

**RMHA PHASE 2 BETRACHTUNG DER GLEICHWERTIGKEIT
EINES MODIFIZIERTEN REGELAUFBAUS
DER BASISABDICHTUNG**

PROJEKT-NR. 16528

Verteiler: 1. Ausfertigung K+S Minerals and Agriculture GmbH digital
2. Ausfertigung z. d. A.

Aufgestellt: Specht

Stand: Juni 2021

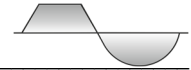
**RMHA PHASE 2 BETRACHTUNG DER GLEICHWERTIGKEIT
EINES MODIFIZIERTEN REGELAUFBAUS
DER BASISABDICHTUNG**

PROJEKT-NR. 16528

1. Ausfertigung

Aufgestellt: Specht

Stand: Juni 2021



Inhaltsverzeichnis

Seite:

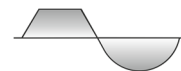
| | |
|--|----|
| 1. Veranlassung | 6 |
| 2. Aufbau System Basisabdichtung Phase 1 | 8 |
| 2.1 Mineralische Dichtung | 8 |
| 2.1.1 Anforderungen an die untere Dichtungslage | 8 |
| 2.1.2 Anforderungen an die obere Dichtungslage | 9 |
| 2.1.3 Anforderungen an die Durchlässigkeit des Gesamtsystems | 10 |
| 2.2 Flächenhafte Entwässerungsschicht FES | 10 |
| 3. Auswertung der Untersuchung EP und FP | 12 |
| 4. Gleichwertigkeitsnachweis mineralische Dichtung | 12 |
| 4.1. Berechnungsgrundlagen | 12 |
| 4.2. Berechnung und Vergleich Dichtungssysteme | 13 |
| 4.3. Bewertung Vergleich Dichtungssysteme | 14 |
| 5. Anpassung FES..... | 15 |

Anlagenverzeichnis

| | |
|----------|--|
| Anlage 1 | Aufbau System Basisabdichtung, Gleichwertigkeitsnachweis Phase 1 zu Phase 2 |
|----------|--|

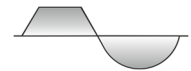
Verwendete Abkürzungen

- QMP Qualitätsmanagement Plan
- FES flächenhafte Entwässerungsschicht
- BQS Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard
- FP Fremdprüfung
- EP Eigenprüfung



Grundlagen

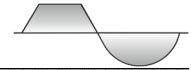
- [1.] Rahmenbetriebsplan „Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf“ (Haldenerweiterung Hattorf: RBP HA-04/09 i. d. F. der 2. Planänderung vom 15.05.2018, DVS 3002013) Band 1.1E - Technischer Erläuterungsbericht
- [1.1] Band 1.1.1E – Technisches Konzept
- [1.2] Band 3.16 - Baugrund
- [1.3] Band 3.18E - Gebrauchstauglichkeit (Langzeitsicherheit / Langzeitstabilität) / Monitoringkonzept zur Standsicherheit
- [1.4] Band 3.29.1N - Nachweise für das System Basisabdichtung im Pilotvorhaben Zielitz
- [1.5] Band 3.29.2N – Projektbezogene Eignungsuntersuchungen zum System Basisabdichtung der Halde Hattorf
- [2.] Untersuchungen zum Nachweis der Materialien der mineralischen Dichtungsschicht K+S Kali GmbH Werk Werra Standort Hattorf, Nachhaltiges Rückstandsmanagement T2-Flächenvorbereitung, Wasserhaltung System Basisabdichtung, SIG-Hessen Ingenieure, Prof. Steffen, Hütteroth & Schröder GmbH, vom 29. Mai 2015
- [3.] Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf, Stellungnahme der Fremdprüfung zur Materialeignungsprüfung der mineralischen Basisabdichtung. QM^{geo} Prüfgesellschaft mbH, Projekt-Nr. 2016-03, 26.10.2017
- [4.] Eignungsbeurteilung zum System Basisabdichtung (SYBa) gemäß erweitertem technischem Konzept. upi, Abschlussbericht Dezember 2017
- [5.] Geotechnische Prüfung und Beurteilung des Beschüttungsabschnitts 1.1 der geplanten Haldenerweiterung Hattorf im Rahmen der Beobachtungsmethode. Ingenieursozietät Prof. Dr. Ing. Katzenbach GmbH, Geotechnische Stellungnahme Nr. IK1610/03 vom 26.04.2017
- [6.] Geotechnische Prüfung und Beurteilung der einzelnen Beschüttungsabschnitte der geplanten Haldenerweiterung (hier: Beschüttungsabschnitt A1). Ingenieursozietät Prof. Dr. Ing. Katzenbach GmbH, Geotechnische Stellungnahme Nr. IK1610/04 vom 13.11.2017



