

**Band 1.3E3**  
**Anhang zu**  
**Anlage 17**



K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra,  
Hattorfer Straße, 36269 Philippsthal

Regierungspräsidium Kassel  
Dezernat 34  
Hubertusweg 19  
36251 Bad Hersfeld

Hanka Poppitz  
Umwelt/Genehmigungsverfahren

Hattorfer Straße  
36267 Philippsthal

☎ +49 6620 79-2046  
☎ +49 17612350267  
☎ +49 6620 79-4004  
✉ Hanka.poppitz@k-plus-s.com

Philippsthal, 08. November 2021

K: U/U, U/U\_H, U/U\_GGt, WE-Archiv

**Erweiterung der Rückstandshalde des Werkes Werra, Standort Wintershall,  
Bergrechtliches Planfeststellungsverfahren**

Hier: Stellungnahme des HLNUG 14.10.2021 im Rahmen der 1. Planänderung „Modifikation und Ergänzung des Kompensationskonzepts“ des Rahmenbetriebsplans RBP WI-27/12, Planfeststellungsbeschluss vom 10.09.2020 (Az. 34/HEF-76 d 40-11-325-34/496)

Sehr geehrter Herr Mägerlein, sehr geehrte Damen und Herren,

unter Bezugnahme auf die Thematik des Haftwassergehalts im Rückstand und Ihren Hinweis Nr. 1 in der Zulassung der 1. Planänderung „Modifikation und Ergänzung des Kompensationskonzepts“ des Rahmenbetriebsplans RBP WI 27/12 (DVS 3002700) und die diesem zu Grunde liegende Stellungnahme des HLNUG vom 14.10.2021 legen wir anliegend weitere Ausführungen vor und gehen darin auf die in der Stellungnahme geführte Argumentation im Einzelnen ein.

Zusammenfassend sind wir weiterhin der fachlich begründeten Überzeugung, dass ein Haftwassergehalt von 2% anzusetzen ist, und bitten um erneute Prüfung.

Für Rückfragen stehen wir gern zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

  
Hanka Poppitz  
Teamleiterin Halden

  
Christian Artschwager  
Sachgebietsleiter Geotechnik

Anlage

K+S Minerals and Agriculture GmbH  
Bertha-von-Suttner-Straße 7  
34131 Kassel  
☎ +49 561 9301-0  
www.kpluss.com

Deutsche Bank AG (EUR), BIC: DEUTDEFF520  
IBAN: DE84 5207 0012 0025 1520 00  
Commerzbank AG (USD), BIC: DRESDEFF520  
IBAN: DE85 5208 0080 0350 6320 00  
UST-IdNr.: DE217311877

Aufsichtsratsvorsitzender: Dr. Andreas Kreimeyer  
Geschäftsführung: Dr. Burkhard Lohr (Vors.),  
Thorsten Boeckers, Holger Riemensperger  
Sitz der Gesellschaft: Kassel  
Registergericht: Kassel (HRB 7452)

Ein Unternehmen der K+S



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Anlass</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Bilanzwirksame Eigenschaften und Prozesse im Haldenkörper</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	<b>Einfluss von Klüften und Grobporen</b>	<b>3</b>
<b>2.2.</b>	<b>Verfügbarkeit von Porenwasser vs. Haftwasseranteile</b>	<b>4</b>
<b>2.3.</b>	<b>Oberflächennahe Bereiche vs. Kernbereiche</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Statistik, konservativer Ansatz und Fazit</b>	<b>10</b>



## 1. Anlass

Nachfolgend nehmen wir Bezug auf die von uns vorgelegte Unterlage vom 04.06.2021 „Ableitung des freien Wassergehalts des aufgehaldeten Rückstands als Eingangsparameter der Haldenwasserbilanz“ sowie die Hydrogeologische Stellungnahme zur Ableitung des freien Wassergehaltes aus dem Porenwassergehalt und dem Haftwassergehalt des HLNUG zur Zulassung der 1. Planänderung „Modifikation und Ergänzung des Kompensationskonzepts“ des Rahmenbetriebsplans RBP WI 27/12 (DVS 3002700) vom 14.10.2021. Die vorgestellten Zitate entstammen der Stellungnahme des HLNUG.

## 2. Bilanzwirksame Eigenschaften und Prozesse im Haldenkörper

Die gegenständlichen Untersuchungen zum Haftwassergehalt hatten zum Ziel herauszufinden, welche Wasseranteile im Porenraum des Salzhaldenrückstands

- a) mobil sind, d.h. als Haldenwasser am Strömungsprozess im Haldenkörper beteiligt sind und damit bilanztechnisch als Restinfiltration wirksam werden können bzw.
- b) immobil sind, d.h. gegen die Schwerkraft im Porenraum gehalten werden, dort anhaften und damit nicht am Strömungsprozess im Haldenkörper beteiligt sind und bilanztechnisch als Spende/ Quelle für die Restinfiltration ausgeschlossen werden können.

