

# **Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) – Phase 3**

**Band 3.18.1E3 der Antragsunterlage**

**Stellungnahme zur Standsicherheit der Erweiterung  
der Halde Hattorf**

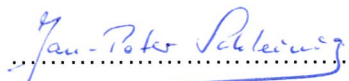
Vorhabensträger:


Standort Hattorf  
Werk Werra  
Postfach 1163  
36267 Philippsthal



Arbeitsgruppe:

Dr. Jan-Peter Schleinig  
M. Eng. Andreas Fischer  
Dipl.- Ing. Christian Artschwager  
K+S Minerals and Agriculture GmbH  
34131 Kassel

  
.....  
Dr. Jan-Peter Schleinig

  
.....  
Christian Artschwager

## Impressum

Fassung vom März 2022

Ansprechpartner: Dr. Jan-Peter Schleinig  
Telefon: + 49 561 9301 2042  
e-Mail: jan-peter.schleinig@k-plus-s.com  
Web: www.k-plus-s.com



#### **Untersuchungsgegenstand:**

Bewertung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Halde Hattorf und ihrer geplanten Erweiterung.

#### **Ergebnisse Im Überblick:**

- Die Bewertung erfolgt unter Einbeziehung der entwickelten Schüttkonzepte, vorliegender Erfahrungen, Messungen und Begutachtungen sowie numerischer Modellierungen.
- Die **Standsicherheit der bestehenden Halde, der laufenden und beantragten Erweiterungsschritte sowie der geplanten Erweiterung Phase 3 ist nachgewiesen.**
- Im Ergebnis der Gebrauchstauglichkeitsbewertung werden zukünftige Verformungen für den Haldenuntergrund und das unmittelbare Haldenvorland ausgewiesen, die in die Auslegung des Systems der Basisabdichtung eingehen. Sie sind weiterhin Grundlage für die Gestaltung des Monitoringprogramms, mit dem die geplante Haldenerweiterung beobachtet und bewertet wird.
- Für die bereits beantragte Phase 2 und die gegenständlich beantragte Phase 3 wurden präzisierende Untersuchungen zur Beanspruchung des Systems Basisabdichtung im unmittelbaren Anschüttungsbereich an die Bestandshalde durchgeführt, die deren Verträglichkeit bestätigen. Zusätzlich erfolgten für die Beantragung der Phase 3 untersetzende Untersuchungen zum Nachweis von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Systems Halde-Basisdichtung-Untergrund im Anbindungsbereich der Haldenerweiterung an die Südwestflanke der Bestandshalde, deren Ergebnisse ebenfalls die Verträglichkeit belegen.
- Die geplante, abschnittsweise Bewertung der Baugrundsituation im Haldenerweiterungsbereich bezüglich begutachtungsrelevanter Parameter und die Anwendung des Monitoringkonzeptes führen zu der Einhaltung der in der Begutachtung ausgewiesenen Ergebnisse zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung.
- Aus geotechnischer Sicht sind auf Basis des Bandes 3.16E im Zuge der Genehmigungsphase für die Haldenerweiterung Phase 3 keine ergänzenden Baugrunderkundungen in deren südlichen Bereich erforderlich. Eine Detailerkundung der Haldenerweiterung Phase 3 erfolgt, wie im Band 1.1E3 des Rahmenbetriebsplans festgeschrieben, im Zuge der Bauausführung und Flächenvorbereitung.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Anlagenverzeichnis	5
1 Ausgangssituation	7
1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung	7
1.2 Bewertung vorliegender Erfahrungen	9
1.2.1 Darstellung des allgemeinen Halden- und Vorlandverhaltens	9
1.2.2 Situation an der Südwestflanke der bestehenden Halde	11
1.2.3 Zusammenfassende Bewertung	11
2 Untersuchung der geplanten Haldenerweiterung	12
2.1 Grundlagen und Vorgehen	12
2.2 Bewertung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Erweiterung	13
2.2.1 Basisuntersuchungen	13
2.2.2 Ergänzende Untersuchungen	16
3 Zusammenfassende Bewertung	20
Literaturverzeichnis	22

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan der genehmigten Halde Hattorf mit den Haldenerweiterungsphasen 1, 2 und 3 sowie den Untersuchungsschnitten A-A', B-B', C-C' (im Haldenerweiterungsbereich) und 1-1' (an der Südwestflanke der bestehenden Halde)	7
Abbildung 2-1:	Übersicht über die Modelle der Basisuntersuchungen	15
Abbildung 2-2:	Lageplan der genehmigten Halde Hattorf mit der Haldenerweiterung in den Phasen 1 (blau), 2 (blassrot, orange) und 3 (grün, orange)	17
Abbildung 2-3:	Übersicht über die Modelle der ergänzenden Untersuchungen	18

## Anlagenverzeichnis

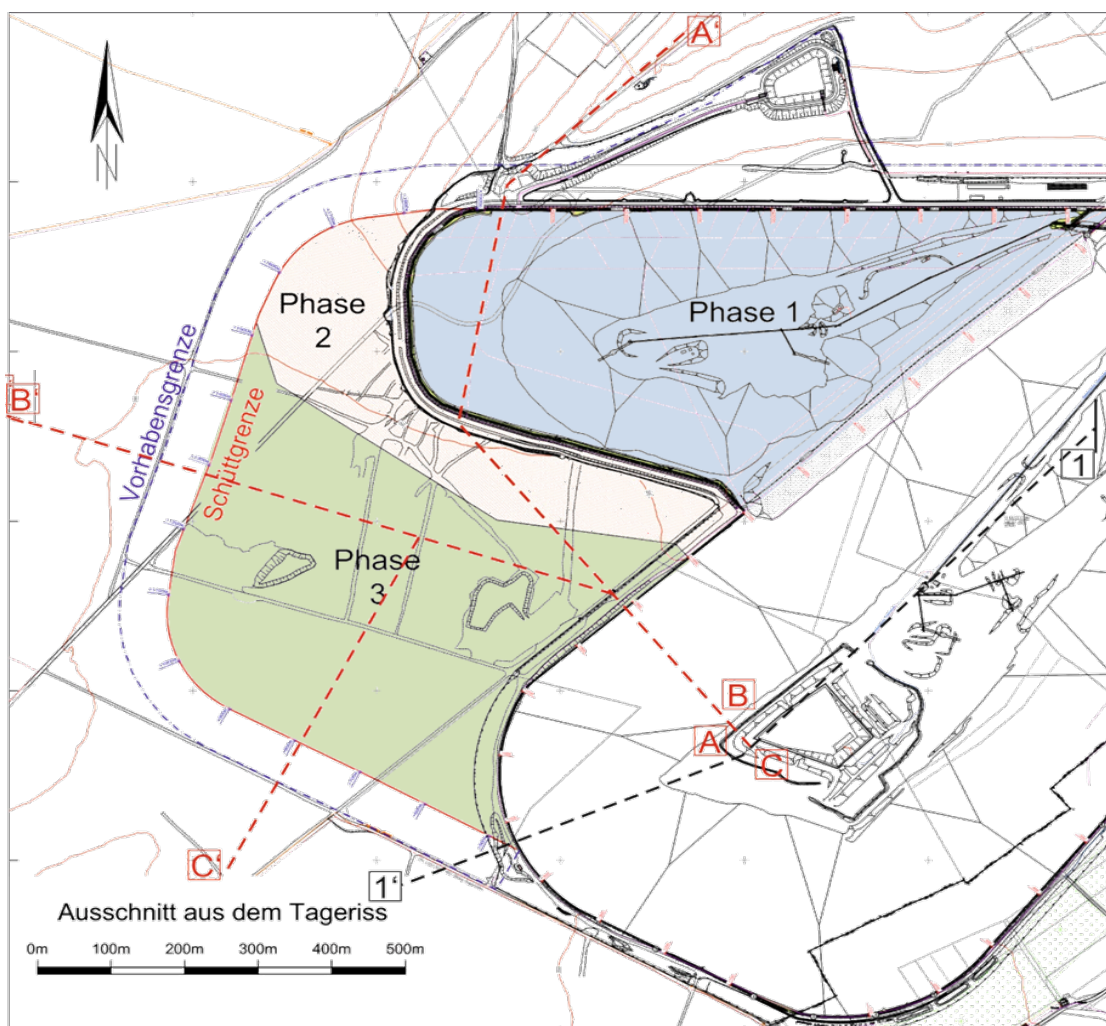
Anlage 1:	Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach: Bewertung der Situation an der SW-Flanke der bestehenden Halde Hattorf
Anlage 1a:	Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach: K+S KALI GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1655/01 zur Ursachenforschung an der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf. Darmstadt, 23.06.2017
Anlage 1b:	Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach: K+S KALI GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1657/01 zu den numerischen Untersuchungen zu den gemessenen Verformungen und den Verformungsmechanismen/-ursachen am Böschungsfuß und im Haldenvorfeld im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf. Darmstadt, 23.06.2017
Anlage 2:	Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Sachverständigengutachten Nr. IK1713/01 K+S Kali GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Numerische Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die geplante Haldenerweiterung. Darmstadt, 10.02.2017
Anlage 3:	Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Sachverständigengutachten Nr. IK1754/01 K+S Kali GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Numerische Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung Hattorf. Darmstadt, 27.04.2018
Anlage 4:	Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Geotechnische Stellungnahme Nr. IK1754/01 zu den Nachweisen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung Hattorf unter Berücksichtigung der hydraulischen Trennung. Darmstadt, 27.04.2018