- [7.] Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf Haldenerweiterung Hattorf; Sonderbetriebsplan: Errichtung der Infrastruktur und Flächenvorbereitung zur Beschüttung für den Beschüttungsabschnitt A1 (SBP HA-10/17, DVS-Nr. 3003013); Teil 1: Probefeldbau, Infrastruktur und Flächenvorbereitung für die separate Halde im BA A1 Zulassung vom 19.03.2018 (Az. 34/Hef-76 d 40-11- 314-30-9/25); K+S KALI GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf 18.12.2017
- [8.] Berechnung der upsi zur Aufstauhöhe nach GDA E2-20
RBP 04/09-HA, Band 1.3E21 Haldenwasserbillanz (in der Fassung 2021)

Sonstige Unterlagen, Verordnungen, Regelwerke, Literatur

- [I.] Patent Nr.10 2010 026863, Basisabdichtung einer Halde, insbesondere einer Rückstandshalde, K+S Aktiengesellschaft, 34131 Kassel DE, 29.05.2013
- [II.] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1995): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen. In: DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.) GDA-Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten (Anhang). Ernst & Sohn, Berlin, 3. Auflage 1997.



1. Veranlassung

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, betreibt zur Ablagerung des bei der Rohsalzaufbereitung entstehenden Rückstandes die ESTA-Rückstandshalde Hattorf. Zur Standort- und Produktionssicherung wird derzeit ein bergrechtliches Genehmigungsverfahren zur Erweiterung der Rückstandshalde durchgeführt (Vorhaben: „Nachhaltiges Rückstandsmanagement (RM) am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf)“). Gegenständlich ist die Erweiterung Phase 2. Die Maßnahme umfasst die Vergrößerung der bestehenden Haldenfläche in westliche bis südliche Richtung ausgehend von der in 2018 planfestgestellten Haldenerweiterung Phase 1. Die geplante Erweiterungsfläche umfasst 10,8 ha zzgl. ca. 7 ha Flächen für den Infrastruktur- und Randstreifen. Eine Unterteilung der Fläche in Jahresscheiben erfolgt derzeit nicht.

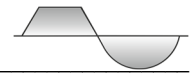
Die Basisabdichtung der Phase 1 ist mit ca. 27 ha fertiggestellt und befindet sich derzeit in der Beschüttung. Im Zuge der weiteren Ablaufplanung sind die Flächenerweiterungen in Phase 2 und Phase 3 für die Gesamtflächenbeplanung vorgesehen.

Die 10,8 ha umfassende Teilfläche zu Phase 2 schließt im Süden und Westen an die in Beschüttung befindlichen Flächen der Phase 1 an (BA4-5).

Die SIG-HESSSEN Ingenieure wurden mit der Planung dieser Flächenerweiterung durch die K+S Minerals and Agriculture GmbH beauftragt.

Die ebenfalls durch die SIG-HESSSEN durchgeführte Eignungsprüfung [2.] ging 2017 ursprünglich von einem mineralischen Dichtungssystem mit einer Aufbaustärke von 0,3 m Gesamtaufbaustärke und einer Systemdurchlässigkeit von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s aus. Hierfür konnte auch der Nachweis in der Eignungsprüfung erbracht werden. Im Zuge des Genehmigungsprozesses wurden zum Erreichen der Zulassungsfähigkeit, über den Stand der Technik hinaus, eine Gesamteinbaustärke der mineralischen Dichtung von 0,75 m gewählt. Dieses System wurde dann in der gesamten Phase 1 eingebaut.

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH beabsichtigt, unter Berücksichtigung der Erfahrungen über Qualität und Verfügbarkeit der regional verfügbaren Baustoffe, sowie die Herstell- und Ausführbarkeit und Leistungsfähigkeit der Komponenten im System Basisabdichtung, die im Rahmen der Flächenvorbereitung in der Phase 1 gesammelt wurden, das

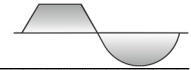


System zu optimieren. Hierbei spielen neben dem wirtschaftlichen auch der Aspekt der Nachhaltigkeit mit möglichst geringem Ressourcenverbrauch eine Rolle.

Durch die bauausführende Fa. MAX BÖGL und ihre Eigenprüfung GGU wurden im Zuge der Bauausführung Hattorf Phase 1 und der Erweiterung Wintershall weitere Anpassungen und Optimierungen der Mischung durch Substitute und Anpassungen der prozentualen Zusammensetzung vorgenommen. Dieses wurde durch Eignungsprüfungen begleitet und jeweils durch die Fremdprüfung QMgeo abgenommen und von der Bergbehörde zur Ausführung freigegeben.