### 2.1. Einfluss von Klüften und Grobporen

Zu a) besteht insofern Einigkeit in der Bewertung der Strömungsprozesse, dass dieser im Wesentlichen entlang von Grobporen stattfindet. Der vorgetragenen Möglichkeit von Fließbewegungen auf Klüften ist allerdings zu begegnen, dass in keinen der umfangreichen Untersuchungen an den ESTA-Rückstandshalde im Werk Werra derartige Klüfte oder offene Spalten, wie sie als Trennflächen im Gestein oder Fels bekannt sind, festgestellt wurden, weder mit den Erkundungsbohrungen, noch mit der Salzhaldentomographie, die an den Halden in Hattorf und Wintershall jeweils einen gesamten Haldenquerschnitt erfassen (siehe Vorstellung der Ergebnisse der Salzhaldentomographie am Standort Hattorf am 14.12.2020). Die umfangreichen Auswertungen zur Salzhaldentomographie werden wir mit den Antragsunterlagen zu Phase 3 der Haldenerweiterung Hattorf übergeben.

Das unter zu b) beschriebene Haftvermögen entsteht dagegen im Porenraum bevorzugt in den Mikro- und (ggf. auch) Mesoporen. Die Wichtung zwischen mobilem und immobilen Porenwasseranteil wird damit wesentlich über die Porengrößenverteilung bestimmt.



## 2.2. Verfügbarkeit von Porenwasser vs. Haftwasseranteile

*„Ein Beispiel für die gemessenen Wassergehalte in Abhängigkeit vom Teufenverlauf bietet die Bohrung B99/2013-HA (Abbildung 2). Der in situ mittels Karl-Fischer Titration gemessene Porenwassergehalt liegt im oberflächennahen Bereich bei ca. 1-2 Ma.-% und im tieferen Bereich der Halde ebenfalls bei ca. 1-2 Ma.-%. Die in situ gemessenen Porenwassergehalte liegen somit teilweise unterhalb des Haftwassergehaltes von 2,3 Ma.-%. Haftwasser scheint somit in der Halde nicht in vergleichbarer Form wie in den Laborversuchen wirksam zu werden.“ (S. 3)*

Das Porenwasser wird in die Halde über die Restfeuchte im Rückstand und den einsickernden Niederschlag „eingeführt“. Dessen Menge bestimmt in Abhängigkeit vom Porenanteil des Rückstands die Sättigung im Porenraum. Zu beiden Parametern gibt es umfangreiche Untersuchungsergebnisse aus den Haldenbohrungen. Der Porenanteil als abhängige Größe von der Rückstandsdichte zeigt eine deutliche Abnahme mit zunehmender Teufe/Überdeckungshöhe. Eine vollständige Sättigung des Porenraums wurde in keiner der untersuchten Proben nachgewiesen.

Bei der Bewertung des Haftwassergehalts ist zu berücksichtigen, vor allem im Vergleich mit dem in situ bzw. initialem Wassergehalt<sup>1</sup>, dass dieser das Potential des im Porenraum gegen die Schwerkraft rückhaltbaren Wasseranteils darstellt. Dies kann sich nur realisieren, wenn, wie in den Laborversuchen umgesetzt, der Porenraum quasi als Startbedingung gesättigt wurde bzw. war. Dieser gesättigte Zustand besteht aber im Rückstand weder im „frischen“ Zustand unmittelbar nach der Aufhaldung noch im unterschiedlich „gealterten“ Rückstandskörper (siehe IBEWA, Abbildung 4-6). Insofern ist auch die Darstellung in IBEWA, Abbildung 4-2 nachvollziehbar, wonach die im Labor ermittelten Haftwassergehalte (mit Ausnahme einer Probe aus Bohrung B100/2013 HA aus einer Teufe von rd. 8 m bei geringem Überlagerungsdruck) stets größer sind, als die initialen, d.h. in situ Wassergehalte. Das bedeutet, das Dargebot an Wasser ist nicht groß genug, um im Haldenkörper das Haftwasserpotential im Porenraum des Rückstands ausschöpfen zu können.

