

Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) - Phase 3

Band 3.16.1 der Antragsunterlage

Geotechnisches Gutachten, Halde Hattorf, Erweiterung der ESTA-Rückstandshalde

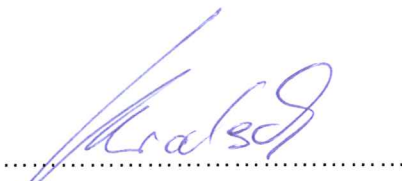
Vorhabenträger:

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



Verfasser:

DAS BAUGRUND INSTITUT
Dipl. Ing. Knierim GmbH
Wolfhager Str. 427
34128 Kassel



Dipl.-Ing. Kratsch



Dipl.-Geol. Deichmann

Impressum

Fassung vom 13.02.2014

Ansprechpartner: Dipl. Geol. T. Deichmann

Telefon: 0561 / 96994-0

e-Mail: kassel@dasbaugrundinstitut.de

Web: www.dasbaugrundinstitut.de

Untersuchungsgegenstand:

Lockergesteinsbedeckung im Bereich der Haldenerweiterungsfläche durch Baugrundaufschlüsse und bodenmechanische Laboruntersuchungen.

Ergebnisse im Überblick:

- Der Erweiterungsbereich der Halde wird von rd. 0,1 bis 0,3 m mächtigem **Oberboden** bedeckt.
- Unterlagernd steht überwiegend **Lehm mit Mächtigkeiten zwischen 0,3 und 2,0 m** an.
- **Unterhalb des Lehms** bzw. selten auch unterhalb des Oberbodens folgen **Hangschutt und/ oder** die lockergesteinsähnliche **Verwitterungszone des Buntsandstein**.
- Der unterlagernde **Fels des Buntsandstein** beginnt **überwiegend ab 1,5...2,5 m unter Geländeoberkante**.
- Darstellungen der Baugrundaufschlüsse in Lageplänen, Boden-/ Rammprofilen, Schnitten und Isolinienplänen (z. B. Quartär-/ Lehmmächtigkeit, OK Fels),
- Dokumentation und Auswertung der Labor- und Feldversuche mit Ableitung der charakteristischen Bodenkennwerte sowie Bewertung der Wasserdurchlässigkeit und erdbautechnischen Eigenschaften,
- **Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18130 überwiegend sehr schwach durchlässig**, im Hangschutt und in der Verwitterungszone lokal bis schwach durchlässig/ durchlässig möglich,
- **Feuchte der anstehenden Böden** liegt **überwiegend** im Bereich zur Verdichtung $D_{Pr} \geq 97 \%$,
- Hinweise und Empfehlungen für die Baufeldfreimachung und Herrichtung der Haldenaufstandsfläche - von Bedeutung sind der vorhandene Lehm als bindige Schicht sowie die bindigen, gemischt- und feinkörnigen Böden innerhalb des Hangschutts und der Verwitterungszone des Buntsandsteins.
- Bewertung der Tragfähigkeit der anstehenden Böden – je nach den Anforderungen ggf. tragfähigkeitsverbessernde Maßnahmen erforderlich,
- Aufgrund der Empfindlichkeit der Böden gegen Wassergehaltsänderungen wird **empfohlen, nur die Flächen vorzubereiten, die zeitnah überschüttet werden**.
- Der **Hauptzeitraum des Erdbaues** sollte aufgrund der zu erwartenden günstigeren Witterungsbedingungen in den **Zeitraum Mai bis September** gelegt werden.

Geotechnisches Gutachten

Halde Hattorf

Erweiterung der ESTA Rückstandshalde

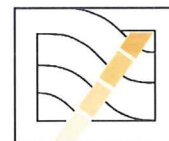
Auftraggeber:

K+S KALI GmbH
Werk Werra/Standort Hattorf
Postfach 1163
36267 Philippsthal/Werra



Auftragnehmer:

DAS BAUGRUND INSTITUT
Dipl.-Ing. Knierim GmbH
Wolfhager Straße 427
34128 Kassel
Tel.-Nr.: 0561 / 96994-0
kassel@dasbaugrundinstitut.de



Bearbeiter:

Dipl.-Geol. T. Deichmann
Dipl.-Ing. M. Kratsch

Projekt Nr.:

296/00 G10

Datum:

13.02.2013

**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
1. Bauvorhaben	5
2. Geologie und Hydrogeologie	6
2.1 Geologie	6
2.2 Hydrogeologie	8
3. Bodenaufschlüsse	9
3.1 Aufschlüsse	9
4. Bautechnische Beschreibung	12
4.1 Baugrundsichten	12
4.2 Bodenklassen	15
4.3 Grundwasser	16
5. Bodenmechanische Laboruntersuchungen	16
5.1 Untersuchungsumfang	16
5.2 Untersuchungsergebnisse	18
6. Bodenkennwerte	27
7. Bewertung der Ergebnisse	29
7.1 Planerische Randbedingungen oder Projektrandbedingungen	29
7.2 Bodenaufbau	29
7.3 Bewertung der Schicht 3: Lehm	34
7.4 Bewertung der Schicht 4: Hangschutt	36
7.5 Bewertung der Schicht 5: Verwitterungshorizont Buntsandstein	38
8. Empfehlungen	40
8.1 Aufstandsfläche	40
8.2 Baufeldfreimachung	41
8.3 Planum/ Witterungsschutz	42
9. Weiterführende Arbeiten	44



Anlagen:

Anlage 1: Lagepläne

Anlage 1.1: Lageplan mit Aufschlüssen und Schnittspuren M 1:5000

Anlage 1.2: Lageplan mit Aufschlüssen und Einzeldarstellungen M 1:2000

Anlage 1.3: Isolinienplan der Lehmmächtigkeit M 1:2000

Anlage 1.4: Isolinienplan Quartärmächtigkeit M 1:2000

Anlage 1.5: Lageplan Verteilung toniger Böden M 1:2000

Anlage 2: Schnitte M 1:2000

Anlage 3: Schichtenverzeichnisse und Einzeldarstellungen

Anlage 3.1: Schichtenverzeichnisse

Anlage 3.2: Einzeldarstellungen

Anlage 4: Fotodokumentation der Schürfe

Anlage 5: Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Anlage 5.1: Kennwerttabellen

Anlage 5.2: Zustandsgrenzen

Anlage 5.3: Kornverteilungen

Anlage 5.4: Proctorversuche

Anlage 5.5: Scherversuche

Anlage 5.6: Durchlässigkeitsversuche

Anlage 6: Ergebnisse der dynamischen Plattendruckversuche



1. Bauvorhaben

Die **K + S KALI GmbH, Werk Werra**, plant die Erweiterung der ESTA-Rückstandshalde am Standort Hattorf. Die Maßnahme umfasst die Vergrößerung der bestehenden Haldenfläche in nordwestliche Richtung. Die geplante Erweiterungsfläche umfasst ca. 77 ha Waldgelände.

Als Grundlage für die weiteren Planungen wurde **DAS BAUGRUND INSTITUT Dipl.-Ing. Knierim GmbH, Kassel**, von der **K + S KALI GmbH, Werk Werra**, mit Schreiben vom 20.07.2011 mit der Durchführung und Auswertung von geotechnischen Untersuchungen sowie der Erstellung eines Geotechnischen Berichts/ Baugrundgutachtens beauftragt. Ziel der Untersuchungen war, die Lockergesteinsbedeckung und die Zersatzzone der anstehenden Buntsandsteinschichten zu erkunden, die Randbedingungen für die Flächenvorbereitung aufzuzeigen sowie allgemeine Empfehlungen hierfür zu geben.

Nach Vorlage des Sonderbetriebsplanes wurden die Untersuchungen im Zeitraum Mai bis September 2012 durchgeführt. Im Zuge dieser Untersuchungen wurde der ursprünglich geplante Untersuchungsumfang nach Vorgabe der K+S KALI GmbH erweitert.

Als Grundlage für die Bearbeitung wurden uns von dem Auftraggeber bzw. dem Planungsbüro upi Umweltprojekt Ingenieurgesellschaft mbH folgende Planunterlagen zur Verfügung gestellt, bzw. liegen uns aus eigener Bearbeitung vor:

/U 1/ Lageplan Halde Hattorf geplante Haldenerweiterungsfläche
mit Schürfen 20 – 56 (Auszug SBP Nr. HA 04/09; DVS Nr.: 3002013.01)
K+S KALI GmbH, M 1:2.000
Stand: 11.07.2012

/U 2/ Geländeschnitte 1 -8 Erweiterungsfläche
upi Umweltprojekt Ingenieurgesellschaft mbH, M 1:2.000
Stand: 09/2012

/U 3/ Geologische Kartierungen im Bereich Werk Werra
K+S KALI GmbH, M 1:10.000
Stand: März 2011



- /U 4/ Geologische Karte
Friedewald, Blatt 5125, M 1:25.000
- /U 5/ Geologische Karte
Vacha, Blatt 5126, M 1:25.000
- /U6/ Sonderbetriebsplan Nr. HA 04/09; DVS Nr.: 3002013.01
K+S KALI GmbH
27.02.2012
- /U7/ Zulassungsbescheid zum
Sonderbetriebsplan Nr. HA 04/09; DVS Nr.: 3002013.01
AZ: 34/Hef-76 d 40-11-314-32/9
Regierungspräsidium Kassel
19.04.2012
- /U8/ Datenbankauszug GW-Base, Grundwasserstände
K+S KALI GmbH

2. Geologie und Hydrogeologie

2.1 Geologie

Nach Aussage der geologischen Karten (/U 4/, /U 5/) sowie der geologischen Kartierungen (/U 3/) wird der tiefere Untergrund im Untersuchungsgebiet aus der Formation des

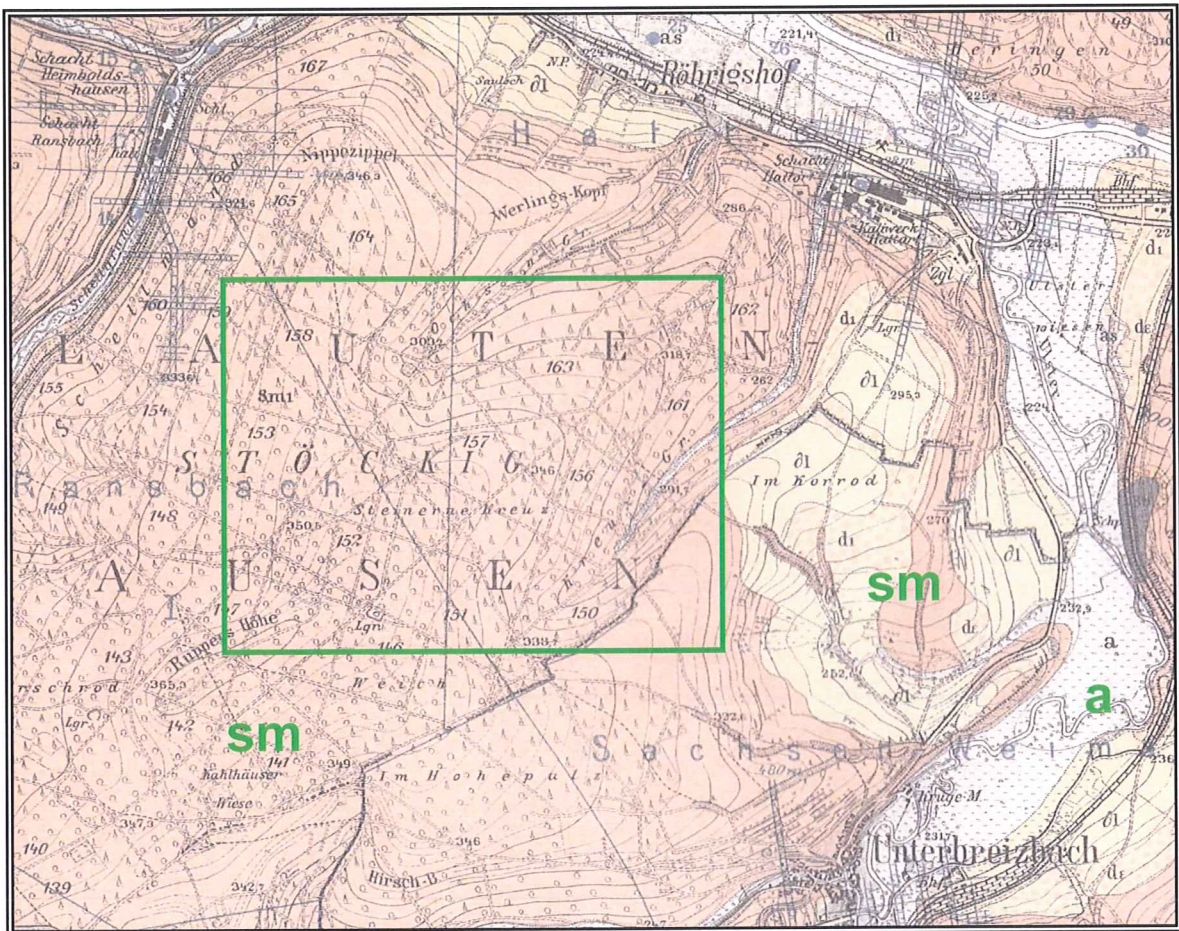
Mittleren Buntsandsteins

gebildet.