- Anlage 5: Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Sachverständigengutachten Nr. IK1811/01 K+S Kali GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Baugrunderkundung am nördlichen Rand der geplanten Haldenerweiterung Hattorf im Bereich Ochsengraben. Darmstadt, 27.04.2018
- Anlage 6: Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Sachverständigengutachten Nr. IK2035/01 K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Numerische Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung Phase 2 der Halde Hattorf. Darmstadt, 31.05.2021
- Anlage 7: Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Sachverständigengutachten Nr. IK2035/02 K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Numerische Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung Phase 3 der Halde Hattorf. Darmstadt, 10.12.2021
- Anlage 8: Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Geotechnische Stellungnahme Nr. IK2035/01 K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, Sachverständige Bewertung der Baugrunderkundungsmaßnahmen im südlichen Bereich der Haldenerweiterung Hattorf. Darmstadt, 14.03.2022

# 1 Ausgangssituation

## 1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, betreibt zur Ablagerung des bei der Rohsalzaufbereitung entstehenden Rückstandes die ESTA-Rückstandshalde Hattorf. Für die weitere Aufhaltung wird bzw. soll die Beschüttungsfläche über die westlich anstehende Höhenlage (Stöckig) bis in den sich anschließenden Ochsen-graben erweitert werden. Die Haldenerweiterung ist in die Phasen 1 bis 3 gegliedert (Abbildung 1). Die Phase 1 ist zugelassen, in der Flächenvorbereitung abgeschlossen und wird derzeit aufgefahren. Die Phase 2 wurde beantragt und die Phase 3 ist Gegenstand des vorliegenden Antrags.



**Abbildung 1:** Lageplan der genehmigten Halde Hattorf mit den Haldenerweiterungsphasen 1, 2 und 3 sowie den Untersuchungsschnitten A-A', B-B', C-C' (im Haldenerweiterungsbereich) und 1-1' (an der Südwestflanke der bestehenden Halde)

Wesentliche Neuerung im Rahmen der gesamten Haldenerweiterung und grundlegender Bestandteil des technischen Konzepts ist eine Änderung des Schüttregimes gegenüber der vorherigen Haldenauffahrung der Bestandshalde. Während dabei das Rückstandssalz über die gesamte Flanke in voller Haldenhöhe (nachfolgend als Flankenschüttverfahren – FSV bezeichnet) aufgebracht wurde, erfolgt die Erweiterung in horizontalen Schüttebenen. Durch zahlreiche Fachdiskussionen bedingt umfasst die scheibenweise Haldenauffahrung folgende prinzipielle Schüttvarianten

- Aufschüttung einer Neuhalde und nachfolgende Flankenschüttung in einzelnen Schüttebenen in Richtung bestehender Halde (um die Dichtung zur hydraulischen Trennung zwischen bestehender Halde und geplanter Erweiterung sukzessiv einbauen zu können) – dies wird im Rahmen der genehmigten bzw. beantragten Haldenerweiterungen, Phasen 1 und 2, umgesetzt – und
- Flankenschüttung in einzelnen Schüttebenen in Richtung der Haldenerweiterung - dies wird bzw. soll im Rahmen aller Phasen (Phase 1, 2 und 3) der Haldenerweiterungen umgesetzt werden.

Diese Auffahrungstechnologie wird als kombiniertes Schüttverfahren (KSV) bezeichnet. Zwischen den Endböschungen der unteren und den beiden oberen Schüttebenen ist eine Berme von ca. 100 m Breite vorgesehen, über deren Reduzierung ggf. in Abhängigkeit von den Ergebnissen des auffahrungsbegleitenden Monitorings entschieden werden kann. In der Phase 1 wurde bislang nur die untere Schüttebene aufgefahren, deren Erweiterung nach Süden Gegenstand der beantragten Phase 2 ist. Mit der vorliegenden Planung für die gegenständliche Phase 3 wird die vollständige Haldenkontur der geplanten Haldenerweiterung im Endzustand erreicht. Ebenfalls im Ergebnis der verfahrensbegleitenden Fachdiskussionen wurde ein Abstand zwischen Haldenfuß und Vorhabensgrenze von 65 m festgelegt. Die aktuelle und weiter geplante Auffahrung der Haldenerweiterung erfolgt untersetzt und gesteuert durch begleitende Messungen gemäß Band 3.18.2E3. Das Vorgehen der Auffahrung ist ausführlich in Band 1.1E3 beschrieben.

Im Rahmen des Antragsverfahrens für die in Phase 1 bereits laufende, in Phase 2 bereits beantragte und die im jetzigen Antrag gegenständliche Haldenerweiterung Phase 3 bestand die Aufgabe, die Standsicherheit der bestehenden Halde (als Anfangsbedingung für die Haldenerweiterung) im Komplex mit der geplanten Haldenerweiterung sowie deren Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen und nachzuweisen. Ausgehend von einer Bewertung bisheriger Messungen an der Halde in Abschnitt 1.2 sowie der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Grundlagen werden die Untersuchungen zum Nachweis von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Haldenerweiterung durch numerische Modellierungen in Abschnitt 2.2 beschrieben. Grundlage ist die Kalibrierung des dafür entwickelten Haldenmodells anhand des charakteristischen Haldenverhaltens an der Nordwestflanke der bestehenden Halde. Schwerpunkt der im Abschnitt 2.2 beschriebenen Basisuntersuchungen ist die scheibenweise Auffahrung der gesamten Haldenerweiterung mit dem kombinierten Schüttverfahren (KSV). Die Ergebnisse sind im Abschnitt 2.2.1 zusammengefasst. Alle diese Untersuchungen, die im Rahmen der Bewertung von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der gesamten Haldenerweiterung durchgeführt wurden, werden bezüglich ihres Geltungsbereiches für die bereits beantragte Phase 2 und die geplante Phase 3 überprüft. Sie werden großflächig bestätigt, nur in lokal begrenzten Bereichen werden ergänzende Untersuchungen erforderlich, deren Ergebnisse in Abschnitt 2.2.2 zusammengefasst sind.

Eine abschließende Bewertung enthält Abschnitt 3. Die Bewertung aller Ergebnisse umfasst die Berechnungen der haldenerweiterungsbezogenen Begutachtungen aus den Jahren 2017 und 2018, die in den Anlagen 2 und 3 dokumentiert sind. Darüber hinaus berücksichtigen sie die Untersuchungen zur hydraulischen Trennung zwischen Bestandshalde und Haldenerweiterung (Anlage 4), zur detaillierten Baugrundbewertung (Anlage 5) sowie die für die beantragte Phase 2 und die gegenständlich zum Antrag stehende Phase 3 ergänzend durchgeführten Untersuchungen von 2021 in den Anlagen 6 und 7.

