

Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Wintershall (Haldenerweiterung Wintershall)

Band 1.3 der Antragsunterlage

Haldenwasserbilanz

Vorhabenträger:

Standort Wintershall
Werk Werra
In der Aue
36266 Heringen



Gutachter:

upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH
Breite Straße 30
39576 Stendal



PD Dr.-Ing. habil. A. Palm
Geschäftsführer



Dipl.-Ing. J. Baumeister
Projektleiterin

Impressum

Fassung vom 12.06.2019

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	12
2	Haldenwasserbilanzgleichung	13
2.1	Aufstellung der allgemeinen Haldenwasserbilanzgleichung	13
2.2	Aufstellung der spezifischen Haldenwasserbilanzgleichung	14
2.3	Randbedingungen für die Berechnung des Haldenwasseranfalls	15
3	Zusammenfassung der Ergebnisse	16
4	Sickerwasserminimierung durch Errichtung von Poldern auf dem Haldentop	19
5	Beschreibung der relevanten Parameter der Haldenwasserbilanz	20
5.1	Niederschlag	20
5.1.1	Beschreibung der Messstation	20
5.1.2	Niederschlagswerte für die Prognose des zukünftigen Haldenwasseranfalls für die Basisberechnung	22
5.1.3	Niederschlagswerte für die Prognose des zukünftigen Haldenwasseranfalls für die worst-case-Berechnung	23
5.2	Rückstandsspezifische Parameter	23
5.2.1	Zusammensetzung des Rückstandssalzes	23
5.2.2	Aufsalzungsfaktor	24
5.2.3	Wassergehalt des Rückstands	24
5.2.4	Mineralische Wassereinbindung und -entbindung bzw. Speichervermögen des Rückstandes (Hygroskopie, Hydratation und Deliqueszenz)	27
5.2.5	Evaporation	28
5.3	Zuflüsse von Niederschlagswasser aus dem Bereich des Umfahrungsweges	30
5.3.1	Beschreibung des Umfahrungsweges	30
5.3.2	Berechnung des niederschlagsbedingten Abflusses des Umfahrungswegs	30
5.3.3	Darstellung der Berechnungsergebnisse für die Basisberechnung	30
5.3.4	Darstellung der Berechnungsergebnisse für die worst-case-Berechnung	31
5.4	Salzwassermengen aus der Sickerwasserfassung Heergraben	32

5.4.1	Salzwassermenge für die Basisberechnung.....	33
5.4.2	Salzwassermenge für die worst-case-Berechnung.....	33
5.5	Minimierungspotential des Haldenwasseranfalls der Polderbecken aus dem Haldentop für die worst-case-Berechnung	33
5.6	Restinfiltration an der Basis	33
5.6.1	Berechnungsmodelle	35
5.6.2	Beschreibung der Eingangsparameter für die Berechnung der Restinfiltration an der Aufstandsfläche	37
5.6.3	Berechnung der Gesamtsalzfracht	52
5.6.4	Darstellung der Berechnungsergebnisse der Restinfiltration	53
6	Berechnungsergebnisse zum Haldenwasseranfall	72
6.1	Haldenwasseranfall für die Bestandshalde, Basisberechnung	72
6.2	Haldenwasseranfall für die Erweiterungsfläche, Basisberechnung.....	73
6.3	Summe des Haldenwasseranfalls für die Bestandshalde und Erweiterungsfläche, Basisberechnung	75
6.4	Messung des Haldenwasseranfalls am Standort Wintershall	76
6.5	Ergebnisse der Berechnung für die Worst-Case-Betrachtung	77
6.5.1	Haldenwasseranfalls für die Bestandshalde.....	77
6.5.2	Haldenwasserminimierung der Bestandshalde durch Errichtung der Polder auf dem Haldentop	79
6.5.3	Haldenwasseranfall für die Erweiterungsfläche	80
6.5.4	Summe des Haldenwasseranfalls für die Bestandshalde und Erweiterungsfläche abzgl. der Sickerwasserminimierungsmaßnahmen	81
6.5.5	Messung des Haldenwasseranfalls am Standort Wintershall	83
7	Sensitivitätsanalyse für die Basisberechnung	84
7.1	Niederschlag.....	84
7.2	Aufsalzungsfaktor	89
7.3	Puffervermögen der Rückstandshalde	90
7.4	Evaporation.....	91
7.5	Freier Wassergehalt.....	91
7.6	Restinfiltration	92
7.6.1	Restinfiltration der Bestandshalde.....	93
7.6.2	Restinfiltration der Erweiterung	93

7.6.3	Restinfiltration der Gesamthalde	94
7.7	Zusammenfassung der Fehlergrößen	94
7.8	Zulauf aus dem Haldenumfahrungsweg und in Vorbereitung befindlicher künftiger Haldenaufstandsflächen	96
7.9	Sonstige Einflussfaktoren.....	97
8	Berechnung des Haldenwasserpotentials bis zur Auflösung des Haldenkörpers.....	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Randbedingungen für die Basisbetrachtung und die worst-case-Betrachtung .	15
Tabelle 2: Geplante abschnittsweise Errichtung der Polder.....	20
Tabelle 3: Niederschlagssumme der Wettermessstation Halde IV	21
Tabelle 4: Freier Wassergehalt des Probenmaterials Wintershall.....	25
Tabelle 5: Aufhaldungsmengen und Freier Wasseranteil am Rückstand	26
Tabelle 6: jährlicher Haldenbasisabfluss bezogen auf die Gesamtfläche und den hydraulisch aktiven Bereich der Halde in mm/a	36
Tabelle 7: Definition des Haldenmantels und des Übergangsbereichs anhand von Bohrungen an der Halde Hattorf	39
Tabelle 8: Definition des Haldenmantels, Übergangsbereichs und Haldenkerns (Beschüttungszeitraum 1997-2015)	41
Tabelle 9: Ergebnisse der Berechnungen zur Restinfiltration ohne Berücksichtigung des horizontalen unterirdischen Zuflusses der Bestandshalde	60
Tabelle 10: Ergebnisse der Worst-Case-Berechnungen zur Restinfiltration abzgl. der Kompensation.....	71
Tabelle 11: Ergebnisse der Berechnungen zum Minimierungspotential durch die Errichtung der Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde und der Erweiterung	79
Tabelle 12: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Niederschlag)	85
Tabelle 13: verwendete Niederschlagsmengen	86
Tabelle 14: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Aufsalzungsfaktor)	90
Tabelle 15: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Evaporation)	91
Tabelle 16: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Freier Wassergehalt)	92
Tabelle 17: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Restinfiltration, Ende der Beschüttung der Bestandshalde Zeitschnitt 2020) ...	93
Tabelle 18: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Restinfiltration Erweiterung Zeitschnitt 2028)	94
Tabelle 19: maximale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)	95
Tabelle 20: minimale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell zur Haldenwasserbilanz	13
Abbildung 2: Lage der Wetterstation Halde IV	21
Abbildung 3: Mengenanteile der Aufbereitungsverfahren am Gesamtrückstand.....	24
Abbildung 4: Zufluss von Niederschlagswasser aus dem Bereich des Umfahrungswegs im Trocken-, Feucht- und Durchschnittsjahr für die Basisberechnung.....	31
Abbildung 5: Zufluss von Niederschlagswasser aus dem Bereich des Umfahrungswegs für die wort-case-Berechnung	32
Abbildung 6: Lage der horizontalen Haldenbohrungen an der ESTA-Halde Hattorf.....	39
Abbildung 7: Lage der horizontalen Haldenbohrung am Standort Wintershall (Ausschnitt aus der Anlage 1 des Bandes 3.15, ohne Maßstab).....	41
Abbildung 8: Schichtenaufbau der vorgesehenen mineralischen Dichtung für die Erweiterungsfläche am Standort Wintershall	46
Abbildung 9: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle- Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE (GDA E2-20)	48
Abbildung 10: Fließanalyse der Erweiterungsfläche mit Darstellung der vorherrschenden Sohlgefälle	50
Abbildung 11: Berechnungsergebnisse der Restinfiltration Basisberechnung.....	53
Abbildung 12: Berechnungsergebnisse der Gesamtsalzfracht für die Bestandshalde Basisberechnung	55
Abbildung 13: Berechnungsergebnisse der theoretischen Restinfiltration für die Erweiterungsfläche.....	56
Abbildung 14: Berechnungsergebnisse der spezifischen theoretischen Restinfiltration pro Fläche für die Erweiterung	57
Abbildung 15: Berechnungsergebnisse der Gesamtsalzfracht für die Erweiterung	58
Abbildung 16: Berechnungsergebnisse der spezifischen Gesamtsalzfracht pro Fläche für die Erweiterung	59
Abbildung 17: Berechnungsergebnisse der Worst-Case-Betrachtung der Restinfiltration für die Bestandshalde nach den Prognosewerten aus dem numerischen Grundwasser-Stofftransportmodells (GWSM) abzgl. der Kompensation durch die Polder im Jahr 2020	62
Abbildung 18: Berechnungsergebnisse der Worst-Case-Betrachtung der Gesamtsalzfracht für die Bestandshalde nach den Prognosewerten aus dem numerischen Grundwasser-Stofftransportmodell (GWSM) abzgl. der Kompensation durch die Polder im Jahr 2020	63

Abbildung 19: Lageplan der projizierten Fläche der Anschüttung (grüne Fläche) an die Bestandshalde	64
Abbildung 20: Berechnungsergebnisse der restfeuchtebedingten Worst-Case-Restinfiltration für den Bereich der Anschüttung an die Bestandshalde	65
Abbildung 21: Berechnungsergebnisse der Worst-Case-Betrachtung der Gesamtsalzfracht für die Anschüttung an die Bestandshalde	66
Abbildung 22: Berechnungsergebnisse der theoretischen Restinfiltration für die Erweiterungsfläche, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung	67
Abbildung 23: Berechnungsergebnisse der spezifischen theoretischen Restinfiltration pro Fläche für die Erweiterung, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung	68
Abbildung 24: Berechnungsergebnisse der Gesamtsalzfracht für die Erweiterung, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung	69
Abbildung 25: Berechnungsergebnisse der spezifischen Gesamtsalzfracht pro Fläche für die Erweiterung, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung	70
Abbildung 26: Prognostizierter Haldenwasseranfall der Bestandshalde am Standort Wintershall (bis 2020)	73
Abbildung 27: Prognostizierter Haldenwasseranfall auf der Erweiterungsfläche am Standort Wintershall (bis 2058)	74
Abbildung 28: Prognostizierter Haldenwasseranfall als Summe der Bestandshalde und der Erweiterungsfläche am Standort Wintershall (bis 2058)	75
Abbildung 29: Prognostizierter und gemessener Haldenwasseranfall für 2013 bis 2018	76
Abbildung 30: Prognostizierter Worst-Case-Haldenwasseranfall der Bestandshalde am Standort Wintershall (bis 2020)	78
Abbildung 31: Prognostizierter Worst-Case-Haldenwasseranfall auf der Erweiterungsfläche am Standort Wintershall (bis 2061)	80
Abbildung 32: Vergleich des prognostizierter Haldenwasseranfall als Summe der Bestandshalde und der Erweiterungsfläche für die Worst-Case-Betrachtung abzgl. Kompensation (bis 2061) mit dem prognostizierten Haldenwasseranfall der Basisberechnung (bis 2059) am Standort Wintershall	82
Abbildung 33: Prognostizierter Worst-Case-Haldenwasseranfall inkl. Kompensation durch Polder auf dem Haldentop, prognostizierter Haldenwasseranfall der Basisberechnung und gemessener Haldenwasseranfall für 2013 bis 2018 .	83
Abbildung 34: Prognostizierter Haldenwasseranfall für Niederschläge im Durchschnittsjahr zwischen 589 mm bis 790 mm ohne Ansatz der Kompensation (Abkürzungen der Stationen siehe Tabelle 13)	87

Abbildung 35: Prognostizierter Haldenwasseranfall für Niederschläge im Trockenjahr
zwischen 410 mm bis 577 mm (Abkürzungen der Stationen siehe Tabelle 13) 88

Abbildung 36: Prognostizierter Haldenwasseranfall für Niederschläge im Feuchtjahr
zwischen 755 mm bis 1144 mm (Abkürzungen der Stationen siehe Tabelle
13) 89

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: Fotodokumentation
- 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 des Säulenversuches
- Anlage 6: Versuchsprotokoll zur k_f -Wert-Bestimmung des Rückstands
- Anlage 7: Fotodokumentation der Lysimeteroberfläche
- Anlage 8: Jährliche Flächenbelegung der Rückstandshalde Wintershall in den Jahren 2013 bis 2058, Basisberechnung
- Anlage 9: Jährliche Restinfiltration nach GWSM mit Ansatz eines Stagnationsgradienten für die Erweiterungsfläche, 2013 bis 2058, Basisberechnung
- Anlage 10: Jährliche Gesamtsalzfracht nach GWSM mit Ansatz eines Stagnationsgradienten für die Erweiterungsfläche, 2013 bis 2058, Basisberechnung
- Anlage 11: theoretische jährliche Restinfiltration der mineralischen Dichtung der Erweiterung 2020 bis 2058, Basisberechnung
- Anlage 12: theoretische jährliche Gesamtsalzfracht des Sickerwassers der Erweiterung 2020 bis 2058, Basisberechnung
- Anlage 13: Prognosewerte für den Haldenwasseranfall am Standort Wintershall für die Jahre 2013 bis 2058, Basisberechnung
- Anlage 14: Prognosewerte für den Haldenwasseranfall der Erweiterungsfläche am Standort Wintershall für 2020 bis 2058, Basisberechnung
- Anlage 15: Worst-Case-Betrachtung:
- Anlage 15.1: Jährliche Flächenbelegung WI in den Jahren 2013 bis 2061, worst-case-Betrachtung
- Anlage 15.2: Jährliche Worst-Case-Restinfiltration nach GWSM für die Bestandshalde; Ansatz eines Stagnationsgradienten für die Erweiterung, 2013 bis 2061

- Anlage 15.3: Jährliche Worst-Case-Gesamtsalzfracht nach GWSM für die Bestandshalde; Ansatz eines Stagnationsgradienten für die Erweiterung, 2013 bis 2061
- Anlage 15.4: theoretische jährliche Worst-Case-Restinfiltration der mineralischen Dichtung der Erweiterung 2020 bis 2061
- Anlage 15.5: theoretische jährliche Worst-Case-Gesamtsalzfracht des Sickerwassers der Erweiterung 2020 bis 2061
- Anlage 15.6: Worst-Case-Prognosewerte Haldenwasseranfall WI für die Jahre 2013 bis 2061

1 Veranlassung

Die K+S KALI GmbH betreibt im Verbundwerk 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.

Zur Sicherung der Produktion am Standort wird ein bergrechtliches Genehmigungsverfahren für die Umsetzung eines nachhaltigen Rückstandsmanagements am Standort Wintershall vorbereitet. Das Vorhaben „Nachhaltiges Rückstandsmanagement (RM) am Standort Wintershall“ umfasst die Entsorgung, d.h. Verwertung und Beseitigung der festen bergbaulichen Abfälle ab dem Jahr 2020. Die im Rahmen des geplanten Vorhabens zu beantragende Haldenkapazitätserweiterung gehört auf Grund des erforderlichen Flächenbedarfes von mehr als 10 ha zu denjenigen bergbaulichen Vorhaben, für die nach § 57c Bundesberggesetzes (BBergG) sowie § 1 Nr. 3 der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau) die Verpflichtung zur Durchführung einer UVP besteht. Gemäß § 52 Abs. 2a BBergG ist für die geplante Haldenerweiterung somit die Aufstellung eines Rahmenbetriebsplanes erforderlich, für dessen Zulassung ein Planfeststellungsverfahren nach Maßgabe der §§ 57a und 57b durchzuführen ist.

Gemäß Anhang 6 (zu § 22a Abs. 3 Satz 1) Ziffer 2 Satz 2 der ABergV ist unter anderem eine Wasserbilanz für die Betriebs- und Nachbetriebsphase bergbaulicher Abfallentsorgungseinrichtungen zu ermitteln und zu bewerten. Im Rahmen der hier ermittelten Haldenwasserbilanz wurde eine Nachbetriebsphase von 30 Jahre betrachtet. Weiterhin ist das Sickerwasserpotenzial bis zur vollständigen Haldenauflösung zu ermitteln.

Die Ermittlung 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) sowie unterschiedliche Niederschlagsereignisse (Trocken-, Durchschnitts- und Feuchtjahr) berücksichtigt.

Die upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH wurde mit der Erarbeitung der Haldenwasserbilanz für die Rückstandshalde am Standort Wintershall beauftragt.

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

Weiterhin wurden die im Rahmen der Vollständigkeitsprüfung durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen und Ergebnisse aus den Fachgesprächen im Rahmen einer Worst-Case-Betrachtung in die Haldenwasserbilanz integriert.

2 Haldenwasserbilanzgleichung

2.1 Aufstellung der allgemeinen Haldenwasserbilanzgleichung

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

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

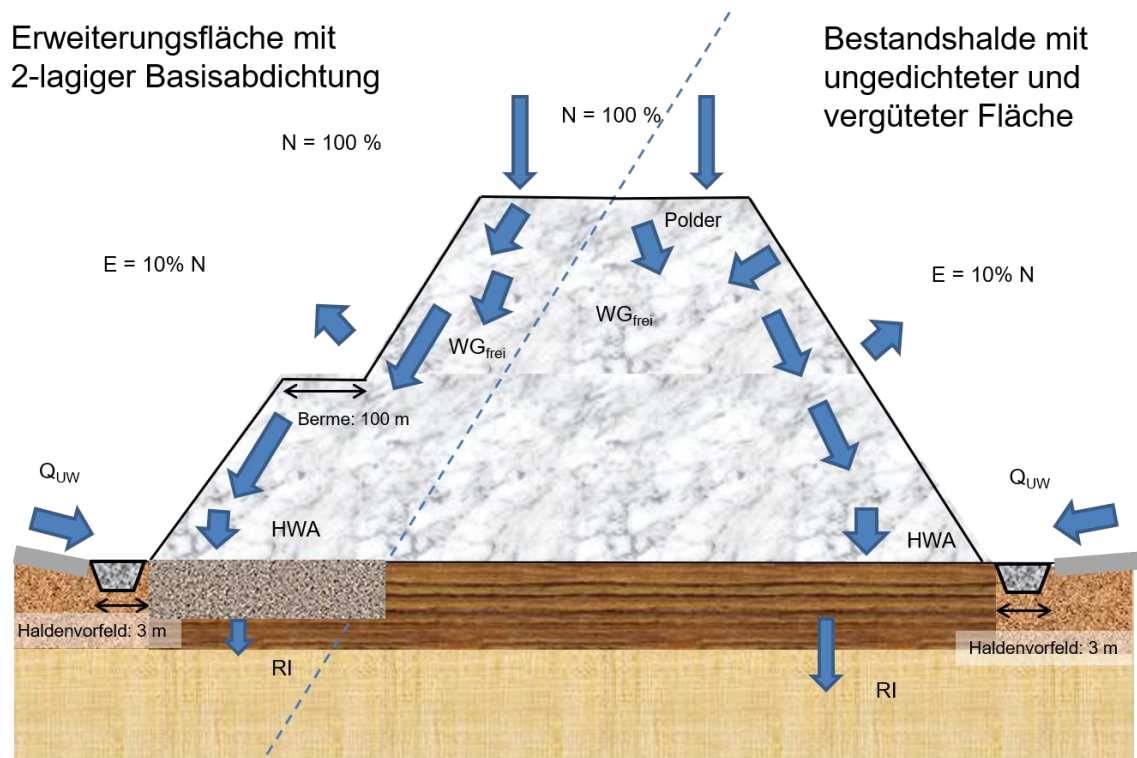


Abbildung 1: Modell zur Haldenwasserbilanz

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 der verbleibenden Niederschlagsmenge 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:

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

HWA:	Haldenwasseranfall in m³/a
N:	Niederschlag in m³/(ha*a)
E:	Evaporation des Niederschlags in m³/(ha*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
W _{min} :	mineralische Wassereinbindung der jährlich anfallenden Rückstandsmenge in m³/a
ΔV:	mineralische und physikalische Wasserentbindung der jährlich anfallenden Rückstandsmenge in m³/a
Q _{UW} :	Zufluss vom Umfahrungsweg in m³/a
Q _{huA} :	horizontaler unterirdischer Abfluss in m³/a (in den Jahren 2016 bis 2019 des Basisszenarios (siehe Band 3.6.3, Teil 2))

Die Diskussion der standortspezifischen Einflussgrößen und die Herleitung der berechnungsrelevanten Parameter für die Erstellung der **spezifischen** Haldenwasserbilanzgleichung sind im Kapitel 5 dieses Berichts beschrieben.

2.2 Aufstellung der spezifischen Haldenwasserbilanzgleichung

Ausgehend von der in Kap. 2.1 beschriebenen allgemeinen Haldenwasserbilanzgleichung wird mit Hilfe der beschriebenen Festlegungen aus Kapitel 5 zu den einzelnen Eingangsparametern 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:

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

HWA:	Haldenwasseranfall in m³/a
N:	Niederschlag in m³/(ha*a)
E:	Evaporation des Niederschlags in m³/(ha*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
Q _{UW} :	Zufluss vom Umfahrungsweg in m ³ /a
Q _{huA} :	horizontaler unterirdischer Abfluss in m ³ /a (in den Jahren 2016 bis 2019 des Basisszenarios)

Aus dieser Berechnung ergibt sich mit den in Kapitel 5 beschriebenen Parametern dann der jährliche Haldenwasseranfall für das jeweilige Jahr in m³/a.

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

2.3 Randbedingungen für die Berechnung des Haldenwasseranfalls

Die Berechnung der spezifischen Haldenwasserbilanzgleichung erfolgt in der Basisberechnung jeweils für die drei im Kapitel 5.1.2 beschriebenen meteorologischen Ereignisse (Feucht- und Trockenjahr, sowie hydrologisches Durchschnittsjahr). Für die worst-case-Betrachtung erfolgt die Berechnung für ein hydrologisches Durchschnittsjahr (5.1.3).

In der nachfolgenden Tabelle sind die in Kapitel 5 ausführlich beschriebenen Eingangsparameter, die für die Basisberechnung und die worst-case-Betrachtung angenommen wurden, zusammengefasst. Bei der worst-case Berechnung wurde eine Aufhaldung auf der Erweiterungsfläche bis 2031 unterstellt, bei der die 5. und 6. Schüttphase mit vollständiger Schließung der Berme, realisiert wird. Die Nachbetriebsphase reicht dann entsprechend bis 2061.

Tabelle 1: Randbedingungen für die Basisbetrachtung und die worst-case-Betrachtung

Parameter	Basisberechnung	Worst-case Berechnung
Restinfiltration der Bestandshalde	Ungedichteter, hydraulisch aktiver Bereich: 139,5 mm/a Vergüteter, hydraulisch aktiver Bereich: 87,2 mm/a Horizontaler unterirdischer Abfluss: ca. 35.000 m ³ /a in den Jahren 2013 bis 2015 und ab 2020; ca. 6.500 m ³ /a in den Jahren 2016 bis 2019	2013 bis 2017: Instationäre Restinfiltration (2013 bis 2017) ab 2018: 147 mm/a Wirksamkeit der Polder Kein horizontaler unterirdischer Abfluss
Restinfiltration der Erweiterung	Dichter Haldenkern Annahme eines Stagnationsgradienten (Restinfiltration = 0) Berechnung einer theoretischen Restinfiltration (Niederschlag 625 mm/a, Evaporation=10%)	Kein dichter Haldenkern, keine Bildung eines Haldenkerns zwischen Bestandshalde und Erweiterung Annahme eines Stagnationsgradienten (Restinfiltration = 0)

Parameter	Basisberechnung	Worst-case Berechnung
		<p>Berechnung einer theoretischen Restinfiltration (Niederschlags 790 mm/a, Evaporation=0%)</p> <p>Zzgl. Restinfiltration aus restfeuchtebedingtem Haldenwasseranfall aus Anschüttungsbereich (2% Restfeuchte für 2020 bis 2042)</p>
Haldenwasseranfall der Bestandshalde	<p>Niederschlag: 483 mm/a Trockenjahr; 625 mm/a Durchschnittsjahr; 804 mm/a Feuchtjahr</p> <p>Evaporation 10%</p> <p>Restfeuchte 4% (gelangt im gleichen Jahr zum Abfluss)</p> <p>Abzgl. Restinfiltration der Bestandshalde</p> <p>Zzgl. Sickerwässer aus Fassung Heergraben für 2016 bis 2019 ca. 29.000 m³/a</p>	<p>Niederschlag: 790 mm/a Durchschnittsjahr</p> <p>Evaporation = 0</p> <p>Restfeuchte 4% (gelangt im gleichen Jahr zum Abfluss)</p> <p>Abzgl. Restinfiltration der Bestandshalde</p> <p>Zzgl. Sickerwässer aus Fassung Heergraben ab 2016 ca. 29.000 m³/a</p> <p>Wirksamkeit der Polder</p>
Haldenwasseranfall der Erweiterung	<p>Niederschlag: 483 mm/a Trockenjahr; 625 mm/a Durchschnittsjahr; 804 mm/a Feuchtjahr</p> <p>Evaporation 10%</p> <p>Annahme eines Stagnationsgradienten für die Erweiterung (Restinfiltration = 0)</p> <p>Restfeuchte 4% (gelangt im gleichen Jahr zum Abfluss)</p>	<p>Niederschlag: 790 mm/a</p> <p>Keine Evaporation</p> <p>Annahme eines Stagnationsgradienten für die Erweiterung (Restinfiltration = 0)</p> <p>Restfeuchte 4% (gelangt im gleichen Jahr zum Abfluss)</p>

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die für den Standort Wintershall der K+S KALI GmbH aufgestellte Haldenwasserbilanzgleichung ermöglicht auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes die Prognose des voraussichtlichen Haldenwasseranfalls.

In der vorliegenden Unterlage wurden die Berechnungen für ein Basisszenario und ein worst-case-Szenario durchgeführt, welches ausgehend von den im Rahmen der Vollständigkeitsprüfung durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen und

den nachfolgenden Fachgesprächen den Haldenwasseranfall für die Bestandshalde und die Erweiterung prognostiziert.

Die Ergebnisse beider Szenarien gehen in die Berechnungen zur Langfristigen Entsorgung der Haldenwässer (Band 3.3) ein.

Bei der Basisberechnung wurden die jährlichen Haldenwasseranfälle in der Betriebs- und Nachbetriebsphase für drei unterschiedliche hydrologische Jahre (Feuchthjahr, Trockenjahr, 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 (siehe Kapitel 5).

Zur Ermittlung der Evaporation wurde im Messzeitraum vom 09.08.2012 bis 31.07.2013 ein Lysimeterversuch durchgeführt (siehe Kapitel 5.2.5 bzw. Anlage 1). 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. 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.

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 (siehe Kapitel 5.2.4 bzw. Anlage 1). 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 (siehe Kapitel 5.6). Die Abschätzung der Restinfiltration und Gesamtsalzfracht wurde aufgrund einer Reihe theoretischer Festlegungen, die sich aus dem derzeitigen Kenntnisstand ergeben, vorgenommen. Für die Berechnung der Restinfiltration im Bereich der einzelnen Flächen wurde die unterschiedliche Beschaffenheit der Basisdichtung durch Verwendung entsprechender Durchlässigkeitsbeiwerte an der Bestandshalde berücksichtigt. Hierbei zeigt sich, dass aufgrund der Anschüttung der Erweiterung an die bestehende Halde und daraus resultierenden Verschiebungen des durchlässigeren Haldenmantelbereichs in den Bereich des hydraulisch inaktiven Haldenkerns die Restinfiltration der Bestandshalde reduziert wird. Diese Reduzierung ist höher als die zusätzliche Restinfiltration aus der Haldenerweiterungsfläche. Nach Inanspruchnahme der Gesamtfläche einschließlich Erweiterung ergibt sich eine Restinfiltration von rd. 31.000 m³/a und eine Gesamtsalzfracht des Sickerwassers von rd. 12.000 t/a, während die Bestandshalde ohne Haldenerweiterung

zu einer Restinfiltration von rd. 37.000. m³/a und einer Gesamtsalzfracht des Sickerwassers von rd. 14.000 t/a führen würde (siehe Kapitel 5.6.4.3). Für Berechnungen zur Ermittlung des Haldenwasseranfalls im Bereich der Erweiterung wurde angenommen, dass ein Stagnationsgradient vorhanden ist und damit im Bereich der Erweiterungsfläche keine Restinfiltration auftritt.

Im Ergebnis der Berechnungen der Haldenwassermenge ergibt sich im Jahr der vollständigen Beschüttung der Erweiterungsfläche ein Haldenwasseranfall für die Gesamthalde von rd. 926.000 m³/a bis ca. 1,37 Mio. m³/a je nach Höhe des Jahresniederschlags. Im ersten Jahr der Nachbetriebsphase sinkt der Haldenwasseranfall dann auf 606.000 m³/a bis ca. 1,05 Mio. m³/a je nach Höhe des Jahresniederschlags (siehe Kapitel 6.3).

Beim Vergleich der gemessenen und berechneten Haldenwassermengen für das Durchschnittsjahr ergibt sich eine maximale Abweichung von weniger als 21 % (siehe Kapitel 7.7). Vergleicht man die prognostizierten und gemessenen Haldenwassermengen, so ergibt sich eine maximale Abweichung von ca. 36 % (siehe Kapitel 6.4).

Den Modellierungen zur Entsorgung des Haldenwasseranfalls in Band 3.3 wurde der Haldenwasseranfall im mittleren Jahr inklusive dieser Abweichung von 30 % zugrunde gelegt. Damit sind die Variabilitäten der Eingangsgrößen der Haldenwasserbilanz, beispielsweise eines höheren Niederschlags oder einer höheren Rückstandsfeuchte ausreichend konservativ berücksichtigt.

Der Forderung der Berechnung des Haldenwasserpotentials nach § 22 a ABergV, Anhang 6 Nr. 2 wurde entsprochen (siehe Kapitel 8). Hierbei wurde das Haldenwasserpotential der Rückstandshalde als Gesamtmenge bis zum Zeitpunkt der Auflösung der Rückstandshalde inkl. der beantragten Haldenerweiterung (im Jahr 3712) prognostiziert. Hierbei ergibt sich ein Haldenwasserpotential von ca. 742 Mio. m³.

Beim worst-case-Szenario wurden im Vergleich mit der vorherigen Haldenwasserberechnung folgende geänderte Annahmen verwendet:

- Ansatz eines mittleren Jahresniederschlags von 790 mm/a,
- Vernachlässigung der Evaporation auf der Rückstandshalde ($E = 0\%$),
- Annahme einer erhöhten Restinfiltration im Bereich der Bestandshalde,
- Annahme einer zusätzlichen Restinfiltration durch den Anschüttungsbereich,
- Annahme einer Reduzierung des Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration durch die Errichtung von Poldern auf dem Haldentop der Bestandshalde und der Erweiterung
- Betrieb der Sickerwasserfassung Heergraben bis zum Ende der Nachbetriebsphase (2061)
- Kein dichter Haldenkern im Bereich der Erweiterungsfläche und keine Bildung eines Kerns zwischen Bestandshalde und Haldenerweiterung.

Bei der Prognose der Worst-Case-Restinfiltration ergibt sich mit Ende der Beschüttung der Bestandshalde eine Restinfiltration von ca. 165.000 m³/a (152,1 mm/a) und eine

Gesamtsalzfracht von ca. 63.000 t/a. Mit Ende der Beschüttung der Erweiterungsfläche ergeben sich im Jahr 2031 eine Restinfiltration von ca. 239.000 m³/a (176,2 mm/a) und eine Gesamtsalzfracht von ca. 91.000 t/a. Somit erhöht sich die Restinfiltration bei der Worst-Case-Betrachtung aufgrund des Vorhabens der Haldenerweiterung im Zeitraum von 2020 bis 2042 um ca. 88.000 m³/a bzw. die Gesamtsalzfracht um ca. 33.000 t/a.

Erst nach Ende des Anfalls der restfeuchtebedingten Restinfiltration im Bereich der Anschüttung an die Bestandshalde sinkt die Restinfiltration am Standort im Jahr 2043 auf 140.000 m³ (103,6 mm/a) bzw. die Gesamtsalzfracht auf ca. 53.000 t/a ab (siehe Kapitel 5.6.4.4.4).

Wie auch bei der Basisberechnung wurde bei der worst-case Berechnungen zur Ermittlung des Haldenwasseranfalls im Bereich der Erweiterung angenommen, dass ein Stagnationsgradient vorhanden ist und damit im Bereich der Erweiterungsfläche keine Restinfiltration auftritt.

Im Ergebnis der Berechnungen der Worst-Case-Haldenwassermenge ergibt sich im Jahr der vollständigen Beschüttung der Erweiterungsfläche unter Annahme der Wirksamkeit der Polder auf dem Haldentop ein Haldenwasseranfall für die Gesamthalde von ca. 1,35 Mio. m³/a. Im ersten Jahr der Nachbetriebsphase sinkt der Haldenwasseranfall dann auf ca. 1,03 Mio. m³/a (siehe Kapitel 6.5.4).

Beim Vergleich der gemessenen Worst-Case-Haldenwassermenge und der berechneten Haldenwassermengen ergibt sich eine maximale Abweichung von 44 % (siehe Kapitel 6.5.5).

4 Sickerwasserminimierung durch Errichtung von Poldern auf dem Haldentop

Zur Reduzierung des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration werden Bereiche der Plateaufläche auf der Rückstandshalde Wintershall bis zur Errichtung der endgültigen Oberflächenabdeckung mit Poldern versehen. Diese Sickerwasserminimierungsmaßnahme besteht aus kunststoffgedichteten Becken (Poldern) und einem Entwässerungssystem.

Durch die Errichtung der Polder wird unversalzene Niederschlagswasser gefasst und abtransportiert. So werden einerseits der Haldenwasseranfall und damit die zu entsorgende Haldenwassermenge verringert. Andererseits wirken sich die Polder positiv auf das Schutzgut Grundwasser aus, da die Restinfiltration entsprechend des geringeren Dargebots an in die Halde eindringenden Sickerwässern ebenfalls verringert und so eine Kompensation des durch die Haldenerweiterung entstehenden Mehreintrags erreicht wird.

Die Lage der Polder ist in Anlage 1 des Bandes 1.1 dargestellt. Insgesamt ist die Errichtung von rd. 15,4 ha abgedichteten Flächen in mehreren Bauabschnitten vorgesehen.

Ein Teil der für die Abdeckung vorgesehenen Flächen entsteht erst im Zuge der aktuell noch stattfindenden Beschüttung (Polder C im Norden der Bestandshalde), die Errichtung des dort geplanten Polders erfolgt entsprechend zeitlich versetzt. Gleiches gilt für die auf dem zukünftigen Haldentop der Erweiterung geplanten Polder A+ und E, die erst nach

Abschluss der Beschüttung der Erweiterungsfläche und Abklingen der Haupt-Setzungen in diesem Bereich errichtet werden können.

Tabelle 2: Geplante abschnittsweise Errichtung der Polder

Polder	Jahr	Fläche
B	2020	1 ha
A	2021	1,3 ha
C	2025	6,6 ha
A+, E	2034/ 2035	6,5 ha

Die detaillierten technischen Ausführungen der oben beschriebenen technischen Maßnahmen zur Fassung von Niederschlag sowie die Beschreibung des Monitorings erfolgen im Rahmen der Ausführungsplanung in nachfolgenden Sonderbetriebsplänen.

