

Antrag auf Planfeststellung

Hartsalzwerk Siegfried-Giesen

Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan

Unterlage I – Bearbeitungsgrundlagen

I-11 Teil 2 Betrachtung der Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung

Erstellung der Unterlage:



(Dipl.-Geol. A. Ogroske)

Fugro Consult GmbH
Wolfener Straße 36 U
12681 Berlin

Aufgestellt:
Hildesheim, den 17.12.2014

Antragsteller / Vorhabensträger

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel/Deutschland



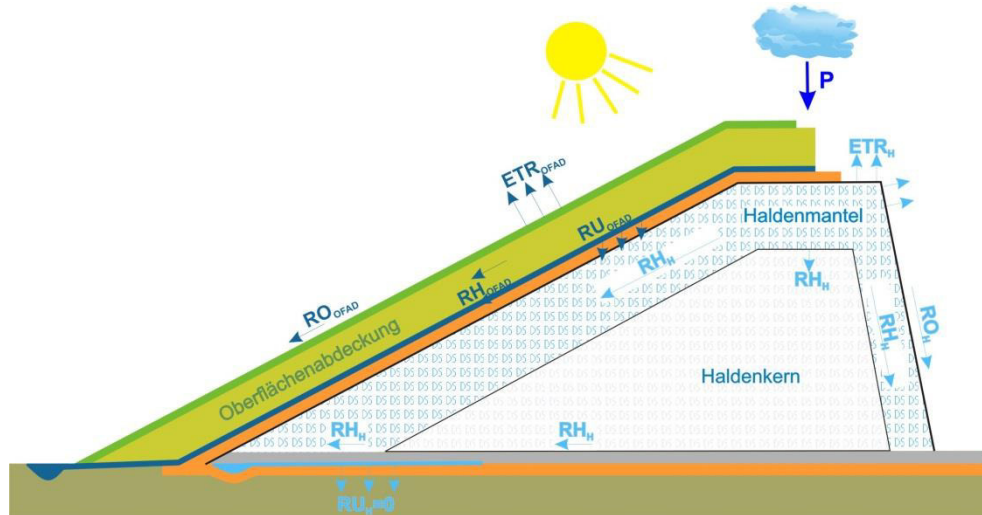
K+S Aktiengesellschaft

vertreten durch:

K+S KALI GmbH
Projektgruppe Siegfried-Giesen
Kardinal-Bertram-Straße 1
31134 Hildesheim

Hartsalzwerk Siegfried-Giesen

Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan



Unterlage I - Bearbeitungsgrundlagen

I-11 Haldenwasserbilanzierung

Teil 2 - Betrachtung der Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung

Antragsteller/
Vorhabensträger:

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel/Deutschland



vertreten durch:

K+S KALI GmbH
Projektgruppe Siegfried-Giesen
Kardinal-Bertram-Straße 1
31134 Hildesheim

Erstellung der Unterlage:



Fugro Consult GmbH
Wolfener Straße 36 U
12681 Berlin

Datum:

Hildesheim, 20.01.2015

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I	
1	Veranlassung / Zielstellung	1
2	Systembeschreibung der technischen Einrichtungen zur Reduzierung des Sickerwassereintrages in den Haldenkörper und in den Untergrund	2
3	Beschreibung der relevanten Parameter zur Berechnung der Restdurchsickerung der Basisabdichtung	4
3.1	Vorbemerkung zu den Prozessen in der Rückstandshalde.....	4
3.2	Beschreibung des Haldenkörpers.....	4
3.2.1	Haldenmantelzone	5
3.2.2	Haldenkernzone	5
3.3	Restdurchsickerung durch den Haldenkörper	6
3.4	Durchlässigkeitsbeiwert der Basisabdichtung	7
3.5	Funktionalität und Wirksamkeit der Entwässerungselemente	7
4	Berechnung der potenziellen Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung	9
4.1	Berechnungsansatz zur Bestimmung der Restdurchsickerung.....	9
4.2	Berechnung der potenziellen Aufstauhöhe auf der Basisabdichtung	9
4.3	Berechnung der potenziellen Restdurchsickerung (Sickerrate)	11
4.4	Zeitliche Betrachtung der potenziellen Restdurchsickerung (Sickerzeit)	12
5	Zusammenfassung.....	14

1 Veranlassung / Zielstellung

Für das Vorhaben ist ein bergrechtliches Planfeststellungsverfahren (PFV) zur Zulassung des Rahmenbetriebsplans durchzuführen. Im Rahmen dieses Verfahrens ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich, wobei als ein Bestandteil u. a. das Schutzgut Wasser zu betrachten ist.

Zur Reduzierung des Sickerwassereintrages in den Untergrund wurden technische Systeme entwickelt. Hierzu gehören das Oberflächenabdeckungssystem (siehe Unterlage I-11 Kapitel 4.3), bestehend aus einer mehrschichtigen, begrünbaren Abdeckung mit einer hohen Verdunstungsleistung mit einer Wasserhaushaltsschicht, einer Drainschicht zur Fassung und Ableitung des Oberflächenwassers und einer mineralischen Dichtung sowie eines Basisabdichtungssystem bestehend aus einer mineralischen Dichtung sowie haldeninterner und -externer Entwässerungselemente zur Optimierung der Fassung und Ableitung des Haldenwassers (siehe Unterlage E-10).