## **1.2 Bewertung vorliegender Erfahrungen**

### **1.2.1 Darstellung des allgemeinen Halden- und Vorlandverhaltens**

Im Ergebnis langjähriger Erfahrungen aus messtechnischer Begleitung von Haldenauffahrungen sowie deren Bewertung in entsprechenden Fachgutachten lässt sich folgendes phänomenologisches Verformungsverhalten an Rückstandshalden ableiten:

- Beginn und Zunahme der Verformungen bei Annäherung der Haldenschüttung an den Beobachtungspunkt,
- Anstreben und Erreichen annähernd konstanter Verformungsraten nachdem die Haldenschüttung den Beobachtungspunkt passiert hat,
- Abnahme der Verformungsraten über größere Zeiträume.

Ursächlich für dieses Verhalten sind die viskosen Verformungseigenschaften der Rückstandshalden. Sie werden durch verdichtungsbedingte Setzungen des Haldentops ergänzt. Der Bewegungsverlauf ist für Rückstandshalden der Kaliindustrie typisch und bestätigt gemeinsam mit gutachterlichen Bewertungen deren Standsicherheit.

Das von K+S seit 1996 durchgeführte und stetig weiterentwickelte Monitoring entlang der bestehenden Halde Hattorf umfasst derzeit im unmittelbaren Haldenvorfeld gemäß Band 3.18.2E3 und K+S 2021<sup>1</sup>:

- die Beobachtung vermarkter Bodenpunkte entlang von Profillinien senkrecht zum Haldenfuß durch tachymetrische Messungen,
- die Beobachtung der Tiefenwirkung haldeninduzierter Verschiebungen durch Inklinometermessungen,
- flächendeckende Laserscanmessungen von Haldenböschungsbereichen und dem unmittelbaren Haldenvorfeld sowie
- permanent messende GNSS-Messpunkte.

Die Messungen und Auswertungen konzentrieren sich auf die Beobachtung

- des Bewegungsverhaltens von Halde und Vorland im haldenfußnahen Bereich,

---

<sup>1</sup> stellvertretend wird auf den aktuellen Quartalsbericht von K+S bzw. die entsprechenden Stellungnahmen durch den geotechnischen Sachverständigen verwiesen

- der lokal begrenzten, stärkeren Bewegungen an der Südwestflanke der Halde im Rahmen der Ursachenuntersuchungen (siehe Abschnitt 1.2.2) sowie
- ggf. vorhandener Schutzgüter (wie z.B. die frühere Beobachtung der inzwischen nicht mehr in Betrieb befindlichen, verdämmten Gasleitung Nr. 9506 südlich der Halde).

Die Ergebnisse entsprechen dem oben genannten, phänomenologischen Verhalten und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Haldenfußnah werden schüttungsbegleitende Verschiebungen an der Erdoberfläche sowie einige Meter tief reichend festgestellt. Die Verschiebungen im Untergrund können sowohl auf signifikanten Trennflächen konzentriert als auch relativ gleichmäßig über die Tiefe verteilt auftreten.
- Die Bewegungsraten nehmen mit wachsendem Abstand vom Haldenfuß deutlich ab und reichen bei Ansatz messtechnisch bedingter Signifikanzgrenzen und Haldenhöhen von 100 m bis maximal 30 m vor den Haldenfuß. In größerem Abstand wurden bei der bisher angewandten Haldenauffahrung mit dem Flankenschüttverfahren Verschiebungen nur bei Haldenhöhen größer 130 m festgestellt, wobei diese dann zeitlich begrenzt sind.
- Die im Bereich der seit 2018 aufgefahrenen Haldenerweiterung, Phase 1, gemäß Monitoringkonzept (RBP 2018, Bd. 3.18.2E3) durchgeführten Messungen zeigen keine signifikanten Bewegungen (K+S, 2021).

Die Messergebnisse und deren Interpretation werden durch K+S in Berichten zusammengefasst (K+S 2021), durch den geotechnischen Sachverständigen (IK 2021<sup>1</sup>) bewertet und der zuständigen Behörde zur Kenntnis gegeben. Die Auswirkungen der Verschiebungen auf die im südlichen sowie westlichen Bereich der Bestandshalde liegende Erdgasleitung, die in 2018 stillgelegt sowie ausgebaut bzw. verdämmt wurde, hat auf dieser Basis der Leitungsbetreiber beurteilt.

Die Bewegungsmessungen bestätigen die aus vorliegenden Erfahrungen erwarteten Verformungen. Auf die besondere Situation an der Südwestflanke der bestehenden Halde wird in Abschnitt 1.2.2 eingegangen. Alle Ergebnisse fließen in die Bewertung der gegenständlich beantragten Phase 3 der Haldenerweiterung ein (vgl. Abschnitt 2.2.2). Sie bilden die Grundlage für eine gute Nachvollziehbarkeit der ablaufenden Haldenprozesse in numerischen Modellen und somit auch für gutachterliche Aussagen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Halde Hattorf und ihrer geplanten Erweiterung.

Die bisher in Ausnahmefällen und nur im Bereich an der Bestandshalde eingetretenen Schüttausläufer liefen in der Vergangenheit maximal bis etwa 10 m vor den Haldenfuß. Durch das geplante und im Rahmen der Phase 1 auf der unteren Ebene umgesetzte Schüttverfahren verringert sich die Höhe der unteren Schüttflanke. Damit werden sich die Schüttausläufer in ihren Auswirkungen noch weiter reduzieren.

### 1.2.2 Situation an der Südwestflanke der bestehenden Halde

Eine besondere Situation liegt im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Halde vor. Hier zeigten die Messungen horizontale und vertikale Verschiebungen am Haldenfuß und im haldenfußnahen Vorland, die über den Erfahrungen und Messergebnissen in den übrigen Bereichen der Rückstandshalde Hattorf liegen. Der Schüttung im Haldenflankenbereich zeitlich folgend erreichten die horizontalen und vertikalen Verschiebungsgeschwindigkeiten hier maximal 2,6 m/a. Seit Einstellung der Schüttung Anfang 2015 bzw. zeitnah nachlaufend gingen die Verschiebungsgeschwindigkeiten zurück. Die Maximalwerte liegen jetzt bei vertikal bei < 0,5 m/a und horizontal ca. 1,0 m/a (K+S, 2021).

Diese besondere Situation war Gegenstand einer detaillierten Ursachenbewertung, die die Untersuchung der spezifischen Baugrundsituation, der auftretenden Verschiebungen sowie die Durchführung entsprechender numerischer Modellierungen im Sinne einer Rückrechnung beinhaltete. Dabei wurde das Messkonzept ergänzt und angepasst, so dass durch Kombination verschiedener Messverfahren alle Bewegungen des Untergrundes erfasst werden konnten und können. Sie waren Grundlage einer ganzheitlichen Interpretation und Bewertung, die in Anlage 1 dokumentiert ist. Im Ergebnis werden die großen Bewegungen vorrangig auf eine Durchfeuchtung von oberflächennahen, bindigen Zwischenlagen (Ton- / Schluffstein) im Verwitterungshorizont des Buntsandsteins zurückgeführt, welche im Niveau deutlich über den normalen Standortverhältnissen liegen und zu einer signifikanten Reduzierung von deren Scherfestigkeit geführt haben. Die in Anlage 1b geführten Nachweise zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit einschließlich darauf basierender Verformungsprognose sind Grundlage für die entsprechende Bewertung der Südwestflanke der Bestandshalde im Rahmen des geotechnischen Monitorings. Der geotechnische Sachverständige bewertet die in (K+S, 2021) dokumentierten Bewegungsmessungen auch weiterhin wie folgt (IK, 2021):

*„Die aktuellen Messdaten an der SW-Flanke am Haldenrandgraben zeigen bei einem Bezugszeitraum von einem Jahr (Jahresmittelwert) ab ca. Herbst 2015 (nach Einstellung der Schüttung am Haldentop) eine deutliche und im Wesentlichen kontinuierlich abnehmende Tendenz .... Die aktuellen Messdaten liegen im wahrscheinlichen Prognosebereich; aus geotechnischer Sicht besteht kein Handlungsbedarf.“*

Bezüglich der geplanten Haldenerweiterung werden die Ergebnisse der Ursachenbewertung in den in Abschnitt 2.2.2 dargestellten, ergänzenden Untersuchungen berücksichtigt.