## 2.3. Oberflächennahe Bereiche vs. Kernbereiche

Hinsichtlich des Wasserdargebots ist in diesem Zusammenhang auf **last- und zeitabhängige Alterations- und Strömungsprozesse im Haldenkörper** zu verweisen. Wir haben hierzu bereits in unserem Bericht vom 01.06.2021 dargelegt, dass Porenwasser über Hydratationsprozesse in Mineralphasen des Feststoffanteils des Rückstands eingebunden wird.

---

<sup>1</sup> Der in situ Wassergehalt wird bei den Haftwassergehalts-Untersuchungen als initialer, am Beginn der Untersuchungen vorhandener Wassergehalt bezeichnet.



Dies zeigt sich nach den Untersuchungsergebnissen der Haldenbohrungen unabhängig vom Schüttalter im **Teufenbereich rd. > 40...45 m u. Ansatzpunkt** mit in situ Wassergehalten im Bereich von rd. 1 bis 3 % und begleitend deutlich höheren Kristallwasseranteilen (siehe dazu Ihre Abbildung 2 zu den Ergebnisse von der Bohrung B99/2013 HA sowie die IBEWA Abbildung 5-1 – Bereich rd. > 0,75 MPa). Die in situ Wassergehalte sind hier kleiner als die Porenwassergehalte bei der Aufhaldung und probenbezogen die initialen Wassergehalte auch kleiner als die jeweiligen Haftwassergehalte (siehe IBEWA Abbildung 4-3), d.h. es ist weniger Porenwasser vorhanden, als der Rückstand nach den Haftwasserversuchen eigentlich potentiell halten könnte ( $w_{HW}/w_{OW} > 1$ ). Diese Verhältnisse können nur über eine Verlagerung von Wasseranteilen aus dem Porenraum hin zum Kristallwasser erklärt werden. Auch für Sie ist dieses Prozessverständnis für die tieferen Haldenbereiche mit dem Einbau von Wasser als Kristallwasser durchaus plausibel (siehe Zitat, SN Seite 4, 1. Abs.).

*„Laut Antragstellerin kommt es im oberflächennahen Bereich der Halde zu einer schnellen Infiltration des Haldenwassers (Wasser im Rückstand, Niederschlagswasser) entlang von Grobporen in den Haldenmantel. In tieferen Haldenbereichen könne das Wasser als Kristallwasser eingebaut werden. Nach den in den Haldenbohrungen ermittelten Wassergehalten erscheint dies plausibel (Abbildung 2).*

*Die Antragstellerin geht weiter davon aus, dass der tiefere Bereich der Halde (unterhalb von 40 m) in Bohrung B99/2013 HA keinem Niederschlagswasser ausgesetzt ist und daher die in situ angetroffenen Wassergehalte niedriger sind. Sie bezieht sich dabei auf die Aussage der IBeWa: „Die Reduzierung der Porosität und der Permeabilität werden als wesentliche Ursachen für die Reduzierung der in situ angetroffenen Wassergehalte und der ermittelten Haftwassergehalte mit zunehmendem petrostatischen Druck angesehen“ [1],*

*Denkbar wäre auch, dass Niederschlagswasser im tieferen Bereich der Halde entlang von bevorzugten Wegsamkeiten (Grobporen und Klüften) fließt, und somit nicht in Form von Haftwasser zurückgehalten wird. Ein Hinweis hierzu könnte die Streuung der Messwerte der Haftwassergehalte bei höheren petrostatischen Drücken geben (Abbildung 1). Bei Drücken von 1-1,75 MPa streuen die Haftwassergehalte zwischen 1 und 5 Ma. -%. Vermutlich wurden während der Laborversuche Bohrkernbereiche mit höheren und niedrigeren Durchlässigkeiten erfasst.“*

Im Zusammenhang mit der festgestellten teufenabhängigen Reduzierung der Porosität und Permeabilität sind für uns die festgestellten Wassergehalte in den tieferen Haldenbereichen Beleg dafür, dass der Niederschlagseinfluss mit der Teufe abnimmt und kein Niederschlag in den Haldenkernbereich vordringt. Anderenfalls müssten größere Wassergehalte im Vergleich zur Aufhaldung und/ oder zu den Haftwassergehalten vorhanden sein. Die Streuung der Messwerte der Haftwassergehalte bei höheren petrostatischen Drücken als Hinweis auf ein Fließen von Niederschlagswasser auf bevorzugten Wegsamkeiten in tiefere Haldenbereiche (siehe Seite 4,



3. Absatz) ist für uns als Argument nicht nachvollziehbar. Die Konfidenz- und Vorhersageintervalle sind im gesamten Teufen-/ Überlagerungsbereich annähernd gleich und entsprechende Wegsamkeiten müssten sich auf die in situ Wassergehalte auswirken, was nicht zu erkennen ist.

