

K+S Minerals and Agriculture GmbH
Werk Werra · Standort Hattorf
Herrn Dipl.-Ing. Christian Artschwager
Postfach 11 63
36267 Philippsthal (Werra)

vorab per E-Mail: christian.artschwager@k-plus-s.com

K/Vo/Se/Le/Te
IK2035
07.11.2024

Geotechnische Stellungnahme Nr. IK2035/11

zu den Ausführungen der Umtec | Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB in der Gutachterlichen Stellungnahme zur Fragestellung der Restdurchsickerung der Mineralischen Dichtung unter der aufgeprägten Dehnung vom 13.09.2024

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH (K+S), Werk Werra, betreibt am Standort Hattorf mit Sitz in Philippsthal einen untertägigen Kalibergbau. Nach der Gewinnung und Förderung wird das Rohsalz aufbereitet und der überwiegend in der elektrostatischen Aufbereitung (ESTA) entstehende, im Wesentlichen aus Steinsalz bestehende Rückstand auf der nahegelegenen Rückstandshalde abgelagert.

Mit dem Rahmenbetriebsplan zur Erweiterung der Rückstandshalde des Werkes Werra in der Fassung 04.2024 beantragte K+S die Erweiterung der bestehenden Rückstandshalde Hattorf in der Phase 3.

Mit der o.g. gutachterlichen Stellungnahme vom 13.09.2024, im Weiteren als [U1] bezeichnet, nimmt die Umtec | Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB (nachfolgend Umtec) Bezug auf die Stellungnahme des Herrn Dr.-Ing. U. Sehrbrock vom 24.04.2024 [U2.2] und auf unsere geotechnische Stellungnahme Nr. IK2035/09 vom 08.05.2024 [U3].

K+S beauftragte daher die Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH (IK) mit der fachtechnischen Stellungnahme zu den in [U1] enthaltenen Ausführungen zu unserer geotechnischen Stellungnahme Nr. IK2035/09 [U3]. In der gegenständlichen Stellungnahme Nr. IK2035/11 wird auf die entsprechende Ausführung in [U1] eingegangen. Zitate aus der vorgenannten Stellungnahme von Umtec [U1] sind nachfolgend durch *Kursivdruck* kenntlich gemacht.

Die für die gegenständliche Stellungnahme verwendeten Unterlage sind nachfolgend aufgeführt:

- [U1] Umtec | Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB, Bremen:
Gutachterlichen Stellungnahme zur Fragestellung der Restdurchsickerung der Mineralischen Dichtung unter der aufgeprägten Dehnung vom 13.09.2024
- [U2] Herr Dr. Sehrbrock, IG Braunschweig GmbH, Braunschweig:
1. Erwiderung zur Stellungnahme der Umtec vom 27.09.2023 vom 22.11.2023
2. Erwiderung zur Stellungnahme der Umtec vom 18.03.2024 vom 24.04.2024
3. Erwiderung zur Stellungnahme der Umtec vom 13.09.2024 vom 05.11.2024
- [U3] Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, Darmstadt:
Geotechnische Stellungnahme Nr. IK2035/09 zu den Ausführungen der Umtec | Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB in der Gutachterlichen Stellungnahme zur Fragestellung der Restdurchsickerung der Mineralischen Dichtung unter der aufgeprägten Dehnung vom 18.03.2024 vom 08.05.2024

I.

Zitat Umtec aus der gutachterlichen Stellungnahme vom 13.09.2024 [U1]:

„Im Rahmen einer Überarbeitung sind diese Nachweise [Nachweis Basisabdichtung unter aufgeprägter Dehnung gemäß Ausführungen des Herrn Dr. Sehrbrock in seinen Stellungnahmen vom 22.11.2023 und 24.04.2024 (Anmerkung IK)] über die Zeitachse (Vergleich erforderlicher Auflastspannung zu vorhandener Auflastspannung) am Haldenfuß zu führen.“

Zur Bearbeitung dieser Aufgabenstellung sind in Abstimmung mit K+S sowohl die Dehnungen als auch die Vertikalspannungen im Schnitt C-C' im Bereich des Haldenfußes detailliert über die Zeit auszuwerten. Der Bereich des endgültigen Haldenfußes ist der Bereich, in dem am Ende des Betrachtungszeitraums die größten Dehnungen im numerischen Modell auftreten. In Bild 1 ist der Haldenfuß im Schnitt C-C' als Systembild dargestellt.