Durch diese Instanzen wurden auch die baubegleitenden Kontrollen der Einbauqualität von 2018 bis 2020 durchgeführt und gegenüber der Behörde dokumentiert und durch diese die anforderungsgerechte Flächenvorbereitung bestätigt. Durch die SIG-HESSSEN wurden im Zuge der fachtechnischen Begleitung der Baumaßnahme regelmäßig ergänzende Referenzproben genommen und als Langzeitversuche mit Haldenwasser in Triaxialzellen eingebaut. Es zeigte sich, in den Langzeitversuchen als auch in den QMP-Prüfungen, dass die Bestimmung der Durchlässigkeit (k_f nach DIN 18130, i: 30 mit und ohne Haldenwasser) wesentlich höhere Undurchlässigkeiten belegten, als dies nach den Vorgaben des QMP erforderlich gewesen wäre. Dies betraf besonders die grobkörnigere obere Lage mit dem zur Bauausführung Phase 1 geforderten k_f von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Auch während der parallel begonnenen Baumaßnahme am Standort Winterhall bestätigten sich die Erfahrungen mit der Qualität der mineralischen Dichtung, die bereits in Hattorf gesammelt werden konnten.

Daher wurde die SIG-HESSSEN Ingenieure beauftragt, im Vorfeld der Weiterführung der Erweiterungsmaßnahme die Gleichwertigkeit eines hinsichtlich seiner Aufbaustärke angepassten d.h. reduzierten Basisabdichtungssystems im Vergleich zum bisherigen Aufbau hinsichtlich seiner Funktionsfähigkeit zunächst rechnerisch zu prüfen. In den Gleichwertigkeitsnachweis soll zum System Basisabdichtung auch die flächige Entwässerungsschicht (FES) einbezogen werden.



2. Aufbau System Basisabdichtung Phase 1

Das „System Basisabdichtung“ unterliegt derzeit folgendem genehmigten Aufbau [1.1]:

- UV- und Witterungsschutzschicht (Rückstandssalz; optional mineralischer Baustoff)
- filterstabile Trennlage, BAM-zugelassenes Filter- und Trennvlies
- 50 cm flächenhafte Entwässerungsschicht
- Trennlage, BAM-zugelassenes Filter- und Trennvlies
- 50 cm kornabgestufte polymervergütete mineralische Dichtungsschicht – obere Lage 0/8 mm
- 25 cm polymervergütete mineralische Dichtungsschicht – untere Lage 0/2 mm
- Planum – anstehender bzw. aufgetragener vergüteter Boden

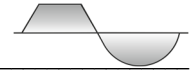
2.1 Mineralische Dichtung

Auf Grundlage der von den SIG Hessen Ingenieuren erbrachten Materialeignungsprüfungen, in Anlehnung an BQS 2-2, wurde die grundsätzliche, anforderungsgerechte Herstellbarkeit der mineralischen Dichtung im System Basisabdichtung unter Verwendung regional verfügbarer Baustoffe sowie Hilfsstoffe zur Vergütung (Tonmehl, Polymer) nachgewiesen und zur Ausführung in der Phase 1 zugelassen. Die vorgelegten ergänzenden Materialeignungsnachweise der bauausführenden Firma wurden durch die QMgeo Prüfgesellschaft als Fremdprüfung in den Beschüttungsabschnitten A1 bis A5 im einzelnen bewertet und zur Ausführung empfohlen.

2.1.1 Anforderungen an die untere Dichtungslage

An die Zusammensetzung der unteren Lage der mineralischen Dichtungsschicht galten die folgenden Anforderungen gemäß Unterlagen im RBP Band 3.29.2 und dem gültigen QMP:

- mind. 25 cm vergütete/aufbereitete mineralische Dichtung mit einem Körnungsband angenähert an die Fuller-Kurve zur Gewährleistung einer Kornverteilung mit minimalem Hohlraumgehalt bei hoher Scherfestigkeit.
- Rezeptur unter Verwendung von ortsnahe verfügbaren standardisierten natürlichen Baustoffen (Sand 0/1 mm, Sand 0/2 mm, Kiessand 0/8 mm) sowie Hilfsmitteln, die zum Erreichen der Funktionstüchtigkeit in begrenzten Mengen zugesetzt werden, bestehend aus mind. 20 Gew.-% Tonmehl und dem Polymerzusatz Nanoalps in einer Menge von 0,5 % (Toleranz: 0,4 – 0,6 %).