Im Rahmen der Erstellung der Antragsunterlagen wurde ein Hydrogeologisches Gutachten (siehe Unterlage I-7) erstellt sowie eine Modellierung der Grundwasserverhältnisse (siehe Unterlage I-10) durchgeführt. Auf Basis des in der Unterlage I-10 enthaltenen numerischen Grundwassermodells erfolgt im Hydrogeologischen Gutachten I-7 eine Beschreibung des gegenwärtigen Zustandes und eine qualitative Bewertung der potenziellen Auswirkungen des Vorhabens auf das Schutzgut Grundwasser.

In den vorgenannten Unterlagen werden für die Modellierung Daten aus der Haldenwasserbilanz (siehe Unterlage I-11 Teil 1) als Eingangsparameter verwendet.

Die Schnittstelle zwischen den Prozessen im technischen Bauwerk (Rückstandshalde mit Basisabdichtung / Haldenwasserbilanz in Unterlage I-11) und den Prozessen im Untergrund (Hydrogeologisches Gutachtens in Unterlage I-7) wird an der Unterkante der Basisabdichtung gebildet. Um die Vorgänge an dieser Schnittstelle näher bewerten zu können, widmet sich die hier vorliegende Unterlage I-11 Teil 2 einer potenziellen Restdurchsickerung der Basisabdichtung. Hierzu werden als Grundlage die in Unterlage I-11 Teil 1 (Haldenwasserbilanzierung) ermittelten Restinfiltrationen in den Haldenkörper aus der Oberflächenabdeckung als Eingangsgröße übernommen und zusammen mit den in Kapitel 3 beschriebenen weiteren Eingangsparametern zusammengeführt.

In der vorliegenden Unterlage werden die notwendigen Berechnungsgrundlagen erläutert, wobei die zur Berechnung herangezogenen Parameter im Wesentlichen bereits an anderen Stellen der Antragsunterlage beschrieben wurden, so dass hier jeweils nur eine Kurzbeschreibung mit den entsprechenden Verweisen erfolgt. Ausgehend davon wird die potenzielle Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung der Halde nach dem derzeitigen Kenntnisstand berechnet.

2 Systembeschreibung der technischen Einrichtungen zur Reduzierung des Sickerwassereintrages in den Haldenkörper und in den Untergrund

In Unterlage E-10 ist die Haldenplanung und in Unterlage I-30 das Schüttregime zur abschnittswisen Haldenbeschüttung enthalten. Die Aufhaldung erfolgt sukzessiv von Südost nach Nordwest. Die Haldenaufstandsfläche erhält eine Basisabdichtung aus mineralischen Materialien. Die Halde wird als Flachhalde mit Böschungsneigungen von ca. 1:3 und einer Höhe von ca. 80,5 m ü. GOK aufgeschüttet. Auf der Halde wird nach Erreichen einer entsprechend großen Böschungsfläche mit der abschnittswisen, mehrschichtigen mineralischen Oberflächenabdeckung und Begrünung des Haldenkörpers begonnen. Die Planung sieht eine flächenhafte hydraulische Abdichtung des Haldenkörpers durch eine 0,5 m mächtige mineralische Basisabdichtung mit einem von k_f -Wert $\leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^1$ vor. Das für die Rückstandshalde geplante Basisabdichtungssystem besteht aus drei übereinander liegenden Schichtenfolgen mit unterschiedlichen Funktionen, die auf dem anstehenden Lockergestein aufgebaut werden.

Diese Systemelemente sind in der Reihenfolge von unten nach oben:

- Natürliche anstehende bindige und gemischtkörnige Lockergesteine z. T. mit lokalen Einlagerungen rolliger Sedimente (natürliche Aufstandsfläche)
- Überhöhung zur Gewährleistung der Ableitung von Haldensickerwässern und zum Profilausgleich für auftretende Setzungen
- Basisabdichtung als mineralisches Dichtungselement zur Vermeidung/Minimierung von Sickerwassereinträgen aus der Halde in den Untergrund
- Drainage als Ableitungssystem der auf der Dichtung zurückgehaltenen Haldensickerwässer im Haldenmantelbereich

In einem Randstreifen von ca. 80 m (Haldenmantel) ist oberhalb der Basisabdichtung der Einbau einer 0,3 m mächtigen Drainage mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \geq 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ vorgesehen. Die Basisabdichtung wird mit Gefälle zum Haldenrand eingebaut, so dass die Haldenwässer aus dem Haldenkörper zu den Entwässerungseinrichtungen am Haldenrand abgeleitet werden (Unterlage E-10).

Die Drainage hat die Aufgabe, das hypodermisch im höher permeablen Mantelbereich der Halde absickernde, mineralisierte Haldenwasser auf der Basisabdichtung abzuleiten. Aus den vorliegenden Erfahrungen zur Mächtigkeit des Mantelbereiches in kieserithaltigen Steinsalzhalde (Unterlage I-11 Kap 4.2.1 und Kapitel 3.3.) kann der Haldenmantel Mächtigkeiten von ca. 25 m bis 45 m aufweisen. Die geplante Reichweite der Drainage wird unter Berücksichtigung der gegenüber herkömmlichen Halden veränderten Haldengeometrie mit 80 m festgelegt und geht damit weit über die bisherige Erfahrung zur Mächtigkeit des Mantelbereiches hinaus.

Das wasserhaushaltlich optimierte Oberflächenabdeckungssystem (Unterlage E-10 und I-11) ist unter den gegebenen Standortbedingungen in der Lage, die in den Halden- bzw. Salzkörper versickernden

¹⁾ Der Durchlässigkeitsbeiwert ist bei einem Druckgradienten $i = 30$ (Laborwert nach DIN 18130-1, Ausgabe Mai 1998, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche) zu bestimmen.



