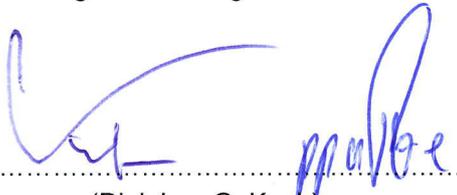


Antrag auf Planfeststellung
Hartsalzwerk Siegfried-Giesen
Planfeststellungsunterlage zum
Rahmenbetriebsplan

Unterlage I - Bearbeitungsgrundlagen
I-27 Geotechnisches Gutachten Rückstandshalde

Erstellung der Unterlage:



(Dipl. Ing. G. Knab)
Geschäftsführer



(H. Keller)
Sustainability



(Dr. J. Sehteing)
Mitarbeiter Geotechnics

(Dipl. Ing. K. Rose)
Projektleiter



IHU
Gesellschaft für Ingenieur-,
Hydro und Umweltgeologie mbH
Am Sportplatz 1
99734 Nordhausen

K+S KALI GmbH
Projektgruppe
Siegfried-Giesen
Kardinal-Bertram-Straße 1
31134 Hildesheim

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel

Aufgestellt:
Hildesheim, den 17.12.2014

Antragsteller / Vorhabensträger

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel/Deutschland



K+S Aktiengesellschaft

vertreten durch:

K+S KALI GmbH
Projektgruppe Siegfried-Giesen
Kardinal-Bertram-Straße 1
31134 Hildesheim

Hartsalzwerk Siegfried-Giesen

Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan



Unterlage I – Bearbeitungsgrundlagen

I-27 Geotechnisches Gutachten Rückstandshalde

Antragsteller/
Vorhabensträger:

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel/Deutschland



vertreten durch:
K+S Kali GmbH
Projektgruppe SG
Kardinal-Bertram-Straße 1
31134 Hildesheim

Erstellung der Unterlage:



ICL Ingenieur Consult
Dr.-Ing. A. Kolbmüller
GmbH
Diezmannstraße 5
04207 Leipzig



IHU Gesellschaft für
Ingenieur-, Hydro-
und Umweltgeologie
mbH
Am Sportplatz 1
99734 Nordhausen

Datum:

Hildesheim, den 11.02.2015

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Ausgangssituation	3
2.1	Veranlassung	3
2.2	Bauvorhaben.....	3
3	Standortverhältnisse	5
3.1	Morphologie/Bebauung und Bewuchs	5
3.2	Geologie/Hydrogeologie	6
3.2.1	Regionalgeologischer Überblick	6
3.2.2	Geologische und hydrogeologische Standortsituation	7
3.3	Hydrologische Verhältnisse	7
3.4	Klimatische Verhältnisse.....	8
3.5	Örtliche Besonderheiten	8
4	Baugrunduntersuchungen	9
4.1	Felduntersuchungen	9
4.2	Laboruntersuchungen	12
5	Baugrundverhältnisse	13
5.1	Baugrundsichtung	13
5.2	Klassifizierungen und Eigenschaften.....	15
5.3	Ableitung Baugrundmodell.....	22
5.3.1	Geometrische Abgrenzung	22
5.3.2	Materialparameter.....	26
6	Grundwasserverhältnisse	28
7	Subrosion	30
7.1	Allgemeines	30
7.2	Verhältnisse im Haldenuntergrund	30
7.2.1	Luftbildauswertung.....	30
7.2.2	Auswertung und Interpretation der Bohrergergebnisse	30
7.3	Gefährdungseinschätzung für den Standort.....	31
8	Gründungstechnische Schlussfolgerungen und Empfehlungen ...	33
8.1	Rückstandshalde	33
8.2	Infrastrukturmaßnahmen.....	38
9	Literaturverzeichnis	42

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Baugrundaufschlüsse im Bereich des Haldenstandortes und in dessen Umfeld	10
Tab. 2: Bodenmechanische Laboruntersuchungen	12
Tab. 3: Statistische Auswertung der Scherversuche	19
Tab. 4: Statistische Auswertung der Ödometerversuche bezogen auf den Haldenstandort	20
Tab. 5: Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit.....	21
Tab. 6: Klassifizierung der Baugrundsichten nach DIN 18 196 und 18 300	22
Tab. 7: Charakteristische Kennwerte für die Modellschichten	26
Tab. 8: Wasseranschnitte während der Bohrarbeiten.....	28
Tab. 9: Wasserstände in den GWM.....	29
Tab. 10: Prognostizierte Setzungen des Haldenuntergrundes	36
Tab. 11: Bemessungswert $\sigma_{R,D}$ des Sohlwiderstandes für Rechteckfundamente	40
Tab. 12: Bemessungswert $\sigma_{R,D}$ des Sohlwiderstandes für quadratische Einzelfundamente.....	40

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Naturräumliche Gliederung des Untersuchungsgebietes (NLWKN, 2013)	5
Abb. 2: Lage der Baugrundaufschlüsse (Detail aus Anlage 2.1)	10
Abb. 3: Kornverteilungen des Lehms (oberflächennahe feinkörnige Sedimente).....	15
Abb. 4: Kornverteilung der in der Regel feinkörnigen Sedimente	15
Abb. 5: Kornverteilungskurven der gemischtkörnigen Sedimente	16
Abb. 6: Kornband für entfestigtes bis zersetztes, veränderlich festes Gestein	16
Abb. 7: Scherparameter für Lockergestein	18
Abb. 8: Scherparameter für veränderlich festes Gestein	18
Abb. 9: Teufenbezogene Darstellung der k_f -Werte von Proben der KB 1 bis KB 8	21
Abb. 10: Haldenuntergrund nach geologischer und geomechanischer Interpretation	23
Abb. 11: Schematischer geologischer Schnitt (Schnittspur gemäß Abb. 10)	23
Abb. 12: Schematisches Schnittmodell B - B'	24
Abb. 13: Berechnungsvariante 1	25
Abb. 14: Berechnungsvariante 2	25
Abb. 15: Berechnungsvariante 2	26
Abb. 16: Berechnungsmodell 1	34
Abb. 17: Berechnungsmodell 2	35
Abb. 18: Berechnungsmodell 3	35

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Übersichtskarten

- Anlage 1.1 Übersichtskarte (M 1 : 25.000)
- Anlage 1.2 Geologische Übersichtskarte (M 1 : 25.000)
 - Blatt 1 Geologische Übersichtskarte
 - Blatt 2 Legende GK 25 (Blatt 3725 Sarstedt)
 - Blatt 3 Legende GK 25 (Blatt 3825 Hildesheim)

Anlage 2 Erkundungsarbeiten

- Anlage 2.1 Aufschlussplan (M 1 : 5.000)
- Anlage 2.2 Aufschlussdokumentation der Erkundungsarbeiten
 - Anlage 2.2.1 Dokumentation der Kernbohrungen mit Drucksondierungen
 - Anlage 2.2.2 Dokumentation Rammkernsondierungen mit Drucksondierungen
 - Anlage 2.2.3 Dokumentation GWM 25
 - Anlage 2.2.4 Dokumentation GWM 26
 - Anlage 2.2.5 Dokumentation der Kernbohrungen KB 9
 - Anlage 2.2.6 Dokumentation der Kernbohrungen KB 10
 - Anlage 2.2.7 Dokumentation der Kernbohrungen KB 11
 - Anlage 2.2.8 Legende
- Anlage 2.3 Geologische Schnitte 1 – 8 (M.d.L. 1 : 5.000, M.d.H. 1 : 250)
- Anlage 2.4 Geotechnisches Erkundungskonzept

Anlage 3 Ergebnisdokumentation der geotechnischen Untersuchungen

- Anlage 3.1 Tabellarische Ergebniszusammenstellung der geotechnischen Laboruntersuchungen
- Anlage 3.2 Laboruntersuchungen Boden
 - Anlage 3.2.1 Kornverteilung
 - Anlage 3.2.2 Zustandsgrenzen
 - Anlage 3.2.3 Proctordichte
 - Anlage 3.2.4 Scherparameter
 - Anlage 3.2.5 Steifemodul
 - Anlage 3.2.6 k_f -Wert
 - Anlage 3.2.7 Glühverlust und Wassergehalt
 - Anlage 3.2.8 Einaxiale Druckfestigkeit
- Anlage 3.3 Auswertung der Drucksondierungen

Anlage 4 Baugrundmodell

- Anlage 4.1 Geotechnische Schnitte 1 – 8 (M 1 : 1.000)
- Anlage 4.2 Geotechnische Schnitte A und B (M 1 : 1.000)
- Anlage 4.3 Legende

Anlage 5 Untersuchungsergebnisse zur Subrosion

- Anlage 5.1 Luftbildauswertung
 - Blatt 1 Multitemporale Luftbildauswertung
 - Blatt 2 - 17 Luftbilddaufnahmen von 1966 bis 2013
- Anlage 5.2 Karte der Geogefahren (M 1 : 25.000)

Anlage 6 Setzungsabschätzung der Haldenaufstandsfläche

- Anlage 6.1 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 1 - Isolinien Draufsicht - (M 1 : 5.000)
- Anlage 6.2 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 1 entlang Vertikalschnitt B -B' (M d. L 1 : 3.000, M d. H. 1 : 1.000)
- Anlage 6.3 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 2 - Isolinien Draufsicht (M 1 : 5.000)
- Anlage 6.4 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 2 entlang Vertikalschnitt B -B' (M d. L 1 : 3.000, M d. H. 1 : 1.000)
- Anlage 6.5 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 3 - Isolinien Draufsicht (M 1 : 5.000)
- Anlage 6.6 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 3 entlang Vertikalschnitt B -B' (M d. L 1 : 3.000, M d. H. 1 : 1.000)
- Anlage 6.7 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 1 - Isolinien Draufsicht – Grenztiefe 400m (M 1 : 5.000)
- Anlage 6.8 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 1 entlang Vertikalschnitt B -B' – Grenztiefe 400m (M d. L 1 : 3.000, M d. H. 1 : 1.000)
- Anlage 6.9 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 2 - Isolinien Draufsicht - Grenztiefe 400 m (M 1 : 5.000)
- Anlage 6.10 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 2 entlang Vertikalschnitt B -B' - Grenztiefe 400 m (M d. L 1 : 3.000, M d. H. 1 : 1.000)
- Anlage 6.11 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 3 - Isolinien Draufsicht - Grenztiefe 400 m (M 1 : 5.000)
- Anlage 6.12 Setzungsabschätzung Berechnungsvariante 3 entlang Vertikalschnitt B -B' - Grenztiefe 400 m (M d. L 1 : 3.000, M d. H. 1 : 1.000)

Anlage 7 Böschungsstandsicherheit der Halde - Prinzipschnitt NW-SO Böschungsneigung 1 : 3, (M 1 : 3.000)

Abkürzungsverzeichnis

BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
Bk	Belastungsklasse nach RStO 12
BK	Bodenklasse nach DIN 18 300
CPTU	Cone Penetration Test (elektrische Drucksondierung)
DWD	Deutscher Wetterdienst
GIS	Geografisches Informationssystem
GK 25	Geologische Karte im Maßstab 1 : 25.000
GWM	Grundwassermessstelle
IGK 50	Ingenieurgeologische Karte im Maßstab 1 : 50.000
KB	Kernbohrung
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen
max.	maximal
M.d.H.	Maßstab der Höhe
M.d.L.	Maßstab der Länge
N	Norden
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz
NSG	Naturschutzgebiet
O	Osten
RKS	Rammkernsondierung
S	Süden
u. GOK	unter Geländeoberkante
W	Westen

Glossar

DIN 1054:2010-12	Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erdbau und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 (Ausgabe 2010-12)
DIN 18 121-1:1998-04	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalte - Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung (Ausgabe 1998-04)
DIN 18 122-1:1997-07	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze (Ausgabe 1997–07)
DIN 18 123:2011-04	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung (Ausgabe 2011-04)
DIN 18 125-1:2010-07	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens - Teil 1: Laborversuche (Ausgabe 2010-07)
DIN 18126:1996-11	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung (Ausgabe 1996-11)
DIN 18 127:2012-09	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch (Ausgabe 2012-09)
DIN 18 128:2002-12	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes (Ausgabe 2002-12)
DIN 18 130-1:1998-05	Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche (Ausgabe 1998-05)
DIN 18 135:2012-04	Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Eindimensionaler Kompressionsversuch (Ausgabe 2012-04)
DIN 18 136:2003-11	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Einaxialer Druckversuch (Ausgabe 2003-11)
DIN 18 137-1:2010-07	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit - Teil 1: Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen (Ausgabe 2010-07)
DIN 18 137-2:2011-04	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit - Teil 2: Triaxialversuch (Ausgabe 2011-04)
DIN 18 196:2011-05	Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke (Ausgabe 2011-05)
DIN 18 300:2012-09	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten (Ausgabe 2012-09)
DIN 18 915	Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten (Ausgabe 2002-08)
DIN 4017:2006-03	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen (Ausgabe 2006-03)

DIN 4019:2014-01	Baugrund - Setzungsberechnungen (Ausgabe 2014-01)
DIN 4020:2010-12	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2 (mit einem Beiblatt) (Ausgabe 2010-12)
DIN EN 1998-1/NA:2011-01	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau (ehemals DIN 4149:2005-04), (Ausgabe 2011-01)
DIN EN ISO 14688-1:2013-12	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO14688-1:2002+Amd 1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2002+A1:2013 (Ausgabe 2013-12)
DIN EN ISO 14688-2:2013-12	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen (ISO 14688-2:2004 + Amd 1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 14688-2:2004 + A1:2013 (Ausgabe 2013-12)
DIN EN ISO 22475-1:2007-01	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006 (Ausgabe 2007-01)
DIN EN ISO 22476-1:2013-10	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO 22476-1:2012 + Cor. 1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 22476-1:2012 + AC:2013 (Ausgabe 2013-10)
EC 7	Eurocode 7 - Geotechnische Berechnungen - Band 2: Erkundung und Untersuchung - Anhang D Drucksondierungen (Ausgabe 2011)
FelsgrMBI:1981-08-17	Merkblatt für Felsgruppenbeschreibung für bautechnische Zwecke im Straßenbau (Ausgabe 1980),(Ausgabedatum 1981-08-17)
RStO 12	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (Ausgabe 2012)
ZTV E-StB 09	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, FGSV (Ausgabe 2009)
ZTV LW 99/01	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege. ZTV LW 99/01. Ausgabe 1999/Fassung 2001 mit Änderungen und Ergänzungen (Ausgabe 2007)

1 Zusammenfassung

Für die neu zu errichtende Rückstandshalde wurden geologisch/geotechnische Untersuchungen zur Erkundung des Baugrundes durchgeführt. Ausgehend von den Ergebnissen der geologisch/ geotechnischen Untersuchungen wurde zur Bewertung des Standortes ein für den Baugrund repräsentatives Zwei-Schicht-Modell entwickelt. Für die Modellschichten wurden die geologisch/petrografischen Schichtkomplexe so zusammengefasst, dass jede Modellschicht mit charakteristischen geotechnischen Kennwerten belegt werden konnte. Diese geotechnischen Kennwerte wurden aus den bodenmechanischen Laborergebnissen abgeleitet.

Nachfolgende Modellschichten wurden aus den Untersuchungsergebnissen abgeleitet:

Modellschicht 1, Lockergestein

Dieser Schichtkomplex fasst im Wesentlichen die quartären und tertiären Ablagerungen am Standort zusammen. Der Charakter der Modellschicht 1 wird durch feinkörnige Ablagerungen dominiert. In diese sind ablagerungsbedingt gemischt- und untergeordnet grobkörnige Sedimente unterschiedlicher Kornzusammensetzungen eingeschaltet.

Die fein- bis grobkörnigen Sedimente liegen in einer nicht zu systematisierenden Wechsellagerung vor. Die Bandbreite der ermittelten Kornverteilungen reicht von Ton, stark schluffig, schwach sandig bis Fein- bis Grobsand, untergeordnet auch Kies, sandig, schwach schluffig. Bei den daraus abzuleitenden Bodengruppen (DIN 18 196) dominieren SU/SU*, ST/ST* (gemischtkörnige Böden) bis UL/UM sowie TM/TA (feinkörnige Böden). Lokal sind in diese Matrix auch Sande und Kiese eingelagert. Der Feinkornanteil (< 0,063 mm Korndurchmesser) wurde mit > 5 % ermittelt. Die Lockergesteine liegen in Wechsellagerung vor und besitzen in der Regel steife bis halbfeste Konsistenz. Lokal begrenzt liegt in Einzelteufen auch eine weiche oder breiige Zustandsform vor. Diese ist auf Staunässe in den wechselgelagerten Lockergesteinen zurückzuführen.

Modellschicht 2, veränderlich festes Gestein

Die Schichten, welche die Lockergesteine unterlagern, sind geomechanisch und geochemisch überprägt und bilden das veränderlich feste Gestein. Für die veränderlich festen Gesteine wurden die Kornverteilungen ermittelt. Es wurde ein gestrecktes Kornband festgestellt. In situ liegt dieses Material überwiegend kompaktiert und verbacken vor. Dieser Sachverhalt widerspiegelt den Unterschied zwischen Lockergestein und veränderlich festem Gestein. Die in den Kornverteilungen ermittelten Korngrößen im Sand- und Kieskornbereich spiegeln kein stabiles Korn wider. Bei weitergehendem Zerfall entstehen Korngrößen im Ton- und Schluffkornbereich. Aufgrund der halokinetischen Vorgänge und den damit verbundenen möglichen Entfestigungen ergeben sich schwankende geotechnische Eigenschaften.

Für die Errichtung der Halde und für notwendige Infrastrukturbaumaßnahmen werden im Gutachten nachfolgende Empfehlungen gegeben:

- Die Herstellung einer ordnungsgemäßen Aufstandsfläche für den Haldenkörper und einer Basis für die mineralische Dichtung kann am Standort vorgenommen werden.
- Es wurden in Abhängigkeit von unterschiedlichen Berechnungsmodellen Setzungen des Baugrundes von ca. 2,00 bis 2,40 m ermittelt. Die ermittelte Setzungsmulde kann ggf. planerisch durch eine Überhöhung des Planumsniveaus ausgeglichen werden.
- Im Bereich der geplanten Haldenaufstandsfläche wurden nur lokal begrenzt Grundwasser bzw. Staunässe erkundet.
- Die Rückstandshalde wird mit einer Böschungsneigung ca. 1 : 3 errichtet (E 10).

- Im Zusammenhang mit der Errichtung der Halde sind Infrastrukturbauwerke zu errichten, dazu gehören insbesondere Straßen, Lagerflächen, Haldenwassersammelbecken, Grabensysteme, Rohrleitungen, Bandtrassen und Gebäude.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen auch den Bau dieser Infrastrukturanlagen zu.

- Der vorhandene Oberboden wird vollständig abgetragen und entsprechend den gültigen Empfehlungen zur Lagerung von Oberboden zwischengelagert. Der Oberboden kann für eine Rekultivierung der Halde wiederverwendet werden oder ist anderweitig zu verwerten.

Aus geotechnischer Sicht ist der geplante Haldenstandort für die Errichtung einer Rückstandshalde geeignet.

2 Ausgangssituation

2.1 Veranlassung

Die K+S AG plant die Wiederinbetriebnahme des Reservebergwerkes Siegfried-Giesen. Für dieses Vorhaben ist ein bergrechtliches Planfeststellungsverfahren durchzuführen.

Zur Gewährleistung eines ordnungsgemäßen Rückstandsmanagements ergibt sich die Notwendigkeit der Neuanlage einer Rückstandshalde im unmittelbaren Umfeld des Standortes Siegfried-Giesen. Die neu zu errichtende Halde soll als Flachhalde ausgebildet werden.

In vorgeschalteten Verfahren wurden verschiedene potentielle Haldenstandorte untersucht (Unterlage I-5). Bereits in diesen Verfahren erfolgte eine Prüfung der Eignung von Standorten im engeren und weiteren Umfeld des künftigen Fabrikstandortes u. a. unter Berücksichtigung der geologischen/hydrogeologischen Verhältnisse, der morphologischen Verhältnisse, der Entfernung Produktionsstandort – Haldenstandort, der Flächeninanspruchnahme, des technischen Aufwandes und der technischen Machbarkeit für die Herstellung einer Haldenbasisabdichtung sowie den Bau von Haldenentwässerungssystemen, der Genehmigungsfähigkeit und der Umweltwirkungen.

Der aus weiteren Planungsunterlagen (Unterlage I-5) resultierende Haldenstandort und dessen unmittelbares Umfeld werden im vorliegenden Gutachten betrachtet.

Die geotechnischen Untersuchungen werden mit den folgenden Zielstellungen durchgeführt:

- Erkundung des Baugrundes und der Grundwasserverhältnisse
- Beurteilung des anstehenden Baugrundes
- Erarbeitung von
 - Aussagen zu den Grundwasserverhältnissen
 - Erarbeitung eines Baugrundmodells
 - Aussagen zur Verwertbarkeit anfallender Aushubmassen
 - Angaben zu erwartenden Setzungen durch die Haldenauflast
 - Aussagen zur Böschungsstandsicherheit
 - allgemeine Angaben zum Baugrund für notwendige Infrastrukturmaßnahmen.