Im südlichen und mittleren Abschnitt der Untersuchungsfläche werden demnach Gesteine der Solling-Formation angetroffen. Lediglich der auch morphologisch etwas niedriger liegende nördlichste Abschnitt erschließt die Gesteine der Hardeggen Formation (früher „Spessart-Sandstein“).

Abbildung 1: Ausschnitt aus der Geologischen Karte 1:25.000, Bl. 5125 Friedewald, mit Eintrag des Untersuchungsgebietes (grün) und der Verbreitung des Mittleren Buntsandsteins (sm) und der quartären Ablagerungen



Beide Buntsandstein-Formationen bestehen aus roten bis rotbraunen, z. T. auch weißen Sandsteinen mit einzelnen eingeschalteten Ton-/Schluffsteinen. Die Sandsteine der Solling-Formation sind generell etwas gröber und weisen weniger feinkörnige Zwischenschichten auf. Mit der vorliegenden Erkundungsmethode (Baggerschürfe) wird lediglich der oberste Abschnitt des verwitterten Festgesteines erschlossen. Eine Unterscheidung der einzelnen Sandsteine ist daher nicht möglich, für die weitere Bearbeitung jedoch auch nicht erforderlich.



Die Gesteine des Buntsandsteins werden zunächst von den eigenen **Verwitterungsmaterialien** mit stark wechselnder Zusammensetzung entsprechend des Verwitterungsgrades bzw. der Zusammensetzung des jeweils anstehenden Festgesteins überdeckt.

Nachfolgend stehen verschiedene Ablagerungen aus der Zeit des

Quartärs

an. Hierbei kann es sich, je nach morphologischer Position, um **Hangschutt** oder **Hanglehm**, als überwiegendes Produkt der Verwitterung des Buntsandsteines mit roter bzw. rotbrauner Färbung, oder um **Decklehm / Lösslehm** handeln. Die östlich der Halde vorhandenen Hochterrassenschotter der Ulster / Werra wurden mit den Baggerschürfen nicht angetroffen.

Den Abschluss zur Geländeoberfläche bilden teilweise neuzeitliche **anthropogene Auffüllungen** in Form von Wegbefestigungen (in der Erkundung nicht erschlossen).

2.2 Hydrogeologie

Die Gesteine des Buntsandsteins sind als Kluftgrundwasserleiter zu charakterisieren. Im Untersuchungsgebiet der Haldenerweiterungsfläche sind ein schwebender (SGWL) und ein Hauptgrundwasserleiter (HGWL) ausgebildet.

Für den SGWL gibt es im Untersuchungsgebiet bzw. unmittelbar angrenzend zwei Stützstellen, die GWM 7 und die GWM 8. Die GWM 7 ist in etwa lagegleich mit dem Schurf TP 25/2012 HA. Die Geländehöhe bei TP 25/2012 HA liegt bei ca. 352 m NN. Der Grundwasserspiegel in der GWM 7 liegt bei etwa 334 m NN /U8/. Es lässt sich daraus ein Grundwasserflurabstand von ca. 18 m ableiten. Ähnlich stellt sich die Situation im Bereich der GWM 8 dar, in deren Nähe sich der Schurf TP 23/2012 befindet. Die Geländehöhe liegt hier bei ca. 357 m NN, der Grundwasserspiegel hat ein Niveau von ca. 338 mNN. Daraus errechnet sich ein Grundwasserflurabstand von ca. 19 m. Nach bisherigem Kenntnisstand zu den morphologischen sowie geologischen/ hydrogeologischen Randbedingungen ist davon auszugehen, dass der SGWL räumlich auf die plateauartige Fläche des Stöckig beschränkt bleibt und in nordöstliche (Werraue), nördliche (Ochsengraben) und westliche (Zellersbach) Richtung ausstreicht. Im Randgebiet können sich der Morphologie folgend geringere Grundwasserflurabstände einstellen, die allerdings bei > 10 m u GOK liegen sollten.



Der Grundwasserspiegel im HGWL liegt zwischen 230 m und 250 m NN. Stützstellen hierfür sind die GWM 3 und die GWM 12. Unweit der GWM 12 befindet sich der Schurf TP 22/2012 mit einer Geländehöhe von ca. 352 m NN. Der Grundwasserstand in der GWM 12 liegt bei ca. 245 m NN /U8/. Es ergibt sich daraus ein Grundwasserflurabstand von ca. 107 m. In der GWM 3, die sich im sogenannten Ochsengraben befindet, liegt der Grundwasserflurabstand bei ca. 50 m unter GOK. In Abhängigkeit von der Morphologie ergeben sich daraus Grundwasserflurabstände für den HGWL zwischen 50 m und 110 m unter GOK.

Die Festgesteine des Buntsandsteins werden von ihren eigenen Verwitterungsmaterialien überlagert, die aufgrund der bindigen Bestandteile eine geringere Wasserdurchlässigkeit aufweisen als die Festgesteine selbst.

Die lehmigen Deckschichten (Hanglehme, Decklehme, Lösslehme) sind schwach bis sehr schwach wasserdurchlässig. Innerhalb der Hangschutte, vereinzelt auch innerhalb der lehmigen Deckschichten, können lokal Staunässebildungen auftreten, insbesondere in Gelände mit geringem Gefälle.

3. Bodenaufschlüsse

3.1 Aufschlüsse

Die geotechnische Erkundung der Haldenerweiterungsfläche Hattorf erfolgte entsprechend der mit der K+S KALI GmbH abgestimmten und bergaufsichtlich zugelassenen Untersuchungskonzeption (U/7/ und U/8/) in einem Untersuchungsrastraster von ca. 200 m. Im Bereich des Taleinschnitts des „Ochsengrabens“ am nördlichen Rand der Untersuchungsfläche fand eine Reduzierung des Untersuchungsabstandes auf ca. 100 – 150 m statt.



Zur Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse im geplanten Baubereich wurden von der Fa. Hermanns unter fachtechnischer Aufsicht und Begleitung von Mitarbeitern des Baugrund Institut Dipl.-Ing. Knierim GmbH im Zeitraum vom 14.05.2012 – 05.06.2012 und ergänzend am 26.09.2012

37 Baggerschürfe TP 20/2012 HA – TP 56/2012 HA

mit einem Hydraulikbagger ausgeführt. Es wurden ungestörte und gestörte Bodenproben aus den Schürfen entnommen. Die Baggerschürfe wurden bis zur Geräteauslastung ausgeführt. Beim Antreffen der Felsoberfläche war kein weiterer Aushub mehr möglich.

Alle Untersuchungspunkte wurden durch unseren Feldgeologen ingenieurgeologisch aufgenommen und dokumentiert. Sie sind in die Lagepläne der Anlage 1 übertragen. Eine Übersicht der Aufschlüsse mit Angabe der zugehörigen Koordinaten (Gauß-Krüger, Lagestatus 100) findet sich in der Tabelle 1.

Die Einmessung der Baggerschürfe nach Lage und Höhe erfolgte bauseits.

Die Ergebnisse der Bodenaufschlüsse sind in Form von Profilbalken ebenfalls in die Anlage 1 (Lageplan) verzeichnet. Die bei den Baugrundaufschlussarbeiten angetroffenen Bodenprofile sind in den Schichtenverzeichnissen der Anlage 3 dargestellt. Es wurde eine Fotodokumentation der Schürfe angefertigt, die in Anlage 4 beigefügt ist.

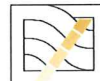


Tabelle 1: Lage der Schurfansatzpunkte

Schurf Nr.:	Rechtswert	Hochwert	Höhe m NN
TP 20/2012 HA	3568406.00	5632881.28	326.10
TP 21/2012 HA	3568218.11	5632546.53	338.00
TP 22/2012 HA	3567394.90	5632760.24	352.30
TP 23/2012 HA	3567242.75	5632872.84	356.80
TP 24/2012 HA	3567405.06	5633007.19	354.00
TP 25/2012 HA	3567511.21	5633129.44	352.20
TP 26/2012 HA	3567648.09	5633200.31	349.50
TP 27/2012 HA	3567794.97	5633341.78	346.10
TP 28/2012 HA	3567922.11	5633448.28	340.50
TP 29/2012 HA	3568078.60	5633615.17	334.60
TP 30/2012 HA	3568242.94	5633723.90	322.60
TP 31/2012 HA	3568454.41	5633904.44	308.20
TP 32/2012 HA	3567004.71	5632924.47	356.60
TP 33/2012 HA	3567216.85	5633092.15	354.80
TP 34/2012 HA	3567345.14	5633213.59	354.20
TP 35/2012 HA	3567463.38	5633371.48	346.60
TP 36/2012 HA	3567665.91	5633500.86	343.80
TP 37/2012 HA	3567817.36	5633599.04	336.70
TP 38/2012 HA	3567949.24	5633742.98	324.90
TP 39/2012 HA	3567012.70	5633181.77	351.60
TP 40/2012 HA	3567235.06	5633379.23	350.80
TP 41/2012 HA	3567451.89	5633565.33	332.10
TP 42/2012 HA	3567560.83	5633622.71	330.00
TP 43/2012 HA	3567689.67	5633698.93	325.80
TP 44/2012 HA	3566940.87	5633336.29	350.40
TP 45/2012 HA	3567056.18	5633444.71	350.10
TP 46/2012 HA	3567293.67	5633546.96	344.20
TP 47/2012 HA	3567344.26	5633626.99	331.90
TP 48/2012 HA	3567518.88	5633693.29	316.40
TP 49/2012 HA	3567620.10	5633785.24	314.70
TP 50/2012 HA	3567793.57	5633923.12	303.10
TP 51/2012 HA	3567407.61	5633703.56	316.90
TP 52/2012 HA	3567473.24	5633776.04	304.30
TP 53/2012 HA	3567561.71	5633852.44	298.90
TP 54/2012 HA	3567129.00	5633673.72	345.80
TP 55/2012 HA	3567315.57	5633783.50	326.90
TP 56/2012 HA	3567412.19	5633870.85	316.50



4. Bautechnische Beschreibung

4.1 Baugrundsichten

Im Untersuchungsbereich wird der tiefere Untergrund aus den **Schichten** des **Mittleren Buntsandsteins** aufgebaut. Hierauf folgt die **Verwitterungszone** der Buntsandsteinschichten.

Den Abschluss zur Geländeoberfläche bilden **quartäre Deckschichten** in Form von Hangschutt, **Hanglehm**, **Decklehm** und **vereinzelt Lößlehm**.

Darüber folgen lokal neuzeitliche **anthropogene Auffüllungen im Bereich der befestigten Wege** bzw. geringmächtige **Oberbodenbildungen** auf den Freiflächen bzw. im Waldgelände.

Aufgrund der ausgeführten Bodenaufschlüsse und unter Berücksichtigung der geplanten Baumaßnahme erfolgt eine Zusammenfassung und Verallgemeinerung des Schichtenaufbaus wie folgt:

1. Schicht: **Oberboden**

Oberboden wird auf den Freiflächen (Wiesen, Brachland) und in den Waldgebieten als schluffig-sandiger Boden mit wechselnden humosen Anteilen angetroffen. Die Mächtigkeit des Oberbodens schwankt zwischen 0,05 m bis 0,35 m und liegt meist bei ca. 0,10 m bis 0,15 m

2. Schicht: **Auffüllungen**

Auffüllungen sind im Bereich der vorhandenen Wege in Form von Wegbefestigungen, Schotter etc. zu erwarten. Aufschlüsse wurden hier nicht ausgeführt.

