

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

Band 1.3E2 der Antragsunterlage

Haldenwasserbilanz

Vorhabenträger:

K+S Minerals and Agriculture GmbH
Standort Hattorf
Werk Werra



Hattorfer Straße
36269 Philippsthal

Gutachter:

upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH
Breite Straße 30
39576 Stendal



Dipl.-Ing. J. Baumeister
Projektleiterin



Dipl.-Ing. (FH) N. Gose
Geschäftsführer

Impressum

Fassung vom 23.06.2021

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. J. Baumeister

Telefon: 03931/689226

Fax: 03931/689299

e-Mail: j.baumeister@upi-umweltprojekt.de

Web: www.upi-umweltprojekt.de



Inhaltsverzeichnis

1. VERANLASSUNG	8
2. AUFSTELLUNG DER ALLGEMEINEN HALDENWASSERBILANZGLEICHUNG	9
3. BESCHREIBUNG DER RELEVANTEN PARAMETER DER HALDENWASSERBILANZ	11
3.1 NIEDERSCHLAG.....	11
3.2 RÜCKSTANDSSPEZIFISCHE PARAMETER.....	11
3.2.1 Zusammensetzung des Rückstandssalzes.....	11
3.2.2 Aufsalzungsfaktor	12
3.2.3 Wassergehalt des Rückstands	12
3.2.4 Mineralische Wassereinbindung und -entbindung bzw. Speichervermögen des Rückstandes (Hygroskopie, Hydratation und Deliqueszenz)	13
3.2.4.1 Beschreibung der Prozesse	13
3.2.4.2 Untersuchungen zur Wassereinbindung und –entbindung sowie zur Hygroskopie des Rückstands	14
3.2.4.3 Übertragung der Versuchsergebnisse auf die Standortbedingungen	14
3.2.4.4 Fazit.....	15
3.2.5 Evaporation.....	15
3.3 ZUFLÜSSE VON NIEDERSCHLAGSWASSER AUS DEM BEREICH DES UMFÄHRUNGSWEGS	16
3.4 RESTINFILTRATION AN DER BASIS	17
3.4.1 Berechnungsmodelle.....	17
3.4.1.1 Berechnungsmodelle für die Bestandshalde	17
3.4.1.2 Berechnungsmodell zur Bestimmung der Restinfiltration der Erweiterungsfläche	18
3.4.2 Beschreibung der Eingangsparameter für die Berechnung der Restinfiltration an der Aufstandsfläche.....	18
3.4.2.1 Beschreibung der relevanten Einzelflächen	18
3.4.2.2 Festlegung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich der Erweiterung.....	19
3.4.2.3 Festlegung des hydraulischen Gradienten für die Erweiterung	19
3.4.3 Berechnung der Gesamtsalzfracht.....	23
3.4.4 Darstellung der Berechnungsergebnisse der Restinfiltration im Bereich der Aufstandsflächen von Bestandshalde und Haldenerweiterung.....	23
3.4.5 Eintrag aus dem Anschüttungsbereich der Haldenerweiterung Phase 1 an die Bestandshalde.....	25
4. AUFSTELLUNG DER SPEZIFISCHEN HALDENWASSERBILANZGLEICHUNG	26
5. SICKERWASSERMINIMIERUNGSMÄßNAHMEN	27
5.1 HYDRAULISCHE TRENNUNG VON BESTANDSHALDE UND ERWEITERUNG.....	27
5.1.1 Beschreibung der hydraulischen Trennung	27
5.1.2 Berechnungsmodell zur Reduzierung der Restinfiltration der Bestandshalde durch die hydraulischen Trennung	28
5.2 POLDER AUF DEM HALDENTOP DER BESTANDSHALDE	29
5.2.1 Beschreibung des Polders.....	29
5.2.2 Minimierungspotential des Haldenwasseranfalls des errichteten Polderbeckens auf dem Haldentop.....	30
5.2.3 Berechnungsmodell zur Bestimmung des Minimierungspotentials der Restinfiltration durch den bereits errichteten Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde	30
5.3 DARSTELLUNG DER BERECHNUNGSERGEBNISSE	31

5.3.1	<i>Restinfiltration.....</i>	31
5.3.2	<i>Haldenwasserminimierung der Bestandshalde durch Errichtung des Polders auf dem Haldentop.....</i>	32
5.3.3	<i>Zusammenfassende Darstellung der Berechnungsergebnisse des Haldenwasseranfalls bei Ansatz der Maßnahmen.....</i>	33
6.	SENSITIVITÄTSANALYSE.....	35
6.1	NIEDERSCHLAG.....	35
6.2	PUFFERVERMÖGEN DER RÜCKSTANDSHALDE	36
6.3	EVAPORATION.....	37
6.4	FREIER WASSERGEHALT	37
6.5	RESTINFILTRATION DER ERWEITERUNG.....	38
6.6	ZUSAMMENFASSUNG DER FEHLERGRÖßEN	39
6.7	ZULAUF AUS DEM BEREICH DES HALDENUMFAHRUNGSWEGES UND IN VORBEREITUNG BEFINDLICHER KÜNFTIGER HALDENAUFTANDSFLÄCHEN	40
6.8	SONSTIGE EINFLUSSFAKTOREN	41
6.9	MESSUNG DES HALDENWASSERANFALLS HATTORF.....	41
6.10	VERGLEICH DER FEHLERGRÖßEN AUS DER SENSITIVITÄTSANALYSE UND DEN GEMESSENEN WERTEN.....	42
7.	BERECHNUNG DES HALDENWASSERPOTENTIALS BIS ZUR AUFLÖSUNG DES HALDENKÖRPERS.....	43
8.	ZUSAMMENFASSUNG.....	44

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Aufhaldungsmengen und freier Wasseranteil am Rückstand</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 2: Systemlänge und Sohlgefälle im Bereich der Erweiterungsfläche</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 3: Einstauhöhen, und hydraulische Gradienten und spezif. Restinfiltration</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 4: jährliche Reduzierung der Restinfiltration der Bestandshalde durch die hydraulische Trennung</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 5: Ergebnisse der Berechnungen zur Restinfiltration der Bestandshalde + Erweiterung</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 6: Ergebnisse der Berechnungen zum Minimierungspotential durch die Errichtung des Polders auf dem Haldentop</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 7: Maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Niederschlag)</i>	<i>36</i>
<i>Tabelle 8: Maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Freier Wassergehalt)</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 9: Haldenwasseranfall bei Ansatz der Restinfiltration für die Erweiterungsfläche</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 10: maximale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 11: minimale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 12: Prognostizierter und gemessener Haldenwasseranfall am Standort Hattorf für 2016 bis 2019</i>	<i>42</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Modell zur Haldenwasserbilanz	10
Abbildung 2:	Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle- Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE (GDA E2-20)	20
Abbildung 3:	Berechnungsergebnisse der Restinfiltration für die Bestandshalde inkl. Abfluss Drainage Kreuzgraben, die Haldenerweiterung Phase 1 und Phase 2	24
Abbildung 4:	Berechnungsergebnisse der Salzfracht für die Bestandshalde inkl. Abfluss Drainage Kreuzgraben, die Haldenerweiterung Phase 1 und Phase 2	25
Abbildung 6:	schematische Darstellung der Fläche der hydraulischen Trennung als Grundlage für die Ermittlung der Haldenwasserbilanz	28
Abbildung 6:	Prognostizierter Haldenwasseranfall für Bestandshalde, Phase 1 und Phase 2	34

Anlagen:

- Anlage 1: Versuchsprogramm zur Ermittlung der rückstandsspezifischen Parameter
- Anlage 2: Fotodokumentation des Einbaus des Rückstandssalzes in das Lysimeter am 10.08.2012
- Anlage 3.1: Fotodokumentation der Probenahme der Bohrung 1 im wägbaren Lysimeter
- Anlage 3.2: Fotodokumentation der Probenahme der Bohrung 2 im wägbaren Lysimeter
- Anlage 4: Versuchsprotokolle zur Bestimmung des Wassergehalts des Rückstands bei Einbau in das Lysimeter bzw. Ausbau aus dem Lysimeter
- Anlage 5: Versuchsprotokoll zur Bestimmung des Wassergehalts des Rückstands bei Einbau der Säulenversuche
- Anlage 6: Versuchsprotokoll zur k_f -Wert-Bestimmung des Rückstands
- Anlage 7: Fotodokumentation der Lysimeteroberfläche
- Anlage 8: Jährliche Flächenbelegung der Rückstandshalde Hattorf in den Jahren 2016 bis 2054
- Anlage 9: Plan zur Ermittlung der Gefälleverhältnisse für die Berechnung der Einstauhöhe
- Anlage 10: jährliche Restinfiltration in den Jahren 2016 bis 2054
- Anlage 11: Jährliche Gesamtsalzfracht des Sickerwassers in den Jahren 2016 bis 2054
- Anlage 12: Prognosewerte für den Haldenwasseranfall (Bestandshalde, Phase 1, Phase 2) am Standort Hattorf für die Jahre 2016 bis 2054
- Anlage 13: Prognosewerte für den Haldenwasseranfall der Erweiterungsfläche (Phase 1) am Standort Hattorf für den Zeitraum 2017 bis 2054
- Anlage 14: Prognosewerte für den Haldenwasseranfall der Erweiterungsfläche (Phase 2) am Standort Hattorf für den Zeitraum 2023 bis 2054
- Anlage 15: Gutachten Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann zur Ableitung des hydraulischen Gradienten für Restinfiltrationsabschätzungen
- Anlage 15.1: Zur Existenz eines Anfangsgradienten oder prälinearen Bereiches bei der Durchströmung feinporiger mineralischer Dichtungsschichten bei niedrigen Überstauhöhen. Aachen, 07.12.2020
- Anlage 15.2: Stellungnahme zu den Anmerkungen des Behördengutachters des Büros Umtec vom 15.02.2021, vorgetragen durch Herrn Sasse. Aachen, 22.04.2021
- Anlage 16: K+S (2021): Ableitung des freien Wassergehalts des Rückstands als Eingangsparameter der Haldenwasserbilanz. Philippsthal.

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.

Das Vorhaben „Nachhaltiges Rückstandsmanagement (RM) am Standort Hattorf“ wurde erstmals am 30.06.2014 beantragt. Nach mehrfacher Umplanung des Vorhabens wurde mit Beschluss vom 10.10.2018 (Az.: 34/HEF-76 d 40-11-314-30/717) die Erweiterung in Phase 1 (ca. 26,9 ha) durch die Genehmigungsbehörde zugelassen und eine Zulassung der Haldenerweiterung im Übrigen einer späteren Entscheidung vorbehalten.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass im Juni 2023 die gemäß dem Planfeststellungsbeschluss vom 10.10.2018 (Az.: 34/HEF-76 d 40-11-314-30/717) für die Erweiterung der ESTA-Rückstandshalde Hattorf, Phase 1, aus dem Jahr 2018 genehmigte Haldenfläche 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 in zwei weitere 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. Die Entsorgung der aufgrund der Rückstandsaufhaltung anfallenden flüssigen Rückstände ist darüber hinaus Gegenstand gesonderter wasserrechtlicher Verfahren. Gegenstand des in Phase 2 beantragten Vorhabens ist eine Haldenaufstandsfläche von ca. 10,8 ha sowie der angrenzende Randstreifen.

Gemäß Anhang 6 (zu § 22a Abs. 3 Satz 1) der ABergV ist eine Wasserbilanz für die Betriebs- und Nachbetriebsphase bergbaulicher Abfallentsorgungseinrichtungen zu ermitteln und zu bewerten. Im Rahmen der hier dargestellten Haldenwasserbilanz wurde eine Nachbetriebsphase von 30 Jahren betrachtet. Weiterhin ist das Sickerwasserpotenzial bis zur vollständigen Haldenauflösung zu ermitteln. Die Berechnung des Haldenwasseranfalls für die Rückstandshalden des Werkes Werra erfolgt auf der Grundlage der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung. Abweichend von der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung werden die spezifischen Eigenschaften des Rückstandssalzes (mineralische Wassereinbindung und -entbindung, Verdunstungs- und Abflussverhalten) berücksichtigt.

Da die minimierende Wirkung der hydraulischen Trennung im bisherigen Verfahren und auch im Planfeststellungsbeschluss vom 10.10.2018 nicht quantifiziert wurde und sich darüber hinaus seit Erlass dieses Beschlusses neue Erkenntnisse zur Höhe der Restinfiltration ergeben haben, wird in der vorliegenden Unterlage nicht nur die

Haldenwasserbilanz für Phase 2 der Haldenerweiterung neu aufgestellt, sondern auch die Bilanz für Phase 1 präzisiert und korrigiert.

Bei der Planung des Vorhabens wurden Sickerwasserminimierungsmaßnahmen am Standort Hattorf in das technische Konzept integriert (siehe Band 1.1E2: „Technischer Erläuterungsbericht“, Kapitel 7.4.4). Das Potential zur Sickerwasserminimierung durch die hydraulische Trennung der Bestandshalde von der Phase 1 und 2 der Erweiterung werden bei der Bilanzierung ausgewiesen.

Da die minimierende Wirkung der hydraulischen Trennung im bisherigen Verfahren und auch im Planfeststellungsbeschluss vom 10.10.2018 nicht quantifiziert wurde und sich darüber hinaus seit Erlass dieses Beschlusses neue Erkenntnisse zur Höhe der Restinfiltration ergeben haben, wird in der vorliegenden Unterlage nicht nur die Haldenwasserbilanz für Phase 2 der Haldenerweiterung neu aufgestellt, sondern auch die Bilanz für Phase 1 präzisiert und korrigiert.

Die upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH wurde mit der Bearbeitung der Haldenwasserbilanz für die ESTA-Rückstandshalde am Standort Hattorf beauftragt.

Die vorliegende Unterlage beschreibt die einzelnen Bilanzglieder der Wasserhaushaltsgleichung sowie deren Ermittlung (Berechnungen, Vor-Ort-Messungen und Laborversuche) und die Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanz.

2. Aufstellung der allgemeinen Haldenwasserbilanzgleichung

Zur Aufstellung der allgemeinen Haldenwasserbilanzgleichung werden die nach derzeitigem Kenntnisstand für die Haldenwasserbilanz (HWB) relevanten Einflussgrößen benannt.

Das Zusammenwirken der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen lässt sich wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt charakterisieren.