Gestützt wird diese Aussage auch durch die Ergebnisse der an den Bohrkernen der Haldenbohrungen durchgeführten mineralogischen Analysen, die gezeigt haben, dass in den tieferen Haldenbereichen noch metastabile, hydratisierungsfähige Phasen (z.B. Kieserit und niedrige  $\text{MgSO}_4$ -Hydratstufen) vorhanden waren, d.h. das Hydratisierungspotential nicht ausgeschöpft bzw. die Phasenumwandlung nicht abgeschlossen war. Die Einbindung von Wasser in kristallwasserhaltige Phasen haben Sie ebenfalls als plausibel angesichts der Wassergehalte in den Haldenbohrungen bestätigt. Das Vorhandensein von leichtlöslichen Sekundärphasen in tieferen Haldenbereichen spricht per se gegen einen Niederschlagseinfluss in diesem Bereich. Sie wären unter Niederschlagseinfluss herausgelöst worden, wie es in den nachfolgend behandelten oberflächennahen Haldenbereichen deutlich zu erkennen ist.

*„Im oberflächennahen Bereich sind die ermittelten Haftwassergehalte mit ca. 5 Ma.-% (Abbildung 1) ebenfalls höher als die an den Haldenkernen in situ gemessenen Porenwassergehalte mit ca. 1-2 Ma.-% (Abbildung 2). Hier scheint das Haftwasser ebenfalls nicht effektiv wirksam zu werden. Bevorzugte Wegsamkeiten scheinen auch im oberflächennahen Bereich eine wichtige Rolle zu spielen.“ (S. 4 Ihrer Stellungnahme)*

**Im oberflächennahen Haldenbereich bis rd. 10 m Teufe** (bis rd. 0,10 MPa in den Horizontalbohrungen bzw. bis rd. 0,15 MPa in den Vertikalbohrungen) zeigt sich, anders als im tieferen Haldenbereich, eine deutliche **Abhängigkeit der Wassergehalte vom Schüttalter** (im Betrag und auch in den Anteilen von Poren- und Kristallwasser). Dies ist Folge der last- und zeitabhängigen Alterations- und Strömungsprozesse, die im oberflächennahen Haldenbereich in Verbindung mit den klimatischen Einflüssen besonders ausgeprägt sind. Zum Vorhandensein bevorzugter Fließwege, innerhalb derer sich die Strömungsprozesse hauptsächlich vollziehen, besteht offensichtlich Übereinstimmung.

In Ihrer Abbildung 2 stellen Sie exemplarisch die Wassergehaltsbestimmungen an Proben der Bohrung B99/2013 HA dar. In deren randlichem Bereich liegen die Poren- bzw. in situ Wassergehalte im Bereich rd. 1 bis 2 %, die Gesamtwassergehalte (Trocknungsverlust bei 550 °C) im Bereich rd. 2 bis 3 %, woraus Kristallwassergehalte rd.  $\leq 1$  % resultieren. Ähnliche Verhältnisse zeigen sich bei den Bohrungen B97 und 98/2013 HA sowie B72/2014 WI, die im Untersuchungsbereich annähernd gleich alte oder ältere Schüttbereiche durchfahren haben und als **„gealterte“ oberflächennahe Haldenbereiche** eingestuft werden. Sie lassen darauf schließen, dass nahezu alle kristallwasserhaltigen Phasen (mit Ausnahme von Gips) gelöst wurden.



In den genannten Bohrungen konnten im oberflächennahen Haldenbereich keine ungestörten Proben für Untersuchungen der Permeabilität und nachfolgend des Haftwassergehalts entnommen werden. Es kann deswegen nicht durch entsprechende direkte Untersuchungen untersetzt bewertet werden, ob und wie sich die bevorzugten Fließwege und dortigen Dichte-/ Porositätsverhältnisse auf die Haftwassergehalte auswirken. In Ihrer SN, Seite 5, 3. Abs. führen Sie hierzu als Möglichkeit aus:

*„Denkbar ist allerdings, dass ein Teil des im frisch aufgehaldeten Rückstands befindlichen Porenwassers als Haftwasser in weniger stark durchflossenen Bereichen an der Oberfläche zurückgehalten wird.“*

Diese Bewertung verallgemeinern Sie unserer Ansicht nach in Ihrem Fazit für die gesamte Halde (siehe Ihre SN, Seite 5, letzter Abs.).

