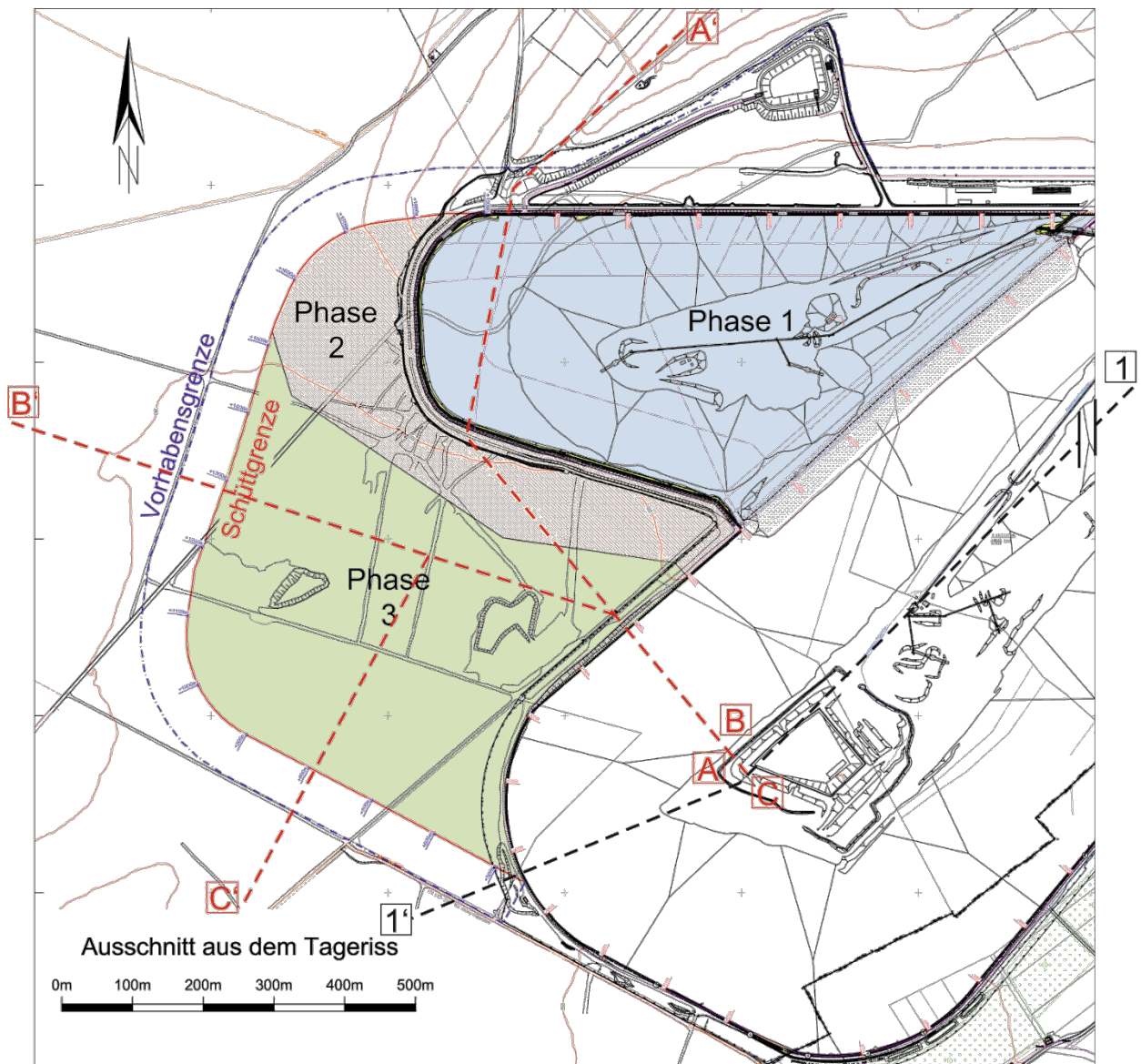
#### **5.3.3.4 Numerische Untersuchungen - Vorgehen, Ergebnisse und Bewertung**

##### **Vorgehen**

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 Schüttreihenfolge die mechanischen Belastungen und daraus resultierenden Verformungen im Untergrund entlang von drei Schnitten ermittelt (siehe Band 3.18.1E2, Anlagen 2 und 3 „Numerische Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung“). Die Schnitte A-A', B-B' und C-C' (vgl. Band 3.18.1E2, Abbildung 1) wurden so gewählt, 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.