3. Schicht: **Lehm (Quartär)**

Unterhalb der Oberbodenbedeckung wurde in fast allen Aufschlüssen Hanglehm, Decklehm bzw. vereinzelt Lößlehm angetroffen, der sich überwiegend aus braunen, graubraunen bis braunroten sandigen, vereinzelt auch kiesigen Tonen und Schluffen steifer Konsistenz, örtlich weicher bis steifer Konsistenz zusammensetzt. Der Übergang der Lehme in die Hangschuttbildungen bzw. den Verwitterungshorizont ist fließend, eine scharfe Abgrenzung oft nicht möglich.



Dieser Lehm ist sehr schwach durchlässig, mäßig tragfähig und verformungssteif, mäßig scherfest, stark frostempfindlich. Bei Wasserzutritt und gleichzeitiger dynamischer Belastung kann der Lehm an freien Anschnittsflächen zum Ausfließen neigen.

Die Mächtigkeit der Lehmschicht schwankt im Bereich der untersuchten Fläche stark zwischen ca. 0,3 m und 2,0 m, wobei in insgesamt 4 Aufschlüssen gar kein Lehm angetroffen wurde. Die hier vorhandenen Schichten 4 und/ oder 5 sind dennoch bindig und damit schwach bis sehr schwach durchlässig ausgebildet.

4. Schicht: **Hangschutt (Quartär)**

Hangschutt wurde bei den Aufschlüssen unterhalb der lehmigen Deckschichten bzw. auch ohne Lehmbedeckung überwiegend in Form roter bis rotbrauner, gemischt- bis feinkörniger, teils toniger Sande und Schluffe mit wechselnden kiesigen Anteilen angetroffen. Lokal ist der Hangschutt steinig durchsetzt.

Der Hangschutt ist auf der untersuchten Fläche nicht durchgehend ausgebildet und der Übergang in die Verwitterungszone des Buntsandsteins bzw. zu den Lehmen ist fließend und damit nicht eindeutig abgrenzbar. Lokal können im Hangschutt tonige Linsen eingelagert sein oder aber eine überwiegend tonige Ausbildung des Hangschuttes vorliegen.

In Abhängigkeit der bindigen Anteile ist der Hangschutt gut bis mäßig tragfähig und verformungssteif, scherfest, schwach bis sehr schwach durchlässig, teils durchlässig und stark frostempfindlich. Im Bereich von Tonlinsen oder toniger Ausbildung sowie evtl. zusätzlich auftretender Staunässe kann die Scherfestigkeit lokal stark herabgesetzt sein.

Die Mächtigkeit des Hangschuttes schwankt im Bereich der untersuchten Fläche zwischen 0,0 und 2,8 m. In einigen Aufschlüssen (TP 51/2012 HA, TP 53/2012 HA und TP 55/2012 HA) konnte das Liegende des Hangschuttes nicht erreicht werden. Hier sind in einer 2. Untersuchungskampagne zur indirekten Erkundung des Baugrunds Rammsondierungen vorgesehen.



5. Schicht: **Verwitterungszone Buntsandstein**

In der **Verwitterungszone des Buntsandsteins** (vollständig verwitterter bis zersetzter Fels, Stufe 4 bis 5, im Sinne der DIN EN ISO 14689-1) stehen sandig-kiesige, sandig-schluffige bis tonige Verwitterungsböden im Übergang zum Festgestein an. Entsprechend des anstehenden Gesteins sind bindige Anteile auch in der Verwitterungszone enthalten.

Die als Lockermaterialien in der Verwitterungszone enthaltenen Böden sind gut bis sehr gut tragfähig und verformungssteif. Zur Tiefe folgen im fließenden Übergang die Festgesteine des Mittleren Buntsandsteins überwiegend in Form von Sandsteinen mit vereinzelt eingeschalteten Lagen aus Tonsteinen und Schluffsteinen.

Der Übergang von der Verwitterungszone in das anstehende Festgestein ist nicht scharf abgrenzbar, da einzelne Sand- oder Ton-/Schluffsteinbänke unterschiedliche Verwitterungsgrade aufweisen können. Es ist somit möglich, dass stark verwitterte bis zersetzte Zonen im Festgestein auch in größerer Tiefe unterhalb der benannten Verwitterungszone angetroffen werden.

Die Verwitterungszone wurde bei insgesamt 10 Aufschlüssen nicht durchteuft. Hier sollen, wie bereits zur Schicht 4. erläutert, nachträglich Rammsondierungen durchgeführt werden.

6. Schicht: **Buntsandstein** (anstehender Fels, frisch bis stark verwittert)

Diese Schicht wurde mit den meisten Schürfen in Übereinstimmung mit der Zielstellung der Untersuchungen nur oberflächennah aufgeschlossen bzw. die Felsoberfläche gerade erreicht. Für die Baugrunderkundung des Festgesteinsuntergrundes mit detaillierter Beschreibung von Gestein und Gebirge folgt eine weitere Untersuchungskampagne.

Die Festgesteinsschichten **des Buntsandsteins** werden erfahrungsgemäß von Fein- bis Mittelsandsteinen mit einzelnen Ton- und Schluffsteineinschaltungen (Mittlerer Buntsandstein) unterschiedlicher Verwitterung gebildet.



4.2 Bodenklassen

Nach der **DIN 18300** sind die bei den Aufschlüssen angetroffenen Bodenarten wie folgt zu klassifizieren:

- Klasse 1 : **Oberboden**
für den vorhandenen Mutterboden bzw. Ackerboden
- Klasse 2: **fließende Bodenarten**
für Hanglehme mit breiiger Konsistenz bei Staunässebildung, bei der Erkundung nicht angetroffen
- Klasse 3: **leicht lösbare Bodenarten**
für den Hangschutt und den Verwitterungshorizont des Buntsandsteins mit geringen Stein- und Feinkornanteilen
- Klasse 4: **mittelschwer lösbare Bodenarten**
für den Lehm sowie für den Hangschutt und den Verwitterungshorizont des Buntsandsteins mit erhöhten Feinkornanteilen
- Klasse 5: **schwer lösbare Bodenarten**
für Hangschutt und den Verwitterungshorizont des Buntsandsteins mit entsprechenden Steinanteilen, bei Erkundung nicht angetroffen und für ausgeprägt plastische Tone
- Klasse 6/7: **leicht / schwer lösbarer Fels**
für die stark / wenig verwitterten Festgesteine des Buntsandsteins

Es ist nicht auszuschließen, dass innerhalb des Hangschuttes bzw. des Verwitterungshorizontes der Buntsandsteinschichten größere Steinanteile und evtl. einzelne Blöcke vorhanden sind, die gemäß DIN 18300 der Klasse 6 und evtl. 7 entsprechen. Böden der Klassen 2 wurden bei den Baugrundaufschlussarbeiten nicht angetroffen. Ihr Auftreten ist wenig wahrscheinlich, kann aber letztlich nicht ausgeschlossen werden. Böden der Klasse 5 wurden vereinzelt als ausgeprägt plastische Tone erkundet.



4.3 Grundwasser

Eine Grundwasserführung wurde bei den Baugrundaufschlussarbeiten im Zeitraum vom 14.05.2012 – 05.06.2012 und ergänzend am 26.09.2012 innerhalb der Lockergesteinsbedeckung bzw. der Zersatzzone der Buntsandsteinschichten nicht angetroffen. Dies korrespondiert mit den Ausführungen im Kap. 2.2. Lediglich in den Aufschlüssen

TP 21/2012 HA

TP 24/2012 HA

TP 26/2012 HA

wurde eine Staunässebildung innerhalb des Hangschuttes bzw. der Verwitterungszone des Buntsandsteins in Tiefen von 0,9 bis 1,35 m u. GOK festgestellt.

Die Grundwasserführung innerhalb der Buntsandsteinschichten hat auf die geplanten Baumaßnahmen zur Erweiterung der Rückstandshalde, wie Rodung sowie Herstellung der Planien, Basisabdichtung und Entwässerungssysteme keinen Einfluss.

5. Bodenmechanische Laboruntersuchungen

5.1 Untersuchungsumfang

Aus den Bodenaufschlüssen sind während der Feldarbeiten ungestörte Bodenproben (Sonderproben) mittels Ausstechzylinder und gestörte Bodenproben (Dosen- und Eimerproben) entnommen worden. Weiterhin wurden vor Ort Feldversuche in den Schürfgruben ausgeführt.

Zur Kennzeichnung ihrer wichtigsten bodenphysikalischen Eigenschaften wurden die entnommenen Proben im bodenmechanischen Labor des Baugrund Instituts auf ihre Bodenkennwerte hin untersucht. Die Ermittlung der Scherfestigkeit im Triaxialschergerät wurde im bodenmechanischen Labor der Universität Kassel durchgeführt. Die Feldversuche wurden vor Ort ausgewertet.



Insgesamt wurden folgende Untersuchungen ausgeführt:

170 x Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes nach DIN 18121-1

57 x Bestimmung der Dichte nach DIN 18125-1 und -2

29 x Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN 18122-1

84 x Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN 18123

43 x Bestimmung der Proctordichte/ des optimalen Wassergehaltes nach DIN 18127

15 x Bestimmung der Scherfestigkeit nach DIN 18137-3 und

3 x Bestimmung der Scherfestigkeit nach DIN 18137-2

34 x Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18130-1

67 x Bestimmung des dynamischen Verformungsmoduls mit dem leichten Fallgewichtsgerät nach TP BF-StB, Teil 8.3.

Die Ergebnisse aller bodenmechanischen Laboruntersuchungen und die Bestimmung des dyn. Verformungsmoduls sind zusammengefasst und tiefengestaffelt in der Kennwerttabelle der Anlage 5.1 enthalten.

Im Kapitel 8 wird für die Schichten 4 und 5 nochmals eine Unterteilung in verschiedene Kornbänder vorgenommen. Dem entsprechend können auch die Ergebnisse der Laborversuche der Schichten 4 und 5 untergliedert werden. Zur Gewährleistung der Übersichtlichkeit sind nachfolgend Spannbreiten der Kennwerte für die gesamten Schichten 1 bis 5 ohne Untergliederung im Text aufgeführt. Sofern die o.g. Untergliederung der Kennwerte entsprechend der einzelnen Kornbänder der Schichten 4 und 5 für die weitere Planung und Standsicherheitsberechnung erforderlich ist, kann sie den entsprechend aufgegliederten Kennwerttabellen der Anlage 5.1 entnommen werden.



5.2 Untersuchungsergebnisse

1. Natürlicher Wassergehalt

Die Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes nach DIN 18121-1 durch Ofentrocknung bei 105° C erfolgte an insgesamt 170 Bodenproben (incl. Dichtebestimmungen). Aufgegliedert nach Schichtzuordnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

1. Oberboden

(1 Probe)

natürlicher Wassergehalt $w = 14,4 \%$

3. Schicht: Lehm

(91 Proben)

natürlicher Wassergehalt $w = 8,2 - 26,7 \%$

Mittelwert: $w = 17,0 \%$

4. Schicht: Hangschutt (gesamt)

(27 Proben)

natürlicher Wassergehalt $w = 6,9 - 21,1 \%$

Mittelwert: $w = 13,2 \%$.

5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein

(51 Proben)

natürlicher Wassergehalt $w = 3,2 - 22,8 \%$

Mittelwert: $w = 13,4 \%$.

2. Dichte

Die Bestimmung der Dichte der anstehenden Bodenschichten erfolgte nach DIN 18125-1 an ungestört mittels Ausstechzylinder entnommenen Bodenproben (Sonderproben) und nach DIN 18125-2 mit dem Ballonverfahren insgesamt 57 mal. Für die Berechnungen wurde eine Korndichte von $2,68 \text{ g/cm}^3$ angenommen.



Aufgegliedert nach Schichtzuordnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

3. Schicht: Lehm

(31 Proben)

Feuchtdichte	$\rho = 1,736 - 2,080 \text{ g/cm}^3$ Mittelwert: $\rho = 1,926 \text{ g/cm}^3$
Trockendichte:	$\rho_d = 1,491 - 1,802 \text{ g/cm}^3$ Mittelwert: $\rho_d = 1,631 \text{ g/cm}^3$
Porenanteil	$n = 32,76 - 44,37 \%$ Mittelwert: $n = 39,14\%$
Sättigung	$s_r = 48,92 - 94,01 \%$ Mittelwert: $s_r = 75,63$

Bezogen auf die nachfolgend aufgelisteten Proctorversuche liegen die Verdichtungsgrade der untersuchten Proben zwischen 80,8 – 104,4 %, im Mittel bei ca. 92,8% der Proctordichte.