#### „Fazit

*Bevorzugte Fließwege entlang von Grobporen oder Klüften scheinen für die Haldenwasserströme eine wesentliche Rolle zu spielen. Haftwasser kommt in Grobporen oder Klüften in der Regel kaum zum Tragen. Haftwasser könnte aber innerhalb von feinporenreichen Bereichen im Rückstand wirksam werden.“*

Ihr stimmen wir grundsätzlich zu, da natürlich über das Vorhandensein verschiedener Porengrößen im Rückstand und zwar sowohl Grobporen, die im Wesentlichen die Strömungsprozesse, als auch Mikro- und Mesoporen, die das Haftwasserpotential beeinflussen, stets beide prozessbestimmenden Eigenschaften, lediglich teufenabhängig in unterschiedlichen Wichtungen vorhanden sind.

Für eine vertiefende Einschätzung dieser "gealterten" oberflächennahen Haldenbereiche können ergänzend Untersuchungsergebnisse bildgebender Verfahren (Dünnschliffuntersuchungen, (Quelle: Poppitz, 2021)) herangezogen werden. In den betreffenden, durch Chloridkarst geprägten und selektiv an Wertstoff-Restgehalten verarmten Randbereichen ist die Porosität, und hier insbesondere der Anteil an Grobporen ( $> 10 \mu\text{m}$ ) hoch, die nach übereinstimmender Bewertung für den Haftwasseranteil nur eine untergeordnete Rolle spielen. Jedoch besteht, wie aus Abbildung 5 unseres Berichtes vom Juni 2021 exemplarisch hervorgeht, neben diesen weiten Grobporen noch ein weiteres System aus Meso- und Mikroporen, welches mit der primären Schüttung als loses Haufwerk entstanden ist und trotz der bevorzugten Fließwege, quasi „abgeschottet“ von den Grobporen, besteht.

Auch Abbildung 4-9 in Anlage 8.5 zu Band 3.15 des RBP WI-27/12 (Wilsnack et al. 2018) zeigt im gesamten Untersuchungsbereich bis zu einem petrostatischen Druck von rd. 1,3 MPa Porositäten für Mikro- und Mesoporen in ähnlicher Größenordnung. Insofern kann resümierend zu allen Untersuchungsergebnissen und übereinstimmend zu Ihrer Bewertung (siehe vorstehendes Zitat) auch diesen Haldenbereichen ein Haftwasserpotential zugewiesen werden.





Mangels fehlender Versuchsergebnisse an Haftwassergehalten in den gealterten oberflächennahen Haldenbereichen können hier zur Bewertung des Haftwasserpentials bzw. Speicher- Retardationsvermögens stellvertretend mit konservativem Ansatz die in situ Wassergehalte angesetzt werden. Auch Sie verfolgen aus Seite 5 Ihrer Stellungnahme prinzipiell diesen Ansatz,

*„Da in den oberflächennahen Bereichen der Halde ein Porenwasseranteil von 1-2 Ma.-% ermittelt wurde, könnte im Sinne einer konservativen Betrachtung ein minimaler Haftwasseranteil von 1 Ma.-% in die Haldenbilanz mit eingehen.“*

wählen allerdings aus der gerundeten Wertespanne der in situ Wassergehalte den Kleinstwert von 1 %.

In der nachfolgende Abbildung 1 sind die in situ Wassergehalte im hier behandelten oberflächennahen, „gealterten“ Haldenbereich darstellt. Es ist zu erkennen, dass die in situ Wassergehalte der beispielhaft betrachteten Bohrung B99/2013 HA eher den unteren Wertebereich repräsentieren (Mittelwert rd. 1,2 %). Der Mittelwert aller in situ Wassergehalte der Bohrungen B97 bis 99/2013 HA sowie B72/2014 WI in Abbildung 1 beträgt rd. 1,8 %, der annähernd dem von uns im Bericht vom 01.06.2021 zur Bewertung der Haldenwasserbilanz unabhängig von der Teufe gewählten Haftwassergehalt von 2,0 % entspricht.