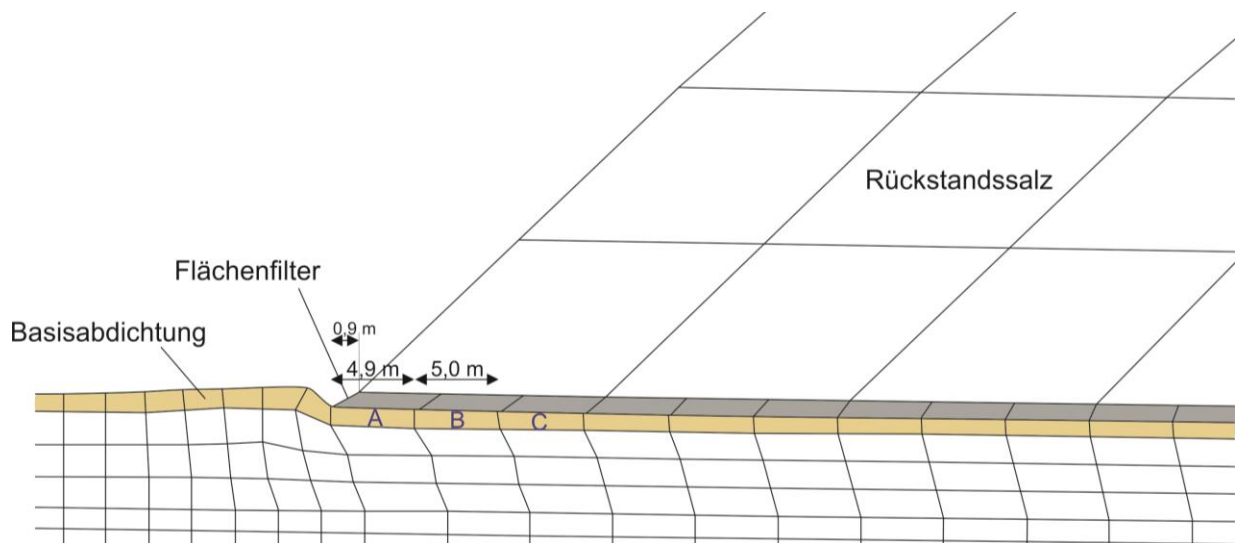


Bild 1: Systembild Haldenfuß Schnitt C-C' (verformtes Netz)

Die Vertikalspannungen und Dehnungen werden in den Elementen A, B und C der Basisabdichtung ausgewertet. Die Auswertung erfolgt dabei für verschiedene Zeitpunkte der numerischen Berechnung. Für die Auswertung der Vertikalspannungen der o.g. Elemente ist eine geeignete Auswertemethodik zu definieren.

Für die gegenständliche Fragestellung erfolgt die Auswertung der Vertikalspannungen an den einzelnen Integrationspunkten (integration points). Integrationspunkte sind spezifische Punkte innerhalb eines Finite-Element Elements (FE-Element), an denen physikalische Größe wie beispielsweise Spannungen berechnet werden. Die Anzahl und Positionen der Integrationspunkte hängen u.a. vom Typ des Elements ab.

In Bild 2 ist exemplarisch ein Continuum-3D-8-Knoten-Element inkl. Integrationspunkte dargestellt, wie es in unseren numerischen Berechnungen verwendet wird.

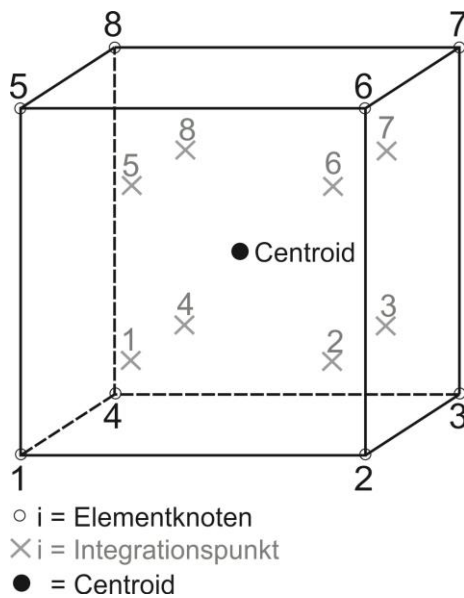


Bild 2: Continuum-3D-8-Knoten-Element inkl. Integrationspunkte

In der Regel erfolgt die Auswertung von Spannungen und Dehnungen im numerischen Modell am Elementschwerpunkt (Centroid). Der Schwerpunkt eines Elementes ist der Punkt, an dem die mittlere Spannung über das gesamte Element berechnet wird. Um die Vertikalspannungen am Elementschwerpunkt zu bestimmen, werden die Spannungswerte an den Integrationspunkten des Elementes berechnet und gemittelt. Hieraus lässt sich die repräsentative Spannung am Elementschwerpunkt σ_{Centroid} berechnen:

$$\sigma_{\text{Centroid}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_i$$