Niederschläge und somit den Wassereintrag in den Haldenkörper wirksam und nachhaltig zu reduzieren. Demnach versickern in mittleren Jahren noch ca. 1 % des Jahresniederschlages und in sehr feuchten Jahren bis zu ca. 3 % in den Haldenkörper.

Grundlage der Konzeption des Oberflächenabdeckungssystems und der Prognose der wasserhaushaltlichen Wirkung ist die geometrische Kontur der Neuhalde Siegfried-Giesen und die geplante abschnittsweise Schüttung der Halde entsprechend Unterlage E-10 und I-30.

Im Ergebnis vorgenannter Unterlagen und der dort dargestellten Methodik, Kenntnisse und Voruntersuchungen zur wasserhaushaltlichen Wirkung von unterschiedlichen Oberflächenabdeckungssystemen wurde folgender Aufbau als erforderlich abgeleitet (Schichten von oben nach unten):

- mindestens 2,2 m mächtige Wasserhaushaltsschicht, bestehend aus 0,3 m humosem Oberboden und mindestens 1,9 m humusfreiem Unterboden,
- 0,3 m mineralische Drainschicht und
- 0,5 m mineralische Dichtungsschicht.

3 Beschreibung der relevanten Parameter zur Berechnung der Restdurchsickerung der Basisabdichtung

3.1 Vorbemerkung zu den Prozessen in der Rückstandshalde

Die Restdurchsickerung durch den Haldenkörper (hier kieserithaltige Steinsalzhalde) und durch die Basisabdichtung von Rückstandshalden der Kaliindustrie hängt im Wesentlichen von der Art und Zusammensetzung des Haldenwassers, den Prozessabläufen im eigentlichen Haldenkörper und der hieraus resultierenden Wassereinstauhöhe sowie der relevanten Fläche, der Mächtigkeit, Zusammensetzung und Eigenschaften des Dichtungsmaterials sowie der Entwässerungssysteme ab.

Die üblicherweise für Lockergesteinssedimente angewandten Verfahren zur Bestimmung von Parametern und zur Berechnung von Prozessabläufen können nicht unmittelbar auf Rückstandshalden der Kaliindustrie übertragen werden. Insbesondere für die im Haldenkörper ablaufenden Prozesse muss teilweise auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Diesbezüglich wurden bereits vielfältige Untersuchungen im Hause K+S angeschoben. Als Grundlage für die Berechnung der Restdurchsickerung der Basisabdichtung werden die Vorgänge nachfolgend in Kapitel 3.2 und 3.3 erläutert.

Für die Berechnung werden folgende Parameter herangezogen, deren Ansätze in den entsprechenden Kapiteln begründet werden:

RU	Restdurchsickerung durch den Haldenkörper	siehe Kapitel 3.3
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert Basisabdichtung	siehe Kapitel 3.4
A	relevante Fläche	siehe Kapitel 3.4
	Wirksamkeit der Entwässerungssysteme	siehe Kapitel 3.5
i	Einstauhöhe (hydraulischer Gradient)	siehe Kapitel 4.2

3.2 Beschreibung des Haldenkörpers

Das Verhalten von Rückstandshalden der Kaliindustrie wurde vielfach an bestehenden Halden untersucht und hängt von verschiedenen Faktoren, wie z. B. der Rückstandszusammensetzung ab. Das grundsätzliche Verhalten lässt sich wie folgt zusammenfassen.

Das als Lockermaterial geschüttete Rückstandssalz wird durch partielle Auflösung und Rekristallisation verfestigt und verdichtet. Die Haldenoberfläche ist innerhalb kurzer Zeit so stark verfestigt, dass sie mit Fahrzeugen befahren werden kann.

Im Lauf der Zeit bilden sich in Abhängigkeit des Schüttregimes und überwiegend jedoch durch Rekristallisationsprozesse innerhalb des Haldenkörpers unterschiedliche Bereiche, die sich vor allem durch die Durchsickerungsfähigkeit unterscheiden, heraus. Dabei wird zwischen dem inneren Haldenkern und dem äußeren Haldenmantel unterschieden. Sowohl das Salz des Mantels als auch das Salz des Haldenkerns ist verfestigt und frei von makroskopisch erkennbaren Hohlräumen, wobei im Halden-

mantel aufgrund der höheren Permeabilitäten der Abfluss der in den Haldenkörper versickernden Niederschläge erfolgt.

Die Rückstandsfeuchte, die aus der Anfeuchtung des Rückstandes zur Staubbildung vor der Aufbringung auf die Halde resultiert, und das Niederschlagswasser werden, soweit sie nicht als Haldenwasser abfließen, durch Hydratisierung in die teilweise neu gebildeten Minerale des sich verfestigenden Rückstandes eingebaut. Ein Teil des Wassers verbleibt in Form von Haftlösung oder Restfeuchte auf der Halde. Generell ist der Haftwassergehalt im Inneren der Halde sehr gering und schwankt bei verschiedenen Proben nur innerhalb enger Grenzen. In der Mantelzone ist der Gehalt an Haftwasser und Restfeuchte deutlich höher.

Der Haldenkern enthält in der Regel nur eine geringe Menge an Restfeuchte oder Haftwasser, d. h. sofern Lösungen angetroffen werden, stammen sie aus der Zeit der Haldenaufschüttung, sind allseits eingeschlossen, haben keinen merklichen Zu- oder Abfluss, keinen mit den Niederschlägen zusammenhängenden Spiegelgang und nehmen nicht am heutigen Wasserhaushalt der Halde teil.

