

GGU • In den Ungleichen 3 • 39171 Osterweddingen

MDSE - Mitteldeutsche Sanierungs-
und Entsorgungsgesellschaft mbH
Herr Büscher
Alustraße 1

06479 Bitterfeld

- Baugrunderkundung
- Bodenmechanisches Labor
- Gründungsgutachten
und Gründungsberatung
- Altlastenuntersuchung
- Damm- und Deichbau
- Grundwasserhydraulik
- Deponietechnik
- Kunststofftechnik
- Software für Grundbau
und Grundwasser

Telefon 039205 / 45 38-0
Telefax 039205 / 45 38-11
e-mail: post-md@ggu.de
Internet: <http://www.ggu.de>

22.11.2010

**Umverlegung der Laucha im Rahmen der
Stilllegung der Hochhalde Schkopau,
Ergänzende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung,
Teilobjekt Flusstrasse**

- Ergänzende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung -

Bericht: 2961.4/2010 (Endfassung)

Verteiler: MDSE - Mitteldeutsche Sanierungs- und
Entsorgungsgesellschaft mbH

4-fach

Inhalt: (siehe Verzeichnis Seite 2)

Ausfertigung:

Beratende Ingenieure
VBI, BDB, DWA, DGGT, ITVA, BWK
Sachverständige für Erd- und Grundbau
Vereidigte Sachverständige



Amtsgericht Braunschweig HRB 9354
Geschäftsführer:
Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Grubert M.Sc.
Dr.-Ing. Joachim Schmidt
Prof. Dr.-Ing. Johann Buß

Inhalt:

1. Zusammenfassung	4
2. Bauvorhaben	6
3. Baugrund	8
3.1 Morphologie, Bebauung und Bewuchs	8
3.2 Geologie	9
3.3 Hydrogeologie/Hydrologie	10
3.4 Besonderheiten	12
4. Untersuchungen	13
4.1 Lage, Art, Umfang und Zeitpunkt der Aufschlüsse	13
4.2 Laboruntersuchungen	15
5. Ergebnisse der Baugrundbohrungen	18
5.1 Untergrund BK 46	18
5.2 Bohrungen BK 47 und BK 48	21
5.3 Bohrungen BK 49 und BK 50	25
5.4 Bohrungen BK 51 und BK 52	31
5.5 Bohrungen BK 54 und BK 55	35
5.6 Bohrung BK 56	38
5.7 Bohrungen BK 57 und BK 58	41
6. Ergebnisse der Baggerschürfe	47
6.1 Allgemeines	47
6.2 Schürfe 6 und 7	47
6.3 Schürfe 8 und 9	50
7. Sedimentbeprobung	52
8. Eigenschaften und Klassifizierung der Böden	54
9. Abgleich der eigenen Ergebnisse mit [U1]	61
9.1 Hydrogeologische Verhältnisse	61
9.2 Geotechnische Verhältnisse	65
10. Hydrogeologische Bewertung	67
10.1 Bemessungswasserstände	67
10.2 Grundwasserzufluss zur Trasse	68
11. Geotechnische Bewertung	70
11.1 Geplantes Böschungssystem	70
11.2 Einschnittsentwässerung im Bauzustand	71
11.3 Einschnittsentwässerung im Endzustand	74
11.4 Standsicherheit des Böschungssystems	75
11.5 Sicherheit der Sohle	76
11.6 Aushub als Baustoff	78
11.7 Wegebau	80
12. Vorschläge für weitere Untersuchungen	84

Unterlagen

- [U1] Geotechnischer Bericht über die Baugrundverhältnisse für das Bauvorhaben: Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau gem. § 36 KrW-/AbfG, Brücke bei Knapendorf, erstellt von: Baugrundbüro Klein, Halle/Dölau, 23.10.2009
- [U2] Geologische Karte Halle und Umgebung, 1995, M 1 : 50.000
- [U3] Hochhalde Schkopau, Grundwassermessstellen und Analytikparameter der Deponie im Rahmen der Lauchaumverlegung; Schreiben der MDSE an die ARGE Lauchumverlegung; 01.10.2008
- [U4] Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau, Ergänzende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung, Teilobjekt Brücke Knapendorf; Bericht 2961.1/2010 (Endfassung); GGU mbH, Magdeburg; 28.10.2010
- [U5] Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau, Ergänzende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung, Teilobjekt Absperrbauwerk; Bericht 2961.2/2010 (Endfassung); GGU mbH, Magdeburg; 30.10.2010
- [U6] Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau, Ergänzende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung, Teilobjekt Bahndamm; Bericht 2961.3/2010 (Endfassung); GGU mbH, Magdeburg; 30.10.2010

Anlagen

- Anlage 1 Übersichtslageplan
- Anlage 2 Aufschlussplan, Maßstab 1 : 500
- Anlage 3 Schichtenverzeichnisse der Bohrungen
- Anlage 4 Zeichnerische Darstellung der Baugrundaufschlüsse
- Anlage 5 Laboruntersuchungen Boden
- Anlage 6 Pumpversuche
- Anlage 7 Chemische Analytik Sediment
- Anlage 8 Grundbautechnische Berechnungen

1. Zusammenfassung

Durch die GGU mbH wurde für die Baumaßnahme „Umverlegung der Laucha, Teilobjekt Flusstrasse“ eine Baugrunduntersuchung zur Ergänzung und Konkretisierung eines vorliegenden Baugrundgutachtens durchgeführt. Hierzu wurden die anstehenden Böden durch Bohrungen und Baggerschürfe erkundet und nachfolgend bodenmechanisch untersucht. In den zur Grundwassermessstellen ausgebauten Bohrungen wurden Pumpversuche ausgeführt,

Die Ergebnisse der Baugrunderkundungen bestätigen die aus dem vorliegenden Baugrundgutachten bekannten geotechnischen Verhältnisse. Demnach kann die Trasse in eine Tal- sowie eine Hochlage eingeteilt werden. In der Tallage stehen oberflächennah holozäne Aueablagerungen auf Talsanden an. Im Weiteren wurden tertiäre Ablagerungen erschlossen. Grundwasser steht hier gespannt in den Talsanden an. Die Ruhewasserstände sind etwa geländegleich.

In der Hochlage steht oberflächennah bereits Festgesteinszersatz unterschiedlicher Körnung an. Dieser kann in einen fein- und einen grobkörnigen Festgesteinszersatz gegliedert werden. Lokal wurde kompakterer Ton- oder Sandstein erschlossen. Der Festgesteinszersatz wird von geringmächtigen Deckschichten überlagert. Grundwasser steht in der Hochlage des Festgesteinszersatzes in verschiedenen Tiefen in der Regel gespannt an.

Die Untergrundverhältnisse wurden beschrieben und bewertet. Demnach kann der aus [U1] bekannte inhomogene Untergrundaufbau prinzipiell bestätigt werden. In den Pumpversuchen wurden jedoch höhere Wasserdurchlässigkeiten ermittelt, welche an der oberen Grenze des Schwankungsbereiches aus [U1] liegen. Mit diesen Wasserdurchlässigkeiten wurden überschlägig höhere Zuflussmengen von Grundwasser zur Trasse der neuen Laucha von ≈ 30 bis $141 \text{ m}^3/\text{h}$ ermittelt. Genauere Angaben hierzu sind nur auf der Grundlage von numerischen Modellierungen möglich.

Die Ergebnisse wurden hinsichtlich der auszuführenden Erdarbeiten bewertet. Insbesondere wurden Hinweise zur Einschnittsentwässerung im Bau- sowie im Endzustand erarbeitet. Hier wurden verschiedene Varianten zur Grundwasserabsenkung aufgezeigt.

Auf der Grundlage der eigenen Erkundungen erfolgten Berechnungen zum Nachweis der Standsicherheit des Böschungssystems in zwei Querschnitten. Es konnten ausreichende Sicherheiten nachgewiesen werden.

In den betrachteten Querschnitten wurden ergänzend Berechnungen zum Nachweis der Sicherheit der Sohle der neuen Laucha gegen Auftrieb und hydraulischen Grundbruch aufgestellt. Hierzu mussten in einem Querschnitt Annahmen zur Lage und zur Druckhöhe des maßgebenden GWL-2 getroffen werden. In den Berechnungen wurden für beide Querschnitte zu hohe Ausnutzungsgrade bestimmt. Die Sohle ist somit nicht ausreichend sicher gegen Auftrieb bzw. hydraulischen Grundbruch. Es wurden Möglichkeiten zur Gewährleistung ausreichender Sicherheiten aufgezeigt. Im Zuge der weiteren Planungen sind die getroffenen Annahmen zu bestätigen.

Ergänzend wurden Hinweise zum geplanten Wegebau erarbeitet. Hierzu musste auf Erkundungen aus [U1] zurückgegriffen werden. Da in den gewachsenen Böden keine ausreichenden Tragfähigkeiten im Planum erwartet werden, wurden Möglichkeiten zur Erhöhung der Tragfähigkeit aufgezeigt.

2. Bauvorhaben

Im Zusammenhang mit der Stilllegung der Deponie Hochhalde Schkopau ist eine Umverlegung der Laucha vorgesehen. Das Gesamtbauvorhaben umfasst den Neubau

- der Flusstrasse inkl. Unterhaltungswege (Flusstrasse)
- einer Brücke über die neue Laucha nördlich Knapendorf (\approx bei Station 0+240),
- einer Brücke über die neue Laucha bei Elisabethhöhe (\approx bei Station 2+175),
- eines Bahndurchlasses (\approx bei Station 1+790) und
- eines Absperrbauwerkes am alten Laucha-Lauf.

Der vorliegende Bericht behandelt die hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Teilobjektes Flusstrasse. Die neu geplante Flusstrasse zweigt nördlich der OL Knapendorf vom bisherigen Laucha-Bett ab und wird nördlich Elisabethhöhe im Bereich der Wertsgraben-Mündung wieder in den ursprünglichen Laucha-Lauf eingebunden.

Die neue Trasse ist $\approx 2,4$ km lang und soll als offener Gelände-Einschnitt angelegt werden, in dem die Laucha in freiem Gefälle ($\approx 0,1$ %) fließt. Die Tiefe des Einschnittes wird je nach der derzeitigen Geländehöhe im Bereich der Trasse bis zu 11,5 m bei einer Breite bis zu 70 m betragen. In ≈ 2 m Höhe über dem Einschnitttiefsten sollen beidseitig 4 m breite Bermen mit Unterhaltungswegen angelegt werden. Von Station 0+000 bis 0+250 ist nur ein einseitiger Unterhaltungsweg geplant. Die Böschungsneigung ist mit 1 : 2,5 für die Einschnitt-Böschungen und mit 1 : 2 für die Fließrinne unterhalb der Unterhaltungswege vorgesehen.

Vor der Ausführung der Erdarbeiten zur Herstellung des Einschnittes der neuen Laucha müssen vorhandene Versorgungsleitungen bis zu 3m unter das geplante Bett der Laucha verlegt werden. Bei Einschnittstiefen von bis zu 11,5 m sind hierzu Erdarbeiten bis $\approx 14,5$ m erforderlich.

Zur Auskleidung der permanent wasserführenden Fließrinne ist der Einbau eines Sohlsubstrates vorgesehen.. Auf den Böschungen oberhalb der Unterhaltungswege ist ein erosionsgeschützter Oberboden über einer 80 cm mächtigen Dränageschicht mit beidseitigem Geovlies vorgesehen. Am Beginn und Ende des Bauabschnittes sind Modifizierungen des Querschnittes geplant.

Zum Vorhaben liegen umfangreiche Baugrundgutachten vor, welche im Zuge der weiteren Planungen für einzelne Teilvorhaben zu ergänzen waren. Für das Teilobjekt Flusstrasse waren insbesondere die hydrogeologischen Verhältnisse durch ergänzende Pegelbohrungen sowie Pumpversuche zu überprüfen. Weiterhin waren Erkundungen zur gesicherten Aufnahme des im Untergrund anstehenden Festgesteins bzw. des Festgesteinszersatzes erforderlich. Die GGU mbH wurde mit diesen ergänzenden Untersuchungen beauftragt.

3. Baugrund

3.1 Morphologie, Bebauung und Bewuchs

Da durch die GGU mbH nur in Teilbereichen der Trasse erkundet wurde, wird zur Beschreibung der Morphologie, der Bebauung und des Bewuchses auf [U1] zurückgegriffen.

Das neue Laucha-Bett wird demnach sowohl durch massiv veränderte als auch kaum anthropogen beeinflusste Abschnitte der Landschaft des rechten Laucha-Talhanges führen. Neben dem Deponiekörper (Altdeponie 1, \approx zwischen Station 0+600 und 1+350) mit Dämmen schneidet der neue Einschnitt befestigte Wege und Straßen (etwa bei Station 0+600, bei Station 1+350 und bei Station 2+170), den Bahndamm der DB-Strecke Merseburg-Halle/Neustadt (etwa bei Station 1+780), eine ehemalige, weitgehend rückgebaute Bahnstrecke (etwa bei Station 1+450 bis 1+550) und diverse, unterirdisch verlegte Produkt- oder Ver-/Entsorgungsleitungen.

Zwischen den Stationen 0+070 und 0+170 sind in [U1] weitere Geländeanschlüttungen vermerkt. Bei den im weiteren Trassenbereich vorhandenen nahezu anthropogen unbeeinflussten Flächen handelt es sich überwiegend um landwirtschaftlich genutzte Flächen (etwa zwischen den Stationen 0+250 und 0+600 sowie 1+540 und 2+130) und brachliegende Areale mit lokalem Baum-/Strauchbewuchs (etwa zwischen den Stationen 1+350 und 1+540 sowie 2+180 und 2+440).

Die Geländehöhen im Bauabschnitt liegen zwischen $\approx 86,6$ mNHN (Station 2+440, Einmündung der umverlegten Laucha ins vorhandene Bett) und $\approx 100,0$ mNHN (Station 0+650). Der höchste Geländeabschnitt ist die Altdeponie 1 der Deponie Hochhalde Schkopau, die auf einem SW-NE-orientierten Rücken angelegt wurde, der das Laucha-Tal vom Wertsgraben-Tal trennt. Die Altdeponie 1 wird inklusive einer $\approx 0,50$ m mächtigen Schicht des anstehenden Untergrundes vor Beginn der Umverlegung der Laucha durch die MDSE komplett beräumt.

Im Verlauf der geplanten Flusstrasse sind augenscheinlich keine massiven, gegründeten Bauwerke vorhanden. Am Westrand der Altdeponie 1 (\approx bei Station 0+600) weisen oberirdische Deckel und Rohrleitungen auf unterirdische Schachtbauwerke hin. Unmittelbar westlich der Altdeponie 1 befindet sich ein offenes rechteckiges Schachtbauwerk mit einer Tiefe von \approx 6 m. Dieses ist durch einen umlaufenden Zaun gesichert.

Zwischen den Stationen 1+350 und 1+650 beträgt der geringste Abstand zu genutzten Gebäuden 50 bis 100 m (Annemariental). Die Brücke der Anliegerstraße über den Wertsgraben nordwestlich Elisabethhöhe liegt \approx 50 m südlich des geplanten Einschnittes. Als Erdbauwerke sind die in Benutzung befindlichen Straßen und Wege nördlich Knapendorf, westlich und östlich der Altdeponie 1 und nordwestlich Elisabethhöhe sowie der Bahndamm (etwa bei Station 1+780) zu nennen.

3.2 Geologie

Die Ausführungen dieses Kapitels beruhen auf [U1]. Demnach liegt der Standort innerhalb der Merseburger Buntsandsteinplatte, die leicht nach Nordwesten geneigt ist und durch Bruch-/Senkungsstrukturen (Dörstewitzer Senke) speziell im westlichen Teil der Deponie Hochhalde Schkopau deformiert ist. Durch die prätertiäre Verebnung wurden entsprechend der Plattenneigung im Osten ältere Sedimente (Avicula-Schichten smVA der Volpriehausen-Folge) des mittleren Buntsandsteins freigelegt als im Westen, wo die Hardeggen-Folge smH den stratigrafisch jüngsten Abschnitt des Buntsandsteins am Standort bildet. Die kaolinitische Verwitterungszone des mittleren Buntsandsteins unterhalb tertiärer oder quartärer Schichten ist 10 -20 m mächtig.

Über dem Buntsandstein lagern in tektonischen Senkungsbereichen tertiäre Schichten mit Braunkohlen, die im Untersuchungsgebiet etwa nordwestlich der Station 0+300 einsetzen und nach Nordwesten schnell an Mächtigkeit zunehmen. Die Braunkohle war Gegenstand bergbaulicher Aktivität, die jedoch auf das Gelände links der Laucha beschränkt blieb. Pleistozäne Schichten sind südlich der Laucha nur in

geringmächtigen Resten (Kiessande, Geschiebelehm-/mergel oder Löß) erhalten geblieben. Im Übrigen wird das Quartär durch die verbreiteten, holozänen Abschwemmmassen und Auensedimente (Auelehm-/mergel/-ton und Talsand sowie lokal Torf) in den Niederungen der Laucha und des Wertsgrabens dominiert.

Aufgrund anthropogener Eingriffe und Veränderungen (Wege/Straßen, Bahndamm, erdverlegte Medien, Altdeponie 1) sind aufgefüllte Schichten an der Geländeoberkante in differenzierter Mächtigkeit und Zusammensetzung zu erwarten.

3.3 Hydrogeologie/Hydrologie

Im Rahmen des ökologischen Großprojektes (ÖGP) Buna wurde der Standort detailliert untersucht und überwacht. Die folgenden Ausführungen basieren auf den Unterlagen zum ÖGP Buna, welche in [U1] beschrieben werden.