Ergänzend zu diesen Kompensationsmaßnahmen werden begleitend zur Beschüttung der Haldenerweiterung temporäre hydraulische Sicherungsmaßnahmen im Haldenumfeld umgesetzt, um eine vorhabensbedingte Verschlechterung der Grundwasserkörper zu vermeiden. Die Sicherungsmaßnahmen bestehen aus 12 Sicherungsbrunnen, die im Haldenumfeld errichtet werden, und deren zugehöriger technischer Infrastruktur (siehe Band 3.6.3, Teil 2, Anhang 1 und Band 1.1 Kapitel 7.4.8). Die vorsorglich zusätzlich geplanten Kompensationsmaßnahmen in Gestalt der Haldenpolder und der temporären hydraulischen Sicherungsmaßnahmen im Abstrom der Erweiterungsfläche zielen auf eine vollständige Kompensation der vorhabenbedingten Restinfiltration.

5 Beschreibung der relevanten Parameter der Haldenwasserbilanz

5.1 Niederschlag

5.1.1 Beschreibung der Messstation

Die Ermittlung der standortspezifischen Wetterdaten erfolgt anhand der Messdaten der Messstation an der Halde IV (R: 3569227.58; H: 5640976.21). Die Wetterstation befindet sich auf einer Höhe von 415,84 m NN. In der Abbildung 2 ist die Lage der Wetterstation an der Halde IV dargestellt.

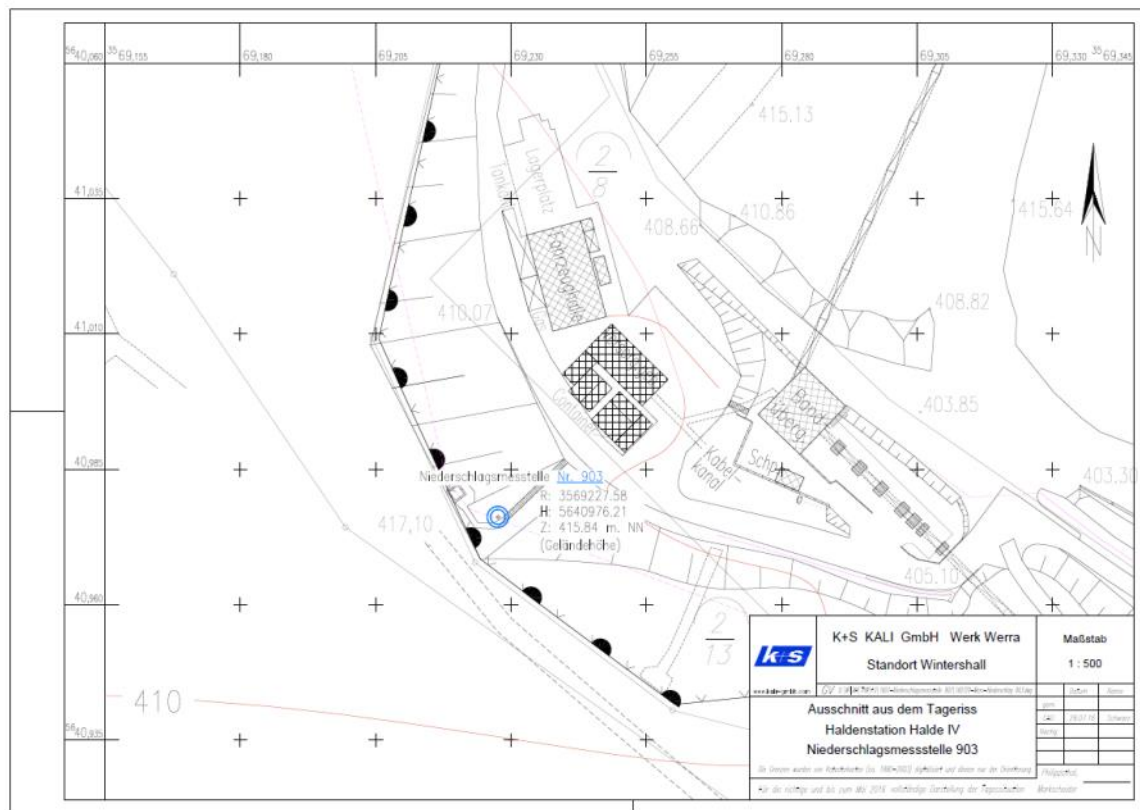


Abbildung 2: Lage der Wetterstation Halde IV

Hierbei wurden die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten realen Jahresniederschlagssummen im Messzeitraum von 2003 bis 2018 gemessen. Diese wiederum wurden bei der Bewertung der gemessenen Haldenwasseranfälle berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

Tabelle 3: Niederschlagssumme der Wettermessstation Halde IV

Jahr	Jahresniederschlag [mm/a]
2003	460
2004	667
2005	597
2006	508
2007	755
2008	461
2009	706
2010	487
2011	549
2012	615

Jahr	Jahresniederschlag [mm/a]
2013	745
2014	650
2015	467
2016	546
2017	661
2018	608

5.1.2 Niederschlagswerte für die Prognose des zukünftigen Haldenwasseranfalls für die Basisberechnung

Die Prognose des Haldenwasseranfalls wird jeweils für ein hydrologisches Durchschnittsjahr, ein Feucht- und ein Trockenjahr vorgenommen. Bei der Auswahl der entsprechenden Niederschlagssummen wurden die Zahlen verwendet, die für Abflussbetrachtungen im Zusammenhang mit Wasserrechtsanträgen¹ herangezogen wurden. Hierbei wurden drei repräsentative Referenzjahre für ein trockenes, ein mittleres und ein feuchtes Jahr festgelegt. Das trockene Jahr (1976) stellt ein abflussarmes Jahr, das mittlere Jahr (1999) ein Jahr mit mittlerem Abfluss und das feuchte Jahr (1987) ein Jahr mit hoher Wasserführung in der Werra am Pegel Gerstungen dar.

Aus den Wetterdaten ergibt sich im Jahr 1999 an der DWD-Wetterstation Philippsthal-Röhrigshof eine Niederschlagssumme für ein durchschnittliches Jahr von 625 mm und für das Feuchthjahr 1987 eine Niederschlagssumme von 804 mm. Für das Trockenjahr 1976 ist lediglich die Niederschlagssumme der Wettermessstation Kassel in Höhe von 483 mm vorhanden. Für die weiteren Berechnungen werden diese Niederschlagssummen als Referenzwerte angenommen.

Die Haldenwasserbilanz dient zur Ermittlung der Ausgangswerte für die Entsorgungskonzeption der Haldenwässer (Band 3.3 ‚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 inklusive eines ebenfalls herzuleitenden Sicherheitszuschlags wird über eine N/A-Modellierung eine 33-jährige Ganglinie des Haldenwasseranfalls generiert und die Entsorgung der so ermittelten Volumina geprüft. Die Zeitreihe der Flussgebietsmodellierung der SYDRO Consult GmbH berücksichtigt das trockene hydrologische Beispieljahr 1976 noch nicht als Eingangsgröße, da hierfür keine hoch aufgelösten, meteorologischen Daten im Umfeld der Halden Hattorf und Wintershall

¹ Quelle: „Antrag auf Änderung der wasserrechtlichen Erlaubnis vom 30.11.2012 zur Einleitung von Salzabwasser in die Werra“ vom 27.03.2015

vorlagen, statt dessen wurde der Jahresniederschlag des Jahres 2003 der DWD-Wetterstation Philippsthal-Röhrigshof (514,2 mm) verwendet.

Im Vergleich zu den 3 Referenzjahren liegt der Mittelwert aus den in Tabelle 3 gezeigten Werten an der Station auf der Halde IV bei rd. 600 mm, die Schwankungsbreite liegt bei 460 – 755 mm. Die für die Ermittlung des Haldenwasseranfalls herangezogenen Werte liegen auf höherem Niveau, so dass von einer konservativen Annahme auszugehen ist.

5.1.3 Niederschlagswerte für die Prognose des zukünftigen Haldenwasseranfalls für die worst-case-Berechnung

Der 30-jährige Mittelwert für den DWD-Referenzzeitraum 1981 bis 2010 beträgt für das Gebiet Wintershall 796 mm/a. Für die als ‚worst-case‘ ausgewiesenen Berechnungen wird in Übereinstimmung mit Anhang 1 des Bandes 3.6.1 (Hydrogeologisches Strukturmodell) ein Jahresniederschlag von 790 mm verwendet.

5.2 Rückstandsspezifische Parameter

5.2.1 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. Bei den gegenwärtigen Rohsalzgehalten fallen jährlich über 7 Mio. t nicht verwertbare Rückstände an. Künftig werden ca. 7,2 Mio. t Rückstandssalz/Jahr erwartet². Die folgende Abbildung zeigt die Mengenanteile der Rückstandsströme aus den einzelnen Aufbereitungsverfahren am Gesamtrückstand.

² Die durchschnittliche Rückstandsmenge der Jahre 2008–2015 am Standort Wintershall beträgt 6,6 Mio. t., ausgenommen das Jahr 2009 aufgrund geringer Kapazitätsauslastung wegen der Weltwirtschaftskrise. Infolge der Rohsalzzusammensetzung hat sich die Rückstandsmenge seit 2012 stetig erhöht und wird zukünftig mit 7,2 Mio. t/a prognostiziert.

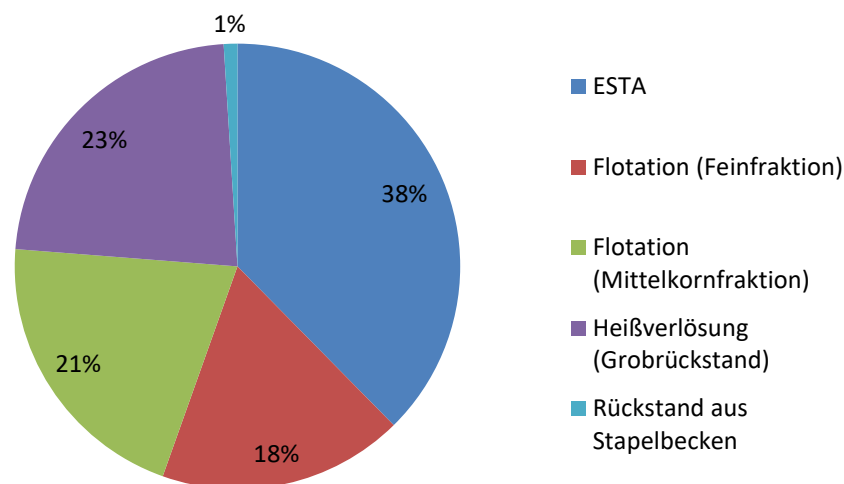


Abbildung 3: Mengenanteile der Aufbereitungsverfahren am Gesamtrückstand

Eine detaillierte Beschreibung des Rückstandes ist im Band 1.1.2 „Art der Abfälle und Salzwässer“ sowie im Band 3.15 „Haldenkörperverhalten - Auswertung der Haldenkörperbohrung am Standort Wintershall unter Einbeziehung der Ergebnisse für den Standort Hattorf“.

5.2.2 Aufsalzungsfaktor

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

Der Aufsalzungsfaktor wurde im Rahmen mehrerer Untersuchungen durch das Labor der K+S KALI GmbH am Standort Wintershall bestimmt. Die Analysenergebnisse liegen dort vor.

5.2.3 Wassergehalt des Rückstands

Der Gesamtwassergehalt des Rückstands ist die Summe aus dem enthaltenen Freien Wasser und dem in die Kristallstruktur des Rückstands eingebundenen Kristallwasser.

Bei dem Freien Wasser wird wiederum unterschieden zwischen freiem Anteil (mobil, gravitativ entwässerbar) und anhaftendem Anteil (Haftwasser, immobil, nicht entwässerbar). Der nicht entwässerbare Anteil des Freien Wassers wird auch als Haftwasser bezeichnet. Im Haldenkörper liegt das Freie Wasser als NaCl-gesättigte Lösung vor. Labortechnisch wird der Freie Wassergehalt ermittelt (vgl. Kapitel 5.2.3.1).

5.2.3.1 Freier Wasseranteil des Rückstands

Für den Rückstand am Standort Wintershall wurden in 2014 im Rahmen von Laboruntersuchungen des K+S Analytik- und Forschungszentrums mehrere Bestimmungen des Freien Wassergehalts vorgenommen. Zur Bestimmung des Freien Wassergehalts im Rückstandssalz wurden Mischproben der Rückstandsströme im Trockenschrank für 4 h bei 105°C getrocknet.

Die Analysenprotokolle liegen bei K+S vor. Die Ergebnisse der Versuche sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 4: Freier Wassergehalt des Probenmaterials Wintershall

Bezeichnung	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Mittelwert
Freier Wassergehalt (Trocknungsverlust 105°C) [%]	4,8	4,1	4,1	3,8	4,2

Im Mittel ergibt sich hieraus ein Freier Wassergehalt von 4,2 Masse-%.

Da bereits bei einer Temperatur von >32,4 °C die Umwandlung von Glaubersalz (Mirabilit, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) zu Thenardit (Na_2SO_4) unter Freisetzung von Kristallwasser stattfindet und das Kristallwasser des Epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ebenfalls bei Temperaturen unter 60°C abgespalten wird, ist deren Kristallwasseranteil in dem durch Trocknung bei 105°C bestimmten Freien Wasseranteil mit enthalten, ebenso wie ein Teil des Kristallwassers des Carnallits, der unter Normbedingungen bereits bei ca. 80 °C beginnt, das Kristallwasser abzugeben. Kieserit hingegen gibt das Kristallwasser erst bei einer Temperatur von ca. 350°C ab.

Ein Teil des durch Trocknung ermittelten Freien Wassers liegt innerhalb der Poren als Haftwasser vor und ist gravitativ nicht entwässerbar. Im Rahmen der Haldenbohrung B72/2014-WI wurden Freie Wassergehalte bestimmt (vgl. Band 3.15). Dort wurden selbst in stark verdichteten Haldenbereichen ($\rho_d^* \geq 1,9 \text{ g/cm}^3$) rd. 2 % Freies Wasser³ angetroffen. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um gravitativ nicht entwässerbares Haftwasser handelt.

Ergebnisse von Einzelbestimmungen der Feuchte von frischem Rückstand mittels Karl-Fischer-Titration aus dem Jahr 2016, mit denen ausschließlich der anhaftende Porenwasseranteil ohne Einfluss von kristallin gebundenem Wasser bestimmt wird, lagen im Mittel bei 4 % (vgl. Band 3.15: „Haldenkörperverhalten - Auswertung der Haldenkörperbohrung am Standort Wintershall unter Einbeziehung der Ergebnisse für den Standort Hattorf“, Anlage 8.2). Dieser Wert wird für die weiteren Berechnungen verwendet,

³ Ermittelt mittels Karl-Fischer-Titration (ohne Einfluss von Kristallwasser); die Ergebnisse der Trocknung bei 105°C, vergleichbar zu den Angaben für frischen Rückstand von 4-6%, liegen für den gleichen Bereich bei rd. 3-4%, sind aber aufgrund der Anwesenheit von kristallwasserhaltigen Phasen durch diese beeinflusst.

da die Karl-Fischer-Titration im Gegensatz zur Trocknung spezifisch auf das Haftwasser anspricht.

Wie in Band 1.1.2 „Art der Abfälle und Salzwässer“ erläutert, handelt es sich bei dem Gesamtrückstand um eine Mischung unterschiedlich feuchter Teilströme. Der mengenmäßig überwiegende Teilstrom ESTA-Rückstand wird angefeuchtet, um eine Staubbildung zu vermeiden, so dass der Freie Wassergehalt des Gesamtrückstands 4-6 % beträgt. Die o. g. Messergebnisse liegen somit in der gleichen Größenordnung.

Es ist auszuführen, dass die anhaftende Restfeuchte des Rückstands in den letzten Jahren durch verbesserte Entwässerungsmethoden gesenkt wurde (beispielsweise durch verbesserte Entwässerung der Mitteln Kornflotation Ende 2017). Die hier dargestellten und zur weiteren Betrachtung verwendeten Restfeuchten sind in diesem Sinne konservativ.

Der Anteil des Freien Wassers der jährlich anfallenden Rückstandsmenge (WG_{frei}) errechnet sich aus Multiplikation des Freien Wassergehalts von ca. 4 % bezogen auf die jährlich anfallende Rückstandsmenge (feuchter Rückstand) mit dem Aufsalzungsfaktor von 1,11 und der jährlich anfallenden Rückstandsmenge.

Die jährlich angefallenen Rückstandsmengen und die daraus resultierenden jährlichen Mengenanteile des Freien Wassers sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 5: Aufhaldungsmengen und Freier Wasseranteil am Rückstand

Jahr	Aufhaldungsmenge ⁴	Freier Wasseranteil am Rückstand
[a]	[t/a]	[Tm³/a]
2013	6.931.000	308
2014	6.941.000	308
2015	7.277.000	323
2016	7.096.000	315
2017	7.168.000	318
2018	6.369.000	283
2019	7.200.000	320

Infolge der Rohsalzzusammensetzung hat sich die Rückstandsmenge seit 2012 stetig erhöht und wird zukünftig mit 7,2 Mio. t/a prognostiziert. 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 Wasseranteils über mehrere Jahre würde zu einem geringeren Haldenwasseranfall führen.

⁴ gerundet auf 1.000 t

5.2.3.2 Kristallin gebundener Wasseranteil des Rückstands

Der Anteil des im Rückstand gebundenen Kristallwassers ist für die weitere Berechnung zweitrangig, da die Hauptkomponente des Rückstands mit rd. 91% Natriumchlorid (NaCl, Halit) ist und das Kristallwasser der in geringer Menge vorhandenen Nebengemengeteile erst bei Auflösung des Rückstandssalzes frei wird. Dieser Wasseranteil wird somit bei der weiteren Berechnung nicht berücksichtigt.

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

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 3.15).

Die Hydratation eines Salzes kann mit einer erheblichen Volumenzunahme verbunden sein, da im Hydrat eine Änderung der Gitterordnung der Anionen und Kationen erfolgt. Ob ein wasserfreies Salz oder eine seiner Hydratstufen stabil ist, hängt unter 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 es das Wasser durch Verdunstung abgibt. 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.

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 von 70 % liegt. Der hygroskopische Anteil ist aufgrund der komplexen Zusammenhänge nur schwer quantifizierbar. Dieser im Labormaßstab ermittelte hygroskopische Anteil lässt sich aufgrund der komplexen am Standort herrschenden Bedingungen (Luftfeuchtigkeit, Exposition, Temperatur und Windgeschwindigkeit) nicht auf die Halde übertragen, zumal der hygroskopische Prozess reversibel ist. Bei Absinken der Luftfeuchtigkeit unterhalb der DRH muss die freiwerdende

Flüssigkeit nicht zwingend im Haldenwasser anfallen, sondern kann auch verdunsten. Im Rahmen der Säulen- und insbesondere der 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 mit abgebildet.

Grundsätzlich ist außerdem festzustellen, dass bei der Betrachtung der Hygroskopie nicht der gesamte Haldenkörper und die darin in geringem Umfang enthaltenen Magnesiumsalze relevant sind, sondern allenfalls der äußere Krustenbereich der Halde. Wie in den Haldenbohrungen an den Standorten Hattorf und Wintershall gezeigt wurde, findet in diesem Bereich eine selektive Entfrachtung an den leichtlöslichen Wertstoff-Restgehalten statt, d.h., die Minerale 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 (vgl. Band 3.15). Daher ist davon auszugehen, dass die Magnesiumverbindungen im Haldenrandbereich aufgrund ihrer hohen Löslichkeit und damit geringen Persistenz nicht wesentlich zu einer Verstärkung des hygroskopischen Effekts beitragen.

Weiterhin wurden im Rahmen des Versuchsprogramms 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.

Wie vorstehend gezeigt, ist trotz der vorhandenen Erkenntnisse aus Laborversuchen eine Übertragbarkeit auf den Standort nicht möglich. Dennoch sind mögliche hygroskopische Effekte in der versuchstechnisch ermittelten Evaporation (siehe Kapitel 5.2.5) mit erfasst, da bei der Ermittlung der Evaporation ein wägbares Lysimeter verwendet wurde, welches zu jedem Zeitpunkt das Gewicht des Rückstandes erfasst. Käme es zu einem relevanten hygroskopischen Effekt an der Oberfläche des Rückstandes würde sich das Gewicht des wägbaren Lysimeters erhöhen. Die Auswertung des Lysimeters ergibt jedoch eine Reduzierung des Gewichtes (siehe Anlage 1). Somit handelt es sich bei der ermittelten Evaporation von ca. 10,2 % um einen Anteil, der auch das hygroskopische Verhalten des Rückstandes beschreibt, so dass keine separate Berücksichtigung in der Haldenwasserbilanz erfolgt.

5.2.5 Evaporation

5.2.5.1 Evaporation für die Basisberechnung

Aufgrund der Größe der Rückstandshalden kommt es zur Herausbildung eines Kleinklimas im Bereich der Rückstandshalde und des unmittelbaren Haldenumfeldes. 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 werden 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, die für die weiteren Berechnungen zur Ermittlung des jährlichen Haldenwasseranfalls angesetzt wird.

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 Wintershall ist gewährleistet. Aufgrund der im Vergleich zum Umland exponierten Lage der Haldenflanken und des Haldentops und der damit verbundenen Inseleffekte 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 Lysimeterversuches in Müncheberg ist.

Für den Lysimeterversuch auf der Rückstandshalde Bleicherode im Südharz wurde im Rahmen einer Dissertation zum Thema Haldenwasserbilanz eine Evaporation von 7-20 %⁵ angeführt.

Im Zeitraum 2013 bis 2017 wurde auf der ESTA-Rückstandshalde IV ein weiterer Versuch mit einem mit Rückstand gefüllten Flächenlysimeter durchgeführt, um die oben vorgestellten Ergebnisse zu verifizieren. Für den Versuchszeitraum ergibt sich laut dem Abschlussbericht zum Feldversuch auf der ESTA-Rückstandshalde IV, Wintershall eine Variationsbreite der Verdunstungsrate zwischen -1,1 und 12,0 Prozent⁶. Wie in Band 3.4 zur Realisierbarkeit einer Haldenabdeckung festgestellt wird, war die ermittelte negative Verdunstungshöhe im 1. Versuchsjahr unplausibel und durch das Anfahren des Lysimeters bedingt, so dass bei Rückstandshalden der Hartsalzverarbeitung, wie in Hattorf und Wintershall (NaCl mit merklichen Kieseritanteilen), von Verdunstungsraten etwas über 10% ausgegangen werden kann.

5.2.5.2 Evaporation für die worst-case-Berechnung

Im Rahmen der durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen zur Vollständigkeitsprüfung wurde auch die Höhe der Evaporation diskutiert bzw. unterstellt, dass der Rückstand ein hygroskopisches Verhalten aufweist, welches im Rahmen der Basisberechnung nicht entsprechend betrachtet wurde.

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 (2017): Begrünungskonzept für Kalirückstandshalden im Werragebiet, Stufe II Feldversuch auf der Halde IV in Heringen. Abschlussbericht - Rückstandslysimeter. (Anlage 3 des Bandes 3.4 „Nachweis zur Realisierbarkeit der Haldenabdeckung“)

Um einen konservativeren Ansatz zu wählen, wird für die worst-case-Berechnung in Übereinstimmung mit Anhang 1 des Bandes 3.6.1 (Hydrogeologisches Strukturmodell) auf die Berücksichtigung der Evaporation verzichtet.

5.3 Zuflüsse von Niederschlagswasser aus dem Bereich des Umfahrungsweges

5.3.1 Beschreibung des Umfahrungsweges

Im Haldenvorland ist außerhalb des Haldenrandgrabens die Errichtung eines Umfahrungsweges geplant bzw. ist dieser im Bereich der genehmigten Aufstandsfläche bereits vorhanden. In der Anlage 4.1 und 4.2 des Bands 1.1 ist der Querschnitt der Infrastrukturanlagen dargestellt. Hieraus ergibt sich für den Umfahrungsweg inklusive der Schrägen am Rand des Umfahrungsweges eine 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. Die jährlichen Flächenanteile sind in der Anlage 8 aufgeführt.

5.3.2 Berechnung des niederschlagsbedingten Abflusses des Umfahrungswegs

Der Umfahrungsweg im Bereich der bestehenden Halde ist versiegelt. Im Bereich der Erweiterungsfläche ist die Errichtung der Basisabdichtung auch unter dem Haldenrandweg vorgesehen (siehe Anlagen 4 des Bands 1.1), 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. Die Evaporation im Bereich des Umfahrungsweges wurde nicht berücksichtigt.

5.3.3 Darstellung der Berechnungsergebnisse für die Basisberechnung

In der nachfolgenden Abbildung sind die berechneten Zuflüsse des Umfahrungsweges für die Basisberechnung dargestellt.

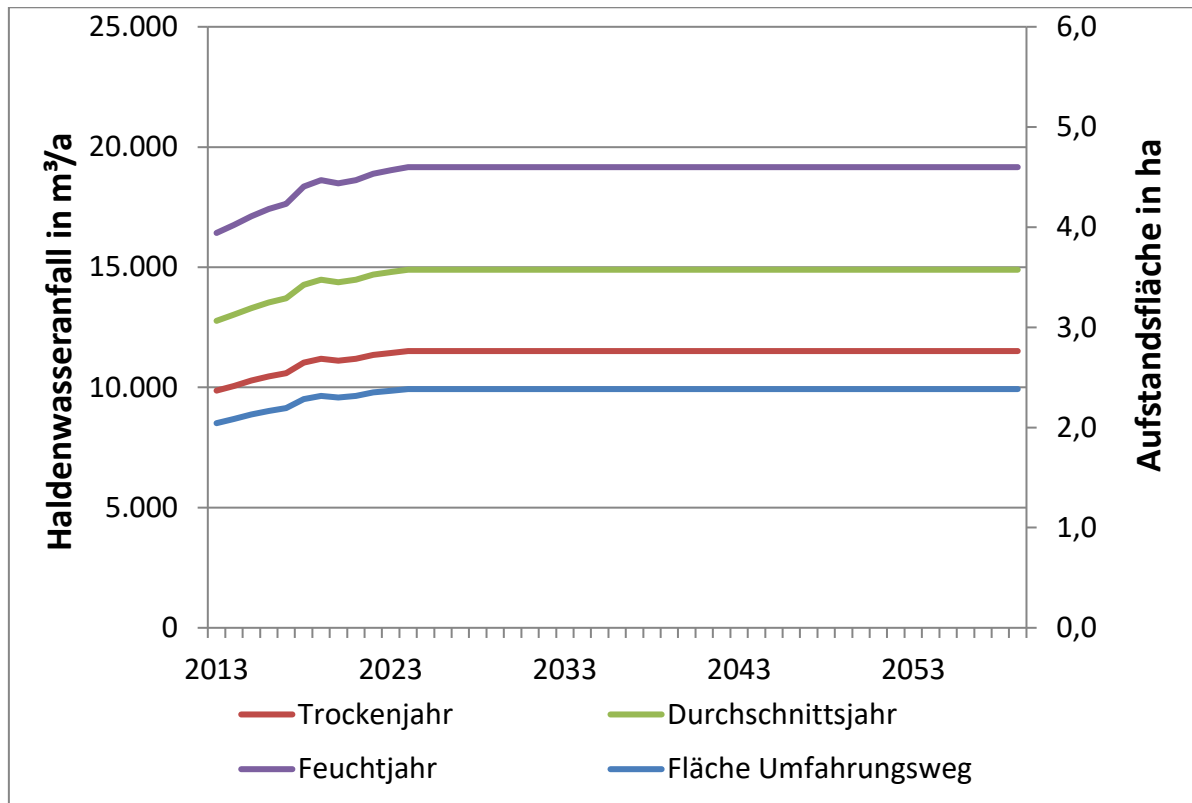


Abbildung 4: Zufluss von Niederschlagswasser aus dem Bereich des Umfahrungswegs im Trocken-, Feucht- und Durchschnittsjahr für die Basisberechnung

Wie aus der Darstellung zu erkennen ist, nimmt der Zufluss vom Umfahrungsweg mit fortlaufender Beschüttung bei angenommener sukzessiver Anbindung des Umfahrungsweges an das Abwasserregime bzw. bei paralleler Errichtung von Aufstandsfläche und Weg bis 2028 weiter zu. Nach derzeitigem Kenntnisstand wird der Weg zwar zu Beginn der Aufhaltung in einem Stück errichtet, aber erst sukzessive bei Vorbereitung der Jahresscheiben an die Haldenentwässerung angeschlossen.

Nach Abschluss der Beschüttung ist der Zufluss konstant.

Nach der Errichtung des endgültigen Umfahrungswegs ergibt sich eine Zuflussmenge von 11.500 m³/a im Trockenjahr, 14.900 m³/a im Durchschnittsjahr und 19.200 m³/a im Feuchtjahr.

5.3.4 Darstellung der Berechnungsergebnisse für die worst-case-Berechnung

In der nachfolgenden Abbildung ist der berechnete Zufluss des Umfahrungswegs für die worst-case-Berechnung dargestellt.

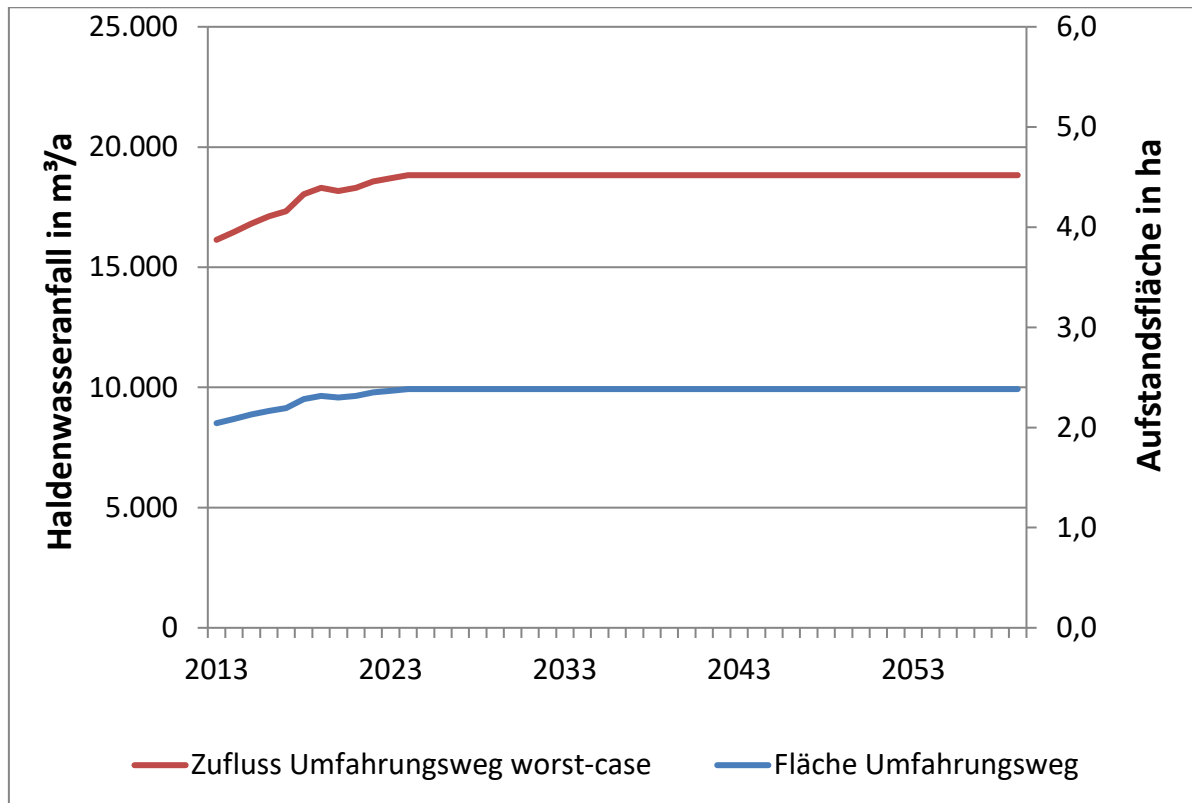


Abbildung 5: Zufluss von Niederschlagswasser aus dem Bereich des Umfahrungswegs für die worst-case-Berechnung

Nach der Errichtung des endgültigen Umfahrungswegs ergibt sich für die worst-case-Berechnung eine Zuflussmenge von 18.800 m³/a.

5.4 Salzwassermengen aus der Sickerwasserfassung Heergraben

Wie in der Anlage 8 zum Band 1.1: „Technischer Erläuterungsbericht“ in Kapitel 5 beschrieben, stellt die „Errichtung einer Sickerwasserdrainage mit Pumpschacht“ im Bereich des ehemaligen Haldenbeckens Heergraben eine weitere Maßnahme zur Verringerung der Sickerwassereinträge dar. Bei dem Rückbau des Beckens wurde in ca. 1,4 m Höhe oberhalb der Beckensohle ein Haldenwasserzulauf festgestellt und mittels Dränage gefasst. Durch die seit September 2015 betriebene Maßnahme wird der Interflow aus westlicher Richtung von der Halde IV gefasst und der Eintrag mineralisierter Sicker- und Schichtenwässer in das Grundwasser maßgeblich reduziert. Die Maßnahme wurde mit dem Schreiben vom 08.06.2015 als zweite Ergänzung des Sonderbetriebsplanes WI-19/13 beantragt und am 23.07.2015 zugelassen (Az.: 37/Hef-79 f 12-07-300-7/29. 5).

Die gefasste Sickerwassermenge der Sickerwasserfassung Heergraben betrug im Zeitraum von Dezember 2015 bis Dezember 2016 ca. 28.738 m³. Die jährlich gefasste Gesamtsalzfracht beträgt bei einer Gesamtsalzkonzentration von 0,375 m³/t etwa 10.777 t/a.

5.4.1 Salzwassermenge für die Basisberechnung

Für die Basisberechnungen wird zunächst davon ausgegangen, dass die Sickerwasserfassung aufgrund der Unsicherheiten bei der weiteren Prognose der zu fassenden Sickerwassermengen zunächst im Rahmen der Haldenwasserbilanz für den Zeitraum von 2016 bis 2019 mit den gefassten ca. 29.000 m³/a als Haldenwasseranfall anzusetzen ist. Für den Zeitraum ab 2020 wurde im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung davon ausgegangen, dass das Sickerwasser als horizontaler unterirdischer Abfluss zusätzlich zur Restinfiltration zu berücksichtigen ist. Diese Menge fällt dann nicht als Haldenwasser an und geht mit negativem Vorzeichen bei der Bilanzgröße Restinfiltration (RI) in die Haldenwasserbilanzgleichung ein (siehe Kapitel 2).

5.4.2 Salzwassermenge für die worst-case-Berechnung

Bei der worst-case-Berechnung wird im Gegensatz zur Basisberechnung angenommen, dass die Sickerwasserfassung über das Jahr 2019 hinaus weiterhin wirksam ist und die o.g. Sickerwassermenge von ca. 29.000 m³/a weiterhin gefasst und dem Haldenwasser zugeschlagen wird (siehe Kapitel 2.1 und 2.2).

