

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

INGENIEURSOZIENTÄT PROFESSOR DR.-ING. KATZENBACH GMBH

VEREIDIGTE UND NACH BAUORDNUNGSRECHT ANERKANNTE SACHVERSTÄNDIGE FÜR GEOTECHNIK



Öffentlich bestellte und
vereidigte Sachverständige

Geschäftsführende Gesellschafter:
Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach
Prof. Dr.-Ing. Matthias Vogler
Dipl.-Ing. Matthias Seip

K+S KALI GmbH
Werk Werra · Standort Hattorf
Postfach 11 63
36267 Philippsthal (Werra)

Sachverständigen-Gutachten
Beratung · Planung
Forschung · Entwicklung

Bodenmechanik · Felsmechanik
Baugrund-Tragwerk-Interaktion
Geothermie · Umweltgeotechnik

Gründungsberatung
Hochhausgründungen
Baugruben · Tunnelbau
Damm- · Deichbau
Grundwassermanagement
Deponiebau · Altlasten
Fachbauüberwachung
Bauschadensanalysen

K/Vo/Se/Le/Te

IK1655

23.06.2017

K+S KALI GmbH · Werk Werra · Standort Hattorf

hier: Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1655/01 zur Ursachenforschung an der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf

Sehr geehrte Damen und Herren,

in der Anlage erhalten Sie unser o.g. Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1655/01 dreifach, das verabredungsgemäß auch an den auf Seite 2 genannten Verteiler geht.

Mit freundlichen Grüßen

U. Katzenbach

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



M. Seip
Dipl.-Ing. Matthias Seip
-Geschäftsführender Gesellschafter-



Anlage

Verteiler: siehe Seite 2

65931 Frankfurt am Main
Pfaffenwiese 14A
Tel: +49 (0)69 / 9362230
Fax: +49 (0)69 / 361049

64293 Darmstadt
Robert-Bosch-Straße 9
Tel: +49 (0)6151 / 13013-10
Fax: +49 (0)6151 / 13013-20

69469 Weinheim
Wachenbergstraße 13
Tel: +49 (0)6201 / 25 83-36
Fax: +49 (0)6201 / 25 83-37

64625 Bensheim
Darmstädter Straße 170
Tel: +49 (0)6251 / 86052-16
Fax: +49 (0)6251 / 86052-15

01011 Kiew (Ukraine)
Panasa Mirnogo, 28A, office 157
Tel: +38 044 / 49592-65
Fax: +38 044 / 49592-64

Verteiler:

jeweils 1-fach in Kopie:

- K+S AG, Herrn Dr.-Ing. Jan-Peter Schleinig, Elisabeth-Consbruch-Straße 1, 34141 Kassel
- upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH, Herrn Dr.-Ing. habil. Albrecht Palm, Breite Straße 30, 39576 Stendal

per E-Mail:

- K+S AG, Herrn Dr.-Ing. Jan-Peter Schleinig, jan-peter.schleinig@k-plus-s.com
- K+S KALI GmbH, Herrn Dipl.-Ing. Christian Artschwager christian.artschwager@k-plus-s.com
- K+S KALI GmbH, Herrn M.Eng. Andreas Fischer andreas.fischer@k-plus-s.com
- K+S KALI GmbH, Herrn Dr. Peter Huttel peter.huttel@k-plus-s.com
- K+S KALI GmbH, Frau Dipl.-Ing. Hanka Poppitz hanka.poppitz@k-plus-s.com
- upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH, Herrn Dr.-Ing. habil. Albrecht Palm, a.palm@upi-umweltprojekt.de
- upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH, Herrn Dipl.-Ing. Nico Gose, n.gose@upi-umweltprojekt.de

INGENIEURSOZietät PROFESSOR DR.-ING. KATZENBACH GMBH

VEREIDIGTE UND NACH BAUORDNUNGSRECHT ANERKANNTE SACHVERSTÄNDIGE FÜR GEOTECHNIK



Öffentlich bestellte und
vereidigte Sachverständige

Geschäftsführende Gesellschafter:
Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach
Prof. Dr.-Ing. Matthias Vogler
Dipl.-Ing. Matthias Seip

**Sachverständigen-Gutachten
Beratung · Planung
Forschung · Entwicklung**

Bodenmechanik · Felsmechanik
Baugrund-Tragwerk-Interaktion
Geothermie · Umweltgeotechnik

Gründungsberatung
Hochhausgründungen
Baugruben · Tunnelbau
Dammbau · Deichbau
Grundwassermanagement
Deponiebau · Altlasten
Fachbauüberwachung
Bauschadensanalysen

K/Vo/Se/Le/Te

IK1655

23.06.2017

SACHVERSTÄNDIGEN-GUTACHTEN Nr. IK1655/01

Vorhaben:

K+S KALI GmbH · Werk Werra · Standort Hattorf

Ursachenforschung an der Südwestflanke der bestehenden Rück-
standshalde Hattorf

Auftraggeber:

K+S KALI GmbH

Werk Werra · Standort Hattorf

36267 Philippsthal

Geotechnische Sachverständige:

Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH

Vereidigte und nach Bauordnungsrecht anerkannte

Sachverständige für Geotechnik

Robert-Bosch-Straße 9

64293 Darmstadt



65931 Frankfurt am Main
Pfaffenwiese 14A
Tel: +49 (0)69 / 9362230
Fax: +49 (0)69 / 361049

64293 Darmstadt
Robert-Bosch-Straße 9
Tel: +49 (0)6151 / 13013-10
Fax: +49 (0)6151 / 13013-20

69469 Weinheim
Wachenbergstraße 13
Tel: +49 (0)6201 / 25 83-36
Fax: +49 (0)6201 / 25 83-37

64625 Bensheim
Darmstädter Straße 170
Tel: +49 (0)6251 / 86052-16
Fax: +49 (0)6251 / 86052-15

01011 Kiew (Ukraine)
Panasa Mirnogo, 28A, office 157
Tel: +38 044 / 49592-65
Fax: +38 044 / 49592-64

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Vorgang	9
2 Unterlagen	11
3 Geotechnische Untersuchungen	13
3.1 Untersuchungskonzept	13
3.2 Ausgeführte Untersuchungen	14
3.3 Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen	16
3.4 Ergebnisse der messtechnischen Überwachung	24
4 Bewertung der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen	26
5 Schlussbemerkung und Zusammenfassung	28

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Lageplan der Schürfe und Kernbohrungen
Anlage 2:	Schnitte I-I bis VII-VII
Anlage 3:	Schurf TP133/2016-HA
Anlage 3.1	Bodenprofil
Anlage 3.2	Schichtenverzeichnis
Anlage 3.3	Fotodokumentation
Anlage 3.4	Laboruntersuchungen
Anlage 3.4.1	Wassergehalt nach DIN 18121
Anlage 3.4.2	Zustandsgrenzen nach DIN 18122
Anlage 3.4.3	Korngrößenverteilung nach DIN 18123
Anlage 3.4.4	Rahmenscherversuch nach DIN 18137
Anlage 3.4.5	Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135
Anlage 4:	Schurf TP134/2016-HA
Anlage 4.1	Bodenprofil
Anlage 4.2	Schichtenverzeichnis
Anlage 4.3	Fotodokumentation

Anlage 4.4	Versuchsergebnisse
Anlage 4.4.1	Wassergehalt nach DIN 18121
Anlage 4.4.2	Zustandsgrenzen nach DIN 18122
Anlage 4.4.3	Korngrößenverteilung nach DIN 18123
Anlage 4.4.4	Rahmenscherversuch nach DIN 18137
Anlage 4.4.5	Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18125

Anlage 5: Schurf TP135/2016-HA

Anlage 5.1	Bodenprofil
Anlage 5.2	Schichtenverzeichnis
Anlage 5.3	Fotodokumentation
Anlage 5.4	Versuchsergebnisse
Anlage 5.4.1	Wassergehalt nach DIN 18121
Anlage 5.4.2	Zustandsgrenzen nach DIN 18122
Anlage 5.4.3	Korngrößenverteilung nach DIN 18123
Anlage 5.4.4	Rahmenscherversuch nach DIN 18137
Anlage 5.4.5	Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18125

Anlage 6: Schurf TP136A/2016-HA

Anlage 6.1	Bodenprofil
Anlage 6.2	Schichtenverzeichnis
Anlage 6.3	Fotodokumentation
Anlage 6.4	Versuchsergebnisse
Anlage 6.4.1	Wassergehalt nach DIN 18121
Anlage 6.4.2	Zustandsgrenzen nach DIN 18122
Anlage 6.4.3	Korngrößenverteilung nach DIN 18123
Anlage 6.4.4	Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18125