### 1.2.3 Zusammenfassende Bewertung

Alle vorliegenden Erfahrungen, Messungen und Bewertungen der mit dem Flankenschüttverfahren aufgefahrenen Halde am Standort Hattorf weisen standsichere Verhältnisse für die bestehende Rückstandshalde aus. Die Bewegungen zeigen den für Rückstandshalden der Kaliindustrie charakteristischen zeitlichen Verlauf. Dies gilt prinzipiell auch für die großen Verschiebungen im Bereich der Südwestflanke der Halde Hattorf. Je nach Baugrundbeschaffenheit können diese Bewegungen bis in mehrere Meter Tiefe in den Untergrund sowie einige Dekameter ins Vorland reichen. Die Verschiebungen werden permanent beobachtet, wobei die Ergebnisse und deren Bewertung durch einen geotechnischen Sachverständigen regelmäßig der zuständigen Behörde mitgeteilt werden. Es wird erwartet, dass

mit der für die Haldenerweiterung geplanten Flächenvorbereitung und dem System der Basisabdichtung sowie dem kombinierten Schüttverfahren mit Belassen einer Berme zwischen den Teilböschungen eine deutliche Reduzierung der haldeninduzierten Bewegungen am Haldenfuß und im Haldenvorland erreicht wird.

## **2 Untersuchung der geplanten Haldenerweiterung**

### **2.1 Grundlagen und Vorgehen**

Rückstandshalden der Kaliindustrie unterscheiden sich in ihrem phänomenologischen Verhalten gegenüber anderen geotechnischen Bauwerken durch Kriechverformungen, die gemeinsam mit den verdichtungsbedingten Setzungen am Haldentop zu dem im Abschnitt 1.2 beschriebenen Verformungsverhalten von Haldenfuß und haldenfußnahen Vorland führen, das für standsichere Verhältnisse von Rückstandshalden charakteristisch ist.

Aufgrund der Komplexität des Systems Rückstandshalde, Basisabdichtung und Untergrund erfolgen die Untersuchungen zum Nachweis von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der bestehenden Halde und ihrer Erweiterung durch einen externen geotechnischen Sachverständigen. Sie basieren auf numerischen Berechnungen, die das rückstandssalzspezifische, visko-elasto-plastische Verformungsverhalten berücksichtigen und dadurch eine ganzheitliche Bewertung von Spannungen und Verformungen erlauben. Ziel ist, das Verhalten der geplanten Haldenerweiterung zu prognostizieren und zu bewerten. Dabei werden für die Berechnungen der Standsicherheit die Scherparameter reduziert und für die Berechnungen der Gebrauchstauglichkeit diesbezüglich charakteristische Eigenschaften angesetzt. Das gesamte Vorgehen entspricht der DIN EN 1997-1, der DIN EN 1997-1 N/A sowie der DIN 1054.

Die dafür durchgeführten, gutachterlichen Untersuchungen gliedern sich in Basisuntersuchungen (Abschnitt 2.2.1), die das Haldenverhalten für die gesamte, geplante Erweiterung prognostizieren, und in ergänzende Untersuchungen (Abschnitt 2.2.2), in denen lokale Besonderheiten explizit berücksichtigt und bewertet werden.

Bei allen Berechnungen müssen keine signifikanten Einwirkungen aus dem Grubengebäude auf die bestehende Halde und ihre geplante Erweiterung berücksichtigt werden, wie entsprechende Untersuchungen zeigen:

- Die Abbauräume im Einwirkungsbereich der Halde sind standsicher bzw. versetzt (siehe Band 3.19.1 und Band 3.20E).
- Die durch den Abbau induzierten, konvergenzbedingten Senkungen sind sehr gering und großflächig, die resultierenden Senkungströge an der Tagesoberfläche weisen sehr flach einfallende Flanken auf (siehe Band 3.19.2 und 3.19.3N). Die über einen Zeitraum von 150 Jahren prognostizierten Senkungen unter der Halde und ihrer Erweiterung weisen einen nach Norden gleichmäßig zunehmenden maximalen Senkungsunterschied von 0,8 m aus und müssen deshalb nicht berücksichtigt werden.

Darüber hinaus bleiben dynamische Einwirkungen wie Erdbeben unberücksichtigt, da der Standort der Halde und seiner Erweiterung außerhalb von Erdbebenzonen liegt (GFZ 2014, HLUG 2013).

## **2.2 Bewertung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Erweiterung**

### **2.2.1 Basisuntersuchungen**

Die Basisuntersuchungen werden durchgeführt, um das Haldenverhalten für die gesamte, geplante Erweiterung in den Phasen 1, 2 und 3 zu prognostizieren. Grundlage für die numerischen Berechnungen sind der im Ergebnis der Baugrunduntersuchungen dokumentierte Schichtenaufbau und dessen Eigenschaften (Band 3.16.1 bis 3.16.3) sowie die diesbezüglich relevanten, in Abbildung 1 gezeigten, rot markierte Schnittlagen. Ausgehend vom Zentrum der bestehenden Halde verlaufen alle Schnittlagen zunächst gemeinsam bis an deren Rand und weiter

- in der Schnittlage A-A' über die Höhenlage des Stöckig in die Linie der stärksten Geländeneigung des angrenzenden Ochsengrabens, der durch die Haldenschüttung im geplanten Erweiterungsbereich teilweise in Anspruch genommen wird,
- in der Schnittlage B-B' etwa auf gleichem Höhenniveau führend direkt in den westlichen Haldenerweiterungsbereich sowie
- in der Schnittlage C-C' auf der Höhenlage des Stöckig abknickend nach Süden.

Sie wurden so gewählt, dass sie die Untergrundverhältnisse bzgl. Morphologie, Mächtigkeiten und Eigenschaften im Schichtenaufbau sowie die Beanspruchung der Basisdichtung und des Untergrundes aus der ungünstigsten Haldenkonfiguration heraus angemessen konservativ erfassen. So berücksichtigt z. B. das Schnittmodell A-A'<sub>2017</sub> das maximale Einfallen des Untergrundes im Bereich des Ochsengrabens.

Basierend auf diesen Schnittlagen sowie der Schnittlage 1-1' (in den ergänzenden Untersuchungen) wurden Schnittmodelle entwickelt, in Details variiert und untersucht; sie sind durch indizierte Jahreszahlen gekennzeichnet.

In allen Schnittmodellen mit den indizierten Jahreszahlen 2016 und 2017 wurde der Untergrund entsprechend den vorlaufenden Baugrunduntersuchungen für die gesamte Fläche der Haldenerweiterung (siehe Abbildung 2-1: „Baugrund lt. Baugrundgutachten“) und eine 0,3 m mächtige, mineralische Basisdichtung (siehe Abbildung 2-1: „mineralische Basisdichtung“) erfasst. Die Schnittmodelle A-A'<sub>2017</sub> und B-B'<sub>2017</sub> erfassen die repräsentative Baugrundsituation im Westen der geplanten Haldenerweiterung (Anlage 2). Die Schnittmodelle C-C'<sub>2016/2017</sub> berücksichtigen die hier vom übrigen Erweiterungsbereich abweichenden Mächtigkeiten und Eigenschaften der oberflächennahen Lockergesteinsschicht sowie die Haldenauffahrung

- nach ursprünglich Planung mit 2 Schütteebenen (in Anlage 2: Schnittmodell C-C'<sub>2016</sub>, mit einer Höhe der unteren Schüttscheibe von 70 m) und

- nach der im November 2016 präzisierten Planung mit 3 Schütteebenen (in Anlage 2: Schnittmodell C-C'<sub>2017</sub>, mit einer Höhe der unteren Schüttscheibe von 100 m).