5.5 Minimierungspotential des Haldenwasseranfalls der Polderbecken aus dem Haldentop für die worst-case-Berechnung

Für die Ermittlung des Minimierungspotentials der Polderbecken auf dem Haldentop für die worst-case-Berechnung (siehe Kapitel 4) wurde die Haldenwassermenge ermittelt, die durch die Errichtung der Polder gefasst werden kann. Die Berechnung erfolgt nach folgender Gleichung:

$$HWA_{Pol,Min} = N \times A$$

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

N: Niederschlagswert in m³/(ha*a)

A: Fläche des Polderbeckens in ha

5.6 Restinfiltration an der Basis

Die Restinfiltration von Basisabdichtungen unter Rückstandshalden hängt im Wesentlichen von:

- der Wassereinstauhöhe im Haldenkörper (in Form des hydraulischen Gefälles),
- der Größe der Haldenaufstandsfläche,
- der Art und Zusammensetzung des Haldenwassers (Gesamtsalzkonzentration) und
- der Mächtigkeit, Zusammensetzung und Eigenschaften des Dichtungsmaterials (Durchlässigkeitsbeiwert der Basisabdichtung) bzw. - in ungedichteten Althaldenbereichen – des anstehenden Untergrunds

ab.

Aufgrund von Kompaktion und Rekristallisation des Rückstandes ergibt sich auflastbedingt eine Zonierung des Haldenkörpers (siehe Kapitel 5.6.2.2).

Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k (in m/s) mineralischer Böden wird durch die DIN 18130-1 (DIN 18130-1:1998-05 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts) definiert und hängt von der Bodenart (Korngrößenverteilung, Kornform, Anteil und Eigenschaften der Feinstbestandteile), der Lagerungsdichte des Bodens, der Dichte und Beschaffenheit des Wassers, dem hydraulischen Gefälle sowie der Sättigung des Porenraums ab.

Zunächst wird der Durchfluss Q (in m³/s) des Probekörpers mit Querschnittsfläche A (in m²) in Abhängigkeit von der Zeit t (in s) bestimmt. Das hydraulisch aufgebrachte Druckgefälle wird durch den Quotienten aus Prüfdruck h (in m) und durchströmter Länge l (Probenlänge in m) bestimmt ($i = h/l$). Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k (in m/s) wird durch folgenden Zusammenhang ermittelt:

$$k = \frac{Q * l}{A * h}$$

Die verwendete Prüfflüssigkeit darf keine Bestandteile aus dem Prüfkörper herauslösen, keine gelösten bzw. in Schwebelag befindlichen Teile im Probekörper ablagern und die kolloidchemische Beschaffenheit des Bodens nicht verändern. Daher wird zur Untersuchung von mineralischen Böden häufig entlüftetes Leitungswasser verwendet. Nach DIN 18130-1 kann in besonderen Fällen das Wasser zur Sicherstellung der natürlichen Bedingungen aufbereitet bzw. beschafft werden. Für die Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte wurde daher Haldenwasser als Prüfflüssigkeit verwendet.

Der Versuch ist beendet, wenn sich die Sättigung der Probe nicht ändert (einströmende Wassermenge gleich austretende Wassermenge) und konstante Durchflusswerte ermittelt wurden.

Da sich insbesondere die maßgeblich relevante Art der Untergrundvorbereitung der Halde inklusive der Entwässerung im Laufe der Haldenentwicklung verändert hat, liegt ein komplexes System vor, bei dem wesentliche Einflussfaktoren variieren, die Restinfiltration der Halde kann daher nur überschlägig ermittelt werden. Die Entwicklung der Aufhaltung und des technischen Konzepts der Rückstandshalde IV sind in Anlage 8 zu Band 1.1 beschrieben. Im Rahmen der Betrachtungen zum numerischen Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodell für den Standort Wintershall wurde u.a. anhand der durch Monitoringergebnisse aus den Grundwassermessstellen ermittelbaren, bislang erfolgten Einträge in das Grundwasser eine Abschätzung des in der Vergangenheit erfolgten Abflusses an der Haldenbasis für die Bestandshalde vorgenommen (Band 3.6.3, Teil 2).

Von den Berechnungen zur Bestandshalde ist der Planzustand der Erweiterungsfläche aufgrund des andersartigen technischen Konzepts mit mineralischer Basisabdichtung und flächiger Entwässerungsschicht, der nachfolgend ebenfalls beschrieben wird, zu trennen. Für diesen wird angenommen, dass es zu keiner Restinfiltration kommt. Dennoch wird im Sinne einer worst-case-Betrachtung eine theoretische Restinfiltration auch für diesen Planzustand ausgewiesen.

5.6.1 Berechnungsmodelle

5.6.1.1 Berechnungsmodell zur Bestimmung der Restinfiltration der Bestandshalde

Zur Berechnung der Restinfiltration der Bestandshalde wurden im Rahmen der Betrachtungen zum numerischen Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodell für den Standort Wintershall die prognostizierten Abflüsse an der Haldenbasis (unterhalb der mineralischen Dichtung) für die Bestandshalde herangezogen (Band 3.6.3, Teil 2). Für die Berechnung der Restinfiltration der Bestandshalde wurde die nachfolgend dargestellte Berechnungsgleichung verwendet:

$$RI = \sum(A_{K,j} \times RI_{spez.,K,j}) + \sum(A_{\ddot{U},j} \times RI_{spez.,\ddot{U},j}) + \sum(A_{M,j} \times RI_{spez.,M,j}) + \sum(A_{HVL,j} \times RI_{spez.,K,j})$$

Parameter:

RI: Restinfiltration in m³/a

A: Haldenfläche in m²

RI_{spez.}: spezifische Restinfiltration in m³/(ha*a)

Indizes

K: Haldenkernbereich

Ü: Übergangszone

M: Haldenmantel

HVL: Haldenvorfeld

j: jeweiliger Haldenbereich (j = 1: ungedichtete Haldenfläche; j = 2: vergütete Haldenfläche)

5.6.1.2 Eingangsparameter für die Basisberechnung

Für die Basisberechnung wurde der Haldenbasisabfluss ab 2017 bis zum Ende der Beschüttung der Bestandshalde basierend auf dem Mittelwert der Restinfiltration der Jahre 2014 bis 2016 im Rahmen der Betrachtungen zum numerischen Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodell für den Standort Wintershall prognostiziert. Somit ergibt sich für den Zeitraum von 2017 bis 2020 eine Restinfiltration von 139,5 mm/a (116,3 m³/(ha*Monat)) für den ungedichteten, hydraulisch aktiven Bereich der Bestandshalde und von 87,2 mm/a ((72,7 m³/(ha*Monat)) für die vergüteten Bereiche (siehe Kapitel 4.2.1, Band 3.6.3, Teil 2). Der hydraulisch aktive Bereich entspricht in der oben genannten Formel dem Haldenmantel und der Übergangszone. Der Haldenkern gilt als hydraulisch inaktiv.

Weiterhin ist in Kapitel 6.6.2 Band 3.6.3, Teil 1 zusätzliches horizontal abfließendes Schicht- und Haldensickerwasser entlang der Haldenbasis beschrieben. Die Berücksichtigung der horizontal abfließenden Schicht- und Haldensickerwässer erfolgte analog dem Kapitel 4.3 im Band 3.6.3, Teil 2. Angaben zu in der Sickerwasserfassung Heergraben gefassten Wassermengen sind in Kapitel 4.4 desselben Bandes beschrieben.

5.6.1.3 Eingangsparmeter für die worst-case-Berechnung

Für die worst-case-Berechnung wurde der jährliche Mittelwert der Sickerwassermengen für den Zeitraum von 2013 bis 2018 basierend auf den monatlichen instationären Werten im Rahmen der Betrachtungen zum numerischen Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodell für den Standort Wintershall (siehe Band 3.6.1, Anhang 1) errechnet. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 6: jährlicher Haldenbasisabfluss bezogen auf die Gesamtfläche und den hydraulisch aktiven Bereich der Halde in mm/a

Jahr [a]	Haldenbasisabfluss bezogen auf die Gesamtfläche [mm/a]
2013	258,9
2014	129,9
2015	78,4
2016	124,2
2017	351,3

Ab dem Jahr 2018 wurde der Basisabfluss im Rahmen der Betrachtungen zum numerischen Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodell für den Standort Wintershall mit einem Haldenbasisabfluss von 147 mm/a bezogen auf die Gesamtfläche der Rückstandshalde prognostiziert (Band 3.6.3, Teil 2, Anhang 1).

5.6.1.4 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. Der hydraulisch aktive Bereich entspricht in der folgenden Formel ebenfalls dem Haldenmantel und der Übergangszone. Der Haldenkern gilt als hydraulisch inaktiv.

$$RI = \sum(A_K \times i_{aq,K} \times k_K) + \sum(A_{\bar{U}} \times i_{aq,\bar{U}} \times k_{\bar{U}}) + \sum(A_{M,j} \times i_{aq,M} \times k_M) + \sum(A_{HVL} \times i_{aq,HVL} \times k_{HVL})$$

Parameter

RI: Restinfiltration in m³/a

A: Haldenfläche in m²

k: k_f –Wert in m/s

i_{aq}: äquivalenter hydraulischer Gradient nach Darcy

Indizes

K: Haldenkernbereich
Ü: Übergangszone
M: Haldenmantel
HVL: Haldenvorfeld

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

5.6.2.1 Beschreibung der relevanten Einzelflächen

Für die Festlegung der relevanten Parameter ist zunächst die Ermittlung der einzelnen Flächenbereiche erforderlich. Hierbei wird unterschieden zwischen

- dem Bereich der ungedichteten Haldenflächen,
- dem Bereich der vergüteten Haldenflächen und
- dem Bereich der geplanten Erweiterung (Südostvariante).

Diese Flächen werden wiederum in

- eine Haldenmantelzone (ca. 45 m Abstand fußparallel),
- eine Übergangszone (ca. 65 m Abstand parallel zur Haldenmantelzone),
- eine Haldenkernzone und
- das Haldenvorfeld (ca. 3 m vom Haldenfuß einschließlich des Haldenrandgrabens)

unterteilt.

Mit Hilfe der mindestens jährlich erfolgenden Vermessungen (i.d.R. im Mai/ Juni des jeweiligen Jahres) können diese Bereiche dann für jedes Jahr definiert werden.

Für den Zeitraum von 2017 bis 2020 wurden die bei der K+S KALI GmbH vorhandenen Planungen zur Flächeninanspruchnahme herangezogen. Hierbei kommt für die Belegung der mit der Rahmenbetriebsplanzulassung aus 1995 genehmigten Flächen bis zur Inanspruchnahme der Haldenerweiterungsfläche in 2020 das Flankenschüttverfahren zum Einsatz. Die Schüttung erfolgt kontinuierlich im Vor-Kopf-Betrieb vom Haldentop der bestehenden Rückstandshalde über die Böschung. Die vorhandene Haldeninfrastruktur wird dem Haldenfortschritt entsprechend angepasst.

Für den Zeitraum von 2020 bis einschließlich 2031 wurden die geplanten Flächeninanspruchnahmen nach der derzeitigen Planung für die Haldenerweiterungsfläche herangezogen (siehe Band 1.1.1). Im Zuge der Genehmigungsplanung wird hierbei das sog. kombinierte Schüttverfahren (KSV) mit Flankenschüttverfahren auf zwei Ebenen eingesetzt. Das geplante Schüttkonzept ist in Band 1.1.1 detailliert beschrieben.

Zur Verringerung der mechanischen Beanspruchung des Haldenuntergrundes im Haldenrandbereich soll die Beschüttung der beantragten Halde in zwei Schüttebenen erfolgen, die in mehreren Schüttphasen aufgefahren werden (siehe Band 1.1.1, Kap. 2).

Die Schüttphase 1 umfasst die ersten vier Jahre der Beschüttung der unteren Schüttscheibe bis auf eine Höhe von 420 m NN. In der 2. Schüttphase erfolgt in den Jahren 5 und teilweise im Jahr 6 die Beschüttung auf einer Höhe von 400 m NN (nach Setzung). Zwischen der 420 m NN Ebene und der 400 m NN Ebene wird eine Rampe zur Überbrückung des 20 m Versprungs aufgefahren.

In der 3. Schüttphase erfolgt die Schüttung der oberen Schüttscheibe bis zur endgültigen Haldenhöhe von 520 m NN. Daran anschließend wird in der 4. Schüttphase der 20 m Versprung aufgefüllt und eine „intelligente Berme“ errichtet (siehe Kap. 2 des Bandes 1.1.1).

Die Realisierung der 5. und 6. Schüttphase, bei der die Berme vollständig geschlossen wird, ist abhängig von den Ergebnissen des Verformungsmonitorings und der Betrachtung hypothetischer Schüttausläufer. Durch die vollständige Beschüttung der Berme kann der Aufhaldungszeitraum um ca. 2 Jahre verlängert werden.

Die Höhenangaben beziehen sich auf den Zeitraum nach Abklingen der Setzungserscheinungen des Rückstandssalzes infolge Kompaktion.

Die schematische Darstellung der Böschungsgestaltung ist der Anlage 3 des Bandes 1.1 zu entnehmen.

Die jährlichen Flächengrößen gemäß der vorläufigen Planung sind in der Anlage 8 bzw. 15.1 aufgeführt. Eine Konkretisierung der Beschüttungsplanung inklusive der genauen Lage und Flächengröße der Jahresscheiben erfolgt im Rahmen der Ausführungsplanung in nachfolgenden Sonderbetriebsplänen. Eine geringfügige Änderung der flächenabhängigen Restinfiltration während der Flächeninanspruchnahme ist somit möglich.

5.6.2.2 Festlegung der Breite des Haldenmantels und der Übergangszone

Die Breite des Haldenmantels und der Übergangszone sowie die Festlegung des hydraulischen Gradienten der Bestandshalde wurden anhand der Ergebnisse aus den vorgenommenen Haldenbohrungen an den Standorten Hattorf und Wintershall und labortechnischen Untersuchungen zur Durchlässigkeit des Haldenuntergrundes und der verwendeten mineralischen Dichtungsmaterialien ermittelt (siehe Band 3.15). Hierbei wurden insgesamt 3 Horizontalbohrungen in verschiedenen Bereich der bestehenden Rückstandshalde Hattorf sowie eine weitere Bohrung am Standort Wintershall durchgeführt. Es wurden in allen Fällen Proben entnommen und untersucht. Aufgrund der vergleichbaren Rückstandszusammensetzung sind die Ergebnisse aus den Haldenbohrungen Hattorf auf den Standort Wintershall übertragbar. In der nachfolgenden Abbildung ist die Lage der Bohrungen in die ESTA-Halde Hattorf dargestellt.

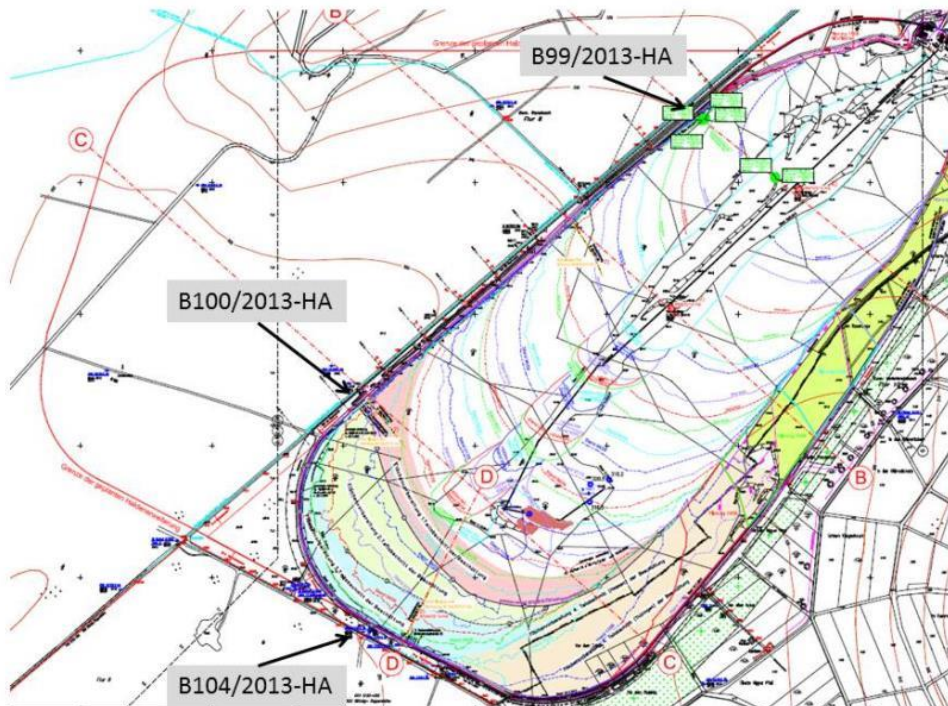


Abbildung 6: Lage der horizontalen Haldenbohrungen an der ESTA-Halde Hattorf

Die Auswertung der Bohrungen inkl. Kamerabefahrung und Erfassung der Abflussspenden ergab die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Abgrenzungen für den Haldenmantel und den Übergangsbereich.

Tabelle 7: Definition des Haldenmantels und des Übergangsbereichs anhand von Bohrungen an der Halde Hattorf

Bohrung Nr.	Haldenmantel			Übergangszone			Haldenkern		
	von [m]	bis [m]	Breite [m]	von [m]	bis [m]	Breite [m]	von [m]	bis (erbohrt) [m]	Breite (erbohrt) [m]
B99/2013-HA	0	42	42	>42	68	26	> 68	101	33
B100/2013-HA	0	52	52	>52	97	45	> 87	100	13
B104/2013-HA	0	42	42	>42	102	60	>100	117	17

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurde für die Rückstandshalde Hattorf im Mittel jeweils eine Breite von 45 m für den Haldenmantel und für die Übergangszone festgelegt. Da sich jedoch die Breite der Übergangszone zeitabhängig ändert und demzufolge der hydraulisch aktive Bereich zeitweise größer ist als der aus den Haldenbohrungen gemittelte Bereich, wird in den nachfolgenden Modellberechnungen für die Übergangszone

konservativ eine Breite von 65 m angenommen, um die altersabhängigen Veränderungen im hydraulisch relevanten Bereich abzubilden. Hierbei geht der Modellansatz davon aus, dass sich der Haldenmantel und die Übergangszone in allen Randbereichen des jeweiligen Rückstandskörpers ausbilden. Die Einbeziehung der zeitlichen Entwicklung in das Haldenwassermodell ist aufgrund der Komplexität des Sachverhalts nicht möglich. Wie aus der oberen Tabelle ersichtlich ist, verändert sich mit Alterung der Rückstandshalde die Übergangszone und wird in ihrer Breite geringer. So ergibt sich in neu geschütteten Bereichen eine breitere Übergangszone (Bohrung B104/2013-HA) und in älteren Haldenbereichen eine Übergangszone, die geringer ist (Bohrung B99/2013-HA). Die Auswertung der Haldenbohrungen ergab weiterhin, dass die Bildung des Haldenkerns wesentlich durch Kompaktion des Haldenkörpers, Lösungsprozesse und Mineralumwandlungen beeinflusst wird und somit altersabhängig ist (der Kern „wächst“ auf Kosten der Übergangszone nach außen hin).

Aus den Bohrergebnissen ist weiterhin zu erkennen, dass in Haldenbereichen, in denen längere Zeit nicht mehr beschüttet wurde, die Breite der Übergangszone aufgrund von Verfestigungen des Rückstands abnimmt. Dieser Prozess wird sich in der Nachbetriebsphase fortsetzen, so dass die Restinfiltration in der definierten Übergangszone von 65 m geringer wird.

Im Band 3.15 der Antragsunterlage sind weitergehende, umfangreiche Aussagen zur Kompaktion des Haldenkörpers enthalten. Hieraus ergibt sich, dass in den Plateaubereichen durch die Kompaktion der Rückstandshalde eine weniger breite Übergangszone als in den Flankenbereichen ausgeprägt ist. Weiterhin sind die Strömungsprozesse im Haldenkörper beschrieben. Dargestellt ist in diesem Zusammenhang auch, dass die horizontalen Wegsamkeiten innerhalb des Rückstandes die vertikalen um ein Vielfaches übersteigen, was zu einem lateralen Abfließen eindringender Wässer führt. Innerhalb der Bereiche mit geringerer Dichte bilden sich bevorzugte Wegsamkeiten im löslichen Rückstand, auf denen die Fließprozesse stattfinden (siehe Band 3.15).

Zur Erkundung der Breiten für den Haldenmantel, die Übergangszone und den Haldenkern wurde für den Standort Wintershall ebenfalls eine Horizontalbohrung durchgeführt. In der nachfolgenden Abbildung sowie in der Anlage 1.1 des Bandes 3.15 ist die Lage der Haldenbohrung dargestellt.

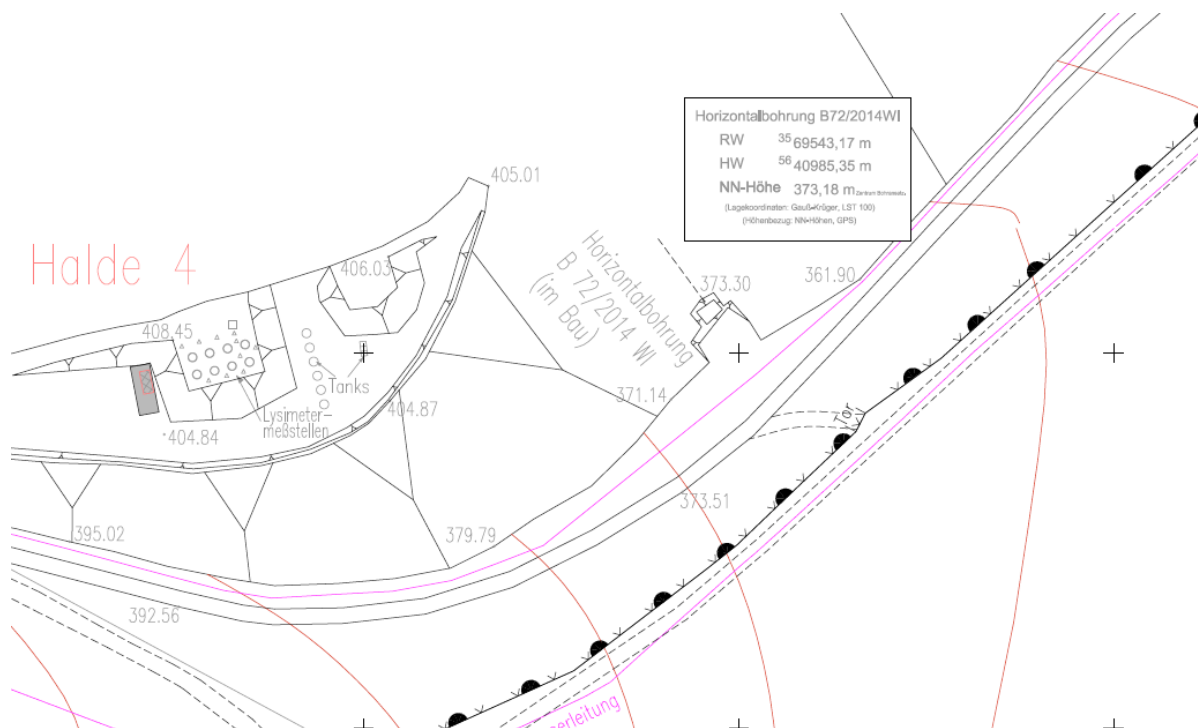


Abbildung 7: Lage der horizontalen Haldenbohrung am Standort Wintershall (Ausschnitt aus der Anlage 1 des Bandes 3.15, ohne Maßstab)

Generell ist festzuhalten, dass im Vergleich zu den Hattorfer Bohrungen in der Bohrung Wintershall insgesamt eine geringere Wasserführung feststellbar war. Die Auswertung der Bohrung inkl. Kamerabefahrung ergab die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Abgrenzungen für den Haldenmantel, den Übergangsbereich und den Haldenkern bis zu einer Bohrtiefe von ca. 99,7 m.

Tabelle 8: Definition des Haldenmantels, Übergangsbereichs und Haldenkerns (Beschüttungszeitraum 1997-2015)

Bohrung Nr.	Haldenmantel			Übergangszone			Haldenkern		
	von [m]	bis [m]	Breite [m]	von [m]	bis [m]	Breite [m]	von [m]	bis [m]	Breite [m]
B72/2014-WI (1. Abschnitt)	0	42	42	>42	92	50	>92	99,7	7,7

Die Ergebnisse der Haldenbohrung am Standort Wintershall bestätigen im 1. Abschnitt die anhand der Haldenbohrungen an der Halde Hattorf vorgenommene Haldenzonierung. Die Bohrung B72/2014-WI weist wie die beiden Bohrungen B99/2013-HA und B104/2013-HA einen Haldenmantel mit einer Breite von 42 m auf. Die Übergangszone liegt mit einer Breite von ca. 50 m in der Mitte zwischen den beiden Breiten der Bohrungen B100/2013-HA und B104/2013-HA. Aufgrund der mit den Hattorfer Bohrungen vergleichbaren Breiten für den Haldenmantel und die Übergangszone wurden die für die Berechnung zugrunde gelegten

Breiten des Haldenmantels von 45 m und der Übergangszone von 65 m auch für die Berechnung der Restinfiltration am Standort Wintershall beibehalten.

Anhand der Bohrung B72/2014-WI am Standort Wintershall wurde auch der Einfluss des Schüttregimes auf die Haldenzonierung untersucht und beschrieben. Es zeigte sich, dass einzelne Wegsamkeiten bei fehlender Überdeckung zur Oberfläche hin nicht durch Kompaktion verschlossen werden und daher weiterhin wasserwegsam bleiben können. Dies führte am Standort Wintershall zur Erhaltung einer ehemaligen Mantel- und Übergangszone, welche, wenn auch nur in geringer Breite vorhanden, in der Bohrung erkennbar blieben. Der betreffende Bereich liegt unterhalb der heutigen Haldenauffahrt, die ehemalige Oberfläche wurde zur Höhe hin nur geringmächtig überdeckt und steht daher offenbar mit der Haldenmantelzone im Top-Bereich in Verbindung (vgl. Band 3.15). Bereits wenige Meter hinter der Schüttfläche herrschten jedoch wiederum die Verhältnisse des Haldenkerns vor. Weiterhin wurde gezeigt, dass diese Beobachtung ein Sonderfall ist, andere ehemalige Oberflächen, die teils länger freilagen, aber auch zum Top hin nachträglich überdeckt wurden, zeigten keine Wegsamkeiten. Die grundsätzliche Modellvorstellung hat gemäß Band 3.15 auch angesichts der vorstehenden Beobachtung Bestand. Dennoch ist aufgrund der vorstehenden Erkenntnisse bei der Herrichtung der Erweiterungsfläche der Ausbau des bestehenden Haldenrandgrabens im Bereich zwischen Althalde und Haldenerweiterung als internes Entwässerungselement vorgesehen, um eine Ableitung des Haldenwassers in jedem Fall zu gewährleisten. Weiterhin wird im Schüttkonzept eine Höhe der unteren Schüttebene von mindestens 100 m vorgesehen, um die Herausbildung eines Haldenkerns mit geringer Durchlässigkeit zu begünstigen. Ein kontinuierlicher Schüttvortrieb in eine Haupt-Vortriebsrichtung begünstigt ebenfalls die Herausbildung des Haldenkerns, wie in Band 3.15 dargestellt.

Es ist davon auszugehen, dass sich auch unter der geplanten unteren Berme, d.h. in Haldenbereichen mit rund 100 m Höhe, ein Haldenkern ausbildet. Das Vorhandensein eines dichten Haldenkerns auch für flache Haldenbereiche (im Bereich der geplanten Berme) wurde u.a. an der rd. 90 m hohen Halde Niedersachsen in Wathlingen durch Bohrungen bestätigt (vgl. hierzu Rahmenbetriebsplan Westerweiterung Halde Neuhoft-Ellers (2000), Anlage A-3.3: Zusammenfassende Informationen über Rückstandshalden-Dichtigkeit des Haldenkerns, sowie Band 3.15).

Aus den weitergehenden, umfangreichen Aussagen zur Kompaktion des Haldenkörpers, die anhand der Untersuchungsergebnisse der Bohrungen in Hattorf und Wintershall gewonnen wurden, und untermauert durch Betrachtungen des IFG für den Standort Hattorf, ergibt sich, dass in den Plateaubereichen die Mächtigkeit der Übergangszone geringer ist als in den Flankenbereichen.

Für die Ausbildung der Haldenzonierung und die Beschreibung der Strömungsprozesse ist weiterhin relevant, dass die horizontalen Wegsamkeiten innerhalb des Rückstandes die vertikalen um ein Vielfaches übersteigen, was zu einem lateralen Abfließen eindringender Wässer auf bevorzugten Fließbahnen und deren Abfuhr in den Haldenmantelbereichen in Bereichen mit geringerer Dichten unterhalb der Flanken führt.

Aus den Ergebnissen der Haldenbohrungen lässt sich oberhalb der mineralischen Dichtung kein Haldenwassereinstau, vergleichbar einem Einstau in einem Lockergesteinskörper über einem Nichtleiter, ableiten. Es wurde in Band 3.15 gezeigt, dass Fließbewegungen auf

lokalen Wegsamkeiten stattfinden, und dass weder eine durchgehende Sickerlinie noch ein höherer Aufstau auf der Basis vorhanden ist. Dies entspricht auch den Erfahrungen an vergleichbaren Standorten der Kaliindustrie. Eine vollständige Sättigung des Porenraums, und damit ein geschlossener Kapillarsaum, wurden in keiner der Horizontalbohrungen an den Standorten Hattorf und Wintershall festgestellt (siehe Band 3.15, Kapitel 5.1.2 und 5.1.3). Die Höhen der Ansatzpunkte der Horizontalbohrungen über GOK sind dem Band 3.15 sowie dem Band 3.17 des Rahmenbetriebsplans 04/09-HA zu entnehmen. Sie lagen bei rund 3 - 5 m über GOK.

Es ist davon auszugehen, dass Wegsamkeiten innerhalb des Haldenkörpers vorhanden sind, die zu einer annähernd rückstaufreien Entwässerung oberhalb der mineralischen Dichtung führen. Mit Errichtung der geplanten flächenhaften Entwässerungsschicht wird dieses Entwässerungspotential in der Haldenzone mit höchstem Haldenwasseraufkommen gezielt verbessert.

Die Permeabilitäten innerhalb der Halde nehmen vom Haldenrand zum Haldeninneren generell ab. Im Haldenmantelbereich wurden Durchlässigkeiten im Bereich von $k_f \approx 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s festgestellt. Die Entwässerung im Haldenmantel verläuft effektiv, was gegen einen Einstau im Haldenkörper spricht. Dies deckt sich mit Beobachtungen vor Ort.

Zusätzlich ist zu beachten, dass im Porenraum des Haldenkörpers ein Zweiphasensystem vorliegt. Wie zuvor geschildert, wurde durch die Bohrungen im Haldenkörper kein gesättigter Bereich nachgewiesen, d.h. die Poren sind teils lösungs- und teils luftgefüllt. Die Sättigung des Porenraumes hat Einfluss auf dessen Permeabilität, wie in Anlage 8.5 des Bandes 3.15 dargestellt. Der Abbildung 4-20 in Anlage 8.5 des Bandes 3.15 ist zu entnehmen, dass unterhalb einer Sättigung von rund 50 % die relative Lösungspermeabilität gering ist, d. h. es finden keine oder nur untergeordnet Strömungsprozesse statt, auch wenn in Laboruntersuchungen am Probenmaterial ein geringer Anteil an freier Lösung im Porenraum nachgewiesen wurde. Die errechneten Sättigungen der einzelnen Tiefenbereiche sind in Anlage 8.6 des Bandes 3.15 einzusehen. Mit Ausnahme der Mantelbereiche liegen die errechneten Sättigungsbeiwerte aus Probenmaterial der Bohrungen überwiegend unter oder bei 50%. Weiterhin wurde anhand von Proben über den gesamten Kernmarsch der Haldenbohrung Wintershall gezeigt, dass das Speichervermögen des Rückstands nicht ausgeschöpft ist. Demzufolge nehmen weite Teile des Haldenkörpers nicht an Strömungsprozessen teil, was ein Indiz für die Ausbildung bevorzugter Wegsamkeiten ist.

Es erfolgte auf Grundlage der vorstehenden Untersuchungsergebnisse an den Haldenkörperbohrungen in Hattorf und Wintershall (Band 3.15) zunächst eine qualitative, teils halb quantitative Einschätzung der Strömungsprozesse und daraus schlussfolgernd die mögliche hydraulische Beanspruchung in den einzelnen strömungsspezifischen Haldenzonen. In Wintershall konnten durch geohydraulische Untersuchungen die Zuflussmengen aus den einzelnen Bereichen quantifiziert werden.

5.6.2.3 Beschreibung der Fließwege des Haldenwassers anhand des Haldenmodells

Band 3.15 enthält umfangreiche Ausführungen zu den Strömungsprozessen und Fließwegen in der Halde, die hier nachfolgend zusammenfassend skizziert werden.

Der Abfluss des Haldenwassers erfolgt bevorzugt im Bereich der Haldenmantelzone und, bis zum Abschluss der Kompaktionsvorgänge innerhalb der Halde, untergeordnet auch in der Übergangszone.

Bei der Haldenmantelzone handelt es sich um einen nachhaltig durchströmten Bereich mit geringen und schwankenden Nass- und Trockenrohdichten ($\rho_d = 1,2 - 1,8 \text{ g/cm}^3$), hohen Durchlässigkeiten und hohen errechneten Porositäten, hohen Anteilen Freien Wassers am Gesamtwassergehalt und geringen Kristallwasseranteilen und einer durch Lösungsprozesse verursachten randlichen Anreicherung von Natriumchlorid sowie schwer- und unlöslichen Bestandteilen. Wie in Band 3.15 beschrieben, finden die Strömungsprozesse innerhalb der Mantelzone auf bevorzugten Wegsamkeiten statt, die durch Lösung im Rückstand im Lauf der Zeit entstehen.

In der Übergangszone treten vereinzelt Lösungszutritte mit geringen Abflussmengen auf. Diese Zutritte bestehen nicht nachhaltig und sind häufig gebunden an Inhomogenitäten wie z.B. die einzelnen Schüttflächen. In diesem Abschnitt wechseln Zutrittsbereiche und trockene Bereiche engräumig. Es liegen mittlere Rohdichten mit zum Haldenkern zunehmender Tendenz vor. Aus dem Wechsel trockener und feuchter Bereiche resultieren weiterhin schwankende Poren- und Kristallwasseranteile. Grundsätzlich liegen im Haldenkörper ungesättigte Verhältnisse vor.

Im Bereich des Haldenkerns kommt es hingegen aufgrund der geringen Porositäten und Durchlässigkeiten zu keinen relevanten Fließprozessen.