Anlage 7: Schurf TP136B/2016-HA

Anlage 7.1	Bodenprofil
Anlage 7.2	Schichtenverzeichnis
Anlage 7.3	Fotodokumentation

Anlage 8: Schurf TP137/2016-HA

- Anlage 8.1 Bodenprofil
- Anlage 8.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 8.3 Fotodokumentation
- Anlage 8.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 8.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 8.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 8.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 8.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 8.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135

Anlage 9: Schurf TP138/2016-HA

- Anlage 9.1 Bodenprofil
- Anlage 9.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 9.3 Fotodokumentation
- Anlage 9.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 9.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 9.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 9.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 9.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 9.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135

Anlage 10: Schurf TP139/2016-HA

- Anlage 10.1 Bodenprofil
- Anlage 10.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 10.3 Fotodokumentation
- Anlage 10.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 10.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 10.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 10.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 10.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 10.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135

Anlage 11: Schurf TP140/2016-HA

- Anlage 11.1 Bodenprofil
- Anlage 11.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 11.3 Fotodokumentation
- Anlage 11.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 11.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 11.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 11.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 11.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 11.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135

Anlage 12: Schurf TP141/2016-HA

- Anlage 12.1 Bodenprofil
- Anlage 12.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 12.3 Fotodokumentation
- Anlage 12.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 12.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 12.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 12.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 12.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 12.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135

Anlage 13: Schurf TP142/2016-HA

- Anlage 13.1 Bodenprofil
- Anlage 13.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 13.3 Fotodokumentation
- Anlage 13.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 13.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 13.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 13.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 13.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 13.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135

Anlage 14: Kernbohrung INK22/2016-HA

- Anlage 14.1 Bohrprofil
- Anlage 14.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 14.3 Fotodokumentation
- Anlage 14.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 14.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 14.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 14.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 14.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 14.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135
 - Anlage 14.4.6 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136

Anlage 15: Kernbohrung INK23/2016-HA

- Anlage 15.1 Bohrprofil
- Anlage 15.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 15.3 Fotodokumentation
- Anlage 15.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 15.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 15.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 15.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 15.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 15.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135
 - Anlage 15.4.6 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136

Anlage 16: Kernbohrung INK24/2016-HA

- Anlage 16.1 Bohrprofil
- Anlage 16.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 16.3 Fotodokumentation
- Anlage 16.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 16.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 16.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 16.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123

- Anlage 16.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
- Anlage 16.4.5 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135
- Anlage 16.4.6 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136

Anlage 17: Kernbohrung INK25/2016-HA

- Anlage 17.1 Bohrprofil
- Anlage 17.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 17.3 Fotodokumentation
- Anlage 17.4 Laboruntersuchungen
 - Anlage 17.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 17.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 17.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 17.4.4 Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135
 - Anlage 17.4.5 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136

Anlage 18: Kernbohrung INK26/2016-HA

- Anlage 18.1 Bohrprofil
- Anlage 18.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 18.3 Fotodokumentation
- Anlage 18.4 Versuchsergebnisse
 - Anlage 18.4.1 Wassergehalt nach DIN 18121
 - Anlage 18.4.2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122
 - Anlage 18.4.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18123
 - Anlage 18.4.4 Rahmenscherversuch nach DIN 18137
 - Anlage 18.4.5 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136

Anlage 19: Kernbohrung INK27/2016-HA

- Anlage 19.1 Bohrprofil
- Anlage 19.2 Schichtenverzeichnis
- Anlage 19.3 Fotodokumentation
- Anlage 19.4 Versuchsergebnisse

Anlage 19.4.1	Wassergehalt nach DIN 18121
Anlage 19.4.2	Zustandsgrenzen nach DIN 18122
Anlage 19.4.3	Korngrößenverteilung nach DIN 18123
Anlage 19.4.4	Rahmenscherversuch nach DIN 18137
Anlage 19.4.5	Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135
Anlage 19.4.6	Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136

Anlage 20: Zusammenstellung Laborergebnisse

1 Vorgang

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

Seit Herbst 2011 werden im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde außergewöhnlich große und bisher im Bereich der Bestandshalde nicht beobachtete horizontale und vertikale Verschiebungen des Böschungsfußes und des Haldenvorfeldes gemessen. K+S hat die Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH beauftragt, die Ursachen für die in diesem Bereich im Vergleich zur Bestandshalde hinsichtlich Betrag und Geschwindigkeit auffälligen Verformungen festzustellen. Auftragsgemäß wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- Ursachenforschung mit Erkundung der geotechnischen Verhältnisse und Eigenschaften des Baugrunds sowie die Bewertung der Verformungsprozesse
- Numerische Untersuchungen zu den gemessenen Verformungen und den Verformungsmechanismen/-ursachen am Böschungsfuß und im Haldenvorfeld

Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen zu den gemessenen Verformungen und den Verformungsmechanismen/-ursachen sind in unserem Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1657/01 dokumentiert [U8.5].

Die Schüttung der Rückstandshalde im Bereich der Südwestflanke erfolgte in den Jahren 2009 bis 2015. Die Haldenhöhe beträgt ca. 170 m. Die Zusammensetzung des Rückstandssalzes sowie die Schütttechnik im Bereich der Südwestflanke sind gleich zu den anderen Bereichen der Rückstandshalde Hattorf. Die Schüttung erfolgte gegen leicht ansteigendes Gelände. Die Höhenlinien der Geländeoberfläche verlaufen annähernd parallel zum fortschreitenden Böschungsfuß.

Die Entwässerungssituation vor und unterhalb der betreffenden Haldenböschung wird von K+S als ungünstig beurteilt, so dass der Bereich der Südwestflanke für den Standort Hattorf eine Sondersituation darstellt.

Zur Ursachenforschung zu den gemessenen Verformungen und den Verformungsmechanismen/-ursachen am Böschungsfuß und im Haldenvorfeld im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf wurden vom Juli 2016 bis Juni 2017 ergänzende Baugrunduntersuchungen im Feld und im Labor durchgeführt und durch die Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Kat-

zenbach GmbH fachtechnisch begleitet. Der Bereich für die ergänzenden Baugrunderkundungsmaßnahmen ist in Bild 1 dargestellt (gestrichelter Pfeil).