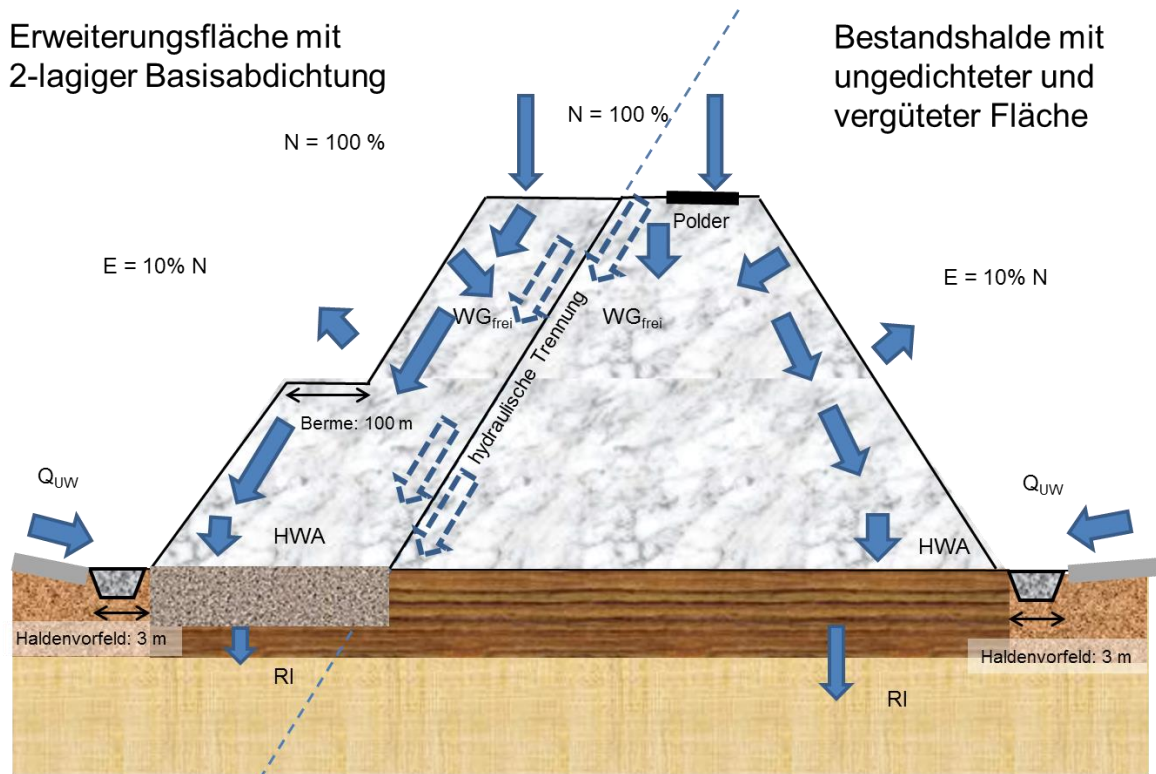


Abbildung 1: Modell zur Haldenwasserbilanz

Zur Bildung von Haldenwasser tragen vor allem der Niederschlag (N) und der im Rückstandssalz enthaltene freie Wassergehalt (WG_{frei}) bei. Der Niederschlagsanfall wird um den Anteil der Evaporation (E) an der Haldenoberfläche minimiert. Berücksichtigt werden des Weiteren die Restinfiltration der mineralischen Dichtung (RI) sowie die Volumenvergrößerung des Niederschlagswassers bei dessen Aufsalzung im Kontakt mit dem Rückstandssalz durch einen Aufsalzungsfaktor (F_{Aufsalz}). Zuflüsse aus dem Bereich des Umfahrungswegs (Q_{UW}) und der Haldenwasserabfluss werden ebenfalls bei der Berechnung berücksichtigt.

Weitere Einflussfaktoren sind die mineralische Wassereinbindung (W_{\min}) und die mineralische und physikalische Wasserentbindung (ΔV). Beide Größen charakterisieren die Änderung des Speicherinhalts der Rückstandshalde.

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall (HWA) folgende **allgemeine** Gleichung:

$$HWA = (N - E) * F_{Aufsatz} * A + WG_{frei} - RI \pm (W_{min} - \Delta V) + Q_{UW}$$

HWA: Haldenwasseranfall in m³/a

N: Niederschlag in $\text{m}^3/(\text{ha} \cdot \text{a})$

E: Evaporation des Niederschlags in $\text{m}^3/(\text{ha} \cdot \text{a})$

F_{Aufsalz} : Aufsalzungsfaktor

A: Aufstandsfläche der Rückstandshalde in ha

WG_{frei}: Freies Wasser der jährlich anfallenden Rückstandsmenge in m³/a

RI:	Restinfiltration der mineralischen Dichtung in m ³ /a
W _{min} :	mineralische Wassereinbindung der jährlich anfallenden Rückstandsmenge in m ³ /a
ΔV:	mineralische und physikalische Wasserentbindung der jährlich anfallenden Rückstandsmenge in m ³ /a
Q _{uw} :	Zufluss vom Umfahrungsweg in m ³ /a

Die Diskussion der standortspezifischen Einflussgrößen und die Herleitung der berechnungsrelevanten Parameter für die Erstellung der **spezifischen** Haldenwasserbilanzgleichung sind im Kapitel 3 dieses Berichts beschrieben.

3. Beschreibung der relevanten Parameter der Haldenwasserbilanz

3.1 Niederschlag

Die Prognose des Haldenwasseranfalls wird für ein hydrologisches Durchschnittsjahr vorgenommen. Bei der Auswahl der entsprechenden Niederschlagssumme wurden die korrigierten Gebietsniederschläge des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Hierbei wurde für das Durchschnittsjahr der 30-jährige Mittelwert für die hydrologischen Jahre 1981 bis 2010 verwendet.

Aus den Wetterdaten des DWD ergibt sich somit ein 30-jähriges Mittel von 815 mm/a, das für die weitere Berechnung als Referenzwert angenommen wird.

Die Haldenwasserbilanz dient unter anderem zur Ermittlung der Ausgangswerte für die Entsorgungskonzeption der Haldenwässer (Band 3.24E2: „Abwasserentsorgung in der Betriebs- und Nachbetriebsphase“). Die Betrachtung zur dauerhaften Haldenwasserentsorgung erfolgt mit Hilfe des Flussgebietsmodells TALSIM NG der SYDRO Consult GmbH. Auf der Basis von Niederschlagszeitreihen des DWD und den hier ermittelten Haldenwasser-Prognosemengen wird über eine N/A-Modellierung eine 40-jährige Ganglinie des Haldenwasseranfalls generiert und die Entsorgung der so ermittelten Volumina geprüft.

3.2 Rückstandsspezifische Parameter

3.2.1 Zusammensetzung des Rückstandssalzes

Die bei der Rohsalzverarbeitung nicht verwertbaren, kontinuierlich anfallenden Rückstandssalze werden in Mengen von mehreren Mio. t pro Jahr per Bandanlagen auf die Rückstandshalde gefördert. Die zukünftig zu erwartenden jährlichen Rückstandsmengen betragen nach aktuellem Kenntnisstand ca. 7,6 Mio. t/a.

Eine detaillierte Beschreibung des Rückstandes ist im Band 1.1.3 E2 „Art der Abfälle und Salzwässer“ zu finden.

3.2.2 Aufsalzungsfaktor

Der in die Rückstandshalde eintretende Niederschlag erfährt beim Durchfließen des Rückstandssalzes eine Aufsalzung bis zur Sättigung mit der Hauptkomponenten NaCl. Die Volumenvergrößerung wurde durch eine Dichtebestimmung vor und nach der Aufsalzung von Leitungswasser mit Hattorfer Rückstand ermittelt. Hierbei ergibt sich eine Volumenvergrößerung, die mit einem Faktor von 1,11 in die Berechnung einfließt.

Der Aufsalzungsfaktor wurde im Rahmen mehrere Untersuchungen durch das Labor der K+S am Standort Hattorf bestimmt. Die Analysenergebnisse liegen bei diesem vor.

3.2.3 Wassergehalt des Rückstands

Aus den Bestimmungen des Wassergehalts im Rückstandssalz der Halde Hattorf nach Karl-Fischer-Titration (Prüfverfahren K+S 0785.02) ergibt sich aus den Beprobungen ab Herbst 2020 ein Mittel von ca. 5 % (Anlage 16). Die Bestimmung der Feuchte von frischem Rückstand mittels Karl-Fischer-Titration liefert ausschließlich den Gehalt an Porenwasser. Er entspricht der Summe aus freiem (mobilem/gravitativ entwässerbarem) und anhaftendem (immobilen/nicht gravitativ entwässerbarem) Anteil. Kristallin gebundenes Wasser, welches beispielsweise bei der Bestimmung der Rückstandsfeuchte durch Trocknung teilweise mit freigesetzt und erfasst wird, ist hierin nicht enthalten. Der anhaftende, nicht gravitativ entwässerbare Anteil (Haftwasser) wird im Porenraum einer ungesättigten Probe adsorptiv und/ oder kapillar bei Luftdruckbedingungen gegen die Schwerkraft gehalten. Er trägt damit nicht zur Bildung von Haldenwasser bzw. Haldensickerwässern bei. Die Ergebnisse von Laboruntersuchungen an Bohrkernen der Haldenkörperbohrungen an den Standorten Hattorf und Wintershall belegen, dass der Haftwassergehalt 2% beträgt. Damit errechnet sich eine gravitativ entwässerbare Restfeuchte von 3 % durch Abzug des Haftwassergehalts von 2 % von dem Porenwassergehalt von 5 % bestimmt nach Karl-Fischer-Titration.

Die gravitativ entwässerbare Restfeuchte in Höhe von 3 % wird für die Aufstellung der Haldenwasserbilanz verwendet. (siehe Anlage 16).

Das Volumen des freien Wassers in der jährlich anfallenden Rückstandsmenge (WG_{frei}) errechnet sich aus dem freien mobilen Wassergehalt von 3,0 % und der jährlich anfallenden Rückstandsmenge multipliziert mit dem Aufsalzungsfaktor.

Tabelle 1: Aufhaldungsmengen und freier Wasseranteil am Rückstand

Zeitraum	Aufhaldungsmenge	Freier Wasseranteil am Rückstand
[Jahr]	[t/a]	[m³/a]
2017	6.248.370	208.071
2018 ¹	6.842.130	227.843

¹ Ende der Beschüttung der Bestandshalde im Sep. 2018.

Zeitraum	Aufhaltungsmenge	Freier Wasseranteil am Rückstand
[Jahr]	[t/a]	[m³/a]
2019	7.270.600	242.111
2020 ²	6.893.060	229.539
2021 ³	7.600.000	253.080
2022	7.600.000	253.080
2023	7.600.000	253.080
2024	7.600.000	253.080
2025 ⁴	4.899.996	163.170

Die jährliche Rückstandsmenge wird zukünftig mit 7,6 Mio. t/a prognostiziert (siehe auch Kapitel 3.2.1). Im Jahr 2025 werden noch Restmengen auf der Fläche und im Bereich der hydraulischen Trennung der Phase 2 verbracht. Für die weiteren Berechnungen wurde im Sinne der Worst-Case-Betrachtung angenommen, dass der freie Wassergehalt innerhalb des jeweiligen Jahres vollständig zum Abfluss gelangt. Eine vergleichmäßigte Abgabe des freien Wasseranteils über mehrere Jahre würde zu einem geringeren Haldenwasseranfall führen.

3.2.4 Mineralische Wassereinbindung und -entbindung bzw. Speichervermögen des Rückstandes (Hygroskopie, Hydratation und Deliqueszenz)

3.2.4.1 Beschreibung der Prozesse

Hygroskopie bezeichnet die Fähigkeit von Salzen aus der Umgebung durch Sorption Feuchtigkeit zu binden. Dabei werden die physikalischen Eigenschaften (z.B. Volumen, Kristallstruktur etc.) des Salzes verändert.

Einige Salze wie Magnesium- und Natriumsulfat bauen das aufgenommene Wasser in ihre Kristallstruktur ein. Dieser Vorgang wird als Hydratation bezeichnet. Im Fall des Rückstandssalzes ist hierbei insbesondere das Kieserit ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) zu betrachten, welches sich durch Einbindung von 6 H_2O -Molekülen zu Epsomit umwandelt. Weiterhin entstehen auf der Halde kristallwasserhaltige Sekundärphasen, z.B. Astrakanit ($\text{Na}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$) (siehe Band 3.17).

Die Hydratation eines Salzes kann mit einer erheblichen Volumenzunahme verbunden sein, da im Hydratsalz eine Änderung der Gitterordnung der Anionen und Kationen erfolgt. Ob

² Für 2020 liegen Aufhaltungsmengen vor.

³ Für 2021 ff. wurde der prognostizierte Wert verwendet.

⁴ Für 2025 erfolgt nur noch bis September 2025, somit reduziert sich die Aufhaltungsmenge.

ein wasserfreies Salz oder eine seiner Hydratstufen stabil ist, hängt unter anderem von den an der Halde herrschenden Bedingungen, von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebung ab.

Salze, die keinem Hydratationsprozess unterliegen, können dennoch hygroskopische Eigenschaften besitzen. Werden diese Salze einer bestimmten relativen Luftfeuchtigkeit ausgesetzt, nehmen sie Wasser auf und bilden eine Lösung. Diejenige relative Luftfeuchtigkeit bei der dieser Prozess einsetzt, wird Deliqueszenzfeuchte (DRH) genannt. Exakt bei dem Wert der DRH besteht ein Gleichgewicht zwischen der kristallinen Form eines Salzes und seiner Lösung. Unterhalb der DRH kann eine Lösung des entsprechenden Salzes unter Gleichgewichtsbedingungen nicht existieren, da Wasser durch Verdunstung abgegeben wird. Oberhalb der DRH nimmt ein Salz immer mehr Wasser auf, bis sich eine stark verdünnte Salzlösung bildet. Die DRH ist abhängig von der Löslichkeit eines Salzes. Sie nimmt mit steigender Löslichkeit stark ab.

3.2.4.2 Untersuchungen zur Wassereinbindung und –entbindung sowie zur Hygroskopie des Rückstands

Im Rahmen eines Versuchsprogramms zur Ermittlung der rückstandsspezifischen Parameter wurden Säulenversuche an Rückstandssalz durchgeführt (siehe Kapitel 3 der Anlage 1). Eine mineralische Wassereinbindung und –entbindung von Haldenwasser über einen längeren Zeitraum konnte innerhalb des Versuchszeitraums nicht nachgewiesen werden.

Zur Ermittlung der Deliqueszenzfeuchte des Rückstandes wurde der Rückstand im Labor untersucht. Die Versuchsdurchführung ist im Kapitel 2 der Anlage 1 beschrieben. Im Ergebnis der Versuche wurde festgestellt, dass lediglich in 23 % der Zeit im Messzeitraum die relative Luftfeuchtigkeit unterhalb der DRH von 70% liegt und somit nur in diesen Zeiträumen die Voraussetzungen für eine Wasseraufnahme aus der Luftfeuchtigkeit theoretisch gegeben sind. Der hygroskopische Anteil am Wassergehalt des Rückstands ist aufgrund der komplexen Zusammenhänge nur schwer quantifizierbar.

3.2.4.3 Übertragung der Versuchsergebnisse auf die Standortbedingungen

Die Laborversuche lassen sich nicht auf die komplexen am Standort herrschenden Bedingungen (Luftfeuchtigkeit, Exposition, Temperatur und Windgeschwindigkeit) übertragen, da der hygroskopische Prozess reversibel ist. Bei Absinken der Luftfeuchtigkeit unterhalb der DRH muss die Flüssigkeit nicht zwingend im Haldenwasser anfallen, sondern kann auch verdunsten. Im Rahmen der Säulen- und Lysimeterversuche wurde jedoch auch der hygroskopische Einfluss, sofern dieser eine Rolle spielt, erfasst. Eine mögliche Wasseraufnahme, bedingt durch die Hygroskopie, ist in der versuchstechnisch ermittelten Netto-Verdunstung von 10,2 % (siehe Anlage 1) mit abgebildet (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.5).

Bei der Betrachtung der Hygroskopie sind nicht der gesamte Haldenkörper und die darin in geringem Umfang enthaltenen Magnesiumsalze relevant, sondern allenfalls der äußere Krustenbereich der Halde. Wie in den Haldenbohrungen des Standortes Hattorf gezeigt wurde, findet in diesem Bereich eine selektive Entfrachtung an den leichtlöslichen Wertstoff-

Restgehalten statt, d.h., die Minerale, z.B. Magnesiumsalze, gehen, sofern sie frei vorliegen, innerhalb kürzester Zeit in Lösung und der Haldenmantelbereich besteht am äußeren Rand in einer Tiefe von mehreren Metern lediglich aus Halit und bzw. oder Anhydrit bzw. Gips (Band 3.17). Daher ist davon auszugehen, dass die Magnesiumverbindungen im Haldenrandbereich aufgrund ihrer hohen Löslichkeit und damit geringen Persistenz nicht wesentlich zu einer Erniedrigung der Gleichgewichtsfeuchte beitragen.