Die Ausbildung eines hydraulisch inaktiven Haldenkerns ist zeitabhängig und erfolgt im Sinne einer sukzessiven Verdichtung. Auch die Ausbildung der bevorzugten Wegsamkeiten innerhalb des Haldenkörpers und das Austreten von Sickerwässern aus dem frisch geschütteten Rückstand sind zeitabhängig. Wie ebenfalls in Band 3.15 dargestellt, kommt es in dem frischen Rückstand zunächst zu Rekristallisationsprozessen der anhaftenden, bei Beschüttung warmen Prozesslösung, und zur Bildung von Aggregaten und Krusten sowie zu Hydratisierungsprozessen. Die Bildung bevorzugter Wegsamkeiten in Abhängigkeit vom Niederschlag bedarf ebenso wie die Kompaktion einiger Zeit, da der Niederschlag sich unmittelbar nach Kontakt mit dem Rückstand an Salzfracht aufsättigt und danach ohne weitere Lösungswirkung abfließt. Die Lösungs-Sättigung im Porenraum des frischen Schüttguts ist zunächst gering, auch angesichts des großen Porenvolumens in diesem Bereich: bei einer Dichte des frisch geschütteten Materials von $1,4 \text{ g/cm}^3$ läge sie bei rund 15% unter Ansatz der in den Haldenbohrungen ermittelten luft- und wassererfüllten Porenanteile, einer Porosität von rund 30 – 35%, und eines freien Wassergehalts von rund 4% (vgl. Band 3.15). Relevante Fließprozesse im Rückstandsmaterial treten jedoch gemäß Band 3.15 erst ab einer Sättigung von rund 50% auf. Diese kann sich erst nach einiger Zeit durch eindringendes Niederschlagswasser einstellen. So kommt es – unter Berücksichtigung der langen Fließwege an den hohen Haldenböschungen - im frischen Rückstand nicht bzw. nur untergeordnet zu Sickerwasseraustritten. Mit zunehmender Ablagerungszeit sind die Fließwege stärker ausgeprägt und die Sickerzeiten verkürzen sich. Gleichzeitig werden durch die Kompaktion evtl. entstandene Wegsamkeiten im Haldeninneren verschlossen, die Entwässerung konzentriert sich zunehmend auf die Randbereiche (siehe Band 3.15).

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich die Hauptabflusszone im Bereich des Haldenmantels und eine geringere Abflussmenge im Bereich der Übergangszone. Hierbei kommt es im Mantelbereich zur Ausbildung bevorzugter Wegsamkeiten. Aufgrund der nachhaltigen Durchströmung findet eine Verarmung des Haldenmantels an leichtlöslichen Nebenbestandteilen statt. Dies wirkt sich mit zunehmender Haldenalteration auf die Haldenwasserzusammensetzung aus (im Sinne einer Abreicherung an Magnesium und Kalium).

Weiterhin ist festzustellen, dass Schüttflächen in der Übergangszone zwischen Mantel und Kern vor Erreichen hoher Rohdichten und dem Abschluss der Setzungserscheinungen als kleinräumige Zonen erhöhter Wegsamkeiten dienen. Mit zunehmender Kompaktion werden diese jedoch verschlossen bzw. durch weitere Überdeckung dem Atmosphäreneinfluss entzogen. Relevant ist diese Beobachtung im Hinblick auf die Beschreibung des Überschneidungsbereichs von Bestandshalde und Erweiterung und die dort ablaufenden Fließprozesse. Aufgrund der Anreicherung unlöslicher Stoffe fungieren die Schüttflächen, so lange dort ein Wasserzutritt erfolgt, als Leitbahnen. Das Abfließen von Haldenwässern aus der Erweiterungsfläche auf dieser ehemaligen Haldenoberfläche wurde im technischen Konzept berücksichtigt, und ergänzend zu der flächigen Entwässerungsschicht ein Entwässerungselement vor dem Haldenfuß der Althalde vorgesehen, welches diese Wässer aus der Erweiterungsfläche fassen und abführen kann. Die Dimensionierung des Entwässerungselements erfolgt über die Festlegung eines Einzugsgebietes, das sich an der Untergrundmorphologie orientiert und das aufzufüllende Zwickelvolumen zwischen Bestandshalde und Erweiterung umfasst (siehe Band 1.1.1, Anlage 3). Aufgrund der zu erwartenden sukzessiven Verdichtung ist nicht abschätzbar, welcher Anteil des Haldenwassers tatsächlich dauerhaft in diesem Anschlussbereich zum Abfluss kommt.

Haldenwasser, welches hinter der ehemaligen Oberfläche innerhalb der Bestandshalde in einem Bereich mit Innengefälle des Haldenuntergrunds anfällt, wird (wie bereits im Ist-Zustand), nicht auf kurzem Wege in den Randgraben bzw. das spätere Entwässerungselement gelangen, sondern, der Morphologie folgend, der Tiefenlinie des Heergrabens zuströmen (siehe dazu auch Anlage 8, Band 1.1). Es ist zu erwarten, dass sich die Haldenerweiterung hier positiv aufgrund der Verdichtung des Mantelbereichs der Bestandshalde auswirkt und die im Bereich des Heergrabens mittels Tiefendrainagen und Sicherwasserfassung derzeit gefassten Sickerwassermengen rückläufig sein werden.

Im Band 3.15: „Haldenbohrungen am Standort Wintershall-Ergebnisbericht“ sind im Kapitel 5.1.3 weiterhin die Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Haldenbohrungen ermittelt. Hierbei ergibt sich, wie zuvor auch für den Standort Hattorf festgestellt, eine Abnahme der Durchlässigkeiten zur Tiefe hin. Die Werte lagen insgesamt zwischen 10^{-4} und 10^{-11} m/s und damit in einer vergleichbaren Größenordnung wie am Standort Hattorf.

Kombiniert mit Annahmen bzw. Untersuchungsergebnissen zu Dicken und Durchlässigkeitsbeiwerten der maßgebenden Boden- bzw. Dichtungsschichten im Haldenuntergrund wurde anhand der Erkenntnisse über die Strömungsprozesse im Haldenkörper für die Haldenwasserbilanzierung der Haldenerweiterung ein flächendifferenziertes und haldenentwicklungsbasierendes, konservatives Berechnungsmodell für die Bestimmung der Restinfiltration entwickelt.

5.6.2.4 Festlegung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich des Haldenkerns, der Übergangszone, des Haldenmantels und des Haldenvorfeldes der Erweiterung

Für die geplanten Erweiterungsflächen der K+S KALI GmbH wurde im Rahmen der derzeitigen Planung zur Genehmigung eine mineralische Dichtungsschicht inkl. einer Entwässerungsschicht entwickelt. Die Darstellung des Systems Basisabdichtung ist im Kapitel 3.2 des Bandes 1.1.1 zu finden.

In der nachfolgenden Abbildung ist der mögliche Schichtenaufbau exemplarisch dargestellt.



Abbildung 8: Schichtenaufbau der vorgesehenen mineralischen Dichtung für die Erweiterungsfläche am Standort Wintershall

Die Schichtmächtigkeit ist mit mindestens 75 cm in der Gesamtmächtigkeit angegeben, wobei die obere Dichtungsschicht mindestens 50 cm und die untere mindestens 25 cm aufweist. Details zum geplanten Basisabdichtungssystem sind in Kapitel 3 des Bandes 1.1.1 zu entnehmen.

Zur Ermittlung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes der mineralischen Dichtung wurden Laborversuche durchgeführt (siehe Band 3.18.1). Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit erfolgt gem. DIN 18130-1 (DIN 18130-1:1998-05 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts) in Triaxialzellen und wurde in Anlehnung an die Deponieverordnung mit Haldenwasser und einem hydraulischen Gefälle von $i = 30$ durchgeführt. Die Laborversuche haben belegt, dass Durchlässigkeitsbeiwerte $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s langzeitsicher eingehalten werden. Im Zuge der Variation der Versuchrandbedingungen ($i < 30$; in Anlehnung an DIN 18130-1 zur Anpassung der Versuchrandbedingungen an die realen Verhältnisse) zeigte sich, dass bei stufenweiser iterativer Verminderung bei $i < 30$ die Durchflüsse erwartungsgemäß rückläufig waren und bei $i \leq 5$ keine messbaren Durchflüsse erzielt wurden.

Zur weitergehenden Plausibilisierung dieser Ergebnisse wurde bei einer laufenden Versuchsreihe (drei Einzelversuche, jeweils bestehend aus 8 cm oberer Dichtungsschicht mit einem Dreischichttonmineral als Feinstbestandteil und 4 cm unterer Dichtungsschicht mit einem Dreischichttonmineral-Polymer(alternativ)-Gemisch als Feinstbestandteil, Versuchsstart: April 2014) der hydraulische Gradient von $i = 30$ auf $i = 5$ reduziert. Im Untersuchungsansatz bei einem Wert von $i = 30$ wurden für die drei Proben der v. g. Versuchsreihe Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte von $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s anhand der gemessenen Durchflüsse ermittelt. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse nach der Umstellung des hydraulischen Gefälles auf $i = 5$ zeigten entsprechend den Voruntersuchungen keine messbaren Durchflüsse.

Somit kann für den Versuchszeitraum unter den Versuchrandbedingungen statistisch gesichert ein Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k_f = 0$ m/s angegeben werden. Die Versuche werden zur Validierung der vorstehenden Erkenntnisse fortgesetzt.

Im Bereich der geplanten Erweiterungsfläche ergibt sich somit eine geringere Restinfiltration als im Bereich der ungedichteten und vergüteten Haldenflächen. Es werden im Rahmen der weiteren Genehmigungsplanung geeignete Haldenwasserfassungssysteme, bestehend aus einer flächenhaften Entwässerungsschicht inkl. linienförmiger Entwässerungselemente und haldenexternen Fassungssystemen sowie eine mehrlagige mineralische Dichtung eingesetzt. Diese Systeme werden 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 wiederherzustellen. 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.

5.6.2.5 Festlegung des hydraulischen Gradienten für die Erweiterung

5.6.2.5.1 Ermittlung des hydraulischen Gradienten im Bereich der Erweiterung (mit Stagnationsgradienten)

Für die Berechnung der Restinfiltration im Bereich der Erweiterungsfläche ist die Abschätzung des äquivalenten hydraulischen Gradienten unter Beachtung des konservativen Berechnungsansatzes flächenspezifisch (Haldenmantel, Übergangszone, Haldenkern) notwendig.

Die Abschätzung erfolgt in Anlehnung an die GDA E2-20 für ein hydrologisches Durchschnittsjahr mit $N = 625 \text{ mm}$ sowie unter Berücksichtigung der Eigenschaften der mineralischen Dichtung. Die Verdunstung wurde mit 10 % und der Aufsalzungsfaktor mit 1,11 angesetzt. Der Stagnationsgradient wird mit $i_0 = 5$ angenommen. Die Abschätzung der potentiellen Einstauhöhe in der Dränageschicht oberhalb der Dichtungsschicht erfolgt hierbei nach dem Berechnungsansatz von LESAFFRE (GDA E 2-20). Der Ansatz ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

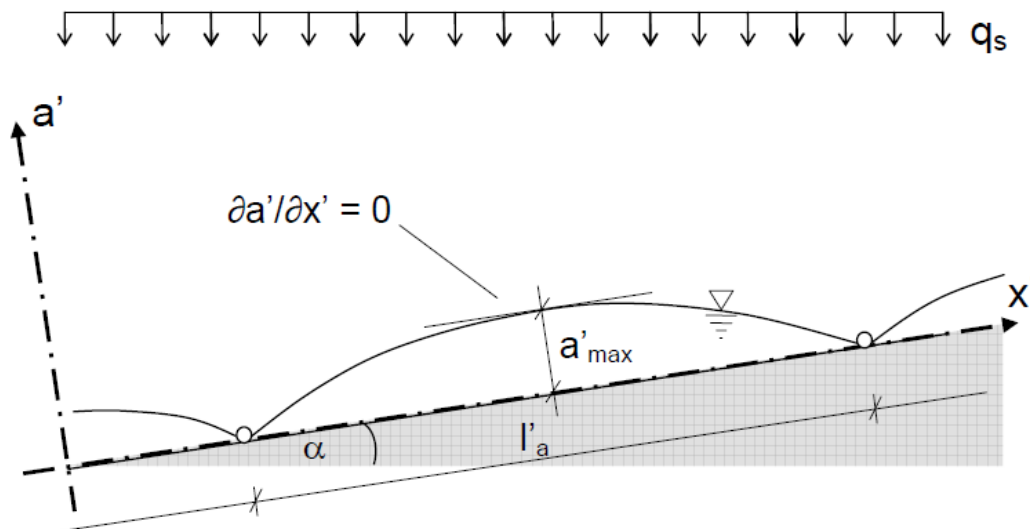


Abbildung 9: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle- Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE (GDA E2-20)

Die für die weitere Berechnung verwendete Formel nach GDA-Empfehlung E2-20 lautet wie folgt:

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

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 Systemlänge l'_a beträgt hierbei 620 m (Länge der Anschüttung an die Bestandshalde). Die Dränspende q_s ergibt sich durch Multiplikation von Niederschlag, Verdunstung und Aufsalzungsfaktor nach folgender Formel:

$$q_s = \frac{(N - V) * F_{Aufsalz}}{1000 * 365 * 24 * 3600} = 1,98 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert der Entwässerungs-/Dränageschicht in x-Richtung k_x beträgt konservativ angenommen $1 * 10^{-2}$ m/s (nachgewiesen wurde in Laborversuchen an der TU-Braunschweig $1 * 10^{-1}$ m/s; siehe Band 1.1.1, Anlage 6). Das Sohlgefälle der mineralischen Dichtung liegt bei 12 % und entspricht somit einem Winkel α von 6,84°. Der Durchlässigkeitsbeiwert der mineralischen Dichtung liegt bei $k_f \leq 5 * 10^{-10}$ m/s (für $i = 30$) und die Dicke d beträgt 0,75 m. Aus diesen Eingangsdaten errechnet sich die 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 der Berechnung ergibt sich eine potentielle Einstauhöhe a'_{max} von 0,01 m. Aus diesem Einstau errechnet sich ein äquivalenter hydraulischer Gradient $i_{\text{äq}}$ nach folgender Formel:

$$i_{\text{äq}} = i_D - i_0 \text{ und } i_D = \frac{a'_{max}}{d} \text{ sowie } i_0 = 5$$

$i_{\text{äq}}$: äquivalenter hydraulischer Gradient nach Darcy

a'_{max} : potentielle Einstauhöhe in m

i_D : hydraulisches Gefälle nach Darcy

i_0 : Stagnationsgradient

d : Höhe der mineralischen Dichtung in m

Hieraus ergibt sich für das hydraulische Gefälle nach Darcy i_D ein Wert von 0,013. Somit würde sich nach Abzug des Stagnationsgradienten i_0 ein negativer äquivalenter hydraulischer Gradient $i_{\text{äq}}$ für die 75 cm dicke mineralische Dichtung ergeben, wodurch

somit keine Restinfiltration vorhanden ist. Erst ab einem rechnerischen Einstau von mehr als 3 m ist ein äquivalenter hydraulischer Gradient berechenbar.

Das dargestellte Sohlgefälle von 12 ‰ und der Dränabstand von ca. 620 m entspricht dem Worst-Case am Standort. Zur Erläuterung sind in der nachfolgenden Abbildung die Gefälleverhältnisse der Erweiterungsfläche dargestellt.

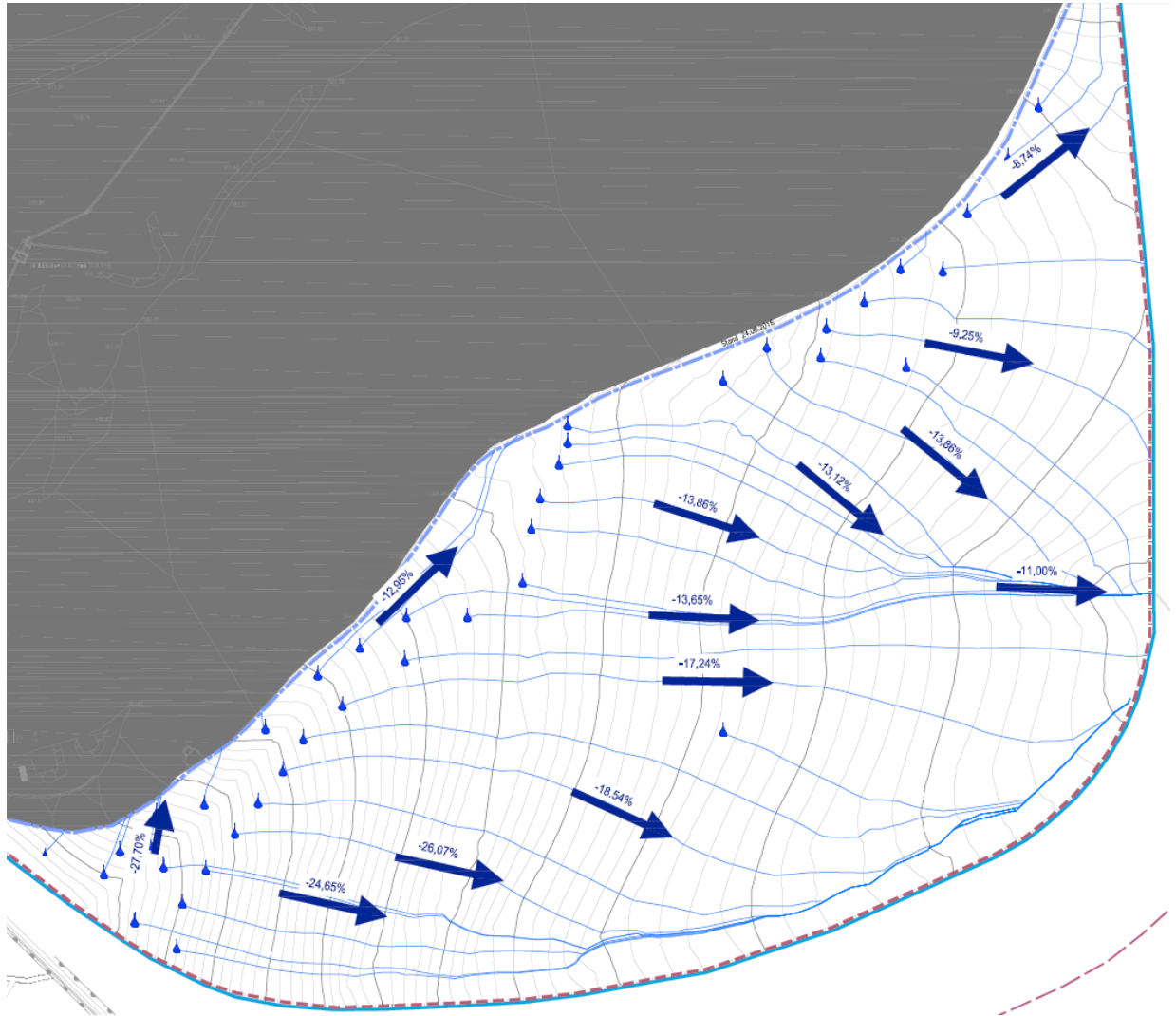


Abbildung 10: Fließanalyse der Erweiterungsfläche mit Darstellung der vorherrschenden Sohlgefälle

Wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, liegt das geringste Sohlgefälle im Osten der Fläche bei ca. 8 ‰. Da der Dränabstand in diesem Bereich aber gering ist (133 m) und sich damit ein geringerer Aufstau ergibt, wurde für die gesamte Fläche das Sohlgefälle von 12 ‰ mit einem Dränabstand von 620 m angenommen, welches den höchsten Einstau und somit eine Worst-Case-Betrachtung darstellt.

Nach der in Kapitel 5.6.2.5.1 beschriebenen Berechnungsmethode wurde für die dargestellten Sohlgefälle ebenfalls die Einstauhöhe auf der Basis ermittelt, um die getroffenen Annahmen zu prüfen. Wie aus der Beschreibung in Kapitel 5.6.2.5.1 beschrieben, ergibt sich bei Annahme eines Sohlgefälles von 12 ‰ und eines

Dränabstandes von ca. 620 m eine potentielle Einstauhöhe a'_{\max} von 0,01 m. Die Ergebnisse der weitergehenden Berechnungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Sohlneigung [%]	Dränabstand [m]	Aufstau [m]
27,7	100	0,001
12,95	620	0,009
8,74	133	0,000
24,65	352	0,003
26,07	115	0,001
18,54	340	0,004
17,24	200	0,002
13,65	356	0,005
13,86	295	0,004
13,12	271	0,004
13,86	280	0,004
9,25	220	0,005

5.6.2.5.2 Theoretische Ermittlung des hydraulischen Gradienten im Bereich der Erweiterung (Worst-Case-Betrachtung ohne Ansatz des Stagnationsgradienten)

Unter der hypothetischen Annahme, dass der Stagnationsgradient $i_0 = 0$ ist, ergibt sich nach der oben beschriebenen Berechnung ein äquivalenter hydraulischer Gradient $i_{\text{äq}}$ von 0,013.

Lässt man weiterhin außer Acht, dass Dichtungsmaterialien aufgrund der geringen Durchlässigkeit von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s nach den Stand der geohydraulischen Erkenntnisse aus dem Dichtungsbau nicht vollständig gravimetrisch entwässern, ergibt sich für den äquivalenten hydraulischen Gradienten ein Wert von 1,013, berechnet nach folgender Gleichung:

$$i_D = \frac{(a'_{\max} + d)}{d} = \frac{(0,01 \text{ m} + 0,75 \text{ m})}{0,75 \text{ m}}$$

Die Berechnung der theoretischen Restinfiltration für die Haldenerweiterung stützt sich auf eine mathematische Betrachtung der maximal möglichen Restinfiltration unter Außerachtlassung des Stagnationsgradienten. Hierbei handelt es sich um eine theoretisch ermittelbare, jedoch aufgrund des Stagnationsgradienten praktisch nicht zu erwartende Restinfiltration, welche im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung für die Ermittlung der vorhabensbedingten Auswirkungen auf das Schutzgut Grundwasser angenommen wird.

5.6.2.5.3 Theoretische Ermittlung des hydraulischen Gradienten im Bereich der Erweiterung (Worst-Case-Betrachtung ohne Ansatz des Stagnationsgradienten, eines Haldenkerns, einer Evaporation und mit höherem Niederschlag)

Ausgehend von den im Rahmen der Vollständigkeitsprüfung durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen und den nachfolgenden Fachgesprächen wurde die nachfolgende Worst-Case-Betrachtung durchgeführt.

Unter der hypothetischen Annahme, dass der Stagnationsgradient $i_0 = 0$ ist, der durchschnittliche Niederschlag bei 790 mm/a und die Evaporation bei 0 % liegen, und es zu keiner Ausbildung eines Haldenkerns im Bereich der Erweiterungsfläche kommt, ergibt sich nach der oben beschriebenen Berechnung ein äquivalenter hydraulischer Gradient i_{aq} von 0,019.

Lässt man weiterhin außer Acht, dass Dichtungsmaterialien aufgrund der geringen Durchlässigkeit von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s nach den Stand der geohydraulischen Erkenntnisse aus dem Dichtungsbau nicht vollständig gravimetrisch entwässern, ergibt sich für den äquivalenten hydraulischen Gradienten ein Wert von 1,019, berechnet nach folgender Gleichung:

$$i_D = \frac{(a'_{max} + d)}{d} = \frac{(0,014 \text{ m} + 0,75 \text{ m})}{0,75 \text{ m}}$$

Die Berechnung der theoretischen Restinfiltration für die Haldenerweiterung stützt sich auf eine mathematische Betrachtung der maximal möglichen Restinfiltration unter Außerachtlassung des Stagnationsgradienten, der Bildung eines Haldenkerns und der Evaporation sowie Erhöhung des Niederschlags. Hierbei handelt es sich um eine theoretisch ermittelbare, jedoch aufgrund der Versuchsergebnisse und der Erfahrungen am Standort praktisch nicht zu erwartende Restinfiltration, welche im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung für die Ermittlung der vorhabensbedingten Auswirkungen auf das Schutzgut Grundwasser angenommen wird.

5.6.3 Berechnung der Gesamtsalzfracht

Zur Ermittlung der Gesamtsalzfrachten werden die Daten der Haldenwasserzusammensetzung aus den bisherigen Analysenwerten am Standort entnommen⁷. Danach handelt es sich für das Stapelbecken Heergraben um eine hochkonzentrierte Salzlösung mit ca. 372 g/l gelösten Salzen. Die Dichte liegt im Durchschnitt bei 1,27 g/cm³. Für das Stapelbecken Zinkesgraben ergeben sich im Mittel 2016 ca. 381 g/l an gelösten Salzen. Die Dichte liegt im Durchschnitt bei 1,28 g/cm³. Für die weiteren Berechnungen wurde im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung die Gesamtsalzkonzentration des Beckens Zinkesgraben von 381 g/l eingesetzt. Die im Becken Zinkesgraben gefassten Haldenwässer weisen gegenüber denen des Beckens Heergraben höhere Kalium-, Magnesium- und Sulfatkonzentrationen bei gleichzeitig geringerer Natriumkonzentration und höherer Gesamtsalzfracht auf (siehe Band 3.15),

⁷ Quelle: Werk Werra, Standort Wintershall, Eigenbericht 2016 zur Grundwasserbeobachtung im Umfeld der Halde IV Wintershall, Mai 2017

insofern liegt hier eine konservative Abschätzung vor. Dieselben Konzentrationen wurden ebenfalls beim Hydrogeologischen Strukturmodell (Band 3.6.1) verwendet.

Aus dieser Gesamtsalzfracht und der diffusen spezifischen Restinfiltration der betrachteten Flächen ergibt sich dann eine spezifische Gesamtsalzfracht für die Übergangs- und Mantelzone sowie das Haldenvorfeld.

Die Berechnung der Gesamtsalzfracht erfolgt anhand nachstehender Gleichung:

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

F_{Salz} : flächenspezifische Gesamtsalzfracht in kg/(ha*a)

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

$c_{\text{Salz},\emptyset}$: 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 sind in den Anlagen 10 und 12 sowie 15.3 und 15.5 dargestellt.

5.6.4 Darstellung der Berechnungsergebnisse der Restinfiltration

5.6.4.1 Berechnungsergebnisse für die Bestandshalde, Basisberechnung

Ausgehend von den Berechnungen des Bandes 3.6.3 (GWSM), Teil 2 ergeben sich die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Restinfiltrationen für die Bestandshalde.

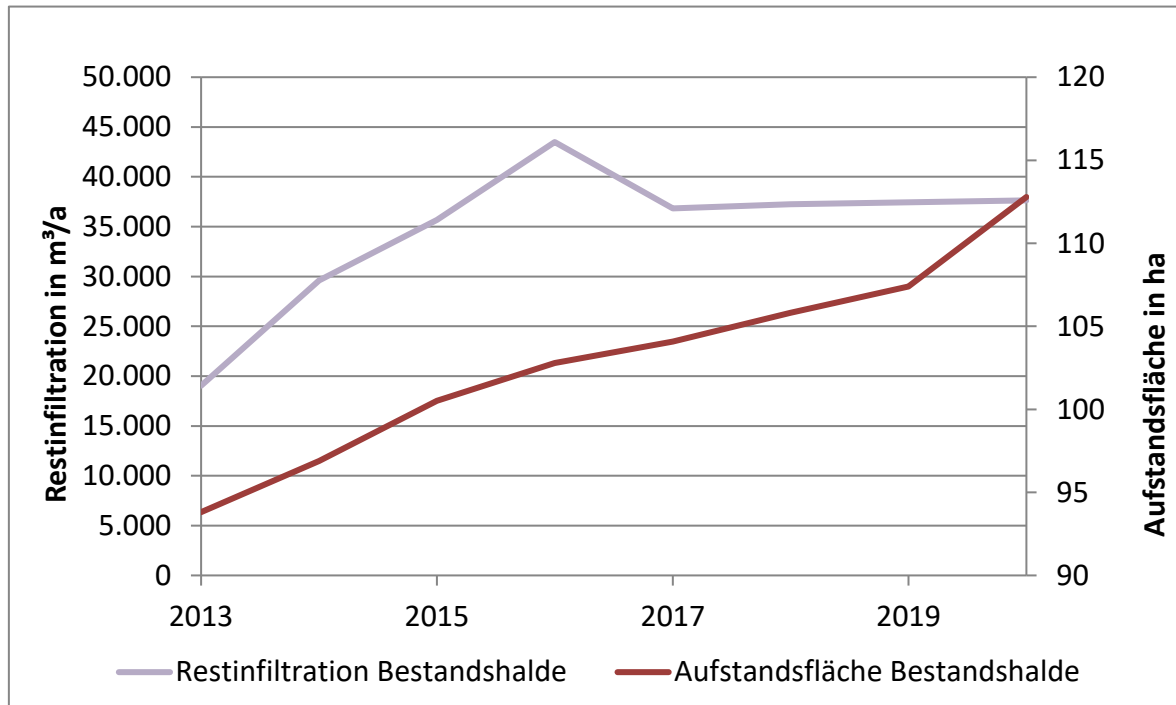


Abbildung 11: Berechnungsergebnisse der Restinfiltration Basisberechnung

Wie aus der obigen Abbildung zu erkennen ist, steigt die Restinfiltration in den Jahren 2013 bis 2015 mit Vergrößerung der Aufstandfläche kontinuierlich an. Der Peak in 2016 ergibt sich aus der Tatsache, dass im Jahr 2016 ein Feuchtjahr im GWSM modelliert wird.

Im Kapitel 4.3 des Bandes 3.6.3, Teil 2 wurden die horizontalen Schichten- und Sickerwässer im Jahr 2016 mit ca. 35.300 m³ rechnerisch aus dem GWSM ermittelt. Die Sickerwasserfassung im Heergraben fasste zwischen Dezember 2015 und Dezember 2016 eine Sickerwassermenge von ca. 28.738 m³. In den Jahren 2014 und 2015 lagen die Werte der horizontalen unterirdischen Abflüsse gemäß GWSM bei 35.300 m³/a. Danach erfolgt ab 2016 bis voraussichtlich 2019 eine Fassung der 29.000 m³/a, so dass lediglich die nicht gefasste Differenz von ca. 6.300 m³/a (siehe Band 3.6.3, Teil 2) als Beitrag zur Restinfiltration in den Untergrund gelangt (siehe Haldenwasserbilanzgleichung in Kapitel 2). Über den Zeitpunkt 2019 hinaus ist derzeit keine sichere Prognose über die in der Sickerwasserfassung Heergraben zu fassenden Wassermengen zu treffen. Daher wurden ab 2020 die horizontalen unterirdischen Abflüsse zusätzlich zur Restinfiltration ausgewiesen (siehe Anlage 9).

Für die Bestandshalde wird bei vollständiger Belegung der genehmigten Fläche (2020; Fläche ca. 108 ha⁸) eine Restinfiltration von 37.000 m³/a für die weiteren Berechnungen angesetzt. Die spezifische Restinfiltration liegt bei ca. 350 m³/(ha*a) bzw. 35 mm/a für den Bereich der Bestandshalde.

Die Gesamtsalzfracht der Bestandshalde ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

⁸ Fläche inkl. Haldenvorfeld

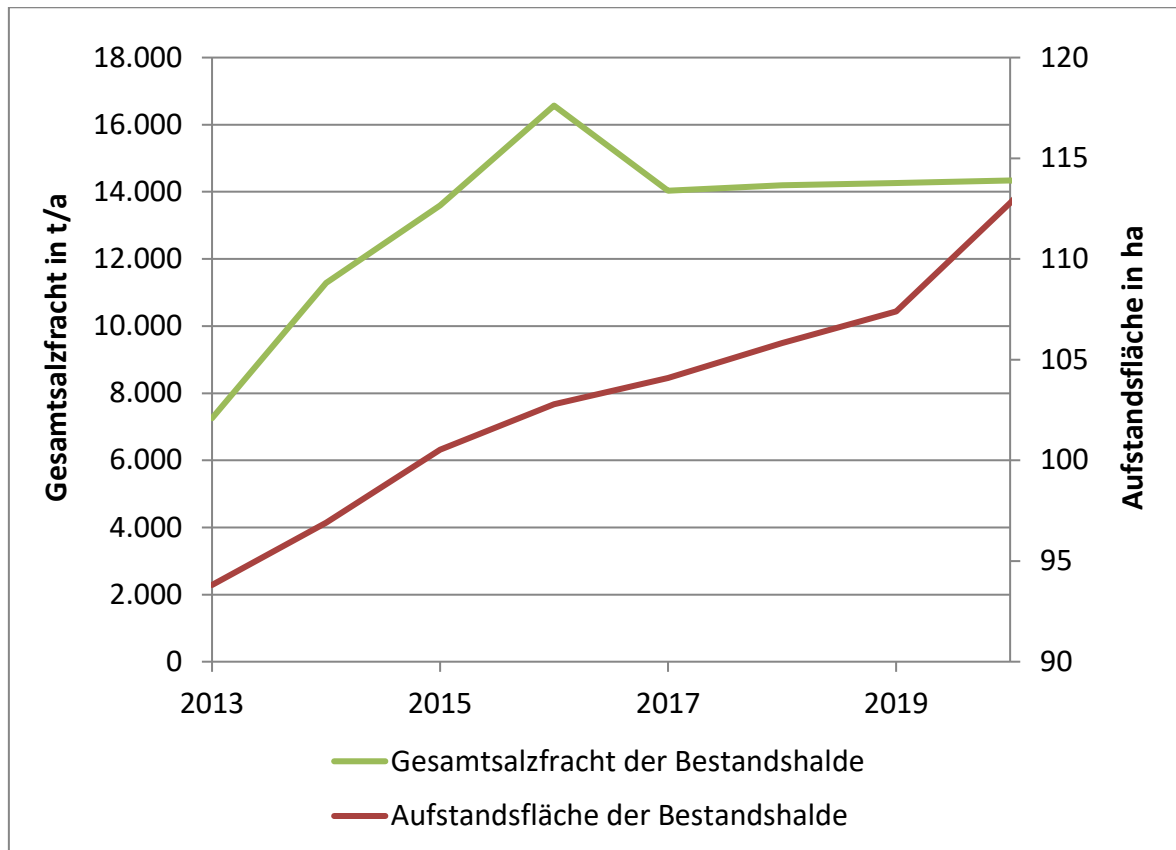


Abbildung 12: Berechnungsergebnisse der Gesamtsalzfracht für die Bestandshalde Basisberechnung

Für die Bestandshalde wird bei vollständiger Belegung der genehmigten Fläche (2020; Fläche ca. 108 ha⁹) eine Gesamtsalzfracht von 14.000 t/a für die weiteren Berechnungen angesetzt. Die spezifische Gesamtsalzfracht liegt bei ca. 130 t/(ha*a) für den gesamten Bereich der Bestandshalde.

Die Gesamtsalzfracht für die horizontalen unterirdischen Abflüsse verhält sich analog der vorherigen Beschreibung der Restinfiltration. In den Jahren 2014 und 2015 liegen die Gesamtsalzfrachten bei 13.000 t/a. Danach erfolgt ab 2016 bis voraussichtlich 2019 eine Fassung von ca. 10.500 t/a in der Sickerwasserfassung Heergraben, sodass lediglich ca. 2.500 t/a der Restinfiltration zuzurechnen sind. Danach werden die 13.000 t/a voraussichtlich der Restinfiltration zugerechnet, da über den Zeitschnitt 2019 hinaus noch keine sichere Prognose über die in der Sickerwasserfassung Heergraben zu fassenden Gesamtsalzfrachten zu treffen ist.

5.6.4.2 Berechnungsergebnisse für die Erweiterungsfläche

Wie bereits im Kapitel 5.6.2.5.1 dargestellt, wurde unter Ansatz eines Stagnationsgradienten von $i_0 = 5$ ein negativer äquivalenter hydraulischer Gradient

⁹ Fläche inkl. Haldenvorfeld

ermittelt. Somit ergibt sich für die 75 cm mächtige mineralische Dichtung keine Restinfiltration.

Unter der hypothetischen Annahme, dass der Stagnationsgradient Null ist und die mineralische Dichtung gravimetrisch vollständig entwässert - was nach dem Stand der geohydraulischen Erkenntnisse aus dem Dichtungsbau äußerst unwahrscheinlich ist - werden nachfolgend die jährlichen theoretischen Restinfiltrationen und Gesamtsalzfrachten für die Erweiterung (Errichtung des Systems Basisabdichtung) berechnet. Eine Übersicht über die ermittelten Restinfiltrationen und Gesamtsalzfrachten für die Erweiterungsfläche sind den nachfolgenden Abbildungen zu entnehmen. Die vollständigen Wertetabellen für die in diesem Kapitel dargestellten Restinfiltrationen und Gesamtsalzfrachten sind in den Anlagen 11 und 12 und die Flächengrößen der Erweiterung sind in der Anlage 8 dargestellt.