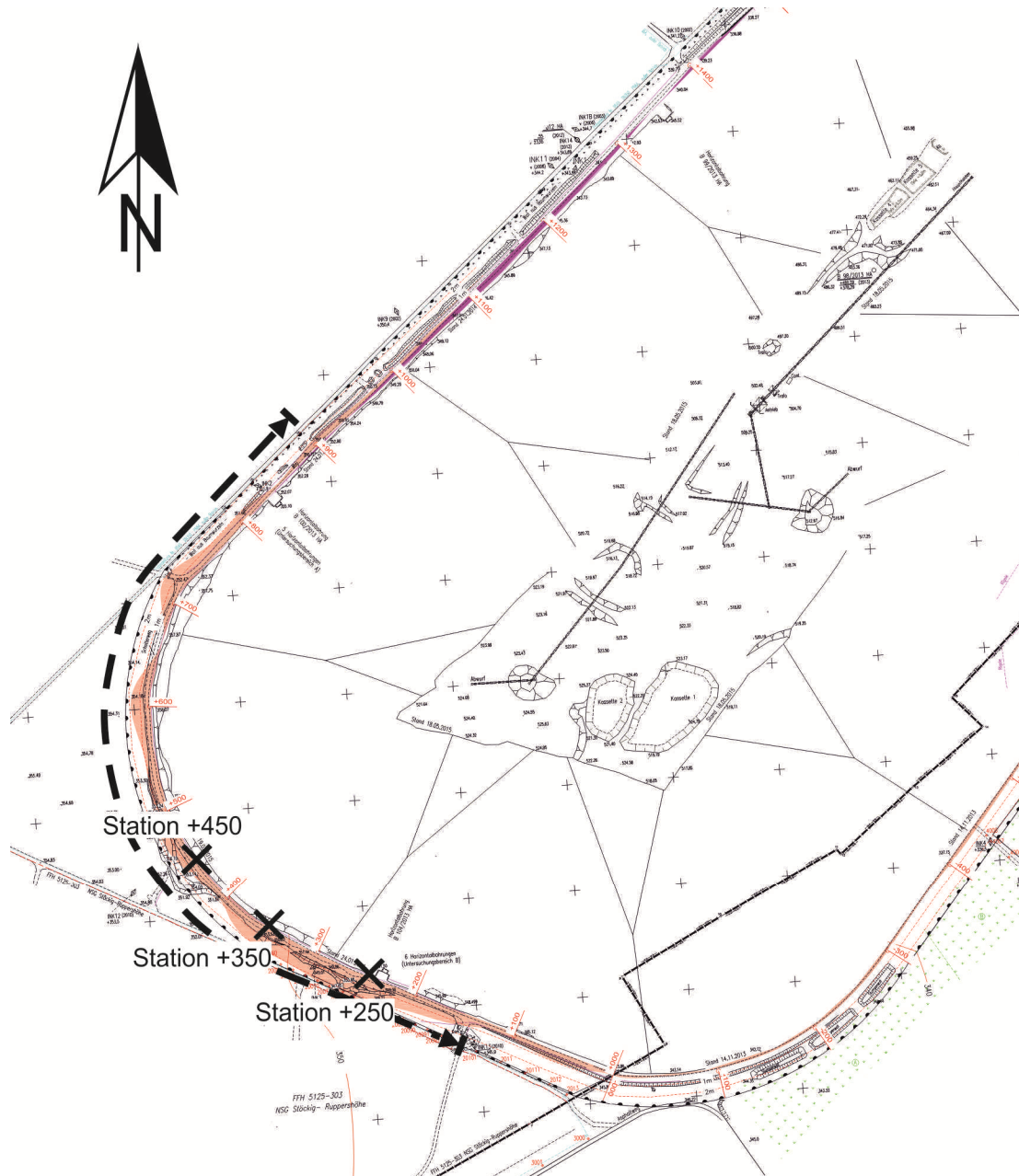


Bild 1: Lageplan Erkundungsbereich

Die Ergebnisse der ergänzenden Baugrunderkundungsmaßnahmen sind im gegenständlichen Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1655/01 dokumentiert. Das gegenständliche Sachverständigen-Gutachten dient als Grundlage für die numerischen Untersuchungen, die in unserem Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1657/01 [U8.5] dokumentiert sind.

2 Unterlagen

- [U1] K+S KALI GmbH, Werk Werra:
1. E-Mail zu den Ergebnissen der Inklinometermessungen vom 26.05.2014
 2. E-Mail mit Messdaten zur Südwestflanke vom 23.11.2015
 3. E-Mail zu den Baugrundverhältnissen auf der Ruppertshöhe vom 05.01.2016
 4. E-Mail mit Profil des Berechnungsschnittes 1 vom 19.01.2016
 5. Quartalsbericht IV/2015 vom 04.03.2016
 6. Sonderbetriebsplan HA-04/16 zur geotechnischen Untersuchung des Untergrundes im westlichen und südwestlichen Randbereich (Inklinometermessstellen INK 22/2016 HA bis INK 27/2016 HA) vom 03.05.2016
 7. Quartalsbericht I/2016 vom 25.05.2016
 8. Quartalsbericht II/2016 vom 16.08.2016
 9. Übersichtsplan mit Lage der Inklinometer im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf vom 21.09.2016
 10. Höhenprofile 1 bis 7 zu den zusätzlichen Baugrundaufschlüssen im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf vom 18.10.2016
 11. Quartalsbericht III/2016 vom 21.12.2016
 12. Quartalsbericht IV/2016 vom 21.03.2017
 13. Jahresbericht 2016 vom 24.03.2017
 14. Quartalsbericht I/2017 vom 01.06.2017
 15. Messdatenzusammenstellung zum zeitlichen Verlauf der horizontalen Verschiebungsraten an den Stationen +250, +350 und +450 vom Januar 2017
- [U2] Das Baugrund Institut Dipl.-Ing. Knierim GmbH, Kassel:
1. Geotechnisches Gutachten Halde Hattorf Erweiterung der ESTA Rückstandshalde vom 13.02.2013
 2. Gutachterliche Stellungnahme, Halde Hattorf, Erweiterung der ESTA Rückstandshalde, ergänzende Untersuchungen zur Lage der Felsoberfläche vom 14.03.2013
- [U3] Nöhrling & Preißler Brunnenbau- und Bohr- GmbH, Dünwald:
1. Tagesbericht zur Aufschlussbohrung INK22/2016 HA vom 29.08.2016
 2. Tagesbericht zur Aufschlussbohrung INK24/2016 HA vom 05.09.2016
 3. Tagesbericht zur Aufschlussbohrung INK25/2016 HA vom 05.09.2016
 4. Tagesbericht zur Aufschlussbohrung INK26/2016 HA vom 23.09.2016
 5. Tagesbericht zur Aufschlussbohrung INK23/2016 HA vom 14.09.2016
 6. Tagesbericht zur Aufschlussbohrung INK27/2016 HA vom 22.09.2016

- [U4] BLM Gesellschaft für Bohrlochmessungen mbH, Gommern:
1. Bericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Inklinometerbohrung INK 25/2016 HA vom 14.12.2016
 2. Bericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Inklinometerbohrung INK 23/2016 HA vom 19.05.2017
 3. Bericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Inklinometerbohrung INK 24A/2016 HA vom 19.05.2017
 4. Bericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Inklinometerbohrung INK 26/2016 HA vom 30.05.2017
 5. Bericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Inklinometerbohrung INK 27/2016 HA vom 31.05.2017
 6. Bericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Inklinometerbohrung INK 22/2016 HA vom 06.06.2017
- [U5] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden:
Gutachten über die Erweiterung der Rückstandshalde des Kaliwerkes
Hattorf, Philippsthal (Werra), Kreis Hersfeld-Rotenburg vom 13.09.1977
- [U6] Bergaufsicht des Landes Hessen, Regierungspräsidium Kassel, Bad Hersfeld:
Zulassung zum Sonderbetriebsplan HA-04/16 (Az. 34/Hef-76 d 40-11-314-21/340)
vom 15.06.2016
- [U7] Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach, Institutsdirektor, Vereidigter Sachverständiger,
Darmstadt:
1. Sachverständigengutachten zur Langzeitstabilität von Salzhalden auf söhlig gelagertem Buntsandstein vom 18.01.1996
 2. Prüfbericht VA96022-01 „Langzeitstabilität Salzhalde Hattorf“ vom 12.02.1998
 3. Prüfbericht VA96022-02 „Langzeitstabilität Salzhalde Hattorf“ vom 26.03.1998
 4. Prüfbericht VA97044-01 „Grundsatzstudie zur Langzeitstabilität von Salzhalden“ vom 24.08.1998
 5. Sachverständigengutachten zur Langzeitstabilität der Halde Hattorf unter Berücksichtigung der geplanten Haldenerweiterung (K96012) vom 20.08.1998
 6. Sachverständigen-Gutachten zu den Grundbruch- und Böschungsbruchberechnungen im Bereich der Erdgasleitung (IK0192) vom 09.11.2001
 7. Sachverständigen-Gutachten Nr. IK0262/01 „Grundsatzstudie zur Langzeitstabilität von Salzhalden auf Fels und Lockergestein“ vom 30.04.2003
 8. Sachverständigen-Gutachten Nr. IK0231/01 zur Kalibrierung der Stoffparameter anhand der vorliegenden Verformungsmessungen am Inklinometer 1 für den Haldenquerschnitt, Entwurf vom 25.06.2013

- [U8] Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, Darmstadt:
1. Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1156/01 zur Beurteilung der aktuellen Standsicherheit der Haldenflanke respektive des Untergrundes im Haldenvorfeld auf der Basis der durchgeführten messtechnischen Überwachung sowie der bisher im Rahmen von Haldenbegutachtungen angefertigten Sachverständigen-Gutachten vom 02.08.2012
 2. Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1311/01 zu den Kernbohrungen des Festgesteins für die geplante Haldenerweiterung vom 28.05.2014
 3. Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1713/01 zu den numerischen Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die geplante Haldenerweiterung vom 10.02.2017
 4. Stellungnahme Nr- IK1657/01 zu den Untersuchungen zu den Verformungsmechanismen/-ursachen am Böschungsfuß und im Haldenvorfeld im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf unter Berücksichtigung der vorliegenden Verformungsmessungen vom 06.02.2017
 5. 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 vom 23.06.2017

3 Geotechnische Untersuchungen

3.1 Untersuchungskonzept

Basierend auf den Ergebnissen der bisherigen Baugrunduntersuchungen [U1.3], [U2], [U5], [U7.2] bis [U7.4], [U7.8] und [U8.2], dem digitalen Geländemodell sowie den bis Mitte 2016 zur Verfügung stehenden Ergebnissen der messtechnischen Überwachung wurde in Zusammenarbeit mit K+S für den Bereich der Südwestflanke der Rückstandshalde Hattorf ein Konzept zu den ergänzenden geotechnischen Untersuchungen erstellt. Das Untersuchungskonzept wurde mit dem Sonderbetriebsplan [U1.6] bei der Bergaufsicht des Landes Hessen eingereicht und mit [U6] zugelassen.