2.2 Bauvorhaben

Der Bereich des Vorhabens Hartsalzwerk Siegfried-Giesen liegt im Landkreis Hildesheim. Die betreffenden Flächen gehören hauptsächlich zu den Gemeinden Giesen, Sarstedt, Harsum und Nordstemmen (Darstellung in Anlage 1). Die Flächen, welche durch das Vorhaben betroffen sind, liegen randlich des Salzstocks Sarstedt. Dieser umfasst eine Fläche von ca. 16 km² zwischen den Ortschaften Giesen, Ahrbergen, Sarstedt und Barnten.

Zur Gewährleistung des geplanten Ablagerungsvolumens von ca. 17,17 Mio. m³ ergeben sich nachfolgende geometrische Anforderungen an die Halde:

- Aufstandsfläche ca. 46 ha
- max. Haldenhöhe ca. 80 m
- NW - SO Erstreckung 940 m

- NO - SW Erstreckung 705 m
- Böschungsneigung umlaufend ca. 1 : 3.

Die Karte in Anlage 1.1 gibt einen Überblick über das Untersuchungsgebiet.

In Vorbereitung der Aufhaldung erfolgt eine Profilierung der Haldenaufstandsfläche. Nach Abtrag des Oberbodens wird ggf. ein Setzungsausgleich aufgebaut. Dieser ist abhängig von den prognostizierten Setzungen in den Haldenbereichen (Böschungs- und Topbereiche).

Auf dem Setzungsausgleich als eigentliche Aufstandsfläche für die Halde wird eine mineralische Basisabdichtung aus geeigneten Dichtungsmaterialien aufgebaut.

Nach Erreichen der geplanten Haldenkontur erfolgen abschnittsweise zeitnah die Herstellung einer Oberflächenabdeckung sowie geeignete Rekultivierungsmaßnahmen.

Im Umfeld der geplanten Rückstandshalde ist der Bau von Infrastrukturanlagen erforderlich.

3 Standortverhältnisse

3.1 Morphologie/Bebauung und Bewuchs

- Vorhabensgebiet

Das Vorhabensgebiet ist entsprechend der naturräumlichen Gliederung von Niedersachsen größtenteils der Region der Börden (Region 7) und hier der Unterregion „Börden, Westteil“ (Region 7.1) zugeordnet. Im Südosten ist es der Unterregion „Weser-Leinebergland“ (Region 8.2) zugehörig (vgl. Abb. 1).

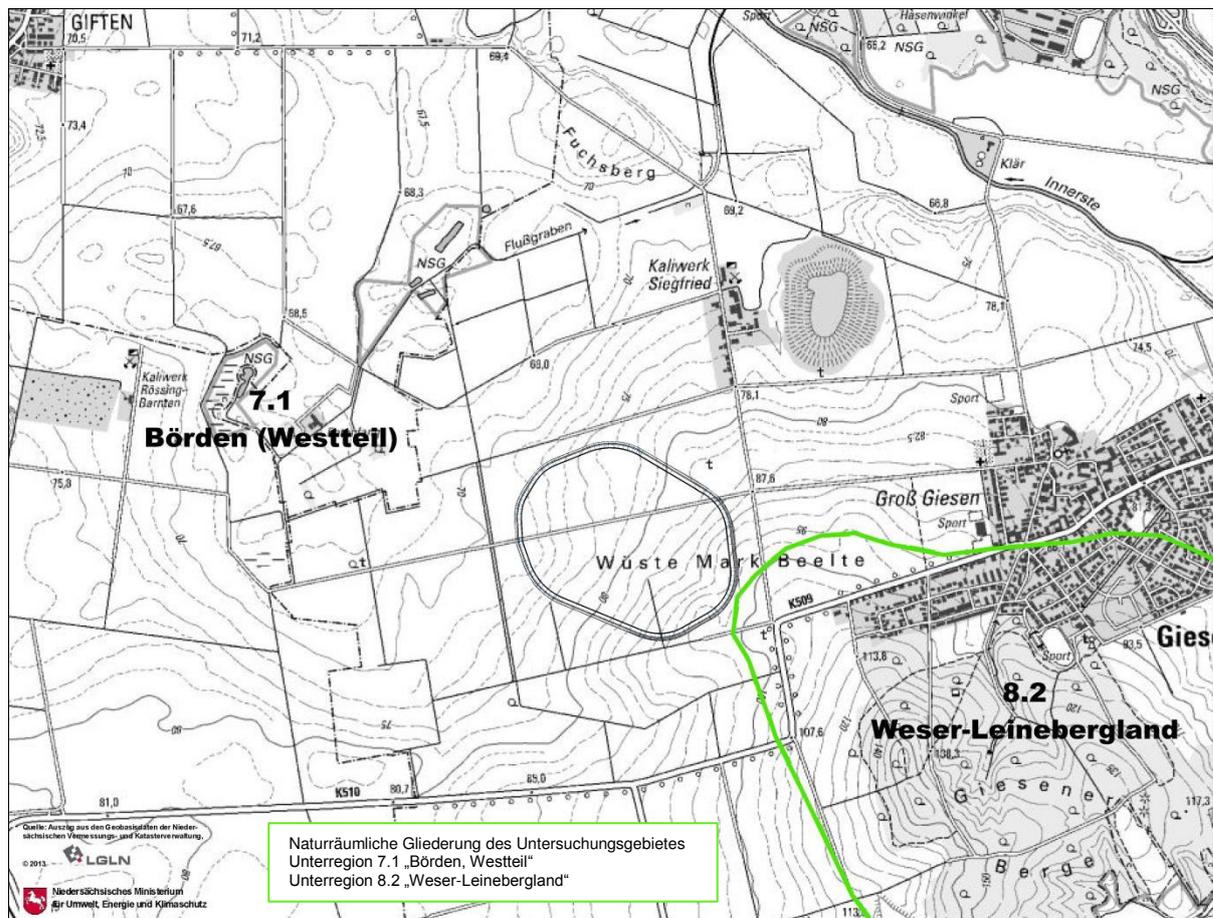


Abb. 1: Naturräumliche Gliederung des Untersuchungsgebietes (NLWKN, 2013)

Das Untersuchungsgebiet steigt flach von ca. 70 m NN im Nordwesten auf ca. 104 m NN im Südosten an. Am Haldenstandort erfolgt derzeit ausschließlich eine landwirtschaftliche Nutzung.

- weiteres Umfeld

Innerhalb der flachwelligen Umgebung wird das Landschaftsbild von der Rückstandshalde (Althalde Siegfried-Giesen) unmittelbar östlich des ehemaligen Kaliwerkes Siegfried-Giesen (siehe Anlage 1.1) mit etwa 80 m Höhe geprägt. Südlich der Ortslage Giesen befindet sich im Bereich der Giesener Berge die höchste Erhebung mit ca. 160 m NN.

Die Niederung der Innerste, östlich und nordöstlich des Haldenstandortes gelegen, sowie die westlich gelegene Niederung der Leine markieren mit Höhenlagen um 62 bis 67 m NN morphologische Senken. Im Westen und Nordwesten existieren in den Niederungen zahlreiche Wasserflächen, die durch Kiesabbau entstanden sind, und einige Feuchtgebiete (z.B. „Entenfang“).

Flächenhaft wird der Naturraum durch ausgedehnte landwirtschaftliche Nutzung der fruchtbaren Lössböden geprägt. Die großen Ackerfluren werden nur vereinzelt durch Gehölze oder Baumreihen strukturiert. Im Bereich höherer Erhebungen, wie in den Giesener Bergen oder im Ahrberger Holz nördlich des ehemaligen Kaliwerkes, sind lokal Waldbestände zu finden. Feuchtwiesen und Auen machen weniger als 5 % der Fläche aus.

Die im Umfeld des Haldenstandortes liegenden Ortschaften weisen überwiegend dörflich-ländliche Siedlungsstrukturen auf, z. T. durch Neubaugebiete in den Ortsrandlagen ergänzt.

Im weiteren Umfeld befinden sich die Bundesstraße B 6, die Autobahn BAB 7 als wichtige Verkehrsverbindungen sowie der Stichkanal Hildesheim.

3.2 Geologie/Hydrogeologie

3.2.1 Regionalgeologischer Überblick

Die großräumigen geologischen Verhältnisse werden im Wesentlichen basierend auf den Erläuterungen zur Geologischen Karte (Lepper, 1984) beschrieben und sind in Anlage 1.2 dargestellt.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Übergangsbereich zwischen Norddeutscher Tiefebene und dem durch tektonische Ereignisse geprägten Leine-Weser-Bergland, welches zu den größeren Landschaftseinheiten der deutschen Mittelgebirgsschwelle zählt.

Der Untergrund wird von den Festgesteinen des Paläozoikums und Mesozoikums aufgebaut. Die mesozoischen Festgesteine, die nur noch in den Höhenzügen oder als flache Ausstriche in der Ebene auftauchen, werden vom Sarstedter Salzstock durchbrochen und von känozoischen Lockergesteinsedimenten überdeckt.

Der rheinisch (von NNO nach SSW) gerichtete Sarstedter Salzstock macht sich im Gelände in Folge flächiger Ablaugung als eine langgestreckte Senke (Depression) bemerkbar. Der Salzstock bzw. die Randschollenstruktur stößt im Osten an die Harsumer Mulde und den Rautenbergsattel sowie im Westen an die Pattensener Mulde. In den Mulden bestimmen relativ flach lagernde Strukturen mit Sedimenten der Unter- und Oberkreide meist in tonig-mergelig-kalkiger Ausbildung den Aufbau (Fugro Consult, 2013).

Im Tertiär wurden im Bereich des Sarstedt - Sehnder Salzaufbruches meist oligozäne Lockergesteine (vorwiegend tonig, z. T. sandig) abgelagert. Die Ablagerungen des Tertiärs sind im Gebiet eher von untergeordneter Bedeutung, da sie größtenteils durch Erosion wieder abgetragen wurden. Im Bereich von Mulden und Senken, die durch Subrosion im Untergrund entstanden, blieben jedoch Reste in größeren Mächtigkeiten erhalten.

Das Quartär ist durch einen mehrfachen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten gekennzeichnet. Im mittleren Pleistozän waren zur Elster- und Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium) große Teile Niedersachsens vergletschert. Das Eis hinterließ Grundmoränen (Geschiebemergel) und Schmelzwasserablagerungen (Kiese und Sande sowie lokal Beckentone). Entlang der Talauen der Leine und ihrer Nebenflüsse begann die Ablagerung von fluviatilen Terrassenschottern mit frühpleistozänen bis elsterkaltzeitlichen Schichten, die von den Mittelterrassen des Leine-Systems (frühe Saale-Kaltzeit/Drenthe-Stadium) und den Niederterrassen der Weichsel-Kaltzeit gefolgt werden. In den nördlich des Berglands vorgelager-

ten Börden kam es zu großflächigen Lössablagerungen. Im Holozän entstanden organogene Bildungen (Torfe, Mudden) sowie in den Vorflutauen fluviatile Schotter und Löss/Lösslehmdecken.

3.2.2 Geologische und hydrogeologische Standortsituation

Die umfassende geologische und hydrogeologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes einschließlich des Haldenstandortes ist in Unterlage I-7 enthalten. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich entsprechend auf die hydrogeologischen Aspekte, welche für die geotechnischen Betrachtungen relevant sind bzw. zu denen die Baugrunderkundungen zusätzliche Erkenntnisse lieferten.

Die Schichtenfolge im Bereich des geplanten Haldenstandortes wird wie folgt charakterisiert:

- quartäre und tertiäre Schichten, nur lokal wasserführend bei eingelagerten nicht bindigen Sedimenten, bilden dabei keinen zusammenhängenden Grundwasserleiter;
- präquartärer-, prätertiärer Untergrund durch grundwasserhemmende Schichten gebildet, im Wesentlichen hier Verwitterungs- bzw. Umlagerungsprodukte des Oberen Buntsandsteins (Röt), steil stehende Randschollengebirge durch mächtige verstürzte Verwitterungstone von den grundwasserführenden Schichten in den Deckschichten getrennt;
- im südlichen bis südöstlichen Bereich des geplanten Haldenstandortes lagern unter den quartären und tertiären Lockergesteinsablagerungen Schichten des Zechsteins, des Unteren Buntsandsteins und des Muschelkalks.

Es liegt generell eine sehr geringe Grundwasserbewegung von Südosten nach Nordwesten vor. Darüber hinaus konnte im Südosten im Haldenaufstandsbereich keine Grundwasserführung nachgewiesen werden (Unterlage I-7). Die angetroffenen Wasserspiegel sind im Wesentlichen auf Staunässe zurückzuführen.

3.3 Hydrologische Verhältnisse

Eine umfassende Beschreibung der hydrologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes einschließlich des Haldenstandortes ist in Unterlage I-7 enthalten. Nachfolgend werden die wesentlichen Aussagen zusammenfassend dargestellt.

Das Vorhabengebiet gehört zum Flussgebiet der Leine, die den Hauptvorfluter für den Bereich des Haldenstandortes darstellt. Ein weiterer wichtiger Vorfluter des Untersuchungsraumes ist die Innerste als Gewässer 2. Ordnung. Die Innerste verläuft ca. 600 m nordöstlich des Kaliwerkes Siegfried-Giesen und mündet westlich von Sarstedt in die Leine.

Der generelle Oberflächenwasserabfluss im Bereich des Haldenstandortes erfolgt über ein System randlicher Gräben. Der nördlich gelegene Flussgraben entwässert das Gebiet zwischen dem Schacht Rössing-Barnten und dem Kaliwerk Siegfried-Giesen (Ackerflächen und Bereich NSG Entenfang). An dem künstlich angelegten Flussgraben sind verschiedene kleinere Ackergräben und Felddränagen der umliegenden Landwirtschaftsflächen angebunden.

Mehrere Kleingewässer im näheren Umfeld des Haldenstandortes befinden sich im Bereich des NSG Entenfang.

3.4 Klimatische Verhältnisse

Der Großraum Hannover/Hildesheim gehört klimatisch zum maritim, semihumiden und warmgemäßigten Mittelbreitenklima (Lauer & Bendix, 2004). Auf Basis der für das Vorhaben seitens des DWD erarbeiteten Klimareihe (Unterlage I-11) ergeben sich für den Zeitraum 1981 bis 2007 die folgenden Mittelwerte:

- Jahresmitteltemperatur: 9,5° C
- Jahresmittel der relativen Luftfeuchte: 78 %
- Jahressumme des mittleren Niederschlags (korrigiert): 810 mm/a.

3.5 Örtliche Besonderheiten

- Als zu schützende Objekte sind eine Gasleitung (parallel der Schachtstraße) und eine Elektroleitung (Freileitung, W-O-Verlauf) zu berücksichtigen.
- Südlich befindet sich eine Altablagerung (Standortnummer 2540174012 im Altlastkataster Niedersachsen, (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, 2014)). Es handelt sich bei dieser Altablagerung um einen ehemaligen Gipssteinbruch. Nach den Untersuchungen von (Wersche GmbH, 1992) wurde der bis zu 9 m tiefe Steinbruch vor dem Zweiten Weltkrieg durch die ehemalige Gemeinde Groß Giesen mit Hausmüll und Bauschutt verfüllt. Nach diesen Unterlagen erfolgte eine Rekultivierung mit Boden etwa im Jahr 1955. Es sind keine Auffälligkeiten bekannt. Die rekultivierte Fläche wird als Ackerland landwirtschaftlich genutzt. Zu berücksichtigende Besonderheiten ergeben sich aus der Altablagerung nicht.
- Erdfallgefährdung
Die Erdfallgefährdung wird in Kap. 7 gesondert betrachtet.
- Erdbebengefährdung
Der Standort befindet sich in keiner Erdbebenzone (GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam, 2013).

4 Baugrunduntersuchungen

4.1 Felduntersuchungen

Im Rahmen der Baugrundbeurteilung wurden nachfolgende Baugrundaufschlüsse verwendet:

- Altaufschlüsse
 - Baugrunduntersuchungen (Dr. Pelzer und Partner, 2011)
 - Grundwassermessstellen GWM 1 – 24 (Fugro Consult, 2013)
- Neuaufschlüsse
 - *8 Kernbohrungen (KB) 1 bis 8*
(KB 1 bis 6 und 8 mit Liner Ø 100 mm; KB 7 mit Liner Ø 50 mm, Endteufe max. 18,60 m u. GOK)
 - *18 Rammkernsondierungen (RKS) 1 bis 20*
(Ø 37 - 60 mm, Endteufe max. 11,60 m u. GOK)
Bemerkung: Die Rammkernsondierungen 4 und 16 konnten aufgrund fehlender Zustimmungen der Grundstückseigentümer nicht realisiert werden. Es gab dafür auch keine adäquaten Ausweich- oder Ersatzstandorte.
 - *10 Drucksondierungen (CPTU) 1 bis 10*
an den Standorten KB 1 bis KB 8 sowie an den Standorten RKS 11 und RKS 19
CPTU mit Messung des Spitzenwiderstandes, der lokalen Mantelreibung und des Porenwasserdruckes
 - *5 Tiefbohrungen*
GWM 25 (Endteufe 144 m u. GOK)
GWM 26 (Endteufe 160 m u. GOK).
Es war vorgesehen, diese Bohrungen als Grundwassermessstellen auszubauen. Ausgebaut wurde nur die GWM 26. Die Bezeichnung GWM wurde jedoch unabhängig vom Ausbau zu einer Messstelle als Aufschlussbezeichnung beibehalten.

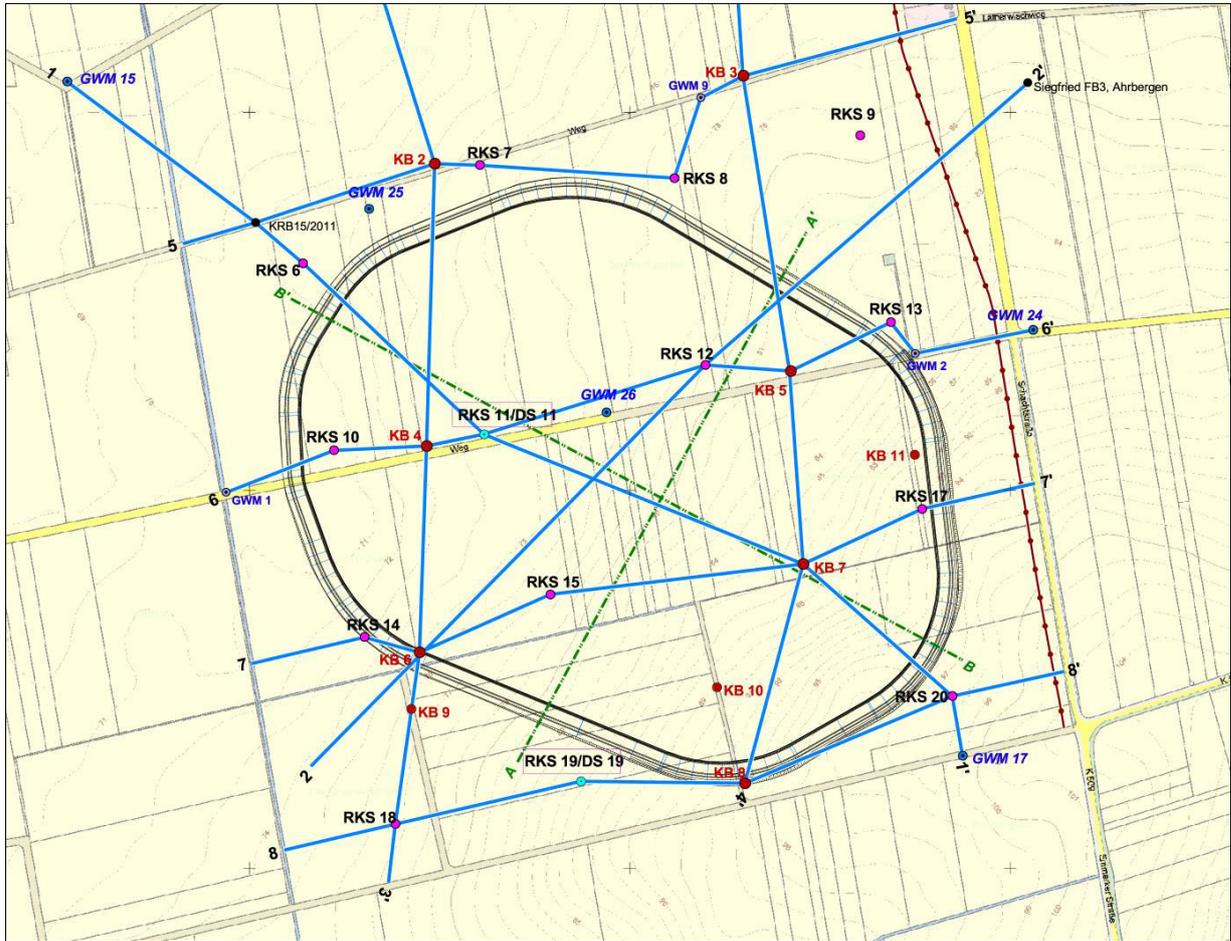
KB 9 (Endteufe 144 m u. GOK)
KB 10 (Endteufe 150 m u. GOK)
KB 11 (Endteufe 150 m u. GOK).