Am Standort wurde eine Modellgliederung der Grundwasserleiter (GWL) vorgenommen, die sowohl auf hydrogeologischen als auch stratigrafischen Einheiten beruht. Wegen der vielfältigen hydraulischen Verbindung und der Nähe zur Oberfläche wurden die diskordant auf dem mittleren Buntsandstein lagernden Schichten des Tertiärs, des Quartärs und auch die Auffüllungen der Deponie Hochhalde Schkopau zum GWL 1 zusammengefasst. Alle folgenden, liegenden GWL 2 bis 4 sind der Natur nach Festgesteins-GWL des Buntsandsteins, die entsprechend dem generellen Schichteinfallen nach Nordwesten am Standort unterschiedlich verbreitet sind und in unterschiedlichen Tiefen anstehen.

Die am Standort relevanten GWL des mittleren Buntsandsteins sind:

- der liegende GWL 4 (i. W. Avicula-Schichten smVA der Volpriehausen-Folge), der im östlichsten Teil des Standortes oberflächennah ansteht,
- der Detfurth-Sandstein smDS als GWL 3 mit dem hangenden Stauer/Geringleiter der Detfurth-Wechselfolge smDW (auch Detfurth-Ton), der im östlichen und zentralen Teil des Standortes ausstreicht und nach NW unter die jüngeren Bildungen abtaucht und der
- GWL 2 der Hardeggen-Folge smH, der im zentralen und westlichen Standort den jüngsten Festgesteins-GWL darstellt.

Die jeweils obersten Schichten der Festgesteins-GWL und der eingelagerten Stauer und Geringleiter (im wesentlichen Detfurth-Ton zwischen GWL 2 und 3) sind in ihrer Beschaffenheit durch Verwitterung stark verändert und der klassische Festgesteinscharakter der Schichten ist zum großen Teil verloren gegangen, sodass häufig keine exakte hydrologische Trennung zum diskordant auflagernden GWL 1 auszumachen ist und hydraulische Verbindungen bestehen.

Für das Bauvorhaben wird in den Niederungen mit geringeren Einschnitt-Tiefen in erster Linie der GWL 1 maßgebend sein. In Hochlagen mit maximalen Einschnittstiefen von $\approx 11,5$ m (ab Deponiesohle bzw. natürlicher GOK) hingegen werden die durch Verwitterung geprägten GWL 2 bis GWL 4 maßgebend sein. Eine stratigrafische Zuordnung der erkundeten Schichten zu den einzelnen Folgen/ GWL des mittleren Buntsandsteins gestaltet sich aufgrund des intensiven Verwitterungsgrades schwierig.

Im Rahmen der Erstellung von [U1] wurden bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde des Saalekreises die Standorte von Brunnen im Einflussbereich der Lauchaumverlegung abgefragt. Demnach sind in den Ortslagen Bündorf, Knapendorf und Elisabethhöhe sowie im DOW-Werksgelände Brunnen mit und ohne Wasserrecht sowie Erdwärmesonden für Wärmepumpen vorhanden.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Tal der Laucha und deren Seitental, das der Wertsgraben entwässert. Laucha und Wertsgraben bilden die Vorfluter, denen alle nicht versickernden Niederschläge zufließen und die im weiteren Verlauf nach Osten

zur Saale entwässern. Das Einzugsgebiet von Laucha und Wertsgraben umfasst ca. 100 km².

Zur Wasserführung und zu Hochwasserständen der Laucha liegen Angaben in [U1] vor. Für den Wertsgraben ist zumindest eine Berücksichtigung als Randbedingungselement in den „Modelltechnischen Untersuchungen im Rahmen der Lauchaumverlegung“ [4] erfolgt. Nach Starkniederschlägen und Schneeschmelze im Einzugsgebiet ist mit kurz- und mittelfristig stark ansteigendem Durchfluss und Wasserstand zu rechnen. In den Niederungen am Beginn und Ende des Bauabschnittes hat die Wasserführung von Laucha/Wertsgraben Einfluss auf den Grundwasserflurabstand; bei hohem Durchfluss und Wasserständen sind kurz- und mittelfristig steigende Grundwasserstände zu erwarten.

In unmittelbarer Nähe des Einschnittes sind keine stehenden Oberflächengewässer vorhanden.

3.4 Besonderheiten

Bergbauliche Tätigkeiten sowie Altbergbau und seine Folgeerscheinungen sind im direkten Untersuchungsbereich nicht bekannt. Gleiches gilt für Trinkwasserschutzzonen und Altlastverdachtsflächen. Der Untersuchungsbereich ist gemäß DIN 4149 der Erdbebenzone 0 zu zuordnen.

4. Untersuchungen

4.1 Lage, Art, Umfang und Zeitpunkt der Aufschlüsse

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden vom 11.05. bis zum 04.06.2010 durch die TERRASOND GmbH & Co. KG, Zweigstelle Sachsen-Anhalt, Bad Bibra Baugrunderkundungen ausgeführt. Vorab wurden die geplanten Bohr- und Sondierpunkte auf Kampfmittelfreiheit überprüft, wobei keine Auffälligkeiten festgestellt wurden.

Nachfolgend wurden insgesamt 12 Rammkernbohrungen DN 186 gemäß DIN EN ISO 22475-1 mit Tiefen bis maximal 16,00 m uGOK hergestellt. Alle Bohrungen wurden als Grundwassermessstellen (GWM) ausgebaut (Ausbau s. Anlage 4).

Ergänzend zu den Bohrungen wurden im Trassenbereich insgesamt vier Baggerschürfe mit Tiefen von bis zu 3,00 m hergestellt.

Im Bereich der geplanten Einbindung der Neuen Laucha in das alte Laucha-Bett erfolgte eine Sedimentbeprobung in der Sohle der alten Laucha.

Art, Tiefe und Lage der ausgeführten Baugrundaufschlüsse sind nachfolgend zusammengestellt:

Aufschluss	Art	Tiefe in m uGOK	Rechtswert in m	Hochwert in m	GOK in mNHN	POK in mNHN
BK 46	Kernbohrung	15,60	4494160,91	5693653,73	92,88	93,61
BK 47	Kernbohrung	15,00	4496217,93	5694465,47	98,09	99,09
BK 48	Kernbohrung	14,60	4496225,33	5694464,23	98,06	99,04
BK 49	Kernbohrung	15,00	4496887,00	5694343,15	97,12	97,85
BK 50	Kernbohrung	15,00	4496888,71	5694345,74	96,93	97,73
BK 51	Kernbohrung	15,00	4497129,60	5694349,97	96,71	97,53
BK 52	Kernbohrung	15,00	4497140,78	5694352,92	96,86	97,59
BK 54	Kernbohrung	15,00	4497176,53	5694841,59	90,19	92,88
BK 55	Kernbohrung	12,00	4497114,99	5694763,60	96,12	96,96
BK 56	Kernbohrung	16,00	4496575,49	5694905,52	98,27	99,23
BK 57	Kernbohrung	16,00	4495842,20	5694500,47	93,37	94,09

Aufschluss	Art	Tiefe in m uGOK	Rechtswert in m	Hochwert in m	GOK in mNHN	POK in mNHN
BK 58	Kernbohrung	15,50	4495831,43	5694536,84	92,56	93,38
Sch 6	Schurf	3,00	4496172,04	5694573,69	98,54	--
Sch 7	Schurf	3,00	4496146,53	5694493,80	98,83	--
Sch 8	Schurf	3,00	4497084,86	5694388,96	97,60	--
Sch 9	Schurf	2,80	4497083,10	5694358,59	96,72	--

Tabelle 1: Ausgeführte Baugrundaufschlüsse

Die Baugrunderkundungen sowie der Ausbau der GWM wurden durch die GGU mbH überwacht. Im Zuge der Bohrüberwachung erfolgte die Kernansprache des Bohrgutes durch den betreuenden Diplom-Ingenieur.

Nachfolgend wurden im Zeitraum vom 17. bis 19.06.2010 in den GWM durch die Firma henkel-pumpversuche, Kreuzau, Pumpversuche ausgeführt. Diese wurden ebenfalls durch die GGU mbH überwacht.

Die Lage der hergestellten Baugrundbohrungen ist in den Lageplänen (Anlage 2) dargestellt. Die Bodenprofile sind in Anlage 4 aufgetragen. Anlage 3 enthält die Schichtenverzeichnisse der hergestellten Bohrungen.

4.2 Laboruntersuchungen

Im Zuge der Erstellung von [U1] wurden umfangreiche Laboruntersuchungen durchgeführt. Diese wurden 2010 für das Teilobjekt Flusstrasse durch die nachfolgend genannten Versuche ergänzt:

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Schicht	Wassergehalt nach DIN 18121	Zustandsgrenzen nach DIN 18 122	Kornverteilung Siebung nach DIN 18123	Kornverteilung Sedimentation nach DIN 18 123	Korndichte Sedimentation nach DIN 18 124	Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18 130	Proctordichte nach DIN 18 127	Scherversuch nach DIN 18 137	Druckfestigkeit nach DGGT-E 1	Punktlastversuch nach DGGT-E 5
BK 46	3,70 - 4,00	2d				1						
BK 46	4,50 - 6,00	2d			1							
BK 47	4,00 - 6,00	3b				1						
BK 48	1,00 - 2,00	3a	1									
BK 48	6,40 - 7,10	5a				1						
BK 49	12,60 - 12,80	5c									1	1
BK 50	2,00 - 5,00	5b	1	1			1		1			
BK 50	5,75 - 6,00	5b	1	1		1	1	1	1	1		
BK 50	7,70 - 7,90	5c										1
BK 50	8,00 - 8,20	5c									1	
BK 50	9,00 - 10,00	5c	1									
BK 51	6,50 - 7,00	5a			1							
BK 51	8,40 - 8,60	5b									1	
BK 51	10,80 - 11,00	5c									1	
BK 52	5,60 - 6,00	5a				1						
BK 56	11,00 - 12,00	2d	1	1		1						
BK 56	13,00 - 14,00	4d	1	1		1						

Tabelle 2: Laborprogramm 2010

Neben diesen Laboruntersuchungen wurden in 2010 zur Erstellung von [U4] und [U5] weitere Laboruntersuchungen wie folgt durchgeführt:

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Schicht	Kornverteilung Siebung nach DIN 18123	Kornverteilung Sedimentation nach DIN 18123	Zustandsgrenzen nach DIN 18122	Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18130	Dichtebestimmung nach DIN 18125	Glühverlust nach DIN 18 28	Druck-Setzungs-Versuche
BK 57	3,00 - 4,00	2d	1						
BK 57	7,00 - 7,25	4a					1	1	1
BK 57	13,00 - 14,00	4b	1						
BK 58	5,50 - 6,00	4a		1				1	
BK 58	6,35 - 6,60	4d		1	1		1		1
BK 58	8,00 - 9,00	4d		1					
BK 58	10,25 - 10,50	4d		1	1	1	1		

Tabelle 3: Laborprogramm GGU aus [U4]

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Schicht	Wassergehalt nach DIN 18121	Kornverteilung Siebung nach DIN 18122	Kornverteilung Sedimentation nach DIN 18 22	Zustandsgrenzen nach DIN 18122	Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18130	Dichtebestimmung nach DIN 18125	Glühverlust nach DIN 18128	Scherversuch nach DIN 18137	Druck-Setzungs-Versuche	Anlagengenehmigung
BK 53	1,30 - 1,40	2c	1									
BK 53	2,00 - 3,00	2d		1								
BK 53	4,00 - 4,30	4d	1		1	1	1			1		
BK 54	4,00 - 4,30	2c	1		1	1			1	1		
BK 54	4,40 - 4,50	2c	1									
BK 62	1,50 - 1,75	2c	1			1				1	1	
BK 62	2,50- 2,60	2c	1				1					
BK 63	2,40 - 2,70	2d		1								
BK 60	2,00 - 4,00	1d										1
BK 65	2,00 - 4,00	1d										1

Tabelle 4: Laborprogramm GGU aus [U5]

5. Ergebnisse der Baugrundbohrungen

5.1 Untergrund BK 46

Untergrund

Die Bohrung BK 46 wurde östlich der Ortslage Bündorf errichtet. Die Lage der Bohrung ist im Übersichtslageplan (Anlage 1) sowie im Detaillageplan (Anlage 2, Blatt 1) dargestellt. Die durchgeführten Laboruntersuchungen sind in der Anlage 5.1 beigelegt. Der Standort der Bohrung BK 46 liegt im Tal der Laucha.

Oberflächennah steht bis 0,50 m uGOK

Mutterboden (Schicht 2a)

*als stark sandiger Schluff
mit organischen Bestandteilen
sowie geringen tonigen Beimengungen
in steifer Konsistenz*

an, welcher bis 2,90 m uGOK von

Aueablagerungen (Schicht 2c)

*als toniger Schluff
mit geringen sandigen sowie organischen Beimengungen
in weicher bis steifer Konsistenz*

unterlagert wird. Nachfolgend wurden bis 6,00 m uGOK

Talsande (Schicht 2d)

*als schluffige bis stark schluffige sowie tonige Sande
in mitteldichter Lagerung*

erschlossen, welche braun/dunkelbraun bis hellbraun/gelbbraun gefärbt sind. Laboruntersuchungen an den Talsanden zeigen folgende Ergebnisse:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 46	3,70 - 4,00	17,4/12,8/69,6/0,1	S, t, u'	csiclSa	SU*/ST*
BK 46	4,50 - 6,00	-/20,4/78,9/0,7	S, u	csifsaMSa	SU*/ST*

Tabelle 5: Laborergebnisse Talsande (Schicht 2d)

Die Talsande werden bis 8,00 m uGOK von

Braunkohle (Schicht 4a)

als stark organische Schluffe

mit sandigen und geringen tonigen Beimengungen

unterlagert, welche braun bis dunkelbraun gefärbt ist. Die Braunkohle ist vermutlich aufgrund einer starken geologischen Überprägung des Untersuchungsbereiches umgelagert. Die Braunkohle wird im Weiteren bis 12,30 m uGOK von

tertiären Sanden (Schicht 4b)

als stark feinsandige Mittelsande

mit geringen schluffigen Beimengungen

unterlagert, welche hellbraun bis graubraun gefärbt sind. Diese werden bis zur Endteufe von einer regellosen Wechsellagerung, bestehend aus

Tertiärton (Schicht 4d)

und weiteren geringmächtigen

tertiären Sanden (Schicht 4b)

unterlagert.

Grundwasser

Am Standort der Bohrung BK 46 sind zur Umverlegung der Laucha Erdarbeiten bis maximal 5,00 m uGOK vorgesehen. Somit wurde die Bohrung derart zur GWM ausgebaut, dass die Filterstrecke zwischen 2,00 und 5,00 m uGOK und somit im Bereich der Talsande über der Braunkohle angeordnet wurde.

Grundwasser wurde in der GWM 46 wie folgt eingemessen:

Messung	Datum	Messwert [m uGOK]	Messwert [mNHN]
Grundwasseranschnitt	20.05.2010	3,00	89,88
Ruhewasserstand	20.05.2010	1,80	91,08
Stichtagsmessung	18.06.2010	0,42	92,46

Tabelle 6: Wasserstände GWM 46

Demnach führen die anstehenden Talsande Grundwasser, welches aufgrund der Überdeckung mit nur gering durchlässigen Aueablagerungen gespannt ansteht. Der Wasserstand in der Stichtagsmessung liegt hierbei nur gering unter der GOK. In hydrogeologisch ungünstigen Zeiten mit einem erhöhten Niederschlagsaufkommen und geringer Verdunstungsrate ist mit geländegleichen Grundwasserständen zu rechnen.

Pumpversuch

In der GWM 46 wurde am 18.06.2010 ein Pumpversuch ausgeführt. Die Ergebnisse sind in der Anlage 6.1, Blätter 2 bis 23 beigelegt. Da nur ein Pumpbrunnen ohne Messbrunnen vorhanden war, erfolgte die Auswertung des Wiederanstiegs des Grundwassers. Da die Auswertung des Wiederanstiegs nach THEIS keine ausreichende Korrelation zur Normkurve ergab, wurde der Wideranstieg ergänzend als Slug-Bail-Test ausgewertet.

Diese Auswertung ist in der Anlage 6.1, Blatt 24 enthalten. Demnach ergibt sich für die Sande über der Braunkohle eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 3 \cdot 10^{-8}$ m/s. Zur Plausibilitätsprüfung dieser Auswertung wurde eine Korngrößenverteilung der Talsande ausgewertet (siehe Anlage 5.1.1). Demnach weisen die Talsande Tonanteile von 17,4 Gew.-% und Schluffanteile von 12,8 Gew.-% auf. Es ergibt sich somit ein Feinkornanteil $< 0,063$ mm von 30,2 Gew.-%. Die im Slug-Bail-Test ermittelte Wasserdurchlässigkeit ist für derartige Sande plausibel.

5.2 Bohrungen BK 47 und BK 48

Untergrund

Die Bohrungen BK 47 und BK 48 wurden nordöstlich der Ortslage Knapendorf auf dem Gelände der Deponie Hochhalde Schkopau errichtet. Die Lage der Bohrungen ist im Übersichtslageplan (Anlage 1) sowie im Detaillageplan (Anlage 2, Blatt 2) dargestellt. Die durchgeführten Laboruntersuchungen sind in der Anlage 5.2 beigelegt. Die Bohrungen BK 47 und BK 48 wurden als Doppelmessstelle in einem Abstand von $\approx 7,1$ m abgeteuft. Beide Messstellen liegen im Bereich der geplanten Flusstrasse etwa bei Station 0+650 außerhalb der herzustellenden Böschungen.