Im Weiteren ist bei der Festlegung der Parameter für die Bestimmung der Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung die Ermittlung der relevanten Flächenbereiche erforderlich.

3.2.1 Haldenmantelzone

Die Haldenmantelzone reicht nach bisherigen Erfahrungen an Rückstandshalden der K+S je nach Zusammensetzung des Rückstands und Dauer der Ablagerung eine Mächtigkeit von bis zu 45 m (Unterlage I-11).

Unter Berücksichtigung der gegenüber herkömmlichen Halden veränderten Haldengeometrie wird die Haldenmantelzone (inkl. einer Übergangszone zum Haldenkern) in der Planung mit 80 m festgelegt und geht damit weit über die bisherige Erfahrung zur Mächtigkeit des Mantelbereiches hinaus. Hierbei geht der Modellansatz davon aus, dass sich der Haldenmantel und die Übergangszone in allen Randbereichen des jeweiligen Rückstandskörpers ausbildet.

Der 80 m breite „Umring“ der Mantelzone entspricht einer Fläche von ca. 18 ha (rd. 40 % der Gesamtfläche der Haldenaufstandsfläche). Diese Fläche wird mit einer Drainage auf der Oberkante der Basisabdichtung versehen. In den nachfolgenden Betrachtungen wird die Mantelfläche mit der gesamten in den Salzkörper eindringenden Niederschlagsmenge beaufschlagt, da im Haldenkern keine Durchsickerung erfolgt.

3.2.2 Haldenkernzone

Das Haldensalz der Kernzone ist durchgehend kompakt, verfestigt und dicht, wie die Bohraufschlüsse, der nahezu vollständige Kerngewinn in den Haldenbohrungen Neuhof und Niedersachsen und die Streckenaufschlüsse im Haldentunnel Bleicherode zeigen.

Aus den vorgenannten Untersuchungen ist zu schließen, dass der Wasserhaushalt von kieserithaltigen Steinsalzhalden ausschließlich im geringmächtigen Haldenmantel stattfindet. Es wurde kein Hinweis gefunden, dass im Haldenkern noch Wasserbewegung stattfindet oder stattfinden könnte.

Die aus den Haldenbohrungen gewonnenen Erkenntnisse werden durch die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung der Haldendurchörterung Bleicherode ohne Widerspruch bestätigt. Mit dem quer durch die gesamte Halde geführten Tunnel wurde der Nachweis erbracht, dass die hydrologischen und hydrogeologischen Erkenntnisse über Halden nicht nur lokal für den Bereich einer Untersuchungsbohrung gelten, sondern auch auf dem gesamten Querschnitt einer Halde Gültigkeit haben. In der vorliegenden Betrachtung zur Ermittlung der Restdurchsickerung wird der Haldenkern mit einer Fläche von ca. 28 ha. berücksichtigt. Diese Fläche nimmt am Wasserhaushalt gar nicht bzw. nur in vernachlässigbaren Ausmaß teil.

3.3 Restdurchsickerung durch den Haldenkörper

Der Sickerprozess des in den Haldenkörper infiltrierten Wassers bewirkt aufgrund der Permeabilität und des Speichervermögens eine zeitliche Verzögerung bis zum Austritt des mineralisierten Haldenwassers in den Drainagen oberhalb der Basisabdichtung. Die segmentbezogene Bilanzierung des infiltrierenden Wassers und des absickernden, mineralisierten Haldenwassers berücksichtigt diese Verzögerung nicht. Das in einem Jahr durch die Oberflächenabdeckung in den Haldenkörper versickernde Niederschlagswasser, wird vereinfacht in der Bilanzbetrachtung als im gleichen Jahr abflusswirksam betrachtet. Bezüglich der Beurteilung der Sickerbewegung mineralisierter Lösungen stellt dies einen konservativen Bilanzansatz dar. Die im natürlichen Prozess wirksam werdende Dämpfung durch die Permeabilität und Porenraumsättigung des Flüssigkeitstransportes wird nicht berücksichtigt, was zu maximalen Austragsraten führt. In Abhängigkeit der stark variierenden Niederschläge versickern durch die Oberflächenabdeckung in mittleren Niederschlagsjahren ca. 10 mm und ca. 30 mm je Jahr in sehr feuchten Jahren, in trockenen Jahren wiederum deutlich weniger.

Das wasserhaushaltliche Verhalten des Haldenkörpers (das insbesondere von der Geometrie, der Rückstandszusammensetzung und den Rückstandseigenschaften abhängig ist) ist schwer prognostizierbar. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse (siehe Unterlage I-11 Teil 1 Kapitel 4.4) wurden aufbauend auf die Erfahrungen an anderen Halden insbesondere das Speichervermögen des Rückstandes und die Verdunstung der unabgedeckten Halde variiert. Für diese Parameter wurde auf Erfahrungswerte und Versuchsergebnisse von anderen Halden zurückgegriffen. Weiterhin wurden für unterschiedliche Niederschlagsszenarien (trockene, mittlere und feuchte Jahre) die Abflüsse ermittelt. Daraus resultieren relativ große Schwankungsbreiten vorrangig in Abhängigkeit der Niederschlagsverhältnisse und zusätzlich durch die Berücksichtigung variierender Speicher- und Verdunstungsraten.