Hierbei ist N die Anzahl der Integrationspunkte des Elementes und σ_i die Spannungen an den Integrationspunkten. Für ein Continuum-3D-8-Knoten-Element ergibt sich somit:

$i = 1 \text{ bis } 8$

$N = 8$

Neben der beschriebenen Auswertemethodik am Elementschwerpunkt (Centroid) ist auch eine Auswertung an den einzelnen Integrationspunkten möglich.

In [U2.1] werden für den Nachweis der Basisabdichtung die Mittelwerte der im Labor bestimmten Scherfestigkeiten angesetzt. In der aktuellen Stellungnahme des Herrn Dr. Sehrbrock vom 21.10.2024 [U2.3] werden ergänzend die Median-Werte für die Nachweisführung verwendet. Bei der Berechnung der erforderlichen Auflastspannungen wurden die Einwirkungen durch Multiplizieren der Scherparameter mit den erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{\phi'} = \gamma_{c'} = 1,25$ (nach DIN 1054 für den permanenten Lastfall) erhöht.

Die Nachweise des Herrn Dr. Sehrbrock ([U2.1] und [U2.3]) für die Basisabdichtung erfolgten, bedingt durch die zweilagige Herstellung und die geringfügig anderen Kennwerte, getrennt nach oberer und unterer Lage der Basisabdichtung. In den numerischen Modellen erfolgte keine getrennte Modellierung der zwei Schichten. Die Basisabdichtung ist als eine Elementlage im numerischen Modell abgebildet.

Auf Grundlage der Nachweise in [U2] wurde die Auswertemethodik der numerischen Berechnungen weiter angepasst. Neben der oben beschriebenen Auswertung am Elementschwerpunkt (Centroid) erfolgt hier ergänzend eine Auswertung der Vertikalspannungen einzeln an allen acht Integrationspunkten. Ziel ist es, jeweils für die oberen und unteren vier Integrationspunkte die gemittelten Vertikalspannungen $\bar{\sigma}_{oL}$ und $\bar{\sigma}_{uL}$ zu berechnen (Bild 3), um diese dann den Auflastspannungen in der oberen und unteren Lage aus [U2.1] und [U2.3] gegenüberzustellen. Dafür werden die Vertikalspannungen der Integrationspunkte 1 bis 4 für die untere Lage bzw. die Integrationspunkte 5 bis 8 für die obere Lage gemittelt.

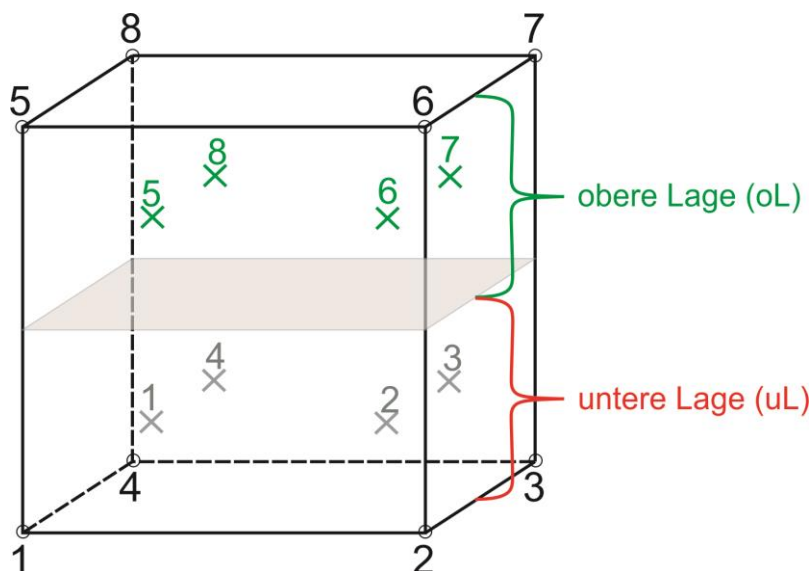


Bild 3: Berechnung der Vertikalspannungen $\bar{\sigma}_{oL}$ und $\bar{\sigma}_{uL}$ über die Integrationspunkte

Sowohl die erforderlichen Auflastspannungen gemäß [U2.1] und [U2.3] als auch die im Schnitt C-C ausgewerteten Vertikalspannungen, getrennt nach oberer und unterer Lage, für die Elemente A, B und C sind in Tabelle 1 dokumentiert.