Die im Baugrundgutachten verwendeten Baugrundaufschlüsse sind in Abb. 2 und Tab. 1 zusammenfassend dargestellt.

Die Schichtenverzeichnisse der Neuaufschlüsse enthält Anlage 2.2.

Die Erkundungsergebnisse am Haldenstandort sind in den geologischen Schnitten 1 bis 8 (Anlage 2.3) dargestellt.

Die mit den Drucksondierungen gemessenen Kennwerte wurden in Bezug auf Bodenart, Lagerungsdichte/Konsistenz sowie bodenmechanische Reibungswinkel unter Beachtung DIN EN ISO 22476-1 ausgewertet (Anlage 3.3).



Legende

Stand Neuborungen 2013

GWM 24 neu errichtete Grundwassermessstellen 2013
(GWM 25 und GWM 17 nicht zu Grundwassermessstellen ausgebaut)

Geotechnische Bohrungen zur Erkundung Haldenaufstandsfläche 2013/2014

KB 1 Kernbohrungen (Liner)
und 8 Drucksondierungen (CPT an KB 1 bis KB 8)

RKS 11/DS 11 Drucksondierung (CPT)

RKS 1 Rammkernsondierung (16)

Bestand

GWM 11 Grundwassermessstellen im Monitoring der K+S, errichtet 2011

KRB 20/2011/CPT 22 Bohrungen aus Phase orientierende Baugrunduntersuchungen
Werk Siegfried-Giesen 2011 und Altaufschlüsse

 Haldenstandort

Profilschnitte

 geol./geotechn. Profilschnitte 1-1' bis 8-8' IHU GmbH

 Schnitte A-A' und B-B', maßgebliche Schnitte für numerische Berechnung

Abb. 2: Lage der Baugrundaufschlüsse (Detail aus Anlage 2.1)

Tab. 1: Baugrundaufschlüsse im Bereich des Haldenstandortes und in dessen Umfeld

Bohrung	Rechtswert	Hochwert	End- teufe	Bohr- durch- messer	Bohrzeitraum		Drucksondierung (CPT) ²⁾ am Standort der Bohrung (KB/ RKS)			
					von	bis	Bohrung	Datum	Teufe [m u GOK]	
Altaufschlüsse										
Siegfried FB3, Ahr- bergen	3560022,99	5785538,54	35,5	k.A.	k.A.					
GWM 1 (SB01/2011)	558969,00	5784997,00	25,0	270	11.4.11	11.4.11				

Bohrung	Rechtswert	Hochwert	End- teufe	Bohr- durch- messer	Bohrzeitraum		Drucksondierung (CPT) ²⁾ am Standort der Bohrung (KB/ RKS)		
					von	bis	Bohrung	Datum	Teufe [m u GOK]
GWM 13	3559550,00	5786330,00	18,0	270	8.1.13	9.1.13			
GWM 15	3558760,00	5785540,00	22,0	273	15.1.13	16.1.13			
GWM 17	3559940,00	5784650,00	3,4	273	15.1.13	16.1.13			
GWM 2 (SB02/2011)	3559875,00	5785181,00	20,0	267	26.4.11	28.4.11			
GWM 24	3560030,00	5785210,00	6,5	273	18.1.13	21.1.13			
GWM 4 (SB04/2011)	3559068,00	5786136,00	25,0	270	19.4.11	19.4.11			
GWM 9 (KRB09/2011)	3559593,00	5785519,00	10,0	60	6.4.11	6.4.11			
KRB15/2011	3559088,00	5785354,00	10,0		6.4.11	6.4.11			
KRB16/2011	3559143,00	5785755,00	10,0		6.4.11	6.4.11			
KRB17/2011	3559507,00	5785894,00	10,0		6.4.11	6.4.11			
Baugrundaufschlüsse 2013 / 2014									
Kernbohrungen1)									
KB 1/013	3559101,50	5786026,10	17,5	110	27.3.13	3.4.13	CPT 10/13	21.3.13	10,00
KB 2/013	3559243,00	5785432,00	17,0	110	11.3.13	20.3.13	CPT 2/013	21.3.13	8,70
KB 3/013	3559648,80	5785548,10	18,6	110	21.3.13	26.3.13	CPT 3/013	21.3.13	10,20
KB 4/013	3559232,90	5785058,60	17,8	110	4.3.13	7.3.13	CPT 4/013	21.3.13	10,20
KB 5/013	3559711,20	5785157,40	14,7	110	20.2.13	4.3.13	CPT 5/013	21.3.13	10,10
KB 6/013	3559223,60	5784785,30	12,0	110	25.3.13	28.3.13	CPT 6/013	21.3.13	10,20
KB 7/013	3559728,00	5784902,00	10,0	63	11.4.13	12.4.13	CPT 7/013	21.3.13	10,20
KB 8/013	3559651,10	5784612,30	5,7	110	13.2.13	18.2.13	CPT 8/013	21.3.13	2,50
GWM 25³⁾	3559152,58	5785374,17	144,0	273	4.9.13	8.10.13			
KB 9/14⁴⁾	3559212,70	5784710,50	144,0	180	28.4.14	3.6.14			
KB 10/14⁴⁾	3559614,30	5784739,10	150,0	180	4.6.14	27.6.14			
KB 11/14⁴⁾	3559874,4	5785047,20	150,0	180	3.7.14	5.8.14			
Rammkernsondierungen1)									
RKS 1/013	3559559,00	5786183,00	10,3	37 - 60	14.3.13	14.3.13			
RKS 2/013	3558867,00	5785766,00	10,3	37 - 60	14.3.13	14.3.13			
RKS 3/013	3559355,00	5785879,00	10,3	37 - 60	14.3.13	15.3.13			
RKS 5/013	3559640,00	5785688,00	10,2	37 - 60	7.3.13	7.3.13			
RKS 6/013	3559070,00	5785300,00	9,4	37 - 60	7.3.13	7.3.13			
RKS 7/013	3559303,00	5785430,00	10,0	37 - 60	11.3.13	11.3.13			
RKS 8/013	3559558,00	5785413,00	9,2	37 - 60	12.3.13	12.3.13			
RKS 9/013	3559803,00	5785469,00	10,4	37 - 60	6.3.13	6.3.13			
RKS 10/013	3559111,00	5785053,00	10,3	50 - 60	13.3.13	13.3.13			
RKS 11/013/	3559308,00	5785074,00	10,5	37 - 60	13.3.13	13.3.13	CPT 11/013	21.3.13	10,20
RKS 12/013	3559599,00	5785166,00	10,3	37 - 60	12.3.13	12.3.13			
RKS 13/013	3559843,00	5785222,00	8,4	37 - 60	12.3.13	13.3.13			
RKS 14/013	3559151,00	5784806,00	10,3	50 - 60	5.3.13	5.3.13			
RKS 15/013	3559395,00	5784862,00	10,3	37 - 60	6.3.13	6.3.13			
RKS 17/013	3559884,00	5784975,00	4,7	50 - 60	6.3.13	6.3.13			
RKS 18/013	3559192,00	5784558,00	11,0	37 - 60	5.3.13	5.3.13			
RKS 19/013	3559436,00	5784615,00	11,6	50 - 60	4.3.13	4.3.13	CPT 19/013	21.3.13	10,10
RKS 20/013	3559924,00	5784728,00	3,6	60	4.3.13	4.3.13			

Bohrung	Rechtswert	Hochwert	Endteufe	Bohrdurchmesser	Bohrzeitraum		Drucksondierung (CPT) ²⁾ am Standort der Bohrung (KB/ RKS)		
			[m u GOK]	[DN]	von	bis	Bohrung	Datum	Teufe [m u GOK]
Grundwassermessstellen im Bereich der Haldenaufstandsfläche³⁾									
GWM 26	3559464,93	5785103,75	160,0	273	10.9.13	17.10.13			

k.A. keine Angaben

1) Bohrfirma BLZ Geotechnik Service GmbH, Gommern

2) Drucksondierungen: Fugro Consult GmbH, Berlin

3) Bohrfirma: Celler Brunnenbau GmbH, Celle

4) Bohrfirma: U.& B. Wöltjen GmbH, Nienburg

4.2 Laboruntersuchungen

Die Festlegung der Probenahmehorizonte und die Probenauswahl erfolgten im Ergebnis der geologischen und geotechnischen Schichtaufnahme der Bohrkerne zur Klassifizierung und Ermittlung von geotechnischen Kennwerten.

Für die bodenmechanischen Untersuchungen erfolgte eine schichttypische Probenauswahl.

Für den Beprobungsumfang und die Festlegung der Beprobungshorizonte galt vom Grundsatz her nachfolgender Umfang:

- pro Bohrung wurde für fein- und gemischtkörnige Bereiche in der Regel eine Probe entnommen und untersucht
- aufgeschlossene Homogenbereiche wurden einmal je ca. 5,0 m beprobt,
- Inhomogenitäten/Besonderheiten wurden gesondert beprobt.

Das geotechnische Erkundungskonzept ist in Anlage 2.4 dargestellt.

Tab. 2 gibt einen Überblick zum Umfang der durchgeführten bodenmechanischen Laboruntersuchungen.

Tab. 2: Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Versuch	Vorschrift	Anzahl
Bestimmung des Wassergehaltes	DIN 18 121-1:1998-04	43
Bestimmung der Kornverteilung	DIN 18 123:2011-04	50
Bestimmung der Zustandsgrenze	DIN 18 122-1:1997-07	33
Bestimmung des Glühverlustes	DIN 18 128:2002-12	29
Ermittlung der Proctordichte	DIN 18 127:2012-09	7
Ermittlung der Scherparameter	DIN 18137-2:2011-04	27
Ermittlung des Steifemodul	DIN 18135:2012-04	20
Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit	DIN 18 136:2003-11	13
Bestimmung des k_f -Wertes	DIN 18130-1:1998-05	28

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Laboruntersuchungen sind in Anlage 3.1 zusammengestellt. Eine Diskussion erfolgt im Weiteren unter Kap. 5.

5 Baugrundverhältnisse

5.1 Baugrundsichtung

Die Klassifikation der Baugrundsichten erfolgte anhand der in situ Ergebnisse und der Ergebnisse der bodenmechanischen/geotechnischen Untersuchungen. Diese Untersuchungsergebnisse sind in den Anlagen 3.1 bis 3.3 sowohl tabellarisch zusammengefasst als auch für Einzelversuche dargestellt.

Im Bereich des Haldenstandortes treten grundsätzlich die folgenden Böden auf.

- **Oberboden (Mächtigkeit ca. 0,4 m).** Hierbei handelt es sich in der Regel um einen Schluff, feinsandig tonig, dunkelbraun bis schwarz, humos bis organogen, halbfest. Pflanzenreste sind darin vorhanden.
- **Lehm ausgebildet als Hang-, Geschiebe- oder Lösslehm bzw. Löss in Mächtigkeiten bis zu 3,0 m.** Es handelt sich hierbei um einen Schluff, feinsandig. Die Zustandsform ist abhängig von möglicher Staunässe und damit vom Wassergehalt und reicht von weich bis halbfest.
- **Feinkörnige Böden, Lockergestein, ausgebildet als quartäre und tertiäre Ablagerungen unterschiedlicher Genese und Zusammensetzung.** Es handelt sich in der Regel um Gemische aus Schluffen und Tonen mit unterschiedlichen Anteilen, sandig, z. T. leicht kiesig. Die Zustandsform reicht von steif bis fest. Bei höheren Wassergehalten infolge von Staunässe bzw. lokalen Wasserführungen ist begrenzt eine weiche Zustandsform nicht auszuschließen.
- **Gemischt- bis grobkörnige Böden.** Die Lagerungsdichte ist aufgrund der Teufenlage mitteldicht bis dicht. Die grobkörnigen Sedimente bilden keine in sich geschlossene bzw. durchgängig verbreitete Schicht bzw. Schichtenfolge. Aus den vorliegenden Schichtenverzeichnissen lässt sich ableiten, dass diese Sedimente in eine Matrix aus bindigen Sedimenten in unterschiedlicher Mächtigkeit und horizontaler Erstreckung eingebettet sind.
- **Schichten höherer Festigkeit und unterschiedlicher Zusammensetzung** (Zechstein, Oberer und Unterer Buntsandstein, Muschelkalk). Im Weiteren werden diese Schichten in Anlehnung an die Ingenieurgeologische Karte (IGK50) (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, 2014) als „**veränderlich festes Gestein**“ bezeichnet.

Für gründungstechnische Fragestellungen werden die fein- bis gemischtkörnigen Lockergesteine und die veränderlich festen Gesteine jeweils zu einer Schicht zusammengefasst.

Im Weiteren wird die oben beschriebene Schichtenfolge unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien (flächiges Aushalten, Mächtigkeit, Beeinflussung durch die baulichen Maßnahmen) abstrahiert und es werden die folgenden Baugrundsichten unterschieden:

- Oberboden

Die oberste Schicht bildet ein humoser organogener Boden (Schwarzerde). Bei diesen Schwarzerdeböden ist zu beachten, dass diese gemäß Bodenfunktionsbewertung (Engel & Prause, in Bearbeitung) zu "wertvollen" Böden in der Region Hildesheim gehören. Eine detaillierte Funktionsbewertung entsprechend dieses Leitfadens wurde nicht durchgeführt. Als Oberboden wird die obere belebte Bodenzone bezeichnet, welche am Haldenstandort eine Mächtigkeit von ca. 0,4 m aufweist.

Der Oberboden muss separat abgetragen werden. Nach ordnungsgemäßer Zwischenlagerung gemäß DIN 18 300 und DIN 18 915 soll der Oberboden als oberste Schicht der Rückstandshaldenabdeckung wiederverwendet werden. Der Oberboden entspricht nach DIN 18 300 der Bodenklasse 1. Im Sinne des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) bzw. der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) wird damit der Wiederherstellung einer naturnahen Vegetationsschicht Rechnung getragen. Er wird im Folgenden nicht als separate Baugrundsicht ausgewiesen.

- Fein- bis gemischtkörnige Lockergesteine

Unterlagert wird der Oberboden von Lockergesteinen unterschiedlicher Kornzusammensetzung, Lagerungsdichte und Zustandsform in Wechsellagerung. Die Lockergesteine weisen eine Gesamtmächtigkeit von bis zu 60 m auf. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausbildung der Lockergesteine liegen heterogene Baugrundverhältnisse vor. Im Regelfall wurden in den Aufschlüssen Mächtigkeiten des fein- bis gemischtkörnigen Lockergesteins von ca. 20 m erkundet. Im Rahmen der ergänzenden Untersuchungen wurden an der KB 9 Lockergesteinsmächtigkeiten von 60 m ausgewiesen. Diese werden dem Tertiär zugeordnet. Diese erhöhte Lockergesteinsmächtigkeit wird als lokaler Sonderfall in Verbindung mit der Bildung des Salzstocks interpretiert.

Eine durchgängige Verbreitung wasserführender Schichten wurde nicht festgestellt.

Der oberste Horizont dieser Lockergesteine wird von einem Lehm (Hang-, Geschiebe- oder Lösslehm bzw. Löss) mit unterschiedlicher Genese und unterschiedlicher Mächtigkeit gebildet. Dieser Bereich der Lockergesteine hat im Wesentlichen bautechnische Bedeutung. Der Lehm wird aufgrund dieser bautechnischen Verwendung nicht als eigenständige Modellschicht im Sinne des zu abstrahierenden Baugrundmodells definiert.

In das Lockergesteinspaket sind vereinzelt Sande und Kiese eingelagert. Diese Sande und Kiese besitzen entsprechend den ermittelten Kornverteilungen Feinkornanteile ($< 0,063$ mm Korndurchmesser) von mehr als 5 % und sind somit als gemischtkörnig einzustufen. Diese gemischtkörnigen Materialien bilden keine zusammenhängenden Schichten bzw. Horizonte, sondern treten nur als Linsen, umgeben von feinkörnigen Materialien auf.

- Veränderlich festes Gestein

Das veränderlich feste Gestein besteht im zentralen und nordwestlichen Bereich vorwiegend aus Ton- und Schluffsteinen mit einer gegenüber dem Lockergestein erhöhten Festigkeit. Im Süden treten zunehmend Anhydrit, Gips und Sandsteine in größeren Mächtigkeiten auf. Im Bereich der Flanke des Gipshutes (KB 10 und KB 11) wurden bereits oberflächennah (ca. 10 m u. GOK) Gips, Anhydrit und Buntsandstein erkundet.

Die geologische Zuordnung der erkundeten Schichten in KB 1 bis KB 8, GWM 25 und GWM 26 ist mit den Aufschlussresultaten der KB 9 und KB 11 nicht vergleichbar. Die aufgeschlossenen Schichten weisen aber aus geomechanischer Sicht ähnliche Eigenschaften auf. Die Betrachtung erfolgt demzufolge konservativ (feste Buntsandsteinplatten machen ca. 15% des Bohrkernes aus, schwimmen in weicher Matrix).

Die Interpretation der KB 10 unterscheidet sich hiervon:

- bis ca. 60 m vergleichbare Eigenschaften,
- ab ca. 60 m Tiefe bis ca. 100 m Tiefe Übergangsbereich zum „härteren“ Untergrund

Basierend auf den Bohrerergebnissen im Bereich der KB 11 in Teufenbereichen >100 m, kann nicht verifiziert werden, ob ebenso härteres Festgestein vorliegt.

Eine durchgängige Verbreitung wasserführender Schichten wurde nicht festgestellt.

5.2 Klassifizierungen und Eigenschaften

Für die Lockergesteine und veränderlich festen Gesteine erfolgten bodenmechanisch/geotechnische Untersuchungen (vgl. Tab. 2 und Anlage 2.4). Die Ergebnisse werden im Folgenden erläutert.

- Kornverteilungen

Die Kornverteilungen sind in Abb. 3 bis Abb. 6 und in Anlage 3.2.1 dargestellt.

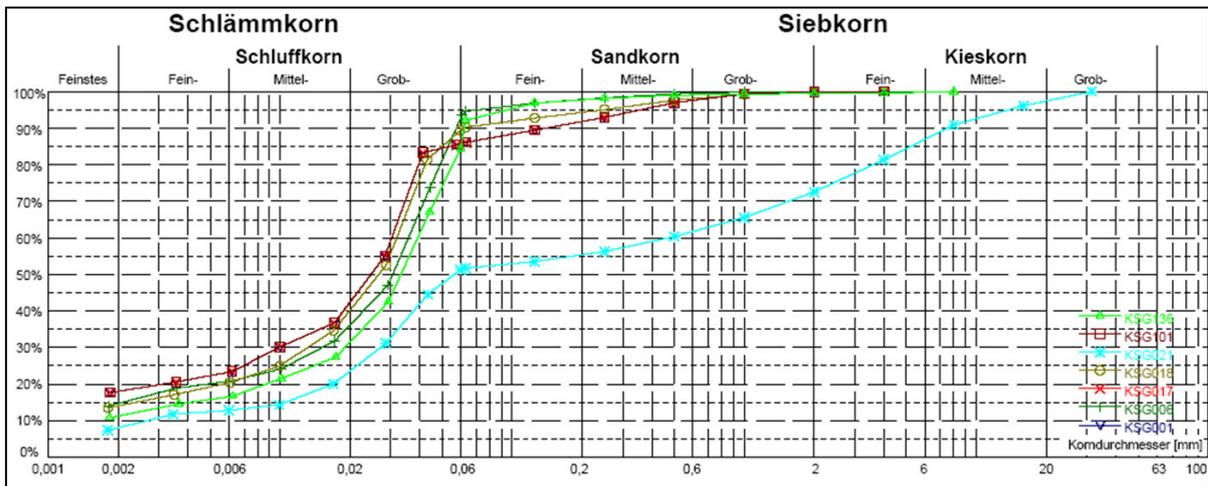


Abb. 3: Kornverteilungen des Lehms (oberflächennahe feinkörnige Sedimente)

Abb. 3 zeigt die ermittelten Kornverteilungen für die oberflächennahen feinkörnigen Sedimente, die z. T. als Löss/Lösslehm ausgebildet sind. Es handelt sich in der Mehrzahl um Fein- bis Grobchluff, tonig bis schwach tonig, sandig bis schwach sandig. Untergeordnet wurde auch ein Fein- bis Grobchluff, fein- bis mittelkiesig, schwach sandig, tonig ermittelt (Laborprobe KSG 021). Im Wesentlichen handelt es sich jedoch um Schluff/Sand-Gemische mit geringen Ton- und Kiesgehalten.

Abb. 4 und Abb. 5 zeigen die ermittelten Kornverteilungen der weiteren Lockergesteine.