Oberflächennah stehen in beiden Bohrungen

Reste von eingelagerten Schlämmen (Schicht 1d)

an, welche grau gefärbt sind. Diese Schlämme wurden in beiden Bohrungen nur in geringen Mächtigkeiten von 0,20 m nachgewiesen. Sie werden in beiden Bohrungen von quartären Ablagerungen in Form von

Geschiebelehm (Schicht 3a)

und

Sanden (Schicht 3b)

in Wechsellagerung unterlagert. Der Geschiebelehm stellt sich hierbei meist als sandiger Ton mit schluffigen Beimengungen dar. Lokal wurde der Geschiebelehm als Wechsellagerung aus Sand und Ton angesprochen. Die Sande wurden meist als schluffige bis stark schluffige Sande angesprochen. Laboruntersuchungen an den Sanden aus der Bohrung BK 47 zeigen folgende Ergebnisse:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 47	4,00 - 4,60	14,9/24,5/60,4/0,1	S, u, t'	msicsicISa	SU*/ST*

Tabelle 7: Laborergebnisse Sande (Schicht 3b)

Die quartären Ablagerungen wurden in den Bohrung BK 47 bis 4,60 m uGOK und in der Bohrung BK 48 bis 3,00 m uGOK erschlossen. Sie werden bis zur Endteufe von einem

feinkörnigen Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

*meist als sandiger Ton
mit schluffigen Beimengungen
in halbfester bis fester Konsistenz*

unterlagert. Im überwiegend feinkörnigen Festgesteinszersatz sind bereichsweise grobkörnige Bereiche eingelagert, welche sodann als

grobkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5a)

bestehend aus schluffigen Sanden

mit geringen tonigen sowie lokal auch kiesigen Beimengungen

klassifiziert wurden. Derartige Einschaltungen wurden in der Bohrung BK 47 zwischen 7,10 und 8,00 m uGOK und in der Bohrung BK 48 zwischen 6,40 und 7,10 m uGOK nachgewiesen. Laboruntersuchungen an diesen Ablagerungen zeigen folgende Ergebnisse:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 48	6,40 - 7,10	10,9/8,8/74,8/5,5	S, t', u', g'	grsclSa	SU*/ST*

Tabelle 8: Laborergebnisse Festgesteinszersatz (Schicht 5a)

Grundwasser

Am Standort der Bohrungen BK 47 und BK 48 sind zur Umverlegung der Laucha Erdarbeiten bis $\approx 12,00$ m uGOK vorgesehen. Die Einschnittsböschungen liegen somit im Tonsteinzersatz. Zur Abschätzung der Wasserdurchlässigkeit der eingelagerten Sandeinschaltungen wurden die Bohrungen derart zu GWM ausgebaut, dass die Filterstrecken in der GWM 47 zwischen 1,00 und 3,00 m uGOK und in der GWM 48 zwischen 5,50 und 7,50 m uGOK angeordnet wurden. Mit dieser Anordnung können die Wasserdurchlässigkeiten der Sande sowie ein möglicher hydraulischer Kontakt dieser Sande bestimmt werden.

Grundwasser wurden in den GWM 47 und GWM 48 wie folgt eingemessen:

Messung	Datum	BK/GWM 47		BK/GWM 48	
		Messwert [m uGOK]	Messwert mNHN]	Messwert [m uGOK]	Messwert mNHN]
Grundwasseranschnitt	17.05.2010	3,00	95,09	6,40	91,66
Ruhewasserstand	17.05.2010	1,10	96,99	0,90	97,16
Stichtagsmessung	17.06.2010	0,63	97,46	0,85	97,21

Tabelle 9: Wasserstände GWM 47 und GWM 48

Pumpversuche

In beiden GWM wurden am 17.06.2010 Pumpversuche ausgeführt. Die Ergebnisse des Pumpversuches in der GWM 47 sind in der Anlage 6.2, Blätter 2 bis 34 beigelegt. Die Ergebnisse des Pumpversuches in der GWM 48 sind in der Anlage 6.3, Blätter 2 bis 35 beigelegt.

Während der Ausführung der Pumpversuche konnte im jeweiligen Messbrunnen keine signifikante Absenkung des Grundwasserstandes festgestellt werden. Ein hydraulischer Kontakt zwischen den unterschiedlichen Sandeinschaltungen wurde somit nicht nachgewiesen.

Da somit keine Messbrunnen zur Verfügung standen, erfolgte die Auswertung des Wiederanstiegs des Grundwassers im jeweiligen Pumpbrunnen. Die Auswertungen des Wiederanstiegs nach THEIS ergaben für beiden GWM ausreichende Korrelationen.

Diese Auswertung für den Pumpversuch in der GWM 47 ist in der Anlage 6.2, Blatt 35 enthalten. Demnach ergibt sich für die oberflächennah anstehenden Sande eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 4 \cdot 10^{-5}$ m/s. Zur Plausibilitätsprüfung dieser Auswertung wurde die Bodenansprache der Sande ausgewertet. Demnach wurden diese als schwach schluffige Mittelsande mit feinsandigen Beimengungen angesprochen. Die im Pumpversuch ermittelte Wasserdurchlässigkeit ist für derartige Sande plausibel.

Die Auswertung für den Pumpversuch in der GWM 48 ist in der Anlage 6.3, Blatt 36 enthalten. Demnach ergibt sich für die in der BK/GWM 48 zwischen 6,40 und 7,10 m uGOK anstehenden Sande eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Zur Plausibilitätsprüfung dieser Auswertung wurde eine Korngrößenverteilung der Sande ausgewertet (siehe Anlage 5.1.4). Demnach weisen die Sande Tonanteile von 10,9 Gew.-% und Schluffanteile von 8,8 Gew.-% auf. Es ergibt sich somit ein Feinkornanteil $< 0,063$ mm von 19,7 Gew.-%. Für derartige Sande werden tendenziell etwas geringe Wasserdurchlässigkeiten erwartet, wobei das Ergebnis des Pumpversuches im oberen Erwartungsbereich für die Wasserdurchlässigkeit liegt.

5.3 Bohrungen BK 49 und BK 50

Untergrund

Die Bohrungen BK 49 und BK 50 wurden nordwestlich der Ortslage Annemariental an der Umzäunung der Deponie Hochhalde Schkopau ausgeführt. Die Lage der Bohrungen ist im Übersichtslageplan (Anlage 1) sowie im Detaillageplan (Anlage 2, Blatt 3) dargestellt. Die durchgeführten Laboruntersuchungen sind in der Anlage 5.3 beigelegt. Die Bohrungen BK 49 und BK 50 wurden als Doppelmessstelle in einem Abstand von ≈ 5 m abgeteuft. Beide Messstellen liegen im Bereich der geplanten Flusstrasse etwa bei Station 1+350 außerhalb der herzustellenden Böschungen.

Oberflächennah wurde in beiden Bohrungen

Oberboden (Schicht 2a)

erbohrt, welcher dunkelbraun bis hellbraun gefärbt ist. Dieser wurde in nur geringer Mächtigkeiten von maximal 0,30 m nachgewiesen. Der Oberboden wird in der Bohrung BK 49 von geringmächtigen

Sanden (Schicht 3b)

mit kiesigen sowie schluffigen Beimengungen

unterlagert, welche graubraun bis gelbbraun gefärbt sind. Diese wurden bis 0,80 m uGOK erschlossen. In der Bohrung BK 50 steht unter dem Oberboden ein geringmächtiger

Geschiebelehm (Schicht 3a)

*als Schluff mit sandigen, tonigen sowie
geringen organischen Beimengungen
in steifer Konsistenz*

an, welche schwarzbraun bis dunkelbraun gefärbt sind. Dieser wurde bis 0,70 m uGOK nachgewiesen. Nachfolgend steht in beiden Bohrungen

feinkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

*als Ton mit schluffigen und sandigen Beimengungen
in steifer bis halbfester/fester Konsistenz*

an, welcher grau, lokal auch graugrün gefärbt ist. Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Korngrößenverteilung ergaben folgendes:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 50	2,00 - 5,00	55,1/36,8/6,1/2,0	T, u*, s'	sasiCl	TA
BK 50	5,75 - 6,00	40,2/35,9/12,5/11,4	T, u*, s', fg'	fgrcsimsifsiCl	TA

Tabelle 10: Laborergebnisse feinkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

Neben den Bestimmungen der Korngrößenverteilung wurden an beiden Proben zur gesicherten Klassifizierung Bestimmungen der Zustandsgrenzen nach ATTERBERG durchgeführt. Diese zeigen, dass die untersuchte Probe aus der Bohrung BK 50, 2,00 - 5,00 m uGOK als ausgeprägt plastischer Ton (Bodengruppe TA) zu klassifizieren ist. Die Konsistenz wurde im Labor zu $I_C = 1,0$ und somit als steif bis halbfest bestimmt. Die Probe aus der Bohrung BK 50, 5,75 - 6,00 m uGOK ist ebenfalls als ausgeprägt plastischer Ton (Bodengruppe TA) zu klassifizieren. Die Konsistenz wurde zu $I_C = 0,9$ und somit als steif ermittelt.

Zur Abschätzung einer möglichen Verwendung des feinkörnigen Festgesteinsersatz als Baustoff (z.B. für die Erstellung des Absperrbauwerkes) wurden mit beiden Proben Proctorversuche durchgeführt. Hierbei wurde folgendes festgestellt:

Bohrung	Tiefe [m uGOK]	Proctordichte ρ_{Pr} [g/cm ³]	optimaler Wassergehalte w_{Pr} [%]	natürlicher Wassergehalt w_n [%]
BK 50	2,00 - 5,00	1,561	22,4	25,5
BK 50	5,75 - 6,00	1,617	19,6	23,3

Tabelle 11: Laborergebnisse feinkörniger Festgesteinsersatz (Schicht 5b)

Demnach liegen die natürlichen Wassergehalte auf der nassen Seite der Proctorkurve. Sie lassen eine Verdichtung auf Verdichtungsgrade von $D_{PR} \approx 97$ bis 98 % zu.

Bei einer möglichen Verwendung als Baustoff sind neben der Verdichtbarkeit die Scherparameter wesentlich. Hierzu wurden an der ungestörten Probe BK 50, 5,75 - 6,00 m ein Scherversuch ausgeführt. Die Ergebnisse liegen in der Anlage 5.5 bei. Demnach wurde für den Bruchzustand ein Reibungswinkel von $\varphi = 18,0^\circ$ bei einer Kohäsion von $c = 37,2$ kN/m² bestimmt. Die Ergebnisse liegen im für ausgeprägt plastische Tone erwarteten Bereich.

Ergänzend wurde an der Probe BK 50, 5,75 - 6,00 m die Wasserdurchlässigkeit bestimmt. Demnach wurde eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 9,5 \cdot 10^{-12}$ m/s bestimmt.

Der feinkörnige Festgesteinszersatz wurde in der Bohrung BK 49 bis 11,50 m uGOK und in der Bohrung BK 50 bis 7,40 m uGOK erkundet. Nachfolgend wurde

Sandstein (Schicht 5c)

erschlossen, welcher meist grau, lokal auch graugrün gefärbt ist. Dieser wurde als verwittert bis stark verwittert angesprochen. Partiiell konnten jedoch aus dem Sandstein auch kompakte Kerne gewonnen werden, an welchen sodann Bestimmungen der einaxialen Druckfestigkeit ausgeführt werden konnten. Die Ergebnisse liegen in der Anlage 5.7 als Prüfbericht der MPFA Weimar bei. Demnach wurden folgende einaxialen Druckfestigkeiten bestimmt:

Aufschluss	Tiefe	Bemerkung	Bruchspannung [MN/m ²]	Erstbelastungsmodul [MN/m ²]
BK 49	12,60 - 12,80	Sandstein, kompakt	13,3	2040
BK 50	8,00 - 8,20	Sandstein, kompakt	18,4	100

Tabelle 12: Laborergebnisse Sandstein (Schicht 5c), Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit

Der Sandstein wurde in der Bohrung BK 49 bis zur Endteufe nachgewiesen. In der Bohrung BK 50 wurde zwischen 10,10 und 11,50 m uGOK eine Einschaltung aus

feinkörnigem Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

erschlossen. Nachfolgend steht bis zur Endteufe

Sandstein (Schicht 5c)

an. Zwischen 13,00 und 13,70 m uGOK trat in der Bohrung BK 50 Kernverlust auf. Dieser deutet hier auf einen höheren Zersetzungsgrad des anstehenden Sandsteins oder auf weitere Einschaltungen aus Festgesteinszersatz hin.

Grundwasser

Am Standort der Bohrungen BK 49 und BK 50 sind zur Umverlegung der Laucha Erdarbeiten bis $\approx 10,00$ m uGOK vorgesehen. Die Einschnittsböschungen liegen somit im feinkörnigen Festgesteinszersatz sowie im Sandstein. Zur Abschätzung der Wasserdurchlässigkeit über das gesamte Böschungssystem wurden die Bohrungen derart ausgebaut, dass die Filterstrecken in der GWM 49 zwischen 1,00 und 10,00 m uGOK und in der GWM 50 zwischen 2,00 und 10,0 m uGOK angeordnet wurden.

Grundwasser wurde in den GWM 49 und GWM 50 wie folgt eingemessen:

Messung	Datum	BK/GWM 49		BK/GWM 50	
		Messwert [m uGOK]	Messwert mNHN]	Messwert [m uGOK]	Messwert mNHN]
Grundwasseranschnitt	27./31.05.10	4,00	93,12	4,50	92,43
Ruhewasserstand	27./31.05.10	1,60	95,52	1,65	95,28
Stichtagsmessung	17./18.06.10	2,31	94,81	2,12	94,81

Tabelle 13: Wasserstände BK/GWM 49 und BK/GWM 50

Pumpversuche

In beiden GWM wurden am 17./18.06.2010 Pumpversuche ausgeführt. Die Ergebnisse des Pumpversuches in der GWM 49 sind in der Anlage 6.4, Blätter 2 bis 24 beigelegt. Die Ergebnisse des Pumpversuches in der GWM 50 sind in der Anlage 6.5, Blätter 2 bis 23 beigelegt.

Während der Ausführung der Pumpversuche konnte im jeweiligen Messbrunnen eine signifikante Absenkung des Grundwasserstandes festgestellt werden. Ein hydraulischer Kontakt zwischen beiden GWM wurde somit nachgewiesen.

Somit konnte eine Auswertung der Pumpversuche nach dem Zeit-Absenkungsverfahren erfolgen. Diese Auswertungen wurden für jede Pumpstufe ausgeführt. Die Auswertung für den Pumpversuch in der GWM 49 ist in der Anlage 6.4, Blätter 25 bis 27 enthalten. Die Auswertung für den Pumpversuch in der GWM 50 ist in der Anlage 6.5, Blätter 24 bis 26 enthalten. Es ergeben sich folgende Wasserdurchlässigkeiten:

GWM	Pumpstufe	Pumprate [l/s]	Wasserdurchlässigkeit [m/s]
GWM 49	1	0,27	$4 \cdot 10^{-5}$
GWM 49	2	0,53	$5 \cdot 10^{-5}$
GWM 49	3	1,39	$4 \cdot 10^{-5}$
GWM 50	1	0,23	$4 \cdot 10^{-5}$
GWM 50	2	0,55	$8 \cdot 10^{-5}$
GWM 50	3	0,87	$9 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 14: Wasserdurchlässigkeiten BK/GWM 49 und BK/GWM 50

Demnach ergeben sich für den im Bereich der Filterstrecken anstehenden Baugrund, bestehend aus feinkörnigem Festgesteinszersatz und Sandstein Wasserdurchlässigkeiten von $k_f = 4$ bis $9 \cdot 10^{-5}$ m/s. Diese relativ hohen Wasserdurchlässigkeiten werden vermutlich im Wesentlichen durch Wasserwegsamkeiten im Kluftbereich des Sandsteins verursacht.

5.4 Bohrungen BK 51 und BK 52

Untergrund

Die Bohrungen BK 51 und BK 52 wurden nördlich der Ortslage Annemariental ausgeführt. Die Lage der Bohrungen ist im Übersichtslageplan (Anlage 1) sowie im Detaillageplan (Anlage 2, Blatt 3) dargestellt. Die durchgeführten Laboruntersuchungen sind in der Anlage 5.4 beigelegt. Die Bohrungen BK 50 und BK 51 wurden als Doppelmessstelle in einem Abstand von $\approx 11,3$ m abgeteuft. Beide Messstellen liegen im Bereich der geplanten Flusstrasse etwa bei Station 1+570 außerhalb der herzustellenden Böschungen.