Im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf sollten gemäß [U1.6] die Baugrundverhältnisse im Haldenrand und im Haldenvorland an fünf repräsentativen Untersuchungsprofilen erkundet werden. Insbesondere sollten die Baugrundsichtung sowie durch Laborversuche die boden- bzw. felsmechanischen Parameter verifiziert werden. Darüber hinaus war

zu klären, ob eine vermutete großflächige Vernässung der Lockergesteinszone, die an der Geländeoberfläche (GOF) ansteht, tatsächlich vorhanden ist.

Der Baugrund sollte mit Schürfen am Haldenfuß und mit Kernbohrungen aufgeschlossen werden. In den Kernbohrungen waren jeweils geophysikalische Untersuchungen und eine Kamerabefahrung vorgesehen. Danach sollten die Kernbohrungen zu Inklinometern (INK) ausgebaut werden.

Das bestehende Monitoringprogramm zur messtechnischen Überwachung im Sinne der Beobachtungsmethode sollte durch Permanentmessstationen ergänzt werden.

3.2 Ausgeführte Untersuchungen

Die Baugrundaufschlüsse, bestehend aus Schürfen und Kernbohrungen, wurden im Zeitraum von Juli 2016 bis September 2016 ausgeführt. Die erforderlichen Laborversuche wurden im Zeitraum von Juli 2016 bis Juni 2017 ausgeführt.

Ausgeführt wurden folgende Aufschlüsse:

- 11 Schürfe bis in eine max. Tiefe von 3,6 m unter GOF
- 6 Kernbohrungen bis in eine Tiefe von 25 m unter GOF

Die Schürfarbeiten wurden am Haldenrand bzw. im Haldenvorland mittels Bagger durch ein von K+S bestelltes Bauunternehmen ausgeführt und durch uns fachtechnisch betreut. Für die Schürfe am Haldenrand wurden zum Teil rd. 2 m bis 3 m lange und rd. 2 m bis 3 m tiefe Einschnitte in die Rückstandshalde zur Freilegung der Aufstandsfläche (ursprüngliche GOF) erstellt. Die Erkundungstiefe der Schürfe wurde durch das Antreffen fester, gering geklüfteter Gesteinsschichten im Buntsandstein bzw. durch die Tiefenreichweite des Baggers begrenzt. Folgende Schürfe wurden ausgeführt:

- TP133/2016 HA bis in 0,75 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP134/2016 HA bis in 3,60 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP135/2016 HA bis in 1,50 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP136A/2016 HA bis in 2,10 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP136B/2016 HA bis in 3,80 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP137/2016 HA bis in 0,20 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP138/2016 HA bis in 2,20 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP139/2016 HA bis in 1,20 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP140/2016 HA bis in 2,00 m Tiefe unter Geländeoberfläche

- TP141/2016 HA bis in 1,20 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- TP142/2016 HA bis in 1,75 m Tiefe unter Geländeoberfläche

In den ausgeführten Schürfen wurden die Baugrundverhältnisse in-situ nach DIN EN 1997-2, DIN 4020 und DIN EN ISO 14688 bzw. DIN EN ISO 14689 angesprochen und durch Fotos dokumentiert. Aus den Schürfen wurden nach DIN EN ISO 22475 Bodenproben der Güteklasse 1 sowie 3 entnommen.

Die Bohrdocumentation zu den Inklinometern INK22/2016 HA bis INK27/2016 HA liegt mit [U3] vor. In den 6 Inklinometerbohrungen wurden u. a. jeweils ein Bohrlochscan und eine Kamerabefahrung vorgenommen. Die Ergebnisse der gesamten geophysikalischen Untersuchungen in den Bohrungen sind in [U4] dokumentiert. Anschließend wurden die Kernbohrungen zu Inklinometermessstellen ausgebaut. Die gewonnenen Bohrkern der Inklinometermessstellen wurden an der TU Darmstadt nach DIN EN 1997-2, DIN 4020 und DIN EN ISO 14688 bzw. DIN EN ISO 14689 angesprochen und durch Fotos dokumentiert. Aus den Bohrkernen wurden nach DIN EN ISO 22475 Boden- und Felsproben der Güteklasse 1 sowie 3 entnommen. Die Kernkisten werden im Kernlager der K+S KALI GmbH eingelagert. Folgende Kernbohrungen wurden ausgeführt:

- INK22/2016 HA bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- INK23/2016 HA bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- INK24/2016 HA bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- INK25/2016 HA bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- INK26/2016 HA bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche
- INK27/2016 HA bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche

Die aus den Schürfen (TP) und Kernbohrungen (INK) entnommen Bodenproben wurden im boden-/felsmechanischen Labor des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt (TU Darmstadt) untersucht. Über die Tiefe verteilt wurde in m-Abständen in allen Schürfen und an allen Bohrkernen die undrainierte Scherfestigkeit c_u bindiger Schichtbereiche mittels Taschenpenetrometer bestimmt. Im Labor wurden insgesamt folgende boden- und felsmechanischen Versuche durchgeführt:

- 78 x Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN 18121-1
- 42 x Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN 18122-1
- 45 x Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Siebung und Sedimentation nach DIN 18123
- 17 x Bestimmung des Verformungsverhaltens im eindimensionalen Kompressionsversuch nach DIN 18135 (Ödometerversuch)

- 27 x Bestimmung der Scherfestigkeit im Rahmenschergerät nach DIN 18137
- 22 x Einaxialer Druckversuch nach DIN 18136

Die Lage der Baugrundaufschlüsse ist in den Anlagen 1 und 2 dargestellt.

3.3 Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen für die Schürfe sind in den Anlagen 3 bis 13 dokumentiert. Die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen für die Bohrkerne der Inklinometerbohrungen sind in den Anlagen 14 bis 19 dokumentiert. Eine tabellarische Zusammenfassung aller boden- und felsmechanischen Ergebnisse der Laborversuche ist in Anlage 20 enthalten. Zur besseren Darstellung der Erkundungsergebnisse sind in Anlage 2 Schnitte durch den Böschungsfuß der Halde und den Nahbereich dazu enthalten.

Im Bereich der Südwestflanke stehen an der Geländeoberfläche (GOF), teils unter geringmächtigem Oberboden, quartäre Lockergesteine aus Hanglehm und Hangschutt mit einer Gesamtschichtdicke von bis 3,1 m an. Unter der quartären Lockergesteinszone folgt die Zersatz- und Verwitterungszone des Mittleren Buntsandsteins. Der Mittlere Buntsandstein besteht aus Sandstein mit Ton-/Schluffsteinlagen bzw. aus Wechsellagerungen aus Sandstein und Ton-/Schluffstein. In den Inklinometerbohrungen wurden im Festgestein ab 4,0 m bis 13,6 m unter GOF Schichtwasserführungen mit räumlich unterschiedlicher, mit der Tiefe zunehmender Intensität festgestellt. Nach Beendigung der Bohrarbeiten lagen die Wasserstände in den Bohrungen zum Teil deutlich über dem Niveau des schwebenden Grundwasserleiters.

Zusammenfassend ist die Baugrundsichtung von der GOF nach unten wie folgt gegliedert:

- Oberboden (lokal)
 - Hanglehm/Decklehm/Lößlehm
 - Hangschutt
 - Zersatz- und Verwitterungszone des Buntsandsteins
 - angewitterter bis unverwitterter Buntsandstein
- } Lockergesteinszone

Die Ergebnisse der boden- und felsmechanischen Laborversuche sind in den Tabellen 1 bis 6 und in den Anlagen 2 bis 20 aufgeführt.