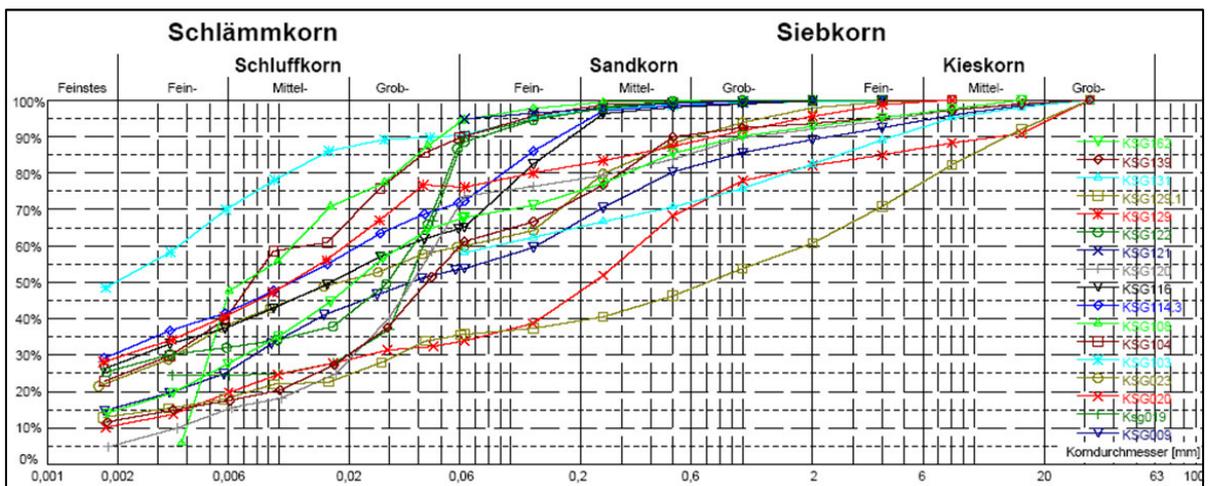


Abb. 4: Kornverteilung der in der Regel feinkörnigen Sedimente

Für die gemischtkörnigen Lockergesteine wurden in den ermittelten Kornverteilungen in allen Untersuchungen Feinkornanteile (Korndurchmesser > 0,063 mm) von größer 5 % ermittelt. Die Lockergesteine wurden deshalb durchgängig als gemischtkörnig eingestuft.

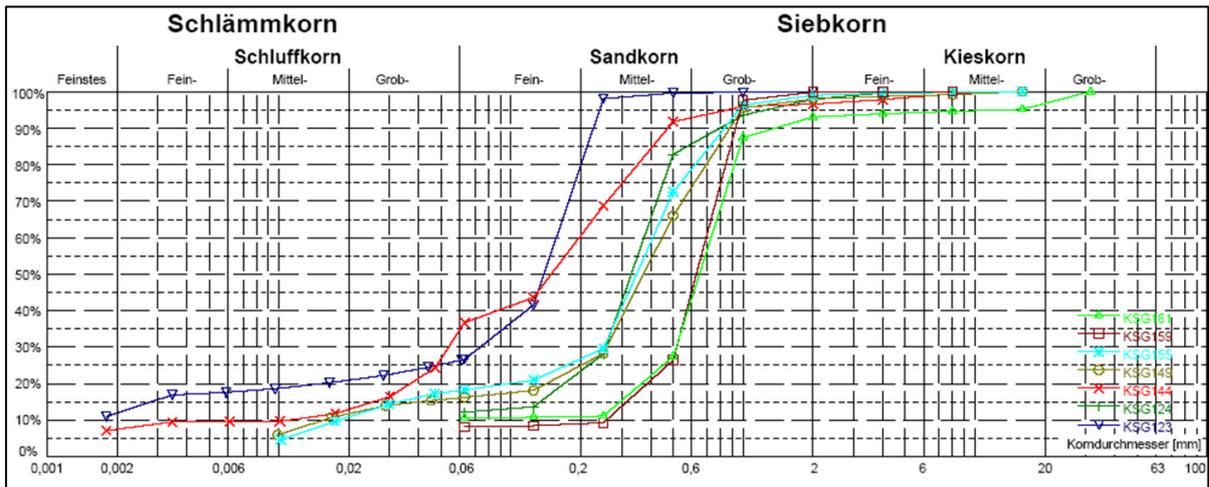


Abb. 5: Kornverteilungskurven der gemischtkörnigen Sedimente

Die fein- bis gemischtkörnigen Sedimente liegen in einer nicht zu systematisierenden Wechsellagerung vor. Die in den Abbildungen

Abb. 4 und Abb. 5 dargestellten Kornverteilungen spiegeln den fein- bis gemischtkörnigen Charakter der erkundeten Lockergesteine wider. Die Bandbreite der ermittelten Kornverteilungen reicht von Ton, stark schluffig, schwach sandig bis Fein- bis Grobsand, schwach schluffig. Die daraus abzuleitenden Bodengruppen (DIN 18 196) umfassen den Bereich SU/SU*, ST/ST* (gemischtkörnige Böden) bis UL/UM sowie TM/TA (feinkörnige Böden). In diese Matrix sind untergeordnet auch lokale Sande und Kiese eingelagert. In den Rammkernsondierungen nördlich der Haldenaufstandsfläche wurden vereinzelt grobkörnige Böden (Bodengruppe SW, SE) erkundet.

Für stark entfestigtes Probenmaterial aus der Schicht der veränderlich festen Gesteine wurde die Kornverteilung ermittelt. Es wurde meist ein gestrecktes Kornband festgestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Kompaktierung der Körner in dem veränderlich festen Gestein können vereinzelt auch Abweichungen von diesem gestreckten Kornband vorliegen (z. B. Laborproben KSG 025, KSG 153). Die ermittelten Kornverteilungen sind in Abb. 6 dargestellt. In situ liegt dieses Material überwiegend kompaktiert und verbacken vor. Die in den Kornverteilungen ermittelten Korngrößen im Sand- und Kieskornbereich spiegeln kein stabiles Korn wider. Bei weitergehendem Zerfall entstehen Korngrößen im Ton- und Schluffkornbereich.

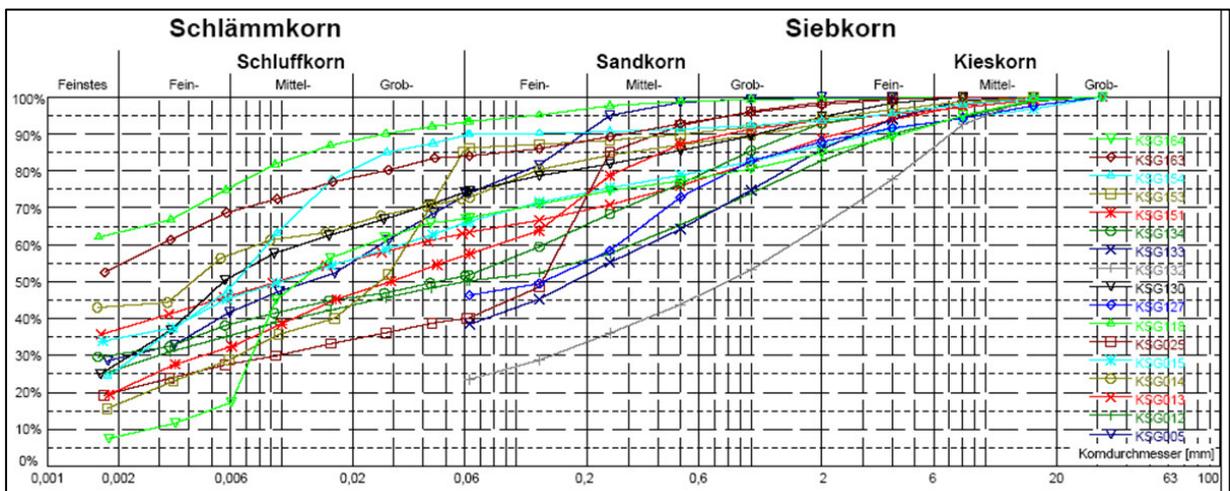


Abb. 6: Kornband für entfestigtes bis zersetztes, veränderlich festes Gestein

Für die massiven Gips-, Anhydrit- und Buntsandstein-Bereiche konnten keine Kornverteilungen bestimmt werden.

- Bestimmung der Zustandsgrenzen

Die Ergebnisse der Zustandsgrenzenbestimmung sind in den Anlagen 3.1 und 3.2.2 dargestellt. Diese zeigen, dass die feinkörnigen Lockergesteine in steifer bis halbfester, gelegentlich weicher Zustandsform vorliegen. Weiche Zustandsformen treten punktuell im Hangenden geringer durchlässiger Schichten in Folge von Staunässe auf. Aufgrund dieses Erkundungsergebnisses besitzen sie für die geotechnische Bewertung keine Relevanz.

- Proctorversuch

Proctorversuche wurden nur für den oberen bindigen Bereich des Lockergesteins durchgeführt, da diese feinkörnigen Böden bautechnische Relevanz besitzen.

Die Ergebnisse der Proctorversuche zeigen, dass das oberflächennah anstehende feinkörnige Sediment (Lehm) in natürlicher Lagerung, bezogen auf den Mittelwert der Versuchsergebnisse von $\rho_{Pr} = 1,850 \text{ g/cm}^3$ (Anlage 3.2.3), einen Verdichtungsgrad von $D_{Pr} > 66,8 \%$ (KB 7) bis $90,0 \%$ (KB 2) aufweist. Die vorliegenden Ergebnisse belegen, dass die oberflächennahen bindigen bis gemischtkörnigen Lockergesteine für Geländeprofilierungen (z. B. Setzungsausgleich) im Sinne einer bautechnischen Verwendung geeignet sind. Die genauen Einbauparameter sind im Zuge der jeweiligen Baumaßnahmen nach jeweiligem Abtrag und der notwendigen Homogenisierung abschnittsweise zu präzisieren.

- Ermittlung der Scherparameter

Die Ergebnisse sind in Anlage 3.2.4 für das untersuchte Lockergestein und das veränderlich feste Gestein zusammengestellt. Abb. 7 und Abb. 8 veranschaulichen die Streubreite der ermittelten Werte.

Die für die Lockergesteine ermittelten Winkel der inneren Reibung ϕ betragen ca. 15° bis 35° , die Kohäsion weist Werte von ca. 20 kN/m^2 bis 70 kN/m^2 auf.

Die Ergebnisse charakterisieren damit das Lockergestein als ein Gemenge von fein- bis gemischtkörnigen Böden in unterschiedlicher Lagerungsdichte und Zustandsform. Teufenabhängige Korrelationen lassen sich nicht ableiten.

Für den Parameter Kohäsion wurde unabhängig vom tatsächlichen Feinkornanteil eine große Schwankungsbreite ermittelt. Diese Schwankungsbreite wird auf Inhomogenität in den jeweiligen Proben zurückgeführt. Zur Ableitung charakteristischer Kennwerte, wurden nur die Versuchsergebnisse verwendet, für die Kohäsionen von $c \leq 40 \text{ kN/m}^2$ ermittelt wurden (rote Grenzgerade in Abb. 7). Diese Begrenzung wurde gewählt, da in dem Intervall $5 \text{ kN/m}^2 \leq c \leq 40 \text{ kN/m}^2$ die für bindige Lockergesteine typischen Werte für den kohäsiven Anteil der Scherfestigkeit liegen (Türke, 1990). Die versuchstechnisch ermittelten Werte von $c > 40 \text{ kN/m}^2$ sind auf Inhomogenitäten in der Probe zurückzuführen, wie z. B. größere Kieskörner, die mehr oder weniger schwimmend in einer bindigen Matrix eingelagert sind, jedoch festigkeitserhöhend wirken. Weiterhin ist nicht auszuschließen, dass in diesen Proben verfestigte Konglomeratbildungen vorliegen. Im Sinne der DIN 18196 ist diese Abgrenzung auch für gemischtkörnige Böden als plausibel anzusehen. Durch diese Abgrenzung wird ein konservatives Vorgehen im Sinne der Bewertungsaufgabe gewählt.

In der Abb. 7 sind alle Ergebnisse der durchgeführten Scherversuche dargestellt. In die Auswertung für die Ermittlung eines charakteristischen Kennwertes wurden nur die Versuchsergebnisse einbezogen, bei denen eine Kohäsion von $\leq 40 \text{ kN/m}^2$ ermittelt wurden.

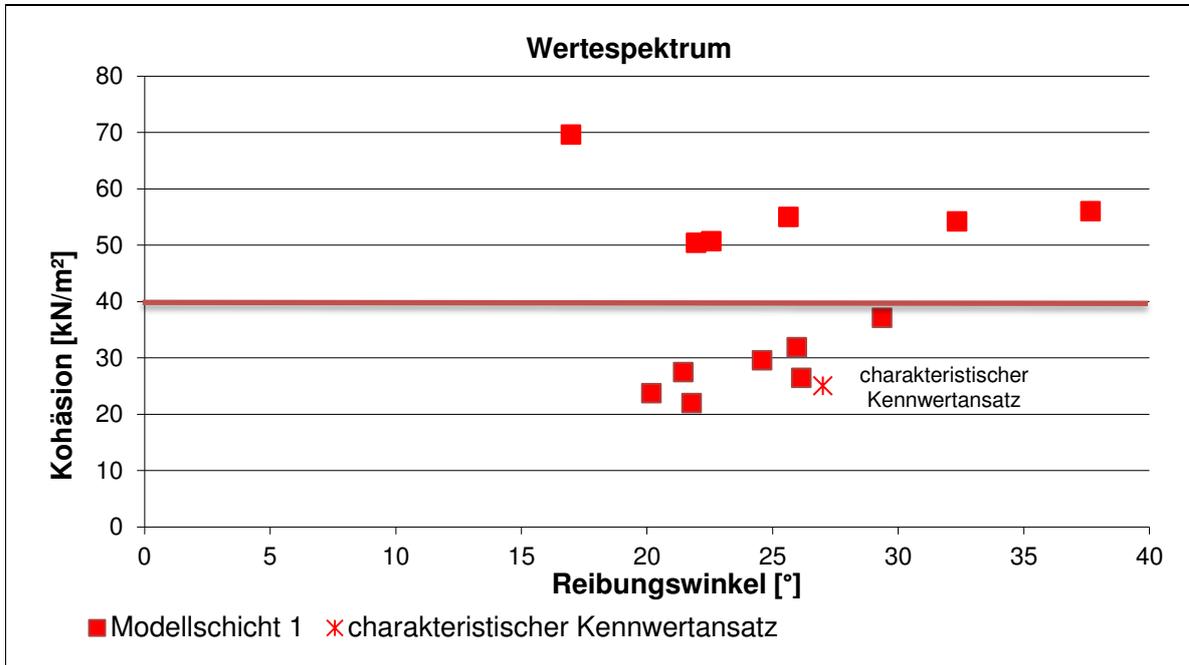


Abb. 7: Scherparameter für Lockergestein

Für das veränderlich feste Gestein wurde der Winkel der inneren Reibung ϕ im Wertebereich von ca. 10° bis ca. 40° ermittelt. Die Kohäsionen liegen im Bereich von ca. 110 kN/m^2 bis ca. 200 kN/m^2 .

Die Ergebnisse belegen den veränderlich festen Charakter dieser Gesteine. Die hohen Kohäsionen sind auf die Kompaktierung der vorhandenen Korngemische zurückzuführen.

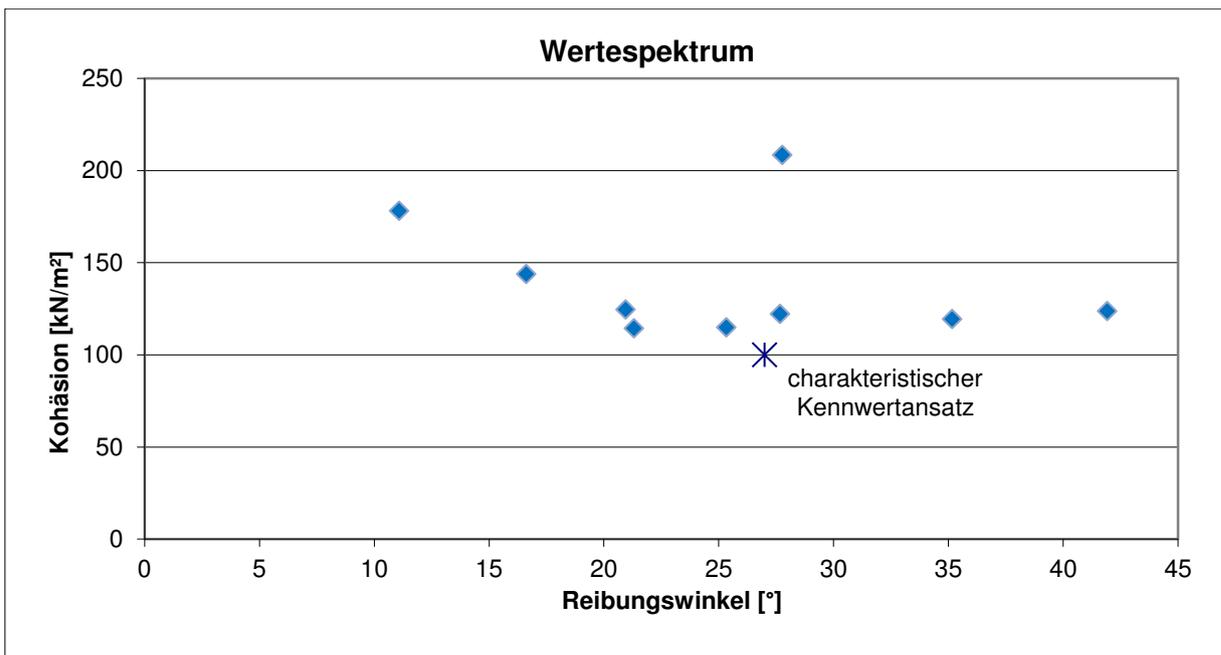


Abb. 8: Scherparameter für veränderlich festes Gestein

Die ermittelten Scherparameter (Lockergesteine und veränderlich festes Gestein) sind Grundlage der im Weiteren abgeleiteten charakteristischen Kennwerte (Kap. 5.3). Untersuchungen zu undrainierten Scherfestigkeiten erfolgten nicht. Aufgrund des Schüttregimes für die Halde und der damit verbundenen kontinuierlichen, zeitlich langanhaltenden Belastungserhöhungen auf den Baugrund tritt eine fortschreitende Konsolidierung auf. Undrainierte Scherfestigkeiten (Kohäsionen) sind somit für das Vorhaben der Rückstandshalde nicht relevant.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Scherversuche enthält Tab. 3.

Tab. 3: Statistische Auswertung der Scherversuche

Statistische Größen	bautechnisch relevante Schicht ¹⁾		Lockergesteine		veränderlich festes Gestein	
	Winkel der inneren Reibung ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Winkel der inneren Reibung ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Winkel der inneren Reibung ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]
Standardabweichung	6,64	8,83	5,5	15,5	9,34	32,93
Median	25,1	27,3	24,6	37,1	25,3	123,6
Max	38,6	38,6	37,7	69,6	41,9	208,4
Min	22,7	16,9	17,0	22,0	11,1	114,3
arithmetischer Mittelwert			25,1	41,1	25,32	138,73
Arithm. Mittelwert für Versuche mit Kohäsion ≤ 40 kN/m ²	27,1	25,7	24,2	28,3		

1) Die Ergebnisse für diese bautechnisch relevante Schicht sind in den Anlagen 3.1 und 3.2 als Schicht 0 zusammenfassend dargestellt. Die ermittelten Werte gelten für Versuche, in denen Kohäsionen von $c' \leq 40$ kN/m² ermittelt wurden.

Die bautechnisch relevante Schicht besitzt Mächtigkeiten von 0 bis max. 3 m. Sie wird im Rahmen der Profilierungsarbeiten der Aufstandsfläche größtenteils aufgenommen und mit veränderten mechanischen Eigenschaften zur Profilierung wieder eingebaut. Daher sind die hier festgestellten Parameter eigentlich nicht relevant. Da nicht auszuschließen ist, dass diese Schicht nicht überall vollständig aufgenommen wird und sie somit lokal und in geringer Mächtigkeit verbleiben kann, wird empfohlen, diese Schicht in der Bewertung der Standsicherheit zu berücksichtigen.

Die ermittelten Werte insbesondere für die Kohäsion haben eine große Streubreite (Tab. 3). Für die fein- bis gemischtkörnigen Sedimente ist die Schwankungsbreite auf die großen Unterschiede zwischen den Feinkorngehalten und den „schwimmend“ eingelagerten größeren Körnern zurückzuführen. Die Ergebnisse erfassen konservativ die inhomogenen und lokal schwankenden Baugrundverhältnisse innerhalb des Lockergesteins. Die Schwankungsbreite in den veränderlich festen Gesteinen ist auf die unterschiedliche Entfestigung des kompaktierten und verbackenen Korngerüsts zurückzuführen.

- Ermittlung des Steifemoduls

Die Ergebnisse der Ödometerversuche sind in Anlage 3.2.5 dargestellt.