In den Schnittmodellen A-A'<sub>2017</sub> und B-B'<sub>2017</sub> und C-C'<sub>2016</sub> beträgt der Abstand zwischen Haldenfuß und Vorhabensgrenze 25 m. Den begleitenden Diskussionen und Planungsanpassungen folgend wird beginnend mit dem Schnittmodell C-C'<sub>2017</sub> und in weiterführenden Untersuchungen (Anlage 3) mit den Schnittmodellen A-A'<sub>2018</sub> und C-C'<sub>2018</sub> der Abstand zwischen Haldenfuß und Vorhabensgrenze auf 65 m vergrößert. Darüber hinaus werden in den beiden letztgenannten Schnittmodellen folgende Aspekte erfasst:

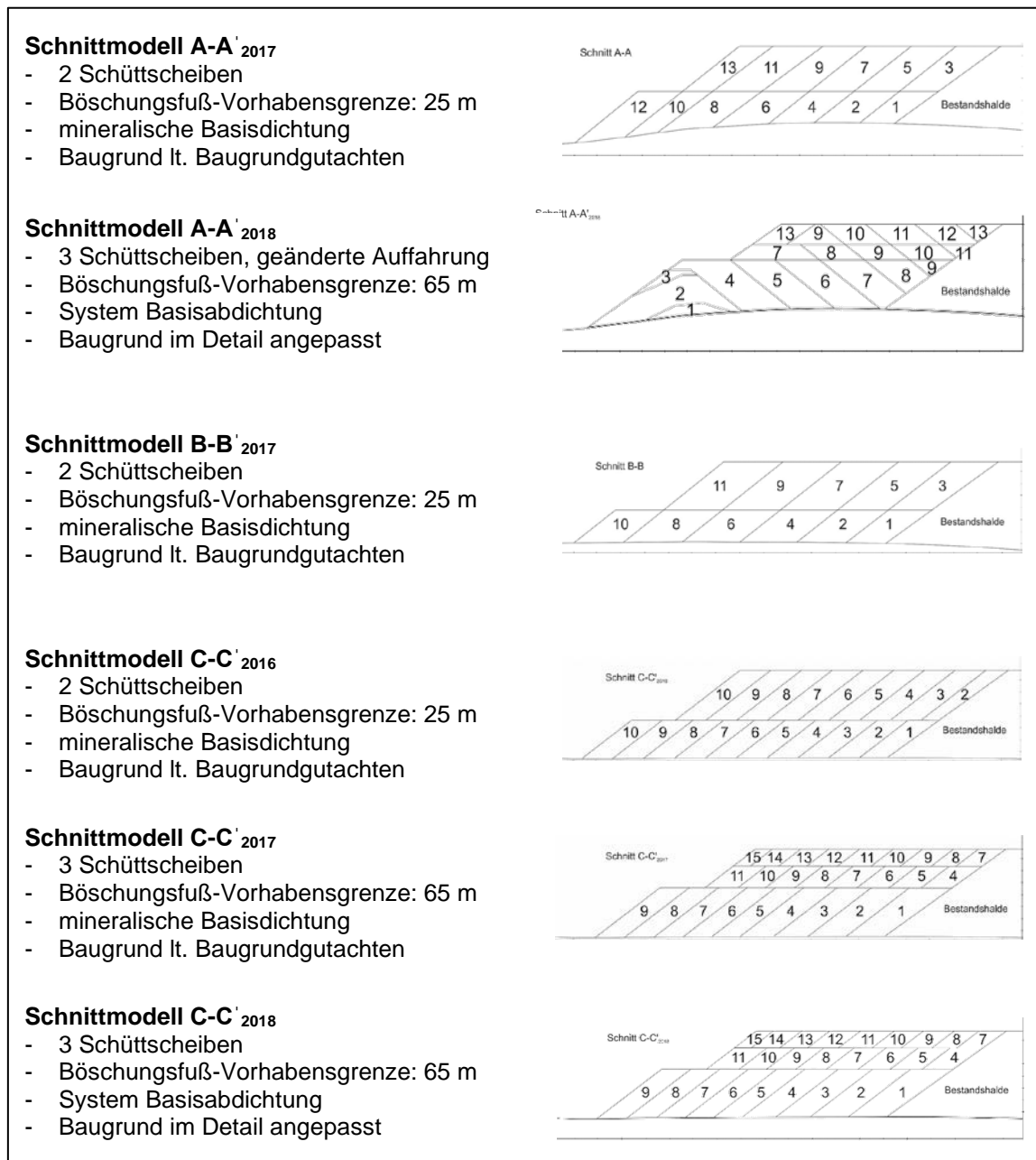
- Das System Basisabdichtung besteht gemäß dem erweiterten technischen Konzept aus der mineralischen Dichtung (0,75 m) und einer darüber liegenden Schicht des Flächenfilters und Witterungsschutzes (siehe Abbildung 2-1: „System Basisabdichtung“). Die mechanischen Eigenschaften wurden entsprechend der Vorgaben gemäß Band 1.1E3 zugewiesen. Alle Untersuchungsergebnisse gelten auch für das im Band 1.1E3 beschriebene, optimierte System Basisabdichtung mit geringeren Dicken von Dichtung und flächiger Entwässerungsschicht (vgl. Anlagen 3, 6 und 7).
- Begleitende, detaillierte Baugrunduntersuchungen (siehe Abbildung 2-1: „Baugrund im Detail angepasst“) ergaben eine lokal begrenzte Mächtigkeitszunahme der Schicht des Materialtyps 1 im Bereich des Ochsengrabens (Anlage 5) im Schnittmodell A-A'<sub>2018</sub> bzw. eine variable Mächtigkeit des Materialtyps 1 im Schnittmodell C-C'<sub>2018</sub>.
- Für den Bereich des Schnittmodells A-A'<sub>2018</sub> wurde eine neue Auffahrungstechnologie geplant.

Abbildung 2-1 zeigt eine Zusammenstellung der in den Basisuntersuchungen eingesetzten und bewerteten Schnittmodelle.

In allen Untersuchungen ist die Bestandshalde die Ausgangsrandbedingung für die Modellierung der geplanten Haldenerweiterungen. Aufgrund der zu erwartenden, weiterhin gleichen Aufbereitungstechnik und Rohsalzzusammensetzung wurden die Haldenmaterialeigenschaften aus bisherigen Untersuchungen des Haldenmaterials der Halde Hattorf übernommen, deren Repräsentativität durch die bestehenden Begutachtungen bestätigt wird. Die Modellkalibrierung erfolgte anhand des charakteristischen Halden-Baugrundverhaltens an der Nordwestflanke der bestehenden Halde (Anlagen 2, 3 und 6). Die im Ergebnis einer verfahrensbegleitenden Diskussion eingeführte hydraulische Trennung zwischen der bestehenden Halde und der derzeit umgesetzten Haldenerweiterung in den Phasen 1 und 2 (hier bisher nur beantragt) blieb in diesen Untersuchungen unberücksichtigt, da ihr Einfluss in Bezug auf die Bewertungsaufgabe vernachlässigbar ist. Sie ist Gegenstand einer getrennten Bewertung, dokumentiert in Anlage 4.

Die Modellrechnungen zur Prognose des Haldenverhaltens erfolgen für die Betriebsphase mit Umsetzung der Schüttfolgen und innerhalb der Nachbetriebsphase für einen in den Berechnungen abgebildeten Zeitraum von ca. 50 Jahren. Die Standsicherheit wurde in allen Untersuchungen belegt. Die Ergebnisse der Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen bilden eine Grundlage für die Bemessung des Systems der Basisabdichtung (Band 1.1E3 bzw. 1.1.1E3) und die Auslegung des haldenschüttungsbegleitenden Monitoringkonzepts (Band 3.18.2E3). Alle Basisuntersuchungen und deren Ergebnisse sind ausführlich in den Anlagen 2 und 3 beschrieben.

Nur zu Vergleichszwecken wurden auch Modelle der Schnittlagen A-A' und B-B' unter Ansatz des Flankenschüttverfahrens (FSV) entwickelt und untersucht (Anlage 2). Im Ergebnis werden hier größere Verformungsraten im unmittelbaren Böschungsfußbereich der Haldenerweiterung im Vergleich zur Auffahrung mit dem geplanten kombinierten Schüttverfahren (KSV) ausgewiesen.