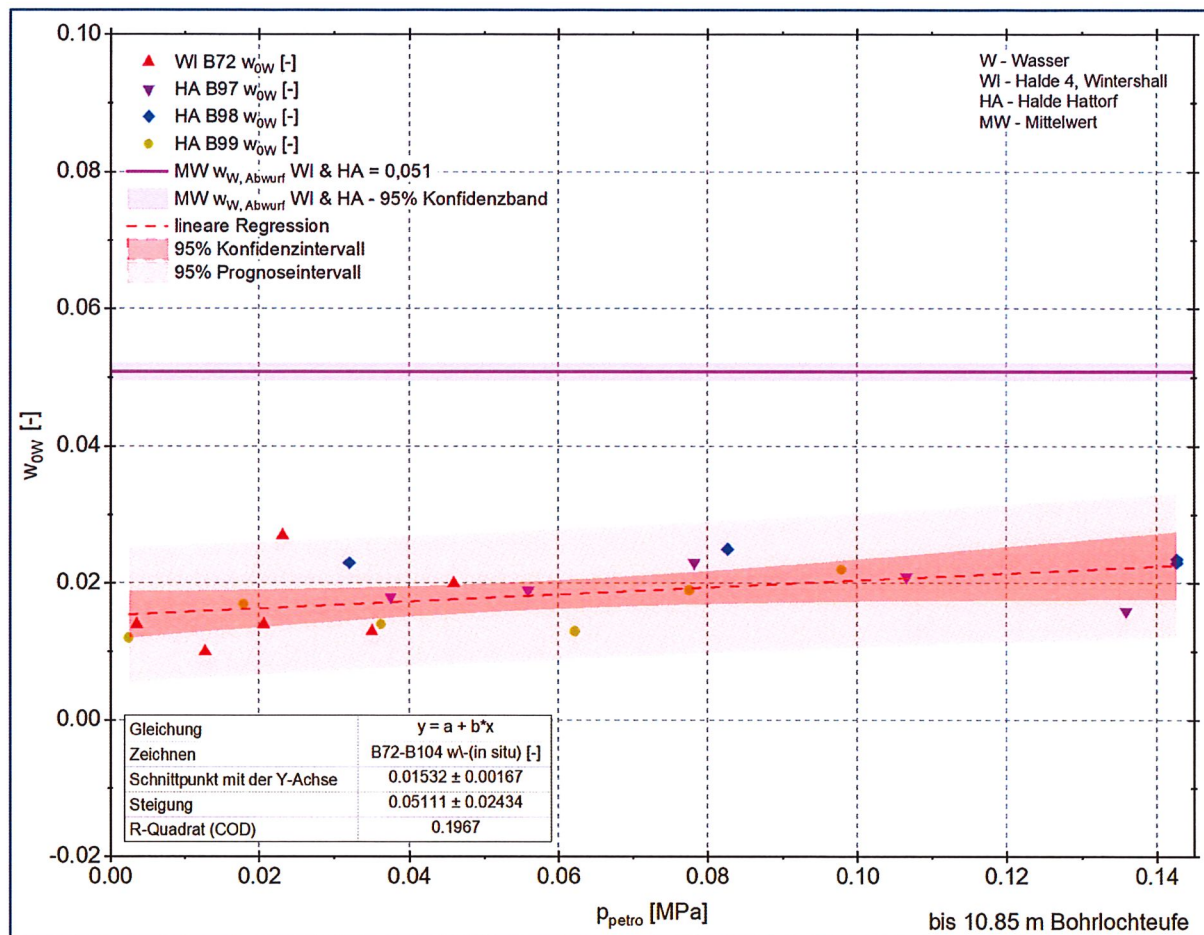


Abbildung 1 Auszug aus Abbildung 5-1 aus Anlage 2 (IBEwa (2021: 27)): Darstellung der ermittelten in situ Wassergehalte im oberflächennahen, „gealterten“ Haldenbereich in Abhängigkeit vom petrostatischen Druck.

Für **„jüngere“ oberflächennahe Haldenbereiche**, wie mit den Bohrungen B100 und 104/2013 HA erkundet, wurden deutlich höhere Poren- bzw. in situ Wassergehalte (rd. 1 bis 30 %) sowie Gesamtwassergehalte (rd. 2 bis 64 %) festgestellt. Hier wurden des Weiteren an zwei Kernproben in Teufen von rd. 9 bzw. 17 m bzw. Überlagerungsspannungen von rd. 0,08 MPa Haftwassergehalte von 4,6 und 4,9 % ermittelt, die im oberen Wertebereich aller Versuchsergebnisse liegen (siehe IBEWA, Abbildung 4-4). Diese Versuchsergebnisse bekräftigen den im vorherigen Absatz beschriebenen pauschalen, teufenunabhängigen Ansatz eines Haftwassergehalts von 2 %.