4. Schicht: Hangschutt

(11 Proben)

Feuchtdichte	$\rho = 1,880 - 2,231 \text{ g/cm}^3$ Mittelwert: $\rho = 2,013 \text{ g/cm}^3$
Trockendichte:	$\rho_d = 1,636 - 2,015 \text{ g/cm}^3$ Mittelwert: $\rho_d = 1,773 \text{ g/cm}^3$
Porenanteil	$n = 24,82 - 38,97 \%$ Mittelwert: $n = 33,83 \%$
Sättigung	$s_r = 38,09 - 94,25 \%$ Mittelwert: $s_r = 72,74.$

Bezogen auf die nachfolgend aufgelisteten Proctorversuche liegen die Verdichtungsgrade der untersuchten Proben zwischen 91,6 – 110,71 %, im Mittel bei ca. 98,8 % der Proctordichte.



5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein

(18 Proben)

Feuchtdichte	$\rho = 1,832 - 2,202 \text{ g/cm}^3$ Mittelwert: $\rho = 2,048 \text{ g/cm}^3$
Trockendichte:	$\rho_d = 1,600 - 1,985 \text{ g/cm}^3$ Mittelwert: $\rho_d = 1,802 \text{ g/cm}^3$
Porenanteil	$n = 25,94 - 40,31 \%$ Mittelwert: $n = 32,78 \%$
Sättigung	$s_r = 46,98 - 91,30 \%$ Mittelwert: $s_r = 74,72$

Bezogen auf die nachfolgend aufgelisteten Proctorversuche liegen die Verdichtungsgrade der untersuchten Proben zwischen 95,3 – 103,4 %, im Mittel bei ca. 99,2 % der Proctordichte.

3. Zustandsgrenzen

An insgesamt 29 Bodenproben wurden die Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122 T1 bestimmt. Die Ergebnisse sind im Einzelnen in Anlage 5.2 dargestellt. Aufgegliedert nach Schichtzuordnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

3. Schicht: Lehm

(18 Proben)

Fließgrenze:	$w_L = 20,4 - 45,5 \%$	(im Mittel 28,2 %)
Ausrollgrenze:	$w_p = 14,0 - 20,8 \%$	(im Mittel 17,6 %)
Plastizitätszahl:	$I_p = 4,0 (1,9) - 24,7 \%$	(im Mittel 10,6 %)
Konsistenzzahl:	$I_c = 0,43 - 1,20 (3,46)$	(im Mittel 0,76)
Konsistenz:	laborativ: breiig – halbfest (fest) nach Feldansprache: überwiegend steif (1 x steif-halbfest, 1 x weich-steif)	

Das Versuchsergebnis der Probe TP 53/2012 HA EP5/3 liegt mit einer Konsistenzzahl $I_c = 3,46$ für die geprüfte Bodenschicht untypisch hoch. Es wird daher nur informativ als eingeklammerter Wert bei den Spannbreiten z. T. aufgeführt. In den Mittelwerten ist es nicht mit berücksichtigt.

**4. Schicht: Hangschutt**

(3 Proben)

Fließgrenze:	w_L	= 27,5 – 46,6 %	(im Mittel 36,8 %)
Ausrollgrenze:	w_p	= 16,0 – 18,3 %	(im Mittel 17,3 %)
Plastizitätszahl:	I_p	= 9,2 – 30,6 %	(im Mittel 19,5 %)
Konsistenzzahl:	I_c	= 0,56 – 0,81	(im Mittel 0,70)
Konsistenz:	weich - steif		
	nach Feldansprache: steif-halbfest		

5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein

(8 Proben)

Fließgrenze:	w_L	= 31,6 – 53,8 %	(im Mittel 40,7 %)
Ausrollgrenze:	w_p	= 15,7 – 21,9 %	(im Mittel 19,4 %)
Plastizitätszahl:	I_p	= 11,9 – 31,9 %	(im Mittel 21,3 %)
Konsistenzzahl:	I_c	= 0,74 – 1,29	(im Mittel 0,94)
Konsistenz:	weich - halbfest		
	nach Feldansprache: steif-halbfest		

Die Proben, an welchen die Zustandsgrenzen bestimmt wurden, wiesen unterschiedliche Gehalte an Überkorn auf. Ausgehend von dem Ansatz, dass im Überkorn kein Wasser enthalten ist, ergeben sich rechnerisch oft geringe Konsistenzzahlen d.h. weiche bis breiige Konsistenzen. Diese Ergebnisse sind lediglich als oberer Grenzwert der Konsistenz zu verstehen. Die Bodenansprache im Gelände hat für die untersuchten Böden im Wesentlichen steife bis halbfeste und nur sehr untergeordnet weiche bis steife Konsistenzen ergeben. Für die weitere Bewertung der Zustandsform der Böden wird daher die Feldansprache verwendet.

4. Korngrößenverteilung

An insgesamt 84 Proben wurde die Korngrößenverteilung nach DIN 18123 durch Siebanalyse bzw. Sieb- und Sedimentationsanalyse bestimmt. Die für die untersuchten Bodenproben ermittelten Körnungslinien sind in Anlage 5.3 dargestellt und beschreiben diese Böden entsprechend der Korngrößenbereiche wie folgt:

1. Schicht: Oberboden

(1 Probe)

Sand, schluffig, schwach kiesig

**3. Schicht: Lehm**

(43 Proben)

Schluff, sandig bis stark sandig, schwach tonig bis tonig, vereinzelt schwach kiesig
Sand, schluffig bis stark schluffig, schwach tonig bis tonig, oftmals schwach kiesig
bis kiesig

4. Schicht: Hangschutt

(14 Proben)

überwiegend

Sand, schwach bis stark kiesig, schwach schluffig bis schluffig, schwach tonig bis
tonig

selten

Kies, stark sandig, zum Teil schluffig, schwach tonig

Schluff, tonig, sandig, schwach kiesig

5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein

(26 Proben)

überwiegend

Schluff, sandig bis stark sandig, schwach tonig bis tonig, oftmals schwach kiesig
bis kiesig

Sand, schwach bis stark kiesig, schwach bis stark schluffig, schwach tonig bis
tonig

selten

Ton, stark schluffig, sandig

Sand, schwach kiesig

Kies, stark sandig, zum Teil schluffig, schwach tonig.

Die Körnungsbänder in den Kapiteln 8.2 und 8.3 veranschaulichen die Bandbreite des ange-
troffenen Kornspektrums.



5. Proctordichte/optimaler Wassergehalt

Aus den einzelnen Bodenschichten wurden gestörte Proben entnommen und an insgesamt 42 Bodenproben wurden die Proctordichte und der optimale Wassergehalt nach DIN 18127 im Proctortopf $d = 100 \text{ mm}$ bestimmt. Die Ergebnisse sind im Einzelnen in Anlage 5.4 dargestellt. Aufgegliedert nach Schichtzuordnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

3. Schicht: Lehm

(27 Proben)

Proctordichte	$\rho_{Pr} = 1,656 - 1,921 \text{ g/cm}^3$
Mittelwert	$\rho_{Pr} = 1,799 \text{ g/cm}^3$
optimaler Wassergehalt	$w_{Pr} = 11,5 - 20,2 \%$
Mittelwert	$w_{Pr} = 14,2 \%$

4. Schicht: Hangschutt

(5 Proben)

Proctordichte	$\rho_{Pr} = 1,780 - 1,969 \text{ g/cm}^3$
Mittelwert	$\rho_{Pr} = 1,853 \text{ g/cm}^3$
optimaler Wassergehalt	$w_{Pr} = 11,0 - 14,1 \%$
Mittelwert	$w_{Pr} = 12,9 \%$

5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein

(11 Proben)

Proctordichte	$\rho_{Pr} = 1,664 - 1,998 \text{ g/cm}^3$
Mittelwert	$\rho_{Pr} = 1,807 \text{ g/cm}^3$
optimaler Wassergehalt	$w_{Pr} = 8,9 - 18,3 \%$
Mittelwert	$w_{Pr} = 12,6 \%$

6. Scherfestigkeit

Die Bestimmung der Scherfestigkeit erfolgte an ungestört entnommenen Bodenproben (Sonderproben) bzw. im Proctortopf hergestellten Probekörpern im Rahmenschergerät nach DIN 18137-3 und im Triaxialschergerät nach DIN 18137-2. Insgesamt wurden 18 Bestimmungen der Scherfestigkeit, davon 15 Rahmenscherversuche und 3 Triaxialscherversuche, ausgeführt. Die Ergebnisse sind im Einzelnen in Anlage 5.5 dargestellt.

Aufgegliedert nach Schichtzuordnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:



3. Schicht: Lehm

(12 Proben)

Rahmenscherversuche (9 Proben)

Reibungswinkel	$\varphi' = 22,4 - 31,7 (40,4^\circ)$
	Mittelwert $\bar{\varphi}' = 29,0 (30,2^\circ)$
Kohäsion	$c' = 0,2 - 21,9 \text{ kN/m}^2$
	Mittelwert $\bar{c}' = 9,2 (9,0) \text{ kN/m}^2$

Das Scherversuchsergebnis der Probe TP 54/2012 HA UP54/3 liegt mit einem Reibungswinkel von $\bar{\varphi}' = 40,4^\circ$ für die geprüfte Bodenschicht untypisch hoch. Es wird daher nur informativ aufgeführt und ist in den eingeklammerten Werten mit berücksichtigt.

Triaxialscherversuche (3 Proben)

Reibungswinkel	$\varphi' = 22,8 - 31,3^\circ$
	Mittelwert $\bar{\varphi}' = 26,0^\circ$
Kohäsion	$c' = 22,9 - 29,5 \text{ kN/m}^2$
	Mittelwert $\bar{c}' = 26,7 \text{ kN/m}^2$

Mittelwert aller Versuche (außer UP 54/3)

Reibungswinkel	$\varphi' = 28,1^\circ$
Kohäsion	$c' = 13,9 \text{ kN/m}^2$

Für die Triaxialscherversuche an den Proben TP023/2012HA EP23/2 und TP048/2012HA EP48/1 sowie den Rahmenscherversuch an der Probe TP030/2012HA EP 30/2 wurden Probekörper im Proctortopf $d = 100 \text{ mm}$ bei natürlichem Wassergehalt und einfacher Proctorverdichtung hergestellt. Die Verdichtungsgrade dieser Probekörper lagen bei TP023/2012HA EP23/2 $D_{Pr} = 98,0 \%$, TP048/2012HA EP48/1 $D_{Pr} = 97,4 \%$ und TP030/2012HA EP 30/2 $D_{Pr} = 95,0 \%$. Der Triaxialscherversuch TP 39/2012 HA UP39/1-3 wurde an ungestört entnommenen Proben ausgeführt. Der Verdichtungsgrad dieser Proben lag bei $D_{Pr} = \text{ca. } 89,5 \%$.

**5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein**

(6 Proben)

Rahmenscherversuche

Reibungswinkel	$\varphi' = 28,8 - 33,5^\circ$
	Mittelwert $\bar{\varphi}' = 30,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0,0 - 33,0 \text{ kN/m}^2$
	Mittelwert $\bar{c}' = 15,5 \text{ kN/m}^2$

7. Wasserdurchlässigkeit

Zur Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes der anstehenden Böden wurden aus den Bodenschichten ungestörte Proben (Sonderproben) mittels Ausstechzylinder entnommen. An diesen Proben wurde nach DIN 18130 die Wasserdurchlässigkeit in der Triaxialzelle bei einem hydraulischen Gefälle von $I = 30$ ermittelt.