Die in den Versuchen zur Ermittlung des Steifemoduls gewählten Laststufen berücksichtigen nachfolgende Grundsätze:

- Teufe der entnommenen Bodenprobe im jeweiligen Baugrund ohne zusätzliche Auflast (primärer Spannungszustand),
- Berücksichtigung der durch die neue Halde entstehenden zusätzlichen Auflast,
- Beachtung möglicher überkonsolidierter Verhältnisse infolge eiszeitlicher Vergletscherung.

Aufgrund dieser zu berücksichtigenden Bedingungen wurden die Laststufen 50 kN/m² / 100 kN/m² / 200 kN/m² / 400 kN/m² / 800 kN/m² in den Ödometerversuchen verwendet.

Die Auswertung der Ödometerversuche zeigt, dass für das Lockergestein und das veränderlich feste Gestein unterschiedliche Steifemoduln ermittelt wurden. Für das Lockergestein liegt der Mittelwert des Steifemoduls bei 24,20 MN/m² und für das veränderlich feste Gestein bei 60,00 MN/m². Innerhalb der jeweiligen Schicht treten Variationen in den in Tab. 4 angegebenen Grenzen auf.

Tab. 4: Statistische Auswertung der Ödometerversuche bezogen auf den Haldenstandort

Statistische Größen	Steifezahl aus Ödometerversuch [MN/m ²]	
	Lockergesteine	veränderlich festes Gestein
Standardabweichung	17,92	16,82
Median	18,00	60,00
Max	54,00	90,00
Min	10,00	27,00
arithmetischer Mittelwert	24,20	60,00

Die in Tab. 4 dargestellten Werte der Steifemoduln beziehen sich auf die Teufenlage der Probenahme unter Beachtung der Haldenauflast und berücksichtigen damit die maßgebenden Normalspannungen. Die ermittelten Werte für die Steifemoduln sowohl für das Lockergestein als auch das veränderlich feste Gestein weisen relativ große Streubreiten auf. Diese sind im Lockergestein auf die unterschiedlichen Kornverteilungen der gemischt- bis feinkörnigen Böden, die in Wechsellagerung vorliegen, zurückzuführen.

Bei den veränderlich festen Gesteinen ergibt sich die Schwankungsbreite insbesondere durch die unterschiedliche Entfestigung des vorhandenen Materials. Bei der Interpretation der Versuchsergebnisse für die Ermittlung des Steifemoduls sind folgende Mechanismen zu berücksichtigen:

- „Überkonsolidierte“ Verhältnisse im Bereich der veränderlichen festen Gesteine,
- Entlastung des Probenmaterials durch den Bohrvorgang und die Probenahme.

Die Berücksichtigung dieser Mechanismen rechtfertigt den Ansatz der Zweitbelastungsmoduln (Tab. 4) für die Festlegung der Steifemoduln des veränderlich festen Gesteins.

- Bestimmung Glühverlust

Die Ergebnisse des Glühverlustes sind in Anlage 3.2.7 dargestellt. Die Untersuchungen des Glühverlustes erfolgten stichprobenartig an den Lockergesteinsproben. Die Ergebnisse belegen, dass keine bzw. nur schwach organogene Lockergesteine vorliegen. Die organischen Bestandteile sind für die weitere Klassifizierung bzw. Bewertung der Standorteigenschaften damit nicht maßgebend.

- Bestimmung einaxiale Druckfestigkeit

Diese Versuche wurden an Proben des Lockergesteins und des veränderlich festen Gesteins durchgeführt. Tab. 5 enthält die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse. Die Versuchsergebnisse (Anlage 3.2.8) zeigen für veränderlich feste Gesteine einaxiale Druckfestigkeiten von ca.1 bis ca. 13 N/mm². Die Druckfestigkeiten bestätigen die kompakte Lagerung und die damit verbundene geringe Kompressibilität des veränderlich festen Gesteins. Die Druckfestigkeiten des veränderlich festen Gesteins sind signifikant höher als die des Lockergesteins. Der Ansatz der Zweitbelastung für die Bestimmung des Steifemoduls wird dadurch gestützt.

Die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeiten wurde nur für die entfestigten Bereiche des veränderlich festen Gesteins als konservativer Ansatz untersucht.

Tab. 5: Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit

statistische Größen	einaxiale Druckfestigkeit	
	Lockergestein (bindige Proben) [N/mm ²]	veränderlich festes Gestein [N/mm ²]
Standardabweichung	0,20	5,79
Median	0,51	6,60
Max	0,59	13,20
Min	0,12	1,16
arithmetische Mittelwert	0,42	7,14

- Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f -Wert)

Für die Lockergesteinsschicht wurden an Proben die k_f -Werte nach DIN 18 130 ermittelt (vgl. Abb. 9).

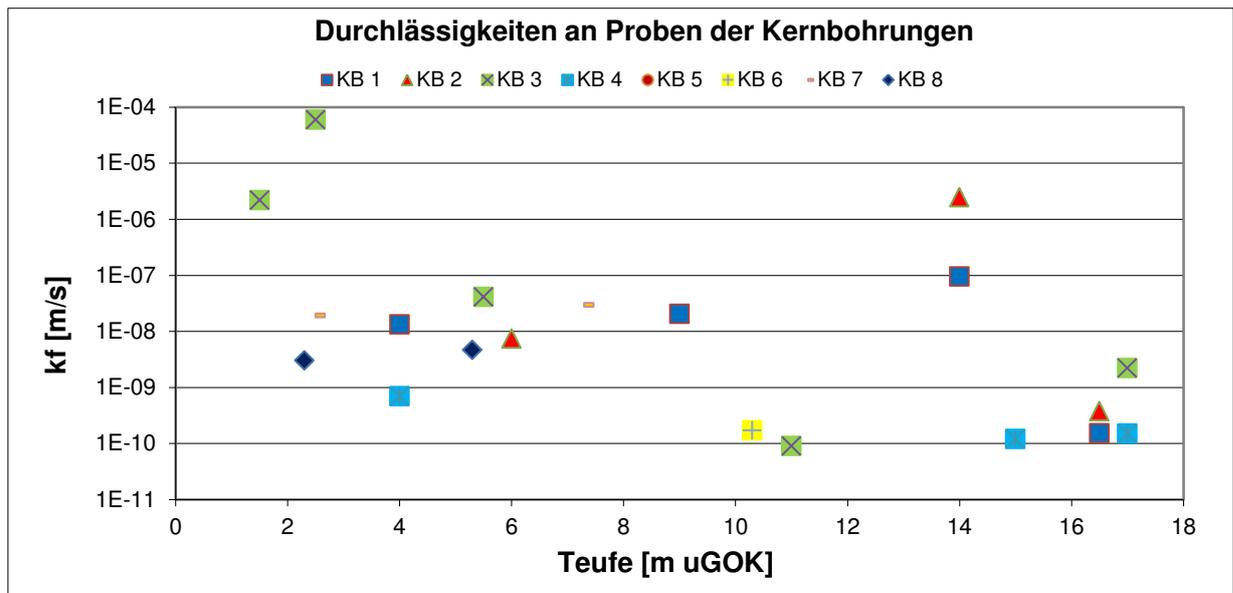


Abb. 9: Teufenbezogene Darstellung der k_f -Werte von Proben der KB 1 bis KB 8

Grundsätzlich kann eingeschätzt werden, dass die feinkörnigen Sedimente grundwasserhemmende Eigenschaften besitzen. Die ermittelten k_f -Werte für diese Schichten liegen bei $k_f \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Die eingeschalteten höher durchlässigen gemischtkörnige Bereiche (nur 3 Proben) weisen k_f -Werte von $1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$ m/s auf (Anlagen 3.1 und 3.2.6). Insgesamt dominieren die geringdurchlässigen Sedimente deutlich und bestimmen damit auch den Charakter der gesamten Schichtenfolge als Grundwassergeringleiter bis –stauer.

- Klassifizierung der Bodenschichten

In Tab. 6 ist die Klassifizierung der Baugrundsichten nach DIN 18 196 und 18 300 für bautechnische Zwecke zusammengefasst.

Tab. 6: Klassifizierung der Baugrundsichten nach DIN 18 196 und 18 300

Baugrundsicht	Kriterium	Einstufung
Lockergestein: feinkörnige Böden	Bodengruppe nach DIN 18 196	UL, UM, TL, TM, TA
	Bodenklasse nach DIN 18 300	BK 4 mittelschwer lösbare Bodenarten
	Frostempfindlichkeit nach ZTV E StB09	F 3 sehr frostempfindlich
Lockergestein: gemischtkörnige Böden	Bodengruppe nach DIN 18 196	SU*, GU*, ST*, SU
	Bodenklasse nach DIN 18 300	i.d.R. BK 4 mittelschwer lösbare Bodenarten
	Frostempfindlichkeit nach ZTV E StB09	F 2/F 3
Lockergestein: grobkörnige Böden ¹⁾	Bodengruppe nach DIN 18 196	GE, SE, GW, SW
	Bodenklasse nach DIN 18 300	BK 3 leicht lösbare Bodenarten
	Frostempfindlichkeit nach ZTV E StB09	F 1 nicht frostempfindlich

1) untergeordnete Bedeutung für Baugrundbewertung, da flächige Verbreitung nur außerhalb der Haldenaufstandsfläche; die Angaben haben für Infrastrukturmaßnahmen (Kap. 8.2) Informationscharakter

Für das veränderlich feste Gestein erfolgt keine Klassifizierung, da es keine bautechnische Relevanz besitzt.

5.3 Ableitung Baugrundmodell

5.3.1 Geometrische Abgrenzung

Für ein geotechnisches Baugrundmodell und die daraus abzuleitenden gründungstechnischen Schlussfolgerungen für die gesamte Halde ist eine Schichtabgrenzung und modellhafte Zusammenfassung der Schichten, verbunden mit einer Abstraktion der realen geologischen Verhältnisse (siehe geologische Schnitte in Anlage 2.3) erforderlich. Diese Abgrenzung und Zusammenfassung basiert auf den stratigrafischen Verhältnissen in Verbindung mit den geotechnischen Eigenschaften der Gesteine. Im Ergebnis der vorliegenden Erkundungsarbeiten und Kennwertbestimmungen wird für den Haldenstandort das folgende geotechnische Baugrundmodell abgeleitet (Anlage 4).

Modellschicht 1: Lockergesteine in unterschiedlicher Ausbildung und Zusammensetzung

Modellschicht 2: veränderlich feste Gesteine in unterschiedlichen Mächtigkeiten und in unterschiedlichen Steifigkeiten.

Diese Modellschichtabgrenzung bildet die Grundlage des im Weiteren verwendeten Berechnungsmodells für Setzungsabschätzungen und Untersuchungen zur Böschungsstandsicherheit der Rückstandshalde. Im Einzelnen werden entsprechend den Schnittlagen in Abb. 2 und der geologischen und geomechanischen Interpretation des Untergrundes in den Abb. 10 und Abb. 11 die im Weiteren beschriebenen Schnittmodelle für den geotechnischen Berechnungsschnitt B-B' (Anlage 4.2) abgeleitet.

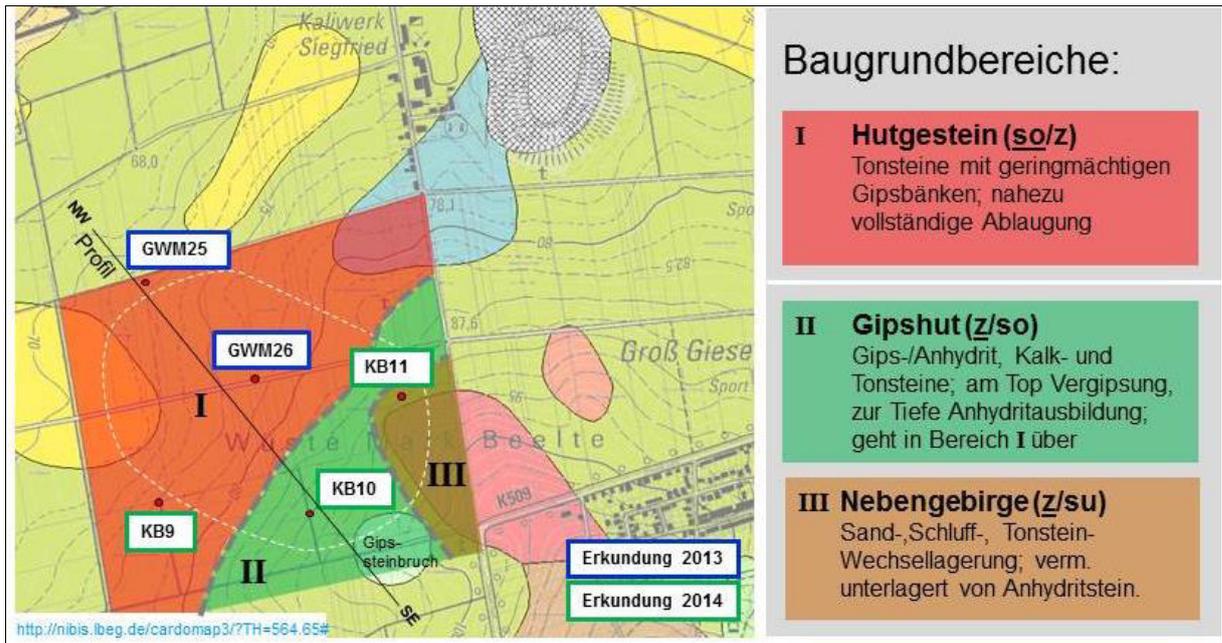


Abb. 10: Haldenuntergrund nach geologischer und geomechanischer Interpretation

Dieses Bild ergibt sich aus der Symbiose der Interpretation der ingenieurgeologischen Karte IG K50 (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, 2014) und den Erkundungsergebnissen 2013 und 2014.

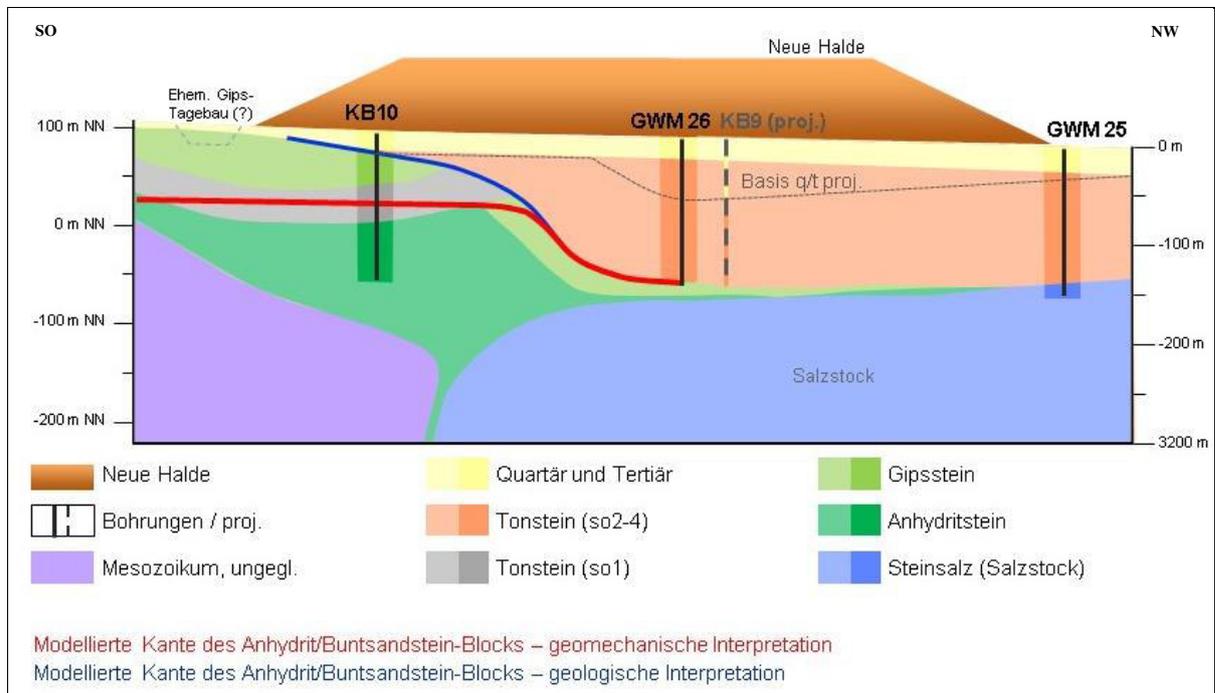


Abb. 11: Schematischer geologischer Schnitt (Schnittspur gemäß Abb. 10)

In den geotechnischen Schnitten (Anlage 4) sind die Erkundungsergebnisse des Haldenuntergrundes dargestellt. Der nordwestliche Haldenuntergrund ist geprägt durch quartäre und tertiäre Lockergesteinsablagerungen (Modellschicht 1) über Hutgestein (Modellschicht 2), bestehend aus Tonsteinen mit geringmächtigen Gipsbänken. Diese typische Baugrundsichtung ist durch die Aufschlüsse

GWM 25 und GWM 26 belegt. Eine vergleichbare Schichtenfolge wurde in der KB 9, jedoch mit Lockergesteinsmächtigkeiten von bis zu ca. 60 m Mächtigkeit aufgeschlossen (Abb. 11). Im südöstlichen Bereich der Halde wurde unter den Lockergesteinsschichten (Modellschicht 1) Gips-/Anhydrit (im Topbereich vergipst, mit zunehmender Teufe Anhydritausbildung) sowie Kalk- und Tonsteine (KB 10) erkundet. In der KB 11 wurde Hutgestein als Wechsellagerung von Sand-, Schluff- und Tonsteinen mit eingelagertem Buntsandstein aufgeschlossen. Diese veränderlich festen Gesteine wurden in der Modellschicht 2 zusammengefasst.

In der Modellschicht 2 (veränderlich festes Gestein) werden aufgrund der Verformungseigenschaften „harte“ und „weiche“ Bereiche unterschieden. Die sich daraus ergebende Zuordnung der Steifemoduln ist in Kapitel 8.1 ausführlich dargestellt.

Zur Abschätzung der zu erwartenden Setzungen des Haldenuntergrunds wurden Berechnungsmodelle mit vereinheitlichter Baugrundsichtung und repräsentativen teufenabhängigen Steifemoduln abgeleitet. Die Teufenabhängigkeit der Steifemoduln besteht durch die Korrelation mit der zur Tiefe hin zunehmenden Vertikalspannung. Zur Berücksichtigung der heterogenen Untergrundverhältnisse wurden drei Berechnungsvarianten für den geotechnischen Berechnungsschnitt B - B' betrachtet. Alle Berechnungsergebnisse wurden schematisch auf diese Schnittspur projiziert. Die Berechnungsmodelle widerspiegeln damit die aus den Erkundungsergebnissen abgeleiteten Mächtigkeiten und Verbreitungsgrenzen der Modellschichten.

Schnittmodell B-B'

Basis für das Schnittmodell B - B' bildet die geologische Interpretation in konservativer Zusammenführung aller Erkundungsergebnisse (geotechnischer Schnitt B - B') in der nachfolgenden Abbildung.

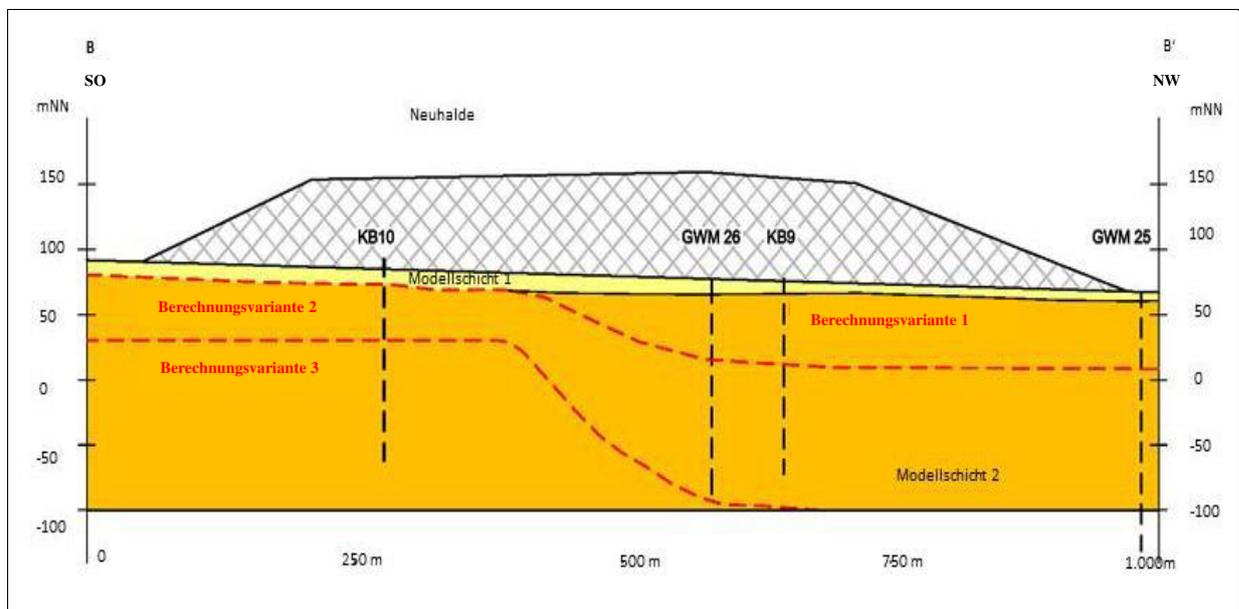


Abb. 12: Schematisches Schnittmodell B - B'

- **Fixe Randbedingungen:**

- Baugrundeinfallen ca. 2 - 3 ° nach Nordwesten
- maximale Haldenhöhe variiert von ca. 70 m im Südosten und ca. 80 m im Nordwesten.