Oberflächennah wurde in beiden Bohrungen

Oberboden (Schicht 2a)

erbohrt, welcher dunkelbraun, in Bohrung BK 52 auch schwarzbraun gefärbt ist. Dieser wurde in nur geringer Mächtigkeit von maximal 0,30 m nachgewiesen. Der Oberboden wird in beiden Bohrungen von geringmächtigem

Geschiebelehm (Schicht 3a)

*als Schluff mit sandigen, tonigen sowie
geringen organischen Beimengungen
in steifer Konsistenz*

unterlagert, welcher braun bis dunkelbraun gefärbt ist. Der Geschiebelehm wurde in der Bohrung BK 52 bis maximal 1,70 m uGOK nachgewiesen. In der Bohrung BK 51 wird der Geschiebelehm von stark aufgearbeiteten

grobkörnigen Festgesteinszersatz (Schicht 5a)

als schwach schluffiger bis schluffiger Sand

unterlagert, welcher hellbraun bis hellgrau gefärbt ist. Dieser wurde in der Bohrung BK 51 bis 2,10 m uGOK nachgewiesen. In der BK 52 fehlen diese Ablagerungen. Nachfolgend wurde in beiden Bohrungen

feinkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

*als sandiger Ton
mit schluffigen Beimengungen
in steifer bis halbfester Konsistenz*

erschlossen, welcher grau bis graugrün gefärbt ist. Dieser wurde in der Bohrung BK 52 bis maximal 5,20 m uGOK nachgewiesen. Nachfolgend wurde in beiden Bohrungen eine regellose Abfolge aus weniger verwittertem

Sandstein (Schicht 5c)

und

feinkörnigen Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

aus Tonstein

erbohrt. In der Bohrung BK 51 konnten sowohl aus dem Sandstein als auch aus dem Tonstein Kerne gewonnen werden, an denen die einaxiale Druckfestigkeit bestimmt wurde. Die Ergebnisse liegen in der Anlage 5.7 als Prüfbericht der MPFA Weimar bei. Demnach wurden folgende einaxiale Druckfestigkeiten bestimmt:

Auf- schluss	Tiefe	Bemerkung	Bruchspannung [MN/m ²]	Erstbelastungsmo- dul [MN/m ²]
BK 51	8,40 - 8,60	Tonstein	0,47	15
BK 51	10,80 - 11,00	Sandstein	1,64	100

Tabelle 15: Laborergebnisse Sandstein und Tonstein (Schicht 5a/b), Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit

Zwischen Sand- und Tonstein ist bereichsweise stärker aufgearbeiteter Festgesteinszersatz mit eher rolligem Charakter eingeschaltet. An Proben aus diesen Einschlüssen wurden Untersuchungen zur Bestimmung der Korngrößenverteilung ausgeführt, wobei folgendes festgestellt wurde:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 51	6,50 - 7,00	-/8,2/91,7/0,2	mS, fs, u', gs'	csicsafsaMSa	SU/ST
BK 52	5,60 - 6,00	15,7/9,9/74,2/0	S, t, u'	sicISa	SU*/ST*

Tabelle 16: Laborergebnisse aufgearbeiteter Festgesteinszersatz (Schicht 5a)

Grundwasser

Am Standort der Bohrungen BK 51 und BK 52 sind zur Umverlegung der Laucha Erdarbeiten bis $\approx 10,00$ m uGOK vorgesehen. Die Einschnittsböschungen liegen somit im unterschiedlich zersetzten Sand- und Tonstein. Zur Abschätzung der Wasserdurchlässigkeit über das gesamte Böschungssystem wurden die GWM derart ausgebaut, dass die Filterstrecken in beiden GWM zwischen 2,00 und 10,0 m uGOK angeordnet wurden.

Grundwasser wurde in den GWM 51 und GWM 52 wie folgt eingemessen:

Messung	Datum	BK/GWM 51		BK/GWM 52	
		Messwert [m uGOK]	Messwert mNHN]	Messwert [m uGOK]	Messwert mNHN]
Grundwasseranschnitt	25.05.2010	4,70	92,01	4,70	92,16
Ruhewasserstand	25.05.2010	2,30	94,41	2,60	94,26
Stichtagsmessung	19.06.2010	2,36	94,35	2,48	94,38

Tabelle 17: Wasserstände BK/GWM 51 und BK/GWM 52

Demnach führt der Sandstein im Kluftbereich Schichtwasser, welches gespannt ansteht.

Pumpversuche

In beiden GWM wurden am 18./19.06.2010 Pumpversuche ausgeführt. Die Ergebnisse des Pumpversuches in der GWM 51 sind in der Anlage 6.6, Blätter 2 bis 19 beigelegt. Die Ergebnisse des Pumpversuches in der GWM 52 sind in der Anlage 6.7, Blätter 2 bis 36 beigelegt.

Während der Ausführung der Pumpversuche konnte im jeweiligen Messbrunnen eine signifikante Absenkung des Grundwasserstandes festgestellt werden. Ein hydraulischer Kontakt zwischen beiden GWM wurde somit nachgewiesen.

Somit konnte eine Auswertung der Pumpversuche nach dem Zeit-Absenkungsverfahren erfolgen. Diese Auswertungen wurden für jede Pumpstufe ausgeführt. Die Auswertung für den Pumpversuch in der GWM 51 ist in der Anlage 6.6, Blätter 20 bis 22 enthalten. Die Auswertung für den Pumpversuch in der GWM 52 ist in der Anlage 6.7, Blätter 37 und 38 enthalten. Es ergeben sich folgende Wasserdurchlässigkeiten:

GWM	Pumpstufe	Pumprate [l/s]	Wasserdurchlässigkeit [m/s]
GWM 51	1	0,26	$4 \cdot 10^{-5}$
GWM 51	2	0,41	$7 \cdot 10^{-5}$
GWM 51	3	0,48	$2 \cdot 10^{-4}$
GWM 52	1	0,26	$3 \cdot 10^{-5}$
GWM 52	2	0,38	$1 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 18: Wasserdurchlässigkeiten BK/GWM 51 und BK/GWM 52

Demnach ergeben sich für den im Bereich der Filterstrecken anstehenden Baugrund, bestehend aus Ton- und Sandstein Wasserdurchlässigkeiten von $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$ bis $3 \cdot 10^{-5}$ m/s. Diese relativ hohen Wasserdurchlässigkeiten werden im Wesentlichen durch Wasserwegsamkeiten im Kluftbereich verursacht.

5.5 Bohrungen BK 54 und BK 55

Untergrund

Die Bohrung BK 54 liegt direkt im Talgrund der Laucha auf dem Gelände der Deponie Hochhalde Schkopau. Die Bohrung BK 55 wurde südlich des alten Laucha-Bettes auf Anschüttungen der Deponie Hochhalde Schkopau hergestellt. Ursprünglich war nur der Ausbau der Bohrung BK 55 als GWM vorgesehen. Da jedoch im Zuge der Bohrarbeiten im Talgrund der Laucha artesisches Grundwasser angetroffen wurde, wurde ergänzend auch die Bohrung BK 54 als GWM ausgebaut. Die Lage der Bohrungen ist im Übersichtslageplan (Anlage 1) sowie im Detaillageplan (Anlage 2, Blatt 4) dargestellt.

Die Bohrung BK 55 liegt an der Flanke des Laucha-Tals auf Anschüttungen der Deponie Hochhalde Schkopau. Die Bohrung BK 54 wurde im Laucha-Tal hergestellt. In beiden Bohrungen wurde oberflächennah

Oberboden (Schicht 2a)

als stark sandiger Schluff

mit organischen Bestandteilen

sowie mit tonigen und steinigen Beimengungen

erschlossen, welcher braun bis graubraun gefärbt ist. Dieser wird in beiden Bohrungen unterlagert von

Ablagerungen der Deponie (Schicht 1d)

als umgelagerte Schluffe

mit sandigen, tonigen, organischen

sowie anthropogenen Beimengungen

in steifer bis halbfester Konsistenz,

welche in der Regel grau/graubraun und braun bis dunkelbraun gefärbt sind. Diese wurden in der Bohrung BK 55 bis 7,00 m uGOK erkundet. In der Bohrung BK 54 wurden diese Ablagerungen nur bis 2,00 m uGOK erbohrt. Nachfolgend wurde in der Bohrung BK 54

Auelehm (Schicht 2c)

*aus organischen Tonen
mit schluffigen Bestandteilen
sowie feinsandigen Beimengungen
in weicher bis breiiger Konsistenz*

erkundet, welcher schwarz bis dunkelbraun gefärbt ist. Dieser wurde in der Bohrung BK 54 bis 5,60m uGOK erschlossen. In der Bohrung BK 55 fehlen die Aueablagerungen. Im Weiteren stehen in beiden Aufschlüssen

Tertiärtone (Schicht 4d)

*als mittelplastischer Ton
mit schluffigen Bestandteilen
sowie feinsandigen Beimengungen
in halbfester Konsistenz*

an, welche grau/dunkelgrau bis graugrün/grün gefärbt sind. Diese wurden in der Bohrung BK 54 bis 6,20 m uGOK und in der Bohrung BK 55 bis 11,70 m uGOK erschlossen. Nachfolgend wurde bis zur jeweiligen Endteufe

Sandstein (Schicht 5c)

erkundet, welcher hellgrau bis weiß gefärbt ist

Grundwasser

Die Bohrung BK 54 wurden derart zur GWM ausgebaut, dass die Wasserstände in dem im Liegenden anstehenden Sandstein erfasst wurden. Hierzu wurde die Filterstrecke zwischen 5,00 und 10,00 m uGOK angeordnet. Da in der Bohrung BK 54 artesisches Grundwasserverhältnisse festgestellt wurden, musste die Pegeloberkante bei $\approx 2,7$ m über GOK angeordnet werden.

Die Bohrung BK 55 wurde derart ausgebaut, dass die Filterstrecke zwischen 4,00 und 10,00 m uGOK und somit in den Auffüllungen sowie den nachfolgenden Tone angeordnet wurde. Die Wasserführung des im Liegenden anstehenden Sandsteins wird im Pumpversuch somit nicht erfasst.

Grundwasser wurde in den GWM 54 und GWM 55 wie folgt eingemessen:

Messung	Datum	BK/GWM 54		BK/GWM 55	
		Messwert [m uGOK]	Messwert [mNHN]	Messwert [m uGOK]	Messwert [mNHN]
Grundwasseranschnitt	01./04.06.2010	8,69	84,19	12,00	84,12
Ruhewasserstand	04.06.2010	- 1,94	92,13	4,10	92,02
Stichtagsmessung	18.06.2010	- 1,56	91,78	6,15	89,97

Anm.: Die Angabe - 1,94 m unter GOK bezeichnet im vorliegenden Fall einen Wasserstand über Gelände!

Tabelle 19: Wasserstände BK/GWM 54 und BK/GWM 55

Demnach führt in der Bohrung BK 54 der im Liegenden erschlossene Sandstein artesisches Grundwasser mit Druckhöhen von bis zu 1,94 m über GOK.

In der Bohrung BK 55 führt der ebenfalls im Liegenden anstehende Sandstein Grundwasser, welches gespannt ansteht. Der Ruhewasserstand in der BK 55 liegt in Ablagerungen der Deponie Hochhalde Schkopau und somit deutlich über dem Gelände im Bereich des alten Laucha-Bettes.

Pumpversuch

In der GMWS 54 wurde auftragsgemäß kein Pumpversuch ausgeführt.

In der GWM 55 wurde am 18.06.2010 ein Pumpversuch ausgeführt. Die Ergebnisse sind in der Anlage 6.8, Blätter 2 bis 21 beigelegt. Da nur ein Pumpbrunnen ohne Messbrunnen vorhanden war, erfolgte die Auswertung des Wiederanstiegs des Grundwassers nach THEIS, wobei eine ausreichende Korrelation zur Normkurve festgestellt wurde.

Diese Auswertung ist in der Anlage 6.8, Blatt 22 enthalten. Demnach ergibt sich für den Baugrund im Bereich der Filterstrecke eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 7 \cdot 10^{-7}$ m/s. Diese Wasserdurchlässigkeit wird vermutlich durch Wasserwegsamkeiten im Ton sowie in den überlagernden Auffüllungen verursacht.

5.6 Bohrung BK 56

Untergrund

Die Bohrung BK 56 wurde auf dem Gelände der Deponie Hochhalde Schkopau im „Laucha-Canyon“ errichtet. Die Lage der GWM ist im Übersichtslageplan (Anlage 1) sowie im Detaillageplan (Anlage 2, Blatt 5) dargestellt. Die durchgeführten Laboruntersuchungen sind in der Anlage 5.5 beigelegt.

In der Bohrung BK 56 wurden bis 9,10 m uGOK

Ablagerungen der Deponie (Schicht 1d)

*als Wechsellagerung aus
umgelagerten Schluffen und Sanden
und eingelagerten zementierten Schlämmen*

erbohrt. Die Wechsellagerung aus umgelagerten Böden und Schlämmen resultiert aus der Einbautechnologie. Nachfolgend steht ab 9,10 m uGOK gewachsener

Auelehm (Schicht 2c)
aus sandigen Schluffen
mit tonigen sowie organischen Bestandteilen
in steifer bis halbfester Konsistenz

an, welcher braun bis dunkelbraun gefärbt ist. Nachfolgend wurden

Talsande (Schicht 2d)
als schluffige, tonige Sande

erbohrt, welche grau gefärbt sind. Laboruntersuchungen an den Talsanden ergaben folgendes:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 56	11,00 - 12,00	16,0/16,9/66,3/0,9	S, t, u	csiclSa	ST*

Tabelle 20: Laborergebnisse Talsande (Schicht 2d)

Die Talsande werden bis zur Endteufe von

Tertiärton (Schicht 4d)
als mittelplastischer Ton
mit schluffigen und feinsandigen Bestandteilen
sowie mittelsandigen Beimengungen
in halbfester Konsistenz

unterlagert, welcher grau gefärbt ist. Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Korngrößenverteilung ergaben folgendes:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 56	13,00 - 14,00	28,9/47,3/23,2/0,6	T, u, ms, fs'	msafsaclSi	TM

Tabelle 21: Laborergebnisse feinkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

Neben den Bestimmungen der Korngrößenverteilung wurden an der Probe zur gesicherten Klassifizierung Bestimmungen der Zustandsgrenzen nach ATTERBERG durchgeführt. Diese zeigen, dass die untersuchte Probe aus der Bohrung BK 56, 13,00 - 14,00 m uGOK als mittelpastischer Ton (Bodengruppe TM) zu klassifizieren ist. Die Konsistenz wurde im Labor zu $I_c = 1,39$ und somit als halbfest bestimmt.

Grundwasser

Die Bohrung BK 56 wurde entsprechend der Wasserstände derart ausgebaut, dass die Filterstrecke zwischen 10,50 und 14,50 m uGOK und somit im Bereich der Talsande angeordnet wurde.

Grundwasser wurde in der Bohrung BK 56 wie folgt eingemessen:

Messung	Datum	Messwert [m uGOK]	Messwert [mNHN]
Grundwasseranschnitt	11.05.2010	11,00	87,27
Ruhewasserstand	11.05.2010	5,60	92,67
Stichtagsmessung	17.06.2010	5,38	92,89

Tabelle 22: Wasserstände BK/GWM 56

Demnach führen die unter den Aueablagerungen anstehenden Talsande Grundwasser, welches gespannt ansteht. Der Ruhewasserstand liegt im Bereich der Ablagerungen der Deponie Hochhalde Schkopau und somit deutlich über dem Gelände im Bereich des alten Laucha-Bettes.

Pumpversuch

In der GWM 56 wurde am 17.06.2010 ein Pumpversuch ausgeführt. Die Ergebnisse sind in der Anlage 6.9, Blätter 2 bis 20 beigelegt. Da nur ein Pumpbrunnen ohne Messbrunnen vorhanden war, erfolgte die Auswertung des Wiederanstiegs des Grundwassers nach THEIS, wobei eine ausreichende Korrelation zur Normkurve festgestellt wurde.

Diese Auswertung ist in der Anlage 6.9, Blatt 21 enthalten. Demnach ergibt sich für die Talsande eine hohe Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Zur Plausibilitätsprüfung dieser Auswertung wurde eine Korngrößenverteilung der Talsande ausgewertet (siehe Anlage 5.1.9). Demnach weisen die Talsande Tonanteile von 16,0 Gew.-% und Schluffanteile von 16,9 Gew.-% auf. Somit werden für die anstehenden Talsande tendenziell etwas geringe Wasserdurchlässigkeiten erwartet, wobei das Ergebnis des Pumpversuches im oberen Erwartungsbereich für die Wasserdurchlässigkeit liegt.

5.7 Bohrungen BK 57 und BK 58

Untergrund

Die Bohrungen wurden für das Teilobjekt Brücke Knapendorf hergestellt. Sie sind ausführlich in [U4] beschrieben. Oberflächennah steht in beiden Bohrungen

Mutterboden (Schicht 2a)

als stark sandiger Schluff

mit tonigen sowie organischen Beimengungen

in steifer Konsistenz

an, welcher dunkelbraun gefärbt ist. Dieser wurde in der Bohrung BK 57 bis maximal 0,40 m uGOK festgestellt. Dieser wird in beiden Bohrungen von

Auelehm (Schicht 2c)

als sandiger Schluff

mit geringen tonigen sowie organischen Beimengungen

in steifer bis halbfester Konsistenz

unterlagert, welcher braun bis dunkelbraun/schwarzbraun gefärbt ist. Dieser wurde in der Bohrung BK 57 bis maximal 2,10 m uGOK nachgewiesen. Nachfolgend stehen in beiden Bohrungen

Talsande (Schicht 2d)

als schluffige bis stark schluffige Sande

lokal mit geringen tonigen sowie kiesigen Beimengungen

in lockerer Lagerung

an, welche hellgrau gefärbt sind. Laboruntersuchungen an den Talsanden aus der Bohrung BK 57 ergaben folgendes:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T+U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 57	3,00 - 4,00	16,6/76,2/7,2	S, u, g'	csiSa	SU*

Tabelle 23: Laborergebnisse Talsande (Schicht 2d)

Diese holozänen Ablagerungen werden von tertiären Ablagerungen unterlagert. Hierbei wurde zunächst

stark zersetzte Braunkohle (Schicht 4a)

als stark organische Sande und Schluffe

in weicher bis steifer Konsistenz

erbohrt, welches in der Bohrung BK 57 bis 7,30 m uGOK festgestellt wurde. Laborprüfungen an der Braunkohle aus der BK 57 ergaben bei einem natürlichen Wassergehalt von $w_n = 79,3 \%$ eine geringe Trockendichte von $\rho_d = 0,664 \text{ g/cm}^3$. Der Glühverlust der Braunkohle wurde zu $V_{GL} = 6,93 \%$ (Bohrung BK 58) bis $30,16 \%$ (Bohrung BK 57) bestimmt.