In der nachfolgenden Tabelle sind die Qualitätsanforderungen an die untere Dichtungslage im Einbauzustand zusammengefasst.

| Material / Bauteil | Qualitätsanforderungen |
|--------------------|--|
| Untere Lage | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Einbaumächtigkeit mind. 25 cm (verdichtetes Maß) ➤ Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s ➤ Reibungswinkel $\varphi' \geq 30^\circ$ |

Tabelle 1: Qualitätsanforderungen der unteren Lage der mineralischen Abdichtung

2.1.2 Anforderungen an die obere Dichtungslage

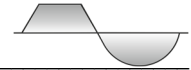
An die Zusammensetzung der oberen Lage der mineralischen Dichtungsschicht galten die folgenden Anforderungen:

- mind. 50 cm kornabgestufte mineralische Dichtung (aufgebaut in zwei Schichten) mit einem Körnungsband angenähert an die Fuller-Kurve zur Gewährleistung einer Kornverteilung mit minimalem Hohlraumgehalt bei hoher Scherfestigkeit.
- Rezeptur unter Verwendung von ortsnah verfügbaren standardisierten natürlichen Baustoffen (Kies 2/8 mm, Kiessand 0/8 mm, Sand 0/2 mm) sowie Hilfsmitteln, die zum Erreichen der Funktionstüchtigkeit in begrenzten Mengen zugesetzt werden, bestehend aus mind. 12 Gew.-% Tonmehl und dem Polymerzusatz Nanoalps in einer Menge von 0,5 % (Toleranz: 0,4 – 0,6 %).

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Qualitätsanforderungen an die obere Dichtungslage im Einbauzustand zusammengefasst.

| Material / Bauteil | Qualitätsanforderungen |
|--------------------|--|
| Obere Lage | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Einbaumächtigkeit min. 50 cm (verdichtetes Maß), aufgebaut in zwei Schichten zu jeweils ca. 25 cm ➤ Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s ➤ Reibungswinkel $\varphi' \geq 35^\circ$ |

Tabelle 2: Qualitätsanforderungen der oberen Lage der mineralischen Abdichtung



2.1.3 Anforderungen an die Durchlässigkeit des Gesamtsystems

An das Gesamtsystem der mineralischen Dichtungsschicht gelten bisher die folgenden Anforderungen:

| Material / Bauteil | Qualitätsanforderungen |
|---------------------|---|
| Gesamtsystem | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Einbaumächtigkeit min. 75 cm (verdichtetes Maß) ➤ Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s |

Tabelle 3: Qualitätsanforderungen an das Gesamtsystem der mineralischen Dichtung

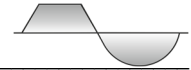
Der Nachweis der Systemdurchlässigkeit konnte entfallen, wenn beide Lagen der mineralischen Abdichtung die geforderte Systemdurchlässigkeit von $\leq 5,0 \cdot 10^{-10}$ m/s einhalten.

Dieser Passus war Bestandteil des QMP. Basierend auf den Erfahrungen aus den Prüfungen des Durchlässigkeitsbeiwertes im Labor nach DIN 18130 mit einem n von 30 an Proben aus dem Baufeld konnte durch Eigen- (EP) und Fremdprüfung (FP) bestätigt werden, da i.d.R. in beiden Lagen der mineralischen Dichtung ähnlich geringe k_f Werte, teils deutlich unterhalb der Anforderungen des QMP, ermittelt werden konnten. Daher lag es nahe zu überprüfen, welche Reduzierung der Gesamtmächtigkeit bei gleichbleibender Rückhaltefunktion der Dichtung aufgrund der verringerten Durchlässigkeit theoretisch umsetzbar wäre.

2.2 Flächenhafte Entwässerungsschicht FES

Auf der mineralischen Dichtung erfolgte die Entwässerung durch eine flächenhafte Entwässerungsschicht (FES). Diese FES hat die Aufgabe, das auf der Dichtung anfallende Haldenwasser entsprechend dem vorhandenen Gefälle den linienhaften Entwässerungselementen im Haldeninneren bzw. dem Haldenrandgraben im Haldenvorfeld zuzuführen.

Die FES wird derzeit aus einem Baustoff der Korngruppe 16/32 mm gemäß den Anforderungen der DepV / BQS 3-1 oder BQS 3-2 in einer Mächtigkeit von 50 cm hergestellt.



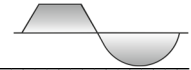
Das vom Auftragnehmer zu liefernde natürliche mineralische Material muss sämtliche Anforderungen gemäß den bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 3-1 "Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungssystemen" vom 04.12.2018 bzw. 3-2 "Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen" vom 04.12.2018 der LAGA Ad-hoc-AG Deponietechnik erfüllen.

| Material/ Bauteil | Anforderung gemäß aktuellem BQS/QMP |
|--|--|
| Flächenhafte Entwässerungsschicht, 16/32 mm | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Einbaumächtigkeit min. 50 cm ➤ Kalkgehalt (Calciumcarbonatanteil) ≤ 20 Masse-% ➤ bei calcitisch gebundenem Gestein darf der Anteil des Calciumcarbonates nicht mehr als 1 Masse-% betragen ➤ Durchlässigkeitsbeiwert $k_f > 1 \cdot 10^{-2}$ m/s ➤ abschlämmbarer Anteil $\leq 0,5$ % ➤ Körner mit $L/B > 3/1 \leq 20$ % |

Tabelle 4: Qualitätsanforderungen an die flächenhafte Entwässerungsschicht

Sowohl die rechnerischen Ansätze aus den Betrachtungen zur Restinfiltration im RBP und dem erweiterten technischen Konzept und die hydraulischen Berechnungen im SBP der Phase 1, als auch die Prognosen für die Phase 2 [8] zeigen, dass die flächenhafte Entwässerungsschicht mit 0,5 m Mächtigkeit, bei nur wenigen Zentimetern Aufstauhöhe, deutlich überdimensioniert ist, selbst ohne Berücksichtigung der linienhaften Entwässerungselemente.