Zeitpunkt der Nachbetriebsphase ¹⁾			1 Jahr	5 Jahre	10 Jahre	15 Jahre	25 Jahre
erforderliche Auflastspannung gemäß [U2.1]	oL		183,6 kN/m ² ; Risstiefe $z_R = 0,00$ m				
	uL		142,8 kN/m ² ; Risstiefe $z_R = 0,00$ m				
erforderliche Auflastspannung gemäß [U2.3]	oL		122,9 kN/m ² ; Risstiefe $z_R = 0,00$ m				
	uL		181,2 kN/m ² ; Risstiefe $z_R = 0,00$ m				
Vertikalspannung Numerik [kN/m ²]	Element A	centroid	137,4	164,7	198,1	238,8	340,7
		oL	137,5	164,7	198,1	238,7	340,6
		uL	132,9	160,5	193,0	231,6	326,8
	Element B	centroid	231,2	254,5	277,7	299,1	372,1
		oL	227,2	247,9	267,5	286,6	355,8
		uL	235,1	261,0	287,8	311,7	388,5
	Element C	centroid	296,5	342,7	377,8	409,8	532,9
		oL	296,3	338,7	373,3	403,8	530,3
		uL	296,6	346,7	382,2	415,8	535,4

oL = obere Lage der Basisabdichtung

uL = untere Lage der Basisabdichtung

¹⁾ Nachbetriebsphase = Zeitraum nach Schüttende im Schnitt C-C

Tabelle 1: Vertikalspannungen in der Basisabdichtung (Elemente A, B und C) im Bereich des endgültigen Haldenfußes

In [U2.3], mit dem Ansatz der Medianwerte der Laborversuche, ist die untere Lage der mineralischen Dichtung hinsichtlich der erforderlichen Auflastspannung maßgebend. Diese beträgt bei den hier angesetzten Medianwerten 181,2 kN/m².

In [U2.1], mit dem Ansatz der Mittelwerte der Laborversuche, ist die obere Lage der mineralischen Dichtung hinsichtlich der erforderlichen Auflastspannung maßgebend. Diese betrug bei den hier angesetzten Mittelwerten 183,6 kN/m².


Die Größenordnung der erforderlichen Auflastspannung ist bei beiden Berechnungen vergleichbar.

Die für die Nachweisführung in [U2.1] und [U2.3] erforderlichen Auflastspannungen sind in den Elementen B und C insgesamt vorhanden (siehe Tabelle 1). Im Element A, dem ersten Element der Basisabdichtung unmittelbar am Haldenfuß gelegen, werden die erforderlichen Auflastspannungen für die obere und untere Lage der Basisabdichtung gemäß [U1] und [U2] zwischen 5 und 10 Jahren Nachbetriebsphase erreicht.


Gemäß [U2.3] ist der Nachweis der mineralischen Dichtung für einen Zeitraum von 1 Jahr nach Schüttende im Element A unter Ansatz eines Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_{\phi'} = \gamma_{c'} = 1,03$ erfüllt; für einem Zeitraum von 5 Jahren nach Schüttende kann der Nachweis der mineralischen Dichtung im Element A unter Ansatz eines Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_{\phi'} = \gamma_{c'} = 1,16$ geführt werden.

Die aktuellen Nachweise in [U2.3] unter Berücksichtigung der ergänzenden Auswertungen der numerischen Berechnungen im Schnitt C-C' zeigen, dass die erforderlichen Auflastspannungen (Vertikalspannungen) in den ersten drei Elementen der Basisabdichtung spätestens nach 10 Jahren Nachbetriebsphase (Element A) erreicht werden.

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Steffen Leppla
Eva Eden-Teutsch, M.Sc.


Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach
-Vereidigter Sachverständiger-




Dipl.-Ing. Matthias Seip
-Prüfsachverständiger nach HPPVO-



Verteiler: siehe Seite 8

Verteiler:

- K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra 1 x Kopie
- K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, per E-Mail
Frau Dr. Hanka Poppitz
E-Mail: hanka.poppitz@k-plus-s.com
- K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, per E-Mail
Herrn Dr. Michael Wündsich
E-Mail: michael.wuendsch@k-plus-s.com
- K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, per E-Mail
Herrn Dipl.-Ing. Christian Artschwager
E-Mail: christian.artschwager@k-plus-s.com
- K+S AG, Herrn Dr.-Ing. Jan-Peter Schleinig per E-Mail
E-Mail: jan-peter.schleinig@k-plus-s.com