Unter konservativem Ansatz aller Bohrergebnisse ergeben sich mit der Zielstellung der nachgeordneten Untersuchungen (Standicherheit, Gebrauchstauglichkeit) nachfolgende Berechnungsvarianten.

- **Berechnungsvarianten:**

Berechnungsvariante 1 (B-B') - Homogener Untergrund:

- **bautechnisch relevante Schicht:** oberste bis zu 3 m mächtige Bodenschicht (Lehm)
($E_S = 13 \text{ MN/m}^2$)
- **Modellschicht 1:** Teufe bis 20 m ($E_S = 40 \text{ MN/m}^2$)
- **Modellschicht 2:** Teufe 20 m bis 150 m ($E_S = 100 \dots 150 \text{ MN/m}^2$)

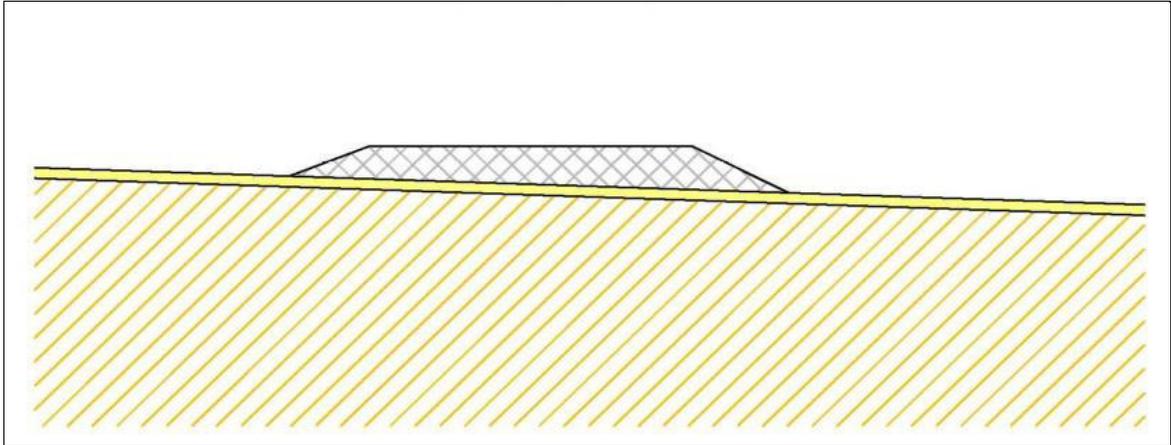


Abb. 13: Berechnungsvariante 1

**Berechnungsvariante 2 (B-B') - lokale Lockergesteinsmächtigkeiten bis 60 m
(Modellschicht 1):**

- **bautechnisch relevante Schicht:** oberste bis zu 3 m mächtige Bodenschicht (Lehm)
($E_S = 13 \text{ MN/m}^2$)
- **Modellschicht 1:** im NW: Teufe bis 60 m ($E_S = 40 \dots 60 \text{ MN/m}^2$)
im SO: Teufe bis 20 m ($E_S = 40 \text{ MN/m}^2$)
- **Modellschicht 2:** im NW: Teufe 60 m bis 150 m ($E_S = 150 \text{ MN/m}^2$)
im SO: Teufe bis 20 m bis 150 m ($E_S = 100 \dots 150 \text{ MN/m}^2$)

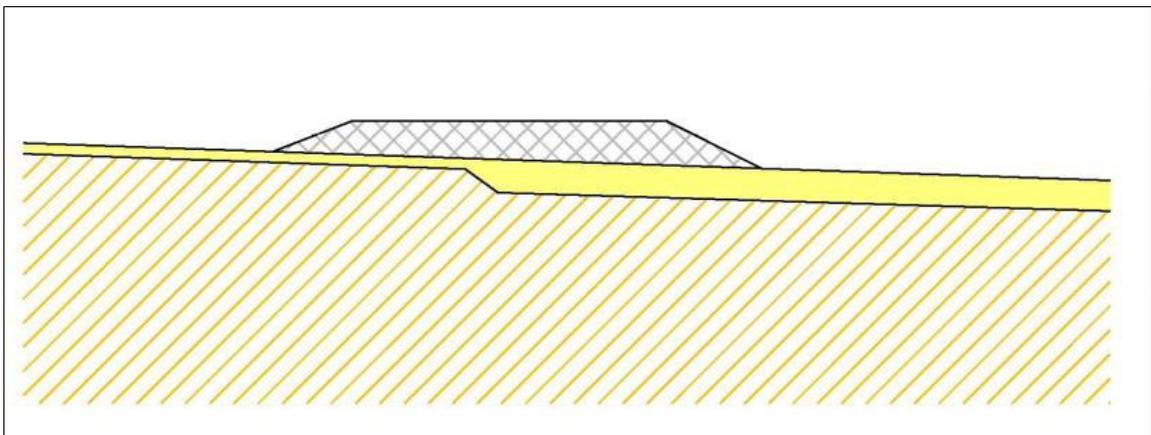


Abb. 14: Berechnungsvariante 2

Berechnungsvariante 3 (B-B') - oberflächennahes Hutgestein:

- **bautechnisch relevante Schicht:** oberste bis zu 3 m mächtige Bodenschicht (Lehm) ($E_S = 13 \text{ MN/m}^2$)
- **Modellschicht 1:** im NW: Tiefe bis 60 m ($E_S = 40 \dots 60 \text{ MN/m}^2$)
im SO: Tiefe bis 20 m ($E_S = 40 \text{ MN/m}^2$)
- **Modellschicht 2:** im NW: Tiefe 60 m bis 150 m ($E_S = 150 \text{ MN/m}^2$)
im SO: Tiefe bis 20 m bis 60 m ($E_S = 100 \text{ MN/m}^2$)
- **Modellschicht 3:** im SO: Tiefe bis 60 m bis 150 m ($E_S = 1.500 \text{ MN/m}^2$)

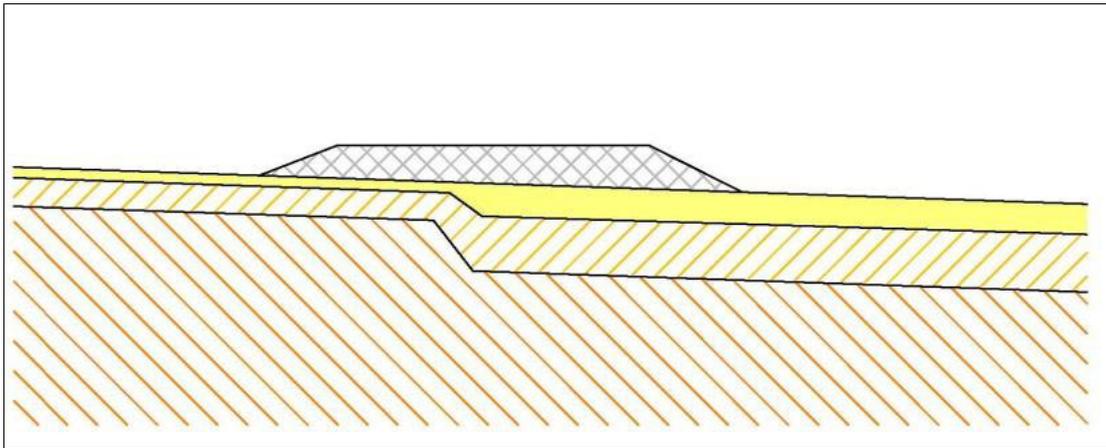


Abb. 15: Berechnungsvariante 2

Das Schnittmodell für den geotechnischen Schnitt B - B' basiert im Sinne einer konservativen geotechnischen Betrachtung auf den ingenieurgeologischen Karten, den aktuellen Bohrergebnissen und der geologischen Interpretation und wurde damit für eine maximale Baugrundbeanspruchung abgeleitet.

5.3.2 Materialparameter

Die Kennwerte für die Modellschichten wurden aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen der geotechnischen Untersuchungen gemäß Tab. 2 und Anlage 3.1 abgeleitet.

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen werden als charakteristische Kennwerte für die Modellschichten die Werte gemäß Tab. 7 angesetzt.

Tab. 7: Charakteristische Kennwerte für die Modellschichten

	Modellschicht 1		Modellschicht 2	
	charakteristischer Kennwert	unterer bis oberer Grenzwert	charakteristischer Kennwert	unterer bis oberer Grenzwert
Wichte γ_k [kN/m ³]	18	16 – 22	21	19 – 23
Wichte unter Auftrieb γ'_k [kN/m ³]	8	6 – 12	11	9 – 13
Winkel der inneren Reibung ϕ'_k [°]	27	17 – 38	27	11 – 42
Kohäsion c'_k [kN/m ²]	25	16 – 40	100	114 – 208
Steifemodul E_S [MN/m ²]	18	10 – 54	60	60 - 1.500* 27 – 80 - ≥150 1.500*

* Erfahrungswerte aus vergleichbaren geologisch, geotechnischen Bedingungen (IHU Geologie & Analytik GmbH, 1999)

Die ermittelten Werte für die Winkel der inneren Reibung und Kohäsion liegen damit in der Größenordnung für empfohlene Richtwerte für gemischtkörnige Lockergesteine. Die Kohäsion von $c \sim 25 \text{ kN/m}^2$ als charakteristischer Wert ist als plausibel zu bewerten.

Der Kennwert Kohäsion wurde für die Modellschicht 2 mit c'_k mit 100 kN/m^2 angesetzt und liegt damit unterhalb der Spanne der in den Versuchen bestimmten Werte. Dieser Wert wurde als Grenzwert für die Modellschichtabgrenzung definiert. Damit wird ein konservativer Kennwertansatz verwendet, der entsprechende Sicherheitsreserven beinhaltet.

Für die im Süden bzw. Südosten vorhandenen Gipse, Anhydrite und Sandsteine größerer Mächtigkeit (Bohrungen KB 9 – KB 11) werden höhere Steifigkeiten im Bereich von 1.500 MN/m^2 für die Setzungsberechnungen im Analogieschluss (IHU Geologie & Analytik GmbH, 1999) als konservativer Parameteransatz angesetzt.

In den Ergebnisdarstellungen der bodenmechanischen Laboruntersuchungen (Anlage 3.1 und 3.2) wurden neben den Kennwerten für die Modellschichten 1 und 2 Angaben für eine Schicht 0 ausgewiesen, die fast ausschließlich nur bautechnische Bedeutung hat. Diese Schicht wird voraussichtlich in der Bauphase nicht überall vollständig aufgenommen. Somit können lokal und in geringer Mächtigkeit in Böschungsbereichen der Halde Schichtreste verbleiben. Es wird daher empfohlen, diese Schicht 0 in der Bewertung der Standsicherheit der Rückstandshalde zu berücksichtigen.

6 Grundwasserverhältnisse

Die hydrogeologische Situation am geplanten Haldenstandort wurde bereits in Kap. 3 erörtert. Die während der Erkundungsarbeiten erbohrten Wasseranschnitte in den jeweiligen Baugrundaufschlüssen sind in Tab. 8 und die gemessenen Wasserstände an den GWM in Tab. 9 dokumentiert.

Tab. 8: Wasseranschnitte während der Bohrarbeiten

Aufschluss	Wasseranschnitte beim Abteufen der Bohrungen			
	Datum Messung	Geländehöhe	Wasserstand	
		[m NN]	[m u GOK]	[m NN]
im Bereich der Haldenaufstandsfläche				
KB 4/013	05.03.2013	73,1	4,8	68,3
KB 5/013	04.03.2013	81,7	8,7	73
KB 6/013	28.03.2013	74,9	trocken	
KB 7/013	12.04.2013	87,1	8,3	78,8
KB 8/013	18.02.2013	94,0	trocken	
KB 10/14	27.06.2014	90,3	trocken	
KB 11/14	05.08.2014	91,4	trocken	
RKS 10/013	13.03.2013	70,5	2,17	68,33
RKS 11/013	13.03.2013	74,3	4,89	69,41
RKS 12/013	12.03.2013	79,2	1,82	77,38
RKS 14/013	05.03.2013	73,0	5,03	67,97
RKS 15/013	06.03.2013	77,7	2,41	75,29
RKS 17/013	07.03.2013	93,2	trocken	
GWM 26	28.10.2013	76,8	2,7	74,1
GWM 26	18.11.2013	76,8	4,05	72,75
außerhalb der Haldenaufstandsfläche im Umfeld				
KB 1/013	27.03.2013	66,8	5,9	60,9
KB 2/013	19.03.2013	72,3	1,9	70,4
KB 3/013	25.03.2013	77,8	14,5	63,3
KB 9/14	29.04.2014	77,5	4,80	72,7
RKS 1/013	14.03.2013	70,2	5,11	65,09
RKS 2/013	14.03.2014	66,6	1,21	65,39
RKS 3/013	14.03.2013	68,7	1,71	66,99
RKS 5/013	07.03.2013	75,5	4,43	71,07
RKS 6/013	07.03.2013	71,2	4,62	66,58
RKS 7/013	11.03.2013	73,5	6,15	67,35
RKS 8/013	12.03.2013	77,8	2,81	74,99
RKS 9/013	06.03.2013	79,4	5,1	74,3
RKS 13/013	12.03.2013	82,8	1,69	81,11
RKS 18/013	05.03.2013	76,7	6,83	69,87
RKS 19/013	05.03.2013	85,7	10,51	75,19
RKS 20/013	04.03.2013	97,5	trocken	
GWM 25	12.09.2013	72,07	2,35	69,72

Tab. 9: Wasserstände in den GWM

Grundwasser- messstellen	Ruhewasserspiegel 05/2014			
	Datum Messung	Messpunkthöhe [m NN]	Wasserstände	
			[m u GOK]	[m NN]
GWM im Bereich der Haldenaufstandsfläche				
GWM 26	05.05.2014	76,74	4,94 *(4,05)	71,80 *(72,69)
GWM außerhalb der Haldenaufstandsfläche im unmittelbarem Umfeld (quartärer GWL)				
GWM 1 (SB01/2011)	05.05.2014	70,94	6,4 *(0,85)	67,92 *(70,09)
GWM 2 (SB02/2011)	05.05.2014	84,42	1,39 *(0,41)	83,03 *(84,01)
GWM 9 (KRB09/2011)	05.05.2014	77,44	3,22 *(2,15)	74,22 *(75,29)
GWM 17	05.05.2014	102,08	trocken	
GWM 24	05.05.2014	87,7	1,87 *(0,76)	85,83 *(86,94)

* (4,05) registrierter Höchstwert (überwiegend Staunässe)

Bei den in GWM 2 ermittelten Wasserständen handelt es sich um Staunässe. Durch bautechnische Maßnahmen kann eine Ableitung dieser Wässer infolge von temporärer Staunässe erfolgen. Diese temporär mögliche Staunässe ist technisch beherrschbar.

Die ermittelten Wasseranschnitte zeigen, dass in der Modellschicht 1 (Lockergestein) keine zusammenhängende Grundwasseroberfläche vorliegt. Vielmehr ist aufgrund der Wechsellagerung der bindigen und gemischtkörnigen Böden davon auszugehen dass es sich bei den angetroffenen Wasserführungen um Staunässe handelt. In Abhängigkeit von der Niederschlagsituation und den örtlichen Versickerungsverhältnissen verändern sich die Wasserstände. Im unmittelbaren Umfeld der Haldenaufstandsfläche lagen nach einem Starkregenereignis im Mai 2013 die gemessenen Wasserstände in den Grundwassermessstellen (GWM 1, GWM 2, GWM 24 und GWM 9) max. 1 m über denen der Stichtagsmessung vom 27.03.2014. Die beispielhaft angeführten Stichtagsdaten 05/2014 der Grundwassermessstellen im unmittelbaren Bereich der Haldenaufstandsfläche (Tab. 9) bestätigen einen Flurabstand von größer 1 m.

Eine vorläufige Auswirkungsabschätzung in Bezug auf die Flurabstände wurde in der Unterlage I-7 vorgenommen.

Eine Versiegelung infolge der Haldenerrichtung würde eine geringere Grundwasserneubildung bedingen und somit die Grundwasserführung noch weiter verringern (Unterlage).

7 Subrosion

7.1 Allgemeines

Subrosion umfasst alle Vorgänge und Folgen der unterirdischen Gesteinsverwitterung und -abtragung. Damit verbunden können unterirdische Hohlräumbildungen auftreten. Natürliche unterirdische Hohlräume entstehen durch Substanzverlagerungen, welche durch die sich im Untergrund bewegenden Wässer hervorgerufen werden. Der Stofftransport kann in gelöster Form (Korrosion) oder durch mechanisch-erosive Umlagerung (Suffusion bzw. innere Erosion) erfolgen.

7.2 Verhältnisse im Haldenuntergrund

7.2.1 Luftbildauswertung

Für den Bereich des zu betrachtenden Haldenstandortes erfolgte eine multitemporale Luftbildanalyse der verfügbaren Luftbilder mit stereoskopischer Auswertung. Diese erfolgte mit der Zielstellung, Hinweise auf Subrosionserscheinungen (Lineamente; Erdfälle; Spuren zugeschütteter Erdfälle; Initialstadien bzw. Senkungsbereiche falls erkennbar - beispielsweise durch Änderungen im Feuchteregime) zu erkennen.

Methodische Vorgehensweise

Es erfolgte die Erzeugung eines Fernerkundungs-GIS, in dem alle zur Verfügung stehenden Luftbilder (Jahre 1966 bis 2013) zur weiteren Verarbeitung vorprozessiert (Georeferenzierung, Histogrammabgleich) wurden. Der Erkundungsmaßstab betrug je nach räumlicher Auflösung der Luftbilder 1 : 2.000 bis 1 : 4.000. Als Referenz für subrosionsbedingte Prozessspuren in Luftbildern wurde der Formenkatalog vom ehemaligen Salzigen See (Sachsen-Anhalt, aus Luftbilddaten von 1966 bis 1999) verwendet.

Ergebnisse der historischen Erkundung

Alle vorliegenden Luftbilder für den Haldenstandort wurden systematisch und vollständig auf Hinweise von unterirdischen Lösungsprozessen analysiert, um eventuelle frühere Ereignisse zu erfassen und um aus der Dynamik der Landnutzung Rückschlüsse zur Problematik ziehen zu können.

Dabei ließen zunächst einige Bereiche Untergrundprozesse vermuten, die jedoch anhand der multitemporalen Analyse ausgeschlossen werden konnten.

Die vollständige Dokumentation zu den ausgewerteten Luftbildern enthält Anlage 5.1. Abschließend ist festzustellen, dass derzeit keine Hinweise auf das Vorhandensein von Erdfällen oder andere subrosionsbedingte Formen vorliegen und auch die historische Analyse **keinen Hinweis auf Subrosionsprozesse im Bereich der geplanten Halde** ergibt.

7.2.2 Auswertung und Interpretation der Bohrergebnisse

Die Bohrkern der GWM 25, GWM 26, KB 9 und KB 10 wurden auf Hinweise von fossilen und rezenten Subrosionserscheinungen visuell detailliert untersucht.

In diesen Bohrungen wurden unter bis zu ca. 60 m quartärer und tertiärer Überdeckung rötlichbraune Tone bis Tonsteine, z. T. brecciös verbacken mit Sulfaten (Gips) erbohrt. In den Bohrkernen wurden folgende Hinweise auf Subrosionserscheinungen festgestellt. In den GWM 25 und GWM 26 handelt es sich um angelöste Gipslagen bis hin zu gelblichen Rückstandstonen (z.B. GWM 25 von 18 m bis 19 m u. GOK), die vornehmlich an der Basis der sulfatischen Lagen auftreten. Lokal wurden Marienglasrekrystallisationen angetroffen, die neben einem Materialabbau ebenso einen Neuaufbau von Material dokumentieren. Eine Gegenüberstellung der Bohrprofile GWM 25, GWM 26 und KB 9 zeigt, dass eine direkte Korrelation der erbohrten Schichten nicht möglich ist. Es handelt sich hierbei um salinartektonisch beeinflusste Röttschollen (Verwitterungs- und Umlagerungsprodukte des Röts) mit sulfatischen Einschaltungen. Das lässt den Schluss zu, dass die Gipshorizonte nicht flächig ausgebildet, sondern weitestgehend in Tone und Tonsteine eingebettet sind.