Gemäß der Haldenwasserbilanz in Band 1.3E2 des RBP 04/098-HA (in der Fassung 2021) wurde konservativ ein Aufstau von max. 4,4 cm errechnet. Daher wird beantragt, die Dicke der FES auf 0,3 m zu reduzieren und eine Öffnung für weitere Körnungen vorzunehmen (z. B. 8/16 oder 8/32 mm). Diese Planung wird in die weiteren Betrachtungen mit einbezogen.



3. Auswertung der Untersuchung EP und FP

Im Zuge der im QMP fixierten baubegleitenden Untersuchungen der EP und FP der Baumaßnahmen für die Haldenerweiterungsflächen in Hattorf und Wintershall wurden aus der unteren und oberen Lage der mineralischen Dichtung Proben entnommen und hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit untersucht. Die statistische Auswertung ergibt, dass die Durchlässigkeiten mit wenigen einzelnen Ausnahmen $< 5 \cdot 10^{-10}$ m/s erreichen. Besonders für die obere Lage bedeutet dies, dass die geforderten $1 \cdot 10^{-09}$ m/s deutlich unterschritten werden, wodurch sich die Systemdurchlässigkeit verringert.

4. Gleichwertigkeitsnachweis mineralische Dichtung

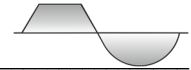
4.1. Berechnungsgrundlagen

Für die Betrachtung der ortskonkreten Restinfiltration sind die Aufstauhöhen und die Abflusssituation in den entsprechenden Teilflächen sowie die hydraulische Berechnung der Entwässerungselemente in der Genehmigungsplanung maßgebend. Die Gefälleverhältnisse schwanken lokal deutlich, daher erfordert dies eine differenzierte, ortskonkrete Betrachtung. Dies kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht final erfolgen, da die Planung der Phase 2 in Hattorf gegenwärtig durch die SIG-HESSSEN bearbeitet wird. Daher wird hier ein vereinfachter auf der sicheren Seite liegender Ansatz gewählt, basierend auf den Daten und Betrachtungen aus dem RBP und SBP für die Phase 1. Auch der zeitliche Ansatz der Gesamtdurchsickerung des Systems, der rein rechnerisch im Bereich > 50 a läge, wurde hier zunächst als Vergleichsansatz ausgeklammert, da hierfür weitere Parameter erforderlich sind, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorliegen.

Für den Nachweis der Dichtigkeit ist grundsätzlich zu beachten, dass die Dichtigkeit unter Berücksichtigung der maßgebenden Einwirkungen und Anforderungen betrachtet werden muss. Materialspezifische Besonderheiten sind zu berücksichtigen.

Die Nachweise der Leistungsfähigkeit des Systems sind grundsätzlich gemäß LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, BQS 2-0, 2-2 durch Versuche und/oder Berechnungen zu erbringen.

Im Zuge der Qualitätssicherung der Baumaßnahmen an den Standorten des Werks Werra ist dies flächendeckend erfolgt und dokumentiert und statistisch ausgewertet worden.



Aus den Erfahrungen der bisherigen Errichtung der Teilflächen der Basisabdichtungen lässt sich ableiten, dass das bestehende Produktions- und Überwachungskonzept in seiner Art und seinem Raster die Qualität des Produktes und des Einbaues in vollem Umfang sichert. Für die Anpassungen der Lagenstärke wird auf das bisherige eignungsgeprüfte Produkt zurückgegriffen und keine Änderungen an der Mischung vorgenommen. Lediglich die Einbaustärke wird reduziert. Auf den Einbau einer zusätzlichen Lage kann verzichtet werden, was den Bau vereinfacht und damit die Qualität zusätzlich erhöht.