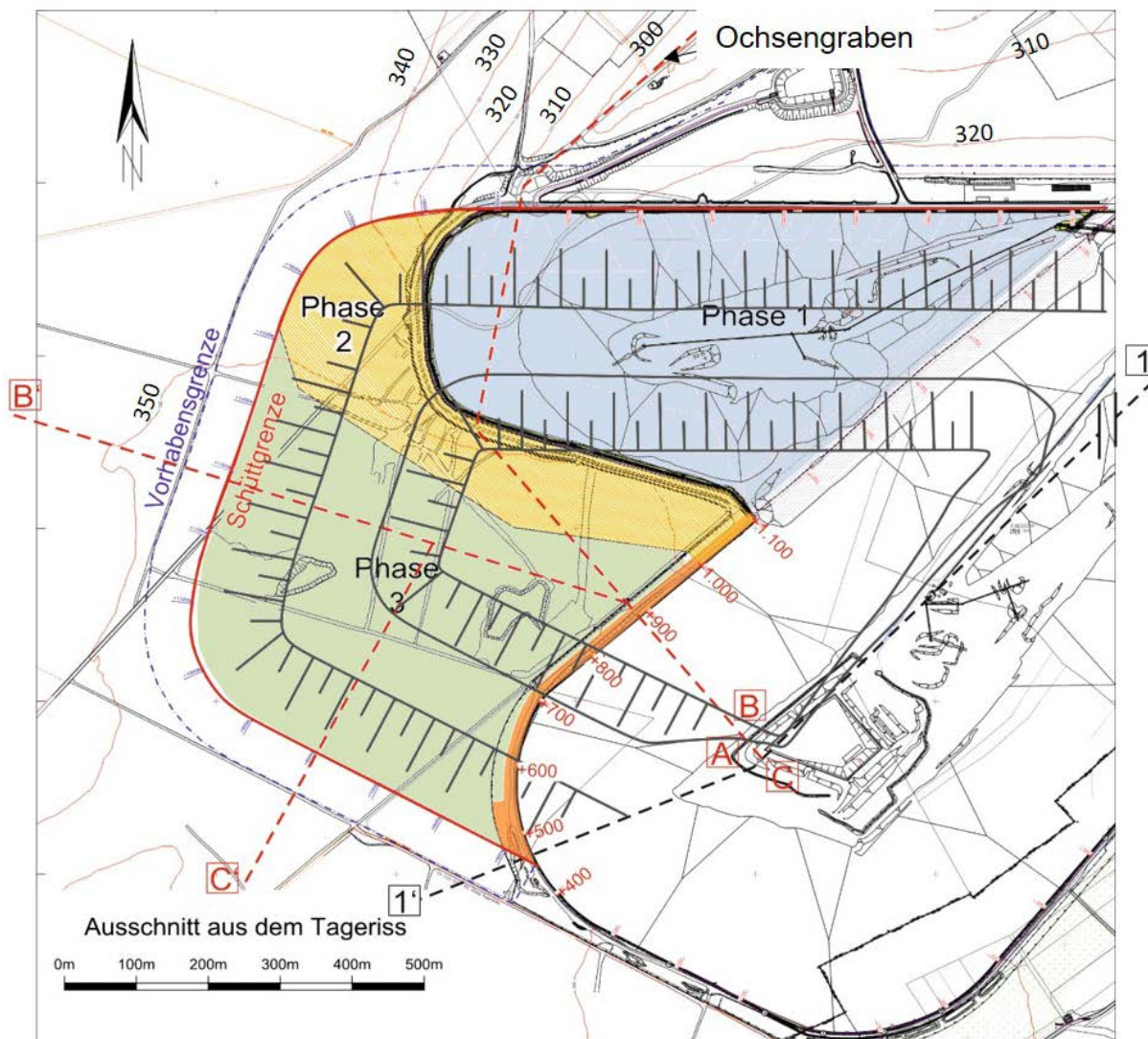
**Abbildung 2-1: Übersicht über die Modelle der Basisuntersuchungen**

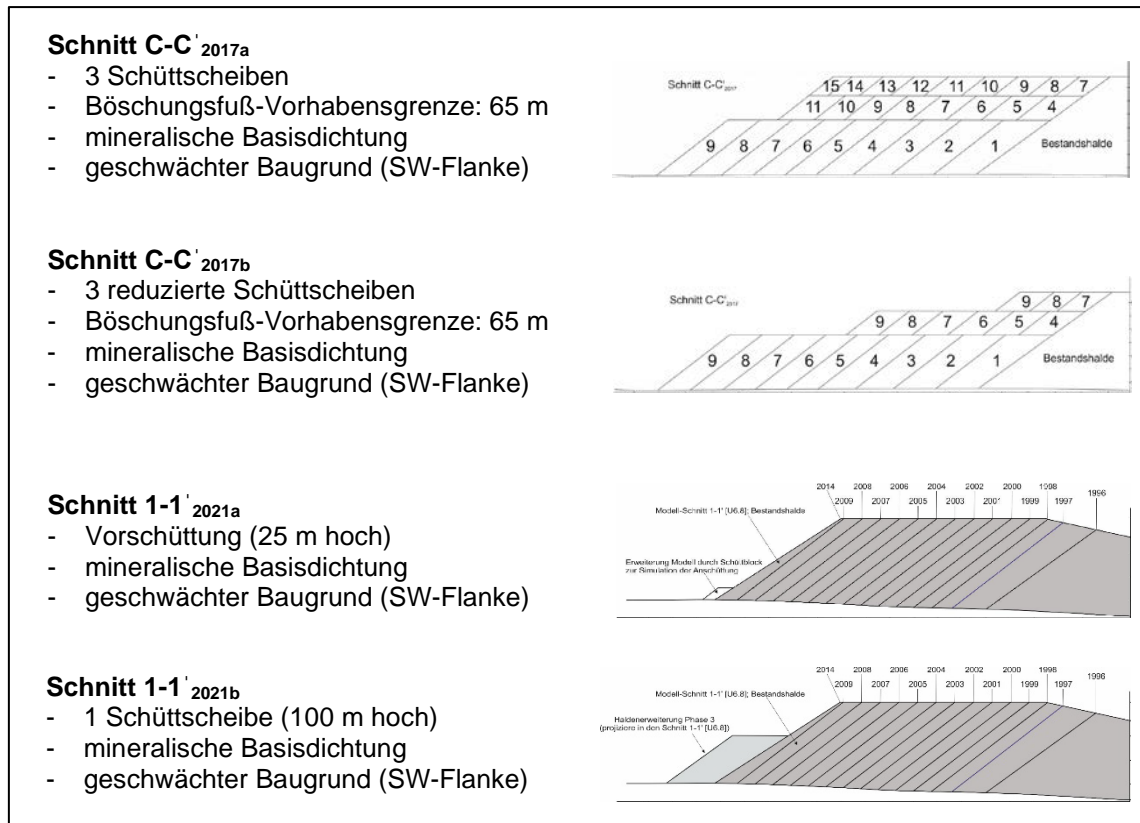
## 2.2.2 Ergänzende Untersuchungen

Zur Bewertung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die Phasen 2 und 3 der Haldenerweiterung wurde durch den geotechnischen Sachverständigen in erster Instanz geprüft, ob die Ergebnisse der Basisuntersuchungen (Anlagen 2 und 3) übertragbar sind. Das Ergebnis zeigt, dass die Modellierung und die zugehörige Modellkalibrierung das Haldenverhalten im Erweiterungsbereich repräsentativ erfassen. Unter Zugrundelegung aller Ergebnisse der begleitenden Messungen trifft dies für den Untersuchungsbereich mit einem Abstand  $\geq 10$  m /  $\geq 25$  m zum Haldenfuß der Bestandshalde zu, so dass hier vom geotechnischen Sachverständigen unter Bezug auf die Basisuntersuchungen die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit bestätigt werden kann. Dies gilt für die insgesamt geplante Haldenerweiterung mit der laufenden Phase 1 (Abbildung 2-2: blauer Bereich), der beantragten Phase 2 (Abbildung 2-2: blassroter Bereich) und der geplanten Phase 3 (Abbildung 2-2: grüner Bereich). Für diese Bereiche sind die Nachweise zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit mit den Basisuntersuchungen erbracht (Anlagen 2 und 3).