In der südlichsten Bohrung KB 10 wurden darüber hinaus ab ca. 70 m Tiefe massive Gips- und Anhydritsteine aufgeschlossen. In diesen Sulfaten treten nur lokal sehr begrenzt Marienglasbildungen auf. Darüber hinaus wurden keine weiteren Lösungserscheinungen festgestellt. Dies bestätigt das Ergebnis der hydrogeologischen Erkundung (Unterlage I-7), wonach in diesem Bereich keine Grundwasserführung vorhanden ist.

In der KB 11 wurden, abgesehen vom ca. 1 m mächtigem Ohre-Anhydrit des Zechstein 6 in etwa 125 m Teufe, keine Sulfatgesteine angetroffen.

7.3 Gefährdungseinschätzung für den Standort

Der Haldenstandort befindet sich im Randbereich des Sarstedter Salzstocks. Typischerweise ist über Salzstöcken eine Hutzone ausgebildet. Diese besteht hier aus Rückstandsbildungen von subrosiven Auslaugungsprozessen, Residualtonen und -sulfaten sowie Restschollen einstiger mesozoischer Gesteinsüberdeckungen.

Unter quartären und teilweise tertiären Lockergesteinsschichten wurden rötlichbraune Tone bis Tonsteine, z. T. brecciös verbacken mit sulfatischen Lagen, erkundet. Diese lösefähigen Partien wurden jedoch isoliert, in grundwasserhemmende Schichten (Tone bis Tonsteine) eingebettet, angetroffen. In den Bohrungen GWM 25, GWM 26 und KB 9 wurden geringe Lösungserscheinungen an der Basis der sulfatischen Lagen festgestellt.

In den massigen Gipsen und Anhydriten der KB 10 wurden kaum Lösungserscheinungen festgestellt, was auf die Einkapselung der Sulfate und die fehlende Grundwasserführung hinweist.

Durch eine Haldenerrichtung (Konsolidierung des Untergrundes) würden ggf. flächige Lösungshohlräume durch die Haldenauflast großflächig zusammengedrückt und die ohnehin geringe Grundwasserführung zusätzlich eingeschränkt. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass durch den Aufbau der Halde eine Geländeversiegelung erfolgt, die die Grundwasserneubildung und damit eine mögliche Speisung der temporär und lokal wasserführenden Horizonte weiter reduziert.

In der Bohrung GWM 25 wurde in einer Teufe von 138,0 m u. GOK der Salzspiegel erkundet. Prinzipiell im Bereich des Salzspiegels auftretende Lösungsvorgänge sind großflächig wirksam. Damit verbundene, mögliche Auswirkungen auf die Tagesoberfläche (z. B. Senkungen) werden durch die großen überlagernden Deckgebirgsmächtigkeiten mit mehr als 50 % Ton- und Tonsteinanteilen harmonisiert, so dass daraus resultierende großflächige Senkungen für die lokale Haldensituation vernachlässigbar sind.

Die Einschätzung der Gefährdungssituation infolge der Subrosion erfolgt in Anlehnung an die Bewertung nach Kategorien der Erdfallgefährdung des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie in Niedersachsen (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, 2014) und (Büchner, 1991) sowie die damit verbundene Methodik. In der Karte der Geogefahren Niedersachsen – Erdfall-

und Senkungsgebiete (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, 2014) sind keine Erdfälle innerhalb des Untersuchungsgebietes dargestellt und somit nicht im Erdfallkataster registriert. Auf Grund der Lage des Haldenstandortes im Randbereich des Sarstedter Salzstocks wäre zunächst generell eine Einstufung in die Kategorie 3 angezeigt. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse der Baugrunderkundung des geplanten Standortes erfolgt aber die Einstufung in die Kategorie 2. Zusammenfassend wird dies durch die folgenden Argumente begründet:

- Potentiell lösliche Gesteinspartien liegen nicht oberflächennah. Schadensfälle im Haldenaufstandsbereich und unmittelbaren Umfeld sind nicht bekannt.
- Die potentiell löslichen Gesteinspartien befinden sich darüber hinaus in einer Tiefe, aus der lokal geringe Lösungserscheinungen bekannt sind, aber Erdfälle generell sehr selten sind. Bekannte Erdfälle aus diesem Gebiet liegen in einem Abstand von mehr als 1.000 m vom Haldenrand.
- Die lösefähigen Gesteinspartien sind isoliert, in grundwasserhemmende Schichten (Tone bis Tonsteine) eingebettet.
- Die Errichtung der Halde wird zur Konsolidierung des Untergrundes und damit zum Zusammendrücken möglicher Lösungshohlräume durch die Haldenauflast führen und die ohnehin geringe Grundwasserführung zusätzlich einschränken. Gemäß I-7 liegt aus Südostrichtung keine relevante Grundwasserführung und damit kein bzw. nur sehr geringer Grundwasseranstrom vor.
- Durch den Aufbau der Halde mit einer Oberflächenabdeckung wird das Gelände versiegelt und die Grundwasserneubildung sowie eine Speisung der temporär und lokal wasser- bzw. staunässeführenden Horizonte reduziert.

Basierend auf den Bohrkernaufnahmen, der multitemporalen Luftbildauswertung und der Einordnung in die Kategorien der Erdfallgefährdung wird die aktive Subrosion als gering eingeschätzt. Es sind keine Auswirkungen (Erdfälle, Senkungsbereiche), die bis an die Oberfläche reichen, erkennbar. Bau-technische Sicherungsmaßnahmen sind somit nicht erforderlich.

8 Gründungstechnische Schlussfolgerungen und Empfehlungen

8.1 Rückstandshalde

- Aufbau des Berechnungsmodells für die Setzungsabschätzung

Die Errichtung der Halde führt zu Verformungen und Setzungen des Untergrundes. Dadurch können mechanische Einwirkungen auf die Haldenbasisabdichtung sowie Änderungen des Abflussverhaltens von Haldensickerwässern auftreten. Zur Beurteilung der Einwirkungen auf Abdichtung und Sickerwasserabfluss wurden Abschätzungen zum Setzungsverhalten vorgenommen. Im Folgenden werden die Methoden und Ergebnisse der durchgeführten Abschätzungen und die Schlussfolgerungen dargestellt.

Die Abschätzung des Setzungsverhaltens der Haldenaufstandsfläche erfolgte nach DIN 4019 mittels des PC-Programms GGU-Settle. Die DIN 4019 beschreibt Berechnungen von Untergrundsetzungen bei der Errichtung von Bauwerken. Im Berechnungsmodell wurde daher der Körper der Neuhalde derart abstrahiert, dass mehrere aneinandergrenzende rechteckige Fundamente selbigen modellhaft abbilden (vgl. Anlage 6). Die an den Fundamenteckpunkten anzusetzenden Sohldrücke wurden aus den jeweiligen Haldenauflasten (Wichte Halde $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$) ermittelt.

Die Angaben zur Wichte des Rückstandsmaterials wurden durch den Auftraggeber ermittelt und für die Standsicherheits- und Setzungsberechnungen vorgegeben.

Die modelltechnische Abbildung des Baugrundes erfolgte auf Grundlage der Erkundungsergebnisse an den Aufschlusspunkten und der in Kapitel 5.3 beschriebenen Modellschichten und der damit verbundenen geometrischen Abgrenzung. Den Modellschichten wurden anhand der Untersuchungsergebnisse Bodenkennwerte zugeordnet und für die Berechnung angesetzt (Tab. 7).

Zur Berücksichtigung der Inhomogenität des Untergrundes erfolgten die Berechnungen in drei Varianten mit veränderlichen Parametern (Untergrundschichtung, Steifemoduln). Die Berechnungsvarianten sind in Kapitel 5.3.1 beschrieben.

Zur Abschätzung des Setzungsverhaltens des Untergrundes wurden neben den aus den Ödometerversuchen ermittelten Steifemoduln der Bodenschichten Kennwerte für die KB 9 bis KB11 aus der Literatur für vergleichbare Untergrundbedingungen berücksichtigt (IHU Geologie & Analytik GmbH, 1999). Für die Modellschichten wurden teufenabhängige Steifemoduln abgeleitet. In Folge der wirksamen Auflast und der damit verbundenen Konsolidierung erhöht sich mit zunehmender Teufe der Steifemodul für das Lockergestein (Modellschicht 1). Weiterhin berücksichtigt dieser Ansatz den Übergang vom Lockergestein (Modellschicht 1) zum veränderlich festen Gestein (Modellschicht 2).

Für das veränderlich feste Gestein (Modellschicht 2) ergibt sich aufgrund der vorliegenden Aufschlussergebnisse eine größere Bandbreite der Festigkeitseigenschaften. Es werden hierfür zwei grundsätzliche Baugrundbereiche (Abb. 10) in unterschiedlichen Varianten unterschieden:

- „weiche“ Baugrundbereiche: im Wesentlichen ausgebildet als mehr oder weniger entfestigte Tonsteine des Röts mit vergleichbar geringen Steifigkeitswerten
- „harte“ Baugrundbereiche: ausgebildet als Gips-/ Anhydrit, kompakte Tonsteine und kompaktes Nebengebirge

Es ist dabei nicht auszuschließen, dass auch in den „weichen“ Baugrundbereichen „harte“ (feste, kompakte) Gesteine schwimmend in dieser Matrix eingelagert sind. Der Anteil dieser lokalen „harten“ Einlagerungen beträgt ca. 10 bis 15 %. Diese lokalen Einlagerungen wurden hinsichtlich ihrer Steifigkeitswerte nicht gesondert berücksichtigt, sie werden als geomechanisch nicht wirksam gewertet (konservativer Kennwertansatz).

Die vorgenommenen Setzungsabschätzungen erfolgten am geotechnischen Schnitt B - B'. Auf diesen Verlauf des Schnitts wurden die aus den vorliegenden Erkundungsergebnissen möglichen geometrischen Verteilungen der Modellschichten einschließlich der Unterscheidung in „harte“ und „weiche“ Bereiche projiziert. Die sich daraus ergebenden Berechnungsvarianten widerspiegeln hinsichtlich des Setzungsverhaltens eine konservative Herangehensweise.

Innerhalb des veränderlich festen Gesteins erhöht sich der Steifemodul mit zunehmender Teufe.

In den Berechnungsmodellen wurden der höhere Gips- und Anhydrit-Gehalt und damit die größere Festigkeit der Gesteine im südöstlichen Haldenbereich (ca. 1/3 der Haldenaufstandsfläche) berücksichtigt. Diese Modellbetrachtungen bilden für einen möglichen Übergangsbereich im Untergrund die gegebenenfalls möglichen Belastungen (Zerrungen) auf die mineralische Basisabdichtung nach. Aussagen dazu sind in E 10 dargestellt.

Für die unterschiedlichen Baugrundbereiche wurden im Berechnungsschnitt B - B' die möglichen typischen Profile mit unterschiedlichen Mächtigkeiten der jeweiligen Modellschichten berücksichtigt. In den Abb. 16 bis Abb. 18 sind die untersuchten Berechnungsmodelle mit den schichtbezogenen Steifemoduln dargestellt.

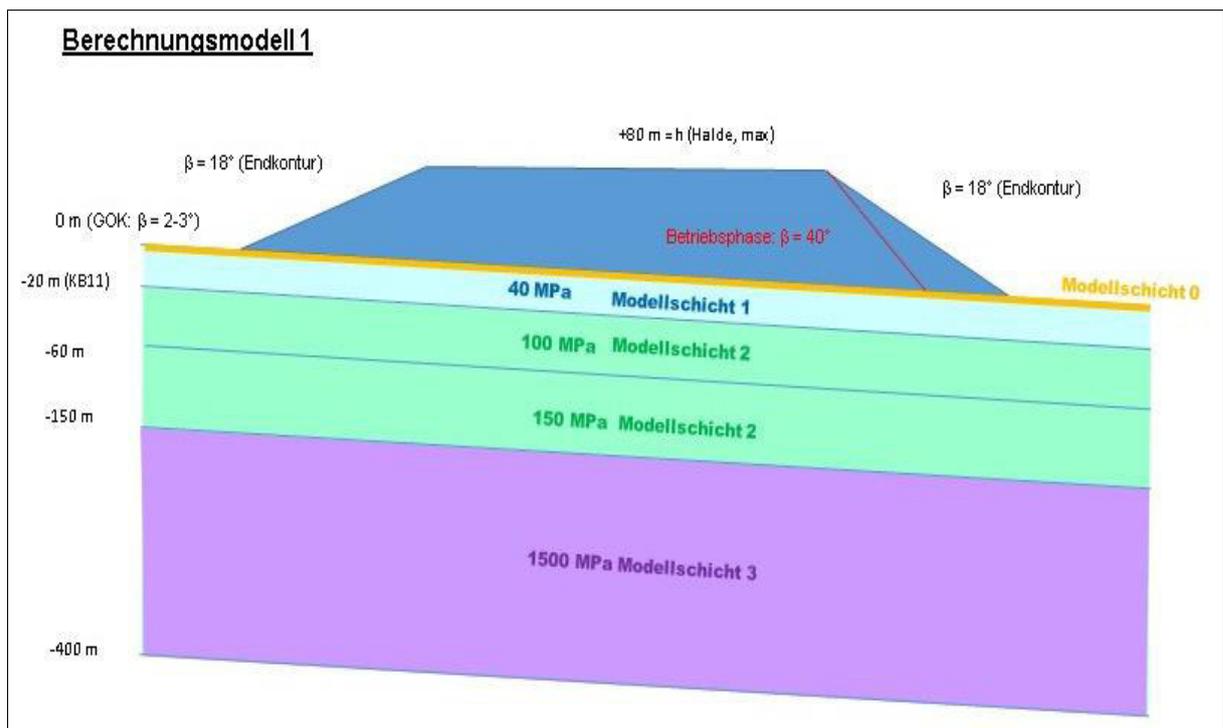


Abb. 16: Berechnungsmodell 1

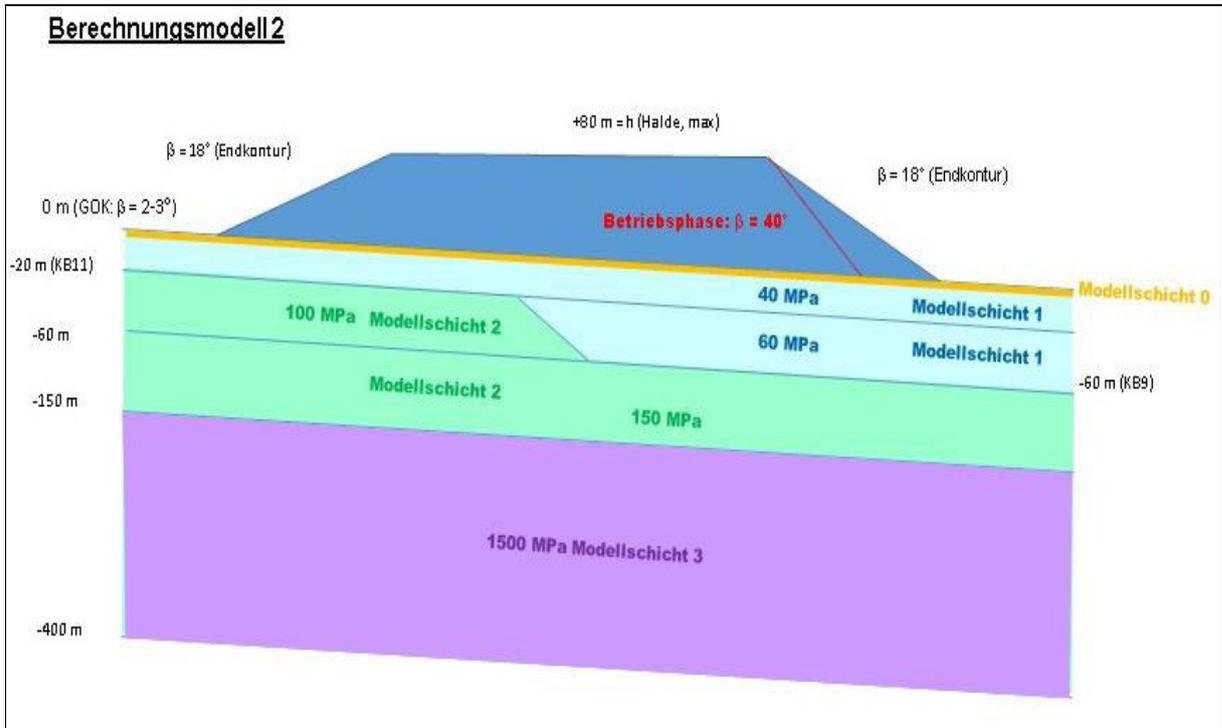


Abb. 17: Berechnungsmodell 2

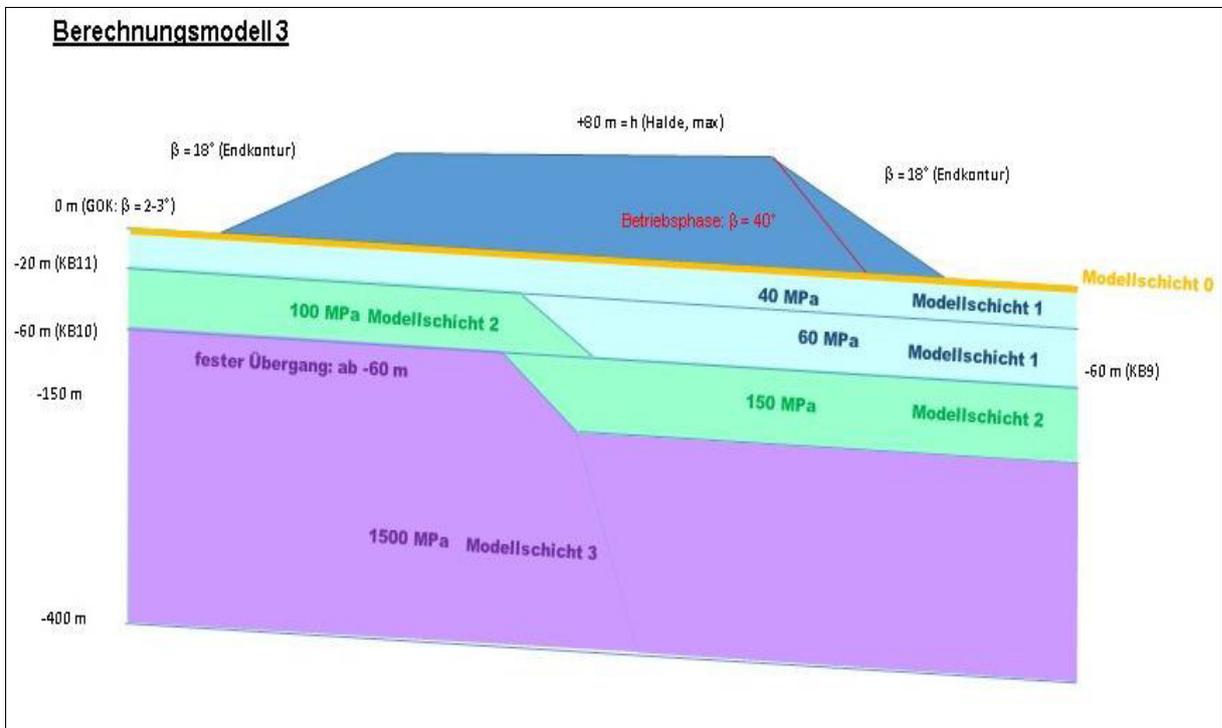


Abb. 18: Berechnungsmodell 3

Die Berechnungen zur Setzungsabschätzung erfolgten in zwei Stufen mit unterschiedlichen Grenztiefen für die Setzungseinwirkung:

- Berechnungsstufe 1: Grenztiefe ca. 150 m (Anlage 6.1 bis 6.7)
- Berechnungsstufe 2: Grenztiefe ca. 400 m (Anlage 6.7 bis 6.12).

Die Setzungsabschätzungen erfolgten unter Berücksichtigung dieser Grenztiefen um eine Vergleichbarkeit zu den numerischen Berechnungen zur Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit (I 28) zu ermöglichen.

- Ergebnisse der Untersuchungen zum Setzungsverhalten

Die Darstellung der Grundlagen und Ergebnisse der Setzungsabschätzung erfolgt im Vertikalschnitt (Anlage 6) sowie Tab. 10. Der Vertikalschnitt hat zur besseren Darstellbarkeit und Übersichtlichkeit eine dreifache Maßstabsüberhöhung.

Tab. 10: Prognostizierte Setzungen des Haldenuntergrundes

Berechnungsvarianten	prognostizierte Untergrundsetzungen (Grenztiefe ca. 150 m)		prognostizierte Untergrundsetzungen (Grenztiefe ca. 400 m)	
	im zentralen und nordwestlichen Haldenbereich	im südöstlichen Haldenbereich	im zentralen und nordwestlichen Haldenbereich	im südöstlichen Haldenbereich
Berechnungsmodell 1 Homogener Untergrund	20 – 160 cm	20 – 160 cm	20 – 200 cm	20 – 200 cm
Berechnungsmodell 2 lokale Lockergesteinsmächtigkeiten bis 60 m (Modellschicht 1)	20 – 200 cm	20 – 140 cm	20 – 240 cm	20 – 180 cm
Berechnungsmodell 3 Oberflächennahes Hutgestein	20 – 200 cm	20 – 120 cm	20 – 240 cm	20 – 160 cm

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen werden Setzungen infolge des Zusammendrückens des Untergrundes von ca. 120 cm bis 200 cm im zentralen und nordwestlichen Haldenbereich prognostiziert. Die größten Setzungsbeträge entstehen im zentralen und nordwestlichen Haldenbereich. Hier wird aufgrund des nach Nordwesten geneigten Geländes die größte Haldenmächtigkeit und damit Auflast vorhanden sein. Zum Rand der geplanten Neuhalde hin, nehmen die Untergrundsetzungen bis auf etwa 20 cm ab. Unterhalb der gesamten Neuhalde bildet sich eine Setzungsmulde aus. Diese setzt sich bis ca. 10 m bis 20 m außerhalb der Haldenkontur (Haldenfuß) fort (Anlage 6).