3.2.4.4 Fazit

Die mineralische Wassereinbindung und -entbindung bzw. das Speichervermögen des Rückstandes (Hygroskopie, Hydratation und Deliqueszenz) werden aufgrund der obigen Ausführungen in der Haldenwasserbilanz nicht separat berücksichtigt bzw. sind sie in der ausgewiesenen Evaporation enthalten. Dennoch sind mögliche hygroskopische Effekte in der versuchstechnisch ermittelten Evaporation (siehe Kapitel 3.2.5) mit erfasst, so dass keine separate Berücksichtigung in der Haldenwasserbilanz erfolgt.

3.2.5 Evaporation

Aufgrund der Größe der Rückstandshalden kommt es zur Herausbildung eines Kleinklimas im Bereich der Rückstandshalde und im unmittelbaren Haldenumfeld. Dies kann dazu führen, dass sich die Temperaturverhältnisse an den Haldenoberflächen, in Abhängigkeit der Größe und Ausrichtung der Böschungen und des Plateaus, verändern. Weiterhin werden die Windgeschwindigkeit und -richtung im Luv- und Leebereich, an den Haldenflanken und auf der Plateaufläche der Halde verändert. Neben der direkten Beeinflussung der klimatischen Bedingungen an der Rückstandshalde wird somit in nicht unerheblichem Maße die Evaporation sowie die mineralische Wassereinbindung und -entbindung an der Haldenoberfläche beeinflusst. Der zur Beschreibung der Evaporation durchgeführte Lysimeterversuch sowie die Versuchsergebnisse sind im Kapitel 4 der Anlage 1 dargestellt.

Im Ergebnis der Lysimeteruntersuchung in Müncheberg (siehe Anlage 1) wurde für den Versuchszeitraum eine Evaporation von 10,2 % ermittelt.

Sofern es bei dem Lysimeterversuch zu einer Hydratation des Rückstandes aus der Luft gekommen ist, die der Verdunstung entgegenwirken würde, wurde diese im Rahmen des Lysimeterversuchs mit bilanziert und ist somit Bestandteil der ermittelten Evaporation und der Fehlerbetrachtung zur Haldenwasserbilanz.

Eine Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse aus dem Lysimeterversuch in Müncheberg auf den Standort Hattorf ist gewährleistet. Aufgrund der im Vergleich zum Umland exponierten Lage der Haldenflanken und des Haldentops und der damit verbundenen Inseffekte und hohen Windgeschwindigkeiten, welche die Evaporation begünstigen, ist sogar davon auszugehen, dass die Evaporation im Bereich der Halde u.U. höher als am Standort des Lysimeterversuchs in Müncheberg ist.

Für die Rückstandshalden im Südharz wurde im Rahmen der Dissertation von Frau Parnieske-Pasterkamp „Zur Geoökologie und Geochemie von Rückstandshalden der

Kaliindustrie in Nordthüringen“ zum Thema Haldenwasserbilanz anhand eines Lysimeterversuchs auf der Halde Bischofferode eine Evaporation von 7-20 % gemessen⁵.

Weiterhin wurde im Zeitraum 2013 bis 2017 auf der Rückstandshalde IV am Standort Wintershall ein weiterer Versuch mit einem mit Rückstand gefüllten Flächenlysimeter durchgeführt, um die Ergebnisse zur Verdunstungsrate zu verifizieren. Für den Versuchszeitraum ergibt sich laut dem Abschlussbericht zum Feldversuch auf der - Rückstandshalde IV, Wintershall eine Variationsbreite der Verdunstungsrate zwischen -1,1 und 12,0 Prozent⁶. Hierbei ist festzuhalten, dass die ermittelte negative Verdunstungsrate im 1. Versuchsjahr unplausibel und durch das Anfahren des Lysimeters bedingt war, so dass bei Rückstandshalden der Hartsalzverarbeitung, wie in Hattorf und Wintershall (NaCl mit merklichen Kieseritanteilen), von Verdunstungsraten von geringfügig über 10% ausgegangen werden kann.

Im Rahmen der durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen im Haldenerweiterungsverfahren Hattorf und Wintershall (Planfeststellungsbeschluss Hattorf Phase 1 2018 und Wintershall 2020) wurde auch die Höhe der Evaporation diskutiert bzw. unterstellt, dass der Rückstand ein hygroskopisches Verhalten aufweist, und es entgegen der vorgestellten Versuchsergebnisse nicht zu einer Verdunstung kommt. Für die Berechnung des Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration wurde daher im Rahmen der konservativen Abschätzung die Evaporation inklusive der Hygroskopie mit 0 % angenommen.

3.3 Zuflüsse von Niederschlagswasser aus dem Bereich des Umfahrungswegs

Im Haldenvorland ist außerhalb des Haldenrandgrabens die Errichtung eines Umfahrungsweges geplant bzw. ist dieser im Bereich der genehmigten Aufstandsfläche bereits vorhanden. In den Anlagen 4.1 und 4.2 des Bandes 1.1E2 ist der Querschnitt der Infrastrukturanlagen dargestellt. Hieraus ergibt sich für den Umfahrungsweg inklusive der Bankette am Rand des Umfahrungsweges eine mittlere Breite von ca. 5,5 m. Da der Haldenweg eine Neigung in Richtung des Haldenrandgrabens aufweist, entwässert dieser Bereich ebenfalls in den Haldenrandgraben und trägt damit zur Haldenwasserbildung bei, wobei der Ablauf aus dem Umfahrungsweg lediglich gering mineralisiert ist. Es handelt sich daher um einen konservativen Ansatz.

Weiterhin ist für den Fall, dass im Bereich des Haldenfußes Verformungen auftreten, die Errichtung einer zusätzlichen Infrastruktur außerhalb des Verformungsbereiches in einem Abstand von ca. 45 m zum Haldenfuß vorgesehen (siehe Anlage 4.1 des Bandes 1.1E2). Die Entscheidung über die bedarfsweise Errichtung der zusätzlichen Infrastrukturanlagen wird im Rahmen des Haldenbetriebes getroffen. Für die weitere Berechnung wurde im

⁵ Quelle: Parnieske-Pasterkamp, Jutta (Dipl. Geogr.) (2004) Zur Geoökologie und Geochemie von Rückstandshalden der Kaliindustrie in Nordthüringen, Dissertation, Fußnote zu Tabelle 6-7

⁶ Quelle: Universität Kassel, Agrartechnik / Umweltsicherung Schmeisky: Begrünungskonzept für Kalirückstandshalden im Werragebiet, Stufe II Feldversuch auf der Halde IV in Heringen. Abschlussbericht - Rückstandslysimeter. Entwurf 11/2017

Sinne einer Worst-Case-Betrachtung angenommen, dass die zusätzliche Infrastruktur im Bereich der gesamten Erweiterungsfläche errichtet wird.

Die jährlichen Flächenanteile des Umfahrungsweges sind in der Anlage 8 aufgeführt.

Der Umfahrungsweg im Bereich der bestehenden Halde und Phase 1 ist versiegelt. Im Bereich der Phase 2 der Erweiterungsfläche ist die Errichtung der Basisabdichtung analog zu Phase 1 auch unter dem Haldenrandweg vorgesehen, die Fläche ist daher ebenfalls als versiegelt anzunehmen.

Für die Berechnung des niederschlagsbedingten Abflusses wurde nachfolgende Berechnungsformel verwendet.

$$Q_{UW} = A * N$$

Q_{UW} : Zufluss vom Umfahrungsweg in m³/a

A: jährliche Einzugsfläche in ha

N: Niederschlag in m³/(ha*a)

Hierbei handelt es sich um eine Worst-Case-Betrachtung, da für den Umfahrungsweg angenommen wurde, dass der gesamte Niederschlag auf der Fläche des Umfahrungswegs in den Haldenrandgraben gelangt und die Errichtung der zusätzlichen Infrastruktur für die Erweiterung (Phase 1 und 2) angenommen wurde. Die Evaporation im Bereich des Umfahrungsweges wurde nicht berücksichtigt.

Nach der Errichtung des endgültigen Umfahrungswegs für die Phase 1 und 2 ergibt sich eine Zuflussmenge von 23.800 m³/a. Nach Abschluss der Beschüttung der Phase 2 bleibt der Zufluss konstant.

3.4 Restinfiltration an der Basis

Bei der Ermittlung der Restinfiltration wird zwischen der Restinfiltration im Bereich der Bestandshalde und der Erweiterungsfläche (Phase 1 und Phase 2) unterschieden. Die Berechnungsgrundlagen sind in den folgenden Kapiteln im Einzelnen dargestellt.

3.4.1 Berechnungsmodelle

3.4.1.1 Berechnungsmodelle für die Bestandshalde

Die Abflüsse an der Haldenbasis (unterhalb der mineralischen Dichtung) der Bestandshalde am Standort Hattorf wurden im Rahmen der Erstellung des Hydrogeologischen Strukturmodells (HSM) ermittelt (siehe Band 3.13.2E2).

Somit ergibt sich für den Endzustand der Bestandshalde mit einer Gesamtfläche von ca. 94,3 ha eine Gesamtrestinfiltration von ca. 111.634 m³/a zzgl. des mittleren Abflusses aus der Drainage Kreuzgraben in Höhe von 4.183 m³/a. Die entspricht einer Gesamtrestinfiltration von ca. 1.230 m³/(ha*a) bzw. 123 mm/a (siehe Band 3.13.2E2).

3.4.1.2 Berechnungsmodell zur Bestimmung der Restinfiltration der Erweiterungsfläche

Zur Berechnung der Restinfiltration der Erweiterungsfläche wurde ein theoretisch-empirischer, erkundungsbasierter Ansatz gewählt. Hiermit ergibt sich die nachfolgend dargestellte Berechnungsgleichung.

$$RI = \sum(A_H \times i_{\text{äq},H} \times k_H) + \sum(A_{HVL} \times i_{\text{äq},HVL} \times k_{HVL})$$

Parameter

RI: Restinfiltration in m³/a

A: Haldenfläche in m²

k: k_f –Wert in m/s

i_{äq}: äquivalenter hydraulischer Gradient nach Darcy

Indizes

H: Fläche der Halde

HVL: Haldenvorland

Die jährliche Restinfiltration (bezogen auf das Ende des jeweiligen Jahres) ist in der Anlage 10 dargestellt.

3.4.2 Beschreibung der Eingangsparameter für die Berechnung der Restinfiltration an der Aufstandsfläche

3.4.2.1 Beschreibung der relevanten Einzelflächen

Für die Festlegung der relevanten Parameter ist zunächst die Ermittlung der einzelnen Flächenbereiche erforderlich. Für den Endzustand der Bestandshalde wurde hierbei die im Rahmen des Bandes 3.12.2E2 verwendeten Daten herangezogen. Hierbei ergibt sich für den Zeitschnitt September 2020 eine Gesamtfläche der Bestandshalde von ca. 94,3 ha (salzbelegte Fläche inkl. Haldenvorfeld, siehe Band 3.13.2E2).

Für die Erweiterungsfläche wird unterschieden zwischen der Haldenaufstandsfläche und dem Haldenvorfeld (ca. 3 m vom Haldenfuß zum Haldenrandgraben). Für den Zeitraum von September 2018 bis Juni 2023 (Phase 1) und von Juli 2023 bis April 2025 (Phase 2) wurden die Flächeninanspruchnahmen nach der derzeitigen Planung für die Haldenerweiterungsfläche der Phase 1 und Phase 2 herangezogen. Weitergehende Ausführungen zu Aufhaltungstechnik und Schüttverfahren sind im Kapitel 7.1 des Bandes 1.1E2 zu finden.

Die jährlichen Flächengrößen gemäß der vorläufigen Planung sind in der Anlage 8 aufgeführt. Im Rahmen der weiteren Ausführungsplanung ist es durchaus möglich, dass sich die jährlichen Flächeninanspruchnahmen und somit die Restinfiltrationen nach Planfeststellung verändern.

3.4.2.2 Festlegung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich der Erweiterung

Für die geplanten Erweiterungsflächen der K+S Minerals and Agriculture GmbH wurde eine mineralische Dichtungsschicht inkl. einer Entwässerungsschicht entwickelt. Die Darstellung des Systems Basisabdichtung ist im Kapitel 4.2 des Bandes 1.1.1E2 zu finden.

Die Schichtmächtigkeit für die Phase 1 der Haldenerweiterung ist mit mindestens 75 cm in der Gesamtmächtigkeit zugelassen, wobei die obere Dichtungsschicht mindestens 50 cm und die untere mindestens 25 cm aufweist.

Zur Ermittlung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes der mineralischen Dichtung wurden Laborversuche durchgeführt (siehe Band 3.29.1N2: „Nachweise für das System Basisabdichtung im Pilotvorhaben Zielitz“). Die Laborversuche haben belegt, dass Durchlässigkeitsbeiwerte $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s langzeitsicher eingehalten werden.

Dieser Aufbau einer zweilagigen, insgesamt 75 cm starken mineralischen Dichtung wurde im Rahmen der Phase 1 umgesetzt und die Einhaltung aller Qualitätsanforderungen zur Dichtung mit dem QMP nachgewiesen. Für die Phase 2 wird abweichend eine Einbaustärke von 55 cm (- 2/+ 4 cm) und in beiden Lagen ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s umgesetzt. Im Band 1.1.1E2 ist die Gleichwertigkeit der beiden Systeme nachgewiesen und gutachterlich bestätigt (Anlage 10).

Im Rahmen der weiteren ortskonkreten Genehmigungsplanung werden die Haldenwasserfassungssysteme, bestehend aus einer flächenhaften Entwässerungsschicht inkl. linienförmiger Entwässerungselemente und haldenexternen Fassungssystemen konkretisiert. Die flächige Entwässerungsschicht (FES) übernimmt die Hauptentwässerungsfunktion. Bestimmend für deren Wirksamkeit ist ihre Durchlässigkeit, da diese die Aufstauhöhe bestimmt. Die linienhaften EE haben im Entwässerungssystem im Wesentlichen eine unterstützende/ verbessernde Funktion, die sich vor allem auf die Spüloption bezieht.

Das Entwässerungssystem ist so konzipiert, dass ein regelmäßiges Monitoring und ggf. Instandsetzungsarbeiten der haldenexternen Entwässerungssysteme ermöglicht werden. Weiterhin besteht bei den linienförmigen Entwässerungselementen die Möglichkeit, Inkrustationen in den klimabeeinflussten Randbereichen der Entwässerungselemente mittels Spülrohr zu entfernen und die hydraulische Wirksamkeit wieder herzustellen. Die auflastbedingten Verformungen im Haldenvorland werden durch den Einsatz des kombinierten Schüttverfahrens und einer angepassten Böschungsgeometrie auf ein für das System Basisabdichtung verträgliches Maß verringert. Durch die geeignete Anbindung des Haldenrandgrabens an die mineralische Dichtung wird eine dauerhafte Funktion des Systems im Haldenvorfeld sichergestellt.

3.4.2.3 Festlegung des hydraulischen Gradienten für die Erweiterung

Für die Berechnung der Restinfiltration im Bereich der Erweiterungsfläche ist die Abschätzung des äquivalenten hydraulischen Gradienten notwendig. Hierbei wird im Gegensatz zum bisherigen Berechnungsansatz bei der Phase 1 der Erweiterung dieser äquivalente hydraulische Gradient für die gesamte Erweiterungsfläche statt wie bisher nur für den hydraulisch aktiven Bereich der Mantel- und Übergangszone angesetzt.