Die Braunkohle wird in der Bohrung BK 57 sowie in den Altbohrungen aus [U1] von

Quarziten (Schicht 4c)

unterlagert. Diese wurden in der Bohrung BK 1a in einer maximalen Mächtigkeit von 1,60 m nachgewiesen. Die Quarzite sind meist hellgrau bis weiß gefärbt. Sie weisen einen hohen mineralischen Verbund auf. In der Bohrung BK 57 und in den Altbohrungen aus [U1] werden die Quarzite in der Regel von

Tertiärsanden (Schicht 4b)

*als enggestufte Gemische aus Fein- und Mittelsanden
mit schluffigen Beimengungen*

unterlagert, welche meist graubraun gefärbt sind. Die Tertiärsande werden in allen Baugrundaufschlüssen von

Tertiärtonen (Schicht 4d)

*mit schluffigen sowie sandigen Beimengungen
in steifer bis halbfester Konsistenz*

unterlagert, welche grau/hellgrau bis graubraun gefärbt sind. Laboruntersuchungen an zwei ungestörten Proben aus dem Tertiärton ergaben bei natürlichen Wassergehalten von $w_n = 6,9$ bis $13,4 \%$ Trockendichten von $\rho_d = 1,941$ bis $1,994 \text{ g/cm}^3$. Bestimmungen der Korngrößenverteilung an drei Proben aus den Tertiärtonen ergaben folgendes:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T/U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 58	6,35 - 6,60	19,5/24,4/55,8/0,3	T, s, u	fsimsicsiclSa	TL
BK 58	8,00 - 9,00	23,9/18,2/57,8/0	T, s, u	fsicsiclSa	TL
BK 58	10,25 - 10,50	24,6/26,5/48,9/0	T, s, u	csifsimsiclSa	TL

Tabelle 24: Laborergebnisse Tertiärton (Schicht 4d)

Neben den Bestimmungen der Korngrößenverteilung wurde zur gesicherten Klassifizierung eine Bestimmung der Zustandsgrenzen nach ATTERBERG durchgeführt. Diese zeigt, dass die untersuchte Probe aus der Bohrung BK 58, 6,35 bis 6,60 m uGOK als leichtplastischer Ton (Bodengruppe TL) zu klassifizieren ist. Die Konsistenz wurde im Labor zu $I_c = 0,94$ und somit als steif bestimmt. Die Probe aus der Bohrung BK 58, 10,25 bis 10,50 m uGOK ist ebenfalls als leichtplastischer Ton (Bodengruppe TL) zu klassifizieren. Die Konsistenz wurde zu $I_c = 1,01$ und somit als steif bis halbfest ermittelt.

Zur Abschätzung der undränierten Kohäsion wurden zwei Bestimmungen der einaxialen Druckfestigkeit ausgeführt. Diese ergaben Druckfestigkeiten von 0,226 bis 0,248 N/mm². Über den Zusammenhang $c_u \approx 0,5 \cdot q_u$ ergibt sich somit eine undränierte Kohäsion von $c_u \approx 110$ bis 125 kN/m².

Weiterhin wurde an der ungestörten Probe aus der Bohrung BK 58, 6,30 bis 6,60 m uGOK ein Scherversuch durchgeführt. Demnach wurde für den Bruchzustand ein Reibungswinkel von $\varphi = 27,2^\circ$ bei einer Kohäsion von $c = 31,2$ kN/m² bestimmt.

Zur gesicherten Abschätzung des Abbaus von Porenwasserdrücken wurde die Wasserdurchlässigkeit der Tertiärtonne aus der Bohrung BK 58, 10,25 bis 10,50 m uGOK ermittelt. Es wurde eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 9 \cdot 10^{-11}$ m/s bestimmt.

Die Tertiärtonne wurden in der Bohrung BK 57 nicht durchfahren. In der Bohrung BK 58 sowie den Altbohrungen aus [U1] wurden nachfolgend bis maximal 17,00 m uGOK weitere Tertiärsande (Schicht 4b) erschlossen. In der Bohrung BK 57 sind in den Tertiärtonen zahlreiche geringmächtige Einschaltungen aus Tertiärsanden vorhanden.

Die tertiären Ablagerungen werden in der Bohrung BK 58 sowie den Altbohrungen aus [U1] von

Felszersatz (Schicht 5b)

aus stark verwitterten Ablagerungen des Buntsandsteins

besteht aus schwach sandigen bis sandigen,

stark verwittertem bis entfestigtem/zersetztem Ton-, Schluff- sowie Sandstein

unterlagert. Der in der Bohrung BK 58 anstehende Tonsteinersatz wurde als leicht- bis mittelplastischer Ton in steifer bis halbfester Konsistenz angesprochen. Er ist in der genannten Bohrung grau bis graubraun gefärbt. Der regellos eingeschaltete Sandsteinersatz stellt sich aufgrund des hohen Entfestigungsgrades als Sand dar. Aus dieser Schicht wurde eine Probe labortechnisch hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung untersucht. Folgendes wurde festgestellt:

Aufschluss	Entnahmetiefe [m uGOK]	Verhältnis T+U/S/G [%]	Bodenart [DIN 4022]	Bodenart [EN ISO 14688-1]	Bodengruppe [DIN 18196]
BK 57	13,00 - 14,00	2,5/97,3/0,2	mS, fs, gs'	csafsaMSa	SE

Tabelle 25: Laborergebnisse Buntsandstein (Schicht 5b)

Sowohl der durch die GGU erschlossene Tonstein als auch der Sandstein hat aufgrund des hohen Entfestigungsgrades somit eher einen Lockergesteinscharakter. Bereiche mit höherer Festigkeit, welche dann eher einen Festgesteinscharakter aufweisen, sind am Standort jedoch nicht auszuschließen.

Grundwasser

Beide Bohrungen wurden zu 2-Zoll GWM ausgebaut. Grundwasser wurde am Standort der Bohrungen BK 57 und BK 58 mit zwei unterschiedlichen Druckhöhen wie folgt angetroffen.

Messung	Datum	BK/GWM 57		BK/GWM 58	
		Messwert [m uGOK]	Messwert [mNHN]	Messwert [m uGOK]	Messwert [mNHN]
Grundwasseranschnitt	01./03.06.2010	7,00	86,37	2,30	90,26
	03.06.2010			4,90	87,66
	03.06.2010			12,20	80,36
Ruhewasserstand	02./03.06.2010	3,95	89,42	0,10	92,46
Stichtagsmessung	06.08.2010	2,83	90,54	0,32	92,24

Tabelle 26: Wasserstände BK/GWM 56 und BK/GWM 57

In der Bohrung BK 57 wurde Grundwasser in der Braunkohle angetroffen, welches gespannt ansteht. Der Ruhewasserstand nach Abschluss der Bohrarbeiten sowie zur Stichtagsmessung lag in den Talsanden. Bei diesem Grundwasser handelt es sich um das obere Grundwasser.

In der Bohrung BK 58 wurde in den Talsanden in verschiedenen Tiefen Grundwasser angetroffen. Zudem führen hier die im Liegenden anstehenden Tertiärsande gespanntes Grundwasser mit einer etwa geländegleichen Druckhöhe. Hierbei handelt es sich um das untere Grundwasser des GWL-2.

Pumpversuche wurden am Standort der Bohrungen BK 57 und BK 58 nicht ausgeführt.

6. Ergebnisse der Baggerschürfe

6.1 Allgemeines

Die Baggerschürfe waren zur detaillierten Aufnahme des Schichteinfalls im Festgestein bzw. im Festgesteinsersatz vorgesehen. Der festgestellte Schichteinfall sollte je Schurf im Lage-Kugel-Diagramm dargestellt werden.

Die Ergebnisse der Schürfe sind in den Anlagen 4.10 bis 4.13 als Bodenprofile dargestellt. Da kein kompaktes Festgestein erkundet wurde, wurden keine Lage-Kugel-Diagramme erstellt. Nachfolgend erfolgt die Beschreibung der in den Schürfen angetroffenen Untergrundverhältnissen

6.2 Schürfe 6 und 7

Die Schürfe Sch 6 und Sch 7 wurden etwa bei Station 0+600 hergestellt. Im Schurf Sch 6 (Lage an der nördlichen Böschung der neuen Laucha) steht oberflächennah bis 0,60 m uGOK

Oberboden (Schicht 2a)

*als organischer Schluff
mit sandigen Bestandteilen sowie
geringen tonigen Beimengungen
in steifer Konsistenz*

an, welcher braun bis dunkelbraun gefärbt ist. Dieser wird von

Geschiebelehm (Schicht 3a)

*als sandiger Schluff
mit geringen tonigen Beimengungen
in steifer Konsistenz*

unterlagert, welcher braun gefärbt ist. Dieser wurde bis 0,90 m uGOK nachgewiesen. Nachfolgend wurde bis 2,40 m uGOK ein

grobkörniger Felszersatz (Schicht 5a)

als schluffiger Sand

lokal mit geringen tonigen Beimengungen

erschlossen, welcher hellgrau bis weiß gefärbt ist. Im Tiefenbereich bis 1,80 m uGOK wurden regellos, jedoch horizontal gelagerte Sandsteinbänke mit Stärken von 1 bis 5 cm festgestellt. Im Tiefenbereich von 1,80 bis 2,40 m uGOK wurden vergleichbar gelagerte Sandsteinbänke, jedoch mit einer größeren Stärke von 5 bis 15 cm erkundet. Nachfolgend wurde bis zur erreichten Endteufe des Schurfes Sch 6 ein

feinkörniger Felszersatz (Schicht 5b)

als stark schluffiger Ton

mit feinsandigen Beimengungen

in halbfester bis fester Konsistenz

aufgeschlossen. In diesem sind ebenfalls horizontal gelagerter Sandsteinbänke mit Stärken von 5 bis 15 cm eingelagert.

Im Schurf Sch 7 (Lage an der südlichen Böschung der neuen Laucha) steht oberflächennah ebenfalls

Oberboden (Schicht 2a)

als humoser Sand

*mit schluffigen Bestandteilen sowie
geringen tonigen und kiesigen Beimengungen*

an, welcher graubraun bis braun gefärbt ist. Dieser wurde bis 0,20 m uGOK erschlossen. Der Oberboden wird bis 0,60 m uGOK von

Auffüllungen (Schicht 1c)

als kiesiger Sand

mit geringen schluffigen Bestandteilen

unterlagert, welche gelbbraun gefärbt sind. Diese wurden vermutlich im Zuge der Errichtung der Zuwegung zur Deponie aufgefüllt. Im Weiteren folgt

Geschiebelehm (Schicht 3a)

als schluffiger Ton

mit feinsandigen Bestandteilen

in steifer bis halbfester Konsistenz.

Der braun gefärbte Geschiebelehm wurde bis 1,00 m uGOK nachgewiesen. Er wird bis zur erreichten Endteufe von 1,60 m uGOK von

grobkörnigem Felszersatz (Schicht 5a)

als schluffiger Sand

mit geringen tonigen Beimengungen

unterlagert, welcher hellgrau bis weiß gefärbt ist. Bis zur Endteufe des Schurfes Sch 7 steht ein weiterer

grobkörniger Felszersatz (Schicht 5a)

als schwach schluffiger Sand

an, welcher ebenfalls hellgrau bis weiß gefärbt ist. Kompakte Felsbänke wurden im Schurf Sch 7 nicht festgestellt.

6.3 Schürfe 8 und 9

Die Schürfe Sch 8 und Sch 9 wurden etwa bei Station 1+520 hergestellt. Im Schurf Sch 8 (Lage an der nördlichen Böschung der Laucha) steht oberflächennah

Oberboden (Schicht 2a)

*als Gemisch aus Sand und Schluff
mit organischen Bestandteilen sowie
geringen steinigen sowie tonigen Beimengungen*

an, welcher hellbraun bis braun gefärbt ist. Dieser wurde bis 0,30 m uGOK aufgeschlossen. Nachfolgend wurde bis 0,80 m uGOK ein stark aufgearbeiteter

grobkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5a)

als schwach schluffiger Sand

erschlossen, welcher braun gefärbt ist. Bis zur Endteufe von 3,00 m uGOK wurde ein weiterer

grobkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5a)

*als schwach schluffiger Sand
mit Sandsteinbänken in Stärken von 5 bis 15 cm*

erschlossen, welcher hellgrau bis weiß gefärbt ist. Die eingelagerten Sandsteinbänke sind regellos, jedoch annähernd horizontal abgelagert. In der Endteufe des Schurfes wurde eine massive Sandsteinbank angetroffen, welche mittels Tieflöffelbagger nicht gelöst werden konnte.

Im Schurf Sch 9 wurde oberflächennah ebenfalls

Oberboden (Schicht 2a)

*als organischer Schluff
mit sandigen Bestandteilen sowie
steinigen und tonigen Beimengungen*

angetroffen, welcher hellbraun bis braun gefärbt ist. Dieser wurde bis 0,20 m uGOK nachgewiesen. Nachfolgend wurden

Auffüllungen (Schicht 1c)

*als stark sandiger Schluff
mit geringen tonigen Beimengungen
sowie Schotter und Sandstein*

erkundet, welche hellbraun bis braun gefärbt sind. Bis zur erreichten Endteufe von 3,00 m uGOK steht auch im Schurf Sch 9 ein

grobkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5a)

*als schwach schluffiger bis schluffiger Sand
mit geringen tonigen Beimengungen
sowie Sand- und Tonsteinbänken*

an, welcher hellgrau bis weiß gefärbt ist. Die Sandsteinbänke weisen Stärken von maximal 10 cm auf. Sie sind regellos, jedoch horizontal eingelagert. Die Tonsteinbänke weisen eine geringe Stärke von maximal 5 cm auf. Auch diese sind regellos, jedoch annähernd horizontal eingelagert.

Im Schurf Sch 9 wurde bei 2,64 m uGOK Grundwasser angetroffen. Nach Abschluss der Baggerarbeiten wurde das Grundwasser bei 2,40 m uGOK eingemessen.

7. Sedimentbeprobung

Etwa bei Station 3+750 erfolgte im alten Laucha-Bett eine Sedimentbeprobung. Hierbei wurde mittels Peilstange die Mächtigkeit des abgelagerten Sedimentes zu > 1 m festgestellt. Das abgelagerte Sediment stellt sich als

Laucha-Schlamm (Schicht 2b)

als organischer Schluff

mit geringen feinsandigen sowie tonigen Beimengungen

in breiiger bis flüssiger Konsistenz

dar, welcher schwarzbraun bis schwarz gefärbt ist. Bei der Probenahme war die Sohle der Laucha aufgrund der Konsistenz nur eingeschränkt begehbar.

Am gewonnenen Sediment wurden Untersuchungen zur gesicherten Einschätzung der erforderlichen Verwertung oder Entsorgung durchgeführt. Hierbei wurde das Parameterpaket gemäß der Anlagengenehmigung der Deponie Hochhalde Schkopau (siehe [U3]) untersucht.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der Anlage 7 beigelegt. Für die untersuchte Sedimentprobe ist folgendes festzustellen:

- deutlich erhöhter Glühverlust von $V_{GL} = 8,4$ %
(deutliche Überschreitung des Zuordnungswertes DK II)
- erhöhter TOC-Gehalt von 3,6 Masse- %
(Überschreitung des Zuordnungswertes DK II)
- geringe Atmungsaktivität von $AT_4 = 2,2 \pm 0,54$ mg O_2 /g
- leicht erhöhter DOC-Gehalt von 5,7 mg/l

Der erhöhte Glühverlust sowie der erhöhte TOC-Gehalt sind aufgrund der geringen Atmungsaktivität sowie der nicht gegebenen Brennbarkeit der untersuchten Sedimentprobe nicht bewertungsrelevant. Auf der Grundlage der restlichen Ergebnisse ist die untersuchte Sedimentprobe aus Sohle der Laucha aufgrund der leicht erhöhten DOC-Gehalte der Deponieklasse 0 sowie der Preisklasse PK 2 zuzuordnen. Die Einstufung ist von der Deponie Hochhalde Schkopau zu überprüfen.