Generell ist hierzu anzumerken, dass der geringmächtige, stark alterierte und durch Chloridkarst geprägte oberflächennahe Bereich älterer Haldenteile nicht repräsentativ im Hinblick auf den gesamten Haldenkörper ist, und die dort vorhandenen Grobporen nicht bilanzwirksam für die gesamte Halde sind. Dass deren Anteil an der Gesamtporosität und in tieferen Haldenteilen



erwartungsgemäß bei auch insgesamt reduzierter Porosität hinter den Meso- und Mikroporen zurücktritt, wurde exemplarisch in Anlage 8.5 zu Band 3.15 des RBP 27/12 (Wilsnack et al. 2018) gezeigt. Gemäß dieser Unterlage ist davon auszugehen, „dass die Strömungsprozesse im Haldenmaterial mit großer Wahrscheinlichkeit an die Makroporosität gebunden sind, während in den Mikro- und Mesoporen maßgeblich die chemischen Wechselwirkungen zwischen der Flüssigkeit und dem Feststoff stattfinden“ (Wilsnack et al. 2018: 26). Hierbei ist ergänzend anzumerken, dass die Definition der IBeWa Grobporen ab einer Größe von  $> 1,9 \mu\text{m}$  ausweist, der Bereich der Grobporen damit noch weiter gefasst ist. Der Volumenanteil der Grobporen im Gesamtrückstand ist nicht maßgeblich für die Beurteilung des Haftwasseranteils im Gesamtrückstand.

### 3. Statistik, konservativer Ansatz und Fazit

Die Untersuchungsergebnisse zum Haftwassergehalt werden im Kap. 4.2 IBEWA dokumentiert, statistisch ausgewertet und bewertet. Auf dieser Grundlage erfolgte unsere Bewertung im Kap. 4 des Berichts vom 01.06.2021.

Im Diagramm der dortigen Abbildung 2 sind neben den Haftwassergehalten aller Proben auch zur Stichprobengesamtheit die Konfidenz- und Vorhersageintervalle mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % dargestellt. Die Intervallgrenzen umschließen hierbei den wahren Parameter in 95 % der Fälle und in 5 % der Fälle nicht, wobei sich beim Konfidenzintervall der wahre Parameter auf den Mittelwert, beim Vorhersageintervall auf den Einzelwert der Stichprobengesamtheit bezieht. Dies begründet letztlich die Breite der jeweiligen Intervalle, die beim Vorhersageintervall gut erkennbar alle Einzelwerte umschließt. Signifikante Unterschiede in der Breite der Intervalle sind teufenabhängig nicht zu verzeichnen. Ihre Bewertung auf Seite 5, 5. Abs.

*„Die ermittelten Haftwassergehalte sind insbesondere bei höheren petrostatischen Drücken mit größeren Unsicherheiten verbunden“.*

ist insofern nicht zutreffend.

Ergänzend ist zu bemerken, dass Sie auf Seite 4, 3. Abs. hierzu einen Druckbereich von 1 - 1,75 MPa betrachten, woraus sich eine max. Streuung im Sinne Ihrer Bewertung zwischen 1 und 5 % ergibt. Bei Auswertung der Druckbereiche ca.  $<$  und  $\geq 1,1$  zeigt sich dagegen eine ausgeglichene Streuung, die unserer Intervallbreiten bezogenen Bewertung entspricht.

. Sie führen des Weiteren auf Seite 5, 5. Abs. Ihrer SN aus:

*„Anstelle einer Exponentialfunktion ist eine lineare Funktion zwischen den gemessenen Werten und dem petrostatischen Druck ebenso denkbar, was in weitaus niedrigeren Haftwassergehalten resultieren würde.“*



Zum Ansatz der Trendfunktion ist als erstes zu bemerken, dass die Konfidenz- und Vorhersageintervalle auf dem Ansatz einer Potenzfunktion basieren (siehe Abbildung 1). Da sich natürlich die Werte der Stichprobengesamtheit nicht mit der Wahl der Trendfunktion ändern, gehen wir als zweites davon aus, dass Sie sich bei dieser Aussage auf möglicherweise niedrigere untere Intervallgrenzen beziehen. Unabhängig davon, wissenschaftliche und anerkannte ingenieurmäßige Praxis bei der Bewertung der Abhängigkeit von Wertpaaren mit abhängiger und unabhängiger Variablen ist, dass man (in erster Instanz) die Trendfunktion auswählt, die die Abhängigkeit am besten beschreibt. Nur auf dieser Grundlage können der Frage-/ Problemstellung angemessene Konservatismen in realistischer Größenordnung abgeleitet werden. In Auswertung der umfangreichen Laboruntersuchungen zu den Haldenkörperbohrungen Hattorf und Wintershall (RBP HA-04/09, Band 3.17 und RBP WI-27/12, Band 3.15) lässt sich erkennen, dass die maßgebend die Strömungsprozesse bestimmenden Materialparameter des Rückstands mit der Teufe asymptotisch Minimalwerten (z.B. Wassergehalt und Porosität) bzw. Maximalwerten (Dichte) zustreben. Dieser teufenabhängige Trend kann ausschließlich mit nicht linearen Funktionen abgebildet werden. Im vorliegenden Fall wurde durch IBEWA, wie bereits erwähnt, eine Potenzfunktion gewählt.