Für die hier durchzuführende Betrachtung des Normal- bzw. Planzustandes wird eine Restdurchsickerung in den Haldenkörper von ca. 10 mm/a. für die gesamte Oberfläche der Rückstandshalde angesetzt, die in einem mittleren Niederschlagsjahr zu erwarten ist und somit repräsentativ für längere Betrachtungszeiträume ist.

3.4 Durchlässigkeitsbeiwert der Basisabdichtung

Für die geplante Haldenaufstandsfläche wurde eine Basisabdichtung entwickelt, deren Aufbau sowie deren Eigenschaften in Kap. 2 bzw. Unterlage E-10 beschrieben sind.

Die Planung sieht eine flächenhafte hydraulische Abdichtung des Haldenkörpers durch eine 0,5 m mächtige mineralische Basisabdichtung mit einem k_f -Wert $\leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s (Bestimmung bei $i=30$) vor.

3.5 Funktionalität und Wirksamkeit der Entwässerungselemente

Der im Haldeninnern liegende kompakte Haldenkern ist nahezu trocken bzw. verfügt über keinen relevanten freien Haftwasseranteil, so dass in diesem Bereich keine relevanten Fließvorgänge zu beobachten sind und dementsprechend keine Entwässerungselemente erforderlich sind.

Unter Berücksichtigung der gegenüber anderen Halden geringeren Höhe und der abweichenden Haldengeometrie (Flachhalde) sowie der feinkörnigeren Zusammensetzung des Rückstandes wurde der für die Sickerbewegung und die Zwischenspeicherung des Haldenwassers relevante Haldenmantel zur Sicherheit mit einer größeren Mächtigkeit von 80 m berücksichtigt. In diesem Bereich ist eine mineralische Drainageschicht vorgesehen.

Grundsätzlich sind die nach Abdeckung der Halde in den eigentlichen Haldenkörper noch eindringenden Niederschlagsmengen sehr gering. Um dennoch einen ungehinderten und schnellen Abfluss zum Haldenrandgraben innerhalb des Haldenmantels zu gewährleisten, wurde diese Drainschicht vorgesehen.

Es wird eine aus Kies bzw. Schotter bestehende Schicht auf der mindestens 2,5% nach außen geneigten Basisdichtung mit folgenden Parametern eingebaut:

- Schichtmächtigkeit 30 cm
- Körnung 16/32 oder 8/16 oder gleichwertig
- Kalkanteil < 20 % (gilt nach Stand der Technik geeignet für mineralisierte Wässer)
- Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/

Oberhalb der mineralischen Dichtung ist durch die Wirksamkeit der haldeninternen Entwässerungselemente (Drainage) unter Berücksichtigung der standorttypischen morphologischen Randbedingungen und des mechanischen Haldenkörperverhaltens die ungehinderte Entwässerung dauerhaft gewährleistet. Das Haldenwasser, das im Haldenkörper zum überwiegenden Teil in der Mantelzone und zum geringen Teil in der Übergangszone eine Sickerbewegung vollzieht, wird auf der geneigten Oberfläche der mineralischen Dichtung innerhalb der Drainageschicht nach außen abgeführt. Hierdurch wird der Aufstau auf der mineralischen Dichtung auf ein Minimum reduziert.

Mechanische und chemisch-mineralogische Einflüsse haben auf die Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit keinen nachteiligen Einfluss, weil die mineralische Dichtung die haldeninduzierten Verformungen aufnimmt, die Dichtigkeit erhalten bleibt und die haldeninternen Entwässerungseinrichtungen sich in Bereichen weitgehend konstanter Schubbeanspruchungen und damit horizontaler

Verformungen befinden. Kristallisationsvorgänge, die ein Verschließen der Drainageschicht bewirken können, werden nicht erwartet, da diese temperaturabhängig erst ab Temperaturen unter ca. 8°C einsetzen, die Drainage jedoch flächig durch den Salzkörper sowie das Oberflächenabdeckungssystem vor Temperatureinflüssen geschützt wird. Die Querschnitte der Entwässerungskörper sind so dimensioniert, dass die Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit der Entwässerungselemente auch nach Überschüttung dieser gewährleistet ist.

Durch vorgenannte Punkte wird sichergestellt, dass deren Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit der Entwässerungssysteme in der Betriebs- und Nachbetriebsphase erhalten bleibt. Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit des Haldenvorfeldes werden neben dem Nachweis der technischen Eignung und Einhaltung der vorgesehenen Einbauparameter auch durch Maßnahmen der Wartung und Instandsetzung sichergestellt. Im Einzelfall erfolgt der Nachweis der technischen Machbarkeit, Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit hierfür bauabschnittsweise in Sonderbetriebsplanverfahren.

4 Berechnung der potenziellen Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung

4.1 Berechnungsansatz zur Bestimmung der Restdurchsickerung

Auch wenn die Basisabdichtung nach dem Stand der Technik errichtet wird und als technisch dicht anzusehen ist, verbleibt im physikalischen Sinne immer noch eine geringfügige unvermeidbare Restdurchsickerung. Um innerhalb der Umweltbewertung des Vorhabens prüfen zu können, ob damit schädliche Verunreinigungen oder sonstige nachteilige Veränderungen des Grundwassers zu besorgen sind, soll die Größenordnung der zu erwartenden Restdurchsickerung ermittelt werden.