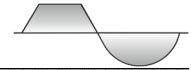
4.2. Berechnung und Vergleich Dichtungssysteme

Wie bereits erläutert wurde, ist real nicht mit den Aufstauhöhen auf der mineralischen Dichtung zu rechnen, wie sie in den beiden Tabellen 5 und 6 im Sinne einer Worst Case Betrachtung für den Nachweis der Gleichwertigkeit der Durchflussraten des System Basisabdichtung „alt“ und „neu“ simuliert wurden. Im Band 1.3 E des RBP für die Phase 2 ist als Grundlage für die Auswirkungsprognose basierend auf den Gefälleverhältnissen des Urgeländes eine Aufstauhöhe von 4,4 cm angegeben. Wir gehen davon aus, dass aus der erforderlichen Überprüfung mit den realen Gefälleverhältnissen des Systems Basisabdichtung im Areal Phase 2, die gegenwärtig ermittelt werden, Ergebnisse zur Aufstauhöhe in der FES resultieren, die in vergleichbarer Größenordnung noch unter den hier minimal angesetzten 10 cm liegen werden.

Für die Berechnung der Dichtigkeit bzw. Durchlässigkeit der Basisabdichtung im Verhältnis zu k_f Wert und Aufbau lagenstärke wurde auf den Ansatz Tabelle 7.3-1 aus „Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen“ [II.] zurückgegriffen. In den Tabellen 5-6 sind die Daten und die sich ergebenden Durchlässigkeitsbeiwerte wiedergegeben.

| Aufstau | System | q | k_f |
|---------|--------|----------|----------|
| [m] | [m] | [m/s] | [m/s] |
| 0,10 | 0,75 | 5,67E-10 | 5,00E-10 |
| 0,20 | 0,75 | 6,33E-10 | 5,00E-10 |
| 0,30 | 0,75 | 7,00E-10 | 5,00E-10 |

Tabelle 5: Durchlässigkeit System „alt“



| Aufstau | System | q | k _f |
|---------|--------|----------|----------------|
| [m] | [m] | [m/s] | [m/s] |
| 0,10 | 0,50 | 5,67E-10 | 4,72E-10 |
| 0,20 | 0,50 | 6,33E-10 | 4,52E-10 |
| 0,30 | 0,50 | 7,00E-10 | 4,38E-10 |

Tabelle 6: Durchlässigkeit System „neu“

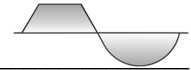
Wie ersichtlich ist, lässt sich bereits bei einer vergleichsweise geringen Anpassung des k_f Wertes, bei gleichzeitiger Reduzierung der Aufbaumächtigkeit eine Gleichwertigkeit des Abdichtungssystems hinsichtlich der Durchflussrate q nachweisen. Variiert wurde hier mit Aufstauhöhen von 10 cm bis 30 cm. Die 30 cm würden hierbei einem Volleinstau der künftig in einer Dicke von 30 cm geplanten FES und damit im Zusammenhang mit dem Nachweis der FES einem Maximalwert im Ansatz der Aufstauhöhe entsprechen. Der für diesen Ansatz zum Nachweis der Gleichwertigkeit erforderliche Durchlässigkeitsbeiwert ist nach Tab. 6 der kleinste. Er kann damit für die folgenden Betrachtungen als auf der sicheren Seite liegender Mindestwert betrachtet werden.

4.3. Bewertung Vergleich Dichtungssysteme

Bei einer Reduzierung der Gesamtmächtigkeit der Basisabdichtung auf 0,5 m, entsprechend dem DepV-Standard ist die Gleichwertigkeit bei einem fiktiven Ansatz des Volleinstaus einer 30 cm mächtigen FES für eine Systemdurchlässigkeit von 4,38E-10 m/s nachgewiesen.

Bezüglich der **Einbaustärke** wird, um den technischen Gegebenheiten im Feld gerecht zu werden und die Einbaulagenstärke jeweils sicherstellen zu können, der Einbau in zwei Lagen von unterer Lage 25 cm + 2 cm und obere Lage 30 cm +/- 2 cm vorgesehen. Dadurch werden nominal **55 cm** erreicht mit minimal 53 cm und maximal 59 cm Systemgesamtstärke, so dass im Vergleich zum Mächtigkeitsansatz im Gleichwertigkeitsnachweis nach Kap. 4.2 ein zusätzlicher Sicherheitspuffer generiert wird. Die weiteren Anforderungen entsprechen dem bisherigen Dichtungsbau, so dass im Vergleich zum Mächtigkeitsansatz im Gleichwertigkeitsnachweis nach Kap. 4.2 ein zusätzlicher Sicherheitspuffer generiert wird.

Durch den dann in zwei Einbaugängen herstellbaren Dichtungsaufbau wird eine Verbesserung des funktionalen Einbaus erreicht. In der bautechnischen Umsetzung wird davon ausgegangen, dass hinsichtlich der Verdichtbarkeit und dem Nachweis der Sollstärken die bisher bereits erreichte Qualität noch gesteigert wird. Die leicht modifizierte



angepasste Einbautechnik ist vor Bausauführung im Rahmen eines Probefeldbaues zu überprüfen.