Die Auswirkungen der Untergrundsetzungen auf die Neigung der Basisabdichtung werden anhand des beschriebenen Schnittmodells bewertet.

Im o. g. Berechnungsmodell wird auch die Unterlagerung des südöstlichen Haldenbereichs durch Festgestein (Gips/Anhydrit) ab 20 m Tiefe untersucht (Anlagen 6.5 bis 6.6 sowie Anlagen 6.11 bis 6.12). In diesem Bereich führt neben der geringeren Haldenauflast vor allem der geringer zusammendrückbare Gips/Anhydrit zu deutlich geringeren Untergrundsetzungen. Auch bei Annahme einer relativ scharfen Grenze zwischen Gesteinen mit unterschiedlicher Steifigkeit sind die Setzungsunterschiede an der Geländeoberfläche im Grenzbereich der unterschiedlich steifen Baugrundbereiche nicht wesentlich größer als im übrigen Haldenbereich. Dies ist auf die setzungsausgleichende Eigenschaft der Lockergesteinsüberdeckung zurückzuführen. Zur Abschätzung der mechanischen Beanspruchung der Basisabdichtung kann unabhängig von den gewählten Steifemodulen im Übergangsbereich von unterschiedlichen Lockergesteinsmächtigkeiten (Lockergestein ca. 20 m bzw. ca. max. 60 m) über dem veränderlich festen Gestein von einem Setzungsunterschied im Bereich der Haldenaufstandsfläche

von etwa 30 – 60 cm auf 100 m ausgegangen werden. Die Auswirkungen dieses Sachverhaltes auf die Basisdichtung werden in E 10 bewertet.

Die durch die Rückstandsaufhaltung entstandene Setzungsmulde ist ggf. durch eine Vorprofilierung auszugleichen. Das für den Einbau des Setzungsausgleichs und der Profilierung der Aufstandsfläche zu verwendende Material muss nachfolgende Eigenschaften aufweisen:

- gut verdichtbar,
- nach Verdichtung setzungsunempfindlich,
- geringe Wasserdurchlässigkeit.

Für die Herstellung einer Profilierung bzw. des Setzungsausgleiches können der am Standort durch Abtrag anfallende Lehm bzw. feinkörnige Sedimente der Modellschicht 1 verwendet werden.

Darüber hinaus können hierfür z. B. auch Lockergesteine der Bodengruppen SU*, ST*, UL/UM nach DIN 18 196 in mindestens halbfester Zustandsform als zusätzlich anzuliefernde Materialien verwendet werden.

- Bewertung der Haldenstandsicherheit

Zur Bewertung grundsätzlicher Standsicherheit des Böschungssystems der Halde nach Herstellung der Abdeckung und Rekultivierung wurden Untersuchungen hinsichtlich Gelände- bzw. Böschungsbruch durchgeführt (Anlage 7).

Bei diesen Untersuchungen zur Böschungsstandsicherheit wurde das System:

- Haldenuntergrund (Modellschichten 1 und 2),
- die Geländeprofilierung einschließlich Herstellung des Setzungsausgleiches (bautechnisch relevante Schicht),
- das vorgesehene Dichtungs- und Drainagesystem (einschließlich der Basisabdichtung)
- der Haldenkörper und
- das vorgesehene Abdecksystem

nach DIN 1054 modellhaft mit dem PC Programm GGU Stability abgebildet.

Der Kennwerteansatz für diese Untersuchungen entspricht den ermittelten charakteristischen Kennwerten für die Modellschichten (Tab. 7) sowie den planerisch vorgegebenen und erforderlichen Kennwerten für die weiteren Systemelemente und die Rückstandshalde. Detaillierte Erläuterungen zum Aufbau und zu den Eigenschaften der Halde und der technischen Systeme (Setzungsausgleich, Basisabdichtung, Drainagen, Oberflächenabdeckung) sind in E 10 enthalten.

Das vorliegende Ergebnis für den Endzustand und eine Böschungsneigung ca. 1 : 3 mit einem Ausnutzungsgrad von $\mu_{\max} = 0,81$ belegt ausreichende Sicherheitsreserven für das Gesamtsystem. Das System ist standsicher und weist auch ausreichende Standsicherheitsreserven auf. Die analytische Bewertung versteht sich als Nachweis der generellen Machbarkeit.

8.2 Infrastrukturmaßnahmen

- Art und Umfang der Infrastrukturbaumaßnahme

Für den Haldenaufbau und einen ordnungsgemäßen Haldenbetrieb sind auf dem Standort Infrastrukturbaumaßnahmen notwendig. Entsprechend den vorliegenden Planungen sind nachfolgende Bauvorhaben vorgesehen:

- Bau Zufahrtsstraße,
- Bau Haldenumfahrung,
- Bau Haldenentwässerungsgräben für mineralisiertes Wasser,
- Bau Entwässerungsmulde für schwach mineralisiertes Wasser,
- Bau Wasserspeicherbecken (temporär und Endzustand),
- Anlage von unbefestigten Umfahrungswegen,
- Lagerflächen für Erdstoffe,
- Service-, Lager- und Wartungsbereiche.

Für die Gründung dieser Baumaßnahmen werden im Weiteren Empfehlungen gegeben. Diesen Empfehlungen liegen die Ergebnisse der Baugrunderkundung für den Haldenstandort zugrunde. Für die im Weiteren betrachteten Gründungsempfehlungen sind die ermittelten Kennwerte für die einzelnen Schichtkomplexe ebenfalls maßgebend.

- Empfehlungen für den Bau bituminös befestigter Straßen

Für die Erschließung des Standortes und die Haldenumfahrungen ist die Anlage von bituminös befestigten Straßen vorgesehen.

Das Planum für die Zufahrts- und Umfahrungsstraßen soll i. d. R. im stark frostempfindlichen Untergrund (Frostempfindlichkeitsklasse F 3) angelegt werden. Auf dem Planum im frostempfindlichen Untergrund wird nach ZTVE-StB 09 und RStO 12 ein dauerhafter Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ bzw. nach Durchführung qualifizierter Bodenverbesserungsmaßnahmen von $E_{v2} \geq 70 \text{ MN/m}^2$ gefordert. Nach RStO 12 wird für diese Straßen die Belastungsklasse Bk 1,0 angesetzt.

Auf feinkörnigen Böden kann, wie Erfahrungen für vergleichbare Baumaßnahmen zeigen, die geforderte Tragfähigkeit (E_{v2} -Wertes von $\geq 45 \text{ MN/m}^2$) ohne Verbesserungsmaßnahmen bzw. Bodenaustausch kaum erreicht werden. Zur Gewährleistung der geforderten Tragfähigkeit sind deshalb bodenverbessernde Maßnahmen notwendig. Grundsätzlich kommen dafür zwei Varianten in Frage:

- qualifizierte Verbesserung der feinkörnigen Böden in einer Mächtigkeit von mindestens 25 cm Tiefe mittels hydraulischen Bindemitteln (z. B. Feinkalk oder Mischbinder). Die notwendige Bindemittelmenge ist in eigenständiger Eignungsuntersuchung nachzuweisen.
- Austausch der bindigen Böden durch gut verdichtungsfähige Materialien (z. B. Kiessand, Brechkorngemisch) in einer Mächtigkeit von ca. 40 cm.

Für Straßenbaumaßnahmen am Standort Rückstandshalde Siegfried-Giesen wird eine Bodenverbesserung als Vorzugsvariante angesehen.

Die Ausbildung des Planums ist mit einem ausreichenden Gefälle (in der Regel 2,5 %) auszuführen. Bei einer Bodenverbesserung mittels Bindemittel (Kalk- oder Mischbinder) ist auf Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse von einer Austauschmenge von ca. 25 kg/m^2 für eine Vergütungstiefe von ca. 30 cm auszugehen.

An der Kontaktfläche zwischen feinkörnigem Boden und ausgetauschtem Boden bzw. Oberbau wird der Einbau eines Trennvlieses empfohlen. Die Anlage eines Probefeldes zur Optimierung des erforderlichen Aufwandes wird empfohlen.

Die Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus wird nach RStO 12, Pkt. 3.2.2, in Abhängigkeit von der Belastungsklasse festgelegt. Unter Zugrundelegung der Belastungsklasse Bk 1,0 ergibt sich eine erforderliche Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus von 60 cm (Frosteinwirkzone II).

- Empfehlungen für den Bau von Entwässerungsmulden und Haldenentwässerungsgräben

Unabhängig von der planerischen Ausführung und der Größe der jeweiligen Gräben wird die Grabenprofilierung in den oberflächennah erkundeten feinkörnigen Böden erfolgen. Bei den Materialien handelt es sich um Schluffe mit jeweils unterschiedlichen und lokal schwankenden Anteilen von Fein-/Grobsand bzw. Feinstkorn (Ton).

Die Ausbildung der Muldenkontur kann in diesem Lockergestein durchgeführt werden. Die Sohle der jeweiligen Mulde ist zu verdichten.

Nach Herstellung der verdichteten Muldensohle kann der Auf- und Ausbau gemäß Projekt und vorgesehener Nutzung erfolgen.

- Empfehlungen für den Bau von Wasserspeicherbecken

Unabhängig von ihrer Nutzungsart (Oberflächen- oder Haldensickerwässer) bzw. dem Zeitraum der Nutzung (temporär oder endgültig) werden die Wasserspeicherbecken als Erdbecken ausgeführt. Die Beckentiefe liegt bei ca. 1,0 m u. GOK.

Die Aushubsohlen für die Becken liegen damit, wie bereits für die Entwässerungsmulden beschrieben, im Niveau unterschiedlich zusammengesetzter feinkörniger Böden. Die Aushubsohle kann ordnungsgemäß profiliert und verdichtet werden. Für die verdichtete Sohle gilt ebenfalls ein Mindestverdichtungsgrad von D_{Pr} 97 %. Gemäß ZTV E-StB 09 ist dieser Nachweis für den Bereich bis 0,5 m unter Aushubsohle zu führen.

Erfolgt die Abdichtung der Becken mit einer Kunststoffdichtungsbahn, ist die Beckensohle glatt und steinfrei herzustellen. Ist dies lokal nicht möglich, kann zusätzlich eine Sandschutzschicht (Körnung 0/2 oder gleichwertig) in einer Stärke von 5 cm aufgebaut werden.

Die Wasserspeicherbecken werden von Erddämmen mit ca. 2,0 m Kronenhöhe umwallt. Diese Dämme werden als Erddämme ausgebildet. Die Dammherstellung kann mit am Standort unterhalb des Oberbodens anstehenden Lockergesteinen erfolgen. Bei unterschiedlichen Entnahmeorten ist auf eine gute Durchmischung zu achten. Der Einbau in den Dämmen muss lagenweise erfolgen, die Mächtigkeit der Einzellagen sollte unverdichtet 30 cm nicht überschreiten. Für den Dammaufbau sind die gemäß ZTV E-StB 09, Pkt. 4.3.2 geforderten Verdichtungsgrade nachzuweisen.

Die außenliegenden Böschungen sind nach Herstellung der Dämme gegen Erosion zu schützen. Empfohlen wird eine sofortige Anspritzbegrünung oder der Einsatz von Jute- oder Kokosmatten.

- Empfehlungen für die Anlage von unbefestigten Umfahrungswegen

Die Haldenentwässerungsbecken werden lokal mit einer geschotterten Umfahrung hergestellt.

Für die Herstellung dieser Wege ist der Oberboden abzutragen. Der Ausbau erfolgt in Anlehnung an die Empfehlungen der ZTV LW 99/01. Das so hergestellte Planum ist zu verdichten. Auf diesem Planum wird der Schotter (Körnung z. B. 0/56) aufgebaut. Die zusätzliche Ausbildung einer sandgeschlammten Decke ist möglich.

Bei Fahrspurausbildungen kann weiteres Mineralgemisch zur Profilierung eingebaut werden.

- Empfehlungen für die Anlage von Lagerflächen für Erdstoffe

Für die Zwischenlagerung von Erdstoffen in Vorbereitung der Oberflächenabdeckung ist vorgesehen, geeignete Erdstoffe am Standort anzunehmen und zwischenzulagern.

Die Erdstoffe können auf geeigneten Flächen nach Abtragung des Oberbodens zwischengelagert werden. Die nach Einbau jeweils hergestellte Oberfläche ist zu verdichten. Der Einbau hat so zu erfolgen, dass ein Mindestgefälle von 2,5 % nach E10 gewährleistet ist. Diese Ausführung integriert einen Schutz des Erdstoffs gegen Eindringen von Niederschlagswässern und verhindert damit eine Qualitätsverschlechterung.

- Empfehlungen für die Anlage von Service-, Lager- und Wartungsbereichen

Wenn im Rahmen von Baumaßnahmen für diese Bereiche die Anlage von Fundamenten erforderlich wird, gelten die folgenden Empfehlungen.

Für die Gründung tragender Elemente, z. B. Stützen, bieten sich Gründungen mit Einzelfundamenten in feinkörnigen Böden mit halbfester Zustandsform an. Kann dies lokal nicht realisiert werden, ist ein Bodenaustausch (z. B. Magerbeton, C 5/10 und/oder Mineralgemisch) erforderlich.

Beim Einbringen von Austauschmaterialien ist der Lastabtragswinkel von 50° (Magerbeton) bzw. von 45° (Kies, Kiessand) und ein allseitiger Überstand gegenüber dem jeweiligen Fundament von 0,3 m (Magerbeton) bzw. von 0,5 m (Kies, Kiessand) zu gewährleisten. Dadurch werden entsprechend dimensionierte Fundamentgruben erforderlich, deren Durchmesser die Fundamentdurchmesser übersteigen.

Für Einzelfundamentgründungen im tragfähigen Baugrund bzw. auf einem Gründungspolster können nach DIN 4017, DIN 4019 und EC 7 zur Gewährleistung einer ausreichenden Grundbruchsicherheit und bei Begrenzung der Bauwerkssetzungen auf $s \leq 2$ cm die in den Tab. 11 und Tab. 12 angegebenen Bemessungswerte des Sohlwiderstandes in Abhängigkeit von der Fundamentgeometrie als vorläufige Werte angesetzt werden.

Tab. 11: Bemessungswert $\sigma_{R,D}$ des Sohlwiderstandes für Rechteckfundamente

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	Bemessungswert $\sigma_{R,D}$ des Sohlwiderstandes in [kN/m ²] für Einzelfundamente mit $a/b = 1,5$ und einer Breite b von		
	1,00 m	2,00 m	3,00 m
0,50 m	210	300	280
1,00 m	320	370	280
1,50 m	420	370	280

Bemerkung: Diese Bemessungsparameter gelten für Gründungen in feinkörnigen Böden (z. B. Lehm).

Tab. 12: Bemessungswert $\sigma_{R,D}$ des Sohlwiderstandes für quadratische Einzelfundamente

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	Bemessungswert $\sigma_{R,D}$ des Sohlwiderstandes in [kN/m ²] für quadratische Einzelfundamente mit einer Seitenlänge a, b von		
	1,00 m	2,00 m	3,00 m
0,50 m	220	290	320
1,00 m	340	400	320
1,50 m	450	400	320

Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte nach EC 7 und keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054.

Bei einer Gründung mittels Bodenplatte, ist diese auf einem $\geq 0,50$ m mächtigen Austauschpolster anzulegen. Die temporäre Aushubsohle ist nachzuverdichten. Im Bereich des Lehms sollte die Aushubsohle mit einem Trennvlies (Geotextilrobustheitsklasse GK > 4) abgedeckt werden. Darüber werden gut verdichtungsfähige Erdstoffe (z. B. Kiessand, Brechkorngemisch) unter lagenweiser Verdichtung ($D_{Pr} \geq 100$ %, Lagenstärke 0,25 bis 0,30 m) eingebracht. Für den Bereich des Bodenaustauschs ist ein Verdichtungsgrad für jede Lage von $D_{Pr} \geq 100$ % bzw. entsprechende Verformungsmoduln und Verhältniswerte von $E_{v2} = 80 \dots 100 \text{ MN/m}^2$ und $E_{v2}/E_{v1} < 2,3$ nachzuweisen.

9 Literaturverzeichnis

- Büchner, K.-H. (1991). *Die Gefährdung von Bauwerken durch Erdfälle im Vorland des Westharzes, Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 59*. Stuttgart: Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Bundesanstalt für Wasserbau. (2005-06). *Bewertung von Drucksondierungen. AK-K1 2005-06*.
- Dr. Pelzer und Partner. (2011). *Orientierende Baugrunduntersuchungen für das Kaliwerk Siegfried-Giesen (Bestell-Nr. K+S: 6700535934/0001/62M), Bericht Grundwassermessstellen, 30.06.2011*.
- Dr. Pelzer und Partner. (2011). *Orientierende Untersuchung Halde: Grundwasserbefunde und Durchlässigkeiten grobkörniger Baugrund-Horizonte, 11.05.2011*.
- Dr. Pelzer und Partner. (2012). *Grund- und Oberflächenwassermonitoring Jahresbericht 2012, 29.10.2012*.
- Dr. Pelzer und Partner. (2013). *Raumordnungsverfahren Hartsalzwerk Siegfried-Giesen, Prüfung der Eignung eines Alternativstandortes für die Halde Siegfried-Giesen im Bereich Rössing-Barnten*.
- Eckart, D. (kein Datum). Arten und Ursachen von Schäden an stillgelegten Bergwerksanlagen. *Neue Bergbautechnik* 8, S. 619 – 625.
- Engel & Prause. (in Bearbeitung). *Bodenfunktionsbewertung auf regionaler und kommunaler Ebene – Ein niedersächsischer Leitfaden für die Berücksichtigung der Belange des vorsorgenden Bodenschutzes in der räumlichen Planung*.
- Fugro Consult. (2013). *Raumordnungsverfahren Hartsalzwerk Siegfried-Giesen, Hydrogeologisches Gutachten*. Magdeburg.
- GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam. (2013). *Erdbebenzonenkarte*. Von http://www.gfz-potsdam.de/din4149_erdbebenzonenabfrage abgerufen
- IHU Geologie & Analytik GmbH. (1999). *Bericht zur geomechanischen Auswertung der Ingenieurgeologischen Bohrung Ig Wgl 1/98 sowie zur aktuellen Gefährdungseinschätzung*.
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen. (01 2014). <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=GUEK500> Karte der Geogefahren in Niedersachsen 1 : 25 000 - Erdf. (E. u.-D. Landesamt für Bergbau, Hrsg.)
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen. (06 2014). <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=IGK50>.
- Lauer, W., & Bendix, J. (2004). *Klimatologie*. Braunschweig: Vieweg Verlag.
- Lepper, J. (1984). *Geologische Karte von Niedersachsen 1 : 25.000, Erläuterungen zu Blatt Nr. 3725 Sarstedt*.
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (NLWKN). (2013). *Karte naturräumliche Gliederung*. Von http://www.umweltkarten-niedersachsen.de/globalnetfx_umweltkarten/?optionalLayers=Naturr%E4umliche%20Regionen%20und%20Unterregionen%20DTK50%2CNaturr%E4umliche%20Regionen%20DTK50%2CLandesgrenze%20inkl.%2012%20Seemeilen-Zone& abgerufen
- Prinz, H. (1991). *Abriss der Ingenieurgeologie 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage*. Stuttgart: Ferdinand-Enke-Verlag.
- Reuter-Klengel-Pasek. (1992). *Ingenieurgeologie. 3. überarbeitete Auflage*. Leipzig/Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie GmbH.

Reuther, C.-D. (2012). *Grundlagen der Tektonik: Kräften und Spannungen der Erde auf der Spur*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie. (2009). *Handlungsempfehlungen zur ingenieurgeologischen Erkundung und bautechnischen Beherrschung von Subrosionserscheinungen bei Straßenbauvorhaben für den Dienstaufsichtsbereich des Landesamtes für Bau und Verkehr Thüringen*. Jena: IEBB Subrosion Thüringen.

Türke, H. (1990). *Statik im Erdbau, 2. überarbeitete Auflage*. Berlin: Verlag Ernst & Sohn.

Wersche GmbH. (1992). *Altlastenprogramm des Landes Niedersachsen - Altablagerungen. Gezielte Nachermittlungen im Landkreis Hildesheim. Steingrube/Gr. Giesen NLWA-Nr. 254017412 Nr. 163*.