Insgesamt wurden 34 Bestimmungen der Wasserdurchlässigkeit vorgenommen. Die Ergebnisse sind im Einzelnen in Anlage 5.6 dargestellt. Aufgegliedert nach Schichtzuordnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

1. Schicht: Oberboden

(1 Probe)

Wasserdurchlässigkeit	$k_{10} = 2,1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$
-----------------------	---

3. Schicht: Lehm

(21 Proben)

Wasserdurchlässigkeit	$k_{10} = 9,3 \times 10^{-11} - 2,8 \times 10^{-8} \text{ m/s}$
Mittelwert:	$k_{10} = 6,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$

4. Schicht: Hangschutt

(4 Proben)

Wasserdurchlässigkeit	$k_{10} = 6,7 \times 10^{-11} - 3,0 \times 10^{-8} \text{ m/s}$
Mittelwert:	$k_{10} = 9,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$

5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein

(8 Proben)

Wasserdurchlässigkeit	$k_{10} = 9,0 \times 10^{-11} - 4,8 \times 10^{-9} \text{ m/s}$
Mittelwert:	$k_{10} = 8,6 \times 10^{-10} \text{ m/s}$



8. Dynamische Verformungsmoduli

Im Zuge der Schurfherstellung wurden in verschiedenen Tiefen Bestimmungen des dynamischen Verformungsmoduls mit dem leichten Fallgewichtsgerät nach TP BF-StB, Teil 8.3 vorgenommen.

Die Ergebnisse der insgesamt 67 dynamischen Plattendruckversuche sind in der Anlage 6 mit Tiefenzuordnung (m u. GOK) und der Schichtzuordnung aufgeführt. Aufgegliedert nach Schichtzuordnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

3. Schicht: Lehm

(31 Versuche)

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 6,0 - 27,0 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 15,4 \text{ MN/m}^2$$

4. Schicht: Hangschutt

(11 Versuche)

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 9,1 - 27,6 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 19,2 \text{ MN/m}^2$$

5. Schicht: Verwitterungshorizont Buntsandstein

(25 Versuche)

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 5,3 - 52,8 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 24,1 \text{ MN/m}^2$$

3 der insgesamt 25 dynamischen Plattendruckversuche wurden im Grenzbereich des Verwitterungshorizontes (Stufe 4 und 5) zu den festen Buntsandsteinschichten ausgeführt.

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 27,79 / 50,34 / 52,82 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 43,65 \text{ MN/m}^2$$

Ohne die 3 dynamischen Plattendruckversuche im Grenzbereich zu den festen Buntsandsteinschichten beträgt der mittlere dyn. Verformungsmodul:

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 5,3 - 48,6 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 21,4 \text{ MN/m}^2$$



Neben der oben aufgeführten schichtbezogenen Zuordnung werden die dynamischen Plattendruckversuche hier noch tiefenbezogen ausgewertet. Dabei ergibt sich folgendes Bild:

Tiefe: 0,00 – 0,50 m u. GOK

(29 Versuche)

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 6,0 - 25,3 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 14,8 \text{ MN/m}^2$$

Tiefe: 0,50 – 1,00 m u. GOK

(28 Versuche)

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 5,3 - 48,6 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 21,4 \text{ MN/m}^2$$

Tiefe: >1,00 m u. GOK

(10 Versuche)

Dyn. Verformungsmodul

$$E_{vd} = 12,6 - 52,8 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Mittelwert} \quad E_{vd} = 26,4 \text{ MN/m}^2$$

6. Bodenkennwerte

Die bodenphysikalischen Kennziffern und kennzeichnenden Zustandsgrößen sind als charakteristische Werte nachfolgend auf der Grundlage der ausgeführten Untersuchungen sowie anhand von Erfahrungswerten und früheren Laborversuchen an vergleichbaren Bodenarten tabellarisch zusammengestellt:



Tabelle 2: Bodenkennwerte

Kennziffer/ Zustandsgrößen	Einheit	Lehm	Hangschutt	Verwitterungshorizont
Bodenart (DIN 4023)		U/T, s' - s* S, t, (g') S, u*, (g)	S, u*, g - g* S, t, g U/T, s - s*, g T, s	S, u*, g - g* S, t, , g U/T, s - s*, g T, s
Bodenart (DIN EN ISO 14688-1)		sa, Si/Cl si, Sa cl, Sa	ci, cr, Sa cl, cr, Sa sa, cr, Ci/Cl sa, Cl	ci, cr, Sa cl, cr, Sa sa, cr, Ci/Cl sa, Cl
Bodengruppe (DIN 18196)		TM/TL/UL/SU*/ST	TL, TM, ST, SU, SU*. GU	TL, TM, TA, SU, SU*. ST, GU
Bodenklasse (DIN 18300)		4	3 - 4 (5/6/7)**	3 - 5 (6/7)**
Frostgefahr (ZTVE)		F3	F3 (F2)	F3 (F2)
Wichte des feuchten Bodens γ	kN/m ³	19,5	19 - 20	20 - 21
Reibungswinkel φ'_k	°	27,5	27,5 - 30,0 (22,5)*	27,5 - 32,5 (17,5-22,5)*
Kohäsion c'_k	kN/m ²	5 - 10	0 - 5 (10)*	0-5 (10)*
Steifeiziffer $E_{s,k}$ ($\sigma = 100$ - 200kN/m^2)	MN/m ²	5 - 15	15 - 50	15 - 50
Wasserdurchlässigkeit k_k	m/s	$10^{-8} - 10^{-11}$	$10^{-7} - 10^{-11}$	$10^{-5} - 10^{-11}$

* Werte in Klammern für Tone (im südl. und nördl. Bereich angetroffen bzw. erwartet)

** Werte in Klammern für steinige Böden, Blöcke, Ton-/Schluffsteinbänke (nur untergeordnet erwartet)

Die Baugrundsichten und insb. die Kennwerte für die Scherfestigkeit und Verformungssteifigkeit des Baugrundes variieren innerhalb relativ weiter Grenzen. Es wird hierzu auf das Kapitel 8 verwiesen.



7. Bewertung der Ergebnisse

7.1 Planerische Randbedingungen oder Projektrandbedingungen

Die Anforderungen an die Flächenvorbereitung und das System Basisabdichtung sowie die daraus resultierenden grundsätzlichen Maßnahmen zu deren Realisierung sind im Band 1.1.1 der Antragsunterlage **Ausführliche Vorhabensbeschreibung, System Basisabdichtung/ Oberflächenabdeckung** beschrieben.

Unter geotechnischen Gesichtspunkten, wird voraussichtlich im oberflächennahen Untergrund innerhalb der hier erkundeten Lockergesteinsbedeckung und des Verwitterungshorizontes der Buntsandsteinschichten das Planum für die Basisabdichtung hergestellt werden müssen. Als notwendiger Mindestabtrag ist der Oberboden im festgestellten Mächtigkeitsbereich zu berücksichtigen. Der Umfang an notwendigen Profilierungsarbeiten zur Herstellung des Planums für die derzeit geplante Basisabdichtung bzw. auch die Entwässerungssysteme wird erst in folgenden Planungen zur Vorbereitung von Betriebsplänen oder der Ausführung ermittelt.

In den folgenden Ausführungen und Empfehlungen zu erdbautechnischen Maßnahmen werden daher zunächst als grober Ausblick Tiefenbereiche von rund 0,20 bis 0,50 m sowie tiefer/nachfolgend bis 1,00 m unter GOK betrachtet.

7.2 Bodenaufbau

Im untersuchten Bereich steht unterhalb einer gering mächtigen Oberbodenbedeckung (ca. 0,1 – 0,3 m) eine als **Lehm** zusammengefasste Schicht aus Decklehm/Hanglehm/Lößlehm in unterschiedlicher Stärke an.

Die Mächtigkeit dieser Schicht schwankt zwischen 0,3 m und 2,0 m, wobei in insgesamt 3 Aufschlüssen (TP 31/2012 HA, TP 32/2012/HA und TP 45/2012 HA) kein Lehm nachgewiesen werden konnte.

In diesen Aufschlüssen steht unterhalb des Oberbodens Hangschutt bzw. direkt der Verwitterungshorizont der Buntsandsteinschichten in unterschiedlicher Ausbildung (sandiger Ton bzw. schluffiger bis toniger Sand) an. Die größte Mächtigkeit der Lehmschicht wurde im nördlichen Bereich der geplanten Erweiterungsfläche festgestellt.



Unterhalb des **Lehms** folgen im allgemeinen **Hangschutt** und/oder die **Verwitterungszone des Buntsandsteins** in der zu Lockergestein verwitterte Buntsandsteinschichten (vollständig verwitterter bis zersetzter Fels, Stufe 4 bis 5, im Sinne der DIN EN ISO 14689-1) anstehen. Diese sind von gemischt- bis feinkörniger Ausbildung und weisen eine große Bandbreite in der Kornverteilung auf. Grobkörnige Böden können sehr untergeordnet auftreten, wurden aber bei der Erkundung nicht angetroffen.

Im Liegenden der o.g. Schichten steht **Buntsandstein** in Form von Fein- bis Mittelsandsteinen mit einzelnen Ton- und Schluffsteineinschaltungen an.

Für die Schicht 3: **Lehm** wurde ein Isolinenplan der Schichtmächtigkeit erstellt. Diesem Plan, der in Anlage 1.3 beigelegt ist, kann ein grober Überblick über die vertikale und laterale Verteilung der Schichtmächtigkeit entnommen werden.

Weiterhin wurde ein Isolinenplan Quartärmächtigkeit für die Gesamtmächtigkeit der Schichten 3: Lehm und der Schicht 4: Hangschutt erstellt und diesem Gutachten als Anlage 1.4 beigelegt. Hierbei ist zu beachten, dass in den Schürfen TP 49/2012 HA, TP 51/2012 HA, TP 53/2012 HA und TP 55/2012 HA die Quartärbasis nicht erreicht wurde. Zur Erstellung des Isolinenplanes wurde für diese Schürfe die Quartärmächtigkeit jeweils aus der erreichten Endteufe abzüglich der Mutterbodenmächtigkeit angesetzt.

In der nachfolgenden Tabelle 3 ist zusammengestellt, bis in welche Tiefen die Baugrundsichten bei den einzelnen Aufschlüssen angetroffen wurden.



Tabelle 3: Baugrundsichten

Aufschluss Nr.:	UK Mutterboden m u GOK	UK Lehm m u GOK	UK Hangschutt m u GOK	UK Verwitterungsho- rizont = OK Fels m u GOK
TP 20/2012 HA	0,30	0,50	0,90	1,45
TP 21/2012 HA	0,35	0,75	-	1,70
TP 22/2012 HA	0,15	1,30	-	1,30
TP 23/2012 HA	0,10	1,90	-	>3,70, n.e.
TP 24/2012 HA	0,15	0,90	-	1,50
TP 25/2012 HA	0,15	0,70	-	1,50
TP 26/2012 HA	0,10	0,50	1,90	1,90
TP 27/2012 HA	0,10	0,40	-	1,40
TP 28/2012 HA	0,15	0,70	-	1,40
TP 29/2012 HA	0,15	0,40	1,55	3,00
TP 30/2012 HA	0,15	1,90	2,90	3,60
TP 31/2012 HA	0,20	-	1,20	1,60
TP 32/2012 HA	0,05	-	-	>1,60, n.e.
TP 33/2012 HA	0,20	0,70	-	1,10
TP 34/2012 HA	0,10	0,55	1,40	1,40
TP 35/2012 HA	0,10	0,50	1,50	1,50
TP 36/2012 HA	0,15	0,40	0,90	1,30
TP 37/2012 HA	0,15	1,40	-	2,70
TP 38/2012 HA	0,10	0,70	-	1,20
TP 39/2012 HA	0,10	0,90	-	2,00
TP 40/2012 HA	0,10	0,70	-	1,70
TP 41/2012 HA	0,10	1,40	-	1,40
TP 42/2012 HA	0,10	0,80	-	1,50
TP 43/2012 HA	0,10	0,60	-	2,50
TP 44/2012 HA	0,05	0,50	-	>1,20, n.e.
TP 45/2012 HA	0,15	-	-	0,70
TP 46/2012 HA	0,10	0,40	1,60	1,60
TP 47/2012 HA	0,10	1,10	-	>1,10, n.e.
TP 48/2012 HA	0,15	0,70	1,20	2,20
TP 49/2012 HA	0,10	0,60	>1,10	n.e.
TP 50/2012 HA	0,10	0,40	-	>1,10, n.e.
TP 51/2012 HA	0,10	0,90	>1,10	n.e.
TP 52/2012 HA	0,15	2,10	-	2,10
TP 53/2012 HA	0,10	2,00	>3,50	n.e.
TP 54/2012 HA	0,10	0,70	1,00	1,80
TP 55/2012 HA	0,10	0,60	>1,00	n.e.
TP 56/2012 HA	0,10	0,70	-	1,60

n.e. = nicht erreicht



Die Einteilung nach Homogenschichten erfolgte, auch bei unterschiedlicher Zusammensetzung, nach der Genese (Lehm, Hangschutt, Verwitterungshorizont Buntsandstein), da die Zusammensetzung und auch die bautechnischen Eigenschaften dieser Schichten in Abhängigkeit der Ausgangsgesteine schwanken. Das durchgehende Aushalten von Homogenschichten gleicher Eigenschaften ist daher, zumal bei der Größe des Untersuchungsgebietes, nicht möglich. Dies muss bei der Bewertung und Benutzung der Isolinienpläne berücksichtigt werden. Soweit möglich werden nachfolgend Angaben zur räumlichen Verteilung von vergleichbaren Bodenarten angegeben.