8. Eigenschaften und Klassifizierung der Böden

Die für die Baumaßnahme relevanten Böden werden auf der Grundlage von [U1], den durchgeführten Untersuchungen sowie dem DIN-Regelwerk klassifiziert. Die nachfolgenden Tabellen enthalten die Ergebnisse der Klassifizierungen, welche überwiegend auf [U1] beruhen. In den eigenen Untersuchungen festgestellte signifikante Abweichungen bzw. Ergänzungen sind **fett** gekennzeichnet. Es ergeben sich folgende Klassifizierungen:

Bodenart	Allgemeine Auffüllungen	Auffüllungen Altdeponie	Oberboden	Laucha-Schlamm
Schicht-Nr.	1c	1d	2a	2b
Bodengruppe [DIN 18 196]	A, [TL, SU*, GU*, SU, GU]	A	OU, OH	OU,OT
Bodenklasse [DIN 18 300]	3, 4	2, 4	1, ab 0,30 m 4	2
Bodenklasse [DIN 18 301]	BB 2, BN 2, BS 1	BB 1 - 2 (BN 2)	BB 2, BO 1	BB 1
Bodenklasse [DIN 18 319]	LN 1 - 2 S 1 - 2 LBM 2 - 3 S 1 - 2	--	LBO 1 - 2	LO
Bodenart	Auelehm/-mergel Aueton	Talsand	Torf	Geschiebelehm/-mergel
Schicht-Nr.	2c/2e	2d	2f	3a
Bodengruppe [DIN 18 196]	OU, TM, UL, SU*	SU, SU*	HN, HZ	TL, SU*
Bodenklasse [DIN 18 300]	2, 4	3, 4	2	4
Bodenklasse [DIN 18 301]	BB 2, BO 1	BN 1 - 2	BO 1 - 2	BB 2 - 3, BN 2 S 1
Bodenklasse [DIN 18 319]	LBM 2 - 3 lokal LBM 1	LN 1 - 2	LO	LBM 2 - 3 S 1
Bodenart	Sand, Kiessand	Braunkohle	Tertiärsand	Quarzit
Schicht-Nr.	3b	4a	4b	4c
Bodengruppe [DIN 18 196]	SU, SW, SE, GW	(HZ)	SU, SU*	--
Bodenklasse [DIN 18 300]	3	2, 3, 4	3, 4	7
Bodenklasse [DIN 18 301]	BN 1 BS 1	BO 1	BN 1 - 2	FV 5 - 6 FD 3 - 5
Bodenklasse [DIN 18 319]	LNE/LMW 2	LO	LN 2 - 3	FD 3 - 5

Bodenart	Tertiärton	grobkörniger Felszersatz	feinkörniger Felszersatz	verwitterter Fels (Sandstein)
Schicht-Nr.	4d	5a	5b	5c
Bodengruppe [DIN 18 196]	TL, TM, ST*, SU* TA	SE, SU, SU*, ST, ST*, TL	SU*, ST, ST*, TL, TM	(SU, SU*, ST, ST*, TM) *1
Bodenklasse [DIN 18 300]	4, 5	5, 6	5, 6	6, 7
Bodenklasse [DIN 18 301]	BB 2 - 4	BN 1 - 2, BB 2 - 4 BS 1 - 2	BB 2 - 4	BN 2, FV 1 - 3, FD 1 - 2
Bodenklasse [DIN 18 319]	LBM 2 - 3 P 1 - 2	LNE/LN 2 - 3 S 1 LBM 2 - 3 S 1	LBM 2 - 3 S 1	FD 1 - 2

*1: Beurteilung gemäß Bohrgut

Tabelle 27: Klassifizierung der anstehenden Schichten

Folgende bautechnische Eigenschaften werden den Böden zugeordnet:

Bodenart	Allgemeine Auffüllungen	Auffüllungen Altdeponie	Oberboden	Laucha-Schlamm
Schicht-Nr.	1c	1d	2a	2b
Scherfestigkeit	mäßig bis groß	gering bis mittel lokal sehr groß	gering bis mäßig	sehr gering
Verdichtungsfähigkeit	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht
Zusammendrückbarkeit	mittel bis groß	sehr groß	sehr groß	extrem
Durchlässigkeit	durchlässig bis schwach durchlässig	durchlässig bis schwach durchlässig	schwach durchlässig	schwach durchlässig
Witterungs-/Erosionsempfindlichkeit	groß bis mittel	mittel bis gering	groß bis mittel	sehr groß
Frostempfindlichkeit [ZTVE-StB 09]	F 3	F 3	F 3	F 3
Verdichtungsfähigkeit [ZTVA-StB 97/06]	V 1 - 3	nicht verdichtbar	nicht verdichtbar	V 3
Kornverteilung	fein- bis gemischtkörnig	feinkörnig	feinkörnig	feinkörnig

Bodenart	Auelehm/-mergel Aueton	Torf	Talsand	Geschiebe- lehm/-mergel
Schicht-Nr.	2c	2f	2d	3a
Scherfestigkeit	mäßig	sehr gering	groß	mittel bis groß
Verdichtungsfähigkeit	sehr schlecht	sehr schlecht	mittel	schlecht
Zusammendrückbarkeit	groß	extrem	mittel	mittel
Durchlässigkeit	schwach bis sehr schwach durch- lässig	--	durchlässig lokal schwach durchlässig	sehr schwach durchlässig
Witterungs- /Erosionsempfindlichkeit	mittel bis sehr groß	--	mittel	mittel bis groß
Frostempfindlichkeit [ZTVE-StB 09]	F 3	F 3	F 2/3	F 3
Verdichtungsfähigkeit [ZTVA-StB 97/06]	V 2 - 3	nicht verdichtbar	V 1 - 2	V 2 - 3
Kornverteilung	feinkörnig	--	grob- bis ge- mischtkörnig	fein- bis ge- mischtkörnig
Bodenart	Sand, Kiessand	Braunkohle	Tertiärsand	Quarzit
Schicht-Nr.	3b	4a	4b	4c
Scherfestigkeit	groß bis sehr groß	gering	groß	--
Verdichtungsfähigkeit	gut	sehr schlecht	mittel	--
Zusammendrückbarkeit	gering	mittel	gering	keine
Durchlässigkeit	durchlässig	--	durchlässig bis schwach durch- lässig	--
Witterungs- /Erosionsempfindlichkeit	mittel bis sehr gering	--	mittel bis groß	--
Frostempfindlichkeit [ZTVE-StB 09]	F 1/2	F 3	F 2/3	--
Verdichtungsfähigkeit [ZTVA-StB 97/06]	V 1	nicht verdichtbar	V 1 - 2	nicht verdichtbar
Kornverteilung	grobkörnig	--	grob- bis ge- mischtkörnig	--

Bodenart	Tertiärton	grobkörniger Felszersatz	feinkörniger Felszersatz	verwitterter Fels (Sandstein)
Schicht-Nr.	4d	5a	5b	5c
Scherfestigkeit	gering	mittel bis groß	gering bis mittel	groß bis sehr groß
Verdichtungsfähigkeit	schlecht	schlecht	schlecht	nicht verdichtbar
Zusammendrückbarkeit	gering	mittel bis gering	mittel bis gering	sehr gering
Durchlässigkeit	sehr schwach durchlässig	durchlässig	durchlässig bis schwach durchlässig	durchlässig
Witterungs-/Erosionsempfindlichkeit	mittel bis groß	mittel bis gering	mittel	sehr gering
Frostempfindlichkeit [ZTVE-StB 09]	F 2/3	F 3	F 3	--
Verdichtungsfähigkeit [ZTVA-StB 97]	V 3	V 1 - 2	V 3	nicht verdichtbar
Kornverteilung	feinkörnig	gemischt- bis feinkörnig	fein- bis gemischtkörnig	--

Tabelle 28: Bautechnische Eigenschaften der anstehenden Böden

Die bautechnische Eignung der auszuhebenden Schichten wird wie folgt beschrieben:

Bodenart	Allgemeine Auffüllungen	Auffüllungen Altdeponie	Oberboden	Laucha-Schlamm
Schicht-Nr.	1c	1d	2a	2b
Dammbaustoff	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Oberbaumaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Frostschutzmaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Filtermaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Hinterfüllmaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Boden zur Baugrundverbesserung	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet

Bodenart	Auelehm/-mergel Aueton	Torf	Talsand	Geschiebe- lehm/-mergel
Schicht-Nr.	2c/2e	2f	2d	3a
Dammbaustoff	bedingt geeignet	ungeeignet	geeignet	geeignet
Oberbaumaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Frostschutzmaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Filtermaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Hinterfüllmaterial	ungeeignet	ungeeignet	geeignet	bedingt
Boden zur Baugrund- verbesserung	ungeeignet	ungeeignet	geeignet	bedingt geeignet
Bodenart	Sand, Kiessand	Braunkohle	Tertiärsand	Quarzit
Schicht-Nr.	3b	4a	4b	4c
Dammbaustoff	geeignet	ungeeignet	geeignet	--
Oberbaumaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	--
Frostschutzmaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	--
Filtermaterial	bedingt	ungeeignet	ungeeignet	--
Hinterfüllmaterial	geeignet	ungeeignet	bedingt	--
Boden zur Baugrund- verbesserung	geeignet	ungeeignet	bedingt	--
Bodenart	Tertiärton	grobkörniger Felszersatz	feinkörniger Felszersatz	verwitterter Fels (Sandstein)
Schicht-Nr.	4d	5a	5b	5c
Dammbaustoff	bedingt	bedingt	bedingt	bedingt
Oberbaumaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Frostschutzmaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Filtermaterial	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
Hinterfüllmaterial	ungeeignet	bedingt	bedingt	bedingt
Boden zur Baugrund- verbesserung	ungeeignet	bedingt geeignet	ungeeignet	bedingt geeignet

Tabelle 29: Bautechnische Eignung der auszuhebenden Schichten

Die als Fels einzustufenden Schichten werden gemäß nach DIN EN ISO 14689-1 wie folgt klassifiziert:

Bodenart	Quarzit	verwitterter Fels (Sandstein)
Schicht-Nr.	4c	5c
genetische Einheit	sedimentär, zementiert	sedimentär, klastisch
geologische Struktur	massig, bankig	sehr dünn bis dünn geschichtet
Korngröße	fein-/mittelkörnig zementiert	sandig, untergeordnet schluffig/tonig
mineralogische Zusammensetzung	silikatisch	überwiegend silikatisch
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	100 - 300	1 - 80
Trennflächen	mittel- bis weitständig, schwach klüftig	sehr eng bis mittelständig, stark bis sehr stark klüftig
Verwitterungsstufe	0 - 1 (frisch bis schwach verwittert)	3 bis 5 (stark verwittert bis zersetzt)

Tabelle 30: Klassifizierung der anstehenden Felsarten

Die für grundbautechnische Berechnungen anzusetzenden Bodenkennwerte werden wie folgt angegeben:

Schicht	Bodenart	Wichte γ_k/γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion, dränert c'_k [kN/m ²]	Kohäsion, undränert $c_{u,k}$ [kN/m ²]	Steifemodul E_s [MN/m ²]	Wasserdurchlässigkeit k_f [m/s]
1c	Auffüllungen	18/9	25 bis 30	0	0	8	$10^{-4} - 10^{-6}$
1d	Deponie	13/4	20 bis 30	0 bis 5	5 bis 20	10 - > 50	$10^{-3} - 10^{-7}$
2a	Oberboden	17/8	22	0	5	1 - 5	10^{-6}
2b	Laucha-Schlamm	12/2	10	0	0	0,5 - 1	10^{-7}
2c	Aueablagerungen	20/10	28	5	20	5 - 10	$10^{-7} - 10^{-9}$
2d	Talsande	19/11	30	3	0	20 - 40	$10^{-5} - 10^{-6}$
2f	Torf	11/1	10	5	10	1	--

Schicht	Bodenart	Wichte γ_k/γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion, dränert c'_k [kN/m ²]	Kohäsion, undränert $c_{u,k}$ [kN/m ²]	Steifemodul E_s [MN/m ²]	Wasserdurchlässigkeit k_f [m/s]
3a	Geschiebelehm/-mergel	20/10	30	25	50	12	$10^{-8} - 10^{-9}$
3b	Sand, Kiessand	19/11	35	0	0	50	$10^{-3} - 10^{-4}$
4a	Braunkohle	12/2	25	10	0	4,5 - 9	--
4b	Tertiärsand	19/11	32	0	0	80 - 100	$10^{-5} - 10^{-7}$
4c	Quarzit	26/16	45	50	0	> 500	--
4d	Tertiärtone	21/11	22	25	100	8,2 - 12	$< 10^{-9}$
5a	grobkörniger Felszersatz	20/10	27	10	20	20	$10^{-4} - 10^{-6}$
5b	feinkörniger Felszersatz	22/12	27	15	30	20	$10^{-5} - 10^{-8}$
5c	verwitterter Fels (Sandstein)	21/11	35	10	50	50	$10^{-4} - 10^{-6}$

γ_k : Wichte, erdfeucht

γ'_k : Wichte unter Auftrieb

Tabelle 31: Bodenkennwerte

9. Abgleich der eigenen Ergebnisse mit [U1]

9.1 Hydrogeologische Verhältnisse

Untergrundhydraulische Systeme

Die Ergebnisse der Baugrunderkundungen zeigen in der Tallage ein relativ einfaches untergrundhydraulisches System, bestehend aus einem ersten Grundwasserleiter aus Talsanden. Dieser führt gespanntes Grundwasser, wobei lokal artesische Verhältnisse auftreten können. Dieser Grundwasserleiter wird von tertiären Ablagerungen unterlagert, welche den ersten Grundwassergeringleiter darstellen. Im Weiteren nachfolgende Grundwasserleiter haben in der Tallage keinen wesentlichen Einfluss auf die geplante Flusstrasse.

In der Hochlage ist ein komplizierteres untergrundhydraulisches System vorhanden. Hier wird im oberflächennah anstehenden Festgesteinszersatz in verschiedenen Tiefen Grundwasser angetroffen, welches gespannt ansteht. Dieses Grundwasser hat einen wesentlichen Einfluss auf die Maßnahmen zur bauzeitlichen Wasserhaltung sowie zur Entwässerung des Einschnittes im Endzustand.

Unterhalb der geplanten Sohle der neuen Laucha werden weitere Grundwasserleiter erwartet, welche ebenfalls gespanntes Grundwasser führen können. Dieses wurde im Trassenbereich jedoch nicht erkundet. Diese möglichen Grundwasserleiter sowie deren Druckhöhen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Sicherheit der Sohle der geplanten neuen Laucha.

Wasserstände

Zum Abgleich der Ergebnisse erfolgt zunächst ein Vergleich der Wasserstände beider Erkundungskampagnen. Es ergibt sich folgendes:

Aufschluss	Lage	Datum	GOK	Ruhewasserstand	
				m uGOK	mNHN
BK 9	0+600	20.05.2009	99,23	3,40	95,83
BK 10	0+650	24.06.2009	100,04	4,60	95,44
BK 47	0+650	17.06.2010	98,09	0,63	97,46
BK 48	0+650	17.06.2010	98,06	0,85	97,21
BK 11	0+700	24.06.2009	98,99	2,34	96,65
BK 23	1+300	08.06.2009	99,90	3,01	96,89
BK 49	1+340	18.06.2010	97,12	2,31	94,81
BK 50	1+340	17.06.2010	96,93	2,12	94,81
BK 24	1+350	17.04.2009	97,36	3,44	93,92
BK 25	1+400	08.06.2009	96,40	2,80	93,60
BK 27	1+500	09.06.2009	96,90	2,85	94,05
BK 28	1+550	15.05.2009	96,62	2,83	93,79
BK 51	1+570	19.06.2010	96,71	2,36	94,35
BK 52	1+570	18.06.2010	96,86	2,48	94,38
BK 29	1+600	12.05.2009	97,97	3,75	94,22

fett: Ergebnisse der Kampagne aus 2010

Tabelle 32: Vergleich der Grundwasserstände 2009 und 2010

Damit liegen zum Teil erhebliche Differenzen zwischen den Grundwasserständen während der Erkundungen in 2009 und in 2010 vor.

Die in 2009 ausgeführten Erkundungen zeigen einen deutlich größeren Schwankungsbereich als in 2010. So ergibt sich zum Beispiel zwischen den Bohrungen BK 11 und BK 9 auf 100 m Entfernung eine Differenz im Grundwasserstand von 0,82 m und zwischen den Bohrungen BK 23 und BK 24 auf 50 m eine Differenz von 2,94 m. Die Grundwasserstände in den in 2010 hergestellten GWM zeigen zwischen den benachbarten GWM eine gute bis sehr gute Übereinstimmung.

Der deutlich größere Schwankungsbereich der Grundwasserstände aus den Erkundungen aus 2009 kann zum Teil durch den in 2009 zumeist nicht ausgeführten Ausbau der Bohrungen zu GWM erklärt werden. Somit waren in den nicht ausgebauten Bohrungen keine gesicherten Messungen der Ruhewasserstände bzw. Stichtagsmessungen möglich.

Weiterhin liegen zum Teil deutliche Differenzen zwischen den Grundwasserständen aus 2009 und 2010 vor. Aus der tabellarischen Zusammenstellung ergeben sich folgende Abweichungen:

- Bereich um Station 0+650:
Differenz + 2,02 m zwischen BK 47 und BK 10
- Bereich um Station 1+350:
Differenz - 2,17 m zwischen BK 49/BK 50 und BK 23
Differenz + 0,89 m zwischen BK 49/BK 50 und BK 24
- Bereich um Station 1+570:
Differenz + 0,56 m zwischen BK 51/BK 52 und BK 28

Durch die mit der Grundwassermodellierung zum Vorhaben beauftragte IHU GmbH, Nordhausen, wurde in Auswertung von Monitoring-Ergebnissen aus dem Zeitraum April 2009, Oktober 2009 und April 2010 ein Anstieg des Grundwasser zwischen April 2009 und April 2010 von 0,10 bis 0,50 m als plausibel eingeschätzt. Innerhalb des genannten Zeitraumes wurden im Betrachtungsbereich in Ausnahmefällen jedoch auch ein lokaler Anstieg bzw. lokal auch ein Abfall der Wasserstände um $\approx 1,50$ m festgestellt. Die Ursachen hierfür sind nicht bekannt.

Somit können die ermittelten Differenzen der Grundwasserstände im Bereich um Station 0+650 und 1+350 als Ausnahmefälle betrachtet werden. Die im Bereich um Station 1+570 ermittelte Differenz von + 0,56 m ist plausibel und bildet das natürliche Grundwasserspiel zwischen den Erkundungskampagnen 2009 und 2010 ab.

Zur gesicherten Abschätzung von möglichen Bemessungswasserständen sollten die im Trassenbereich hergestellten Grundwassermessstellen in ein Grundwassermonitoring einbezogen werden. Empfohlen werden automatische oder manuelle wöchentliche Messungen der Grundwasserstände über einen ausreichend langen Zeitraum.