Der orange Bereich der Haldenerweiterung in den Phasen 2 und 3 kennzeichnet einen Streifen mit weniger als 10 m Abstand zum bestehenden Haldenfuß der Bestandshalde, in dem die aktuell gemessenen Verformungen über denen liegen, die der Modellkalibrierung im Rahmen der Basisuntersuchungen zugrunde gelegt wurden. Hier war der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Systems Basisabdichtung detaillierter, beginnend für die Flächenvorbereitung sowie für geringe Überschüttungshöhen mit Rückstandssalz zu führen. Geringe Überschüttungshöhen können hier z. B. temporär bei Errichtung der hydraulischen Trennung innerhalb der Phase 2, aber auch im Endzustand der Haldenerweiterung beider Phasen im Anbindungsbereich zur Bestandshalde mit auf den Wert Null auslaufender Böschungshöhe auftreten. Das dafür entwickelte Schnittmodell 1-1'<sub>2021a</sub> zeigt Abbildung 2-3. In einem ganz eng begrenzten Bereich um den östlichsten Anbindungsbereich der Haldenerweiterung an die Bestandshalde, das entspricht dem Austrittspunkt der Schnittlage 1-1' aus der Südwestflanke der Bestandshalde (Permanentmessstation PMS 2.2), werden in einem Streifen bis 25 m vom Haldenfuß entfernt ebenfalls Verformungen bestimmt, die über den Werten der Modellkalibrierung liegen (siehe Abbildung 2-2). Die Verformungen gehen Richtung Westen wieder zurück, so dass bereits die Ergebnisse der nächsten westlich davon befindlichen Permanentmessstation PMS 41.2 die der Modellkalibrierung zugrunde liegenden Verformungsraten wieder unterschreiten. In Abbildung 2-2 wurde deshalb konservativ beginnend mit PMS 41.2 der orange Bereich nach Osten auf eine Breite von 25 m erweitert. Das Haldenverhalten hier wird durch die nachfolgenden Untersuchungen der Situation an der Südwestflanke der Bestandshalde bewertet.

Die Bewertung der geplanten Phase 3 der Haldenerweiterung wurde ergänzt durch weiterführende Betrachtungen mit den Schnittmodellen C-C'<sub>2017a/b</sub> für die Haldenerweiterung im Bereich der Schnittlage C-C' sowie mit dem Schnittmodell 1-1'<sub>2021b</sub> für eine Anschüttung einer Schüttscheibe an die Südwestflanke der Bestandshalde (siehe Abbildung 2-2). Diese Schnittmodelle sind ebenfalls in Abbildung 2-3 dargestellt. Konservativ werden hier die Ergebnisse der Untersuchungen zur besonderen Situation an der bestehenden Südwestflanke gemäß Anlage 1 berücksichtigt.





**Abbildung 2-3: Übersicht über die Modelle der ergänzenden Untersuchungen**

### Bewertung des haldenfußnahen Bereichs

Für den vorgenannten Bereich mit kleinem Abstand zum Haldenfuß der Bestandshalde und hier gemessenen Verschiebungsgeschwindigkeiten, die über denen der Kalibrierung liegen, wurden ergänzende numerische Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, die Gebrauchstauglichkeit des System Basisabdichtung im Zuge der Flächenvorbereitung für eine kleine Anschüttung in diesem Bereich für die Betriebs- und Nachbetriebsphase zu bewerten. Im Sinne eines konservativen Vorgehens wurde hierfür das Basismodell entlang der Schnittlage 1-1' (Abbildung 2-2) aus der Untersuchung der besonderen Situation an der Südwestflanke der Bestandshalde (Anlage 1b) weiterentwickelt. Das neue Schnittmodell 1-1' 2021a gemäß Anlage 6 wurde zur Betrachtung der Haldenerweiterung um die Schichten des Systems Basisabdichtung und um eine Vorschüttung (25 m hoch und breit, geringes Ballastieren des beanspruchten, unmittelbaren Haldenvorlandes) ergänzt. In Bezug auf die Verhältnisse im Südwesten entspricht die Anschüttung einer vollständigen, kleinstmöglichen Ballastierung des bis 25 m breiten, verformungsbeanspruchten Vorlandes der Bestandshalde.

Die Ergebnisse zeigen, dass

- während der Flächenvorbereitung (Modell: 1 Jahr: Anfang bis Ende 2020) im Haldenvorland der Bestandshalde rechnerisch nur geringe vertikale Verschiebungen auftreten, die theoretisch als maximale Hebung des Systems Basisabdichtung im Zeitraum der Flächenvorbereitung verstanden werden könnten und dafür verträglich sind. Sie können unter Berücksichtigung realerer Zeiträume für die Flächenvorbereitung reduziert werden.
- durch das Ballastieren mit der folgenden Beschüttung die berechneten Verformungen der Basisabdichtung mit 3 % Stauchung bis 2 % Dehnung im unteren Wertebereich entsprechender Verformungen unter Berücksichtigung der gesamten Haldenkontur liegen. Zum Ballastieren wird im Modell eine 25 m breite und hohe Anschüttung innerhalb eines Vierteljahres aufgebracht.

#### Bewertung der Situation an der Südwestflanke der Bestandshalde

Die besondere Situation im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Halde (vgl. Abschnitt 1.2.2 und Anlage 1) ist Gegenstand ergänzender Betrachtungen, da in diesem Bereich der südliche Rand der Haldenerweiterung anbindet (geplante Phase 3). Die dazu durchgeführten numerischen Modellierungen umfassen Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

1. der Haldenerweiterung entlang der Schnittlage C-C' unter betont konservativer Einbeziehung der ungünstigen Baugrundverhältnisse und Verformungsmechanismen, wie sie östlich davon lokal begrenzt im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Halde festgestellt und in Anlage 1 dokumentiert sind sowie
2. des unmittelbaren Anbindungsbereiches der Haldenerweiterung, Phase 3, an die Südwestflanke der Bestandshalde. Dazu wird das speziell zur Untersuchung der Bewegungsursachen entlang der Schnittlage 1-1' entwickelte Schnittmodell (siehe Anlage 1b) um einen Schüttblock ergänzt (Modell 1-1'<sub>2021b</sub>, siehe Abbildung 2-3), der mit Flanke und Berme der unteren Schüttscheibe der Haldenerweiterung entspricht.

Für die Untersuchungen zum Punkt 1 wurde das Schnittmodell C-C'<sub>2017</sub> weiterentwickelt. Das neue Schnittmodell C-C'<sub>2017a</sub> ist in Abbildung 2-3 zu sehen und berücksichtigt fiktiv, d. h. im Sinne einer Grenzwertbetrachtung, die im Ergebnis der Ursachenuntersuchungen an der Südwestflanke der bestehenden Halde bestimmten Parameter für den durchfeuchteten, festigkeitsreduzierten Baugrund. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass auch hier die Standsicherheit der geplanten Haldenerweiterung gegeben wäre (Anlage 2). Die im Haldenfußbereich zeitlich begrenzt auftretenden, maximalen horizontalen Verschiebungsgeschwindigkeiten wären erwartungsgemäß deutlich größer als im Ergebnis der Basisuntersuchungen, aber auch deutlich kleiner als die an der Südwestflanke der bestehenden Halde in situ gemessenen Maximalwerte (vgl. Anlage 1b).