Hinsichtlich des Durchlässigkeitsbeiwertes wird, auf der sicheren Seite liegend für den aus dem Gleichwertigkeitsnachweis resultierenden Mindestwert von $k_f = 4,38E-10$ m/s, als Anforderung im RBP und QMP für beide Dichtungslagen ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 3,0 \cdot 10^{-10}$ m/s gewählt.

Damit wird gegenüber der theoretisch erforderlichen Durchlässigkeit von $4,38E-10$ m/s für eine Aufstauhöhe von 30 cm (die rechnerisch bei Weitem nicht erreicht wird) mit den gewählten Ansätzen zu Gesamteinbaustärke und Durchlässigkeit der Dichtung noch ein Sicherheitsfaktor bei der Durchflussrate von rund 1,5 erreicht.

5. Anpassung FES

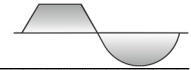
Eine Reduzierung der Dicke der FES ist gemäß den Vorgaben der DepV möglich: „*wenn nachgewiesen wird, dass es langfristig zu keinem Wassereinstau im Deponiekörper kommt*“ (Anhang 1. Tab. 1 Fußnote 3). Der konkrete hydraulische Nachweis der gewählten Dicke erfolgt dann im Rahmen des Sonderbetriebsplanverfahrens.

Hinsichtlich der Ausführung der FES wird angestrebt, durch den entsprechenden hydraulischen Nachweis eine Anpassung durch Reduzierung der Einbaustärke auf 30 cm vorzunehmen und das Kornspektrum anzupassen. Die FES wird gegenwärtig in Anlehnung an die Anforderungen der DepV / BQS 3-1 oder BQS 3-2 aus einem Kieskorn 16/32 mm in einer Mächtigkeit von ca. 50 cm hergestellt.

Alternativkörnungen sind grundsätzlich möglich, Funktionsfähigkeit und Vergleichbarkeit sind durch Eignungsprüfungen nachzuweisen.

In der Deponieverordnung heißt es dazu:

„Wenn nachgewiesen wird, dass es langfristig zu keinem Wasseranstau im Deponiekörper kommt, kann mit Zustimmung der Behörde bei Deponien der Klasse I, II und III die Entwässerungsschicht mit einer geringeren Schichtstärke oder einer anderen Körnung hergestellt werden.“



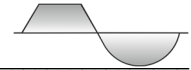
Hierzu ist anzumerken, dass dieses Grenzkriterium zum Einstau natürlich auf konventionelle Deponien abzielt, bei denen ein Rückstau auch zur Aufkonzentration von Sickerwasser führen kann, was im Falle der Rückstandshalde natürlich nicht zutrifft, da es sich beim Sickerwasser in der Halde bereits um eine maximal gesättigte Salzlösung handelt. Im Weiteren ist langfristig auch die Abdeckung der Halden vorgesehen, was zu einer Verringerung der Haldenwassermenge und damit der hydraulischen Beanspruchung der FES führen wird.

Gemäß BQS 3-1 ist grundsätzlich eine Wasserdurchlässigkeit in der Dränageschicht von $k_f \geq 1 \cdot 10^{-2}$ m/s vorgegeben. Bei einer Lieferkörnung 16/32 mm kann gemäß Fußnote der labortechnische Nachweis entfallen. Dieser k_f -Wert gilt in Verbindung mit DIN 19667 für den Einbauzustand. Dauerhaft ist ein k_f -Wert $\geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/s gefordert. Beide Anforderungen werden im Regelwerk für die Körnung 16/32 als erfüllt angesehen, sodass keine gesonderten Nachweise/ Prüfungen erforderlich sind. Damit ist aber auch gleichzeitig der Rahmen für "gleichwertige" Körnungen gemäß dem deponiespezifischen Regelwerk fixiert. Weiterhin darf bei groben Dränmaterialien mit $d > 8$ mm bei Bedarf eine Abschätzung des Durchlässigkeitsbeiwertes unter Berücksichtigung des Unterkornanteils aus der Kornverteilung erfolgen.

Als dauerhaft wirksam wird im Band 1.3E ein k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-2}$ m/s berücksichtigt. Mit gleichem Sicherheitsniveau wie vorstehend zum Deponie spezifischen Regelwerk beschrieben, ergibt sich als projektspezifische Anforderung für den Einbau $k_f \geq 1 \cdot 10^{-1}$ m/s.

Entsprechende Prüfergebnisse zu den verschiedensten Körnungen liegen in zwei Untersuchungsberichten von der TU Braunschweig vor. Die k_f -Werte wurden für die untersuchten Körnungen 8/16, 8/32, 16/32 und 32/64 im Bereich hydraulischer Gradienten um 0,01 bis 0,1 mit $k_f \geq 1 \cdot 10^{-1}$ m/s bestimmt. Sie können deswegen in Bezug auf ihre Körnung/ Durchlässigkeit als geeignet für die FES bewertet werden.