Die Berechnung der potentiellen Einstauhöhe erfolgt in Anlehnung an die GDA E 2-20 für ein hydrologisches Durchschnittsjahr mit einem korrigierten Gebietsniederschlag des DWD von $N = 815 \text{ mm}$. Die Verdunstung wurde im Rahmen der Berechnung vernachlässigt. Der Aufsalzungsfaktor zur Volumenausdehnung bei Aufsättigung des Niederschlages beim Kontakt mit dem Salz wurde mit 1,11 angesetzt. Die Ermittlung der potentiellen Einstauhöhe in der flächigen Entwässerungsschicht oberhalb der Dichtungsschicht erfolgt hierbei nach dem Berechnungsansatz von LESAFFRE (GDA E 2-20). Der Ansatz ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

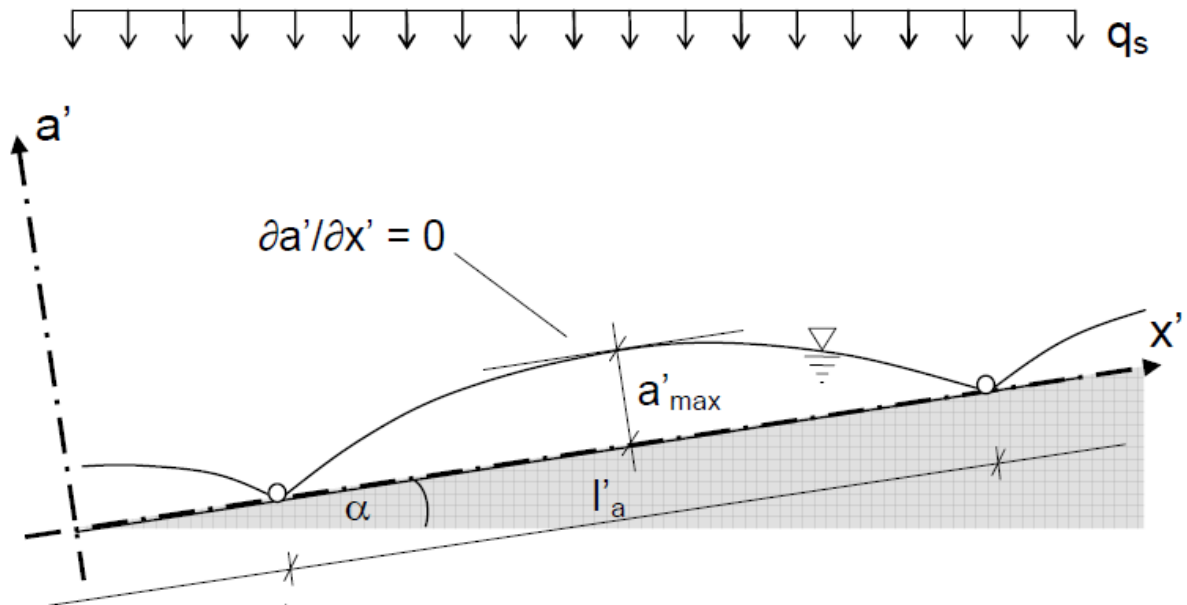


Abbildung 2: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle- Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE (GDA E2-20)

Die Errechnung der potentiellen, maximalen Einstauhöhe auf der Haldenbasis erfolgt nach folgender Formel:

$$\frac{l'_a}{a'_{max}} = \left(\frac{4 * k_x}{q_s} + \left(\frac{k_x}{q_s} - 1 \right)^2 * (\tan \alpha)^2 \right)^{1/2}$$

a'_{max} : potentielle Einstauhöhe in m

l'_a : Systemlänge in m

k_x : Durchlässigkeitsbeiwert der Entwässerungs-/Dränageschicht in x-Richtung in m/s

q_s : Dränspende in m/s

α : Sohlgefälle in °

Die Ermittlung der Systemlängen und der Sohlgefälle erfolgt anhand eines digitalen Geländemodells des Untergrundes (Phase 2) bzw. des profilierten Untergrundes im Bereich der Erweiterungsfläche unter Einbeziehung der in den einzelnen Bereichen ortskongret

errichteten Entwässerungselemente (Phase 1). Folgende Unterteilung wurde für die Berechnung vorgenommen:

- Phase 1, Bauabschnitt A1
- Phase 1, Bauabschnitt A2+3
- Phase 1, Bauabschnitt A4+5
- Phase 2

Die Ergebnisse der Fließanalyse inkl. der Systemlängen und Sohlgefälle sowie die Lage der einzelnen Entwässerungsflächen sind in der Anlage 9 dargestellt. Der Berechnungsansatz für die Phase 1 berücksichtigt die tatsächlichen ortskonkreten Gefälleverhältnisse der Teilabschnitte. Demgegenüber wurde für die Phase 2 die aktuelle Gefällesituation angesetzt. Maßgeblich ist daher für die Phase 2 der in Anlage 9 dargestellte Fließweg mit der ungünstigsten Gefällesituation. Der angesetzte Wert ist konservativ, da im Zuge der weiteren Flächenplanung der Bereich der Phase 2 profiliert wird und Entwässerungselemente zur Verkürzung der Fließwege vorgesehen sind (vgl. Band 1.1.1E2).

In der nachfolgenden Tabelle sind die Parameter für die einzelnen Bereiche der Erweiterungsfläche aufgeführt:

Tabelle 2: Systemlänge und Sohlgefälle im Bereich der Erweiterungsfläche

Parameter	Einheit	Schnitt 1	Schnitt 2	Schnitt 3	Schnitt 4
		Phase 1; BAA1	Phase 1, BAA2+BAA3	Phase 1, BAA4 + BAA5	Phase 2
Systemlänge	m	208,20	196,25	120,00	189,00
Hochpunkt	m	345,13	347,10	343,00	353,00
Tiefpunkt	m	335,41	332,85	324,50	350,77
Sohlgefälle	-	0,047	0,073	0,154	0,012
	°	2,67	4,15	8,76	0,68

Die Dränspeise q_s errechnet sich nach folgender Formel:

$$q_s = \frac{(N - V) * F_{Aufsatz}}{1000 * 365 * 24 * 3600} = 2,87 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert der flächigen Entwässerungsschicht (FES) wird konservativ als dauerhaft mit $1 * 10^{-2}$ m/s (nachgewiesen wurde in Laborversuchen an der TU-Braunschweig $1 * 10^{-1}$ m/s; siehe Band 1.1.1E2, Anlage 6) angenommen. Der Durchlässigkeitsbeiwert der mineralischen Dichtung liegt für die Phase 1 bei $k_f \leq 5 * 10^{-10}$ m/s (für $i = 30$) und die Dicke d beträgt 0,75 m. Für die Phase 2 wurden die Berechnung sowohl für 75 cm und $k_f \leq 5 * 10^{-10}$ m/s als auch für den antragsgegenständlichen Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 3 * 10^{-10}$ m/s und eine Dicke von 55 cm durchgeführt. Aus der Berechnung ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 3 dargestellten Einstauhöhen.

Aus diesen Eingangsdaten errechnet sich die in der nachfolgenden Tabelle 3 dargestellte potentielle Einstauhöhe a'_{max} auf der Haldenbasis nach folgender Formel:

$$a'_{max} = \frac{l_a}{\sqrt{\left(\frac{4 * k_x}{q_s}\right) + \left(\frac{k_x}{q_s} - 1\right)^2 * (\tan \alpha)^2}}$$

a'_{max} : potentielle Einstauhöhe in m

l_a : Systemlänge in m

k_x : Durchlässigkeitsbeiwert der Entwässerungs-/Dränageschicht in x-Richtung in m/s

q_s : Dränspende in m/s

α : Sohlgefälle in °

Aus diesem Einstau errechnet sich ein äquivalentes, hydraulisches Gefälle nach folgender Formel:

$$i = \frac{h_E}{d}$$

i : hydraulisches Gefälle

h_E : Einstauhöhe in m

d : Höhe der mineralischen Dichtung in m

Tabelle 3: Einstauhöhen, und hydraulische Gradienten und spezif. Restinfiltration

Parameter		Einheit	Schnitt 1	Schnitt 2	Schnitt 3	Schnitt 4
			Phase 1; BAA1	Phase 1, BAA2+ BAA3	Phase 1, BAA4 + BAA5	Phase 2
Einstauhöhe		m	0,013	0,008	0,002	0,044
Hydraulischer Gradient	75 cm; $5 \cdot 10^{-10}$ m/s	-	0,017	0,010	0,003	0,059
	55 cm; $3 \cdot 10^{-10}$ m/s		-	-	-	0,083
Spezifische Restinfiltration	75 cm; $5 \cdot 10^{-10}$ m/s	$\frac{m^3}{(ha * a)}$	2,7	1,6	0,5	9,3
	55 cm; $3 \cdot 10^{-10}$ m/s		-	-	-	7,9

Die Anwendbarkeit des o.g. Ansatzes für die Ermittlung des hydraulischen Gradienten wird im Gutachten des Geotechnischen Büros Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann (siehe Anlage 15) dargelegt. Entsprechend der gutachterlichen Bewertung gilt der Ansatz $i = (h+d)/d$ ausschließlich für Gleichwertigkeitsbetrachtungen mineralischer Dichtungsschichten. Er berücksichtigt ausschließlich das Gravitationspotenzial, vernachlässigt aber den materialspezifisch vorhandenen Matrixwiderstand. Die am Dichtungsmaterial der Haldenerweiterung Hattorf Phase 1 durchgeführten Untersuchungen bestätigen jedoch widerspruchsfrei, dass für den Gradienten i der Ansatz $i = h/d$ zu wählen ist, d.h. dass spätestens bei einer Überstauhöhe $h = 0$ der Auslauf an der Unterseite der Probe gegen Null geht, d.h. die Durchströmung der Probe bzw. die Durchströmung der zu betrachtenden Dichtung zum Erliegen kommt.

3.4.3 Berechnung der Gesamtsalzfracht

Zur Ermittlung der Gesamtsalzfrachten werden die Daten der Haldenwasserzusammensetzung aus den bisherigen Analysewerten am Standort entnommen. Danach handelt es sich um eine hochkonzentrierte Salzlösung mit durchschnittlich ca. 362 g/l gelösten Salzen. Die Dichte liegt zwischen 1,20 und 1,26 g/cm³.

Aus dieser Gesamtsalzfracht und der diffusen spezifischen Restinfiltration ergibt sich dann eine spezifische Gesamtsalzfracht für die Erweiterungsfläche und das Haldenvorfeld.

Die Berechnung der flächenspezifischen Gesamtsalzfracht F_{Salz} erfolgt nach folgender Gleichung:

$$F_{\text{Salz}} = RI * c_{\text{Salz},\emptyset}$$

RI : spezifische Restinfiltration in m³/(ha*Monat)

$c_{\text{Salz},\emptyset}$: spezifische Gesamtsalzfracht in kg/m³

Nach Multiplikation mit den einzelnen Flächenanteilen ergeben sich die jeweiligen Gesamtfrachten durch die Bildung der Summe der Einzelwerte. Die Jahreswerte (bezogen auf das Ende des jeweiligen Jahres) sind in der Anlage 11 dargestellt.

3.4.4 Darstellung der Berechnungsergebnisse der Restinfiltration im Bereich der Aufstandsflächen von Bestandshalde und Haldenerweiterung

Im Ergebnis der Berechnungen ergeben sich für die einzelnen Haldenflächen der Bestandshalde, der Phase 1 und der Phase 2 die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Restinfiltrationen bei vollständiger Beschüttung der Bestandshalde sowie der Haldenerweiterungsflächen Phase 1 und Phase 2.

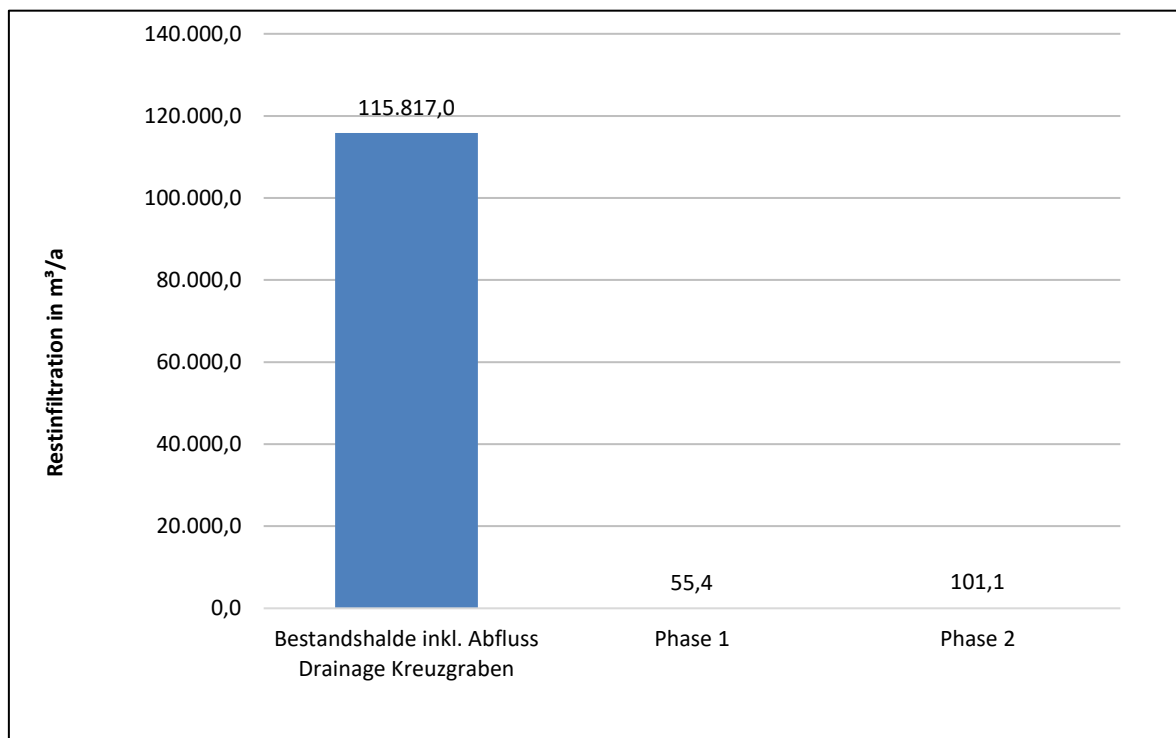


Abbildung 3: Berechnungsergebnisse der Restinfiltration für die Bestandshalde inkl. Abfluss Drainage Kreuzgraben, die Haldenerweiterung Phase 1 und Phase 2

Im Bereich der Bestandshalde ergibt sich eine Gesamtrestinfiltration von ca. 112.000 m³/a zzgl. dem Abfluss aus der Drainage Kreuzgraben von ca. 4.000 m³/a. Im Bereich der Phase 1 ergibt sich bei einer Mächtigkeit der Basisabdichtung von 75 cm und einem Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s nach vollständiger Belegung der Aufstandsfläche von 27,5⁷ ha eine Restinfiltration von ca. 55 m³/a und im Bereich der Phase 2 (ca. 10,9 ha⁸) von ca. 101 m³/a. Wird für die Phase 2 eine Mächtigkeit der Basisabdichtung von 55 cm und ein Durchlässigkeitsbeiwert von $3 \cdot 10^{-10}$ m/s angenommen, ergibt sich eine geringere Restinfiltration von 85,9 m³/a. Der Auswirkungsprognose im Band 3.12.2E2 wurden konservativ die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zugrunde gelegt.