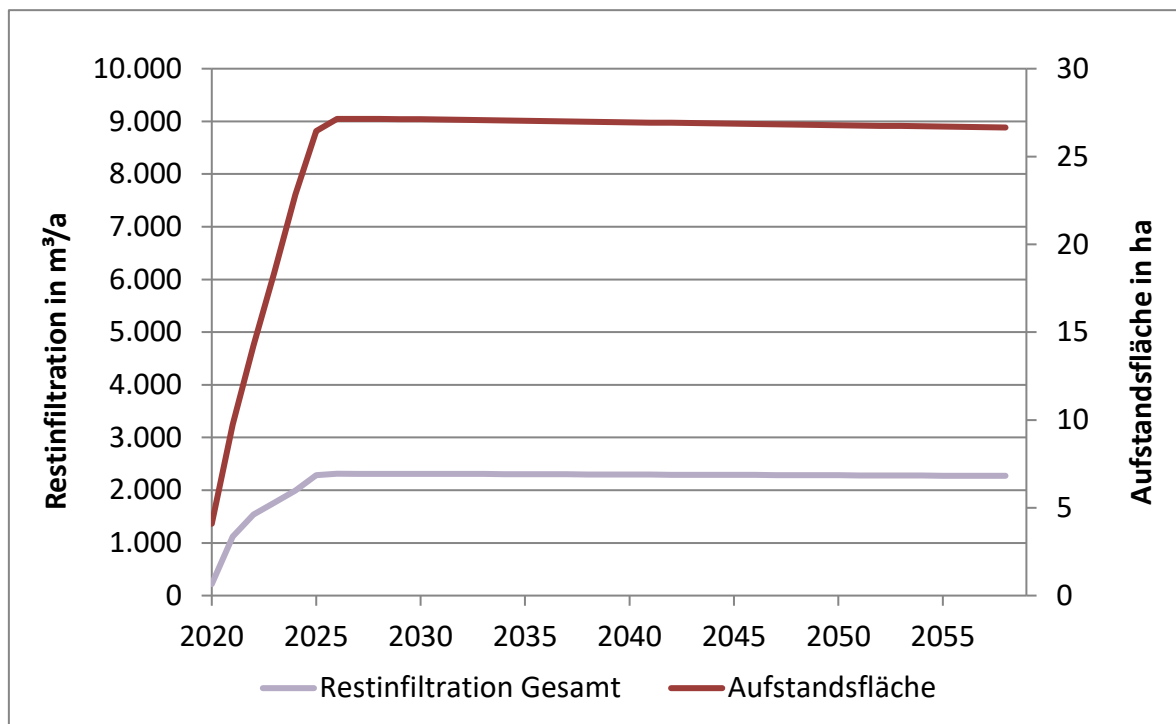


Abbildung 13: Berechnungsergebnisse der theoretischen Restinfiltration für die Erweiterungsfläche

Die Restinfiltration steigt aufgrund der Flächeninanspruchnahme der Erweiterung bis zum Jahr 2025 nahezu kontinuierlich an, wobei diese im ersten Jahr stärker ansteigt als in den folgenden Jahren, da sich im ersten Jahr der Haldenkern erst ausbildet (siehe auch Abbildung 14 zur flächenspezifischen Restinfiltration). Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung wurde daher angenommen, dass der erste Flächenabschnitt noch keinen Haldenkern aufweist. Ab dem Jahr 2026 erfolgt im Rahmen der Schüttphasen 3 und 4 die Beschüttung der oberen Scheibe. Hierbei ergibt sich keine zusätzliche Flächeninanspruchnahme und somit eine konstante Restinfiltration. In der Nachbetriebsphase erfolgt eine kontinuierliche, niederschlagsbedingte Auflösung von Rückstand an der Haldenoberfläche von ca. 20 cm pro Jahr. Diese wurde jeweils prozentual von den Teilflächen abgezogen, so dass sich eine kontinuierliche Reduzierung der Restinfiltration proportional zur Aufstandsfläche ergibt. Eine Fortsetzung dieses Trends

unter Annahme der o.g. Abtragung von ca. 20 cm pro Jahr in der Nachbetriebsphase über den hier gewählten Betrachtungszeitraum bis 2059 hinaus ist zu erwarten. In der Nachbetriebsphase ist es weiterhin möglich, dass die im Rahmen des Haldenmodells angenommenen Breiten für die Übergangs- und Mantelzone nach längerem Liegen des Haldenkörpers zugunsten des Haldenkerns schmaler werden. Aufgrund der Komplexität der Vorgänge im Haldenkörper ist dies jedoch in der Bilanzierung der Restinfiltration nicht berücksichtigt worden.

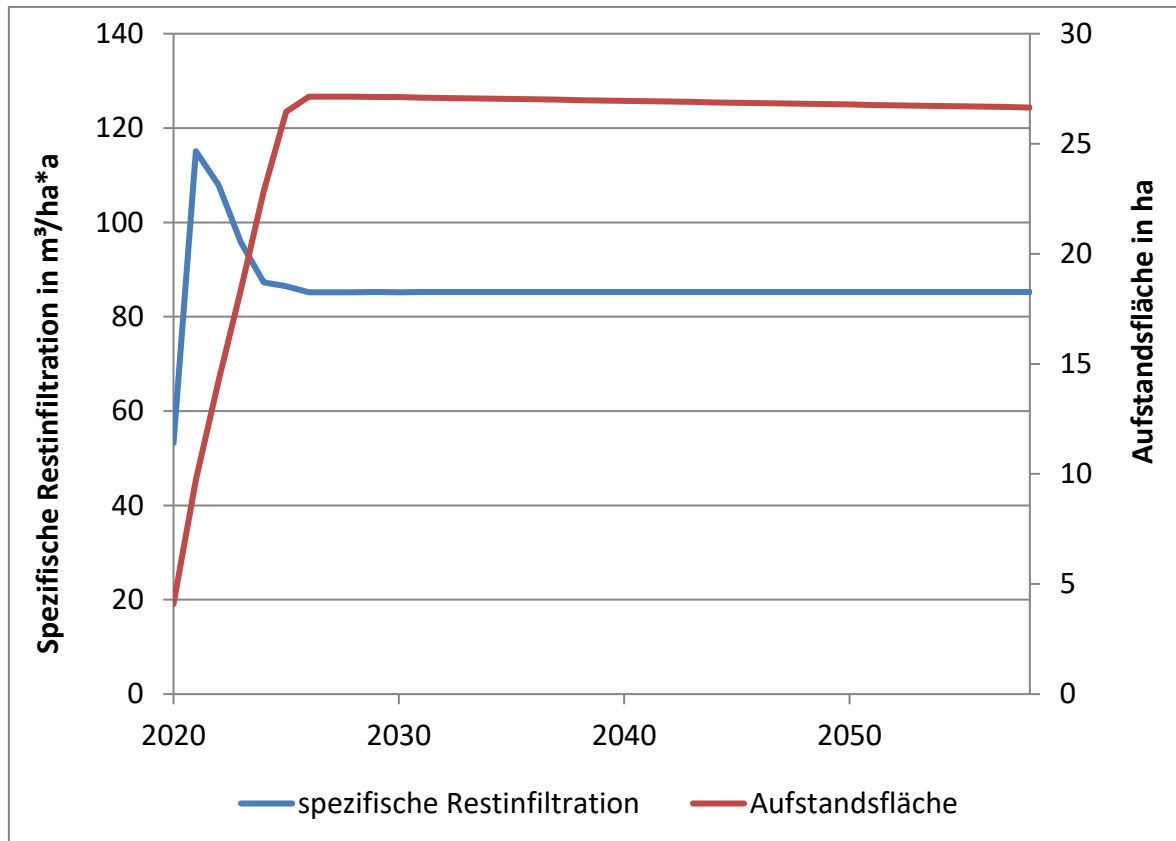


Abbildung 14: Berechnungsergebnisse der spezifischen theoretischen Restinfiltration pro Fläche für die Erweiterung

Wie in der obigen Abbildung zu erkennen ist, sinkt die spezifische Restinfiltration mit Inanspruchnahme der Erweiterungsfläche von ca. 115 m³/(ha*a) bzw. 11,5 mm/a auf ca. 85 m³/(ha*a) bzw. 8,5 mm/a. Der anfänglich geringe Wert in 2020 resultiert daraus, dass modelltechnisch eine Belegung der Erweiterungsfläche ab 06/2020 umgesetzt wurde.

Die berechnete Gesamtsalzfracht weist im Vergleich mit der Restinfiltration einen identischen Verlauf auf. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Eine tabellarische Aufstellung ist in der Anlage 12 enthalten.

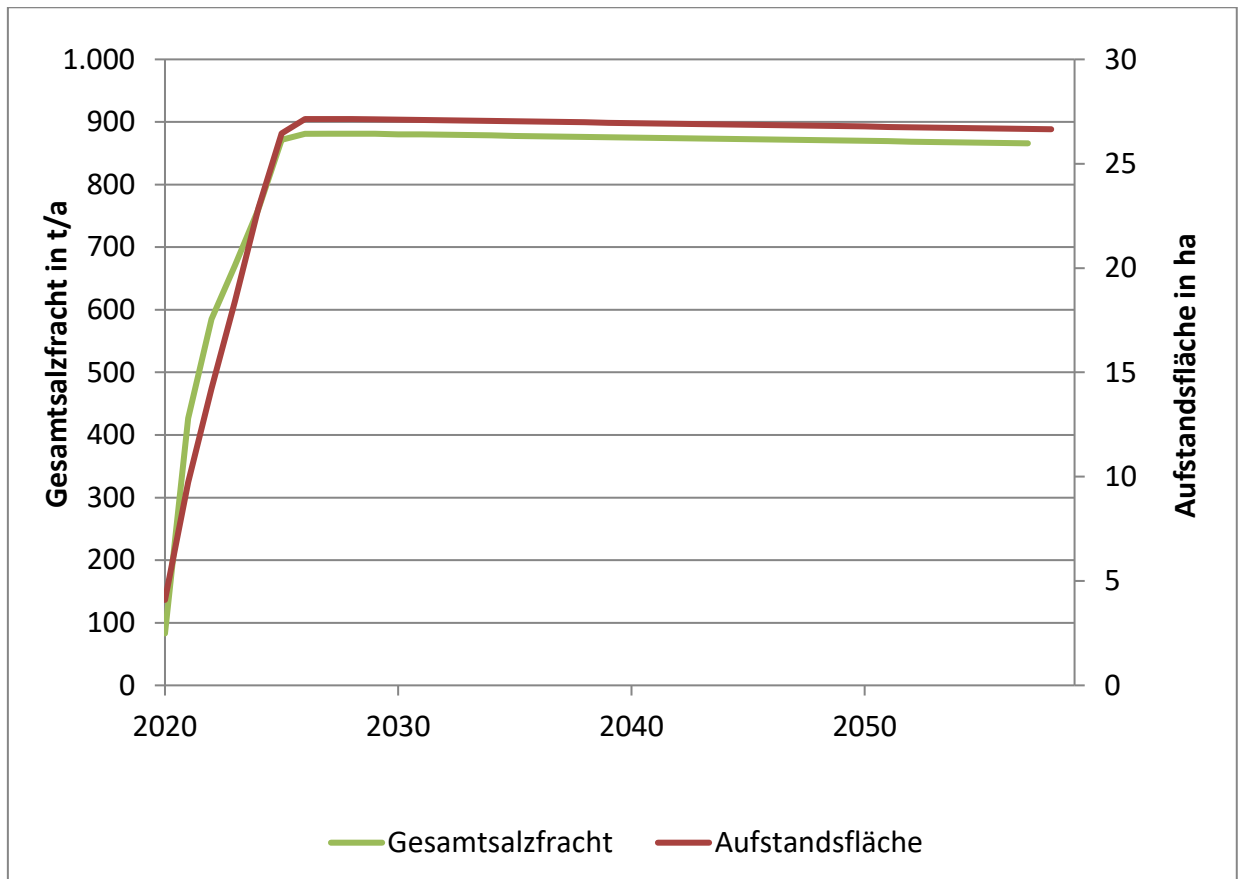


Abbildung 15: Berechnungsergebnisse der Gesamtsalzfracht für die Erweiterung

Bei dieser Darstellung tritt ein nahezu kontinuierlicher Anstieg der Gesamtsalzfracht aufgrund der weiteren Flächeninanspruchnahme der Erweiterungsfläche auf.

Die spezifische Gesamtsalzfracht der Erweiterungsfläche mit Beginn der Inanspruchnahme der Erweiterung beträgt ca. 44 t/(ha*a). Nach vollständiger Beschüttung der Erweiterungsfläche im Jahr 2029 sinkt diese auf ca. 32 t/(ha*a) ab.

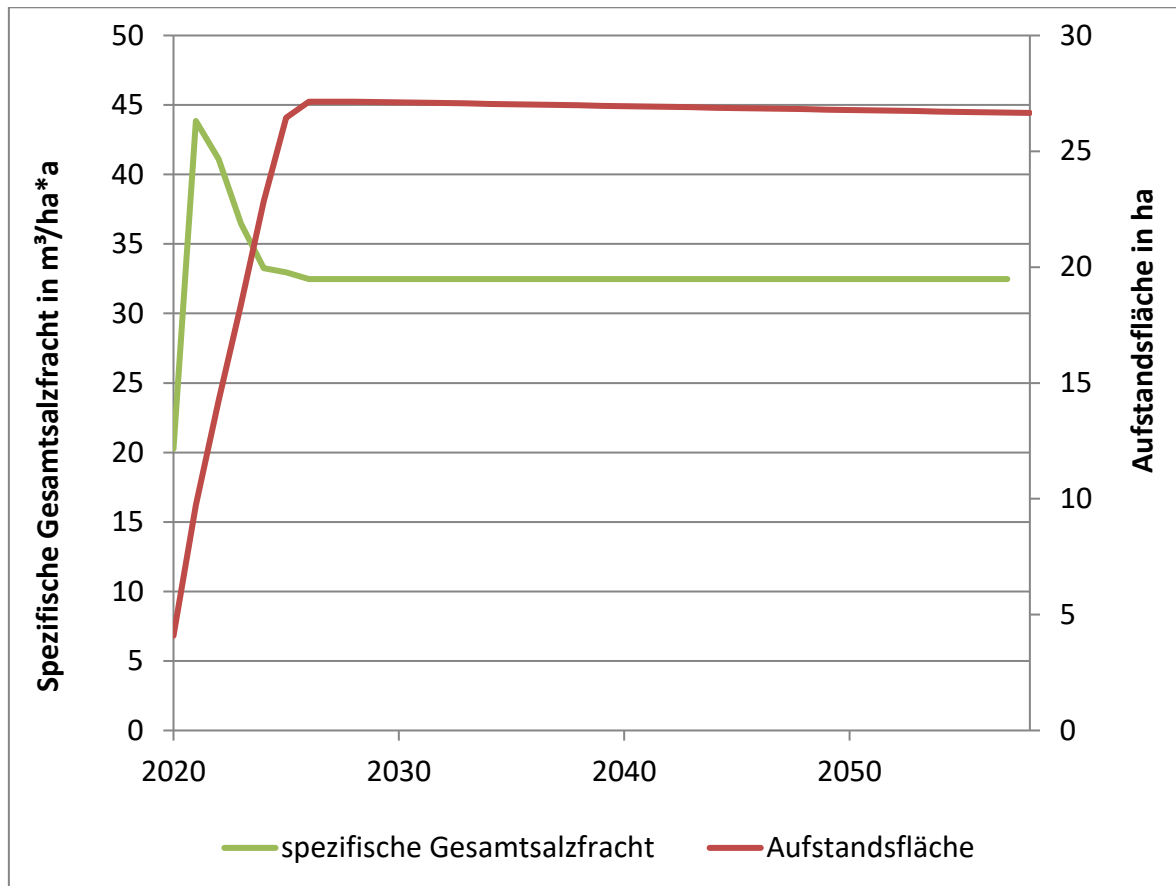


Abbildung 16: Berechnungsergebnisse der spezifischen Gesamtsalzfracht pro Fläche für die Erweiterung

Bei einer separaten Betrachtung der Erweiterungsfläche von ca. 27 ha ergibt sich eine jährliche Restinfiltration von ca. 2.300 m³/a (bzw. 8,5 mm/a) und eine jährliche Gesamtsalzfracht von ca. 880 t/a.

5.6.4.3 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse, Basisberechnung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Berechnung der Restinfiltration aus den vorherigen Kapiteln 5.6.4.1 und 5.6.4.2 ohne Berücksichtigung des horizontalen unterirdischen Zuflusses zusammenfassend dargestellt. Mit Hilfe dieser Zusammenstellung soll die Verbesserung der Gesamtsituation am Standort dargestellt werden. Bei der Berechnung der Restinfiltrationen wurde jeweils das Haldenvorfeld mit berücksichtigt (siehe Kapitel 5.3.1):

Tabelle 9: **Ergebnisse der Berechnungen zur Restinfiltration ohne Berücksichtigung des horizontalen unterirdischen Zuflusses der Bestandshalde ¹⁰**

Bezeichnung	Restinfiltration in m³/a	Spezifische Restinfiltration in m³/(ha*a) bzw. mm/a	Gesamtsalzfracht in t/a	Spezifische Gesamtsalzfracht in t/(ha*a)
Berechnungsergebnisse zur Restinfiltration				
Bestandshalde nach GWSM (Zeitschnitt 2019)	37.430	351 bzw. 35,1	14.261	134
Bestandshalde nach GWSM (Zeitschnitt 2029)	30.999	225 bzw. 22,5	11.811	86
Erweiterung (unter Annahme einer theoretischen Restinfiltration, 2029)	2.312	85 bzw. 8,5	881	32
Verbesserung nach Anschüttung der Erweiterung				
Verbesserung an der Bestandshalde	-6.431 (-17 %)	-	-2.450 (-17%)	-
Verbesserung der Gesamtsituation am Standort unter Annahme einer theoretischen Restinfiltration der Erweiterungsfläche	-4.119 (-11 %)	-	-1.569 (-11 %)	-

Im Rahmen der Beschüttung der Erweiterungsfläche werden Teile des Haldenmantels und der Übergangszone der Bestandshalde in den Bereich der mineralischen Dichtung der Erweiterungsfläche verschoben. Somit kommt es zu einer Verschiebung von hydraulisch aktiven Bereichen in den Bereich der geplanten mineralischen Dichtung der Erweiterungsfläche. Dies führt zu einer Reduzierung der Restinfiltration, da sich der Haldenkern im ungedichteten bzw. vergüteten Bereich der Bestandshalde vergrößert. Mit

¹⁰ Werte gerundet.

Ende der Beschüttung der Bestandshalde ergeben sich eine Restinfiltration von ca. 37.000 m³/a (35,1 mm/a) und eine Gesamtsalzfracht von ca. 14.000 t/a. Mit Ende der Beschüttung der Erweiterungsfläche ergeben sich im Jahr 2029 für die Bestandshalde eine Restinfiltration von ca. 31.000 m³/a (22,5 mm/a) und eine Gesamtsalzfracht von ca. 12.000 t/a. Somit ergeben sich für die Restinfiltration der Bestandshalde aufgrund des Vorhabens der Haldenerweiterung eine Reduzierung von ca. 17 % um ca. 6.000 m³/a und für die Gesamtsalzfracht um ca. 2.500 t/a.

Die spezifische Restinfiltration der Bestandshalde ohne Berücksichtigung der horizontalen unterirdischen Zuflüsse beträgt ca. 350 m³/(ha*a) bzw. 35 mm/a. Nach Beschüttung der Erweiterungsfläche sinkt diese für die Bestandshalde auf 225 m³/(ha*a) bzw. 22,5 mm/a ab.

Die Anschüttung der Erweiterung führt also zu einer Verbesserung im Bereich der Bestandshalde von ca. 17 %.

Berechnet man aus diesen Zahlen die Verbesserung der Gesamtsituation am Standort unter der Annahme einer theoretischen Restinfiltration für die Erweiterung von ca. 2.300 m³/a, ergibt sich eine Verbesserung der Restinfiltration um ca. 4.000 m³/a und der Gesamtsalzfracht um ca. 1.600 t/a. Dies entspricht einem Anteil von ca. 11 %.

Für die weiterführenden Berechnungen zur Ermittlung des Haldenwasseranfalls im Bereich der Erweiterung wird angenommen, dass ein Stagnationsgradient vorhanden ist (siehe Kapitel 5.6.2.5.1) und damit im Bereich der Erweiterungsfläche keine Restinfiltration auftritt. Für die Ermittlung des maximalen Haldenwasseranfalls ist dies eine Worst-Case-Betrachtung, da sich damit ein höherer Haldenwasseranfall ergibt als unter Berücksichtigung einer Restinfiltration.

5.6.4.4 Berechnungsergebnisse der Restinfiltration für die Worst-Case-Betrachtung

Ausgehend von den im Rahmen der Vollständigkeitsprüfung durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen und den nachfolgenden Fachgesprächen wurde im Rahmen der Worst-Case-Betrachtung die Restinfiltration für die Bestandshalde in der Betriebsphase von 2013 bis 2020 prognostiziert. Die Wirksamkeit von Poldern auf dem Haldentop der Bestandshalde hinsichtlich der Reduzierung des Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration wird ab Inanspruchnahme der Erweiterungsfläche unterstellt (siehe Kapitel 4).

Die hier beschriebene Vorgehensweise ist konsistent mit den konservativen Ansätzen in den Bänden 3.6.1 (HSM), Anhang 1, sowie Band 3.6.3 (GWSM), Teil 2, Anhang 1.

Hierbei wurden im Vergleich mit der Basisberechnung folgende geänderte Annahmen verwendet:

- Ansatz eines mittleren Jahresniederschlags von 790 mm/a,
- Vernachlässigung der Evaporation auf der Rückstandshalde ($E = 0\%$),
- Annahme einer erhöhten Restinfiltration im Bereich der Bestandshalde (siehe Band 3.6.1, Anhang 1)
- Keine Ausbildung eines Haldenkerns in der Erweiterungsfläche und im Anschüttungsbereich zwischen Bestandshalde und Haldenerweiterung

- Weiterbetrieb der Sickerwasserfassung über das Jahr 2019 hinaus bis zum Ende der Nachbetriebsphase (2061). Gefasste Wässer werden als Haldenwässer bilanziert.
- Wirksamkeit von Poldern

5.6.4.4.1 Berechnungsergebnisse für die Bestandshalde

Ausgehend von den Berechnungen des Bandes 3.6.1 (HSM), Anhang 1, ergeben sich unter Annahme der Worst-Case-Bedingungen die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Restinfiltrationen für die Bestandshalde.

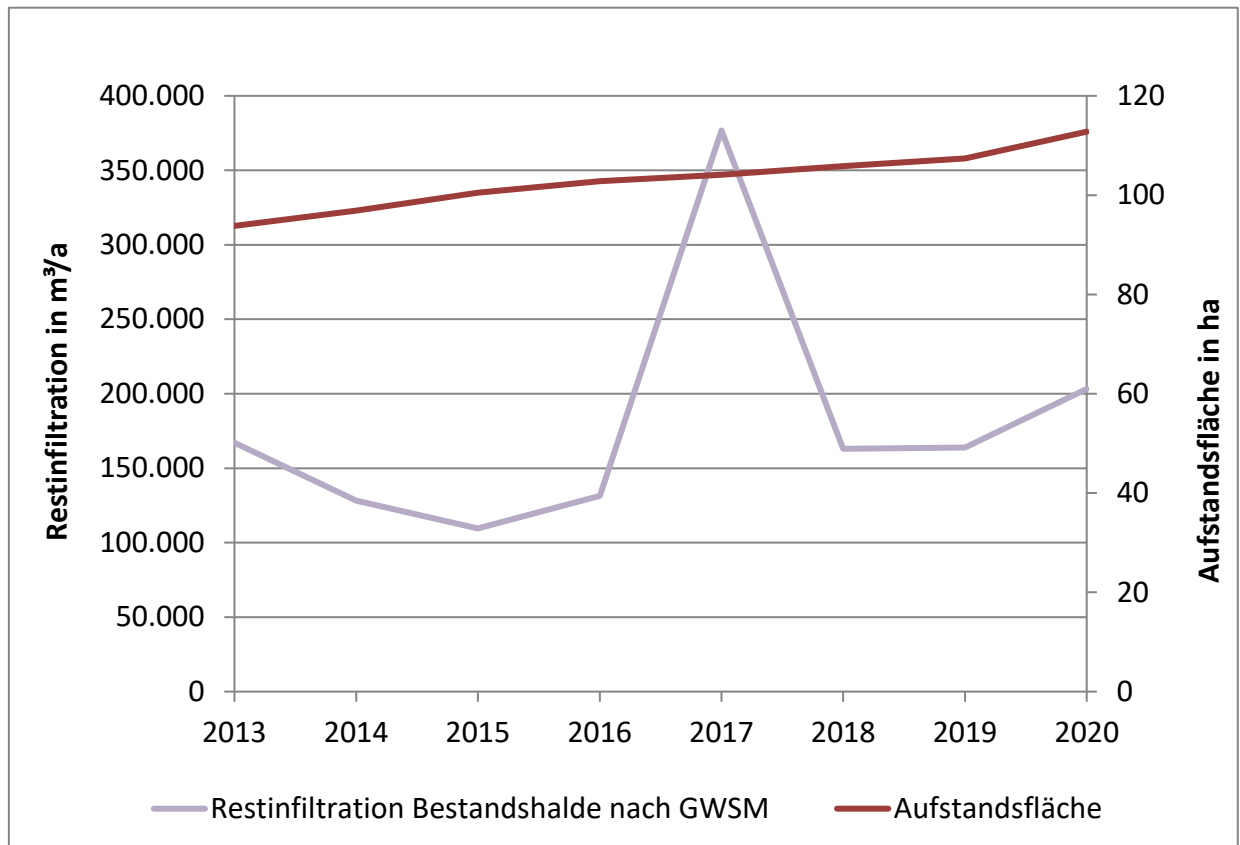


Abbildung 17: Berechnungsergebnisse der Worst-Case-Betrachtung der Restinfiltration für die Bestandshalde nach den Prognosewerten aus dem numerischen Grundwasser-Stofftransportmodells (GWSM) abzgl. der Kompensation durch die Polder im Jahr 2020

Wie aus der obigen Abbildung zu erkennen ist, schwankt die Restinfiltration in den Jahren 2013 bis 2019 zwischen ca. 110.000 m³/a und 380.000 m³/a. Ab dem Zeitschnitt Juli 2018 handelt es sich bei der Restinfiltration um prognostizierte Mengen, die unter konservativen Ansätzen ermittelt wurden (siehe Band 3.6.1, Anhang 1 und 3.6.3, Teil 2, Anhang 1).

Für die Bestandshalde wird bei vollständiger Belegung der genehmigten Fläche (2020; Fläche ca. 108 ha) eine Restinfiltration von ca. 164.000 m³/a für die weiteren Berechnungen angesetzt. Die spezifische Restinfiltration liegt bei ca. 1.500 m³/(ha*a) bzw. 150 mm/a für den Bereich der Bestandshalde.

Die Gesamtsalzfracht der Bestandshalde ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

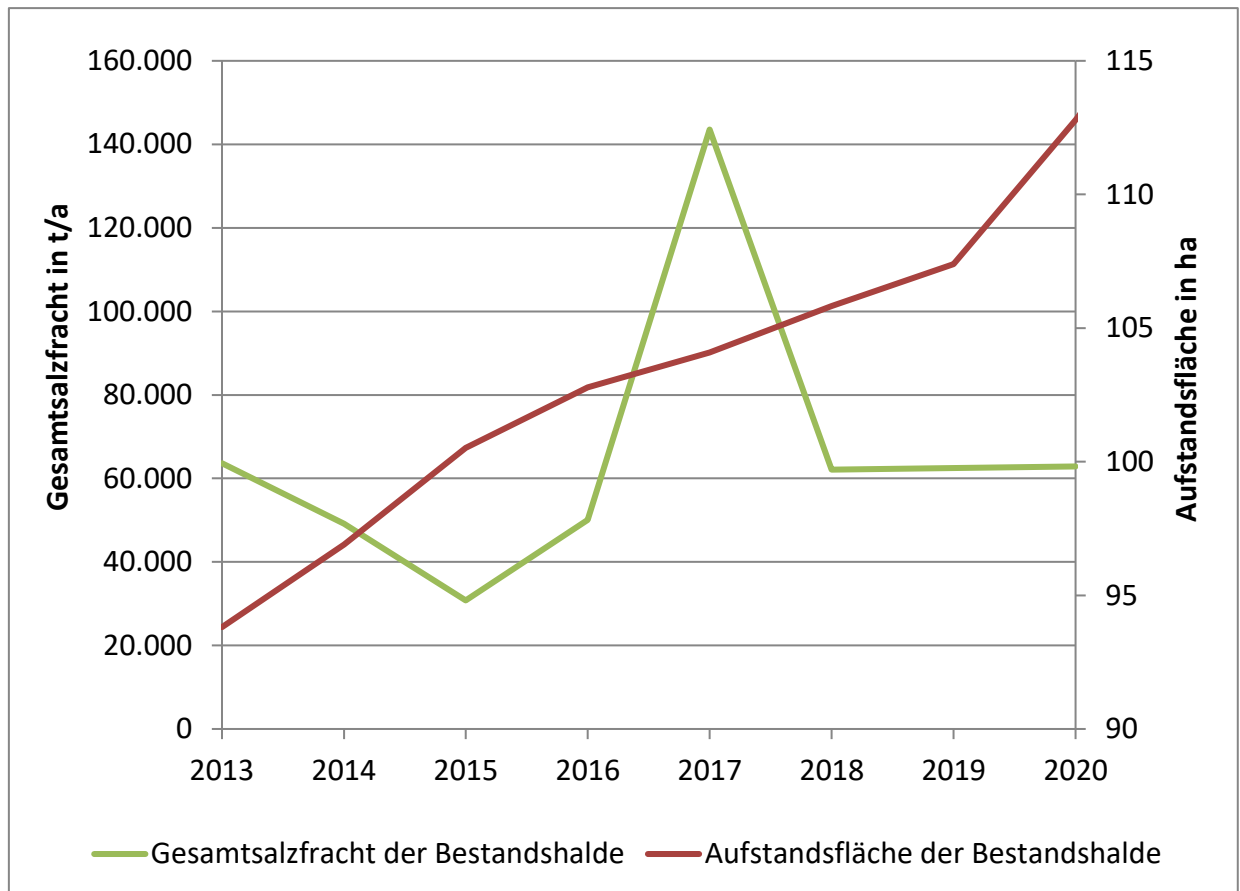


Abbildung 18: Berechnungsergebnisse der Worst-Case-Betrachtung der Gesamtsalzfracht für die Bestandshalde nach den Prognosewerten aus dem numerischen Grundwasser-Stofftransportmodell (GWSM) abzgl. der Kompensation durch die Polder im Jahr 2020

Für die Bestandshalde wird bei vollständiger Belegung der genehmigten Fläche (2020; Fläche ca. 108 ha¹¹) eine Gesamtsalzfracht von 63.000 t/a für die weiteren Berechnungen angesetzt. Die spezifische Gesamtsalzfracht liegt bei ca. 585 t/(ha*a) für den gesamten Bereich der Bestandshalde.

5.6.4.4.2 Berechnungsergebnisse für den Bereich der Anschüttung an die Bestandshalde

Ausgehend von den im Rahmen der Vollständigkeitsprüfung durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen und den nachfolgenden Fachgesprächen wurde weiterhin im Sinne der Worst-Case-Betrachtung der Bereich der Anschüttung der Rückstandsmengen aus der Erweiterung an die Flanke der Bestandshalde zur

¹¹ Fläche inkl. Haldenvorfeld

Restinfiltration des Vorhabens gerechnet. Die projizierte Fläche des sogenannten "Zwickels" ist in der nachfolgenden Abbildung grün dargestellt.



Abbildung 19: Lageplan der projizierten Fläche der Anschüttung (grüne Fläche) an die Bestandshalde

Eine zusätzliche Restinfiltration ergibt sich in diesem Bereich ausschließlich durch den restfeuchtebedingten Haldenwasseranfall des zusätzlich aufgehaldeten Rückstands. Die Beschreibung des Berechnungsansatzes erfolgte im Band 3.6.3, Teil 2, Anhang 1.

Für den definierten Bereich sind die berechneten, restfeuchtebedingten Restinfiltrationen in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

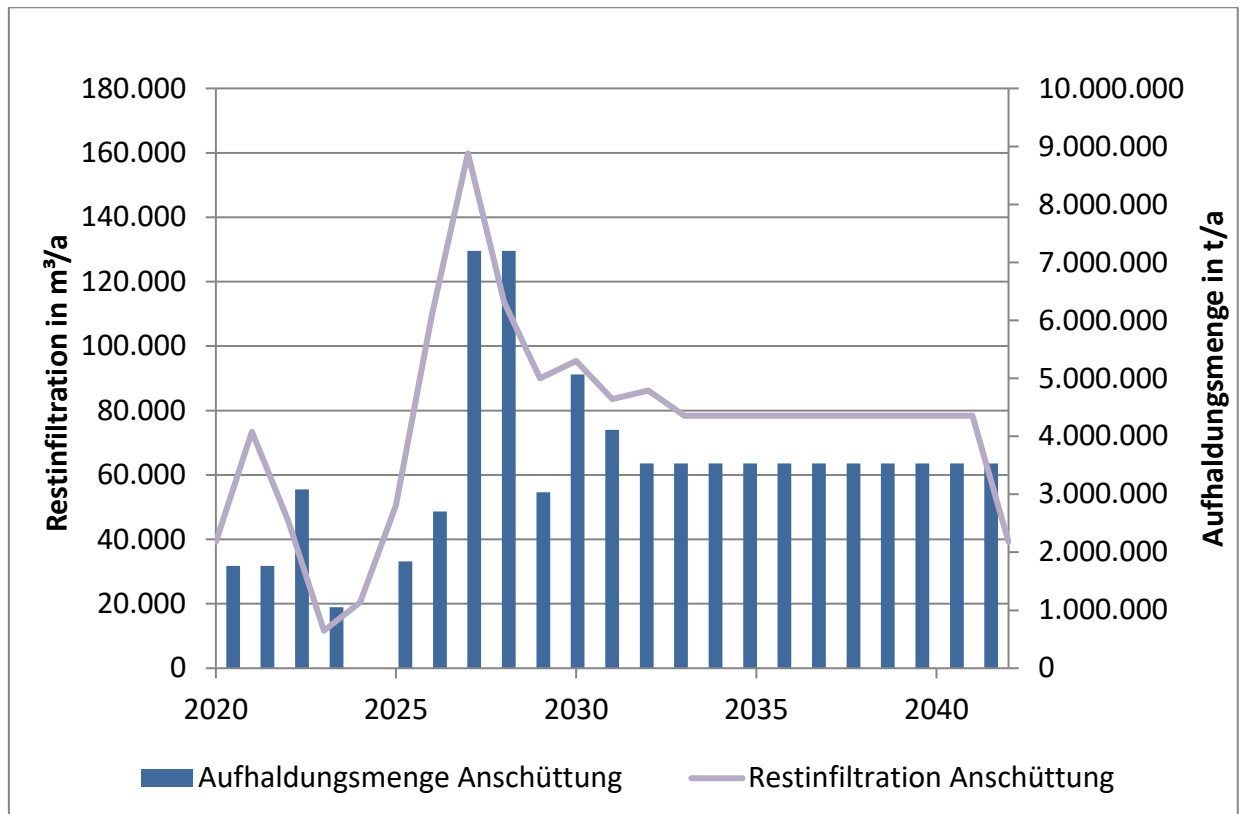


Abbildung 20: Berechnungsergebnisse der restfeuchtebedingten Worst-Case-Restinfiltration für den Bereich der Anschüttung an die Bestandshalde

Wie aus der Abbildung zu erkennen ist, ergibt sich in Abhängigkeit der Aufhaltungsmenge eine jährliche, restfeuchtebedingte Restinfiltration für den Bereich der Anschüttung zwischen ca. 12.000¹² und 160.000 m³. Hierbei tritt die höchsten Restinfiltrationen im Jahr 2027 auf. In der Nachbetriebsphase ergibt sich aufgrund der Annahmen für das Berechnungsmodell (siehe Band 3.6.3, Teil 2 ab 2033 bis 2041 eine konstante Restinfiltration von ca. 78.400 m³. Ab Juli 2042 ergibt sich keine restfeuchtebedingte Restinfiltration aus dem Anschüttungsbereich mehr.