Zur Berechnung der Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung kann der Strömungsansatz nach DARCY in vertikaler Richtung herangezogen werden:

$$Q = k_f \cdot i \cdot A$$

mit	Q	Volumenstrom der Restdurchsickerung [m ³ /s]
	k _f	Durchlässigkeitsbeiwert der Basisabdichtung [m/s]
	i	Potenzialgefälle [-] (errechnet aus Aufstauhöhe H auf der Basisabdichtung geteilt durch Mächtigkeit M der Basisabdichtung)
	A	Durchströmte Fläche zur Drainage (Drainagelänge mal Breite)

Zur Ausführung der Berechnung ist vorangehend die Aufstauhöhe zu ermitteln, die sich auf der Oberkante der Basisabdichtung innerhalb der Drainage herausbilden kann (siehe Kap. 4.2).

Anschließend erfolgt dann die eigentliche Berechnung der Restdurchsickerung (siehe Kap. 4.3).

Um die zeitliche Dimension dieses Durchsickerungsprozesses zu verdeutlichen, wird die Berechnung der Sickerzeit durch eine Berechnung der Sickerzeit ergänzt (siehe Kap. 4.4).

4.2 Berechnung der potenziellen Aufstauhöhe auf der Basisabdichtung

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt, beschränkt sich die Haldenwasserbewegung auf den Haldenmantel (inkl. der Übergangszone). Nur in diesem Bereich ist ein Haldenwasseraufstau auf der Basisabdichtung möglich. Um diesen Aufstau so gering wie möglich zu halten, wird eine mineralische Drainageschicht zur Entwässerung auf die Basisabdichtung aufgebaut.

Die mögliche Aufstauhöhe auf der Basisabdichtung ist abhängig vom Haldenwasserdargebot, der Durchlässigkeit der Drainageschicht sowie dem Oberflächengefälle der Basisabdichtung.

- Das zu berücksichtigende Haldenwasserdargebot ergibt sich aus der mittleren Restinfiltration durch die Oberflächenabdeckung in die Halde. Gemäß Haldenwasserbilanzierung (I-11 Teil 1) resultiert ein Haldensickerwasseranfall von 10 mm/a auf der Haldengesamtfläche von ca. 46 ha, welcher im Haldenmantel (80 m-Umring, entspricht ca. 18 ha) den Drainagen zusickert. Da es sich um langzeitliche verzögerte Sickerbewegungen innerhalb des Haldenmantels handelt, werden Starkniederschläge und Feuchttore weitestgehend gepuffert und können bei der Betrachtung der potenziellen Aufstauhöhe vernachlässigt bleiben.

- Die aus grobklastischen Material (Kies) zu errichtende mineralische Drainage weist einen sehr hohen durchsickerbaren Porenraum und damit sehr hohe Durchlässigkeiten auf. Es werden mindestens k_f -Werte von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s erreicht.
- Um eine günstige Abführung des Haldensickerwassers aus der Rückstandshalde heraus zu gewährleisten, wird das Oberflächengefälle der Basisabdichtung im zu drainierenden Bereich (80 m Haldenmantelzone) auf mindestens 2,5 % festgelegt.

Entsprechend dieser Parameteransätze lässt sich der Abfluss in der Drainagezone und die zugehörigen Wasserspiegelhöhe in der Drainage, die den Aufstau auf der Basisabdichtung darstellt, berechnen. Es gilt der Strömungsansatz nach DARCY in horizontaler Richtung:

$$Q = k_f \cdot i \cdot A$$

- mit
- Q Drainageabfluss [m^3/s]
 - k_f Durchlässigkeitsbeiwert der Drainage [m/s]
 - i Oberflächengefälle der Basisabdichtung / Sohlgefälle der Drainage [-]
 - A Durchströmte Fläche zur Drainage (Drainagelänge mal Breite)

Schritt 1: Berechnung der Drainageabflussmenge (pro m Drainage am Haldenfuß):

- 10 mm/a Haldensickerwasser auf 46 ha Fläche der Rückstandshalde, verteilt auf 18 ha Haldenmantel (39 % der Fläche) ergibt ca. 25 mm/a im Haldenmantel
- Pro Meter Drainagebreite ergibt sich vereinfacht ein Haldensickerwasseranfall gemäß Tabelle 4-1 in der Größenordnung von 2,0 m^3/a (entspricht ca. 5,5 l/d).
- Tatsächlich gilt der berechnete Wert nur für den Auslaufpunkt (Haldenfuß), da sich die Menge auf der Strecke der Drainage von innen nach außen erst ansammeln muss.

Tabelle 4-1: Berechnung der Drainageabflussmenge (pro m Drainage am Haldenfuß)

Parameter	Wert	Bemerkung
Länge der Drainage	80 m	Haldenmantel
Breite (normiert)	1 m	
Fläche Drainage (normiert)	80 m^2	pro m Breite
Zusickerung Haldenwasser	25,6 mm/a	
Drainageabflussrate Q	2,0 m^3/a	pro m Breite

Schritt 2: Berechnung der Aufstauhöhe in der Drainage

- Vereinfacht kann angenommen werden, dass sich das unter Schritt 1 berechnete Durchflussvolumen innerhalb der Drainage zu den Ausläufen bewegt.
- Entsprechend gilt hierfür die Strömungsgleichung nach DARCY (siehe oben), wobei umgestellt nach der durchströmten Fläche A die Wasserspiegelhöhe H ermittelt werden kann. Hierbei ist jedoch die effektive (durchströmbare) Porosität der Drainage zu berücksichtigen, da der Kieskörper den Aufstau erhöht.