Aufschluss-Nr.	Labor-Nr.	Entnahmetiefe unter GOF [m]	Wassergehalt [%]
TP133/2016-HA	160249	0,15-0,30	19,49
	160250	0,20-0,30	22,83
	160254	0,80-0,90	12,82
TP134/2016-HA	160255	0,35	9,49
	160256	0,75	18,11
	160257	0,75	15,37
	160260	1,15-1,25	17,11
	160262	2,70	18,61
	160263	3,10-3,40	11,02
TP135/2016-HA	160264	0,20-0,30	12,43
	160267	0,20-0,30	11,97
TP136/2016-HA	160268	0,30-0,40	14,52
	160269	0,60	16,84
	160270	0,60-0,70	16,39
	160273	0,65-0,75	19,72
	160274	1,60-1,90	13,29
TP137/2016-HA	160275	0,10-0,20	12,39
	160278	0,10-0,20	12,47
TP138/2016-HA	160282	0,5	22,75
	160283	0,60-0,80	21,94
	160284	1,20-1,30	13,52
	160287	1,30-1,50	13,73
	160289	1,70-1,90	9,23
TP139/2016-HA	160290	0,30-0,40	17,23
	160291	0,30-0,40	15,14
	160293	0,50-0,60	20,55
	160295	0,50-0,60	15,39
	160296	1,00-1,20	7,38
TP140/2016-HA	160297	0,35-0,45	20,78
	160300	1,00-1,20	10,93
	160301	1,60-1,70	14,40
	160302	1,90-2,00	6,57
TP141/2016-HA	160303	0,20-0,30	21,10
	160306	0,60	18,60
	160307	0,60-0,70	18,16
TP142/2016-HA	160310	0,10-0,20	10,15

	160314	0,10-0,20	14,53
	160315	0,30-0,60	13,09
	160316	0,80-0,90	9,71
	160317	1,35-1,45	12,84
	160318	1,75-1,85	10,02
INK22/2016-HA	160541	2,75-3,00	17,89
	160542	3,00-3,15	17,70
	160543	4,85-5,00	14,89 ^{*)}
INK23/2016-HA	160545	1,60-2,00	21,63
	160546	4,25-4,40	17,21
	160547	5,60-5,75	14,22 ^{*)}
	160548	11,20-11,40	8,39 ^{*)}
	160549	14,15-14,40	7,16 ^{*)}
	160550	18,20-18,60	4,85 ^{*)}
	160551	22,50-23,00	6,30 ^{*)}
INK24/2016-HA	160552	0,15-0,40	14,94
	160553	7,90-7,95	21,56
	160554	11,70-11,72	19,26
	160556	12,00-13,00	9,21 ^{*)}
INK25/2016-HA	160557	0,10-0,40	14,05
	160558	7,26-7,44	6,71 ^{*)}
	160559	7,44-7,65	6,59 ^{*)}
	160560	11,90-12,00	10,30 ^{*)}
	160561	12,00-12,40	7,99 ^{*)}
INK26/2016-HA	160562	3,80-3,90	21,28
	160563	7,70-7,80	15,75
	160564	8,00-8,50	9,92 ^{*)}
	160565	12,35-12,60	8,17 ^{*)}
	160566	18,80-19,00	4,40 ^{*)}
	160567	22,45-22,65	5,58 ^{*)}
	160568	23,65-23,70	25,42
INK27/2016-HA	160569	0,15-0,25	8,66
	160570	0,45-0,55	15,67
	160571	1,30-1,40	14,75
	160572	4,20-4,60	10,74 ^{*)}
	160573	4,40-4,60	11,79 ^{*)}
	160574	4,73-5,00	10,39
	160576	8,80-9,00	5,82 ^{*)}

	160577	10,75-11,00	7,41 ^{*)}
	160579	15,75-16,00	7,72 ^{*)}
	160580	19,45-19,80	6,08 ^{*)}
	160582	23,20-23,43	5,62 ^{*)}

^{*)} Wassergehalt aus Bestimmung der Einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136

Tabelle 1: Wassergehalt

Aufschluss-Nr.	Labor-Nr.	Entnahmetiefe unter GOF [m]	Fließgrenze w_L [%]	Ausrollgrenze w_P [%]	Plastizitätszahl I_P [%]	Konsistenzzahl I_C
TP133/2016-HA	160249	0,15-0,30	30,49	16,20	14,30	0,77
	160254	0,80-0,90	31,59	14,56	17,03	0,82
TP134/2016-HA	160255	0,35	21,81	18,93	2,88	3,96
	160256	0,75	40,34	19,23	21,11	1,05
	160260	1,15-1,25	33,36	17,57	15,80	0,91
	160262	2,70	34,61	20,00	14,61	1,10
	160263	3,10-3,40	25,40	22,51	2,89	4,62
TP135/2016-HA	160267	0,20-0,30	17,83	12,92	4,91	0,78
TP136/2016-HA	160268	0,30-0,40	29,96	18,03	11,93	1,18
	160269	0,60	38,87	18,70	20,17	1,09
	160273	0,65-0,75	42,41	20,16	22,24	1,02
	160274	1,60-1,90	21,79	16,70	5,08	1,67
TP137/2016-HA	160278	0,10-0,20	25,31	15,72	9,59	1,12
TP138/2016-HA	160282	0,5	40,32	18,76	21,55	0,82
	160283	0,60-0,80	40,23	16,04	24,19	0,76
	160287	1,30-1,50	25,61	21,59	4,01	2,96
TP139/2016-HA	160291	0,30-0,40	21,42	15,81	5,61	1,12
	160295	0,50-0,60	32,40	15,25	17,15	0,86
TP140/2016-HA	160297	0,35-0,45	47,27	19,15	28,13	0,91
	160300	1,00-1,20	17,42	16,86	0,56	11,49
	160301	1,60-1,70	37,48	14,61	22,87	0,98
TP141/2016-HA	160304	0,20-0,30	43,15	18,58	24,58	0,86
	160306	0,60	32,16	13,06	19,10	0,71
	160308	0,60-0,70	29,77	14,92	14,84	n.b.
TP142/2016-HA	160310	0,10-0,20	15,78	14,52	1,25	3,47
	160314	0,10-0,20	23,91	11,69	12,22	0,77

	160315	0,30-0,60	28,06	13,72	14,34	1,04
	160317	1,35-1,45	34,63	20,97	13,66	1,60
	160318	1,75-1,85	26,55	18,62	7,93	2,08
INK23/2016-HA	160545	1,60-2,00	33,22	16,18	17,04	0,55
	160546	4,25-4,40	26,01	13,29	12,73	0,19
INK24/2016-HA	160552	0,15-0,40	31,69	17,01	14,68	0,96
	160553	7,90-7,95	35,71	19,35	16,36	0,86
	160554	11,70-11,72	31,76	15,10	16,65	0,75
INK25/2016-HA	160557	0,10-0,40	30,15	14,74	15,41	0,95
INK26/2016-HA	160562	3,80-3,90	32,38	18,11	14,28	0,77
	160563	7,70-7,80	36,98	20,37	16,61	1,25
	160568	23,65-23,70	43,81	17,84	25,97	0,70
INK27/2016-HA	160569	0,15-0,25	20,38	16,97	3,40	2,75
	160570	0,45-0,55	23,42	19,16	4,27	1,60
	160571	1,30-1,40	32,39	16,52	15,87	1,10
	160574	4,73-5,00	31,75	17,59	14,16	1,48

Tabelle 2: Zustandsgrenzen

Aufschluss-Nr.	Labor-Nr.	Entnahmetiefe unter GOF [m]	Feuchtdichte [g/cm³]	Trockendichte [g/cm³]
TP133/2016-HA	160250	0,20-0,30	2,00	1,49
TP134/2016-HA	160257	0,75-0,85	1,94	1,68
	160261	2,70-2,80	1,96 ^{*)}	1,67 ^{*)}
TP135/2016-HA	160264	0,20-0,30	2,09	1,71
TP136/2016-HA	160270	0,60-0,70	2,03	1,74
TP137/2016-HA	160275	0,10-0,20	2,13	1,85
TP138/2016-HA	160279	0,50-0,60	1,94	1,62
	160284	1,20-1,30	1,94	1,68
	160288	1,35-1,45	1,94 ^{*)}	1,70 ^{*)}
TP139/2016-HA	160290	0,30-0,40	2,17	1,77
	160293	0,50-0,60	2,05	1,59
TP140/2016-HA	160298	0,35-0,45	1,84 ^{*)}	1,53 ^{*)}
	160299	0,45-0,55	1,84 ^{*)}	1,52 ^{*)}
TP141/2016-HA	160303	0,20-0,30	1,98	1,53
	160307	0,60-0,70	2,03	1,57