Die berechnete Gesamtsalzfracht weist im Vergleich mit der Restinfiltration einen identischen Verlauf auf. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

¹² Der Unterschied zu den Werten in Band 3.6.3, Teil 2 Anhang 1, Tabelle 4 ergibt sich aufgrund des unterschiedlichen Betrachtungszeitraums. Hier werden die Jahreswerte (Januar – Dezember) dargestellt. Der Gesamteintrag aus der Anschüttung ist jedoch der gleiche.

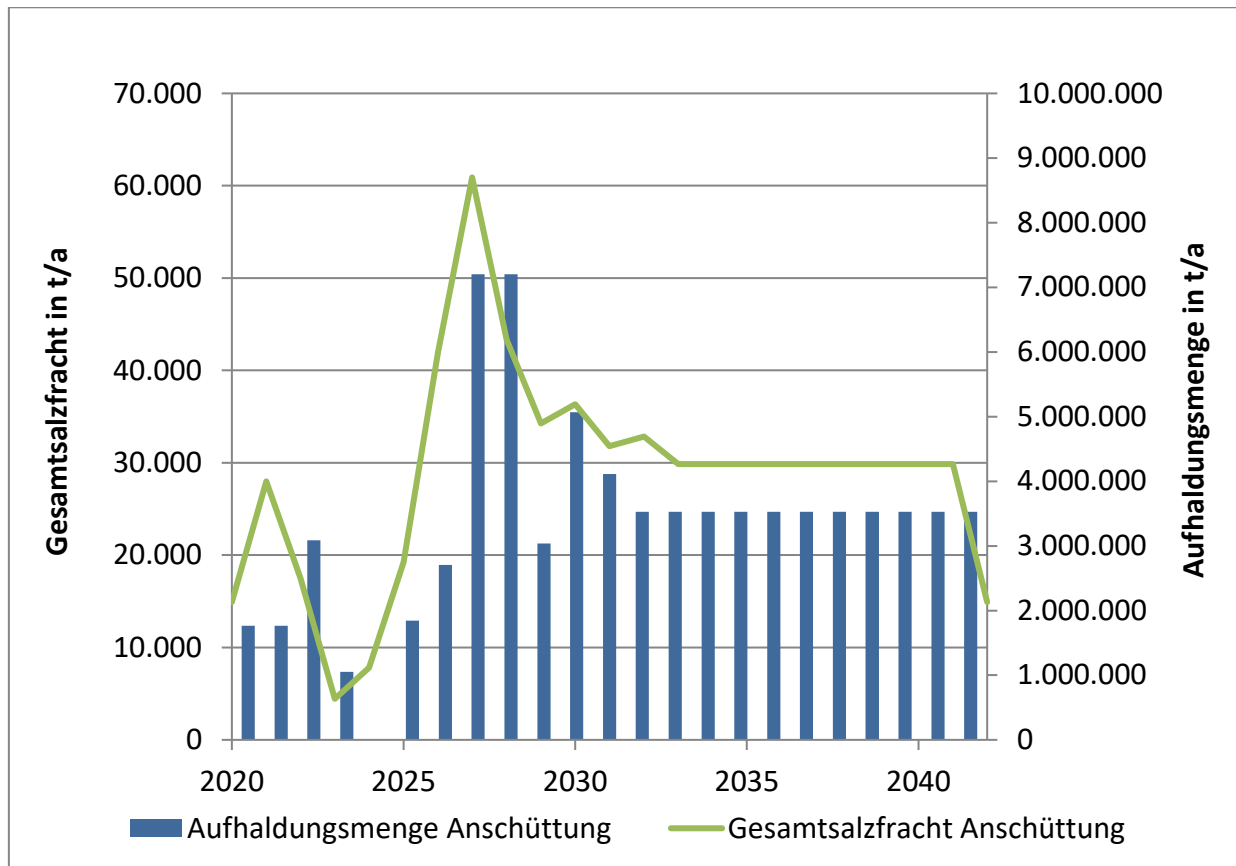


Abbildung 21: Berechnungsergebnisse der Worst-Case-Betrachtung der Gesamtsalzfracht für die Anschüttung an die Bestandshalde

Für den Anschüttungsbereich an die Bestandshalde ergibt sich eine Gesamtsalzfracht zwischen 4.000 t/a¹³ und 61.000 t/a. Die höchsten Gesamtsalzfracht fällt im Jahr 2027 mit den höchsten Aufhaltungsmengen an. In der Nachbetriebsphase liegt die Gesamtsalzfracht in den Jahren 2033 bis 2041 bei ca. 30.000 t/a. Ab Juli 2042 ist keine restfeuchtebedingte Gesamtsalzfracht mehr aus dem Zwickelbereich im Modell unterstellt.

5.6.4.4.3 Berechnungsergebnisse für die Erweiterungsfläche

Wie bereits im Kapitel 5.6.2.5.1 dargestellt, wurde unter Ansatz eines Stagnationsgradienten von $i_0 = 5$ ein negativer äquivalenter hydraulischer Gradient ermittelt. Somit ergibt sich für die 75 cm mächtige mineralische Dichtung keine Restinfiltration.

Ausgehend von den im Rahmen der Vollständigkeitsprüfung durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen und den nachfolgenden Fachgesprächen wurde die nachfolgende Worst-Case-Betrachtung für die Restinfiltration der Erweiterungsfläche zusätzlich zu der o.g. Annahme durchgeführt.

¹³ Der Unterschied zu den Werten in Band 3.6.3, Teil 2 Anhang 1, Tabelle 4 ergibt sich aufgrund des unterschiedlichen Betrachtungszeitraums. Hier werden die Jahreswerte (Januar – Dezember) dargestellt.

Unter der hypothetischen Annahme, dass der Stagnationsgradient Null ist, der durchschnittliche Niederschlag bei 790 mm/a und die Evaporation bei 0 % liegen, es zu keiner Ausbildung eines Haldenkerns kommt, die Reichweite der Haldenerweiterung rd. 11,1 Jahre bis zum Jahr 2031¹⁴ beträgt und die mineralische Dichtung gravimetrisch vollständig entwässert - was nach dem Stand der geohydraulischen Erkenntnisse aus dem Dichtungsbau äußerst unwahrscheinlich ist - werden nachfolgend die jährlichen theoretischen Restinfiltrationen und Gesamtsalzfrachten für die Erweiterung (Errichtung des Systems Basisabdichtung) berechnet. Eine Übersicht über die ermittelten Restinfiltrationen und Gesamtsalzfrachten für die Erweiterungsfläche sind den nachfolgenden Abbildungen zu entnehmen. Die vollständigen Wertetabellen für die in diesem Kapitel dargestellten Restinfiltrationen und Gesamtsalzfrachten sind in den Anlagen 15.4 und 15.5 und die Flächengrößen der Erweiterung sind in der Anlage 15.1 dargestellt.

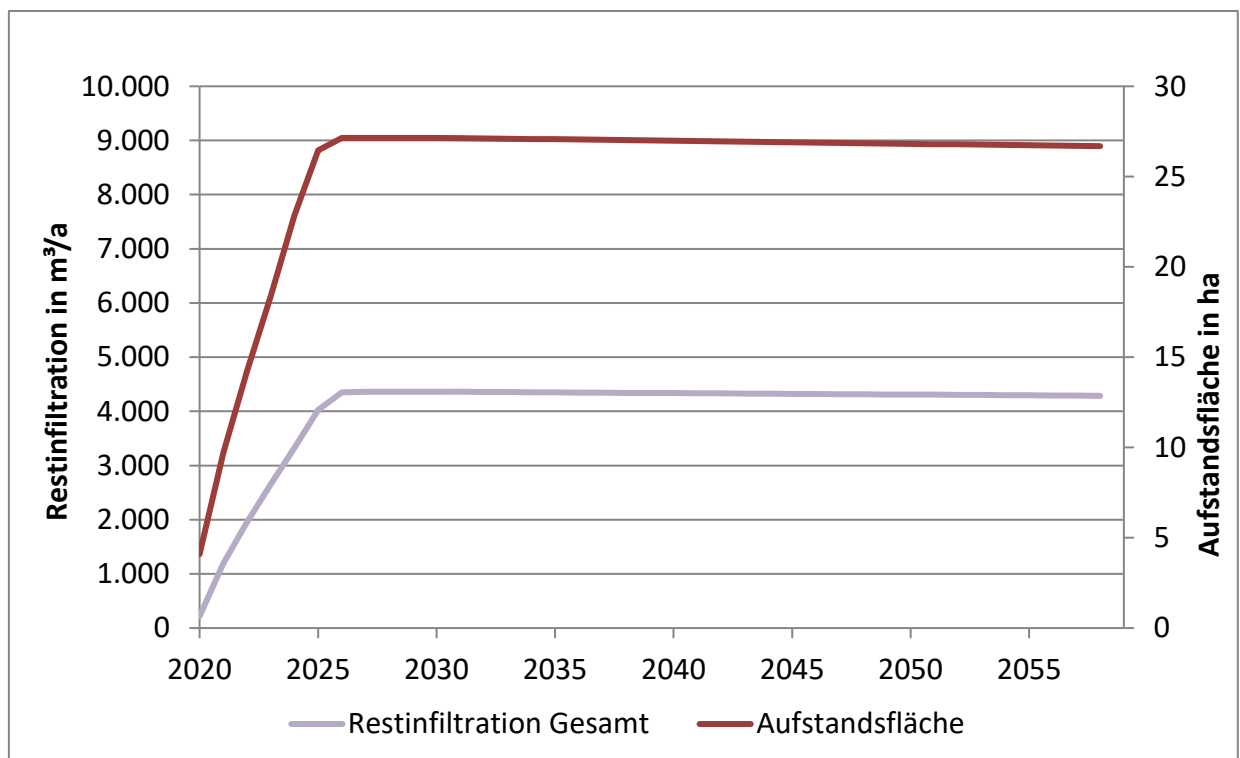


Abbildung 22: Berechnungsergebnisse der theoretischen Restinfiltration für die Erweiterungsfläche, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung

Die Restinfiltration steigt aufgrund der Flächeninanspruchnahme der Erweiterung bis zum Jahr 2026 nahezu kontinuierlich an. Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung wurde angenommen, dass sich kein Haldenkern ausbildet. Ab dem Jahr 2027 erfolgt im Rahmen der Schüttphasen 3 und 4 die Beschüttung der oberen Scheibe. Hierbei ergibt sich keine

¹⁴ Ausgehend von einem Beginn der Aufhaltung in 2020, bei vollständiger Schließung der Berme in Abhängigkeit von den Ergebnissen des Verformungsmonitorings und der Betrachtung hypothetischer Schüttausläufer.

zusätzliche Flächeninanspruchnahme und somit eine konstante Restinfiltration. In der Nachbetriebsphase ab 2031 erfolgt eine kontinuierliche, niederschlagsbedingte Auflösung von Rückstand an der Haldenoberfläche von ca. 20 cm pro Jahr. Diese wurde jeweils prozentual von den Teilflächen abgezogen, so dass sich eine kontinuierliche Reduzierung der Restinfiltration proportional zur Aufstandsfläche ergibt. Eine Fortsetzung dieses Trends unter Annahme der o.g. Ablaugung von ca. 20 cm pro Jahr in der Nachbetriebsphase über den hier gewählten Betrachtungszeitraum bis 2061 hinaus ist zu erwarten. In der Nachbetriebsphase ist es weiterhin möglich, dass sich ein Haldenkern ausbildet. Im Sinne der Worst-Case-Betrachtung ist dies jedoch in der Bilanzierung der Restinfiltration nicht berücksichtigt worden.

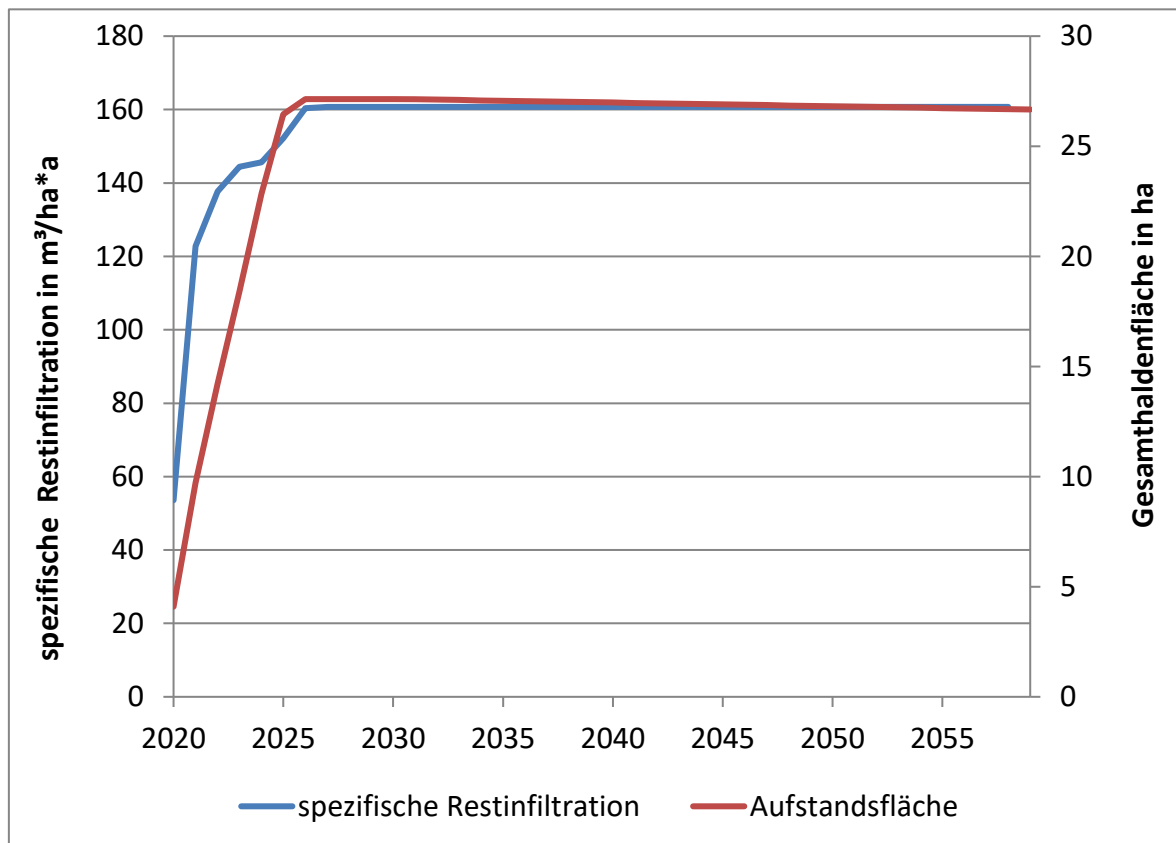


Abbildung 23: Berechnungsergebnisse der spezifischen theoretischen Restinfiltration pro Fläche für die Erweiterung, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung

Wie in der obigen Abbildung zu erkennen ist, steigt die spezifische Restinfiltration mit Inanspruchnahme der Erweiterungsfläche von ca. 122,8 m³/(ha*a) auf ca. 160,7 m³/(ha*a) bzw. von ca. 12,3 mm/a auf 16,1 mm/a. Der anfänglich geringe Wert in 2020 resultiert daraus, dass modelltechnisch eine Belegung der Erweiterungsfläche ab 06/2020 umgesetzt wurde.

Die berechnete Gesamtsalzfracht weist im Vergleich mit der Restinfiltration einen identischen Verlauf auf. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Eine tabellarische Aufstellung ist in der Anlage 15.5 enthalten.

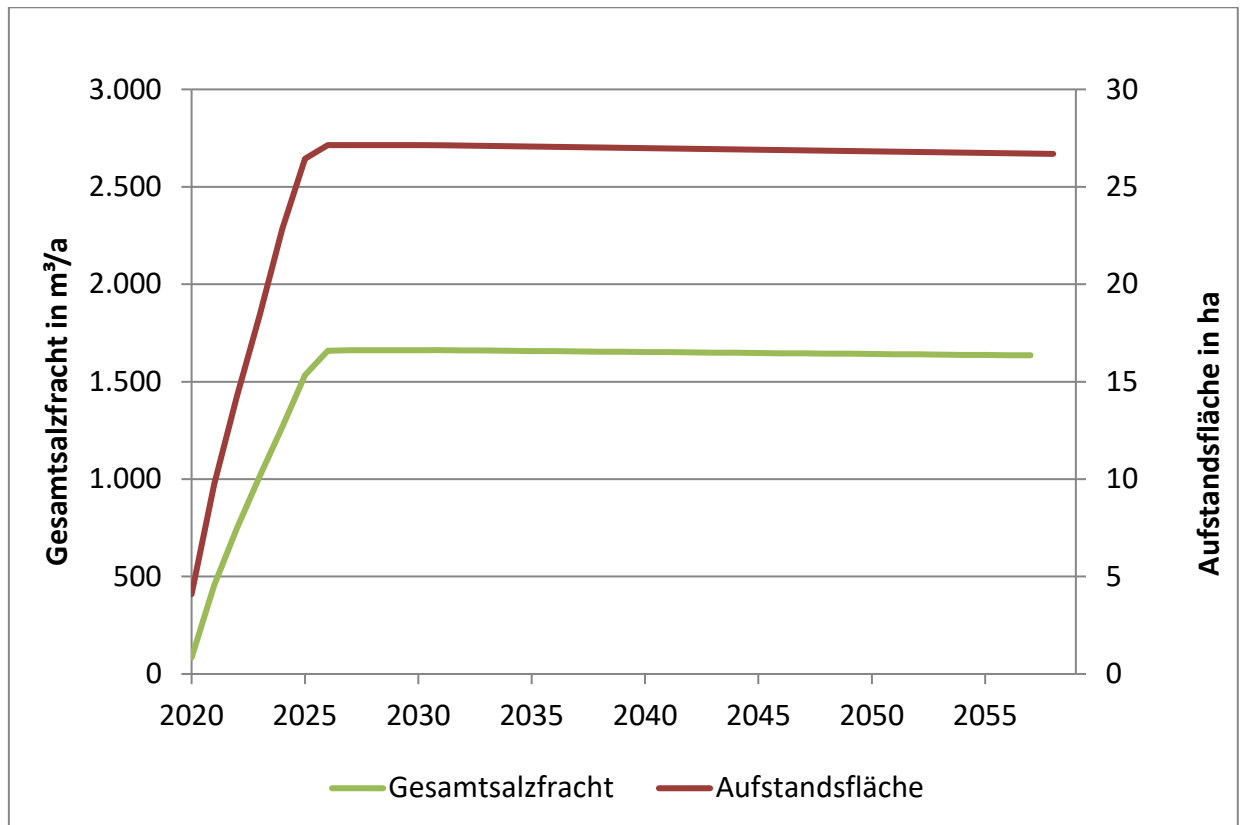


Abbildung 24: Berechnungsergebnisse der Gesamtsalzfracht für die Erweiterung, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung

Bei dieser Darstellung tritt ein nahezu kontinuierlicher Anstieg der Gesamtsalzfracht aufgrund der weiteren Flächeninanspruchnahme der Erweiterungsfläche auf.

Die spezifische Gesamtsalzfracht der Erweiterungsfläche mit Beginn der Inanspruchnahme der Erweiterung beträgt ca. 5 t/(ha*a). Nach vollständiger Beschüttung der Erweiterungsfläche im Jahr 2031 steigt diese auf ca. 60 t/(ha*a) an.

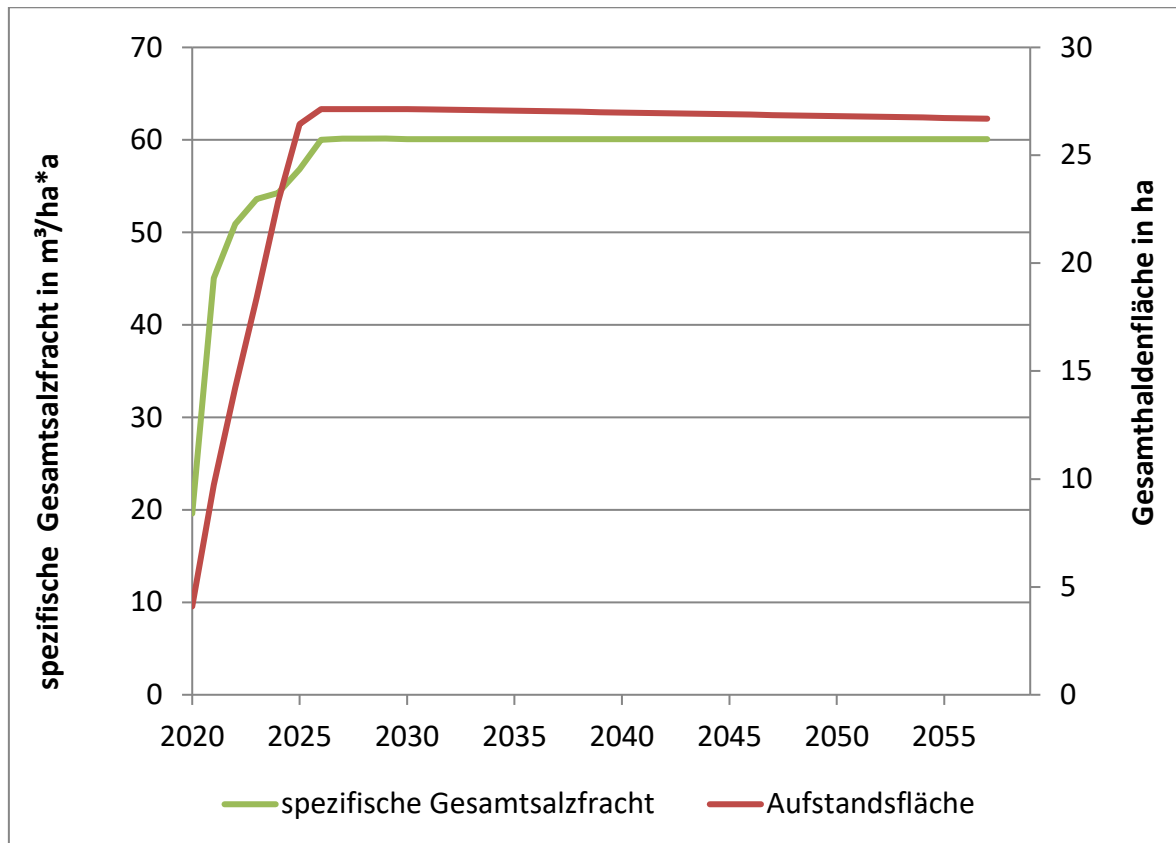


Abbildung 25: Berechnungsergebnisse der spezifischen Gesamtsalzfracht pro Fläche für die Erweiterung, ohne Restinfiltration aus dem Bereich der Anschüttung

Bei einer separaten Betrachtung der Erweiterungsfläche von ca. 27 ha ergibt sich eine jährliche Restinfiltration von ca. 4.400 m³/a (bzw. 16,1 mm/a) und eine jährliche Gesamtsalzfracht von ca. 1.700 t/a.

5.6.4.4.4 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Berechnung der Restinfiltration aus den vorherigen Kapiteln zusammenfassend dargestellt. Mit Hilfe dieser Zusammenstellung soll die Verbesserung der Gesamtsituation am Standort dargestellt werden. Bei der Berechnung der Restinfiltrationen wurde jeweils das Haldenvorfeld mitberücksichtigt:

Tabelle 10: Ergebnisse der Worst-Case-Berechnungen zur Restinfiltration abzgl. der Kompensation¹⁵

Bezeichnung	Restinfiltration in m³/a	Spezifische Restinfiltration in m³/(ha*a) bzw. mm/a	Gesamtsalzfracht in t/a	Spezifische Gesamtsalzfracht in t/(ha*a)
Berechnungsergebnisse zur Restinfiltration				
Bestandshalde nach GWSM (Zeitschnitt 2020)	164.714	1521 bzw. 152,1	62.756	580
Bestandshalde nach GWSM (Zeitschnitt 2031, inkl. Kompensation)	150.888	1392 bzw. 139,2	57.489	530
Erweiterung (Worst-Case-Betrachtung, 2031)	4.362	161 bzw. 16,1	1.662	61
Anschüttung an Bestandshalde (2031)	83.507	2930 bzw. 293,0	31.816	1.116
Vorhabensbedingte Restinfiltration (2031)	87.869	1580 bzw. 185,0	33.478	602
Gesamtsumme (2031)	238.757	1.762 bzw. 176,2	90.967	707

Mit Ende der Beschüttung der Bestandshalde ergeben sich eine Restinfiltration von ca. 165.000 m³/a (152,1 mm/a) und eine Gesamtsalzfracht von ca. 63.000 t/a. Mit Ende der Beschüttung der Erweiterungsfläche ergeben sich im Jahr 2031 eine Restinfiltration von ca. 239.000 m³/a (176,2 mm/a) und eine Gesamtsalzfracht von ca. 91.000 t/a. Somit erhöht sich die Restinfiltration bei der Worst-Case-Betrachtung aufgrund des Vorhabens der Haldenerweiterung im Zeitraum von 2020 bis 2042 um ca. 88.000 m³/a bzw. die Gesamtsalzfracht um ca. 33.000 t/a. Nach Ende des Anfalls der restfeuchtebedingten Restinfiltration im Bereich der Anschüttung an die Bestandshalde sinkt die Restinfiltration am Standort im Jahr 2043 auf ca. 140.000 m³ (103,6 mm/a) bzw. die Gesamtsalzfracht auf ca. 53.000 t/a ab (siehe Anlage 15.2 bzw. 15.3).

¹⁵ Werte gerundet.

Weiterhin ist davon auszugehen, dass im Jahr 2042 (10 Jahre nach Ende der Beschüttung der Erweiterung) die Bildung eines dichten Haldenkerns stattgefunden hat und sich somit die Restinfiltration auf die im Kapitel 5.6.4.3 ermittelten Restinfiltrationsmengen reduziert.

Für die weiterführenden Berechnungen zur Ermittlung des Haldenwasseranfalls im Bereich der Erweiterung wird angenommen, dass ein Stagnationsgradient vorhanden ist (siehe Kapitel 5.6.2.5.1) und damit im Bereich der Erweiterungsfläche keine Restinfiltration auftritt. Für die Ermittlung des maximalen Haldenwasseranfalls ist dies eine Worst-Case-Betrachtung, da sich damit ein höherer Haldenwasseranfall ergibt als unter Berücksichtigung einer Restinfiltration.

6 Berechnungsergebnisse zum Haldenwasseranfall

6.1 Haldenwasseranfall für die Bestandshalde, Basisberechnung

Mit Hilfe des Berechnungsmodells wurde der Haldenwasseranfall für die Bestandshalde in der Betriebsphase von 2013 bis 2020 prognostiziert.

Die Betrachtung erfolgte hierbei jeweils für ein Trockenjahr (1976), ein Feuchtjahr (1987) und ein hydrologisches Durchschnittsjahr (1999), um die mögliche Schwankungsbreite des Haldenwasseranfalls abzubilden. Die im Kapitel 5 beschriebenen Annahmen für die beschriebenen Einflussgrößen wurden hierbei in die Berechnung einbezogen. Die Restinfiltration und die für die Berechnung notwendigen Parameter (Hydraulischer Gradient und Durchlässigkeitsbeiwert) wurden wie in Kapitel 5.6.2 beschrieben für die einzelnen Haldenbereiche separat festgelegt.

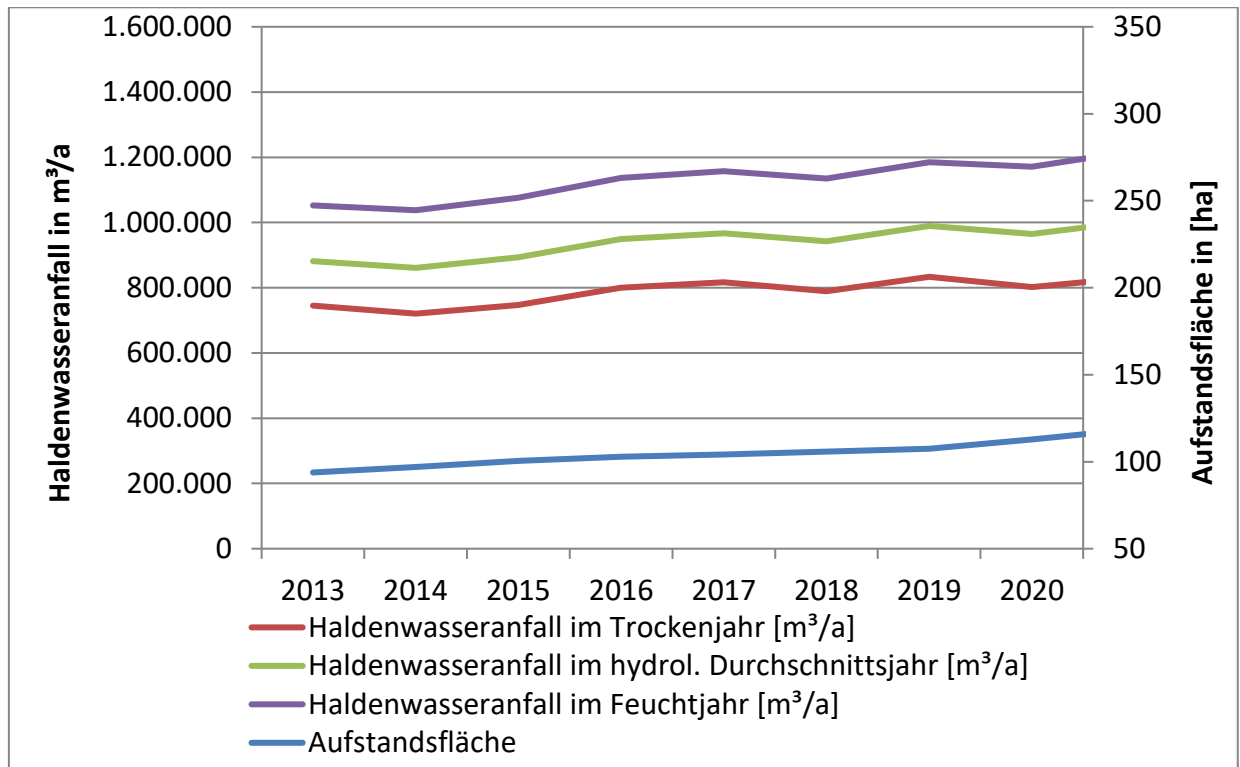


Abbildung 26: Prognostizierter Haldenwasseranfall der Bestandshalde am Standort Wintershall (bis 2020)

In den Jahren 2013 bis 2020 erfolgt die Inanspruchnahme der genehmigten Haldenfläche durch Schüttung vom Haldentop über die Haldenflanke. Hierbei ergeben sich eine annähernd gleichmäßige Flächeninanspruchnahme und somit ein gleichmäßiger Anstieg des Haldenwasseranfalls. Mit vollständiger Beschüttung der Fläche der Bestandshalde ergibt sich für das Trockenjahr ein Haldenwasseranfall von rd. 834.000 m³, für das Durchschnittsjahr ein Haldenwasseranfall von rd. 989.000 m³ und für das Feuchtjahr von rd. 1,2 Mio. m³.

In den Jahren 2016 bis 2019 werden die Sickerwassermengen aus der Fassung Heergraben zusätzlich in das Haldenwasserbecken Heergraben eingeleitet und somit dem Haldenwasseranfall zugerechnet, daher bildet sich ein kurvenartiger Verlauf der Haldenwassermengen aus.

6.2 Haldenwasseranfall für die Erweiterungsfläche, Basisberechnung

Des Weiteren ist für die Betrachtung des Vorhabens Haldenerweiterung die Prognose des zusätzlichen Haldenwasseranfalls, der durch die Beschüttung der Erweiterungsfläche hervorgerufen wird, notwendig. Für die Erweiterung wurde eine Restinfiltration von Null unter Ansatz eines Stagnationsgradienten zugrunde gelegt (siehe Kapitel 5.6.2.5.1). In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse der Prognose dargestellt.