Sowohl die flächenspezifische als auch die Gesamtrestinfiltration der Phase 2 ist höher als die der Phase 1. Dies ist dadurch bedingt, dass für die Phase 2 der in Anlage 9 dargestellte Fließweg mit der ungünstigsten Gefällesituation zugrunde gelegt wurde. Es handelt sich somit um einen konservativen Ansatz in der Berechnung der Restinfiltration der Phase 2. Im Zuge der weiteren Flächenplanung wird der Bereich der Phase 2 profiliert, zudem sind Entwässerungselemente zur Verkürzung der Fließwege vorgesehen. Dies führt zu einer Verringerung der rechnerisch ermittelten Restinfiltration, die hier jedoch nicht berücksichtigt wurde.

⁷ Berücksichtigung haldennahe Infrastruktur (Haldenvorfeld)

⁸ Berücksichtigung haldennahe Infrastruktur (Haldenvorfeld)

Ausgehend von der Restinfiltration ergeben sich die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Salzfrachten.

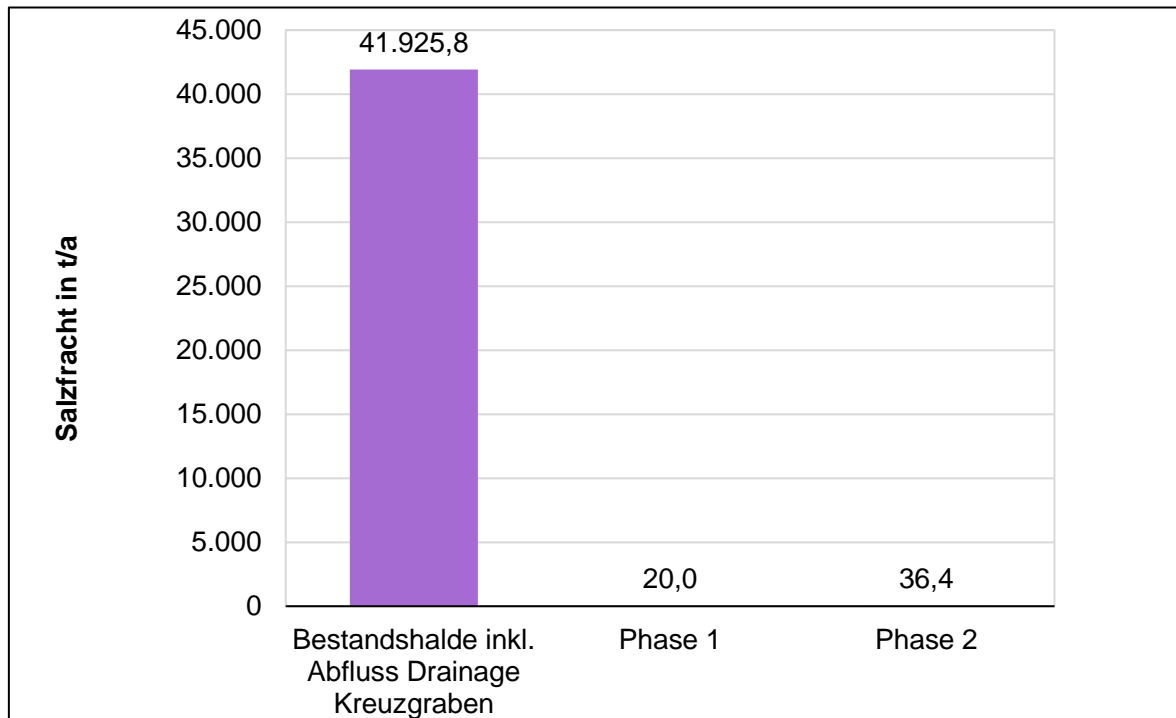


Abbildung 4: Berechnungsergebnisse der Salzfracht für die Bestandshalde inkl. Abfluss Drainage Kreuzgraben, die Haldenerweiterung Phase 1 und Phase 2

Hierbei ergibt sich bei einer Mächtigkeit der Basisabdichtung von 75 cm und einem Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s für die Bestandshalde nach vollständiger Belegung eine Salzfracht von ca. 42.000 t/a, im Bereich der Phase 1 von 20 t/a und im Bereich der Phase 2 von 36 t/a. Wird für die Phase 2 eine Mächtigkeit der Basisabdichtung von 55 cm und ein Durchlässigkeitsbeiwert von $3 \cdot 10^{-10}$ m/s angenommen, ergibt sich eine geringere Salzfracht von 31 t/a.

3.4.5 Eintrag aus dem Anschüttungsbereich der Haldenerweiterung Phase 1 an die Bestandshalde

Auf Basis der Ausführungspläne für die Errichtung der hydraulischen Trennung wurde das Rückstandsvolumen der zur Umsetzung in 2023 geplanten, rd. 45 m breiten Anschüttung nördlich der hydraulischen Trennung von 152.500 m³ ermittelt. Darüber hinaus wird die Hälfte der 3,0 % der gravitativ entwässerbaren Restfeuchte als maximal im ersten Jahr anfallende Restinfiltration betrachtet. Somit berechnet sich die maximale restfeuchtebedingte Restinfiltration im Anschüttungsbereich an die Bestandshalde im Jahr 2023 nach folgender Formel:

$$RI_{\text{Anschüttung}} = V_{\text{Anschüttung}} \cdot \left(\frac{1,5}{100} \right) \cdot \frac{\rho_{\text{Rückstand}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \cdot F_{\text{Aufsalz}}$$

$RI_{\text{Anschüttung}}$: Restinfiltration der Anschüttung in m³

$V_{\text{Anschüttung}}$:	Rückstandsvolumen in m^3
$\rho_{\text{Rückstand}}$:	Dichte des Rückstandes in t/m^3
ρ_{Wasser} :	Dichte von Wasser in t/m^3
F_{Aufsalz} :	Aufsalzungsfaktor

Hieraus ergibt sich eine Restinfiltration aus der Anschüttung an die Bestandshalde nördlich der hydraulischen Trennung von $4.570,43 \text{ m}^3$ im Jahr 2023. In den Folgejahren sinkt die Restinfiltration auf $147,43 \text{ m}^3/\text{a}$ über einen Zeitraum von 31 Jahren, da die restliche gravitativ entwässerbaren Restfeuchte innerhalb dieser Zeit abläuft.

Bei diesem Ansatz ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass diese Berechnung der im Anschüttbereich maximal möglichen restfeuchtebedingten Restinfiltration auf einer unrealistisch konservativen und damit auf der äußerst sicheren Seite liegenden Annahme beruht. Denn sie geht entgegen aller Praxiserfahrung und entgegen den Erkenntnissen zu den physikalischen Fließprozessen innerhalb der Bestandshalde davon aus, dass der gesamte gravitativ entwässerbare Wassergehalt der Anschüttung als Restinfiltration wirksam wird und in das Grundwasser gelangt. Tatsächlich wird ein erheblicher, derzeit aber noch nicht belastbar quantifizierbarer Anteil dieses gravitativ entwässerbaren Wassergehalts der Anschüttung als Haldenwasser gefasst und einer geordneten Entsorgung zugeführt.

Im Übrigen ist bereits an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die vorstehend ermittelte, im Anschüttungsbereich maximal mögliche restfeuchtebedingte Restinfiltration die minimierende und ebenfalls vorhabenbedingte Wirkung der hydraulischen Trennung entgegensteht, die zur Folge hat, dass es letztlich durch das Vorhaben der Haldenerweiterung in den Phasen 1 und 2 nicht zu Mehreinträgen in das Grundwasser kommt, sondern zu einer Verringerung der Emissionen der Gesamthalde.

4. Aufstellung der spezifischen Haldenwasserbilanzgleichung

Ausgehend von der in Kap. 2 beschriebenen allgemeinen Haldenwasserbilanz wird mit Hilfe der zuvor beschriebenen Festlegungen zu den einzelnen Parametern eine standortspezifische Haldenwasserbilanz entwickelt.

Der Gesamthaldenwasseranfall ergibt sich aus dem berechneten Haldenwasseranfall, der auf der bereits beschütteten Haldenfläche anfällt, und dem Haldenwasseranfall der innerhalb eines Jahres beschütteten Haldenfläche.

Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$HWA = (N - E) * F_{\text{Aufsalz}} * A + WG_{\text{frei}} - RI + Q_{\text{UW}} - HWA_{\text{Min}}$$

HWA:	Haldenwasseranfall in m^3/a
N:	Niederschlag in $\text{m}^3/(\text{ha} * \text{a})$
E:	Evaporation des Niederschlags in $\text{m}^3/(\text{ha} * \text{a})$
F_{Aufsalz} :	Aufsalzungsfaktor
A:	Aufstandsfläche der Rückstandshalde in ha

WG_{frei}: Freies Wasser der jährlich anfallenden Rückstandsmenge in m³/a

RI: Restinfiltration der mineralischen Dichtung in m³/a

Q_{UW}: Zufluss vom Umfahrungsweg in m³/a

HWA_{Min.}: Minimierungspotential des Haldenwasseranfalls in m³/a

Aus dieser Berechnung ergibt sich mit den in Kapitel 3 beschriebenen Parametern dann der jährliche Haldenwasseranfall für das jeweilige Jahr in m³/a.

Abgezogen wird davon der Haldenwasseranfall, der durch die Errichtung des Polders auf dem Haldentop gefasst wird und somit nicht zum Haldenwasseranfall beiträgt (HWA_{Min.}) (siehe Kap. 5.2)

Für die weitergehenden Betrachtungen wurde im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung angenommen, dass keine Restinfiltration im Bereich der Erweiterungsfläche vorhanden ist.

Die Berechnung mittels der spezifischen Haldenwasserbilanzgleichung erfolgt jeweils für das im Kapitel 3.1 beschriebene meteorologische Jahr.

5. Sickerwasserminimierungsmaßnahmen

5.1 Hydraulische Trennung von Bestandshalde und Erweiterung

5.1.1 Beschreibung der hydraulischen Trennung

Um vorhabensbedingte Sickerwassereinträge aus der Anschüttung der Haldenerweiterung an die Bestandshalde zu verhindern, wird in der Phase 1 und 2 der Haldenerweiterung diese hydraulisch von der Bestandshalde getrennt. Dies wird durch eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) erreicht, welche im Böschungsbereich der Anschüttung aufgebracht wird. Die Einzelheiten zum Vorhabensbestandteil einer hydraulischen Trennung sind für die Phase 1 im Band 1.1.1E „Technisches Konzept“ der letzten Antragsunterlage (Stand 15.05.2018) und für die Phase 2 in Band 1.1.1E2 „Technisches Konzept“ dieser Antragsunterlage ausführlich beschrieben.

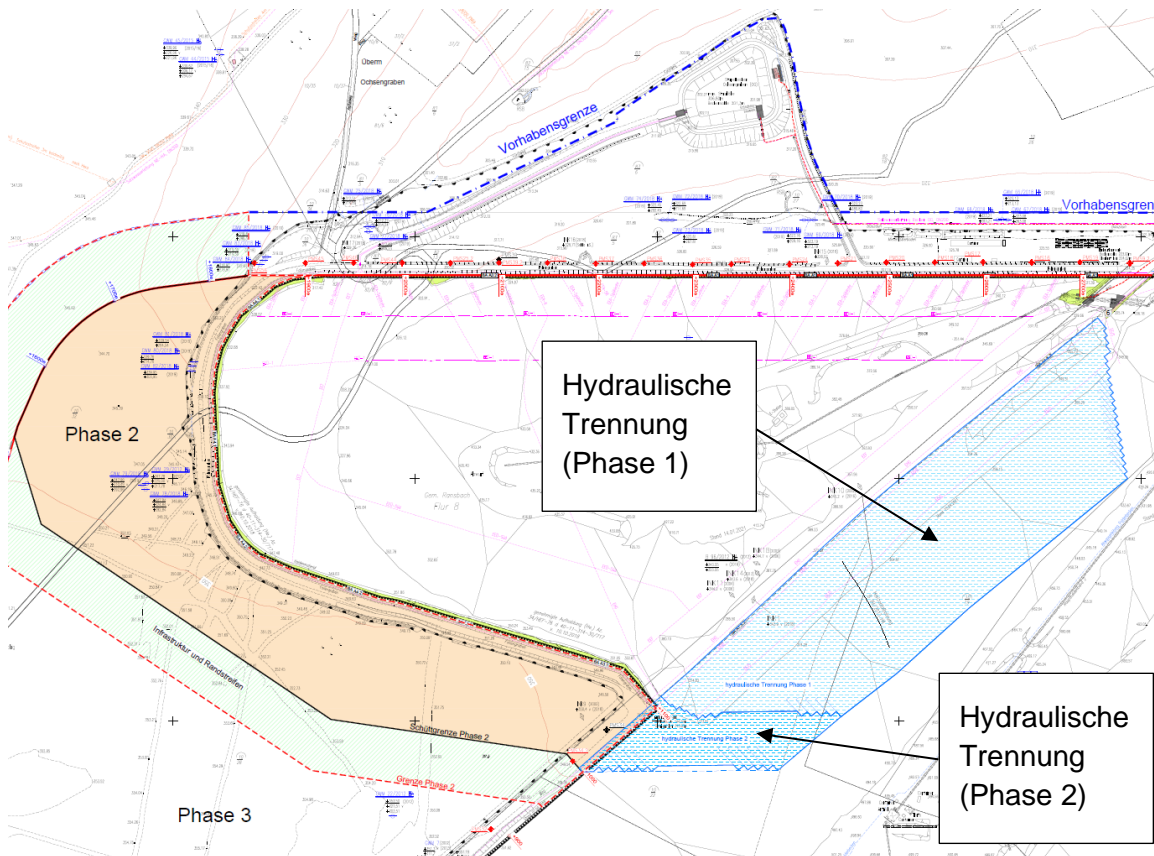


Abbildung 5: schematische Darstellung der Fläche der hydraulischen Trennung als Grundlage für die Ermittlung der Haldenwasserbilanz

5.1.2 Berechnungsmodell⁹ zur Reduzierung der Restinfiltration der Bestandshalde durch die hydraulischen Trennung

Wie im vorherigen Kapitel dargestellt, erfolgt mit Beschüttung der Phase 1 und 2 die sukzessive Errichtung der hydraulischen Trennung zwischen der Bestandshalde und der Erweiterung. Während der Beschüttung der Erweiterungsfläche (Phase 1 und 2) wird über die hydraulische Trennung eine Versickerung in den Untergrund im Anschüttungsbereich der Haldenerweiterung an die Bestandshalde verhindert (siehe Band 3.12.2E2). Das oberhalb der hydraulischen Trennung anfallende Haldenwasser wird am Fuß der hydraulischen Trennung im ertüchtigten Haldenrandgraben gefasst. Das gefasste Haldenwasser wird dem Haldenwasseranfall der Erweiterungsfläche zugerechnet.

Um die Reduzierung der Restinfiltration für die Bestandshalde zu ermitteln, wurde zunächst die auf den Untergrund projizierte Fläche der durch die KDB abgedeckten Flanke bestimmt. Hierbei ergibt sich für die Phase 1 eine Fläche von 8,0 ha und für die Phase 2 eine Fläche

⁹ Berechnungsansatz aus 1. Änderung des Planfeststellungsbeschlusses vom 10.10.2018 (Az.: 34 HEF 76 d 40-11-314-30/717) - Temporärer Verzicht auf die Errichtung weiterer Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde Hattorf vom 07.05.2021

von 1,7 ha. Unter der Annahme einer spezifischen Restinfiltration der Bestandshalde von ca. $1.230 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{a})$ (siehe Kap. 3.4.1.1) ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Reduzierungen der Restinfiltration im Bereich der Bestandshalde.