- Gemäß Tabelle 4-2 ergibt sich eine Aufstauhöhe innerhalb der Drainage von rechnerisch ca. 10 mm.
- Da die volle Abflussrate erst am Auslaufpunkt resultiert, wird damit die Aufstauhöhe sogar noch überschätzt.

Tabelle 4-2: Berechnung der Aufstauhöhe in der Drainage

Parameter	Wert	Bemerkung
Drainageabflussrate Q	2,0 m ³ /a	pro m Breite
	6,5 · 10 ⁻⁸ m ³ /s	pro m Breite (umgerechnet)
k _r -Wert der Drainage	1 · 10 ⁻³ m/s	
Gefälle in der Drainage	2,5 %	Oberfläche der Basisabdichtung
durchströmte Fläche (berechnet, unkorrigiert)	0,0026 m ²	in Fließrichtung (pro m Breite), (Porosität n = 1)
effektive Porosität n _{eff}	25 %	durchströmbarer Porenanteil in der Drainage
durchströmte Fläche (berechnet)	0,010 m ²	in Fließrichtung (pro m Breite)
Durchflussbreite	1 m	
Höhe Wasserspiegel (berechnet)	0,01 m	entspricht Aufstauhöhe auf Basisabdichtung
	10 mm	

Im Ergebnis zeigt sich, dass aufgrund des geringen Haldenwasseranfalls überhaupt nur eine sehr geringe Aufstauhöhe innerhalb der Drainage von rechnerisch ca. 10 mm (1 cm) möglich sein kann. Durch das mit der Oberfläche der Basisabdichtung erstellte Gefälle wird das Haldensickerwasser in der Drainage nach außen abgeführt, so dass sich nur ein minimaler Wasserspiegel in der Drainage herausbilden kann.

4.3 Berechnung der potenziellen Restdurchsickerung (Sickerrate)

Unterhalb der geplanten Rückstandshalde wird eine 0,5 m mächtige Basisabdichtung mit einem k_r-Wert von $\leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s eingebaut. Die auf der Oberkante der Basisabdichtung in der Haldenmantelzone befindliche Drainage weist mit einem k_r-Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s im Vergleich zur Basisabdichtung eine ca. 2 Millionen-fach höhere Wasserdurchlässigkeit auf, so dass der Abfluss in jedem Fall deutlich vorrangig über die Drainage von statten gehen wird.

Trotzdem soll an dieser Stelle rechnerisch geprüft werden, welche Größenordnung einer Restdurchsickerung der Basisabdichtung potenziell möglich ist.

Ausgehend von der geringen in der Drainage möglichen Wasserspiegelhöhe von 10 mm (siehe Kap. 4.2) kann die Möglichkeit der Restdurchsickerung rechnerisch geprüft werden. Für diesen Prozess kann vereinfacht ebenfalls die in Kap. 4.2 dargestellte Strömungsgleichung nach DARCY angesetzt werden (Berechnung siehe Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3: Berechnung der potenziellen Restdurchsickerung durch die Basisabdichtung (Sickerrate)

Parameter	Kürzel	Einheit	Wert
Haldenfläche, relevant (Haldenmantel)	A	ha	18,0
	A	m ²	180.000
Planwert für Durchlässigkeitsbeiwert der Basisabdichtung (technische Barriere)	k _f	m/s	5 · 10 ⁻¹⁰ m/s
Wassersäule über Basisabdichtung	M	m	0,01
Mächtigkeit Basisabdichtung	M	m	0,50
Potenzialgefälle (aus Wassersäule über der Barriere)	i		0,02
Durchsickerung (Volumenstrom)	Q	m ³ /s	1,8 · 10 ⁻⁶
	Q	l/s	0,0018
	Q	m ³ /a	56,8
flächenbezogene Durchsickerungshöhe pro Jahr in der Haldenmantelzone		mm/a	0,32

Im Ergebnis zeigt sich, dass mit der Durchsickerungshöhe von 0,32 mm/a nur eine extrem geringe Menge an Haldenwasser die Basisabdichtung durchsickern kann (bei dichtem Haldenkern und folglich 25 mm/a Haldenwasseranfall in der Haldenmantelzone). Das bedeutet, dass nahezu der gesamte Haldenwasseranfall (ca. 99 %) über die Drainagen abgeführt wird.

4.4 Zeitliche Betrachtung der potenziellen Restdurchsickerung (Sickerzeit)

Bei den extrem gering zu erwartenden Restdurchsickerungsmengen ist auch die zeitliche Komponente zu beachten. Das Haldensickerwasser muss den Porenraum der Dichtungsschicht vertikal durchdringen und dieser Prozess nimmt einen beträchtlichen Zeitraum in Anspruch.

Bei einer angesetzten Durchsickerungshöhe von 0,32 mm/a und angenommenen 5 % effektiven Porenraum²⁾ (zur Berücksichtigung der „schnellen“ Durchsickerungskomponente) wird jährlich innerhalb der Basisabdichtung eine Schichtmächtigkeit von 6 mm von mineralisiertem Haldenwasser durchdrungen (Abstandsgeschwindigkeit = $9,5 \cdot 10^{-10}$ m/s). Diese Geschwindigkeit liegt in der Größenordnung des molekularen Diffusionskoeffizienten salinärer Lösungen von etwa $1 \cdot 10^{-9}$ m²/s und ist in erster Näherung ausschließlich vom Konzentrationsgradienten abhängig. Somit handelt es sich beim Austausch der Fluide um sehr langsame, verdrängende Stofftransportvorgänge auf molekularer Ebene (Tonminerale) bzw. innerhalb einer Kornfraktion von $\leq 2 \mu\text{m}$ (klastische Kornfraktion). Um die Schichtmächtigkeit der Basisabdichtung zu durchdringen, wird folglich rechnerisch ein Zeitraum von ca. 80 Jahren benötigt (siehe Tabelle 4-4).