In einem Sachverständigengutachten für die Haldenerweiterung Phase 2 wurde herausgearbeitet (Band 3.18.1E2, Anlage 6), dass die oben beschriebenen Untersuchungen (insbesondere Schnitt A-A', Band 3.18.1E2, Anlage 3) auch für die Phase 2 Gültigkeit besitzen. Davon ist nur das verformungsbeanspruchte Haldenvorland in einem Streifen < 10 m Breite angrenzend zum Haldenfuß der Bestandshalde ausgenommen. Für diesen schmalen Streifen wurden zur Betrachtung der Gebrauchstauglichkeit ergänzende numerische Untersuchungen im Verlauf des Schnittes 1-1' durchgeführt, der aus Anlage 1b, Band 3.18.1E2, stammt und in

Anlage 6, Band 3.18.1E2 mit dem Schnitt 1-1' <sup>2021</sup> Vorhaben spezifisch für die Phase 2 angepasst wurde. Auch dessen Schnittverlauf ist in der Abbildung 5-13 eingetragen. In der betrachteten Variante V I wird das Haldenvorland der Bestandshalde fiktiv nur mit einem 25 m breiten und hohen Haldenkörper überschüttet, um bewerten zu können, ob auch bei einer derart geringen Belastung die Gebrauchstauglichkeit des System Basisabdichtung im verformungsbeanspruchten Haldenvorland nachgewiesen werden kann. Die numerischen Untersuchungen sind im Modell zum Beginn der Schüttung der Variante V I 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.



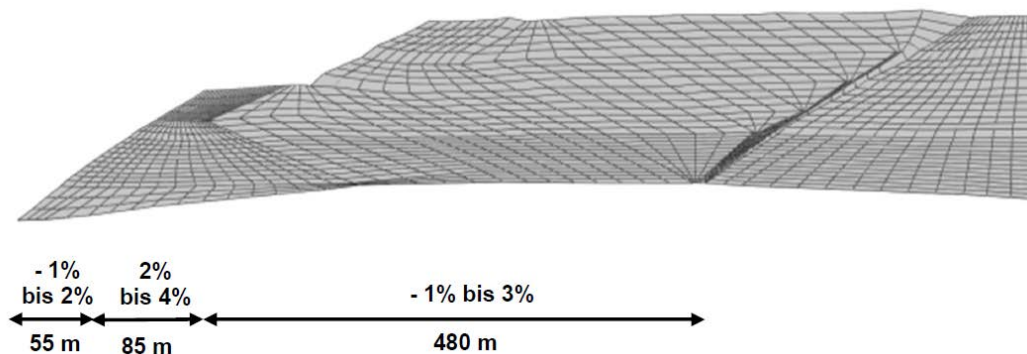
**Abbildung 5-13: Lageplan der genehmigten Halde Hattorf und der geplanten Haldenerweiterung sowie mit den Schnittverläufen zu den numerischen Untersuchungen (siehe Band 3.18.1E, Anlage 6, Bild 1)**

Wesentlich für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis des Systems Basisabdichtung sind die im Band 3.18.1E2, Anlage 2 bzw. Anlage 3 in Lage und Größe ausgewiesenen horizontalen Dehnungen/ Stauchungen und vertikalen Hebungen/ Setzungen an der Oberfläche der mineralischen Dichtung bzw. im oberflächennahen Untergrund der Haldenaufstandsfläche.