TP142/2016-HA	160310	0,10-0,20	2,16	1,83
	160312	0,10-0,20	1,99 ^{*)}	1,81 ^{*)}
INK22/2016-HA	160541	2,75-3,00	1,96	1,65
	160542	3,00-3,15	1,97	1,68
	160544	5,00-5,20	2,21 ^{*)}	1,97 ^{*)}
INK23/2016-HA	160545	1,60-2,00	2,01	1,65
	160653	5,27-5,60	2,12 ^{*)}	1,79 ^{*)}
INK24/2016-HA	160552	0,15-0,40	1,98 ^{*)}	1,72 ^{*)}
	160553	7,90-7,95	2,13 ^{*)}	1,75 ^{*)}
INK25/2016-HA	160557	0,10-0,40	1,86	1,62
INK26/2016-HA	160564	8,00-8,50	2,31 ^{*)}	2,10 ^{*)}
INK27/2016-HA	160569	1,30-1,40	2,21 ^{*)}	2,03 ^{*)}
	160570	4,73-5,00	2,25 ^{*)}	1,94 ^{*)}
	160571	7,35-7,40	2,16 ^{*)}	1,88 ^{*)}
	160574	13,45-13,50	2,02	1,81

^{*)} Dichte aus Rahmenscherversuch nach DIN 18137

Tabelle 3: Dichte

Die Bestimmung der Scherfestigkeit im Rahmenschersgerät nach DIN 18127 erfolgte an insgesamt 27 Proben über einen Lastbereich mit drei Laststufen (100/200/300 kN/m²).

Aufschluss-Nr.	Labor-Nr.	Entnahmetiefe unter GOF [m]	Bruchscherfestigkeit		Scherfestigkeit bei 10 mm Verschiebung	
			Reibungswinkel ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Reibungswinkel ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]
TP 133/2016 HA	160250	0,20-0,30	30,40	12,60	28,70	14,20
TP 134/2016 HA	160257	0,75-0,85	36,90	108,70	35,40	23,00
	160261	2,70-2,80	24,30	16,50	14,60	31,30
TP 135/2016 HA	160264	0,20-0,30	34,80	28,30	32,70	15,50
TP 137/2016 HA	160275	0,10-0,20	36,80	36,00	32,80	14,50
TP 138/2016 HA	160279	0,50-0,60	34,40	41,80	29,80	24,00
	160284	1,20-1,30	39,90	21,40	30,70	24,70
	160288	1,35-1,45	37,50	17,40	33,30	6,30
TP 139/2016 HA	160290	0,30-0,40	37,30	5,10	37,30	2,00

	160293	0,50-0,60	24,10	49,90	24,70	27,50
TP 140/2016 HA	160298	0,35-0,45	33,20	70,80	32,20	16,40
	160299	0,45-0,55	34,90	45,70	34,40	5,40
TP 141/2016 HA	160303	0,20-0,30	26,10	41,20	27,20	32,10
	160307	0,60-0,70	29,80	17,50	31,50	5,10
TP 142/2016 HA	160310	0,10-0,20	36,50	11,60	30,00	14,30
	160313	0,10-0,20	34,80	12,10	31,50	17,30
INK 22/2016 HA	160541	2,75-3,00	42,20	13,90	34,80	0,00
	160542	3,00-3,15	33,60	20,20	31,90	4,00
	160544	5,00-5,20	42,40	19,50	35,50	0,00
INK 23/2016 HA	160545	1,60-2,00	28,00	17,30	26,50	12,00
	160653	5,27-5,60	25,10	24,10	18,80	29,20
INK 24/2016 HA	160552	0,15-0,40	27,90	138,00	29,90	72,00
	160553	7,90-7,95	15,30	44,90	12,90	39,90
INK 26/2016 HA	160563	7,70-7,80	24,20	17,00	13,20	39,60
INK 27/2016 HA	160569	0,15-0,25	38,40	107,70	39,70	36,30
	160570	0,45-0,55	31,80	239,50	20,10	86,40
	160574	4,73-5,00	38,50	15,50	38,30	0,00

Tabelle 4: Scherfestigkeit

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Siebung und Sedimentation nach DIN 18123 erfolgte an insgesamt 42 Proben. Die für die untersuchten Bodenproben ermittelten Korngrößenverteilungen sind in den Anlagen 3 bis 19 dargestellt.

Die Bestimmung des Verformungsverhaltens im eindimensionalen Kompressionsversuch nach DIN 18135 (Ödometerversuch) erfolgte an insgesamt 17 Proben über insgesamt 6 Laststufen (50/100/200/400/800/1.600 kN/m²). Die Ergebnisse der Ödometerversuche sind in den Anlagen 3 bis 19 dargestellt. Die ermittelten Steifemoduli sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Aufschluss-Nr.	Labor-Nr.	Entnahmetiefe unter GOF [m]	max. Steifemodul E_s [MN/m ²]
TP 133/2016 HA	160250	0,20-0,30	24,2
TP 134/2016 HA	160257	0,75-0,85	27,7
TP 135/2016 HA	160264	0,20-0,30	45,1
TP 136/2016 HA	160270	0,60-0,70	29,7
TP 137/2016 HA	160275	0,10-0,20	62,6
TP 138/2016 HA	160279	0,50-0,60	24,7

	160284	1,20-1,30	42,1
TP 139/2016 HA	160290	0,30-0,40	45,5
	160293	0,50-0,60	25,3
TP 141/2016 HA	160303	0,20-0,30	24,1
	160307	0,60-0,70	25,8
TP 141/2016 HA	160310	0,10-0,20	48,9
INK 22/2016 HA	160541	2,75-3,00	84,9
	160542	3,00-3,15	114,3
INK 23/2016 HA	160545	1,60-2,00	30,6
INK 25/2016 HA	160557	0,10-0,40	26,9
INK 25/2016 HA	160574	4,73-5,00	28,8

Tabelle 5: Steifemoduli

Aus den Kernbohrungen wurden Felsproben für einaxiale Druckversuche gewonnen. Eine Übersicht über die Ergebnisse der durchgeführten einaxialen Druckversuche gibt Tabelle 6. Die Versuchsprotokolle sind in den Anlagen 14 bis 19 enthalten.

Aufschluss- Nr.	Labor-Nr.	Entnahmetiefe unter GOF [m]	E-Modul [MN/m ²]	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	Feuchtdichte [g/cm ³]	Trockendichte [g/cm ³]	Wassergehalt [%]
INK22/2016 HA	160543	4,85-5,00	1,96	0,10	2,22	1,92	14,89
INK23/2016 HA	160547	5,60-5,75	2,29	0,10	2,17	1,90	14,22
	160548	11,20-11,40	3020,65	20,90	2,32	2,14	8,39
	160549	14,15-14,40	607,59	7,80	2,38	2,22	7,16
	160550	18,20-18,60	1931,42	12,70	2,42	2,31	4,85
	160551	22,55-23,00	7241,32	30,30	2,39	2,25	6,30
INK24/2016 HA	160556	12,00-13,00	15,81	0,5	2,37	2,17	9,21
INK25/2016 HA	160558	7,26-7,44	138,37	3,00	2,41	2,26	6,71
	160559	7,44-7,65	2262,24	13,60	2,36	2,21	6,59
	160560	11,90-12,00	5,25	0,20	2,31	2,09	10,30
	160561	12,00-12,40	56,56	1,40	2,44	2,26	7,99
INK26/2016 HA	160564	8,00-8,50	2,86	0,10	2,31	2,10	9,92
	160565	12,35-12,60	8,88	0,30	2,36	2,18	8,17
	160566	18,80-19,00	931,77	11,9	2,46	2,36	4,40
	160567	22,45-22,65	2975,42	17,80	2,40	2,28	5,58
INK27/2016 HA	160572	4,20-4,40	4,96	0,10	2,32	2,10	10,74
	160573	4,40-4,60	3,58	0,1	2,27	2,03	11,79
	160576	8,80-9,00	2512,66	14,40	2,39	2,26	5,82
	160577	10,75-11,00	1414,29	11,60	2,32	2,16	7,41

	160579	15,75-16,00	2790,49	19,70	2,37	2,20	7,72
	160580	19,45-19,80	8759,31	31,60	2,38	2,24	6,08
	160582	23,20-23,43	3747,48	25,90	2,42	2,30	5,62

Tabelle 6: Einaxiale Druckfestigkeiten

Die E-Moduli wurden bei allen Versuchen für eine Sekante zwischen 40 % und 60 % der maximal aufgetragten Spannung, dies ist die Bruchspannung, ermittelt. Der Mittelwert des E-Moduls aller Versuche im Felsbereich des Buntsandsteins beträgt rd. 1.750 MN/m².