Wasserdurchlässigkeiten

In [U1] werden aus WD-Versuchen im feinkörnigen Festgesteinszersatz bestimmte Wasserdurchlässigkeiten zu $k_f \approx 6 \cdot 10^{-6}$ bis $7 \cdot 10^{-7}$ m/s bestimmt. Rechnerische Ableitungen der Wasserdurchlässigkeit aus der Korngrößenverteilung werden in [U1] zu $k_f \approx 1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-9}$ m/s angegeben. Ergebnisse von Laboruntersuchungen liegen deutlich geringer bei $k_f \approx 4 \cdot 10^{-9}$ bis $4 \cdot 10^{-11}$ m/s. In [U1] wird für weiterführende Berechnungen die Wasserdurchlässigkeiten aus den WD-Versuchen empfohlen, da diese die Verhältnisse in-situ abbilden. Es ist jedoch anzumerken, dass die WD-Versuche nur über kurze Prüfstrecken im Bohrloch von 1 bis 2 m ausgeführt wurden und zudem Packerumläufigkeiten beschrieben wurden.

Die Ergebnisse der eigenen Pumpversuche, insbesondere im Bereich der GWM 49/50 und GWM 51/52, zeigen für den gesamten Pegelausbau und somit für die gesamten Höhe des geplanten Einschnittes höhere Wasserdurchlässigkeiten von $k_f \approx 1 \cdot 10^{-4}$ bis $4 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Diese Abweichung begründet sich aus der besseren Abbildung der hydrogeologischen Bedingungen durch die Pumpversuche. Aufgrund der Länge der Prüfstrecke über die gesamte Einschnittsböschung werden auch Bereiche mit lokal erhöhten Wasserdurchlässigkeiten (z.B. der grobkörnige Festgesteinszersatz der Schicht 5b) sowie der Kluftbereich des kompakteren Festgesteins mit erfasst. Zur weiteren Planung

und Modellierung sind die in den Pumpversuchen ermittelten Wasserdurchlässigkeiten anzusetzen. Hierzu wird der Ansatz folgender Wasserdurchlässigkeiten empfohlen:

- Bereiche, in denen das Böschungssystem den Sandstein anschneidet:
Wasserdurchlässigkeit $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s
- Bereiche, in denen das Böschungssystem nicht den Sandstein anschneidet:
Wasserdurchlässigkeit $k_f = 9 \cdot 10^{-5}$ m/s

9.2 Geotechnische Verhältnisse

Prinzipiell bestätigen die Ergebnisse der eigenen Baugrunderkundungen die in [U1] beschriebenen geotechnischen Verhältnisse im Bereich der geplanten Flusstrasse. Ein direkter Abgleich ist für den Bereich der geplanten Flusstrasse jedoch nur an den Standorten

- der Bohrungen BK 47 und BK 48 (Lage etwa bei Station 0+650),
- der Bohrungen BK 50 und BK 51 (Lage etwa bei Station 1+340) sowie
- der Bohrungen BK 52 und BK 53 (Lage etwa bei Station 1+579)

möglich.

Der Bereich der genannten Bohrungen kann entsprechend der in [U1] vorgenommenen Einteilung der Hochlage zugeordnet werden, welche durch unterschiedlich zersetzte und verwittrte Ablagerungen des Buntsandsteins gekennzeichnet sind. Diese Ablagerungen stehen oberflächennah an und werden nur lokal von geringmächtigen holozänen bzw. quartären Ablagerungen überlagert. Grundwasser steht hier flurnah an. Die geplante Sohle der neuen Laucha liegt im Einschnitt mit Tiefen von bis zu 10 m und damit zum Teil deutlich unterhalb des Grundwassers. Die geplanten Einschnittsböschungen werden somit durch Grundwasser beeinflusst.

Im Bereich der eigenen Bohrung BK 46 liegen aus [U1] keine Ergebnisse von Baugrunderkundungen vor. Dieser Bereich kann der in [U1] eingeteilten Tallage zugeordnet werden. Hier stehen oberflächennah geringmächtige holozäne Ablagerungen auf tertiären Ablagerungen an. Grundwasser steht nahezu geländegleich in den holozänen Ablagerungen an. Die geplante Sohle der Laucha liegt hier geländenah. Die geplanten Böschungen der neuen Laucha werden auch in diesem Bereich durch Grundwasser beeinflusst.

Die eigenen Bohrungen BK 54 und BK 55 liegen im Bereich des geplanten Absperrbauwerkes im alten Laucha-Bett. Der Standort ist ebenfalls der Tallage zuzuordnen. Hier stehen oberflächennah holozäne auf tertiären Ablagerungen an. Im Liegenden wurde Sandstein aufgeschlossen, welcher artesisches Grundwasser führt. Die Baugrundverhältnisse im Bereich des Absperrbauwerkes wurden in einem gesonderten Bericht, welcher bauwerksbezogen in Hinblick auf das geplante Absperrbauwerk erstellt wurde, bereits ausführlich beschrieben. Auf diesen Bericht wird verwiesen. Die weitere Bewertung dieser Bohrungen erfolgt nur in Hinblick auf die hydrogeologische Situation.

Die eigene Bohrung BK 56 liegt im alten Laucha-Canyon. Hier stehen unterhalb der Ablagerungen der Deponie Hochhalde Schkopau ebenfalls Reste holozäner Aueablagerungen auf Talsanden an, welche von tertiären Ablagerungen unterlagert werden. Grundwasser wurde in den Talsanden angetroffen. Die Ruhewasserstände liegen im Bereich der Ablagerungen der Deponie und somit deutlich über dem Talgrund der alten Laucha. Die weitere Bewertung dieser Bohrung erfolgt nur in Hinblick auf die hydrogeologische Situation.

10. Hydrogeologische Bewertung

10.1 Bemessungswasserstände

Angaben zu Bemessungswasserständen für den Ist-Zustand sind für den Bereich der geplanten Flusstrasse in [U1] nicht enthalten. Auf der Grundlage der aus den eigenen Erkundungen vorliegenden Ergebnisse kann keine gesicherte Prognose von Bemessungswasserständen erfolgen, da hier nur eine Stichtagsmessung vorliegt. Eine derartige Datenbasis ist bei den gegebenen hydrogeologischen Bedingungen nicht ausreichend. Es wird empfohlen, die neu hergestellten GWM in ein Grundwassermonitoring einzubeziehen. Nach Vorliegen einer ausreichenden Datenbasis kann eine Prognose von Bemessungswasserständen erfolgen.

Vorerst werden für den Bereich der neu hergestellten GWM unter Berücksichtigung eines möglichen Schwankungsbereiches zwischen derzeitigen und maximalen Grundwasserständen von $\approx 0,50$ m folgende mögliche Bemessungswasserstände empfohlen:

Aufschluss	Lage	GOK	Ruhewasserstand		Bemessungswasserstand	
			m uGOK	mNHN	m uGOK	mNHN
BK 47	0+650	98,09	0,63	97,46	0,13	97,96
BK 48	0+650	98,06	0,85	97,21		
BK 49	1+340	97,12	2,31	94,81	1,62	95,31
BK 50	1+340	96,93	2,12	94,81		
BK 51	1+570	96,71	2,36	94,35	1,86	94,88
BK 52	1+570	96,86	2,48	94,38		
BK 57	0+250	93,37	2,83	90,54	2,33	91,04
BK 58	0+250	92,56	0,32	92,24	0,00	92,56

Tabelle 33: Vorläufige Bemessungswasserstände

Diese Angaben sind planungsbegleitend durch Auswertungen des vorgeschlagenen Grundwassermonitorings zu überprüfen.

10.2 Grundwasserzufluss zur Trasse

In [U1] wurden auf der Grundlage von einfachen Überschlagsrechnungen die der Trasse der neuen Laucha zufließende Grundwassermenge abgeschätzt. Über die Beziehung

$$Q = k_f * A * i$$

mit Q = Abflussmenge [m³/s]
 k_f = Wasserdurchlässigkeit [m/s]
 A = durchströmte Querschnittsfläche [m²]
 i = hydraulischer Gradient

und $i = \frac{h}{l}$

mit h = Höhe der Wasserspiegeldifferenz auf der betrachteten Länge l
 l = Länge des betrachteten Fließweges

Die durchströmte Querschnittsfläche wurde in [U1] in Abhängigkeit vom Wasserstand zu $A = 9.400$ bis 16.300 m^2 bestimmt. Der hydraulische Gradient wird zu $i = 0,012$ ermittelt. Nachrechnungen mit diesen Angaben ergeben folgende zufließenden Grundwassermengen:

Durchlässigkeit	Fläche	Gradient	zufließende Grundwassermenge, einseitig		Abflussmenge, gesamt
[m/s]	[m²]	[-]	[m³/s]	[m³/h]	[m³/h]
$2 \cdot 10^{-6}$	9400	0,012	0,00023	0,81	1,62
$2 \cdot 10^{-6}$	10600	0,012	0,00025	0,92	1,83
$2 \cdot 10^{-6}$	16300	0,012	0,00039	1,41	2,82

Tabelle 34: Zufließenden Grundwassermenge mit Angaben aus [U1]

Die Angaben aus [U1] werden somit prinzipiell bestätigt.

Im Zuge der eigenen Baugrunderkundungen wurden Pumpversuche ausgeführt, welche abweichende Wasserdurchlässigkeiten ergaben. Mit diesen ergeben sich folgende überschlägige zufließende Grundwassermengen:

Durchlässigkeit	Fläche	Gradient	zufließende Grundwassermenge, einseitig		Abflussmenge, gesamt
[m/s]	[m²]	[-]	[m³/s]	[m³/h]	[m³/h]
$4 \cdot 10^{-5}$	9400	0,012	0,00451	16,24	32,49
$4 \cdot 10^{-5}$	10600	0,012	0,00509	18,32	36,63
$4 \cdot 10^{-5}$	16300	0,012	0,00782	28,17	56,33
$1 \cdot 10^{-4}$	9400	0,012	0,01128	40,61	81,22
$1 \cdot 10^{-4}$	10600	0,012	0,01272	45,79	91,58
$1 \cdot 10^{-4}$	16300	0,012	0,01956	70,42	140,83

Tabelle 35: Zufließende Grundwassermenge mit Wasserdurchlässigkeiten aus Pumpversuchen

Es ergeben sich somit deutlich höhere Zuflussmengen. Es wird darauf verwiesen, dass eine genaue Ermittlung der Zuflussmengen nur mit numerischen Modellen erfolgen kann. Diese Modellierungen werden derzeit durch die IHU GmbH, Nordhausen, ausgeführt. Hierzu sind die im vorliegenden Bericht mitgeteilten Wasserdurchlässigkeiten anzusetzen. Die durch die GGU mbH ermittelten Abflussmengen können nur einen groben Anhalt zur zu erwartenden Größenordnung liefern.

11. Geotechnische Bewertung

11.1 Geplantes Böschungssystem

Die neue Laucha verläuft nahezu über den gesamten Ausbaubereich im Einschnitt. Die maximale Einschnittstiefe liegt im Bereich der Hochlage bei ≈ 12 m und somit bis zu 10 m unter Grundwasser. Maßgebend für die Funktion des Bauwerkes sind somit die standsichere Herstellung der Einschnittsböschungen und deren Entwässerung im Bauzustand sowie im Endzustand.

Die Einschnittsböschungen sollen gemäß vorliegenden Planunterlagen wie folgt ausgeführt werden:

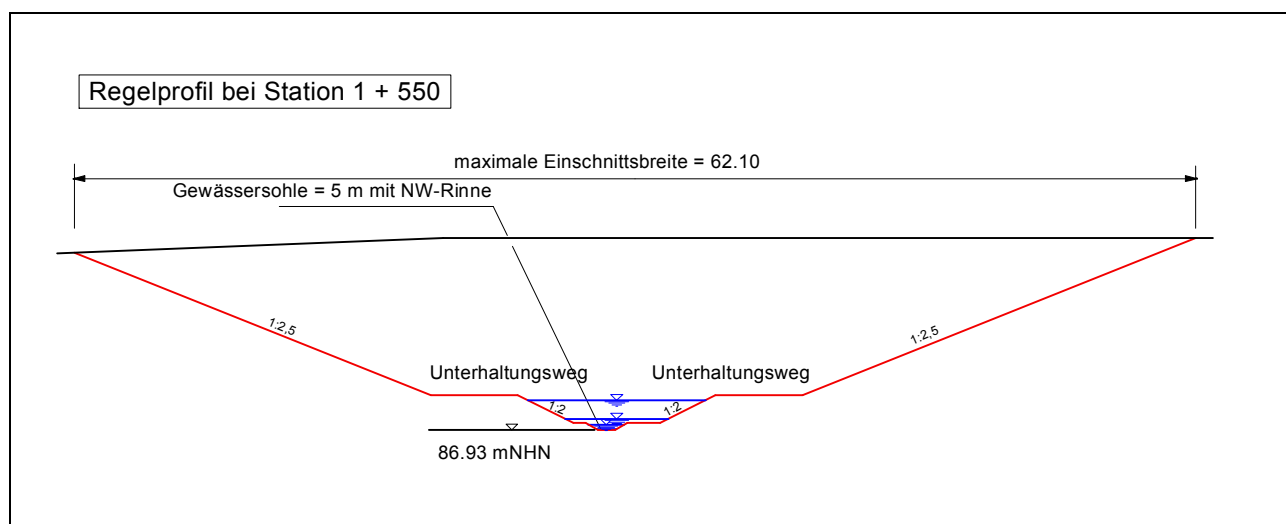


Abb. 1: Geplante Geometrie des Einschnittes

Demnach sollen die Einschnittsböschungen von der Geländeoberkante bis zu den beidseitig geplanten Unterhaltungswegen mit Böschungsneigungen von 1:2,5 gesichert werden. Die Unterhaltungswege sollen mit einer Breite von $b = 4$ m ausgeführt werden. Nachfolgend wird das eigentliche Gewässerbett mit Böschungsneigungen von 1:2 hergestellt. Die Gewässersohle wird mit einer Breite von $b = 5$ m sowie eine Niedrigwasser-Rinne mit einer Breite von $b = 1$ m geplant.

Dieses Böschungssystem ist für den Bau- sowie den Endzustand gegen Wasserzutritt zu sichern. Da die geplante Sohle bis zu 10 m unter dem derzeitigen Grundwasserspiegel liegt, sind hierzu umfangreiche Maßnahmen zur Wasserhaltung vorzusehen. Hierzu werden nachfolgend Hinweise erarbeitet.

Das Böschungssystem ist weiterhin sowohl im Bauzustand als auch im Endzustand ausreichend standsicher auszubilden. Auch hierzu werden im Weiteren Hinweise erarbeitet.

11.2 Einschnittsentwässerung im Bauzustand

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Pumpversuche (siehe Abschnitte 5.1 bis 5.6) wurden für die im Einschnittsbereich anstehenden maßgebenden gewachsenen Böden folgende Wasserdurchlässigkeiten festgelegt:

Schicht	Bezeichnung	Wasserdurchlässigkeit [m/s]
Schicht 2d	Talsande	$10^{-5} - 10^{-6}$
Schicht 3a	Geschiebelehm/-mergel	$10^{-8} - 10^{-9}$
Schicht 3b	Sand, Kiessand	$10^{-3} - 10^{-4}$
Schicht 4b	Tertiärsand	$10^{-5} - 10^{-7}$
Schicht 4d	Tertiärtone	$< 10^{-9}$
Schicht 5a	grobkörniger Felszersatz	$10^{-4} - 10^{-6}$
Schicht 5b	feinkörniger Felszersatz	$10^{-5} - 10^{-8}$
Schicht 5c	verwitterter Fels (Sandstein)	$10^{-4} - 10^{-6}$

Tabelle 36: Maßgebende Wasserdurchlässigkeiten

Damit liegen in den Einschnittsbereichen Wasserdurchlässigkeiten vor, welche geschlossene Anlagen zur Wasserhaltung erfordern. Aus geotechnischer Sicht können folgende Verfahren vorgesehen werden:

- Entwässerung über Längsdränagen
- Entwässerung über Tiefbrunnen

Entwässerung über Längsdränagen

Längsdränagen können von der Geländeoberkante eingefräst werden. Erfahrungsgemäß sind hierbei in Lockergesteinen Frästiefen von 5 bis 8 m zu realisieren. Die Anlagen sind somit gestaffelt vorzusehen. Es müssen zunächst Längsdränagen außerhalb des geplanten Einschnittes eingefräst werden. Nachfolgend kann in der Aushub in einem ersten Schnitt erfolgen. Von dieser Aushubsohle kann die zweite Staffel eingefräst werden. Im Weiteren kann der Aushub bis zur geplanten Sohle erfolgen.

Die Längsdränagen haben den Vorteil, dass diese sehr variabel den inhomogenen Baugrundverhältnissen angepasst werden können. Zudem können die Absenkungen flach gehalten und somit die Fördermengen minimiert werden. Die Beeinflussung der Umgebung durch die Grundwasserabsenkung wird somit ebenfalls minimiert. Gegebenenfalls können die Längsdränagen auch zur Entwässerung des Böschungssystems im Endzustand genutzt werden. Bei entsprechender Geometrie kann mit den Längsdränagen die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch sowie Auftrieb in der Sohle der Laucha beeinflusst werden.

Als nachteilig ist das lokal anstehende kompakte Festgestein zu bewerten, welches die Fräsbarkeit einschränkt.

Im Zuge der weiteren Projektbearbeitung sind entsprechende Fachplanungen zur Wasserhaltung erforderlich.