### **Dehnungen/ Stauchungen**

In den numerischen Untersuchungen 2018 unter Berücksichtigung des erweiterten technischen Konzepts (Band 3.18.1E2, Anlage 3) wurden im Gesamtbetrachtungszeitraum innerhalb der

Haldenaufstandsfläche max. Dehnungen von ca. 4% im Schnitt A-A' 2018 bzw. 5 % im Schnitt C-C' 2018 und max. Stauchungen von ca. 2% (Schnitt A-A' 2018) bzw. 1 % (Schnitt C-C' 2018) ermittelt. Mit dem Schnitt 1-1' 2021 wurden in ähnlicher Größenordnung Dehnungen von ca. 2 % und Stauchungen von ca. 3 % berechnet. In der Abbildung 5-14 ist exemplarisch für den Schnitt A-A' 2018 die Dehnungs-/ Stauchungsverteilung dargestellt. Die prognostizierten max. Dehnungen liegt 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 5-14: Maßgebende horizontale Dehnungen und Stauchungen der mineralischen Dichtung unterhalb der Halde im Schnitt A-A' 2018 (vgl. Band 3.18.1E2, 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 3.29.1 N, Bild 3-5), 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) bzw. 0,48 m (Phase 2:  $d_A = 0,55$  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. 5.2.3).

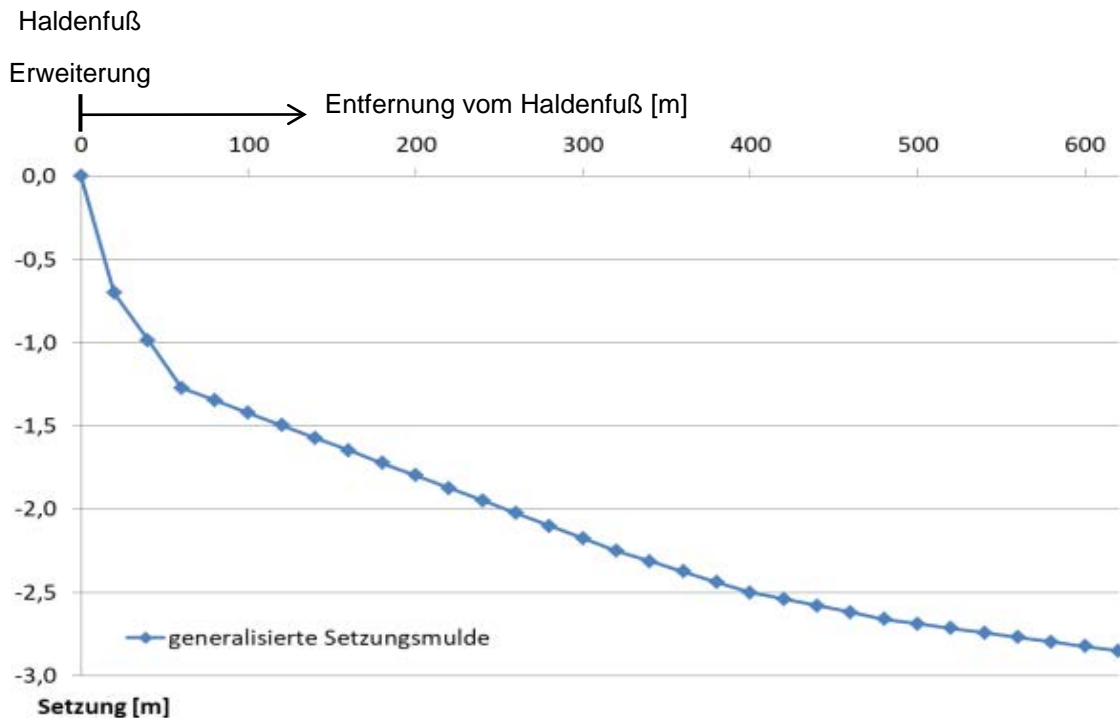
### **Hebungen/ Setzungen – Haldenkontur und Betrachtungszeitraum gesamt**

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 3.18.1E2, Anlagen 3, Schnitt A-A'<sub>2018</sub>) und 3,3 m (Band 3.18.1E2, 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 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. Die Setzungsanteile unter der Halde sind im Band 3.18.1E2 als generalisierte Setzungsmulde ausgewiesen (Anlage 2: Bild 70/ Anlage 3: Bild 26). Für die Bemessung der Entwässerungselemente wird die generalisierte Setzungsmulde der numerischen Untersuchungen 2018 unter Berücksichtigung des erweiterten technischen Konzepts verwendet (vgl. Abbildung 5-15), die die stärkeren Neigungen und Setzungsbeträge unter der Halde ausweist.