3.4 Ergebnisse der messtechnischen Überwachung

Die messtechnische Überwachung des Haldenvorlandes erfolgte bis 2010 durch geodätische Messungen sowie vereinzelt durch Inklinometer. 2011 erfolgte eine erste Vermessung der Halde mittels airborne-Laserscanning. Ab 2012 wurde das terrestrische Laserscanverfahren eingesetzt, zunächst als Testphase, ab 2014 mit Betriebsplanzulassung im Verformungsmonitoring der Halde. Die Ergebnisse der messtechnischen Überwachung sind in [U1.2], [U1.5], [U1.7], [U1.8] und [U1.11] bis [U1.15] dokumentiert. Die Ergebnisse der Inklinometermessungen sind in Anlage 2 enthalten.

Beispielhaft für die Entwicklung der Messwerte über die Zeit ist in Bild 2 für einige ausgewählte Stationen die horizontale Verschiebungsgeschwindigkeit im Bereich des Böschungsfußes dargestellt. Die Lage der Stationen kann Bild 1 entnommen werden. Demnach liegt das Maximum der Verschiebungsgeschwindigkeiten im Zeitraum 2014/2015, in dem die Restbeschüttung des südwestlichen Bereichs mit Konturausgleich am Haldentop erfolgte. Seit diesem Zeitraum haben die gemessenen horizontalen und vertikalen Verschiebungsgeschwindigkeiten eine fallende Tendenz.

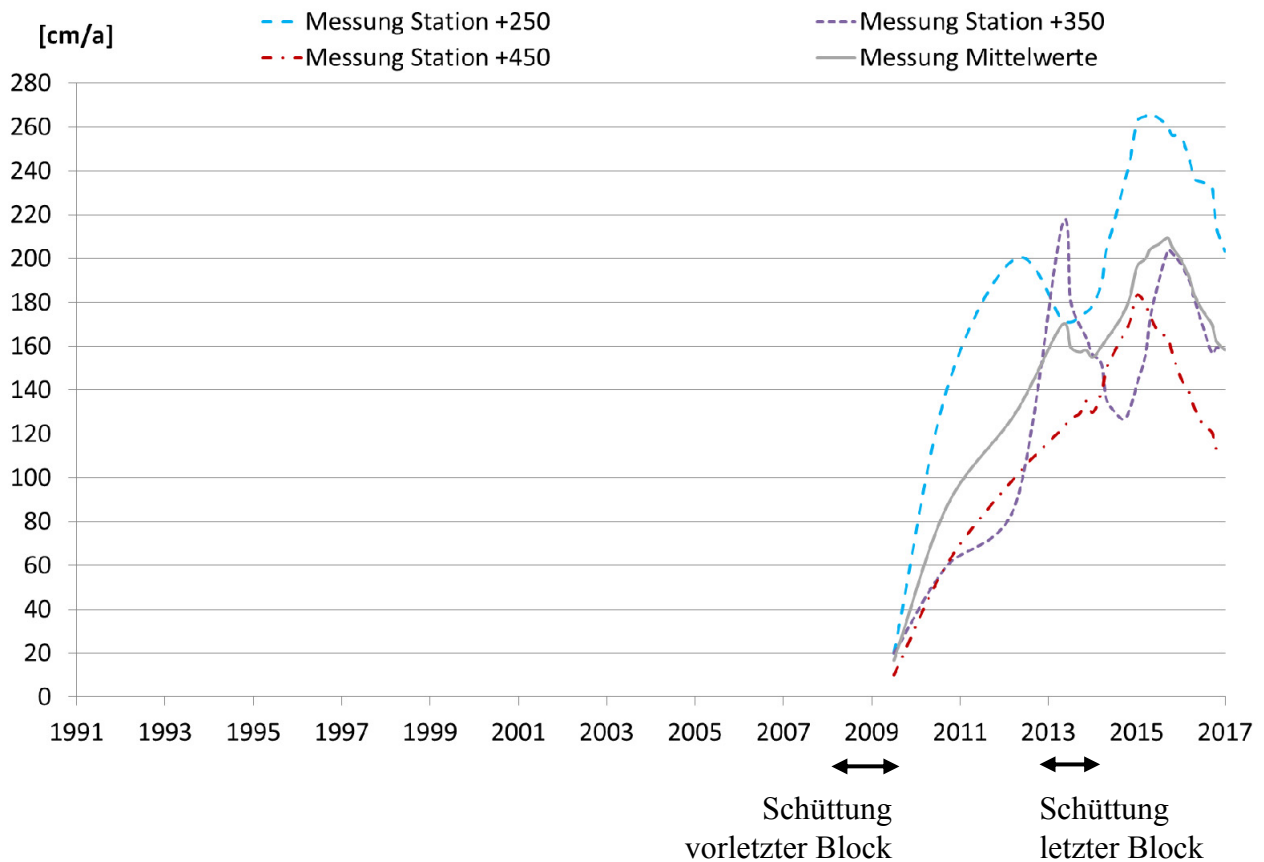


Bild 2: Entwicklung der Messwerte (horizontale Verschiebungsgeschwindigkeit v_h) im Bereich des Haldenfußes an der Südwestflanke

Im Bereich der Südwestflanke wurde die messtechnische Überwachung im Jahr 2016 deutlich erweitert. Dazu gehören insbesondere die 6 zusätzlichen Inklinometer sowie 4 Permanentmesspunkte (GNSS-Messpunkte). Die Permanentmesspunkte zeichnen ihre Lagedaten kontinuierlich auf. Diese Lagedaten können von K+S und uns jederzeit über eine Datenleitung abgerufen werden. Alle Messdaten werden von K+S in Quartalsberichten dokumentiert und von uns fachtechnisch bewertet.

Die Inklinometermessungen im Bereich der Südwestflanke zeigen in weiten Bereichen eine Blockverschiebung des Baugrunds infolge von Scherhorizonten. Die Scherhorizonte der neuen Inklinometermessstellen INK22/2016 HA bis INK24/2016 HA liegen in einer Tiefe von 4,0 m bis 8,0 m unter GOF. Die Messergebnisse zeigen eine Übereinstimmung der Verschiebungsraten am Inklinometerkopf und an den GNSS-Messpunkten. Die Überprüfung der Lagemessung an den Inklinometerköpfen und den bestimmten Verschiebungen der Inklinometer in der Tiefe zeigen, dass die Inklinometerfüße in Ruhe sind. Tiefliegende Bewegungen im gering verwitterten Festgestein des Mittleren Buntsandstein sind demnach nicht festzustellen. Der größte Verschiebungsan-

teil am Haldenfußbereich resultiert im Bereich der Südwestflanke aus den Blockverschiebungen des Baugrunds auf den Schwächezonen.

4 Bewertung der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen

Die durchgeführten bodenmechanischen Untersuchungen bestätigen in der Größenordnung die bisher in unseren Sachverständigen-Gutachten angesetzten Parameter. Abweichend hiervon lieferten die Laborergebnisse der Rahmenscherversuche für die Lockergesteinszone höhere Festigkeiten als sie in den bisherigen Sachverständigen-Gutachten angesetzt wurden. In Bild 3 sind die Scherfestigkeiten für die Lockergesteinszone bei 10 mm Verschiebung im Rahmenschergerät dargestellt.