Ergänzend zu den nachfolgenden Beschreibungen der einzelnen Schichten sind in den Abbildungen 2 bis 4 zur Übersicht der zu erwartenden Böden tiefenorientierte Kornbänder dargestellt.

Abbildung 2: Darstellung Körnungsband Böden UK Oberboden bis 0,5 m u. GOK

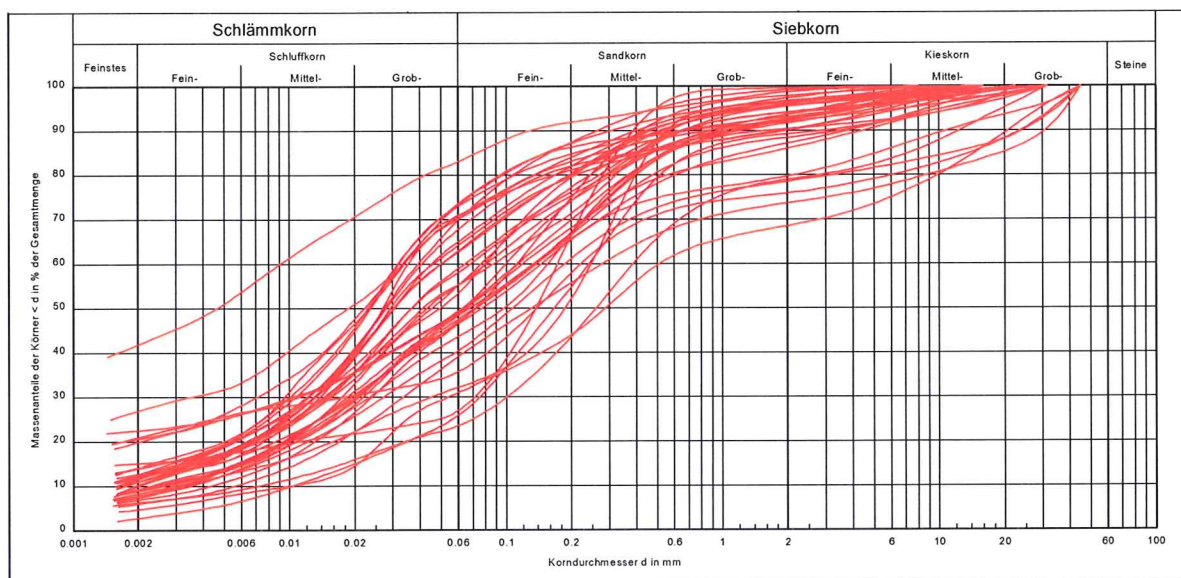




Abbildung 3: Darstellung Körnungsband Böden 0,5 m bis 1,0 m u. GOK

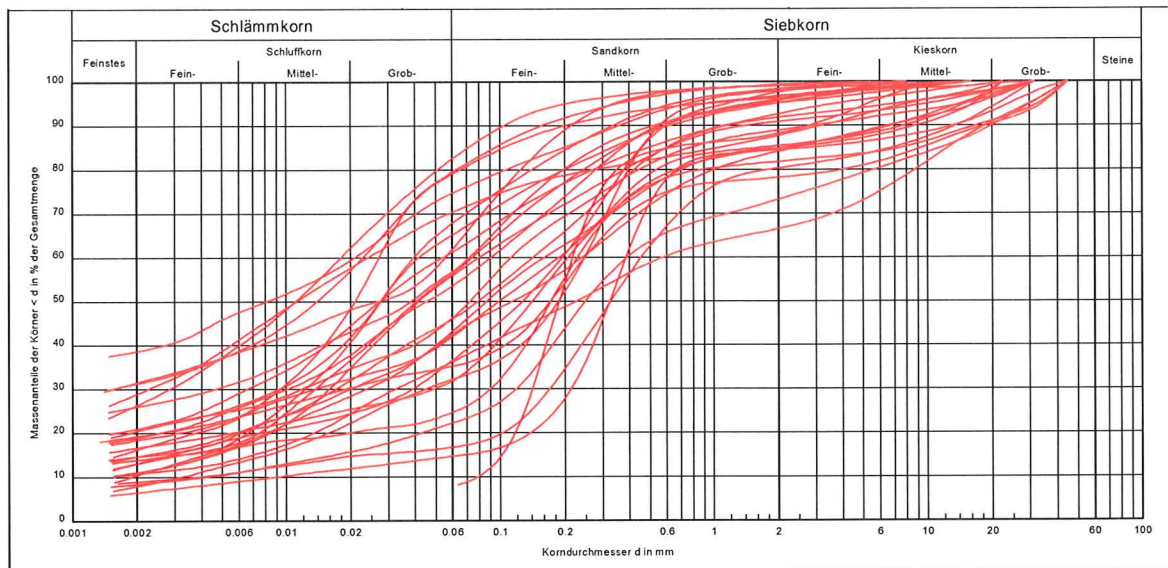
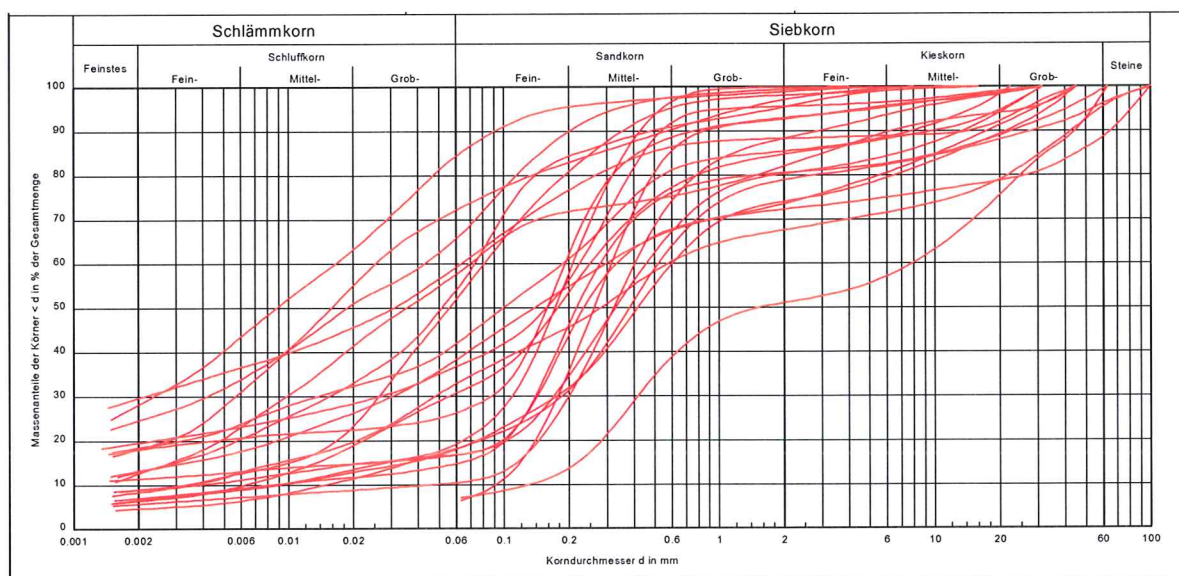


Abbildung 4: Darstellung Körnungsband Böden ab 1,0 m u. GOK





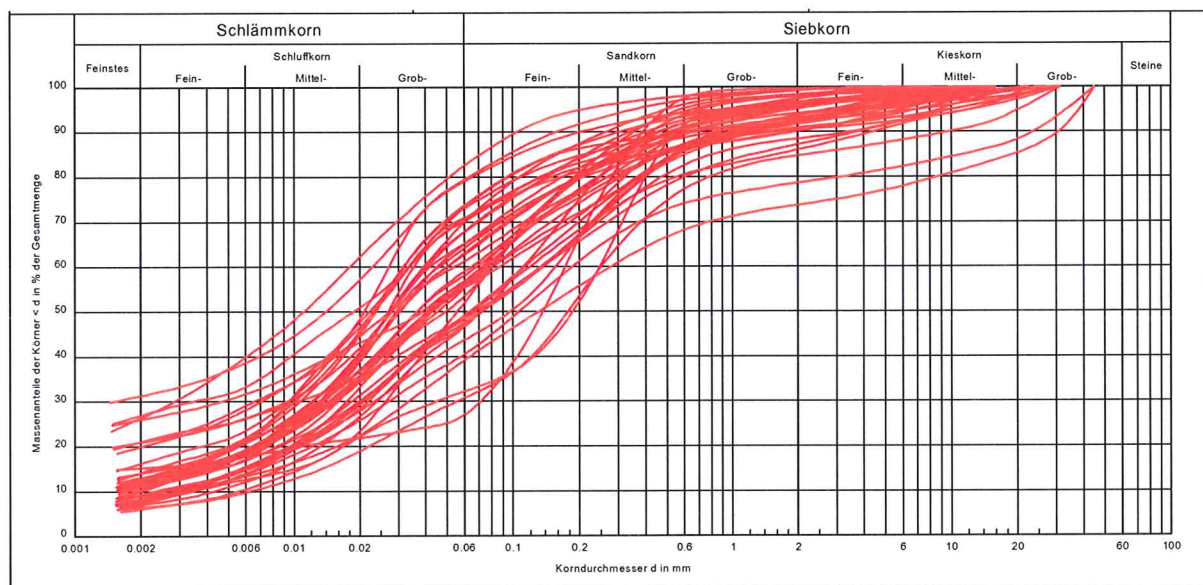
7.3 Bewertung der Schicht 3: Lehm

Die Schichtstärke der Lehmschicht wurde im Untersuchungsbereich unterschiedlich angetroffen. Die Isoliniendarstellung der Anlage 1.3 verdeutlicht das. Größere Schichtmächtigkeiten wurden im südlichen Randbereich in den Schürfen TP 22/2012 HA (1,15 m), TP 23/2012 HA (1,8 m), im nördlichen Randbereich („Überm Ochsengraben“) in den Schürfen TP 52/2012 HA (1,95 m), TP 53/2012 HA (1,90 m), lokal in der Fläche TP 41/2012 HA (1,30 m) und TP 37/2012 HA (1,25 m) sowie im nordöstlichen Randbereich TP 30/2012 HA (1,75 m) angetroffen.

Es ist mit kleinräumigen Schwankungen der Schichtstärke und einem fließenden Übergang in die Schicht 4: Hangschutt bzw. die Schicht 5: Verwitterungshorizont des Buntsandsteins auszugehen.

Dem entsprechend weist die Schicht 3: **Lehm** nach dem nachfolgend dargestellten Körnungsband im Wesentlichen Feinkornanteile $d < 0,063$ mm von ca. 40 bis 70 % und Tonanteile $d < 0,002$ von ca. 6 bis 30 % aus. Einzelne wenige Kornverteilungen weichen nach oben und unten davon ab.

Abbildung 5: Darstellung Körnungsband Schicht 3: Lehm





Eine räumliche Zuordnung bestimmter Bodenvarietäten nach Lage und Tiefe ist nicht sicher möglich. Tonige Böden mit mehr als 60 % Feinkornanteilen $d < 0,063$ mm und Tonanteilen von ca. 10 – 30 % finden sich gehäuft im südlichen und im nördlichen Bereich der geplanten Haldenaufstandsfläche. Die ungefähren Bereiche in denen tonige Böden zu erwarten sind, können dem Plan der Anlage 1.5 entnommen werden. Das deckt sich mit den Ergebnissen der Verwitterungszone Buntsandstein und des Hangschuttes.

Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit ergab für den natürlich anstehenden Boden bei Verdichtungsgraden im Bereich $D_{Pr} = 80,78$ bis $104,38$ % Werte von $k_{10} = 2,8 \times 10^{-8}$ bis $9,3 \times 10^{-11}$ m/s. Diese Werte können von natürlichen „Störungen“ wie Wurzelröhren, Grabgänge von Bodenlebewesen usw. beeinflusst sein.