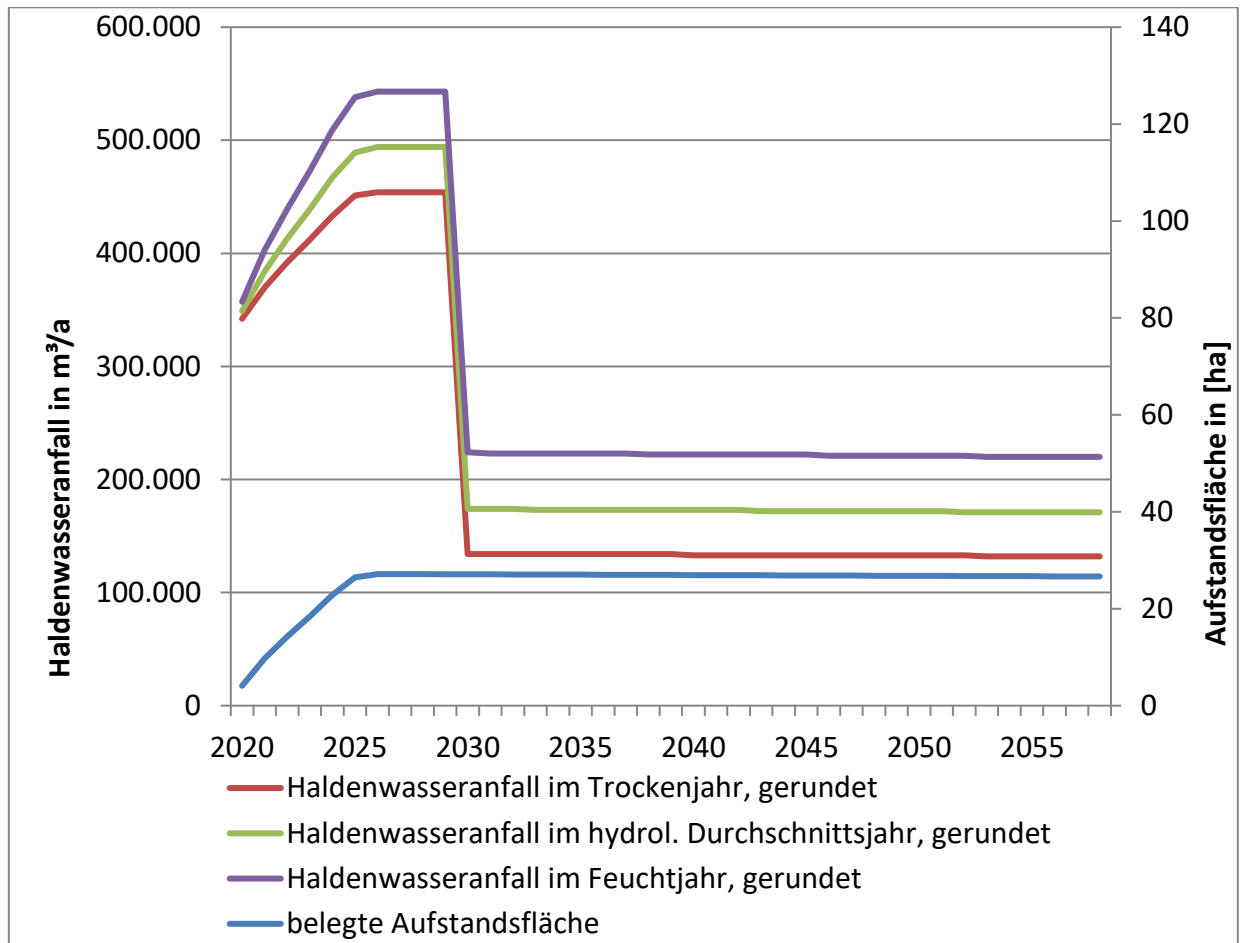


Abbildung 27: Prognostizierter Haldenwasseranfall auf der Erweiterungsfläche am Standort Wintershall (bis 2058)

Wie aus der Abbildung zu erkennen ist, wird der höchste Haldenwasseranfall für die Erweiterung im Zeitraum von 2026 bis 2029 erwartet. Hierbei ergibt sich in Abhängigkeit des realen Jahresniederschlags ein Haldenwasseranfall für die Erweiterungsfläche von ca. 454.000 m³/a bis ca. 543.000 m³/a. Mit Beendigung der Aufhaltung in 2029 fällt der rückstandsbedingte Haldenwasseranteil nach den Festlegungen des Berechnungsmodells nicht mehr an¹⁶, sodass der Haldenwasseranfall in 2030 auf ca. 134.000 m³/a bis ca. 224.000 m³/a sinkt. Danach erfolgt eine kontinuierliche Verringerung der Aufstandsfläche aufgrund von Lösungserscheinungen.

Die Berechnungsergebnisse sind der Anlage 14 zu entnehmen.

¹⁶ Unter realen Bedingungen ist es durchaus wahrscheinlich, dass eine kontinuierliche Abgabe des rückstandsbedingte Haldenwassers über einen längeren Zeitraum erfolgt. Im Sinne einer worst-case-Betrachtung wurde jedoch angenommen, dass der gesamte Anteil des rückstandsbedingte Haldenwassers innerhalb des jeweiligen Jahres anfällt (siehe Kapitel 5.2.3.1)

6.3 Summe des Haldenwasseranfalls für die Bestandshalde und Erweiterungsfläche, Basisberechnung

Die in den Kapiteln 6.1 und 6.2 dargestellten Haldenwassermengen werden hier noch einmal zusammengefasst.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Haldenwassermengen als Summe aus der Bestandshalde und der Erweiterungsfläche dargestellt.

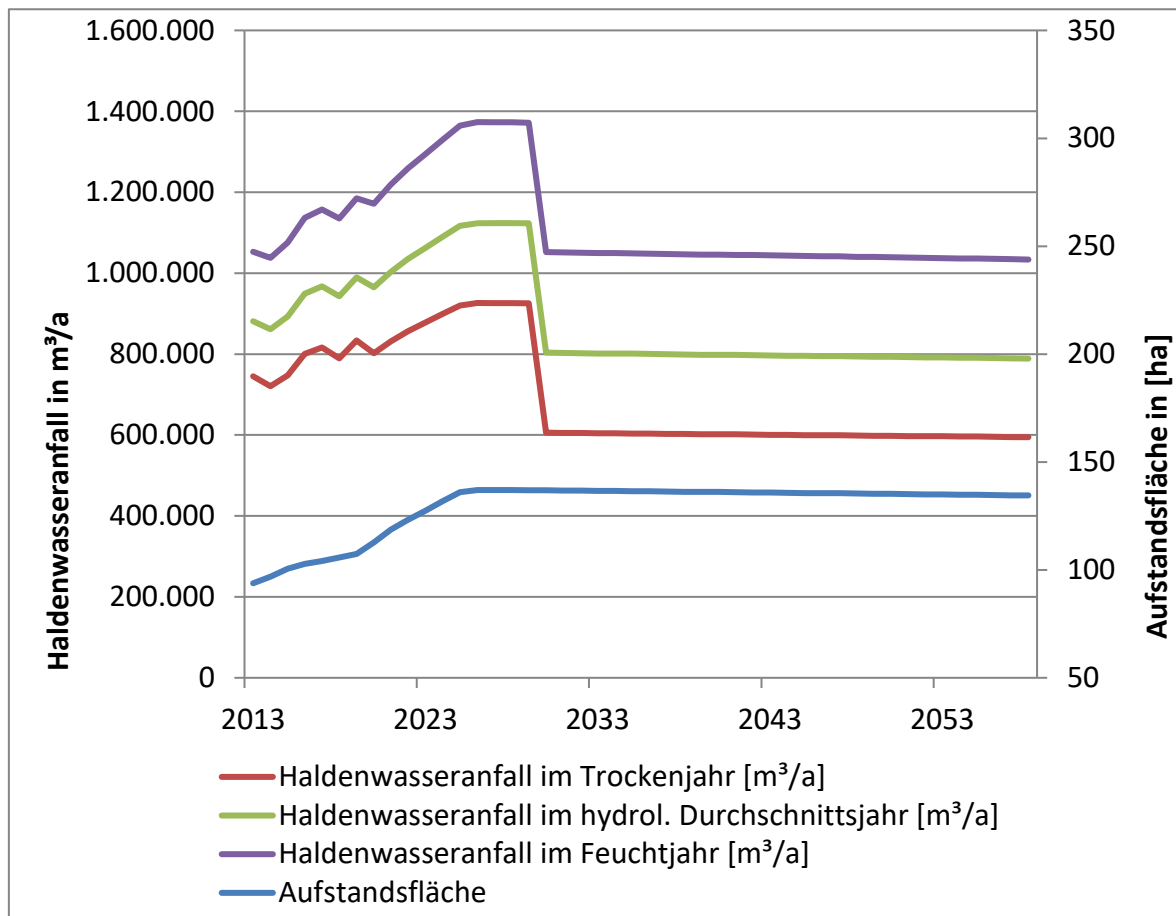


Abbildung 28: Prognostizierter Haldenwasseranfall als Summe der Bestandshalde und der Erweiterungsfläche am Standort Wintershall (bis 2058)

Analog zu den vorherigen Darstellungen wird der höchste Haldenwasseranfall für die Gesamthalde im Zeitraum von 2026 bis 2029 erwartet. Hierbei ergibt sich in Abhängigkeit des realen Jahresniederschlags ein Haldenwasseranfall für die Gesamthalde von ca. 926.000 m³/a bis ca. 1,37 Mio. m³/a. Mit Beendigung der Aufhaldung in 2029 fällt der rückstandsbedingte Haldenwasseranteil nach den Festlegungen des Berechnungsmodells nicht mehr an¹⁷, so dass der Haldenwasseranfall in 2030 auf ca. 606.000 m³/a bis ca.

¹⁷ Unter realen Bedingungen ist es durchaus wahrscheinlich, dass eine kontinuierliche Abgabe des rückstandsbedingte Haldenwassers über einen längeren Zeitraum erfolgt. Im Sinne einer worst-case-

1,05 Mio. m³/a sinkt. Danach erfolgt eine kontinuierliche Verringerung der Aufstandsfläche aufgrund von Lösungserscheinungen und daraus resultierend ein langsamer, kontinuierlicher Rückgang des Haldenwasseranfalls.

Die Berechnungsergebnisse sind der Anlage 13 zu entnehmen.

6.4 Messung des Haldenwasseranfalls am Standort Wintershall

Der prognostizierte und gemessene Haldenwasseranfall sind den real angefallenen Niederschlagsmengen im Bereich der Halde IV in der nachfolgenden Darstellung für den Messzeitraum 2013 bis 2018 gegenübergestellt. Die dargestellten Zahlen enthalten die in der Sickerwasserfassung Heergraben gefassten Mengen, welche seit September 2015 betrieben wird (siehe Kapitel 5.4).

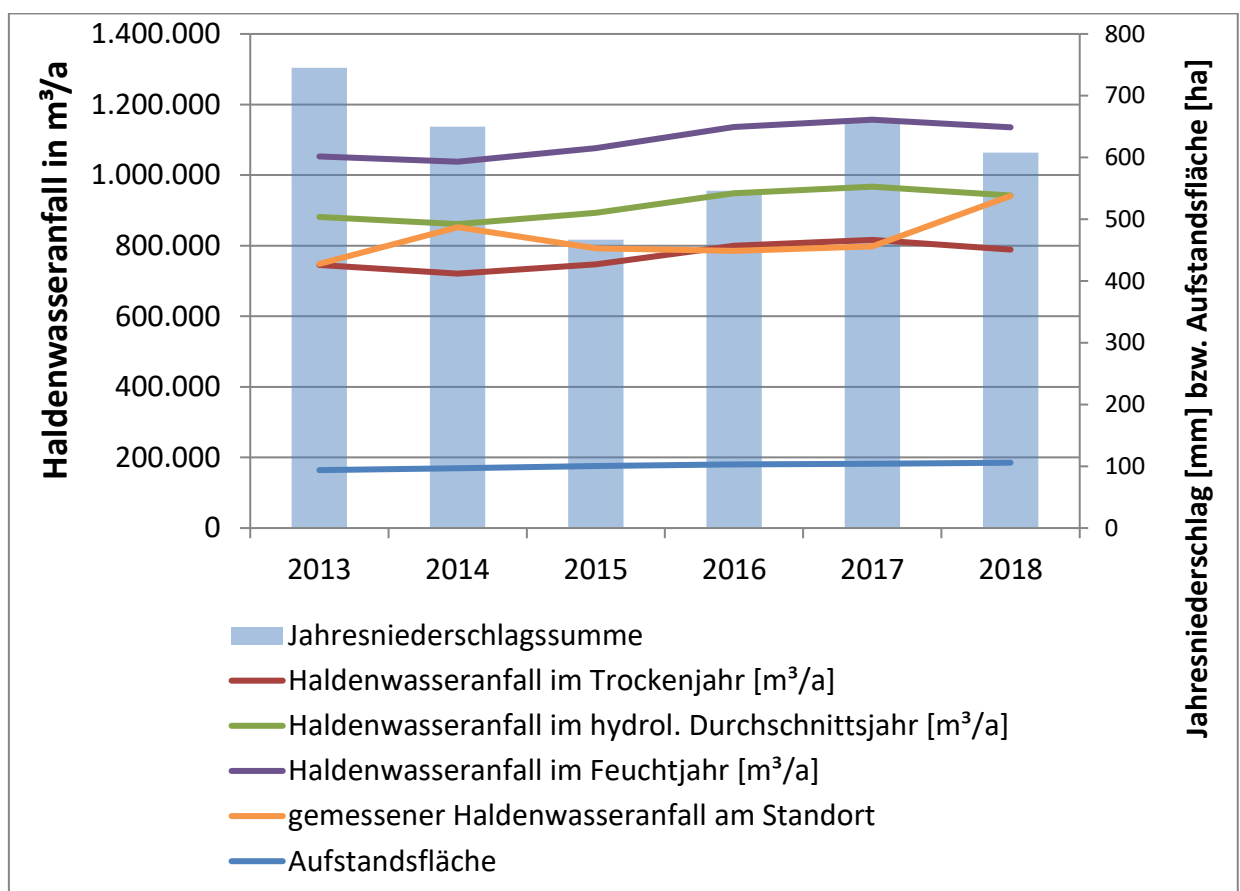


Abbildung 29: Prognostizierter und gemessener Haldenwasseranfall für 2013 bis 2018

Wie der Darstellung zu entnehmen ist, liegen die gemessenen Haldenwassermengen in den Jahren 2013 bis 2018 im Bereich der berechneten Haldenwassermengen für das Durchschnittsjahr. Beim Vergleich der gemessenen und berechneten

Betrachtung wurde jedoch angenommen, dass der gesamte Anteil des rückstandsbedingte Haldenwassers innerhalb des jeweiligen Jahres anfällt (siehe Kapitel 5.2.3.1)

Haldenwassermengen für das Durchschnittsjahr ergibt sich eine maximale Abweichung von weniger als 21 %. Im Jahr 2018 betrug die maximale Abweichung zwischen der gemessenen und berechneten Haldenwassermenge lediglich 0,2 %.

Gegenüber den variierenden Niederschlagsmengen zeigt sich beim gemessenen Haldenwasseranfall eine stark vergleichmäßigte Kurve. Der Haldenwasseranfall bildet die Niederschlagseinflüsse nur verzögert ab, was auf das Puffervermögen des Rückstands und die Sickerzeiten und langen Sickerstrecken innerhalb der Halde zurückzuführen ist.

In den letzten Jahren wurden am Standort unterschiedliche Maßnahmen umgesetzt, die zu einer effektiveren Fassung des Haldenwassers und damit zu einer Erhöhung der ermittelten Haldenwassermengen (siehe Abbildung 29) geführt haben. Diese Maßnahmen werden im Rahmen der Anlage 8 des Bandes 1.1 erläutert und umfassen

- die Wiederherstellung der 1.-10. Teilfläche ab 2013, d.h. Nachverdichten, sofern erforderlich das Einfräsen von Tonmehl, und die vollflächige Dichtung der Haldenaufstandsfläche mit den Qualitätsanforderungen der Mantelzone, Errichtung von haldeninternen Entwässerungselementen in der Mantelzone, Errichtung eines Witterungsschutzes
- den Einbau von Tiefendrainagen an der Ost- und Westseite der Halde (Inbetriebnahme Mai/ Dez. 2014),
- den Einbau der Sickerwasserfassung mit Pumpenschacht im Bereich des ehemaligen Haldenbeckens Heergraben (Inbetriebnahme September 2015) und
- Neugestaltung des Haldenrandstreifens an der Ostseite der Althalde.

Vergleicht man die prognostizierten und gemessenen Haldenwassermengen, so ergibt sich eine maximale Abweichung, ermittelt für das Jahr 2013, von ca. 41 %. Verglichen wurden hierbei jeweils die gemessenen Haldenwasseranfälle mit dem prognostizierten Wert des jeweiligen Niederschlagsszenariums.

6.5 Ergebnisse der Berechnung für die Worst-Case-Betrachtung

6.5.1 Haldenwasseranfalls für die Bestandshalde

Ausgehend von den im Rahmen der Vollständigkeitsprüfung durch die zuständigen Behörden erstellten Stellungnahmen und den nachfolgenden Fachgesprächen wurden im Rahmen der Worst-Case-Betrachtung der Haldenwasseranfall in einem hydrologischen Durchschnittsjahr für die Bestandshalde in der Betriebsphase von 2013 bis 2020 prognostiziert.

Die Wirksamkeit von Poldern hinsichtlich der Reduzierung des Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration der Bestandshalde wird mit Beginn des Vorhabens Haldenerweiterung unterstellt (siehe Kapitel 4).

Die hier beschriebene Vorgehensweise ist konsistent mit den konservativen Ansätzen in den Bänden 3.6.1 (HSM), Anhang 1, sowie Band 3.6.3 (GWSM), Teil 2, Anhang 1.

Hierbei wurden im Vergleich mit der Basisberechnung in den Kapiteln 6.1 bis 6.3 folgende geänderte Annahmen verwendet:

- Ansatz eines mittleren Jahresniederschlags von 790 mm/a,
- Vernachlässigung der Evaporation auf der Rückstandshalde ($E = 0\%$),
- Übernahme der Restinfiltration im Bereich der Bestandshalde aus der worst-case Berechnung (siehe Kapitel 5.6.4.4.1)
- Betrieb der Sickerwasserfassung Heergraben über das Jahr 2019 hinaus bis zum Ende der Nachbetriebsphase (2061). Gefasste Wässer werden als Haldenwässer bilanziert.

Unter Ansatz dieser Annahme ergeben sich die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Haldenwassermengen. Die Basisberechnung stellt hierbei die in Kapitel 6.1 dargestellte Summe des Haldenwasseranfalls für die Bestandshalde bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag (625 mm) dar. Weiterhin ist der prognostizierte Fehler von 34 % für die Basisberechnung dargestellt (Herleitung siehe Kapitel 7.7).

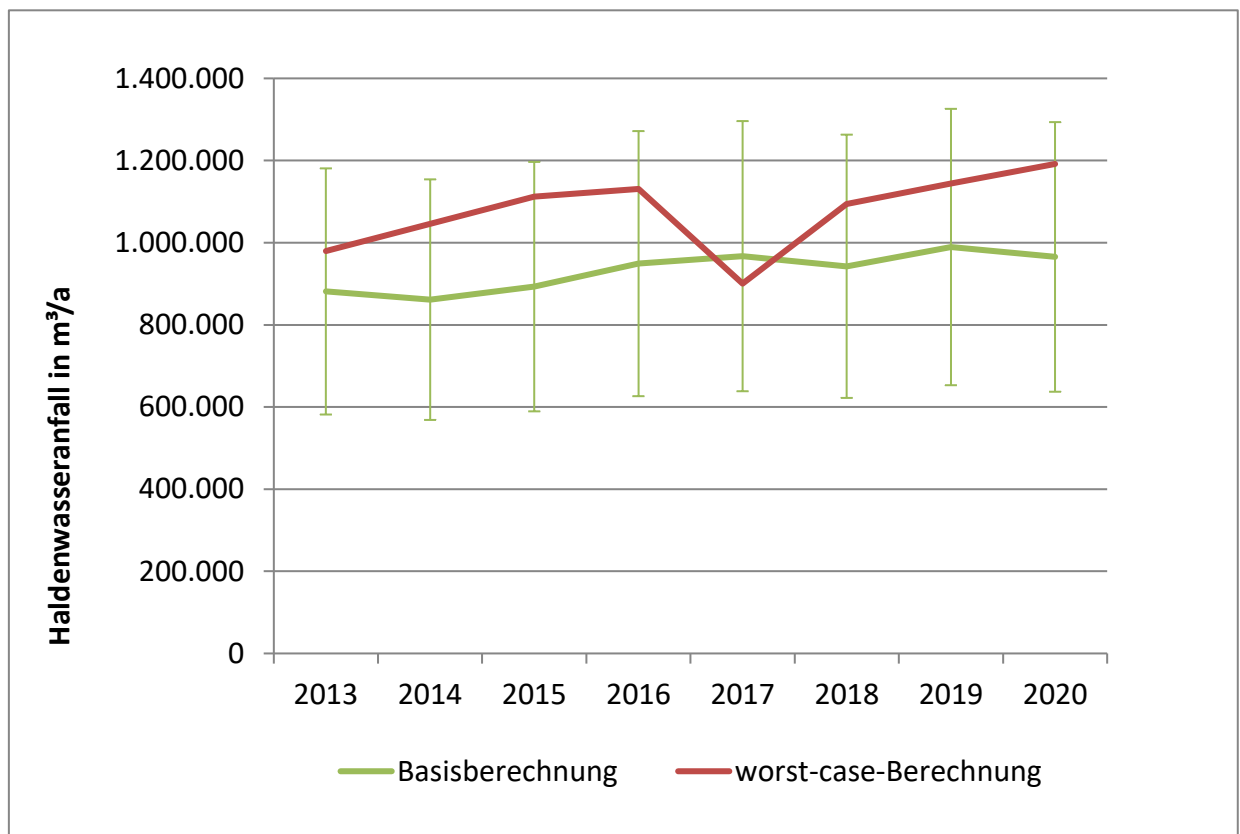


Abbildung 30: Prognostizierter Worst-Case-Haldenwasseranfall der Bestandshalde am Standort Wintershall (bis 2020)

In den Jahren 2013 bis 2020 erfolgt die Inanspruchnahme der genehmigten Haldenfläche durch Schüttung vom Haldentop über die Haldenflanke. Hierbei ergeben sich eine annähernd gleichmäßige Flächeninanspruchnahme und ein gleichmäßiger Anstieg des Haldenwasseranfalls. Mit vollständiger Beschüttung der Fläche der Bestandshalde ergibt

sich für die Basisberechnung von rd. 965.000 m³ und für die worst-case-Berechnung von rd. 1,2 Mio. m³. Hierbei liegt der Haldenwasseranfall für die worst-case-Berechnung innerhalb des ausgewiesenen Fehlerbereichs für die Basisberechnung von 34 % (Herleitung siehe Kapitel 7.7). Die Worst-Case-Betrachtung der worst-case-Berechnung wird somit durch die Basisberechnung abgedeckt.

In den Jahren ab 2016 werden die Sickerwassermengen aus der Fassung Heergraben zusätzlich in das Haldenwasserbecken Heergraben eingeleitet und somit dem Haldenwasseranfall zugerechnet, daher bildet sich ein kurvenartiger Verlauf der Haldenwassermengen aus.

Die Berechnungsergebnisse sind der Anlage 15.6 zu entnehmen.

6.5.2 Haldenwasserminimierung der Bestandshalde durch Errichtung der Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde und der Erweiterung

Für die Worst-Case-Betrachtung wird die Reduzierung des Haldenwasseranfalls durch die Sickerwasserminimierungsmaßnahmen unterstellt. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Zum Vergleich wurde auch für die Basisberechnung die Haldenwasserminimierung durch die Errichtung der Polder ausgewiesen.

Tabelle 11: Ergebnisse der Berechnungen zum Minimierungspotential durch die Errichtung der Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde und der Erweiterung

	Fläche in ha	wirksamen Fläche (95 %)	Haldenwasserminimierung für die worst-case- Berechnung in m³/a¹⁸	Haldenwasserminimierung für die Basisberechnung in m³/a¹⁹
Polder A	1,25	1,19	9.400	7.400
Polder B	0,99	0,94	7.400	5.900
Polder C	6,55	6,22	49.200	38.900
Polder A+	3,28	3,12	24.600	19.500
Polder E	3,26	3,10	24.500	19.400

¹⁸ Zahlen gerundet.

¹⁹ Zahlen gerundet.

Summe	15,33	14,56	115.100	91.100
--------------	--------------	--------------	----------------	---------------

Nach Errichtung aller Polderbecken (ca. 15 ha) ergibt sich unter den Annahmen der Worst-Case Berechnung somit eine Haldenwasserminimierung von 115.100 m³/a. Diese Menge wird von dem jeweiligen Haldenwasseranfall an der Bestandshalde abgezogen. Diese Haldenwassermenge dient als anteilige Kompensation des Haldenwasseranfalls aus der Erweiterung.

6.5.3 Haldenwasseranfall für die Erweiterungsfläche

Des Weiteren ist für die Betrachtung des Vorhabens Haldenerweiterung die Prognose des zusätzlichen Haldenwasseranfalls, der durch die Beschüttung der Erweiterungsfläche hervorgerufen wird, in einem hydrologischen Durchschnittsjahr notwendig. Für die Erweiterung wurde eine Restinfiltration von Null unter Ansatz eines Stagnationsgradienten zugrunde gelegt (siehe Kapitel 5.6.2.5.1). Die geänderten Eingangsparameter sind im Kapitel 6.5.1 aufgeführt.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse der Prognose für den worst case den Ergebnissen der Basisberechnung gegenübergestellt.

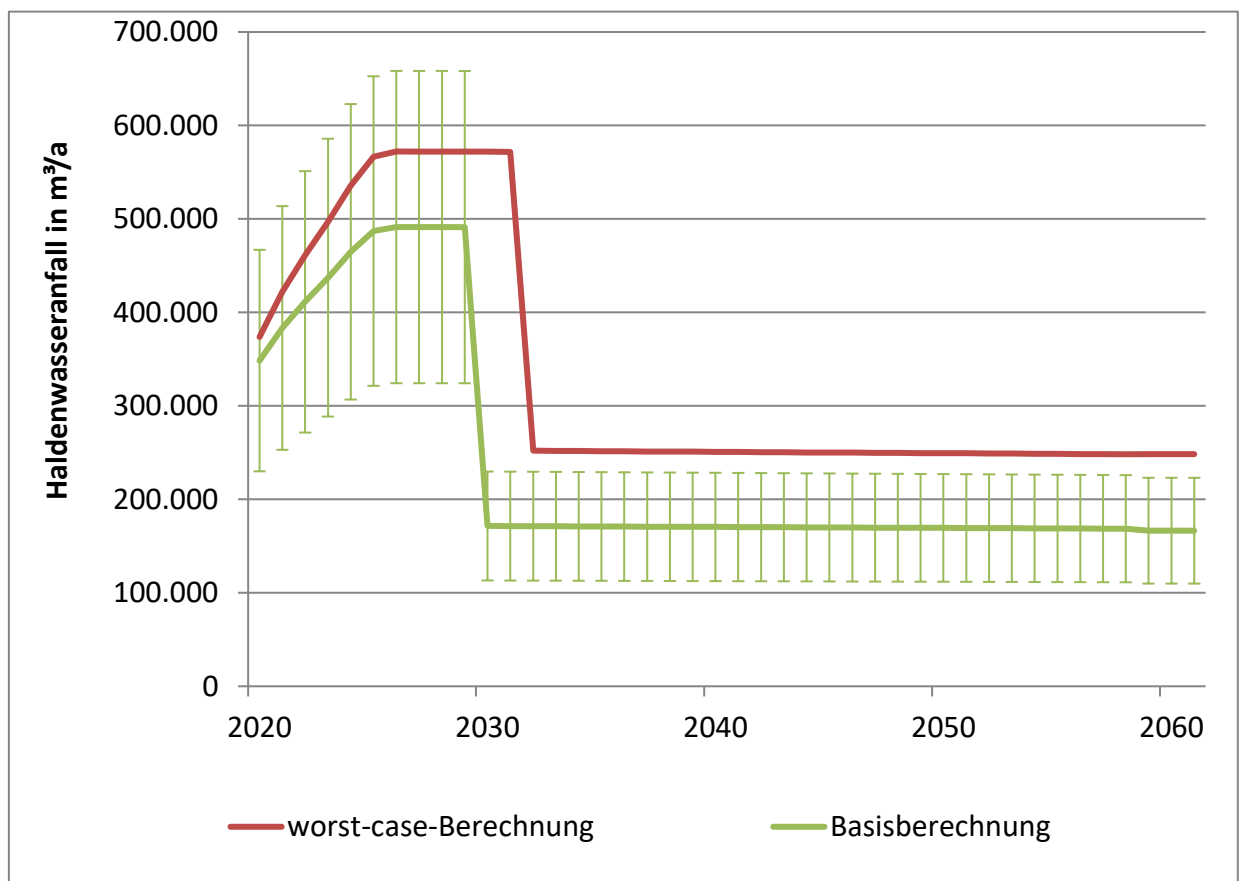


Abbildung 31: Prognostizierter Worst-Case-Haldenwasseranfall auf der Erweiterungsfläche am Standort Wintershall (bis 2061)

Wie aus der vorherigen Abbildung zu sehen ist, ergibt sich für die Erweiterungsfläche nur eine geringfügige Erhöhung des Haldenwasseranfalls aufgrund der Worst-Case-Annahmen. Für die Erweiterung (ca. 27 ha) errechnet sich ein Haldenwasseranfall von ca. 572.000 m³/a, der in der Nachbetriebsphase (ab 2032) auf ca. 251.000 m³/a absinkt. Dies entspricht im Vergleich mit der Basisberechnung in der Betriebsphase bis 2031 einer Erhöhung um max. 16 % und in der Nachbetriebsphase um max. 32 %. Der Worst-Case-Haldenwasseranfall liegt auch hier somit eindeutig innerhalb des ausgewiesenen Fehlerquotienten von 34%. Zu beachten ist die Betrachtung einer Betriebsphase bis 2029 in der Basisberechnung und bis 2031 in der Worst-case-Berechnung, was die Verschiebung beider Kurven in obiger Abbildung bedingt.

Die Berechnungsergebnisse sind der Anlage 15.6 zu entnehmen.

6.5.4 Summe des Haldenwasseranfalls für die Bestandshalde und Erweiterungsfläche abzgl. der Sickerwasserminimierungsmaßnahmen

Die in den Kapiteln 6.5.1 bis 6.5.3 dargestellten Haldenwassermengen werden hier noch einmal zusammengefasst.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Haldenwassermengen als Summe aus der Bestandshalde und der Erweiterungsfläche abzüglich der Sickerwasserminimierungsmaßnahme Polder auf dem Haldentop der Bestandshalde und der Erweiterung dargestellt.

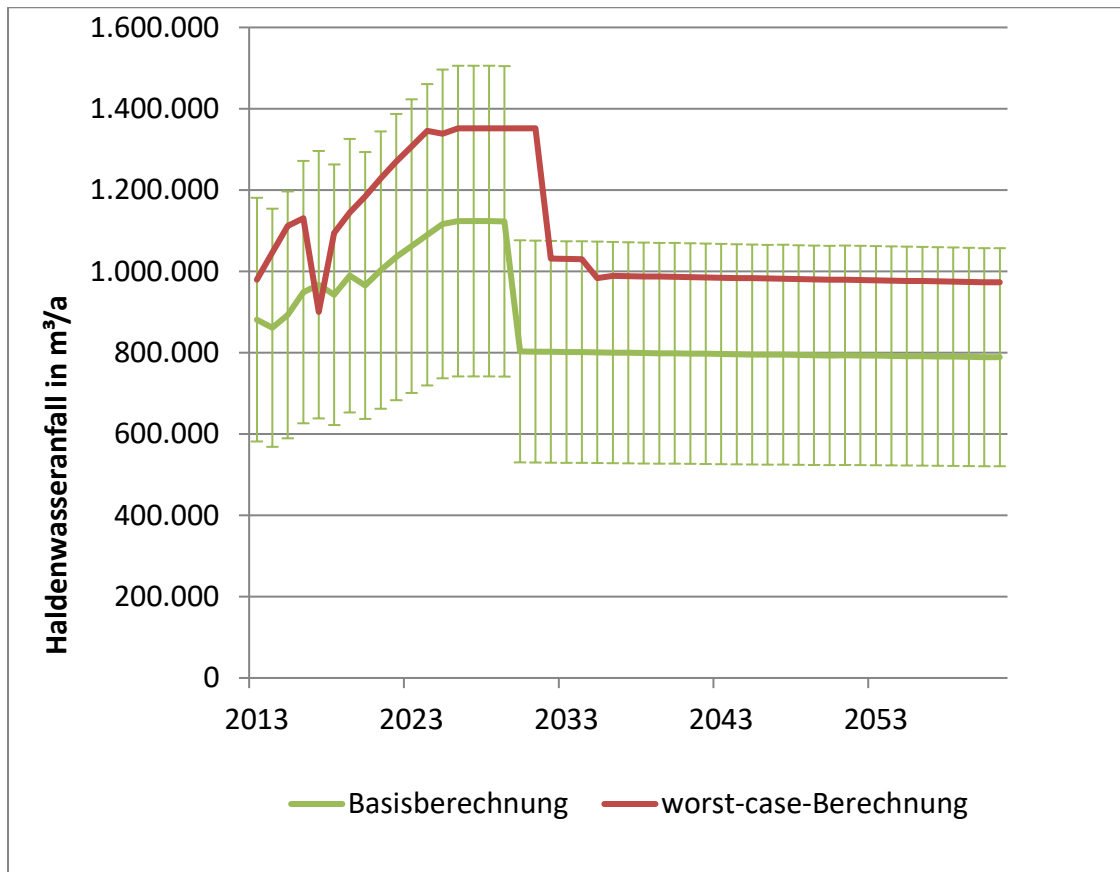


Abbildung 32: Vergleich des prognostizierter Haldenwasseranfall als Summe der Bestandshalde und der Erweiterungsfläche für die Worst-Case-Betrachtung abzgl. Kompensation (bis 2061) mit dem prognostizierten Haldenwasseranfall der Basisberechnung (bis 2059) am Standort Wintershall

Analog zu den vorherigen Darstellungen wird der höchste Haldenwasseranfall für die worst-case-Berechnung im Zeitraum von 2026 bis 2031 erwartet. Hierbei ergibt sich für das Durchschnittsjahr ein Haldenwasseranfall für die Gesamthalde abzgl. Kompensation von ca. 1,35 Mio. m³/a. Ab dem Jahr 2016 werden die Sickerwassermengen aus der Fassung Heergraben zusätzlich in das Haldenwasserbecken Heergraben eingeleitet und somit dem Haldenwasseranfall zugeschlagen, daher bildet sich der kurvenartige Verlauf der Haldenwassermengen aus. Mit Beendigung der Aufhaltung in 2031 fällt der rückstandsbedingte Haldenwasseranteil nach den Festlegungen des Berechnungsmodells nicht mehr an²⁰, so dass der Haldenwasseranfall in 2032 auf ca. 1,03 Mio. m³/a abzgl. Kompensation sinkt. Danach erfolgt eine kontinuierliche Verringerung der Aufstandsfläche

²⁰ Unter realen Bedingungen ist es durchaus wahrscheinlich, dass eine kontinuierliche Abgabe des rückstandsbedingte Haldenwassers über einen längeren Zeitraum erfolgt. Im Sinne einer worst-case-Betrachtung wurde jedoch angenommen, dass der gesamte Anteil des rückstandsbedingte Haldenwassers innerhalb des jeweiligen Jahres anfällt (siehe Kapitel 5.2.3.1)

aufgrund von Lösungserscheinungen und daraus resultierend ein langsamer, kontinuierlicher Rückgang des Haldenwasseranfalls.

Im Vergleich mit der Basisberechnung ergibt sich ein ähnliches Bild wie in den vorherigen Darstellungen. In der Betriebsphase liegt der Haldenwasseranfall der worst-case-Berechnung innerhalb des ausgewiesenen Fehlerquotienten der Basisberechnung. In der Nachbetriebsphase liegt er leicht über dem Fehlermaß der Basisberechnung (max. 27 %).

Die Berechnungsergebnisse sind der Anlage 15.6 zu entnehmen.

6.5.5 Messung des Haldenwasseranfalls am Standort Wintershall

Der prognostizierte Worst-Case-Haldenwasseranfall und der gemessene Haldenwasseranfall sind den real angefallenen Niederschlagsmengen im Bereich der Halde IV in der nachfolgenden Darstellung für den Messzeitraum 2013 bis 2018 gegenübergestellt. Die dargestellten Zahlen enthalten die in der Sickerwasserfassung Heergraben gefassten Mengen, welche seit September 2015 betrieben wird (siehe Kapitel 5.4).