Tabelle 4: jährliche Reduzierung der Restinfiltration der Bestandshalde durch die hydraulische Trennung

Zeitraum [a]	Reduzierung Restinfiltration Bestandshalde [m^3/a]		
	Phase 1	Phase 2	Summe
2021	2.477	-	2.477
2022	6.555	-	6.555
2023	9.348	351	9.699
2024	9.348	1.145	10.493
2025	9.348	1.998	11.346

Für die Jahre ab 2026 wurde eine konstante Reduzierung der Restinfiltration an der Bestandshalde von $11.346 \text{ m}^3/\text{a}$ angesetzt. Das ermittelte Minimierungspotential der Phase 2 dient zur Kompensation vorhabensbedingten Restinfiltration.

5.2 Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde

5.2.1 Beschreibung des Polders

Zur Reduzierung des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration wurde im Mai 2019 im Rahmen der Beschüttung der Phase 1 im Bereich der Plateaufläche der Bestandshalde Hattorf bis zur Errichtung der endgültigen Oberflächenabdeckung ein kunststoffgedichtetes Polderbecken mit einer Fläche von ca. 1 ha errichtet (siehe SBP HA-07/18, Zulassung vom 15.10.2018, AZ. 34/HEF – 76 d 40-11-314 60/8).

Die Planfeststellung der Phase 1 umfasst die Errichtung weiterer Polder in 2 Stufen auf einer Gesamtfläche von 9,5 ha Haldentop. Die Polder dienen als temporäre Sickerwasserminimierungsmaßnahme bis zur Umsetzung der MSO. Konservativ wird hier nur die Minimierungsleistung des vorhandenen ersten Polders betrachtet. Die Polderfläche wird vergrößert / der Polderbau fortgesetzt, und dadurch wird die Sickerwasserminimierungsleistung in Zukunft steigen.

Die Lage des Polders auf dem Haldentop ist in der Anlage 1 des Bandes 1.1E2 dargestellt.

5.2.2 Minimierungspotential des Haldenwasseranfalls des errichteten Polderbeckens auf dem Haldentop

Für die Ermittlung des Minimierungspotentials des Polderbeckens auf dem Haldentop wurden die Haldenwassermengen ermittelt, die durch die Errichtung des Polders vermieden werden können. Die Berechnung erfolgt nach folgender Gleichung:

$$HWA_{Pol,Min} = N * F_{Aufsalz} * A * \eta$$

$HWA_{Pol, Min}$: Minimierungspotential des Haldenwasseranfalls in m³/a

N : Niederschlagswert in m³/(ha*a)

$F_{Aufsalz}$: Aufsalzungsfaktor

A : Fläche des Polderbeckens in ha

η Wirksame Fläche des Polders in %

Die Verdunstung aus dem Polderbecken wurde im Rahmen der Berechnung nicht berücksichtigt.

5.2.3 Berechnungsmodell zur Bestimmung des Minimierungspotentials der Restinfiltration durch den bereits errichteten Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde¹⁰

Zur Berechnung des Anteils, um den die Restinfiltration im Bereich der Bestandshalde durch die Errichtung des Polders auf dem Haldentop reduziert wird, wird ein Vergleich der für die Bildung von Sickerwasser wirksamen Flächen herangezogen. Durch die Errichtung kommt es zu einer Verminderung des Dargebots und somit auch der Restinfiltration. Die Errichtung des Polders erfolgte im Rahmen der Phase 1 auf einer Fläche von ca. 1,0 ha. Für die Berechnung wurde hierbei konservativ von einer wirksamen Fläche des Polders von 95 % ausgegangen.

Die Berechnung des Minimierungspotentials erfolgt nach folgender Formel:

$$-RI_{Polder} = -RI_{spez,Bestand} * A_{Polder} * \eta$$

$-RI_{Polder}$: Minimierungspotential in m³/a

$-RI_{spez,Bestand}$: spezifische Restinfiltration in m³/a

A_{Polder} : Fläche des Polders in ha

η : wirksame Fläche in %

Für den errichteten Polder ergibt sich damit ein Minimierungspotential von 1.169 m³/a.

¹⁰ Berechnungsansatz aus 1. Änderung des Planfeststellungsbeschlusses vom 10.10.2018 (Az.: 34 HEF 76 d 40-11-314-30/717) - Temporärer Verzicht auf die Errichtung weiterer Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde Hattorf vom 07.05.2021

5.3 Darstellung der Berechnungsergebnisse

5.3.1 Restinfiltration

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Berechnung zur Restinfiltration aus dem Kapitel 3.4.5 zusammenfassend dargestellt. Mit Hilfe dieser Zusammenstellung soll die Verbesserung der Gesamtsituation am Standort durch die Sickerwasserminimierungsmaßnahmen im Rahmen der Phase 1 und 2 dargestellt werden. Bei der Berechnung der Restinfiltrationen wurde jeweils das Haldenvorfeld mitberücksichtigt (siehe Kap. 3.4.1):

Tabelle 5: Ergebnisse der Berechnungen zur Restinfiltration der Bestandshalde + Erweiterung¹¹

Bezeichnung	Restinfiltration in m ³ /a	Spezifische Restinfiltration in m ³ /(ha*a) bzw. mm/a	Gesamt-salz-fracht in t/a	Spezifische Gesamt-salzfracht in t/(ha*a)
Berechnungsergebnisse zur Restinfiltration				
Bestandshalde (Zeitschnitt 2020)	115.817	1230 bzw. 123	41.926	442
Erweiterung Phase 1 (Zeitschnitt Juni 2023)	55,4	2,04 bzw. 0,2	20,0	0,72
Erweiterung Phase 2 (Zeitschnitt September 2025)	101,1	9,3 bzw. 0,93	36,4	3,3
Verbesserung nach Errichtung der Sickerwasserminimierungsmaßnahmen				
Reduzierung der Restinfiltration an der Bestandshalde durch Sickerwasserminimierungsmaßnahme Polder auf dem Haldentop	-1.169	-13,1 bzw. -1,3	-423	-4,7
Reduzierung der Restinfiltration an der Bestandshalde durch Sickerwasserminimierungsmaßnahme hydraulische Trennung (Phase 1, Zeitschnitt 2023)	-9.348	-340 bzw. -34	-3.384	-122,4
Reduzierung der Restinfiltration an der Bestandshalde durch	-1.998	-183 bzw. -18,3	-723	-66

Bezeichnung	Restinfiltration in m³/a	Spezifische Restinfiltration in m³/(ha*a) bzw. mm/a	Gesamtsalzfracht in t/a	Spezifische Gesamtsalzfracht in t/(ha*a)
Sickerwasserminimierungsmaßnahme hydraulische Trennung (Phase 2, Zeitschnitt 2025)				
Verbesserung der Gesamtsituation am Standort durch Reduzierung der Restinfiltration durch Polder auf dem Haldentop und hydraulische Trennung	-12.515 (-11 %)	-	-4.530 (-11 %)	-

Mit Ende der Beschüttung der Bestandshalde ergeben sich eine Restinfiltration von ca. 115.817 m³/a (123 mm/a) und eine Gesamtsalzfracht von ca. 41.926 t/a. Nach Abschluss der Beschüttung der Phase 1 ergibt sich im Juni 2023 eine Restinfiltration der Bestandshalde zzgl. der Phase 1 von ca. 115.872 m³/a (95 mm/a) und eine Gesamtsalzfracht von 41.946 t/a. Mit Ende der Beschüttung der Phase 2 im September 2025 beträgt die Restinfiltration ca. 115.974 m³/a (87 mm/a) und die Gesamtsalzfracht ca. 41.983 t/a. Als zusätzliche Sickerwasserminimierungsmaßnahme reduziert das errichtete Polderbecken auf der Bestandshalde die Restinfiltration um ca. 1.169 m³/a und die Gesamtsalzfracht um ca. 423 t/a. Weiterhin reduziert die hydraulische Trennung die Restinfiltration der Bestandshalde mit Ende der Beschüttung der Phase 1 um ca. 9.348 m³/a (34 mm/a) und mit Ende der Beschüttung der Phase 2 zusätzlich um 1.998 m³/a (18 mm/a) und die Gesamtsalzfracht bei der Phase 1 um ca. 3.384 t/a und bei der Phase 2 zusätzlich um ca. 723 t/a.

Somit ergibt sich für die Restinfiltration der Bestandshalde aufgrund des Vorhabens der Haldenerweiterung am Ende der Phase 1 eine Verbesserung der Gesamtsituation um ca. 9 % bzw. ca. 10.517 m³/a und für die Gesamtsalzfracht um ca. 3.807 t/a und am Ende der Phase 2 eine Verbesserung der Gesamtsituation um ca. 11 % bzw. ca. 12.515 m³/a und für die Gesamtsalzfracht um ca. 4.530 t/a.

Für die weiterführenden Berechnungen zur Ermittlung des Haldenwasseranfalls im Bereich der Erweiterung wird die Restinfiltration der Erweiterungsfläche vernachlässigt. Für die Ermittlung des maximalen Haldenwasseranfalls ist dies eine Worst-Case-Betrachtung, da sich damit ein höherer Haldenwasseranfall ergibt als unter Berücksichtigung einer Restinfiltration.

5.3.2 Haldenwasserminimierung der Bestandshalde durch Errichtung des Polders auf dem Haldentop

Die Errichtung des Polderbeckens auf dem Haldentop der Bestandshalde im Rahmen der Beschüttung der Phase 1 führt zur anteiligen Fassung des Niederschlagswassers am

Haldentop und damit zu einer Reduzierung des Haldenwasseranfalls. Die Ergebnisse der Berechnung der Reduzierungswirkung gemäß Kapitel 5.2.2 sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6: Ergebnisse der Berechnungen zum Minimierungspotential durch die Errichtung des Polders auf dem Haldentop

Parameter	Wert
Wirksame Fläche des Polders in ha	0,95
Niederschlagsanfall im Bereich des Polders in m ³ /a	8.150
Aufsalzungsfaktor	1,11
Haldenwasserminimierung in m³/a	8.594

Wie aus der vorherigen Tabelle zu erkennen ist, liegt das Haldenwasserminimierungspotenzial des errichteten Polders bei ca. 8.594 m³/a.

Wie bereits zuvor beschrieben, sieht die Planfeststellung der Phase 1 die Errichtung weiterer Polder in 2 Stufen auf einer Gesamtfläche von 9,5 ha Haldentop vor. Konservativ wird hier nur die Minimierungsleistung des vorhandenen ersten Polders betrachtet. Die Polderfläche wird vergrößert / der Polderbau fortgesetzt und dadurch die Sicherwasserminimierungsleistung in Zukunft steigen.

5.3.3 Zusammenfassende Darstellung der Berechnungsergebnisse des Haldenwasseranfalls bei Ansatz der Maßnahmen

Unter Einbeziehung des Minimierungspotentials des errichteten Polders und der Wirkung der hydraulischen Trennung berechnen sich die im nachfolgenden Diagramm dargestellten reduzierten Haldenwassermengen für die Bestandshalde, die Phase 1 und die Phase 2 der Erweiterung. Hierbei wurden jeweils die Zeitschnitte dargestellt, an denen die Beschüttung der Bestandshalde (2018), der Phase 1 (Juni 2023) und der Phase 2 (Sept. 2025) vollständig abgeschlossen ist. In den Anlagen 12, 13 und 14 sind hingegen die jährlichen Haldenwassermengen aufgeführt (bezogen auf das Ende des jeweiligen Jahres).

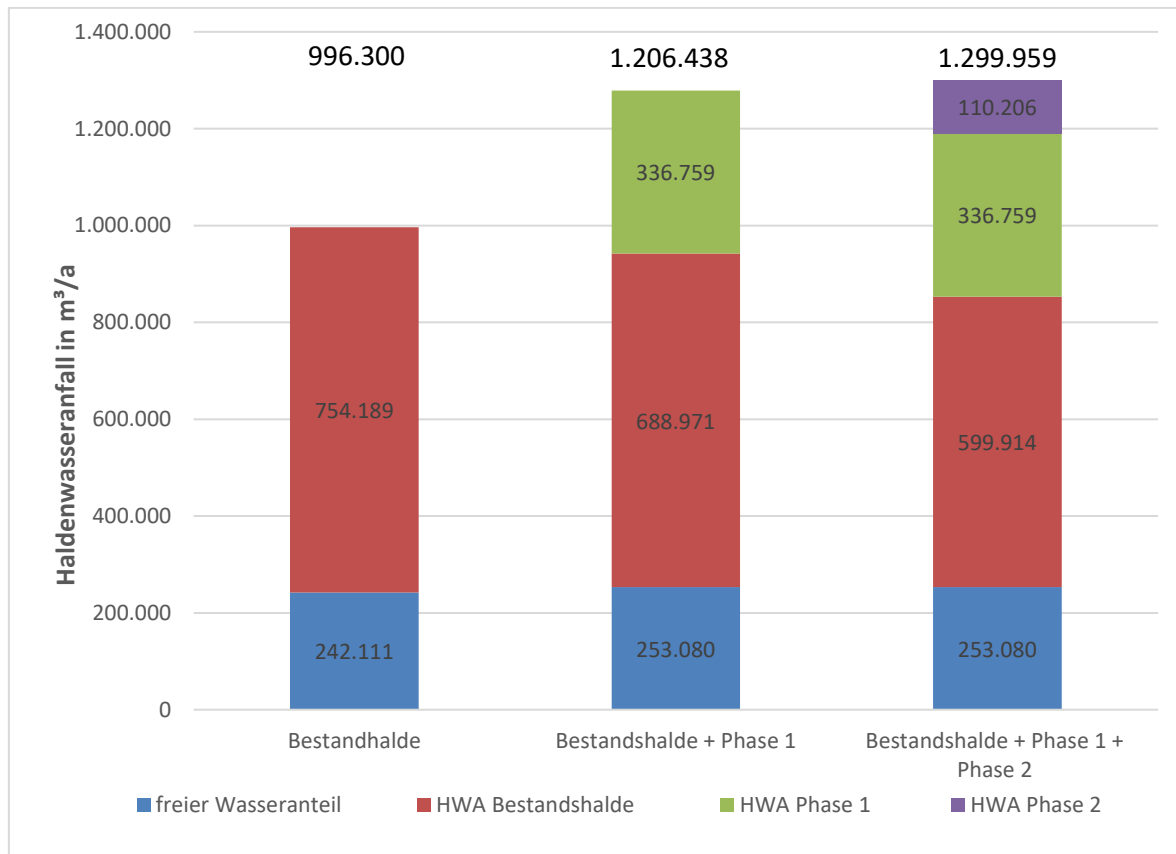


Abbildung 6: Prognostizierter Haldenwasseranfall für Bestandshalde, Phase 1 und Phase 2

Mit vollständiger Beschüttung der Bestandshalde ergibt sich ein Haldenwasseranfall von rd. 996.300 m³/a¹². Die Reduzierung des Haldenwasseranfalls der Bestandshalde wird durch die Reduzierungswirkung des Polders hervorgerufen. Mit vollständiger Beschüttung der Phase 1 (Juni 2023) ergibt sich eine Gesamthaldenwassermenge inkl. der Bestandshalde von 1,21 Mio. m³/a und bei vollständiger Beschüttung der Phase 2 (September 2025) eine Gesamthaldenwassermenge von ca. 1,30 Mio. m³/a. Aus der Abbildung ist weiterhin zu erkennen, dass sich der Haldenwasseranfall der Bestandshalde durch die Errichtung der hydraulischen Trennung und des Polders reduziert. Der Haldenwasseranfall der Phase 1 und 2 steigt hingegen aufgrund des im Bereich der hydraulischen Trennung gefassten Haldenwassers an. Ab 2026 nimmt der Haldenwasseranfall dann parallel zur Ablaugung der Rückstandshalde kontinuierlich wieder ab, weil die Restfeuchte des jährlich aufgehaldeten Rückstands innerhalb desselben Jahres zum Abfluss kommt.