Die Scherfestigkeit der Lehmschicht sollte für die Böden mit weniger als 60% Feinkorn mit

Reibungswinkel	$\varphi_k' = 27,5^\circ$
Kohäsion	$c_k' = 5 \text{ kN/m}^2$

und für die Böden mit mehr als 60% Feinkorn mit

Reibungswinkel	$\varphi_k' = 22,5^\circ$
Kohäsion	$c_k' = 10 \text{ kN/m}^2$

angesetzt werden.

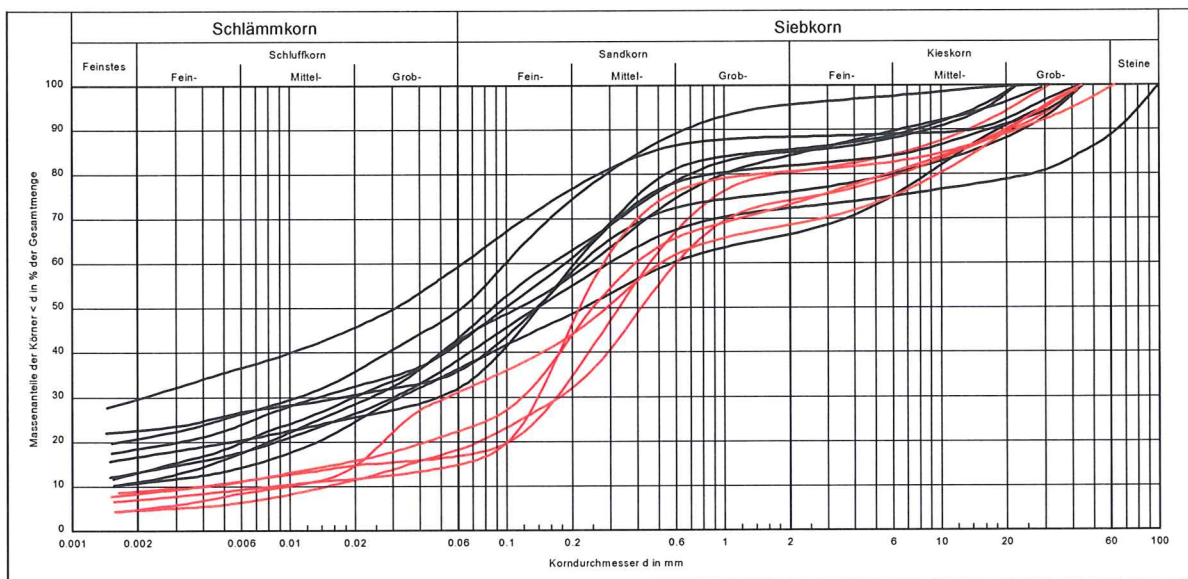
Aus den Proctorversuchen lässt sich für die Verdichtung auf 97 % Proctordichte beidseitig des Optimums eine Spanne des Wassergehaltes von ca. 5 -7 % ableiten. Die natürlichen Wassergehalte zum Untersuchungszeitpunkt lagen im Wesentlichen zwischen $w = \text{ca. } 12 - 20$ % und damit überwiegend im bearbeitbaren Bereich. Für die Herstellung einer Haldenaufstandsfläche ist allerdings die Bodenfeuchtigkeit zum Herstellungszeitpunkt, welche durch Jahreszeit und Witterungsverhältnisse bestimmt wird, maßgebend. Zum Zeitpunkt der Untersuchung lag der Mittelwert der natürlichen Wassergehalte über dem Mittelwert der optimalen Wassergehalte aus den Proctorversuchen.



7.4 Bewertung der Schicht 4: Hangschutt

Die Schicht 4: **Hangschutt** weist entsprechend dem nachfolgend dargestellten Körnungsband im Wesentlichen Feinkornanteile $d < 0,063$ mm von ca. 15 - 45 % (vereinzelt bis 60%) und Tonanteile $d < 0,002$ von ca. 5 - 22 % (vereinzelt bis 30%) aus.

Abbildung 6: Darstellung Körnungsband Schicht 4: Hangschutt



Die Schicht 4: **Hangschutt** gliedert sich, abgesehen von zwei Proben, im Wesentlichen in 2 Kornbänder.

- flach verlaufende Körnungslinien mit ca. 30 bis 60 % Feinkornanteilen $d < 0,063$ mm
- relativ steil verlaufende Körnungslinien überwiegend im sandig kiesigen Bereich mit weniger als 30% Feinkornanteilen $d < 0,063$ mm

Eine räumliche Zuordnung bestimmter Bodenvarietäten nach Lage und Tiefe ist nicht sicher möglich. Die Böden des Kornbandes mit mehr als 30 % Feinkornanteilen $d < 0,063$ mm und Tonanteilen von ca. 11 – 22 % finden sich gehäuft im nördlichen Bereich der geplanten Haldenaufstandsfläche. Das deckt sich mit den Ergebnissen der Verwitterungszone Buntsandstein. Es wird hier auf die entsprechende Darstellung in Anlage 1.5 verwiesen.



Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit ergab für den natürlich anstehenden Boden bei Verdichtungsgraden im Bereich $D_{Pr} = 91,6$ bis $98,9$ % Werte von $k_{10} = 3,0 \times 10^{-8}$ bis $6,7 \times 10^{-11}$ m/s. Diese Werte können noch von natürlichen „Störungen“ wie Wurzelröhren, Grabgänge von Bodenlebewesen usw. beeinflusst sein. Auch wurden hier nur Partien der Schicht mit höheren Feinkornanteilen untersucht. In den Partien der Schicht mit geringeren Feinkornanteilen werden höhere Wasserdurchlässigkeiten bis maximal $k_{10} = 1,0 \times 10^{-7}$ m/s erwartet.

Die Scherfestigkeit der Schicht 4 Hangschutt sollte mit

Reibungswinkel	$\varphi_k' = 27,5 - 30^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 - 5 \text{ kN/m}^2$

angesetzt werden. In einigen Aufschlüssen (z.B. TP 30/2012 HA, TP 36/2012 HA) wurde eine tonige Zusammensetzung der Schicht angetroffen und das untersuchte Material z.T. als TM - mittelplastischer Ton klassifiziert.

In solchen Bereichen, die im Wesentlichen im südlichen und im nördlichen Bereich der geplanten Haldenaufstandsfläche erwartet werden, ist die Scherfestigkeit deutlich geringer und es sollte der betreffende Profilanteil für Extremwertbetrachtungen mit

Reibungswinkel	$\varphi_k' = 22,5^\circ$,
Kohäsion	$c' = 10 \text{ kN/m}^2$

angesetzt werden.

Entsprechend der ausgeführten Korngrößenanalysen und Zustandsgrenzenbestimmungen sowie der Feldansprache handelt es sich bei dem Material um Böden die nach DIN 18196 den Bodengruppen SU-SU*, ST, TL, TM zuzuordnen sind. Die Bodengruppen GU-GU* können auftreten.



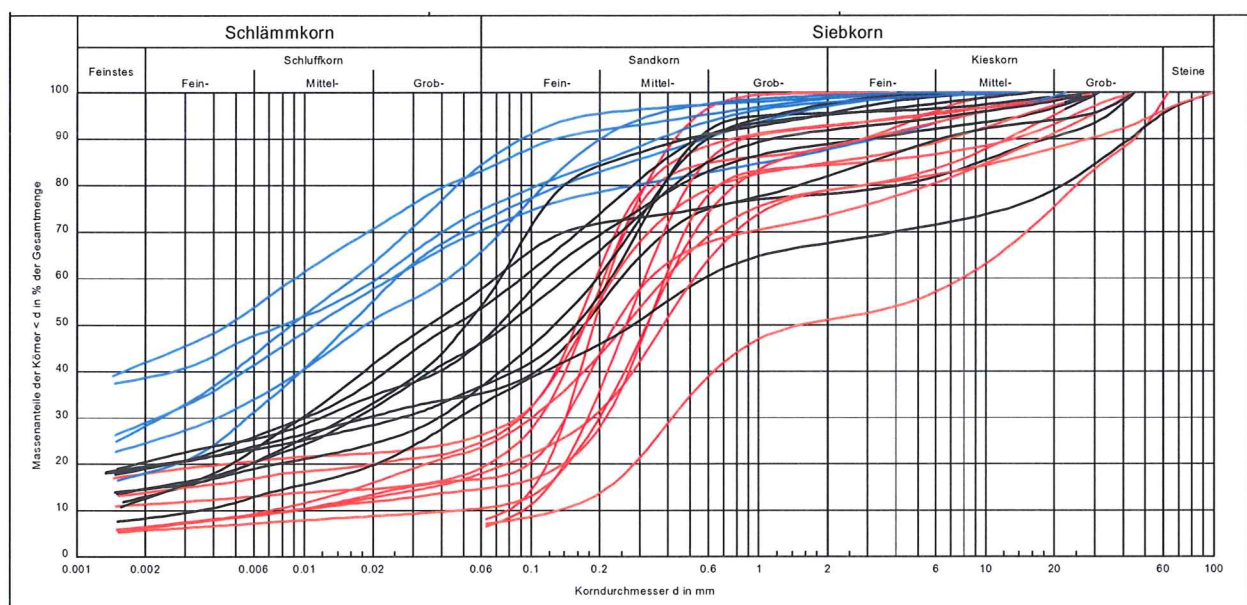
Aus den Proctorversuchen lässt sich für die Verdichtung auf 97 % Proctordichte beidseitig des Optimums eine Spanne des Wassergehaltes von ca. 5 - 7 % ableiten. Die natürlichen Wassergehalte zum Untersuchungszeitpunkt lagen im Wesentlichen zwischen $w = \text{ca. } 10 - 17 \%$ und damit überwiegend im bearbeitbaren Bereich. Für die Herstellung einer Haldenaufstandsfläche ist allerdings die Bodenfeuchtigkeit zum Herstellungszeitpunkt, welche durch Jahreszeit und Witterungsverhältnisse bestimmt wird, maßgebend. Zum Zeitpunkt der Untersuchung lag der Mittelwert der natürlichen Wassergehalte etwa bei dem Mittelwert der optimalen Wassergehalte aus den Proctorversuchen.

7.5 Bewertung der Schicht 5: Verwitterungshorizont Buntsandstein

Die Schicht 5: **Verwitterungshorizont Buntsandstein** gliedert sich im Wesentlichen in 3 Kornbänder.

- flach verlaufende Körnungslinien mit mehr als 60% Feinkornanteilen $d < 0,063 \text{ mm}$
- flach bis steil verlaufende Körnungslinien mit 30 - 60% Feinkornanteilen $d < 0,063 \text{ mm}$
- relativ steil verlaufende Körnungslinien überwiegend im sandig kiesigen Bereich mit weniger als 30 % Feinkornanteilen $d < 0,063 \text{ mm}$

Abbildung 7: Darstellung Körnungsband Schicht 5: Verwitterungshorizont Buntsandstein





Die Schicht 5: **Verwitterungshorizont Buntsandstein** weist insgesamt entsprechend dem oben dargestellten Körnungsband im Wesentlichen Feinkornanteile $d < 0,063$ mm von ca. 8 - 72 % (vereinzelt bis 85%) und Tonanteile $d < 0,002$ von ca. 5 - 20 % (vereinzelt bis 30 – 42 %) aus.

Eine räumliche Zuordnung bestimmter Bodenvarietäten nach Lage und Tiefe ist nicht sicher möglich. Die Böden des Kornbandes mit mehr als 30% und insbesondere mit mehr als 60 % Feinkornanteilen $d < 0,063$ mm und Tonanteilen von ca. 10 - 40 % finden sich gehäuft im südlichen und nördlichen Bereich der geplanten Haldenaufstandsfläche. Das deckt sich mit den Ergebnissen der des Lehms und des Hangschuttes. Es wird hier auf die entsprechende Darstellung in Anlage 1.5 verwiesen.

Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit ergab für den natürlich anstehenden Boden bei Verdichtungsgraden im Bereich $D_{Pr} = 90,9$ bis $101,6$ % Werte von $k_{10} = 8,5 \times 10^{-10}$ bis $9,0 \times 10^{-11}$ m/s. Diese Werte können noch geringfügig noch von natürlichen „Störungen“ wie Wurzelröhren, Grabgänge von Bodenlebewesen usw. beeinflusst sein. Auch wurden hier nur Partien der Schicht mit höheren Feinkornanteilen untersucht. In den Partien der Schicht mit geringeren Feinkornanteilen, insbesondere in den nicht bindigen, gemischt- bis grobkörnigen Sanden und Kiesen mit geringen Feinkornanteilen, werden höhere Wasserdurchlässigkeiten bis maximal $k_{10} = 1,0 \times 10^{-5}$ m/s erwartet.

Die Scherfestigkeit der Schicht Verwitterungshorizont Buntsandstein sollte mit

Reibungswinkel	$\varphi_k' = 27,5 - 32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 - 5 \text{ kN/m}^2$

angesetzt werden.

In Bereichen in denen tonige Böden mit mehr als 60% Feinkorn anstehen, im Wesentlichen voraussichtlich im südlichen und im nördlichen Bereich der geplanten Haldenaufstandsfläche, ist die Scherfestigkeit deutlich geringer und es sollte der betreffende Profilanteil für Extremwertbetrachtungen mit

Reibungswinkel	$\varphi_k' = 17,5 - 22,5^\circ$,
Kohäsion	$c' = 10 \text{ kN/m}^2$

angesetzt werden.



Entsprechend der ausgeführten Korngrößenanalysen und Zustandsgrenzenbestimmungen sowie der Feldansprache handelt es sich bei dem Material um Böden die nach DIN 18196 den Boden-
gruppen SU-SU*, ST, TL, TM, TA zuzuordnen sind. Die Bodengruppen GU-GU* können auftreten.

Aus den Proctorversuchen lässt sich für die Verdichtung auf 97 % Proctordichte beidseitig des Optimums eine Spanne des Wassergehaltes von ca. 5 -7 % ableiten. Die natürlichen Wassergehalte zum Untersuchungszeitpunkt lagen im Wesentlichen zwischen $w = \text{ca. } 10 - 17 \%$ und damit überwiegend im bearbeitbaren Bereich. Für die Herstellung einer Haldenaufstandsfläche ist allerdings die Bodenfeuchtigkeit zum Herstellungszeitpunkt, welche durch Jahreszeit und Witterungsverhältnisse bestimmt wird, maßgebend. Zum Zeitpunkt der Untersuchung lag der Mittelwert der natürlichen Wassergehalte über dem Mittelwert der optimalen Wassergehalte aus den Proctorversuchen.

8. Empfehlungen

8.1 Aufstandsfläche

Die Untergrundverhältnisse im Bereich der geplanten Haldenerweiterungsfläche wurden mittels Schürfgruben im Abstand von ca. 100 bis 300 m erkundet, beschrieben und beurteilt.

Abweichungen des Bodenaufbaus zwischen den Aufschlüssen vom hier beschriebenen Befund können nicht ausgeschlossen werden, sind aber wenig wahrscheinlich. Eine ständige und sorgfältige Kontrolle der bei den Erdarbeiten angetroffenen Verhältnisse und ein Vergleich zu den Ergebnissen und Folgerungen im Gutachten sind daher unerlässlich.

Die Höhenlage der Haldenaufstandsfläche ist mit dem Stand der bisherigen Planung noch nicht bekannt.

Oberflächennah steht im Erweiterungsbereich der Halde die Schicht 3: Lehm an. Diese Schicht ist über die Fläche in Schichtstärken von 0,3 bis 2,0 m ausgebildet. In Bereichen in denen die Schicht nicht angetroffen wurde, stehen Böden der Schicht 4: Hangschutt bzw. Schicht 5: Verwitterungszone Buntsandstein in Form von sandigem Ton, bzw. schluffigem bis tonigem Sand an.



Einen Überblick über die Mächtigkeitsverteilung der Schicht 3: Lehm kann der Anlage 1.3 entnommen werden.

Bei größerem Bodenabtrag (d.h. $> 0,5 \text{ m}$) kann, insbesondere im östlichen und westlichen Bereich der Erweiterungsfläche die Haldenaufstandsfläche in der Schicht 4: Hangschutt bzw. in der Schicht 5: Verwitterungszone Buntsandstein zu liegen kommen. Die Schicht 4: Hangschutt weist ein deutlich breiteres Kornspektrum auf (siehe Körnungsband Abbildung 5) als die Schicht 3: Lehm. In der Schicht 5: Verwitterungszone Buntsandstein (s. Abbildung 6) können nichtbindige, schwach bindige bzw. steinige Profilanteile enthalten sein.

8.2 Baufeldfreimachung

Zur Vorbereitung der Haldenaufstandsfläche ist die Fällung der Bäume und die Rodung der Wurzelstubben erforderlich. Es wird davon ausgegangen, dass hierbei Löcher bis ca. 1,5 m Tiefe entstehen und Wurzelreste im tieferen Untergrund verbleiben, weil sie beim Ziehen der Wurzelstubben abreißen.

Nach Fällung und Abtransport der Bäume und der Rodung der Wurzelstubben wird erfahrungsgemäß noch viel organisches Material auf der Fläche zurückbleiben. Darüber hinaus wird die Geländeoberfläche entsprechend uneben sein. Der noch verbliebene Oberboden und die Holzreste müssen soweit als erdbautechnisch möglich abgetragen werden. Voraussichtlich kann das aufgrund des unebenen Geländes nur mit einem Bagger erfolgen.

Mit der weiteren Planung ist in Bezug auf die Herstellung des Planums zu prüfen, in welchem Umfang die Holz- und Wurzelreste im Untergrund verbleiben bzw. mit welcher Technologie sie anforderungsgerecht aussortiert werden können. Nach den bisherigen Erfahrungen zur Vorbereitung der Haldenaufstandsflächen am Standort konnten Holz- und Wurzelreste, die nicht maschinell separierbar waren, mit geeigneten Bodenfräsen so zerkleinert werden, dass die Bodenverdichtung nicht beeinträchtigt war.

Die Wurzelstubbenlöcher müssen anschließend mit geeigneten Erdbaustoffen (vergleichbare bodenmechanische Eigenschaften wie das Anstehende) mindestens bis zum Planum der Haldenaufstandsfläche lagenweise verfüllt werden. Die Verfüllung sollte mit einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 97 \%$ erfolgen. Sofern Fremdmaterialien zum Einsatz kommen, ist die Eignung im Vorfeld der Baumaßnahme durch entsprechende Eignungsuntersuchungen nachzuweisen. Die Verfüllung der Wurzelstubbenlöcher muss je nach Größe und Tiefe der Löcher mit Rüttelplatte/ Gra-



benwalze/ Baggeranbauverdichtern oder ähnlichem, geeignetem Gerät verdichtet werden. Die Verdichtung der Haldenaufstandsfläche kann wie bisher mit schweren (> 17 t) Stampffuß- bzw. Polygonwalzen erfolgen.

Vorhandene Baustraßen und Wirtschaftswege müssen zurückgebaut und dort evtl. zusätzlich geeignetes Material aufgebracht werden.

8.3 Planum/ Witterungsschutz

Die Planumsflächen mit Höhenniveau und Neigung und der daraus resultierende Umfang an Bodenab- und auftrag werden erst konkret mit späteren Planungen ermittelt und festgelegt. Nachfolgend werden allgemeine Empfehlungen zum Erdbau gegeben.

Der natürlich anstehende Boden bzw. die verfüllten Löcher der Wurzelstubben sind tragfähig genug, um darauf umgelagerten Boden aus den Abtragsbereichen einzubauen und zu verdichten.

Die versuchstechnisch ermittelten Tragfähigkeiten liegen derzeit im Tiefenbereichen von 0,00 - 0,50 m unter Gelände zwischen $E_{vd} = 6,02$ bis $25,3 \text{ MN/m}^2$ (im Mittel $E_{vd} = 14,8 \text{ MN/m}^2$) und im Tiefenbereichen von 0,50 - 1,00 m unter Gelände zwischen $E_{vd} = 5,32$ bis $48,6 \text{ MN/m}^2$ (im Mittel $E_{vd} = 21,4 \text{ MN/m}^2$).

Nach Verdichtung des anstehenden Bodens (Lehm, Hangschutt, lokal Verwitterungszone Buntsandstein) auf 97 % Proctordichte werden tiefengestaffelt voraussichtlich die folgenden Tragfähigkeiten erreicht:

- 0,00 - 0,50 m unter Gelände: $E_{v2} \approx 15 - 25 \text{ MN/m}^2$,
- 0,50 - 1,00 m unter Gelände: $E_{v2} \approx 15 - 35 \text{ MN/m}^2$,
- $> 1,00$ m unter Gelände: $E_{v2} \approx 25 - 60 \text{ MN/m}^2$.

Das ist jedoch stark abhängig vom Wassergehalt des Bodens. Die Tragfähigkeit sinkt bei jahreszeitlich bedingten hohen Wassergehalten der oberflächennah anstehenden Böden.



Zur Reduzierung der Bodenwassergehalte und Verbesserung der Verdichtbarkeit kann bei günstiger Witterung ein Auflockern/ Aufreißen des Rohplanums zur Belüftung/ Abtrocknung des zu feuchten Bodens vorgesehen werden.

Als technische Zusatzmaßnahme zur Verbesserung/ Vergleichmäßigung der Tragfähigkeit ist des Weiteren eine „qualifizierte“ Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln möglich (qualifiziert im Sinne einer nicht nur konstruktiven; sondern einer mit Eignungsuntersuchungen und erdbautechnischen Prüfungen beim Einbau kontrollierten Bauweise; als Bindemittel z.B. Weißfeinkalk, 2 – 3 Gew. %). Damit kann je nach Bindemittelart und -menge auch eine Reduzierung der Witterungsempfindlichkeit und Erosionsanfälligkeit der in den Planien freiliegenden Böden erreicht werden. Die erforderliche Dicke der mit hydraulischem Bindemittel zu verbessernden Schicht hängt von der, seitens des Planers festzulegenden Mindesttragfähigkeit ab. Beispielhaft kann für die im Straßenbau geltende Mindesttragfähigkeit des Planums von $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ im Tiefenbereich von 0,0 – 1,0 m unter Gelände eine Dicke mit ca. 0,3 – 0,5 m abgeschätzt werden. Tendenziell wird die Dicke der zu verbessernden Schicht zur Tiefe hin gering mächtiger ausfallen. Die einzusetzende Bindemittelart, die Zugabemenge des Bindemittels und die Dicke der zu verbessernden Schicht müssen im Vorfeld über Eignungsuntersuchungen und einen Probefeldbau ermittelt werden.

Generell weisen große Profilanteile der im Haldenerweiterungsbereich anstehenden schluffig-sandigen Böden z.T. nur sehr geringe Plastizitäten auf und sind empfindlich gegen Wassergehaltsänderungen z.B. durch Witterungseinflüsse und erosionsgefährdet. Es wird daher empfohlen jeweils nur die Planumsflächen vorzubereiten, die zeitnah überbaut werden können.

Der Hauptzeitraum des Erdbaues sollte aufgrund der zu erwartenden günstigeren Witterungsbedingungen in den Zeitraum Mai bis September gelegt werden.



9. Weiterführende Arbeiten

Der Horizont der festen Buntsandsteinschichten wurde nicht in allen Schürfen erreicht. Zur besseren Abgrenzung des Hangschuttes und des Verwitterten Buntsandsteins (Stufe 4 und 5 nach DIN EN ISO 14689-1) gegen den weniger verwitterten Buntsandstein und zur Bewertung der Lagerungsdichte der anstehenden Schichten werden hier auf Empfehlung des Baugrundinstituts ergänzende

schwere Rammsondierungen

ausgeführt. Deren Dokumentation und Bewertung erfolgt in einem gesonderten Bericht.

Es wird empfohlen zu Beginn der Arbeiten einen Probebau auszuführen, um die Herstellungstechnologie festzulegen. Dies insbesondere im Hinblick auf die Beräumung der Fläche von organischem Material (Holzreste, Mutterboden), die verbleibenden organischen Anteile im Boden, die Verfüllung der Wurzelstubbenlöcher und auf Maßnahmen zur ggf. erforderlichen Verbesserung der Planumtragfähigkeit.

Die weiteren Planungen sollten in Abstimmung mit dem Baugrundsachverständigen vorgenommen werden.

Dipl.-Ing. Kratsch

Dipl.-Geol. Deichmann