²⁾ Bei der hier ausgeführten Berechnung der Sickerzeit wird der effektive (durchströmbare) Porenraum angesetzt. Damit wird vernachlässigt, dass beim Stofftransportvorgang neben dem Austausch des Porenwassers auch ein Austausch des Haftwassers, welcher bei Tonen einen hohen Anteil am Porenvolumen umfasst, erfolgt (Ton: ca. 50 % Gesamtporenraum, aber nur ca. 5 % effektiver Porenraum). Dementsprechend enthält die Berechnung noch eine zusätzliche Sicherheit.

Tabelle 4-4: Orientierende Berechnung der Sickerzeit der potenziellen Restdurchsickerung

Parameter	Kürzel	Einheit	Wert
Volumenstrom Restdurchsickerung	Q	m ³ /a	56,8
Durchsickerungshöhe pro Jahr		mm/a	0,32
Porosität mineralische Dichtschicht (Ton) ²⁾	n _{eff}		0,05
Sickergeschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit)	v _a	mm/a	6,3
		m/s	2 · 10 ⁻¹⁰
Mächtigkeit Basisabdichtung	M	m	0,5
Durchsickerungszeit (rechnerisch)	T	a	79

Es ist einzuschätzen, dass die Einsickerung in die ungesättigte Bodenzone unterhalb der Basisabdichtung erst mit einer deutlichen Verzögerung von rechnerisch ca. 80 Jahren beginnt. Ab diesem Punkt wird der Prozess in der Bewertung im hydrogeologischen Gutachten (siehe Unterlage I-7 und I-10) berücksichtigt.

Unberücksichtigt bleibt bei der Betrachtung der Durchsickerung der Basisabdichtung, dass die Flächen bis max. 4 Jahre nach Beginn der Aufhaldung keine Oberflächenabdeckung haben und damit stärker beaufschlagt werden als in der Zeit nach der Abdeckung. Da letztendlich auch in dieser Phase das hydraulische Gefälle zu dem Haldenwassergraben wirksam ist, besteht kein erhöhtes Durchsickerungsrisiko, so dass die gewählten Berechnungsansätze gerechtfertigt sind.

5 Zusammenfassung

Das an der Rückstandshalde eingesetzte System zur Oberflächenabdeckung ist unter den gegebenen Standortbedingungen in der Lage, die in den Halden- bzw. Salzkörper versickernden Niederschläge und somit den Wassereintrag in den Haldenkörper wirksam und nachhaltig zu reduzieren.

Im Regelbetrieb erfolgt durch das Oberflächenabdeckungssystem noch ein mittlerer Resteintrag von ca. 10 mm/a in den Haldenkörper. Erfahrungen aus anderen Haldenstandorten zeigen, dass sich aufgrund der Auflast und überwiegend aufgrund von Rekristallisationsprozessen ein nahezu undurchlässiger Haldenkern herausbildet. Die Sickerbewegung in der Halde beschränkt sich auf die Haldenmantelzone, wobei auch hier eine Verzögerung und Pufferung von Feuchtperioden eintritt.

Zur Reduzierung des Sickerwassereintrages in den Untergrund ist die Errichtung eines Systems Basisabdichtung, bestehend aus einer zweilagigen mineralischen Dichtung sowie haldeninternen und -externen Entwässerungselementen geplant. Es ist sichergestellt, dass das System Basisabdichtung die Funktionalität, Wirksamkeit und Gebrauchstauglichkeit unter dem Einfluss der nicht vermeidbaren haldentypischen chemischen und mechanischen Beanspruchungen (Salzwasserangriff, Verformungen des Untergrundes infolge Haldenauflast und Viskoplastizität) beibehält (s. Unterlage E-10).

Die Basisabdichtung sorgt in Verbindung mit dem Drainagesystem im Haldenmantel dafür, dass nahezu der gesamte Haldenwasseranfall gefasst und zum Haldengraben abgeleitet werden kann.

In der Gesamtbewertung ist festzustellen, dass durch

- den geringen Eintrag von Niederschlagswasser in den Salzkörper,
- das topografische bedingte Geländegefälle der Haldenaufstandsfläche,
- das gezielt nach außen angelegte Gefälle der Basisabdichtung im Bereich des Haldenmantels,
- die Wirksamkeit der Entwässerungseinrichtungen und
- die deutlichen Permeabilitätsunterschiede zwischen Drainage und Basisabdichtung

das Auftreten eines relevanten Aufstaus oberhalb der Basisabdichtung schon vom Grundsatz unwahrscheinlich erscheint und es dementsprechend nicht zu einer nennenswerten Restdurchsickerung kommen kann. Zudem wäre dieser Prozess nicht tatsächlich als Durchsickerung, sondern eher als ein sich nahezu über 100 Jahre hinziehender Stoffaustausch in der mineralischen Basisabdichtung auf molekularer Ebene zu bezeichnen. Dementsprechend kann im Ergebnis der ausgeführten Berechnungen die hier ausgewiesene Restdurchsickerung als vernachlässigbar angesehen werden.

Eine weiterführende Bewertung in Bezug auf das Schutzgut Grundwasser erfolgt im Hydrogeologischen Gutachten in der Unterlage I 7.