*„Die Laborversuche ergaben einen minimalen Haftwasseranteil von 1 Ma.-%. Im Rückstand der Halde wurden ebenfalls minimale in situ Porenwassergehalte von ca. 1 Ma.-% gemessen. Daher erscheint mir als konservativer Ansatz ein Haftwassergehalt von ca. 1 Ma.-% sinnvoll.“*

In der Geotechnik ist es a.a.St.d.T. (siehe DIN EN 1997-1 DE), charakteristische Parameter aus vorliegenden Versuchsergebnissen als vorsichtige Schätzung des Parametermittels festzulegen. Diesem Grundsatz sind wir angewandt auf die gegenständliche Fragestellung in mehrfacher, konservativer Sicht gefolgt mit

- Berücksichtigung eines Konfidenzintervalls,
- Bezug auf die untere Grenze des Konfidenzintervalls sowie
- dessen Kleinstwert beim größten petrostatischen Druck,

woraus sich nach Abbildung 2 unseres Berichts vom 01.06.2021 ein charakteristischer Haftwassergehalt von  $w_{HW,k} = 2,3 \%$  ergibt. Dieser Wert wird nach Abbildung 1 lediglich von drei Einzelwerten unterschritten.

Im Vergleich zu den in den Haldenbohrungen ermittelten in situ Wassergehalten, die teilweise unter dem Wert von  $w_{HW,k} = 2,3 \%$  liegen, erscheint es Ihnen für möglich, dass Haftwasser in der Halde nicht in vergleichbarer Form wie in den Laborversuchen wirksam wird. In Bezug auf die haldentieferen Bereiche halten Sie unsere Bewertung jedoch für plausibel, dass diese Verhältnisse auf die „zehrende“ Wirkung Kristallwasser aufnehmender Mineralphasen zurückgeführt werden können. Dies führt dazu, dass im Porenraum weniger Wasser vorhanden ist, als darin gegen die Schwerkraft gehalten werden könnte. Die Differenz zum eigentlichen Haftwasserpotential wird aber stattdessen über das Kristallwasser als Speicher-/





Retardationsvermögen „umgesetzt“, so dass der charakteristische Haftwassergehalt auch für diesen tieferen Haldenbereich gilt.

In gealterten, oberflächennahen Haldenbereichen mit geringen Kristallwassergehalten kann als konservativer Ansatz das Speicher-/ Retardationsvermögen in Höhe der in situ Wassergehalte bewertet werden. Dies betrifft aus den vorliegenden Untersuchungen die Bohrungen B97 bis 99/2013 HA sowie B72/2014 WI bis in einen Teufenbereich von rd. 10 m bzw. bis Überlagerungsspannungen von rd. 0,15 MPa und damit nur einen sehr schmalen Randbereich im Vergleich zum gesamten Haldenquerschnitt/-volumen. Gemäß Abbildung 1 können hierfür ein Mittelwert von  $w_{\text{in situ, gealtert, <10m}} \approx 1,8 \%$  (in der Mitte des betrachteten Druckbereichs bei ca. 0,7 MPa) sowie eine untere Grenze des 95 % Konfidenzintervalls von rd. 1,7 % (ab  $\geq 0,7$  MPa) angegeben werden.

Mit dem gewählten Haftwassergehalt für die Bilanzierung von  $w_{\text{HW,Bilanz}} = 2,0 \%$  wurden mit konservativem Ansatz auch die besonderen Verhältnissen in gealterten, oberflächennahen Haldenbereichen berücksichtigt. Er entspricht im Vergleich zum Mittelwert von  $w_{\text{HW,mittel}} = 3,6 \%$  einer Abminderung/ einem Sicherheitsfaktor von 1,8 und zeigt den bereits unsererseits eingeführten Konservatismus.

**Zusammenfassend ist festzuhalten, dass aus unserer Sicht und auf Basis der Versuchsergebnisse der abgeleitete Wert von 2% Haftwassergehalt gerechtfertigt und ausreichend konservativ ist. Der von Ihnen angegebene Ansatz eines Haftwassergehalts von ca. 1 % unterschreitet dagegen sogar den Kleinstwert aller Versuchsergebnisse. Er negiert die umfangreichen Untersuchungsergebnisse, unterschätzt das reale Haftwasserpotential im Haldenkörper erheblich und ist deswegen im Konservatismus des Parameteransatzes fachlich nicht ausgewogen.**