Zur Bewertung der Auswirkungen einer Schütteeinstellung bei Auftreten größerer Bewegungen im Vorland wurde das numerische Schnittmodell C-C'<sub>2017a</sub> weiter präzisiert. Im Schnittmodell C-C'<sub>2017b</sub> wurde die Haldenschüttung bei Erreichen der beantragten Haldenkontur durch die untere Schüttebene eingestellt und wurden die oberen Schüttebenen nicht mehr bis zur geplanten Endkontur fortgeführt. Abbildung 2-3 zeigt das präzisierte Modell mit Bermbreiten von jeweils 200 m auf der mittleren und unteren Schüttscheibe. Die dabei berechnete Verformungsrate liegen am Schüttende nur geringfügig über und am Ende der Betrachtungszeit unter den Verformungsraten des vollständig geschütteten Haldenkörpers im Schnittmodell C-C'<sub>2017</sub> (mit realem Untergrundverhalten lt. Baugrundgutachten). Die Untersuchungen sind sehr konservativ bzw. fiktiv, da die lokal an der Südwestflanke der bestehenden Halde angetroffenen Untergrundverhältnisse auf den Erweiterungsbereich in der Schnittlage C-C' übertragen wurden. Das Baugrundgutachten weist für diesen Bereich deutlich bessere Kennwerte aus.

Die Untersuchungen zum Punkt 2 beschäftigen sich detailliert mit der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Haldenerweiterung im unmittelbaren Anbindungsbereich an die Südwestflanke der Bestandshalde. Basis dafür sind die in Abschnitt 1.2.2 dargestellte Situation sowie die Ergebnisse der diesbezüglich durchgeführten, gutachterlichen Bewertungen (Anlage 1). Sie begründen hier lokal begrenzt abweichende Baugrundverhältnisse und Verformungsmechanismen im Bereich des Böschungfußes an der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde. Deshalb wurde für diese Bewertung das Schnittmodell 1-1' in der o. g. gutachterlichen Bewertung (Anlage 1) weiterentwickelt. Die aus dieser Bewertung für den ca. 25 m breiten Streifen entlang des Haldenfußes zutreffenden, lokalen Baugrundverhältnissen und Verformungsmechanismen wurden in dem weiterentwickelten Schnittmodell 1-1'<sub>2021b</sub> konservativ für den gesamten Untergrund, d. h. unter der Halde und im modellierten Vorland, angesetzt. Das Systems Basisabdichtung wurde integriert und die geplante Haldenanschüttung in Phase 3 zusätzlich in Form einer unteren Schüttscheibe mit ca. 100 m Höhe und 100 m Breite eingefügt. Im Ergebnis der durchgeführten Berechnungen wird auch hier die Standsicherheit des Systems aus Halde, Basisabdichtung, Untergrund belegt. Wegen des konservativen Ansatzes der ungünstigen Untergrundverhältnisse im gesamten Modell wird für die Gebrauchstauglichkeitsbewertung nur die Dehnungsbeanspruchung des Systems Basisabdichtung unter der Haldenanschüttung bewertet, sie sind mit Stauchungen von 3,5 bis 7 % verträglich. Für die Untergrundbewegungen vor der Haldenanschüttung gelten die Ergebnisse aus den Basisuntersuchungen entlang der Schnittlage C-C'. Das detaillierte Vorgehen und die Ergebnisse sind in Anlage 7 dokumentiert.

### **3 Zusammenfassende Bewertung**

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf, betreibt eine ESTA-Rückstandshalde, die über die westlich anstehende Höhenlage (Stöckig) und den sich anschließenden Ochsengraben erweitert wird. Die Haldenerweiterung ist in die Phasen 1 bis 3 gegliedert: die Phase 1, zugelassen, in der Flächenvorbereitung abgeschlossen und aktuell in Auffahrung, die bereits beantragte Phase 2 und die gegenständlich beantragte Phase 3.

In Vorbereitung der Beantragung der geplanten Erweiterung wurden die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Erweiterung auf der Grundlage der Bewertung vorliegender Messergebnisse und gutachterlicher Bewertungen unter Nutzung numerischer Berechnungsverfahren untersucht. Die im Ergebnis einer verfahrensbegleitenden Diskussion angepasste Haldengeometrie und -schüttung, das angepasste System der Basisabdichtung, die eingeführte hydraulische Trennung zwischen der bestehenden Halde und der geplanten Haldenerweiterung für die Phasen 1 und 2 sowie die begleitend präzisierten Erkenntnisse zur Baugrundsituation wurden entsprechend ihrer Relevanz für die Bewertungsaufgabe in diese Untersuchungen einbezogen. Aufgrund der Komplexität des Systems aus Halde, Basisabdichtung und Untergrund sowie der Größe des Vorhabengebietes werden die in die oben genannte Begutachtung eingehenden Ansätze durch eine schüttungsvorbereitende, abschnittsweise Bewertung der Baugrundsituation geprüft. Dazu wird bei der Erstellung der Sonderbetriebspläne für die Flächenvorbereitung durch einen Sachverständigen geprüft, ob die Randbedingungen der numerischen Modellierungen mit den realen Verhältnissen vergleichbar sind und die Berechnungsergebnisse als zutreffend für den betrachteten Beschüttungsabschnitt bewertet werden können. Das detaillierte Vorgehen dazu enthält Band 1.1E3.

Im Ergebnis aller Untersuchungen wird die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die bestehende Halde und die Erweiterung in allen 3 Phasen nachgewiesen. Aufgrund dessen können Grund- und Böschungsbrüche ausgeschlossen werden. Die im Rahmen der Gebrauchstauglichkeitsbewertung prognostizierten Beanspruchungen der Basisabdichtung und des Untergrundes werden der Bemessung des Systems Basisabdichtung und der Auslegung des Monitoringkonzepts zu Grunde gelegt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen allen relevanten Modellvarianten, wobei die Unterschiede gering bzw. durch die modellspezifischen Randbedingungen begründet sind. Das prognostizierte Bewegungsverhalten kann durch das haldenauffahrungsbegleitende Monitoring rechtzeitig erkannt, bewertet und - falls erforderlich - durch eine entsprechende Steuerung der Haldenschüttung wirksam beeinflusst werden. Dementsprechend wird im Rahmen des haldenschüttungsbegleitenden Monitoringprogramms (siehe Band 3.18.2E3) mit geeigneten Messmethoden das reale Verhalten der Haldenböschung und des Haldenvorfeldes beobachtet. Die Messergebnisse werden mit den gutachterlichen Aussagen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit verglichen und bewertet sowie im Berichtswesen an die zuständige Behörde dokumentiert.

Der gesamte Prozess ist mit dem geotechnischen Sachverständigen abgestimmt und wird durch ihn begleitet. Durch dieses Vorgehen werden die gutachterlichen Aussagen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der geplanten Haldenerweiterung unter angemessener Berücksichtigung der in die o. g. Modellierungen eingegangenen Vereinfachungen und konservativen Ansätze bestätigt. Darauf und auf vorliegenden Erfahrungen basierend werden im Monitoringkonzept (Bd. 3.18.2E3) Verformungskennwerte festgelegt und haldenauffahrungsbegleitend geprüft. Durch das komplexe, aufeinander abgestimmte Vorgehen von geotechnischen Untersuchungen, rechnerischen Nachweisen und Monitoring wird, der Komplexität des Vorhabens angepasst, die Beobachtungsmethode nach DIN EN 1997-1 umgesetzt und damit eine sichere und jederzeit beherrschbare Aufhaltung gewährleistet.

## **Literaturverzeichnis**

- GFZ (2014): DIN EN 1998-1/NA:2011-01 Erdbebenzonenkarte (ehemals DIN 4149). Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ ([http://www.gfz-potsdam.de/din4149\\_erdbebenzonenabfrage/](http://www.gfz-potsdam.de/din4149_erdbebenzonenabfrage/))
- HLUG (2013): Erdbebenzonen und geologische Untergrundklassen für Hessen. Umweltatlas Hessen (<http://atlas.umwelt.hessen.de>)
- IK (2021): Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH: Stellungnahme Nr. IK1687/39 zu den Ergebnissen der messtechnischen Überwachung der Bestandshalde Hattorf (Hessen). Darmstadt, 10.12.2021
- K+S (2021): K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra: Bericht zum Verformungsmonitoring ESTA-Halde Hattorf, 2021, III. Quartal. Philippsthal, 01.12.2021