¹² Aufhaldungsmenge betrug im Jahr 2018 7,27 Mio. t/a

6. Sensitivitätsanalyse

Die Abweichung zwischen den berechneten und gemessenen Haldenwassermengen ist auf folgende Einflussfaktoren zurückzuführen:

- Differenz zwischen dem angesetzten mittleren Niederschlag und dem Jahresgang des Niederschlagsanfalls sowie die Differenz zwischen Niederschlag im Bereich der Messstellen und der Rückstandshalde mit ihrem eigenen Kleinklima,
- Puffervermögen der Rückstandshalde und gegenüber dem Niederschlagsgeschehen verzögerter Ablauf in den unterschiedlich durchlässigen Zonen des Haldenkörpers,
- Variation der Restfeuchte des aufgehaldeten Rückstands,
- Zuflüsse aus dem Bereich des Haldenrandwegs und in Vorbereitung befindlicher künftiger Haldenaufstandsflächen,
- Sonstige Einflussfaktoren

Nachfolgend werden diese Einflussfaktoren näher beschrieben. Bei den Betrachtungen zu den Einflussfaktoren wurde die Reduzierung des Haldenwasseranfalls durch die Errichtung der Polder auf dem Haldentop bzw. die hydraulische Trennung nicht mit berücksichtigt.

6.1 Niederschlag

Bereits beim Messvorgang des Niederschlags können sich Messfehler, bedingt z.B. durch Einflüsse der Winddrift auf die Messung, oder die Beschaffenheit und Aufstellhöhe der Messeinrichtung (Differenz zwischen bodenebenem Niederschlagsanfall und Niederschlagsmesseinrichtungen in 1 m Höhe) gemäß Literaturangaben¹³ auf rund 15 bis 20% Abweichung vom tatsächlichen Wert summieren. Eine Fehlerkorrektur der Niederschlagswerte ist unerlässlich. Deshalb wurde im Rahmen der Betrachtung auf das 30-jährige Mittel des korrigierten Gebietsniederschlags des DWD zurückgegriffen.

Eine Abbildung der komplexen kleinklimatischen Verhältnisse am Standort ist nicht möglich. Es ergibt sich eine Abweichung von den real an der Rückstandshalde vorherrschenden Bedingungen, da Einflüsse wie z.B. die Länge der Böschungen, unterschiedliche Höhen und Expositionen der Haldenbereiche, die Größe der Plateaufläche und die Lage der Rückstandshalden im Raum (Einfluss durch umliegende Gebirgszüge etc.) unberücksichtigt bleiben müssen.

Weiterhin ist die Annahme, dass der Jahresniederschlag innerhalb des jeweiligen Prognosejahres zum Abfluss gelangt, aufgrund des Puffervermögens der Rückstandshalde eine vereinfachende Annahme.

In der nachfolgenden Tabelle sind der minimale und maximale Haldenwasseranfall für die Gesamthalde (Bestandshalde und Erweiterung) bei einer Abweichung der

¹³ z.B. Richter, Dieter: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1995. (Berichte des Deutschen Wetterdienstes; 194)

Niederschlagsmengen von 20 % für den Zeitschnitt September 2025 dargestellt. Dies ist ein äußerst konservativer Ansatz, da es sich bei dem langjährigen Mittelwert des Gebietsniederschlags bereits um einen durch den DWD korrigierten Wert handelt.

**Tabelle 7: Maximaler und minimaler Haldenwasseranfall
(Fehlerbetrachtung Niederschlag)**

Parameter	Einheit	Wert
Prognostizierter Haldenwasseranfall (Sept. 2025)	m³/a	1.299.959
Minimaler Haldenwasseranfall (-20% Niederschlag)	m³/a	1.051.911
Anteil	%	81
Maximaler Haldenwasseranfall (+20% Niederschlag)	m³/a	1.548.007
Anteil	%	119

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch den niederschlagsbedingten Fehler von $\pm 19\%$.

6.2 Puffervermögen der Rückstandshalde

Bei den durchgeführten Säulenversuchen (siehe Kap. 3.2.4 und Anlage 1) ergibt sich in Abhängigkeit von der Versuchsdauer, der Höhe der Versuchssäule, der Zusammensetzung des Rückstandssalzes und des Ablaugungsverhaltens (Bildung von bevorzugten Wegsamkeiten) ein Puffervermögen innerhalb der Säule zwischen 5,8 % bis 12,5 %. Aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren ist eine direkte Übertragung des Puffervermögens auf die Rückstandshalde nicht möglich. In jedem Fall führt das Puffervermögen des Rückstands aber zu einer Vergleichmäßigung des Haldenwasseranfalls. Insbesondere bei Ablagerung des frischen Rückstands kommt es zu Hydratisierungsprozessen von neu entstehenden Sekundärphasen.

Im Band 3.17 sind im Kap. 5.2 weiterhin die Strömungsprozesse im Haldenkörper beschrieben. Hierbei kommt es innerhalb des Haldenkörpers zur Ausbildung von bevorzugten Wegsamkeiten, die dem Puffervermögen des Rückstands entgegenwirken können. Des Weiteren wurde anhand der Bohrungen festgestellt, dass es nach Ablagerung des Rückstandes mit zunehmender Tiefe zu einer Verdichtung -insbesondere der Bereiche im Haldeninnern- kommt. Dies ist auch aus den ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten der Haldenbohrungen zu erkennen. Hierbei ergeben sich bis zu einer Teufe von 40 m Durchlässigkeitsbeiwerte von $1 \cdot 10^{-6}$ bis 10^{-5} m/s und ab einer Teufe von 40 m Durchlässigkeitsbeiwerte von $1 \cdot 10^{-7}$ bis $7 \cdot 10^{-10}$ m/s (siehe Kap. 5.1.3 des Bands 3.17). In den weniger durchlässigen Bereichen des Haldeninneren vergrößert sich somit das Puffervermögen des Rückstandes, bzw. verlängert sich die Sickerzeiten bei geringen

Durchlässigkeiten. Unter Berücksichtigung der teils langen Sickerstrecken kommt es zu einem verzögerten Abfluss des auftreffenden Niederschlags. Das Puffervermögen der Rückstandshalde wurde bei der Haldenwasserbilanzierung nicht berücksichtigt (siehe 16).

6.3 Evaporation

Wie aus den Ergebnissen der Lysimeterversuche (siehe Kapitel 3.2.5 und Anlage 1) zu erkennen ist, schwankt die Evaporation im jahreszeitlichen Verlauf. Für die Berechnung des jährlichen Haldenwasseranfalls für die Gesamthalde wurde der Jahresmittelwert verwendet. Aufgrund der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Evaporation (Besonnung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsverteilung, Wind etc.) können die real an der Rückstandshalde vorherrschenden Evaporationsraten abweichen. Beim Lysimeterversuch in Müncheberg (siehe Kapitel 3.2.5 und Anlage 1) ergab sich in den trockeneren Sommermonaten (10.08. bis 10.09.2012) eine Evaporation von 25,5 % und in den feuchteren Herbst- und Wintermonaten (26.09. bis 21.12.2012) eine Evaporation von 1,7 % (siehe Anlage 1). Diese Schwankungen beeinflussen den realen Haldenwasseranfall.

Sofern es bei dem Lysimeterversuch Müncheberg zu einer Hydratation des Rückstandes aus der Luft gekommen ist, die der Verdunstung entgegenwirken würde, wurde diese im Rahmen des Lysimeterversuchs mit bilanziert und ist somit Bestandteil der ermittelten Evaporation und der Fehlerbetrachtung zur Haldenwasserbilanz.

Für die Berechnung wurde als Eingangsgröße ein konservativer Ansatz gewählt und die Evaporation mit Null angesetzt. Aus diesem Grund wurde keine weiterführende Fehlerbetrachtung vorgenommen.

6.4 Freier Wassergehalt

Der freie Wassergehalt ergibt sich wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben aus den Ergebnissen der Ermittlung des Porenwassergehaltes am Abwurf mittels Karl-Fischer-Titration abzgl. des Haftwassergehaltes von 2 %. Bei der Ermittlung des freien Wassergehaltes basierend auf den Auswertungen der Haldenkörperbohrungen zum Haftwassergehalt (Anlage 16) wurde bereits ein konservativer Ansatz unterstellt: IBeWa (2021) weisen als untere Grenze der Haftwassergehalte einen Mindestwert von 0,023 entsprechend 2,3 Massen-% aus. Jedoch wird für die Betrachtungen zum Wasserhaushalt konservativ 2,0 Massen-% angesetzt. Zudem ergaben die Wassergehaltsbestimmungen am Rückstand im Zeitraum vom 11.11.2020 bis 28.04.2021 mittels Karl-Fischer-Titration einen Mittelwert von 4,8 % bei einer Standardabweichung von 0,7. Für die Haldenwasserbilanzierung wurde jedoch konservativ ein Mittelwert von 5 % angesetzt. Für den Freien Wassergehalt wird eine Standardabweichung von 0,7 angesetzt.

In der nachfolgenden Tabelle sind der minimale und maximale Haldenwasseranfall für die Gesamthalde (Bestandshalde und Erweiterung) bei einer Variation des Freien Wassergehaltes zwischen 2,25 % und 3,75 % dargestellt. Der Variationskoeffizient beträgt damit rund 15%.

In der nachfolgenden Tabelle sind der minimale und maximale Haldenwasseranfall für die Gesamthalde (Bestandshalde und Erweiterung) bei einer Variation des Freien Wassergehaltes zwischen 2,25 % und 3,75 % dargestellt.

**Tabelle 8: Maximaler und minimaler Haldenwasseranfall
(Fehlerbetrachtung Freier Wassergehalt)**

Parameter	Einheit	Wert
Prognostizierter Haldenwasseranfall	m³/a	1.299.959
Maximaler Haldenwasseranfall (für 3,75 % Freier Wassergehalt)	m³/a	1.340.752
Anteil	%	103
Minimaler Haldenwasseranfall (für 2,25 % Freier Wassergehalt)	m³/a	1.259.167
Anteil	%	97

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch Variation des Freien Wassergehalts von maximal ± 3 %.

6.5 Restinfiltration der Erweiterung

Wie bereits im Kapitel 4 dargestellt, wird im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung für die Ermittlung des Haldenwasseranfalls angenommen, dass im Bereich der Erweiterung keine Restinfiltration vorhanden ist. Für die Fehlerbetrachtung wurden zwei weitere mögliche Fälle betrachtet. Hierzu wurde die in Kapitel 3.4.4 berechnete Restinfiltration angenommen. Für die Phase 2 wird hierbei konservativ die Restinfiltration der Abbildung 3 (Dicke von 75 cm; Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s) angenommen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Mengen des Haldenwasseranfalls für die Gesamthalde (Bestandshalde + Erweiterung) bei den o.g. Festlegungen zur Restinfiltration dargestellt.

Tabelle 9: Haldenwasseranfall bei Ansatz der Restinfiltration für die Erweiterungsfläche

Parameter	Einheit	Wert
Prognostizierter Haldenwasseranfall (Erweiterung RI = 0)	m³/a	1.299.959
Maximaler Haldenwasseranfall (RI Erweiterung aus Kap. 3.4.5)	m³/a	1.299.802
Anteil	%	99,998

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch die Variation der Restinfiltration von weniger als 1 %.

6.6 Zusammenfassung der Fehlergrößen

In den nachfolgenden Tabellen sind die Fehlergrößen für die Einzelparameter zusammengefasst. Hierbei wurde der minimal und maximal mögliche Haldenwasseranfall aus den Einzelparametern zusammengeführt. Der maximal mögliche Haldenwasseranfall in der folgenden Tabelle ergibt sich bei der Annahme, dass der Niederschlagswert um 20 % erhöht ist und der Freie Wasseranteil bei 3,75 %, sowie die Restinfiltration der Bestandshalde bei 123 mm/a liegt und die Restinfiltration der Erweiterung Null ist.

Tabelle 10: maximale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)

Parameter	Einheit	Wert
Fläche	ha	133,61
Freier Wasseranteil (3,75 %)	m ³ /a	203.962 ¹⁴
Jahresniederschlag (+20%)	m ³ /(ha*a)	9.780
Niederschlagsbedingter Haldenwasseranfall	m ³ /a	1.450.409
Restinfiltration (Bestandshalde 123 mm/a; Erweiterung RI = 0)	m ³ /a	115.817
Zuflüsse aus dem Befahrungsweg	m ³ /a	37.483
Haldenwasseranfall	m ³ /a	1.588.799

Im Vergleich mit den berechneten Werten ergibt sich damit ein um ca. 22 % erhöhter Haldenwasseranfall.

Der minimal mögliche Haldenwasseranfall ergibt sich bei der Annahme, dass der Niederschlagswert um 20 % reduziert ist und der Freie Wasseranteil bei 2,25 %, die Restinfiltration der Bestandshalde bei 123 mm/a liegt und die Restinfiltration der Erweiterung angesetzt wird. Aus diesen Annahmen ergibt sich der minimal mögliche Haldenwasseranfall der nachfolgenden Tabelle.

¹⁴ Wert bezogen auf 9 Monate im Jahr 2025. Danach erfolgt keine Aufhaltung von Rückstand im Rahmen der Phase 2 mehr.

Tabelle 11: minimale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)

Parameter	Einheit	Wert
Fläche	ha	133,61
Freier Wasseranteil (2,25 %)	m³/a	122.377 ¹⁵
Jahresniederschlag (-20%)	m³/(ha*a)	6.520
Niederschlagsbedingter Haldenwasseranfall	m³/a	966.939
Restinfiltration (Bestandshalde 123 mm/a; Erweiterung aus Kap. 3.4.5)	m³/a	115.973
Zuflüsse aus dem Befahrungsweg	m³/a	24.989
Haldenwasseranfall	m³/a	1.011.119

Im Vergleich mit den berechneten Werten ergibt sich damit ein um ca. 22 % verringerter Haldenwasseranfall.

Somit ergibt sich eine maximale Abweichung von 22 % für den Haldenwasseranfall.

Dieser Fehler bildet damit summarisch die Unsicherheiten bei der Prognose des Haldenwasseranfalls ab. Dieser wird bedingt durch die der Prognose zugrundeliegenden Modellansätze und die Genauigkeit bei der Quantifizierung der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen und deren Einflussfaktoren.

6.7 Zulauf aus dem Bereich des Haldenumfahrungsweges und in Vorbereitung befindlicher künftiger Haldenaufstandsflächen

Die Ermittlung des Zulaufs vom Haldenumfahrungsweg ist in Kap. 3.3 beschrieben. Aus diesem Berechnungsansatz ergeben sich zum einen die im Kap. 6.1 zum Niederschlag aufgeführten Unsicherheiten bei der Übertragung der Niederschlagswerte auf die Fläche des Umfahrungswegs. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei dem Umfahrungsweg im Vergleich zur Haldenaufstandsfläche um einen kleinen Bereich handelt, hat diese Abweichung jedoch nur einen untergeordneten Einfluss auf die Gesamtabweichung. Weiterhin handelt es sich bei dem auf dem Haldenumfahrungsweg anfallenden Niederschlagswasser in der Regel um unbelastetes bzw. gering belastetes Wasser, das die zu entsorgende Salzfracht nur maximal geringfügig erhöht.