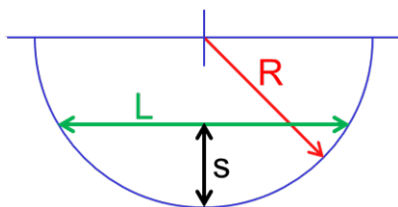


**Abbildung 5-15: Generalisierte Setzungsmulde unter der geplanten Haldenerweiterung (Band 3.18.1, Anlage 3, Bild 26)**

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 200 m sind.

Alternativ kann nach dem in Abbildung 5-16 dargestellten Zusammenhang die Setzungsdifferenz (s) in Abhängigkeit der Elementlänge (L) und des Krümmungsradius (R) ermittelt werden.

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



**Abbildung 5-16: Ermittlung der Setzungsdifferenz**

Unter Berücksichtigung des in Abbildung 5-16 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 5-15 ist. Die Betrachtung zeigt auch unter Berücksichtigung der aktuellen baugrundseitigen Erkenntnisse (vgl. Band 3.16.1: „Geotechnisches Gutachten, Halde Hattorf, Erweiterung der ESTA Rückstandshalde“), dass eine schädigende Beeinflussung aufgrund der dargestellten Vertikalverformung auf die mineralische Dichtung infolge Krümmung ausgeschlossen werden kann.

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

Unter Berücksichtigung mehrfach konservativer Annahmen werden mit den numerischen Untersuchungen im Sachverständigengutachten für die Phase 2 (Band 3.18.1E2, 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 numerischen Modell für die 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'<sub>2021</sub>, der für die Südwestseite kalibriert ist, bezüglich der Verformungen an der Bestandshalde konservative Ausgangsrandbedingungen ansetzen zu können.

Das hebungsbeeinflusste Vorland ist im numerischen Modell gemäß Bild 11 in Band 3.18.1E2, 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 der Variante V I 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 3.18.1E2, 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 5-16 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 betrachteten Variante V I entspricht. Der zugehörige Nachweis für die Haldenkontur und den Betrachtungszeitraum der Haldenerweiterung in Gesamtheit wurde bereits vorstehend in Bezug auf Abbildung 5-15 erbracht.

### 5.3.3.5 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 wird.

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

$$\eta_A = 0,5$$

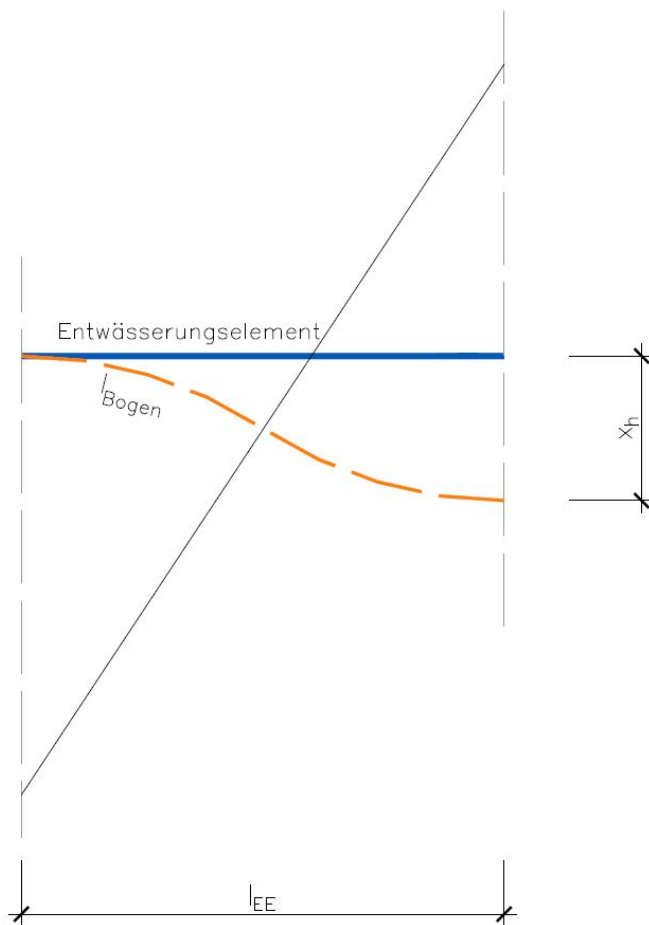
ergibt sich die abflusswirksame Querschnittsfläche unter Berücksichtigung des maximalen Dangebotes von

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

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

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 5-17: 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 5-14). 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.