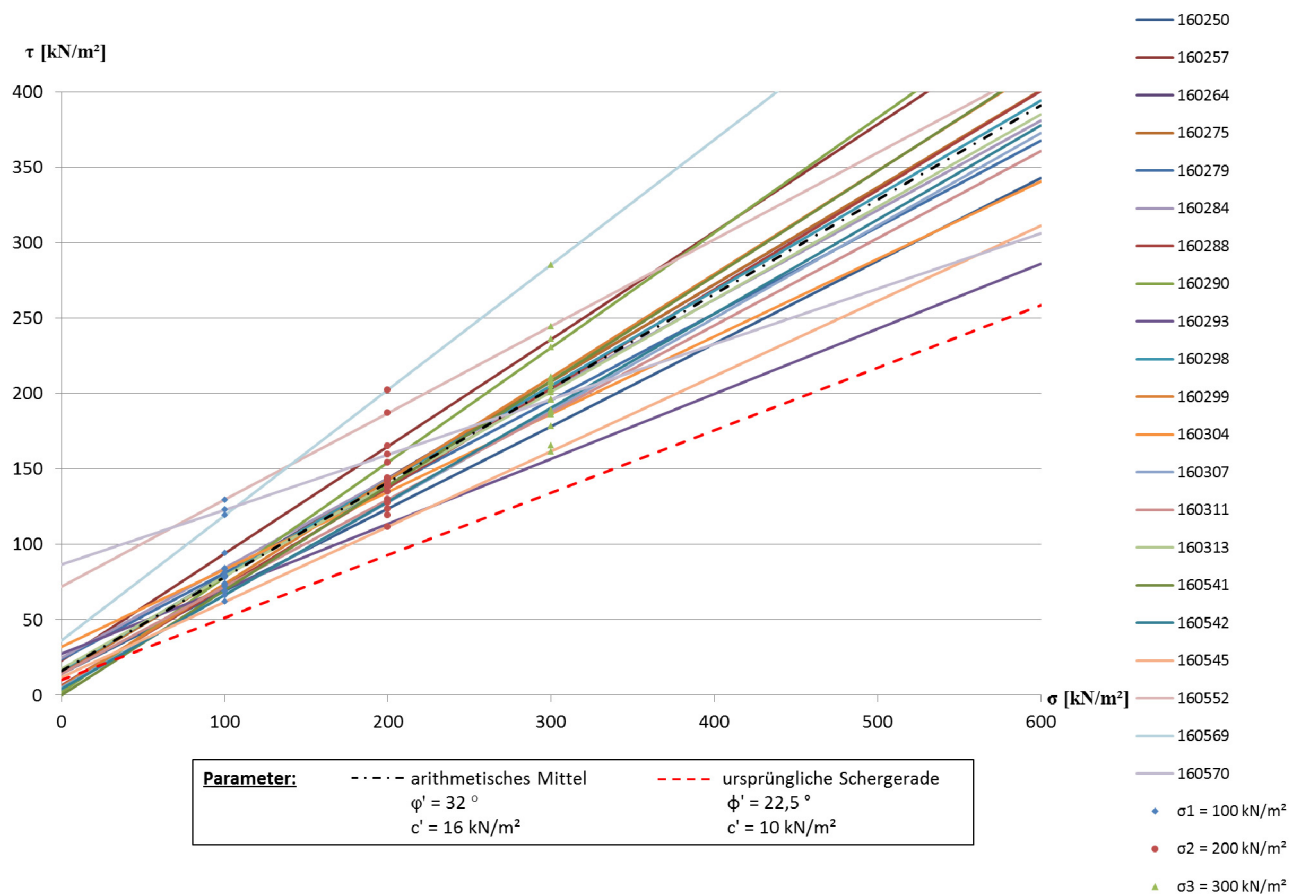


Bild 3: Scherfestigkeit für die Lockergesteinszone (bei 10 mm Verschiebung im Rahmenschergerät)

In den Bohrkernen der Inklinometermessstellen wurden im Verwitterungs- und Zersatzhorizont des Festgesteins in dünnen Lagen stark verwitterte bzw. zersetzte Ton-/Schluffsteine festgestellt, beprobt und auf ihre Scherfestigkeit untersucht. Einige Bodenproben entstammen Tiefenbereichen, in denen in den Inklinometermessstellen (z.B. INK 24) signifikante Verschiebungshorizonte (Schwächezonen) detektiert wurden. Die Laborergebnisse an diesen Bodenproben ergaben im ungünstigsten Fall einen Reibungswinkel von $\varphi_s' = 12,9^\circ$. In den bisherigen Sachverständigen-Gutachten wurden für Schwächezonen im Festgestein des Mittleren Buntsandsteins deutlich höhere Festigkeiten angesetzt (z.B. [U7.8]).

In Tiefen, in denen mit den Inklinometermessstellen Schwächezonen detektiert wurden, sind in den Bohrkernen auch verwitterte/zersetzte, stark durchnässte Gesteinsbereiche sowie deutliche Schichtwasserführungen vorhanden.

Die Vermutung, dass im Bereich des Böschungsfußes eine großflächige Vernässung der Lockergesteinszone ansteht, wurde nicht bestätigt.

Basierend auf den ausgeführten geotechnischen Untersuchungen zu den Baugrund- und Grundwasserverhältnissen sind für die numerischen Untersuchungen die Angaben in den Tabellen 7 und 8 zu beachten.

Tiefe unter Geländeoberfläche	Materialtyp
0 m – 3 m	I
3 m – 50 m	II
50 m – 400 m	III

Tabelle 7: Baugrundmodell der numerischen Untersuchungen

	Materialtyp I 0 – 3 m	Materialtyp II 3 – 50 m	Materialtyp III 50 – 400 m
Dichte ρ [kg/dm ³]	1,95	1,95	2,1
Reibungswinkel ϕ' [°]	22,5 ^{*)} - 32 ^{**))}	28	35
Kohäsion c' [kN/m ²]	10 ^{*)} - 16 ^{**))}	30	100
Elastizitätsmodul E [MN/m ²]	20	200	500
Querdehnzahl ν [-]	0,3	0,3	0,3
Kappenexzentrizität R [-]	0,02	0,02	0,02
Radius Übergangsbereich α [-]	0,001	0,001	0,001
Fließflächenformfaktor K [-]	0,78	0,78	0,78

^{*)} ursprüngliche Scherparameter

^{**))} Scherparameter der Laborversuche IK1655

Tabelle 8: Charakteristische Werte der boden- und felsmechanischen Parameter der Materialtypen I bis III

Die Schwächezonen sind in einer Tiefe von 6 m und 12 m unter GOF zu berücksichtigen. Der Reibungswinkel in den Schwächezonen soll zu Beginn der Berechnung $\delta_s = 22,5^\circ$ betragen. Eine Kohäsion ist auf den Kontaktflächen nicht anzusetzen.

5 Schlussbemerkung und Zusammenfassung

Zur Ermittlung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse im Bereich der Südwestflanke wurden im Jahr 2016 zusätzliche Aufschlüsse in Form von Schürfen und Kernbohrungen ausgeführt. In den Kernbohrungen wurden geophysikalische Messungen sowie Kamerabefahrungen vorgenommen. Anschließend wurden die Kernbohrungen zu Inklinometern ausgebaut. Aus den Schürfen und den Kernbohrungen wurden gestörte und ungestörte Boden- und Felsproben für Laborversuche entnommen.

Die zusätzlich durchgeführten Untersuchungen in der Lockergesteinszone und in den Festgesteinsschichten bestätigen im Grundsatz die bisherigen Kenntnisse über die lokalen Baugrundverhältnisse. Zu beachten sind die detektierten Schwächezonen, in deren Tiefenlage i.d.R. auch Schichtwasserführungen zu erkennen waren.

Die Ergebnisse der zusätzlichen Erkundungsmaßnahmen bilden die Grundlage zur Erstellung eines Baugrundmodells einschließlich der Festlegung der notwendigen boden- und felsmechani-

schen Parameter für die numerischen Untersuchungen zu den gemessenen Verformungen und den Verformungsmechanismen/-ursachen am Böschungsfuß und im Haldenvorfeld im Bereich der Südwestflanke der bestehenden Rückstandshalde Hattorf.

Im Rahmen der Beobachtungsmethode ist das geodätische und geotechnische Monitoringprogramm, bestehend aus Inklinometermessungen, Laserscans und Permanentmesspunkten fortzusetzen. Die Messergebnisse sind uns regelmäßig zur Bewertung vorzulegen. Änderungen im Monitoringprogramm sind mit uns abzustimmen.

Projektbearbeitung: Eva Teutsch M.Sc.

Projektleitung: Dipl.-Ing. Steffen Leppla

U. Katzenbach
 Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach
 Vereidigter Sachverständiger
 -Geschäftsführender Gesellschafter-

M. Seip
 Dipl.-Ing. Matthias Seip
 -Geschäftsführender Gesellschafter-

Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach
 Sachverständiger für
 Grund- und Felsbau,
 insbesondere Baugruben und
 Baugrundverformungen

Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach
 ERD-104
 nach § 23 HPPVO
 PRÜF-SACHVERSTÄNDIGER FÜR ERD- UND GRUNDBAU

Anlagen: siehe Anlagenverzeichnis

Verteiler:

- | | |
|---|-----------|
| - K+S KALI GmbH | 3 x Kopie |
| - K+S Aktiengesellschaft, Kassel | 1 x Kopie |
| - upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH | 1 x Kopie |
| - z.d.A. (IK1655, Se) | 2 x Kopie |