Im Zuge der Vorbereitung der zukünftigen Haldenaufstandsfläche kann es außerdem ggf. zu zusätzlichen Zuflüssen von Niederschlagswasser aus diesen Flächen kommen, da die salzbelegten Vorbereitungsflächen schneller abflusswirksam werden. Aufgrund der Tatsache, dass die vorbereiteten Haldenflächen nicht mehr bewachsen und somit in höherem Maße abflusswirksam sind, kommt es zu einem nahezu vollständigen Abfluss

¹⁵ Wert bezogen auf 9 Monate im Jahr 2025. Danach erfolgt keine Aufhaltung von Rückstand im Rahmen der Phase 2 mehr.

(Abflussbeiwert von 0,9 -1,0) des Niederschlagswassers über die vorbereitete Fläche in den Haldenrandgraben. Mit Umsetzung der einzelnen Flächen kann es zu Abweichungen der realen Verhältnisse von dem Berechnungsmodell kommen.

6.8 Sonstige Einflussfaktoren

Unter die sonstigen Einflussfaktoren fallen

- die Messabweichungen,
- die Bildung bevorzugter Wegsamkeiten im Haldenkörper und
- Anfall von Spülwasser zur Reinigung der haldeninternen und –externen Entwässerungselemente.

Unter dem Begriff der Messabweichungen werden die Messabweichungen der bei den Versuchen zur Bestimmung der rückstandsspezifischen Parameter (siehe Kap. 3.2) eingesetzten messtechnischen Geräte (Waage, Messbecker, Thermometer etc.) und bei der Messung des realen Haldenwasseranfalls zusammengefasst. Bei den eingesetzten Laborgeräten handelt es sich um entsprechend der gültigen Normen- und Vorschriften geeichte bzw. kalibrierte Geräte.

Die Bildung bevorzugter Wegsamkeiten im Haldenkörper erfolgt aufgrund der heterogenen Zusammensetzung des Rückstandes, dessen Löslichkeit und des unterschiedlichen Aufhaldungszeitpunkts (Überschüttung älterer Haldenbereiche) bzw. des Schüttregimes, sodass der Haldenwasseranfall punktuell variiert. Auch die Herausbildung des Haldenkerns und damit die Verschiebung der Mantelbereiche auf gedichtete Flächen spielen eine Rolle, und es können sich somit Abweichungen vom prognostizierten Haldenwasseranfall ergeben.

Zur Reinigung der haldeninternen Fassungselemente ist es am Standort notwendig, diese mit reinem Wasser zu spülen, um ggf. vorhandene Inkrustationen lösen zu können. Diese Wassermengen werden ebenfalls über den Haldenrandgraben entsorgt und tragen somit zum Haldenwasseranfall bei.

6.9 Messung des Haldenwasseranfalls Hattorf

Im Folgenden erfolgt ein Vergleich des prognostizierten Haldenwasseranfalls mit dem gemessenen Haldenwasseranfall für die Jahre 2016 bis 2020 im Bereich der Bestandshalde.

Tabelle 12: Prognostizierter und gemessener Haldenwasseranfall am Standort Hattorf für 2016 bis 2019

	2016	2017	2018	2019	2020
prognostizierter Haldenwasseranfall in m³/a	897.083	927.392	1.097.303	1.192.931	1.274.727
gemessener Haldenwasseranfall in m³/a	819.820	801.040	835.040	975.420	1.097.680
Differenz in %	+9 %	+16 %	+31 %	+22 %	+16 %

Die Abweichung zwischen der berechneten und der gemessenen Haldenwassermengen ist auf folgende Einflussfaktoren zurückzuführen:

- Differenz zwischen dem angesetzten mittleren Niederschlag und dem Jahresgang des Niederschlagsanfalls sowie die Differenz zwischen Niederschlag im Bereich der Messstellen und der Rückstandshalde mit ihrem eigenen Kleinklima sowie er Ansatz,
- Puffervermögen der Rückstandshalde,
- Evaporation,
- Variation des Wassergehaltes des aufgehaldeten Rückstands,
- Zuflüsse aus dem Bereich des Haldenrandwegs und in Vorbereitung befindlicher künftiger Haldenaufstandsflächen,
- Sonstige Einflussfaktoren

Vergleicht man die prognostizierten und gemessenen Haldenwassermengen, so ergibt sich eine Abweichung von ca. 9 % bis 31 % bei Ansatz eines mittleren jährlichen Niederschlags von 815 mm/a, wobei die gemessenen Haldenwassermengen unterhalb der prognostizierten Haldenwassermenge liegen. Die Differenz zwischen den berechneten und gemessenen Haldenwassermengen ergibt sich vorrangig durch die unterschiedlichen jährlichen Niederschlagsmengen. Für die Prognose des Haldenwasseranfalls wurde für das Durchschnittsjahr eine Niederschlagssumme von 815 mm/a angenommen.

6.10 Vergleich der Fehlergrößen aus der Sensitivitätsanalyse und den gemessenen Werten

Im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung wurde eine maximale Abweichung des prognostizierten Haldenwasseranfalls von 22 % ermittelt, der im ungünstigsten Fall auftreten könnte. Diese Größenordnung ergibt sich auch bei der Anwendung des linearen Fehlerfortpflanzungsgesetzes bei partieller Ableitung der spezifischen

Wasserhaushaltsbilanzgleichung nach den Eingangsgrößen Niederschlag, freier Wassergehalt und Restinfiltration.

Hierbei ist zu beachten, dass bei der Ermittlung des Haldenwasseranfalls folgende konservative Ansätze eingestellt wurden:

- Annahme eines 30-jährigen Mittels des korrigierten Gebietsniederschlags,
- Vernachlässigung des Puffervermögens der Rückstandshalde; der freie Wassergehalt gelangt bilanziell innerhalb des jeweiligen Jahres vollständig zum Abfluss,
- Ansatz eines mittleren Porenwassergehaltes nach Karl-Fischer-Titration von 5 % anstatt des rechnerischen Mittelwertes der Zeitreihe 11/2020-04/2021 von 4,8 % (siehe Anlage 16),
- Außerachtlassen der Evaporation am Standort, obwohl messtechnisch 10% ermittelt wurden,
- Außerachtlassen der Restinfiltration der Erweiterungsfläche (Phase 1 und Phase 2),
- Einbeziehung der zusätzlichen Infrastruktur im Falle von Verformungen im Randstreifen als abflusswirksame Fläche

Der Vergleich der prognostizierten Haldenwassermengen mit den im Jahr 2016 bis 2020 am Standort gemessenen Haldenwassermengen zeigt in allen fünf Fällen eine Überschätzung der gemessenen Haldenwassermengen um mindestens 9 %. Dies ist vor allem auf die der Haldenwasserbilanz zugrundeliegenden o.g. konservativen Ansätze zurückzuführen. Aus diesem Grund wird der prognostizierte Haldenwasseranfall als ausreichend konservativ angenommen und für die Berechnungen im Band 3.24E2 zugrunde gelegt.

7. Berechnung des Haldenwasserpotentials bis zur Auflösung des Haldenkörpers

Die Forderung der Berechnung des Haldenwasserpotentials ergibt sich aus den Festlegungen des § 22 a ABergV, Anhang 6 Nr. 2. Hierbei wird das Sickerwasserpotential der Rückstandshalde bis zum Zeitpunkt ihrer Auflösung inkl. der beantragten Haldenerweiterung prognostiziert.

Hierbei ist anzumerken, dass sich im Rückstandssalz ein Anteil von 0,5 % an unlöslichen Bestandteilen befindet. Bei theoretisch gleichmäßiger Ablaugung der Halde ergibt sich somit am Ende der Laufzeit eine Aufstandsfläche der Rückstandshalde von ca. 0,7 ha¹⁶ aus unlöslichen Bestandteilen.

Bei der Annahme einer linearen Ablaugung von durchschnittlich 20 cm/a würde der Zeitpunkt, zu dem lediglich die unlöslichen Bestandteile des Rückstands übrigbleiben, voraussichtlich im Jahr 2686 erreicht werden.

¹⁶ Diese Fläche ergibt sich unter der Annahme einer gleichmäßigen Ablaugung der Halde sowohl seitlich als auch in Bezug auf das Haldenplateau. Bei einer Aufhaltungsmenge von 153 Mio. m³ ergibt sich damit ein Volumen an unlöslichen Bestandteilen von ca. 785.000 m³.

Die Ermittlung des Gesamtsickerwasseranfalls erfolgt über die Fortschreibung der Haldenwasserbilanz unter Annahme einer Ablaugung von 20 cm/a bis zur vollständigen Ablaugung der Aufstandsfläche (abgesehen von 0,7 ha unlöslichen Bestandteilen).

Bis zum Zeitpunkt der vollständigen Auflösung der Rückstandshalde (Zeitraum von 2025 bis 2686) ergibt sich unter Annahme eines durchschnittlichen Jahresniederschlages von 815 mm/a somit ein Gesamtsickerwasseranfall von ca. 477 Mio. m³.

8. Zusammenfassung

Die für den Standort Hattorf der K+S Minerals and Agriculture GmbH aufgestellte Haldenwasserbilanzgleichung ermöglicht auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes die Prognose des voraussichtlichen Haldenwasseranfalls. Es wurde der jährliche Haldenwasseranfall in der Betriebs- und Nachbetriebsphase für ein hydrologisches Durchschnittsjahr prognostiziert.

Mithilfe von Analysen des Rückstands (Restfeuchte des Rückstands, mineralische Zusammensetzung), des Rückstandsverhaltens (Evaporation, Puffervermögen) und der Wirksamkeit der Basisdichtung (Berechnung der Restinfiltration) wurden die für die Haldenwasserbilanz notwendigen Parameter ermittelt bzw. berechnet.

Zur Ermittlung der Evaporation wurde im Messzeitraum vom 09.08.2012 bis 31.07.2013 ein Lysimeterversuch durchgeführt. Der Rückstand wurde hierzu am Standort der Firma ugt (Umwelt-Geräte-Technik) in Müncheberg in ein wägbares Lysimeter eingebaut und der Witterung vor Ort ausgesetzt. Nach Auswertung des Lysimeterversuchs wurde eine Evaporation von 10,2 % durch die Erstellung einer Massenbilanz ermittelt. Die mineralische Wassereinbindung und -entbindung bzw. Speichervermögen des Rückstandes (Hygroskopie, Hydratation und Deliqueszenz) werden aufgrund der obigen Ausführungen in der Haldenwasserbilanz nicht separat berücksichtigt bzw. in der ausgewiesenen Evaporation enthalten. Hierbei handelt es sich um einen Jahresmittelwert. Abhängig von den vorherrschenden Wetterverhältnissen (Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Niederschlagsanfall etc.) kann die Evaporation im Laufe des Jahres schwanken. Für die Berechnung des Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration wurde im Rahmen der konservativen Abschätzung keine Evaporation angenommen bzw. die Evaporation inklusive der Hygroskopie mit 0 % angenommen.

Zur Untersuchung einer potentiellen mineralischen Einbindung und Entbindung von Wassermolekülen in den Rückstand und von dessen Pufferwirkung wurde der Rückstand in eine Plexiglassäule eingebaut und die Probe bewässert. Aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren ist eine direkte Übertragung des Puffervermögens aus den Säulenversuchen auf die Rückstandshalde jedoch nicht möglich. In jedem Fall führt das Puffervermögen des Rückstands aber zu einer Vergleichmäßigung des Haldenwasseranfalls und somit zu einer Pufferung von erhöhten Niederschlagsereignissen.

Bei der Prognose der Restinfiltration und daraus resultierend der Gesamtsalzfracht wurde unterschieden zwischen der Restinfiltration im Bereich der Bestandshalde und der Restinfiltration der Erweiterungsfläche. Die Abschätzung der Restinfiltration und Gesamtsalzfracht wurde aufgrund einer Reihe theoretischer Festlegungen, die sich aus dem derzeitigen Kenntnisstand ergaben, vorgenommen. Hierbei zeigt sich, dass aufgrund

der geplanten Maßnahmen an der Bestandshalde (Polder auf dem Haldentop und hydraulische Trennung zwischen Bestandshalde und Erweiterung (Phase 1 und Phase 2)) die Restinfiltration der Bestandshalde reduziert wird. Diese Reduzierung ist sehr viel höher als die zusätzliche Restinfiltration aus der Haldenerweiterungsfläche. Im Bereich der Bestandshalde ergibt sich eine Gesamtrestinfiltration inkl. dem Abfluss aus der Drainage Kreuzgraben von 116.000 m³/a und eine Salzfracht von ca. 42.000 t/a. Im Bereich der Phase 1 ergibt sich nach vollständiger Belegung der Aufstandsfläche von 27,5 ha eine Restinfiltration von ca. 55 m³/a sowie eine Salzfracht von ca. 20 t/a und im Bereich der Phase 2 (ca. 10,9 ha) eine Restinfiltration von ca. 101 m³/a sowie eine Salzfracht von ca. 36 t/a. Wird für die Phase 2 die beantragte Mächtigkeit der Basisabdichtung von 55 cm und der damit einhergehende Durchlässigkeitsbeiwert von $3 \cdot 10^{-10}$ m/s angenommen, ergibt sich eine geringere Restinfiltration von 85,9 m³/a bzw. eine Salzfracht von 30,9 t/a. Als zusätzliche Sickerwasserminimierungsmaßnahme im Rahmen der Phase 1 reduziert der errichtete Polder auf der Bestandshalde die Restinfiltration um ca. 1.169 m³/a und die Salzfracht um 423 t/a. Durch die Errichtung weiterer Polder als temporäre Maßnahme bis zur Umsetzung einer endgültigen Haldenabdeckung wird eine weitere Sickerwasserminimierung erreicht, die konservativ nicht in der Bilanz berücksichtigt wurde. Weiterhin trägt die hydraulische Trennung zwischen Bestandshalde und Erweiterung zu einer Reduzierung der Restinfiltration der Bestandshalde von 9.348 m³/a für die Phase 1 bzw. 1.998 m³/a für die Phase 2 und die Gesamtsalzfracht um ca. 3.384 t/a für die Phase 1 bzw. 723 t/a für die Phase 2 bei. Somit ergibt sich für die Restinfiltration der Bestandshalde aufgrund des Vorhabens der Haldenerweiterung eine Reduzierung von ca. 11 % bzw. ca. 12.515 m³/a und für die Gesamtsalzfracht um ca. 4.530 t/a.

Im Ergebnis der Berechnungen der Haldenwassermenge ergibt sich im Jahr der vollständigen Beschüttung der Erweiterungsfläche im Jahr 2025 ein Haldenwasseranfall für die Gesamthalde von rd. 1,30 Mio. m³/a.

Die aus der Fehleranalyse resultierende maximale Abweichung von 22 % bildet summarisch die Unsicherheiten bei der Prognose des Haldenwasseranfalls ab. Dieser wird bedingt durch die der Prognose zugrundeliegenden Modellansätze und die Genauigkeit bei der Quantifizierung der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen und deren Einflussfaktoren.

Der Forderung der Berechnung des Haldenwasserpotentials nach § 22 a ABergV Anhang 6 Nr. 2 wurde ebenfalls entsprochen. Hierbei wurde das Haldenwasserpotential der Rückstandshalde bis zum Zeitpunkt der Auflösung der Rückstandshalde inkl. der beantragten Haldenerweiterung bis 2686 prognostiziert.