Die konkreten erforderlichen Rahmenparameter, die im Zuge der zur Substituierung erforderlichen Eignungsprüfung zu erbringen sind, sollten im Vorgriff auf die Phase 2 durch die Fremdprüfung für die Phase 1 in Hattorf bzw. Winterhall definiert werden, da diese über fundierte Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten und Materialressourcen verfügt. Die Prüfkriterien werden in Abstimmung mit der Behörde im Qualitätsmanagementplan der Maßnahme fixiert.



Eine Freigabe des zum Einbau beabsichtigten Materials zum Aufbau des FES kann erst nach Vorlage der entsprechenden Untersuchungsergebnisse sowie der Bewertung und Empfehlung der Fremdprüfung erfolgen. Die gilt auch für die Reduzierung der Lagenstärke der FES, die durch die Vorbetrachtung für die Phase 2 [8] zum maximalen Einstau gerechtfertigt ist und rechnerisch im Zuge des Sonderbetriebsplanverfahrens noch final zu belegen ist und in direktem Zusammenhang mit den in den Eignungsprüfungen zu ermittelnden Durchlässigkeitsbeiwerten steht.

Immenhausen, 16. Juni 2021

Projektleiter

Dipl.-Geol. Heiner Specht

Prof. Steffen, Hütteroth & Schröder GmbH
SIG-HESSSEN INGENIEURE

ANLAGE 1

**Aufbau System Basisabdichtung,
Gleichwertigkeitsnachweis Phase 1 zu Phase 2**

Aufbau neu



Witterungsschutzschicht

- mineralische Schutzlage
- alternativ Rückstandssalz

Trenn-/Filterschicht

- geotextiles Vlies

Entwässerungsschicht

inkl. linienhafte Entwässerungselemente

- Korngröße gemäß hydr. Nachweis
- Einbaustärke gemäß hydr. Nachweis $\geq 0,30$ m
- $k_f \geq 1 \cdot 10^{-2}$ m/s
- $\phi \geq 30^\circ$

Schutz-/Trennlage

- alternativ geotextiles Vlies oder
- Geotextil mit mineralischen Einlagerungen (Sandmatte)

Zweilagige mineralische Dichtung

- bestehend aus oberer und unterer Lage (oL und uL)
- Gesamtdurchlässigkeit $k_{f \text{ gesamt}} \leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s

Dichtungsschicht oL

- mineralisch, kornabgestuft (0/8 mm)
- Einbaustärke = 0,30 m (+/- 2 cm)
- $k_f \leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s
- $\phi \geq 35^\circ$
- Tonzugabe ≥ 12 %
- Tonart Secursol 3301®
- polymervergütet

Dichtungsschicht uL

- mineralisch, kornabgestuft (0/2 mm)
- Einbaustärke $\geq 0,25$ m (+ 2 cm)
- $k_f \leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s
- $\phi \geq 30^\circ$
- Tonzugabe ≥ 20 %
- Tonart Secursol 3301®
- polymervergütet

Planum/Baugrund

- Tragfähigkeit $E_{v2} \geq 45$ MN/m²

Aufbau alt



Witterungsschutzschicht

- mineralische Schutzlage
- alternativ Rückstandssalz
- $\phi \geq 30^\circ$

Trenn-/Filterschicht

- geotextiles Vlies

Entwässerungsschicht

inkl. linienhafte Entwässerungselemente

- Korngröße 16/32 mm
- Einbaustärke $\geq 0,50$ m
- $k_f \geq 1 \cdot 10^{-2}$ m/s
- $\phi \geq 30^\circ$

Schutz-/Trennlage

- alternativ geotextiles Vlies oder
- Geotextil mit mineralischen Einlagerungen (Sandmatte)

Zweilagige mineralische Dichtung

- bestehend aus oberer und unterer Lage (oL und uL)
- Gesamtdurchlässigkeit $k_{f \text{ gesamt}} \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s

Dichtungsschicht oL

- mineralisch, kornabgestuft (0/8 mm)
- Einbaustärke $\geq 0,50$ m
- $k_f \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s
- $\phi \geq 35^\circ$
- Tonzugabe ≥ 12 %
- Tonart Secursol 3301®
- polymervergütet

Dichtungsschicht uL

- mineralisch, kornabgestuft (0/2 mm)
- Einbaustärke $\geq 0,25$ m
- $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s
- $\phi \geq 30^\circ$
- Tonzugabe ≥ 20 %
- Tonart Secursol 3301®
- polymervergütet

Planum/Baugrund

- Tragfähigkeit $E_{v2} \geq 45$ MN/m²

Projekt:
RMHA Phase 2

Benennung:
Betrachtung d. Gleichwertigkeit eines modifizierten Regelaufbaus

Anlage-Nr.:
1

Projekt-Nr.:
16528

Maßstab:
-