## 5.4 Qualitätsmanagementplan

Das Vorgehen zum Qualitätsmanagement bei der Herstellung des Systems Basisabdichtung ist im Band 1.1E2 beschrieben. Es gelten hier die gleichen Vorgaben, die sich im Rahmen der Phase 1 bewährt haben. Die hohe Qualität des extrem aufwendigen Material- und Einbaukonzeptes wird seitens des geotechnischen Büro Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH in Anlage 16.2 zu Band 1.3 E2 bestätigt.

## 5.5 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.

## **5.6 Weitere, parallel zu betreibende Untersuchungen und Forschungsthemen**

### **Optimierung des Systems Basisabdichtung**

Das im Rahmen der Phase 2 beantragte System Basisabdichtung stellt eine Optimierung des in Phase 1 umgesetzten Systems dar, welche die Erfahrungen bei Errichtung und Betrieb sowie die Ergebnisse weiterführender Untersuchungen würdigt. Begleitend zur Umsetzung der Phase 2 werden die Untersuchungen zu einer weiteren Optimierung des Systems Basisabdichtung fortgesetzt und ergänzende Eignungsuntersuchungen durchgeführt.

### **Grundwassermodell (Monitoring)**

Des Weiteren werden die Arbeiten zur Erstellung eines prognosefähigen numerischen Grundwasserströmungsmodells fortgesetzt. Dieses kann monitoringbegleitend zum Einsatz kommen und wird Prognosen hinsichtlich der Wirkungen der vorstehend beschriebenen Minderungsmaßnahmen hinsichtlich der Auswirkungen der Bestandshalde ermöglichen. Die Fertigstellung des prognosefähigen Modells ist im Rahmen der Beantragung der Phase 3 vorgesehen.

Darüber hinaus ist geplant, weitere Forschungsthemen parallel voranzutreiben, um eine weitergehende Minimierung der Umweltauswirkungen durch die Aufhaltung am Standort Hattorf zu erreichen:

### **Haldenabdeckung**

Die Haldenabdeckung ist Bestandteil des „Maßnahmenprogramms Salz“ des BWP 2016-21 sowie des Entwurfs zur Fortschreibung des BWP. Die Errichtung einer Haldenabdeckung wurde

in Nebenbestimmung I. 4.4.17 des Planfeststellungsbeschlusses zur Zulassung der Phase 1 der Haldenerweiterung Hattorf vom 10.10.2018 verbindlich gemacht.

Als Maßnahme zur Minimierung der Auswirkungen der Rückstandshalde Hattorf inklusive der beantragten Erweiterung durch Reduzierung der Restinfiltration und der anfallenden Haldenwässer ist die schrittweise Errichtung einer dauerhaften Haldenabdeckung ab 2023 vorgesehen. Deren Umsetzung wird derzeit im Rahmen verschiedener Versuche an den Halden des Werkes Werra vorbereitet (vgl. dazu Band 3.29.3N2). Durch die Haldenabdeckung wird eine Minimierung der Restinfiltration sowie eine Minimierung des Haldenwasseranfalls angestrebt.

### **Forschung und Entwicklung**

Die K+S beschäftigt sich im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben mit Fragen des Haldenmanagements und der Wertstoffrückgewinnung. Beispielhaft seien hier die Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsfelder sowie die weiteren, im Masterplan Salz aufgeführten F&E-Vorhaben genannt. Prinzipiell ist auch jede Maßnahme zur Verbesserung der Kalium- und Magnesium-Werksausbeute eine Maßnahme zur Verringerung der Rückstandsmenge.

## **6 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. Zur Reduzierung des Sickerwassereintrages in den Untergrund ist hierfür 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.

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 3.18.1 und 3.18.2). 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. 6,75 ha nachgewiesen.

Für das hier gegenständliche optimierte System Basisabdichtung zur Errichtung in der Phase 2 wurde 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). 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).



## 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
- 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
- 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