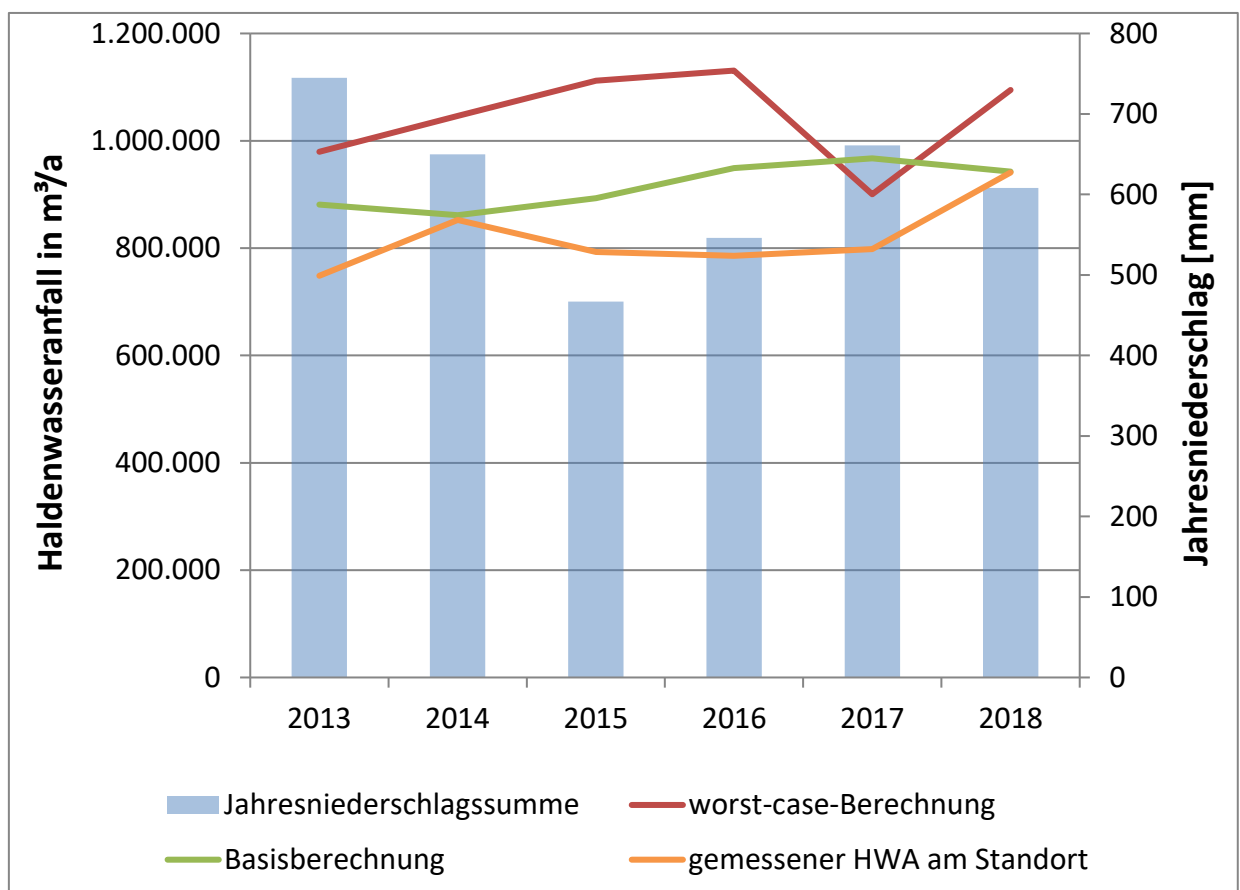


Abbildung 33: Prognostizierter Worst-Case-Haldenwasseranfall inkl. Kompensation durch Polder auf dem Haldentop, prognostizierter Haldenwasseranfall der Basisberechnung und gemessener Haldenwasseranfall für 2013 bis 2018

Vergleicht man den prognostizierten worst-case-Haldenwasseranfall und die gemessenen Haldenwassermengen, so ergibt sich eine maximale Abweichung im Sinne einer Überschätzung des Modells, ermittelt für das Jahr 2016, von ca. 44 %. Verglichen wurden hierbei jeweils die gemessenen Haldenwasseranfälle mit dem prognostizierten Wert der Worst-Case-Berechnung. Vergleicht man die worst-case-Ergebnisse mit den Ergebnissen der Basisberechnung ergibt sich bei der Basisberechnung eine bessere Annäherung an die am Standort gemessenen Haldenwassermengen. Die Basisberechnung ist daher besser geeignet den zukünftigen Haldenwasseranfall zu prognostizieren.

7 Sensitivitätsanalyse für die Basisberechnung

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

- Differenz zwischen Niederschlag im Bereich der Messstellen und der Rückstandshalde mit ihrem eigenen Kleinklima,
- Puffervermögen der Rückstandshalde
- Schwankungen der Evaporation
- Variation des Wassergehaltes des aufgehaldeten Rückstands
- Zuflüsse aus dem Bereich des Haldenrandwegs und in Vorbereitung befindlicher künftiger Haldenaufstandsflächen
- Sonstige Einflussfaktoren

Nachfolgend werden diese Einflussfaktoren näher beschrieben.

7.1 Niederschlag

Die für die Basisberechnung notwendigen Niederschlagswerte wurden den Wetterdaten der Wetterstation an der Halde IV bzw. der DWD-Wetterstationen Philippsthal-Röhrigshof und Kassel entnommen.

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 Literaturangaben²¹ auf rund 15 bis 20 % Abweichung vom tatsächlichen Wert summieren. Eine Fehlerkorrektur der Niederschlagswerte ist unerlässlich. Deshalb wurde im Rahmen der Betrachtung des Haldenwasseranfalls eines Trocken-, Durchschnitts- und Feuchtjahres auf Niederschlagsdaten des DWD zurückgegriffen. Dies erfolgte in Anlehnung an die für

²¹ 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)

Abflussbetrachtungen im Zusammenhang mit Wasserrechtsanträgen der K+S verwendeten Zahlen.

Eine Abbildung der komplexen kleinklimatischen Verhältnisse am Standort ist nicht möglich. Es ergibt sich eine erste 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. Ein Vergleich des gemessenen Haldenwasseranfalls mit den Niederschlagswerten der Region (z.B. in Abbildung 29) zeigt keine direkte Abhängigkeit, da aufgrund der Zwischenspeicherung der Niederschläge im Haldenkörper eine Vergleichmäßigung des Abflusses erfolgt. Dieser kann ggf. durch Starkniederschläge überlagert werden, was zu einem kurzzeitigen zusätzlichen Abfluss über das Haldenvorfeld führt. Hierbei handelt es sich um singuläre Ereignisse, die im Rahmen der Jahresbilanz keinen wesentlichen Einfluss haben.

In der nachfolgenden Tabelle sind der minimale und maximale Haldenwasseranfall für die Gesamthalde (Bestandshalde und Erweiterung) bei einer Abweichung der Niederschlagsmengen von 20 % für die Referenzjahre (trocken, feucht, mittleres Jahr) für den Zeitschnitt 2030 dargestellt.

Tabelle 12: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Niederschlag)

Parameter	Einheit	Wert		
		Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Prognostizierter Haldenwasseranfall	m³/a	925.986	1.123.730	1.372.998
Minimaler Haldenwasseranfall (-20% Niederschlag)	m³/a	791.464	949.659	1.149.074
Anteil	%	85	85	84
Maximaler Haldenwasseranfall (+20% Niederschlag)	m³/a	1.060.507	1.297.800	1.596.923
Anteil	%	115	115	116

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch den niederschlagsbedingten Fehler von ± 16 %.

Weiterhin wurde im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung eine Berechnung des Haldenwasseranfalls unter Annahme abweichender Niederschlagswerte vorgenommen. Hierzu wurden die Daten der Niederschlagsmessungen am Standort Wintershall, der DWD-

Station Philippsthal-Röhrigshof, der DWD-Station Heringen (Werra) (siehe Anlage 11 des Bandes 3.6.1) und der Flächendatensätze des DWD zum Vergleich herangezogen.

Die einzelnen Niederschlagsmengen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 13: verwendete Niederschlagsmengen

Messstation	Einheit	Wert		
		Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
DWD-Station Philippsthal-Röhrigshof (ID 3931) ²² („Röhrigshof HWA“)	mm/a	410	695	1144
Niederschlagsmessung Halde IV ²³ („Halde HWA“)	mm/a	460	589	755
DWD--Station Heringen (Werra) (ID 2148) (Übergabe HLNUG, siehe Anlage 11, Band 3.6.1) ²⁴ („Band 3.6.1_A11 HWA“)	mm/a	577	676	811
DWD Flächige Niederschlagswerte („DWD fläche HWA“) ²⁵	mm/a	569	762	986

In der nachfolgenden Abbildung ist der Haldenwasseranfall aus der Basisberechnung als durchgehende Linie („Antrag HWA“) mit dem Fehlerindikator von $\pm 34 \%$ (siehe Kapitel 7.7) dargestellt. Die gestrichelten Linien basieren auf den Berechnungen mit den Niederschlagsdaten aus den anderen Datenquellen.

²² Jahresniederschlag von 1927 bis 2004

²³ Zeitraum: 2003 bis 2017

²⁴ Zeitraum 2003 bis 2016

²⁵ Quelle: Fachliche Stellungnahme zu den Antragsunterlagen der K+S Kali GmbH HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH vom 18.01.2019

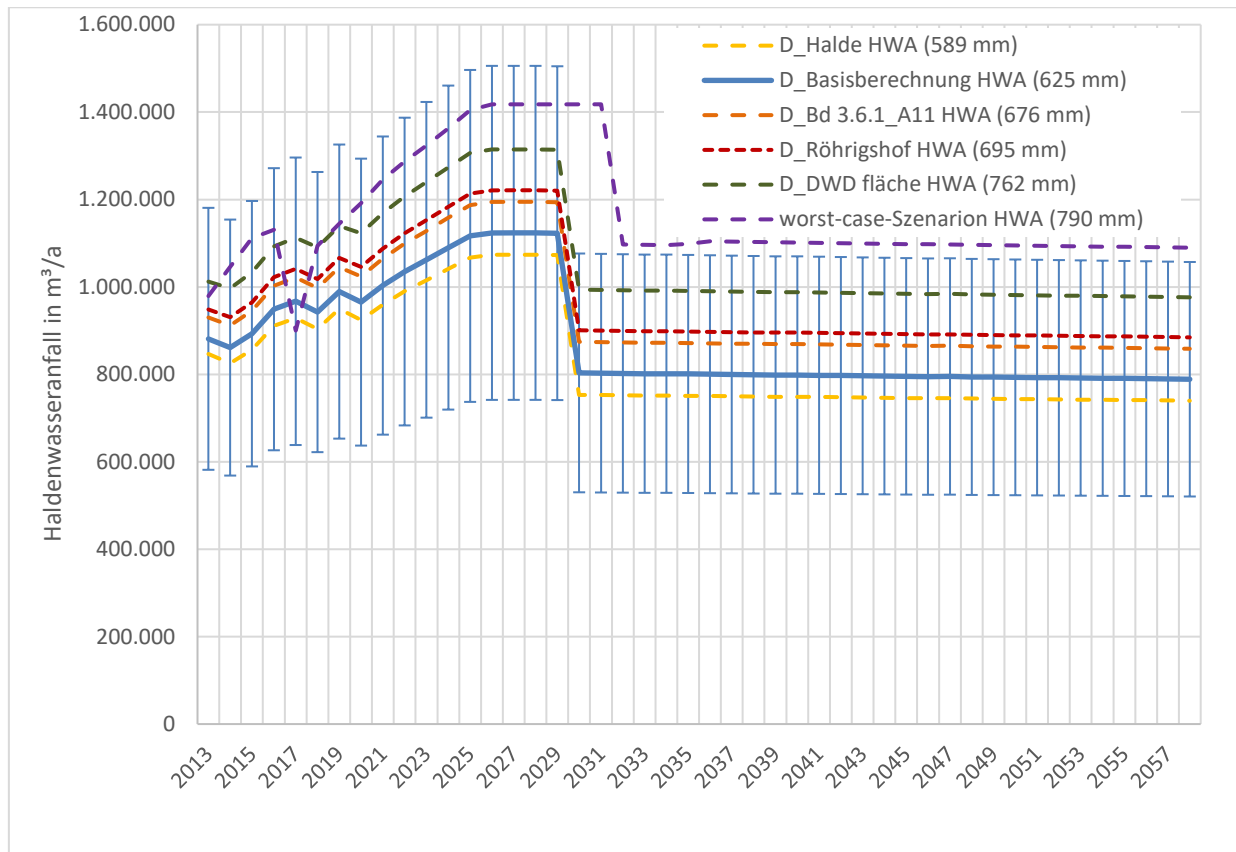


Abbildung 34: Prognostizierter Haldenwasseranfall für Niederschläge im Durchschnittsjahr zwischen 589 mm bis 790 mm ohne Ansatz der Kompensation (Abkürzungen der Stationen siehe Tabelle 13)

Wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, liegt der Haldenwasseranfall bei Ansatz eines höheren Niederschlags für ein Durchschnittsjahr innerhalb des Prognosefehlers, der für den Haldenwasseranfall bei einem Durchschnittsniederschlag von 625 mm/a (Basisberechnung) ermittelt wurde. Im dargestellten worst-case Szenario wurde hier keine Kompensationswirkung durch Polder unterstellt.

Auch im Trockenjahr liegt der Haldenwasseranfall bei Ansatz unterschiedlicher Niederschlagsmengen innerhalb des Prognosefehlers. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

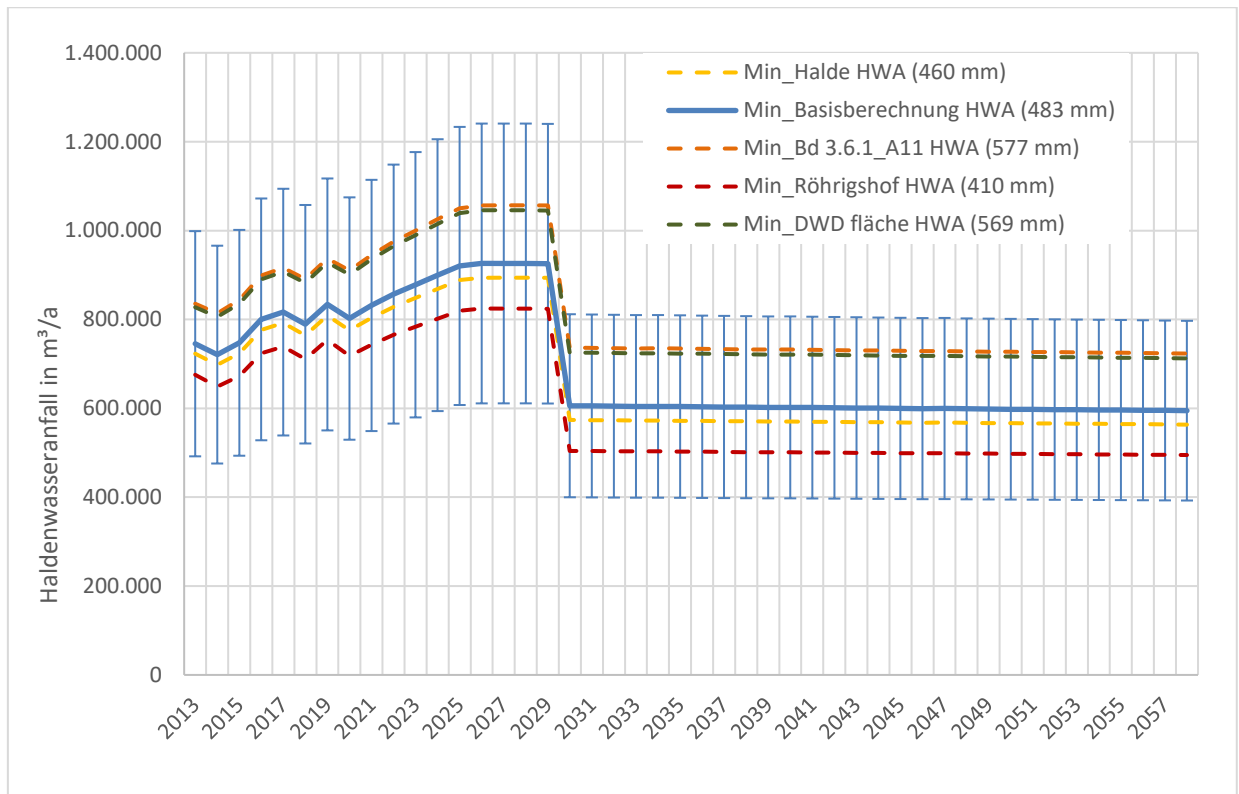


Abbildung 35: Prognostizierter Haldenwasseranfall für Niederschläge im Trockenjahr zwischen 410 mm bis 577 mm (Abkürzungen der Stationen siehe Tabelle 13)

Gleiches gilt auch für den Haldenwasseranfall im Feuchtjahr. Der Haldenwasseranfall ist in der nachfolgenden Abbildung analog zur vorherigen Abbildung dargestellt.

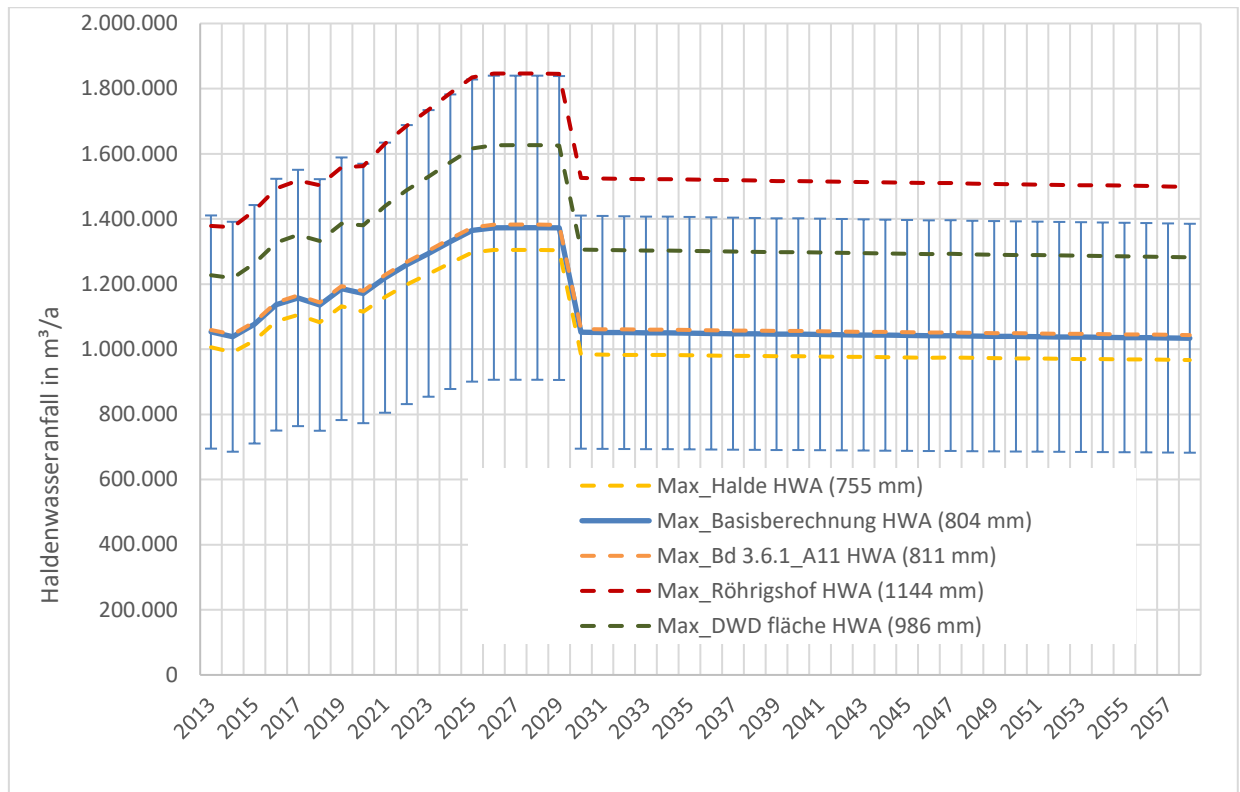


Abbildung 36: Prognostizierter Haldenwasseranfall für Niederschläge im Feuchthjahr zwischen 755 mm bis 1144 mm (Abkürzungen der Stationen siehe Tabelle 13)

Erst bei einem Jahresniederschlag von mehr als 1100 mm/a für ein Feuchthjahr würde sich eine Haldenwassermenge außerhalb des Prognosefehlers von 34% ergeben. Die Annahme der Prognose zum Haldenwasseranfall ist somit ausreichend konservativ.

7.2 Aufsalzungsfaktor

Der Aufsalzungsfaktor ist vor allem abhängig von der Dichte der Sickerwasserlösung, welche wiederum abhängig von der Rückstandszusammensetzung und deren Magnesiumgehalt ist.

Neben der im Kapitel 5.2.2 beschriebenen Bestimmung des Aufsalzungsfaktors wurde auch im Rahmen des in Kapitel 5.2.5 beschriebenen Flächenlysimeterversuchs auf der Halde IV in Wintershall ein Aufsalzungsfaktor ermittelt. Dieser lag bei ca. 1,14 und somit ca. 3 % über dem für die Berechnung angesetzten Aufsalzungsfaktor.

Tabelle 14: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Aufsalzungsfaktor)

Parameter	Einheit	Wert		
		Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Prognostizierter Haldenwasseranfall	m³/a	925.986	1.123.730	1.372.998
Minimaler Haldenwasseranfall (-3% Aufsalzungsfaktor)	m³/a	899.478	1.091.969	1.334.616
Anteil	%	97	97	97
Maximaler Haldenwasseranfall (+3% Aufsalzungsfaktor)	m³/a	952.493	1.155.490	1.411.381
Anteil	%	103	103	103

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch den Fehler des Aufsalzungsfaktors von $\pm 3 \%$.

7.3 Puffervermögen der Rückstandshalde

Bei den durchgeführten Säulenversuchen (siehe Kapitel 5.2.4 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 von 6,2 %. 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 3.15: „Haldenkörperverhalten - Auswertung der Haldenkörperbohrung am Standort Wintershall unter Einbeziehung der Ergebnisse für den Standort Hattorf“ sind im Kap. 5.2 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 Haldeninneren - kommt. Dies ist auch aus den ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten der Haldenbohrungen zu erkennen. Hierbei ergaben sich Durchlässigkeitsbeiwerte von $< 7,5 \cdot 10^{-11}$ bis $1,1 \cdot 10^{-4}$ (siehe Kapitel 5.1.3 des Bands 3.15). In den weniger durchlässigen Bereichen des Haldeninneren vergrößert sich somit das Puffervermögen des Rückstandes, bzw. verlängern sich die Sickerzeiten bei

geringeren Durchlässigkeiten. Unter Berücksichtigung der teils langen Sickerstrecken kommt es zu einem verzögerten Abfluss des auftreffenden Niederschlags.

7.4 Evaporation

Wie aus den Ergebnissen des Lysimeterversuchs (siehe Kapitel 5.2.5 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 (siehe Kapitel 5.2.5 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 Tabelle 10 in Anhang 1). Diese Schwankungen beeinflussen den realen Haldenwasseranfall.

In der nachfolgenden Tabelle sind der minimale und maximale Haldenwasseranfall bei einer Variation der Evaporation zwischen 0 % und 25,5 % für die Gesamthalde (Bestandshalde und Erweiterung) dargestellt.

Tabelle 15: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Evaporation)

Parameter	Einheit	Wert		
		Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Prognostizierter Haldenwasseranfall	m ³ /a	925.986	1.123.730	1.372.998
Maximaler Haldenwasseranfall (0% Verdunstung)	m ³ /a	999.441	1.218.780	1.495.272
Anteil	%	108	108	109
Minimaler Haldenwasseranfall (25,5 % Verdunstung)	m ³ /a	812.130	976.401	1.183.475
Anteil	%	88	87	86

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch den Fehler bei der Evaporation von maximal ± 14 %.

7.5 Freier Wassergehalt

Der Freie Wassergehalt wurde durch die Bestimmung an mehreren Rückstandsproben ermittelt. Wie bereits in Kapitel 5.2.3.1 beschrieben, besteht aufgrund der komplexen Zusammensetzung des Rückstands bei der Trocknungsmethode die Wahrscheinlichkeit,

dass auch kristallin gebundenes Wasser bereits bei geringen Temperaturen frei wird. Aus diesem Grund wurde für als Grundlage für die weiteren Berechnungen die mittels Karl-Fischer-Titration ermittelte Feuchte verwendet.

Auch bilden sich in der Rückstandshalde unterschiedliche Temperaturbereiche aus. Je nach Außentemperatur ist in den äußeren Bereichen eine höhere oder niedrigere Temperatur als im Inneren der Halde vorhanden, was wiederum Einfluss auf Hydratisierungs- bzw. Dehydratisierungsprozesse bzw. Stabilitätsverhältnisse der Phasen im Rückstand haben kann. Diese Faktoren können zu einer Änderung des realen Haldenwasseranfalls führen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die dadurch verursachten kurzzeitigen Einflüsse im Jahresverlauf ausgleichen.

Die anhaftende Feuchte am frischen Rückstand wird durch Verbesserung der Entwässerungsmaßnahmen weiter reduziert, wie in Kapitel 5.2.3.1 beschrieben.

In der nachfolgenden Tabelle sind der minimale und maximale Haldenwasseranfall für die Gesamthalde (Bestandshalde und Erweiterung) bei einer Variation des Freien Wassergehaltes zwischen 3,8 % und 4,8 % dargestellt.

Tabelle 16: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Freier Wassergehalt)

Parameter	Einheit	Wert		
		Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Prognostizierter Haldenwasseranfall	m ³ /a	925.986	1.123.730	1.372.998
Maximaler Haldenwasseranfall (für 4,8 % Freier Wassergehalt)	m ³ /a	989.922	1.187.666	1.436.934
Anteil	%	107	106	105
Minimaler Haldenwasseranfall (für 3,8 % Freier Wassergehalt)	m ³ /a	910.002	1.107.746	1.357.014
Anteil	%	98	99	99

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch Variation des Freien Wassergehalts von maximal ± 7 %.

7.6 Restinfiltration

Bei der Sensitivitätsanalyse der Restinfiltration wird unterschieden zwischen den Werten, die für die Bestandshalde ermittelt wurden, und den prognostizierten Werten für die Erweiterung.

7.6.1 Restinfiltration der Bestandshalde

Für die Fehlerbetrachtungen zur Restinfiltration der Bestandshalde wurde die im Rahmen der Sickerwasserfassung Heergraben gefasste Menge von 28.738 m³/a mit der ermittelten Restinfiltration für die Bestandshalde zum Zeitschnitt 2019 von ca. 37.430 m³/a abgeglichen (siehe Band 3.6.3, Teil 1). Hierbei ergibt sich eine Differenz von ca. 8.692 m³/a. Dies entspricht einem Fehler von ca. 23 %.

In der nachfolgenden Tabelle sind der minimale und maximale Haldenwasseranfall für die Bestandshalde bei einer Abweichung der Restinfiltration von ± 23 % dargestellt.

Tabelle 17: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Restinfiltration, Ende der Beschüttung der Bestandshalde Zeitschnitt 2020)

Parameter	Einheit	Wert		
		Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Prognostizierter Haldenwasseranfall Bestandshalde	m³/a	925.986	1.123.730	1.372.998
Maximaler Haldenwasseranfall Bestandshalde (-23% RI)	m³/a	933.116	1.130.860	1.380.129
Anteil	%	101	101	101
Minimaler Haldenwasseranfall Bestandshalde (+23% RI)	m³/a	918.855	1.116.599	1.365.868
Anteil	%	99	99	99

Somit ergibt sich für den Haldenwasseranfall eine maximale Abweichung durch den Fehler bei der Evaporation von ± 1 %.

7.6.2 Restinfiltration der Erweiterung

Wie bereits im Kapitel 5.6.2.5.1 dargestellt, wird davon ausgegangen, dass aufgrund des vorhandenen Stagnationsgradienten $i_0 = 5$ keine Restinfiltration im Bereich der Erweiterungsfläche in den Untergrund gelangt. Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung wurde daher für die Ermittlung des Haldenwasseranfalls angenommen, dass im Bereich der Erweiterung keine Restinfiltration vorhanden ist. Für die Fehlerbetrachtung wurden zwei weitere mögliche Fälle betrachtet. Zum einen wurde der Anfall der im Kapitel 5.6.4.2 berechneten Restinfiltration ausgewiesen, und zum anderen diejenige Restinfiltration, die auftreten würde, wenn die Ausbildung des Haldenkerns nicht stattfinden würde und die Fläche des Haldenkerns mit den Parametern der Übergangszone berechnet würde.

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

Tabelle 18: maximaler und minimaler Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung Restinfiltration Erweiterung Zeitschnitt 2028)

Parameter	Einheit	Wert		
		Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Prognostizierter Haldenwasseranfall Erweiterung (RI = 0)	m³/a	925.986	1.123.730	1.372.998
Reduzierter Haldenwasseranfall Erweiterung (RI aus Kap. 5.6.4.2)	m³/a	923.673	1.121.417	1.370.686
Anteil	%	99,8	99,8	99,8
Reduzierter Haldenwasseranfall (RI aus Kap. 5.6.4.2 ohne HK)	m³/a	921.654	1.119.398	1.368.667
Anteil	%	99,5	99,6	99,7

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

7.6.3 Restinfiltration der Gesamthalde

Ausgehend von den vorherigen Fehlerbetrachtungen ergibt sich somit für die Haldenwasserbilanz ein maximaler Fehler von ± 1 %.

7.7 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 für das Trocken-, Durchschnitts- und Feuchtjahr um 20 % erhöht ist, die Verdunstung bei 0 %, der Aufsalzungsfaktor bei 1,14 und der Freie Wasseranteil bei 4,8 % liegt, sowie die Restinfiltration der Bestandshalde um 23 % reduziert wird und die Restinfiltration der Erweiterung Null ist.

Tabelle 19: maximale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)

Parameter	Einheit	Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Fläche	ha	137,0	137,0	137,0
Freier Wasseranteil (4,8 %)	m³/a	393.984	393.984	393.984
Jahresniederschlag (+20%)	m³/(ha*a)	5.796	7.500	9.648
Evaporation (0 %)	-	0,00	0,00	0,00
Evaporation	m³/(ha*a)	0	0	0
Aufsalzungsfaktor (+3%)	-	1,14	1,14	1,14
Niederschlagsbedingter Haldenwasseranfall	m³/a	905.285	1.171.436	1.506.935
Zuflüsse vom Befahrungsweg	m³/a	13.814	17.875	22.994
Restinfiltration (Bestandshalde -23%; Erweiterung RI = 0)	m³/a	23.872	23.872	23.872
Horizontaler unterirdischer Abfluss	m³/a	35.300	35.300	35.300
Haldenwasseranfall	m³/a	1.253.911	1.524.123	1.864.741

Im Vergleich mit den berechneten Werten ergibt sich damit ein um ca. 36 % erhöhter Haldenwasseranfall.

Der minimal mögliche Haldenwasseranfall ergibt sich bei der Annahme, dass der Niederschlagswert um 20 % reduziert ist, der Aufsalzungsfaktor bei 1,08, die Verdunstung bei 25,5 % und der Freie Wasseranteil bei 3,8 % liegen sowie die Restinfiltration der Bestandshalde um 23 % erhöht wird und die Restinfiltration der Erweiterung ohne Annahme eines Haldenkerns berechnet wird. Aus diesen Annahmen ergibt sich der minimal mögliche Haldenwasseranfall der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 20: minimale Haldenwasseranfall (Fehlerbetrachtung)

Parameter	Einheit	Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Fläche	ha	137,0	137,0	137,0
Freier Wasseranteil (3,8 %)	m³/a	295.488	295.488	295.488
Jahresniederschlag (-20%)	m³/(ha*a)	3.864	5.000	6.432
Evaporation (25,5 %)	-	0,26	0,26	0,26
Evaporation	m³/(ha*a)	984	1275	1.640
Aufsalzungsfaktor (-3%)	-	1,08	1,08	1,08

Parameter	Einheit	Trockenjahr	Durchschnittsjahr	Feuchtjahr
Niederschlagsbedingter Haldenwasseranfall	m³/a	425.961	551.191	709.052
Zuflüsse vom Befahrungsweg	m³/a	9.209	11.917	15.330
Restinfiltration (Bestandshalde +23%; Erweiterung ohne HK)	m³/a	38.133	38.133	38.133
Horizontaler unterirdischer Abfluss	m³/a	35.300	35.300	35.300
Haldenwasseranfall	m³/a	657.225	785.163	946.437

Im Vergleich mit den berechneten Werten ergibt sich damit ein um ca. 31 % verringerter Haldenwasseranfall.

Die Ergebnisse bestätigen somit die maximale Gesamtabweichung von durchschnittlich ca. 34%.

In Summe ergeben sich aus der Sensitivitätsanalyse maximale Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Haldenwasseranfall von rund 36 %. 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.

Den Modellierungen zur Entsorgung des Haldenwasseranfalls in Band 3.3 wurde der Haldenwasseranfall im mittleren Jahr inklusive einer Abweichung von 30 % zugrunde gelegt. Diese wurde abgeschätzt aus der Gesamtabweichung der Sensitivitätsanalyse (36%) sowie aus dem Vergleich der gemessenen und berechneten Haldenwassermengen für das Durchschnittsjahr (21 %) (siehe Kapitel 6.4). Dieser Sicherheitszuschlag berücksichtigt alle Unwägbarkeiten (unterirdische Zuflüsse, das hygroskopische Verhalten des Salzes, variierende Niederschlagsmengen im Bereich der Halde, Verzögerungen beim Abfluss des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls, etc.).

7.8 Zulauf aus dem Haldenumfahrungsweg und in Vorbereitung befindlicher künftiger Haldenaufstandsflächen

Die Ermittlung des Zulaufs vom Haldenumfahrungsweg ist in Kapitel 5.3 beschrieben. Aus diesem Berechnungsansatz ergeben sich die im Kapitel 7.1 zum Niederschlag aufgeführten Unsicherheiten bei der Übertragung der Niederschlagswerte auf die Fläche des Umfahrungsweges. 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 (Abflussbeiwert von 0,9 -1,0) des Niederschlagswassers über die vorbereitete Fläche in den Haldenrandgraben. Beim Vergleich der monatlichen Niederschlagssummen mit dem gemessenen Haldenwasseranfall ist zu erkennen, dass in Monaten mit höheren Niederschlagsmengen auch der Haldenwasseranfall proportional größer wird. Die vorbereiteten Flächen wurden bei der Berechnung des niederschlagsbedingten Haldenwasseranfalls berücksichtigt, können jedoch im jahreszeitlichen Verlauf nicht vollständig nachvollzogen werden, sodass es zu Abweichungen der realen Verhältnisse von dem Berechnungsmodell kommen kann.

7.9 Sonstige Einflussfaktoren

Unter die sonstigen Einflussfaktoren fallen

- die Messabweichungen
- die Bildung bevorzugter Wegsamkeiten im Haldenkörper und
- der Anfall von Spülwasser zur Reinigung des Haldenrandgrabens sowie zur Reinigung der Schurren (ca. 20.000 m³/a).

Unter dem Begriff der Messabweichungen werden die Messabweichungen der bei den Versuchen zur Bestimmung der rückstandsspezifischen Parameter (siehe Kapitel 5.2) 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 spielt eine Rolle (z.B. Erhöhung des Anteils der abflusswirksamen Bereiche im Einzugsbereich des Zinkesgrabens), und es können sich somit Abweichungen vom prognostizierten Haldenwasseranfall ergeben.

8 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 ha²⁶ 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 3712 erreicht werden.

Bis zum Zeitpunkt der vollständigen Auflösung der Rückstandshalde (Zeitraum von 2030 bis 3712) ergibt sich unter Annahme eines durchschnittlichen Jahresniederschlages von 625 mm/a somit ein Gesamtsickerwasseranfall von ca. 742 Mio. m³.

²⁶ 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.