Entwässerung über Tiefbrunnen

Bei einer bauzeitlichen Entwässerung des Einschnittes über Tiefbrunnen sind umfangreiche Brunnenbauarbeiten erforderlich. Aufgrund der bei Tiefbrunnen gegebenen punktuellen Wasserfassung und der erforderlichen großen Absenkung sind große Brunnentiefen erforderlich, aus welchen große Absenktrichter und somit hohe Fördermengen resultieren werden. Die Beeinflussung der Umgebung durch die Grundwasserabsenkung ist deutlich höher als bei einer Absenkung über Längsdränagen.

Auf die inhomogenen Baugrundverhältnisse kann im Zuge des Aushubs reagiert werden, indem ggfs. zusätzliche Brunnen installiert werden. Dieses bedeutet u.U. eine Beeinflussung der Erdarbeiten. Bei Erfordernis können die Tiefbrunnen auch durch fachgerecht betriebene offene Wasserhaltungen ergänzt werden. Die Tiefbrunnen können nicht zur Entwässerung des Einschnitts im Endzustand genutzt werden.

Als Vorteil der Tiefbrunnen sind die Möglichkeit der Grundwasserentspannung und damit die Sicherung der Einschnittssohle gegen Auftrieb bzw. hydraulischen Grundbruch zu werten.

Im Zuge der weiteren Projektbearbeitung sind entsprechende Fachplanungen zur Festlegung von Brunnenanzahlen und Brunnengeometrie erforderlich.

11.3 Einschnittsentwässerung im Endzustand

Zur Einschnittsentwässerung im Endzustand sollen die Böschungen oberhalb der Unterhaltungswege mit einer 80 cm starken Dränageschicht, beidseitig geschützt durch geotextile Filter, sowie einer Oberbodenandeckung gesichert werden. Dieses Entwässerungssystem wird bis zum Erreichen einer stationären Absenkung durch die neue Laucha Wasser führen.

Die Böschungen oberhalb der Unterhaltungswege sollen mit einer Neigung von 1:2,5 ausgeführt werden. Erfahrungsgemäß ist bei derartigen Böschungsneigungen der Nachweis der Gleitsicherheit in den Fugen des Entwässerungssystems, insbesondere bei den auftretenden Strömungskräften, problematisch. Gleiches gilt für den Nachweis der Filterstabilität zwischen dem inhomogenen Untergrund und dem geplanten geotextilem Filter.

Im Zuge der weiteren Planungen werden hierzu Materialrecherchen und entsprechende laborative Ermittlungen von Reibungsparametern zwischen möglichen mineralischen und polymeren Baustoffen empfohlen. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Recherchen sind Nachweise der Stand- bzw. Gleitsicherheit zu führen.

Im Zuge der weiteren Planungen sollte die bei den zur bauzeitlichen Entwässerung einsetzbaren Längsdränagen ggfs. mögliche Kombination der Entwässerung im Bau- und im Endzustand detaillierter untersucht werden.

11.4 Standsicherheit des Böschungssystems

Nach den in [U1] enthaltenen Baugrundschnitten stehen im Bereich der tiefen Einschnitte in der Regel Böden der Schichten 5a/b/c (Festgesteinszersatz bzw. verwitterter Fels) an. Lediglich im Bereich zwischen Station 0+100 und Station 0+400 werden in den Böschungen über größere Bereiche auch Talsande angeschnitten. Nachfolgend werden beispielhaft Nachweise der globalen Standsicherheit für zwei Querprofile bei Station 0+250 (etwa Lage der Brücke Knapendorf) sowie bei Station 1+350 (Bereich mit einer Einschnittstiefe von ≈ 12 m) ausgeführt. Nachweise der lokalen Standsicherheit bzw. der Gleitsicherheit des möglichen Entwässerungssystems auf den Böschungen sind planungsbegleitend zu erstellen.

Das Modell der Berechnungen für den Querschnitt bei Station 0+250 wurde [U4] entnommen und derart angepasst, dass keine Einwirkungen aus dem hier geplanten Brückenbauwerk angesetzt wurden. Diese Situation wurde in [U4] nachgewiesen und entsprechende Sondermaßnahmen zur Böschungsstabilisierung vorgeschlagen. Die angepassten Berechnungen für die Station 0+250 sind in der Anlage 8.1 beigelegt. Demnach wird für den Endzustand ein Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,82$ und somit ausreichende Sicherheit nachgewiesen.

Das Modell der Berechnungen für den Querschnitt bei Station 1+350 wurde auf der Grundlage der hier vorliegenden eigenen Baugrundbohrungen BK 49 erstellt. Hierzu wurde die Geometrie eines Regelprofils der hier geplanten Lage der Sohle der neuen Laucha bei etwa 87,00 mNHN angepasst. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in der Anlage 8.2 beigelegt. Demnach wird für den Endzustand ein Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,62$ und somit ausreichende Sicherheit nachgewiesen.

Die Ergebnisse der Berechnungen belegen, dass somit grundsätzlich ausreichend standsichere Böschungen hergestellt werden können. Die Berechnungen sind im Zuge der Ausführungsplanung zu ergänzen.

11.5 Sicherheit der Sohle

Aufgrund der gespannten Grundwasserverhältnisse sind für die Sohle der neuen Laucha Nachweise gegen Auftrieb bzw. hydraulischen Grundbruch erforderlich. Diese wurden für die im Abschnitt 11.4 betrachteten Querschnitte bei Station 0+250 und Station 1+350 aufgestellt.

Im Querschnitt bei Station 0+250 wurde in der Bohrung BK 58 unterhalb der geplanten Sohle der neuen Laucha gespanntes Grundwasser mit einer Druckhöhe etwa bei GOK angetroffen. Diese Verhältnisse können somit in ein gesichertes Modell übertragen werden. Die Ergebnisse für den Querschnitt 0+250 liegen in den Anlage 8.3 bei. Demnach wurden folgende Ausnutzungsgrade ermittelt:

- Auftriebssicherheit: $\mu = 0,86$
- hydraulischer Grundbruch: $\mu = 1,02$

Demnach kann im Querschnitt bei Station 0+250 die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nicht nachgewiesen werden.

Im Querschnitt bei Station 1+350 wurde in der Bohrung BK 49 oberhalb der geplanten Sohle der neuen Laucha Grundwasser mit einer Druckhöhe von etwa 1,60 m uGOK angetroffen. Unterhalb der geplanten Sohle der neuen Laucha steht Tonstein sowie im Liegenden Sandstein an.

In beiden Formationen wurde kein Grundwasser angetroffen; dieses ist jedoch nicht auszuschließen. Steht in den genannten Formationen Grundwasser an, ist davon auszugehen, dass dieses ebenfalls gespannt sein wird. Es sind somit Annahmen zu möglichen Grundwasseranschnitten unterhalb der geplanten Sohle der neuen Laucha sowie zu dessen Druckhöhe zu treffen. Im Modell werden folgende Annahmen berücksichtigt:

- Modell 1+350 - a:
Grundwasseranschnitt bei UK Tonstein, Druckhöhe 1 m uGOK
- Modell 1+350 - b:
Grundwasseranschnitt bei 15,00 m uGOK, Druckhöhe 1 m uGOK

Die Ergebnisse für diese Modelle liegen in den Anlage 8.4 bei. Demnach wurden für das Modell 1+350 - a folgende Ausnutzungsgrade ermittelt:

- Auftriebssicherheit: $\mu = 4,19$
- hydraulischer Grundbruch: $\mu = 11,58$

Für das Modell 1+350 - b werden folgende Ausnutzungsgrade bestimmt:

- Auftriebssicherheit: $\mu = 1,60$
- hydraulischer Grundbruch: $\mu = 3,48$

Demnach kann im Querschnitt bei Station 1+350 für beide Modelle die Auftriebssicherheit sowie die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nicht nachgewiesen werden.

Somit sind für beide Querschnitte und damit ggfs. für den gesamten Einschnittsbereich Maßnahmen zur Gewährleistung ausreichender Sicherheiten gegen Auftrieb und hydraulischen Grundbruch zu planen. Die hierzu in [U1] vorgeschlagenen Sicker- bzw. Filterschichten auf den Böschungen sowie der Sohle sind hierzu jedoch nicht geeignet, da diese die maßgebenden Druckverhältnisse an der Unterkante der zu betrachtenden Systeme nicht beeinflussen.

Aus geotechnischer Sicht wird eine Entspannung des Grundwasserleiters GWL-2 unterhalb der Sohle erforderlich. Möglich ist eine punktuelle Entspannung über Brunnen oder eine linienhafte Entspannung über Längsdränagen. Beide Möglichkeiten können mit der bauzeitlichen Wasserhaltung kombiniert werden. Sie sind im Zuge der

Grundwassermodellierung zu konzeptionieren und zu bemessen. Im Zuge dieser Modellierungen sind die sich über die Potentialentspannung ergebenden Grundwasserzuflüsse zu ermitteln. Die Bereiche, in denen eine Potentialentspannung erforderlich wird, sind über ergänzende grundbautechnische Nachweise abzugrenzen. Diese Berechnungen sind nach Überprüfung der getroffenen Annahmen im Zuge der Objektplanung aufzustellen.

11.6 Aushub als Baustoff

Im Zuge der Baumaßnahme fällt Boden als Aushub an. Im Wesentlichen wird in den tiefen Einschnitten in der Hochlage Festgesteinsersatz der Schichten 5a/b sowie verwitterter Fels (Sandstein) der Schicht 5c als Aushub anfallen.

Dieser Aushub kann bei entsprechender bodenmechanischer Eignung als Baustoff verwendet werden. Dem derzeitigen Kenntnisstand zufolge werden z.B. zur Errichtung des Teilobjektes Absperrbauwerk gemischt- bzw. feinkörnige Böden zur Dammschüttung benötigt. Hierzu kann anfallender Festgesteinsersatz (Schicht 5b) verwendet werden. Zur Abschätzung der bodenmechanischen Eignung wurden die in Abschnitt 5.3 beschriebenen Laboruntersuchungen ausgeführt.

Demnach ist der Aushub aus der Schicht 5b im Bereich der Bohrungen BK 49 und BK 50 (und somit nahe des geplanten Absperrbauwerkes) als ausgeprägt plastischer Ton (Bodengruppe TA) zu klassifizieren. Die Konsistenz wurde im Labor zu $I_c = 0,9$ bis $1,0$ und somit als steif bis halbfest bestimmt.

Zur Abschätzung einer möglichen Verwendung des feinkörnigen Festgesteinsersatz als Baustoff (z.B. für die Erstellung des Absperrbauwerkes) wurden mit beiden Proben Proctorversuche durchgeführt. Hierbei wurde folgendes festgestellt:

Bohrung	Tiefe [m uGOK]	Proctordichte ρ_{Pr} [g/cm ³]	optimaler Wassergehalte w_{Pr} [%]	natürlicher Wassergehalt w_n [%]
BK 50	2,00 - 5,00	1,561	22,4	25,5
BK 50	5,75 - 6,00	1,617	19,6	23,3

Tabelle 37: Laborergebnisse feinkörniger Festgesteinszersatz (Schicht 5b)

Demnach liegen die natürlichen Wassergehalte auf der nassen Seite der Proctorkurve. Sie lassen eine Verdichtung auf Verdichtungsgrade von $D_{PR} \approx 97$ bis 98 % zu.

Bei einer möglichen Verwendung als Baustoff sind neben der Verdichtbarkeit die Scherparameter wesentlich. Hierzu wurde an der ungestörten Probe BK 50, 5,75 - 6,00 m ein Scherversuch ausgeführt. Demnach wurde für den Bruchzustand ein Reibungswinkel von $\varphi = 18,0^\circ$ bei einer Kohäsion von $c = 37,2$ kN/m² bestimmt. Ergänzend wurde an der Probe BK 50, 5,75 - 6,00 m die Wasserdurchlässigkeit bestimmt. Demnach wurde eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 9,5 \cdot 10^{-12}$ m/s bestimmt.

Somit kann festgestellt werden, dass Aushub aus dem feinkörnigen Festgesteinszersatz (Schicht 5b) zur Errichtung eines Absperrbauwerkes in Form eines homogenen Dammkörpers geeignet ist.

Die Eignung der weiteren Aushubmassen ist projektbezogen zu prüfen. Für die Erdbaumaßnahme wird ein detailliertes Bodenmanagement empfohlen.

11.7 Wegebau

Parallel zur neuen Laucha sollen Unterhaltungswege neu errichtet werden. Diese werden wie folgt angeordnet:

- Bereich 1: Ausbau der alten Laucha bis zur Station 0+000
(Bereich der Baugrundaufschlüsse RKS 1 bis RKS 28 aus [U1])
Unterhaltungsweg nördlich der neuen Laucha,
Gradiente in Höhe Urgelände oder geringfügig höher
- Bereich 2: geplante Trasse der neuen Laucha, Station 0+000 bis 2+200
(Bereich der Baugrundaufschlüsse BK 1 bis BK 42 aus [U1])
Unterhaltungswege beidseitig der neuen Laucha auf Bermen im
Böschungssystem,
Gradiente liegt im Einschnitt in den anstehenden Böden

Angaben zum geplanten Oberbau liegen derzeit nicht vor. Prinzipiell kann eine Bemessung des Oberbaus gemäß

- den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 01 oder
- den Richtlinien für den ländlichen Wegebau RLW

erfolgen. Aus geotechnischer Sicht ist die Anwendung der RLW möglich, welche empfohlen wird.

Planumtragfähigkeit im Bereich 1

Bei einer Bemessung gemäß RLW ist im Planum eine Mindesttragfähigkeit von $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen. Nach [U1], Anlage 8.1 stehen im Bereich 1 im potentiellen Planum in der Regel Auffüllungen (Schicht 1c) und Mutterboden (Schicht 2a) an, welche von Aueablagerungen (Schicht 2c) unterlagert werden.

Angaben zur zu erwartenden Untergrundtragfähigkeit liegen aus [U1] vor. Demnach ist im Bereich 1 davon auszugehen, dass bei geländegleicher Gradienten eine nach RLW ausreichende Planumtragfähigkeit von $E_{v2} = 30 \text{ MN/m}^2$ nicht erreicht wird. Gleiches gilt entsprechend für die Mindestanforderung an die Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$, welche gemäß RStO 01 zu erfüllen ist.

Es sind deshalb Maßnahmen zur Verbesserung der Tragfähigkeit notwendig. Aus geotechnischer Sicht sind folgende Varianten möglich:

- Bodenverbesserung/-verfestigung durch Zugabe geeigneter Baustoffe oder hydraulischer Bindemitteln (erfordert Eignungsuntersuchungen zur Bestimmung des Bindemittelgehaltes) oder
- Einarbeiten von Grobschlag ($\geq 20 \text{ cm}$) in den weichen Untergrund in Verbindung mit Geokunststoffen und Bodenaustausch ($\geq 30 \text{ cm}$)

Beide Varianten sind im Ergebnis aus Sicht der GGU als gleichwertig anzusehen. Da die Ausführung der Variante Bodenverbesserung ergänzende Untersuchungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit erfordern, sollte in der Planung die Variante Grobschlag/Bodenaustausch umgesetzt werden.

Von den in [U1] weiterhin genannten Varianten:

- Ausführung der Erdarbeiten in niederschlagsarmen Zeiten, Schutz des Planums/Untergrundes vor Niederschlägen, unverzügliches Überbauen freigelegter Planumsabschnitte im Vor-Kopf-Einbau
- fachgerechtes Nachverdichten des Untergrundes (stark feuchte/vernässte Böden nur statisch verdichten oder durch Überschüttung konsolidieren, erdfeuchte Böden sind dosiert dynamisch zu verdichten, für feinkörnige Böden sind Schafffuß-Walzen geeignet)

- Anhebung der Gradiente und Nutzung der Auffüllungen (1c) als Unterbau (Nachteil sind stark wechselnde Verhältnisse durch Inhomogenität und generell auszutauschenden Oberboden)

wird aus fachtechnischer Sicht abgeraten, da hiermit unter den gegebenen Verhältnissen keine ausreichenden Planumstragfähigkeiten gesichert erreichbar sind.

Es wird darauf verwiesen, dass die im Bereich 1 anstehenden potentiellen Planumsböden aufgrund der vorhandenen Feinkornanteile hochgradig wasserempfindlich sind. Diese können bei starker Wasserzufuhr in ihrer Verdichtungsfähigkeit sowie den erreichbaren Tragfähigkeiten negativ beeinflusst werden. Das Planum sollte somit während und nach der Baumaßnahme durch geeignete Maßnahmen (kurze Bauabschnitte, ggfs. Abdecken, Querneigung etc.) vor Feuchtigkeit geschützt werden. Zur Herstellung des Planums wird der Einsatz einer glatten Baggerschaufel empfohlen. Das Befahren des ungeschützten Planums mit gummibereiften Fahrzeugen ist zu vermeiden.

Planumstragfähigkeit im Bereich 2

Im Bereich 2 liegt das Planum auf den Bermen des Böschungssystems. Detaillierte Angaben zum Böschungssystem liegen derzeit nicht vor. Es ist jedoch vorgesehen, dass die Böschungen oberhalb der Unterhaltungswege mit einer 80 cm starken Dränageschicht, beidseitig geschützt durch geotextile Filter, sowie einer Oberbodenandeckung gesichert werden. Im Bereich der Bermen kann auf die Oberbodenabdeckung verzichtet werden. Das Planum liegt in diesem Fall auf der Dränageschicht.

In Abhängigkeit von der Materialgüte der Dränageschicht können auf dieser die Mindestanforderungen an die Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ (nach RLW) bzw. $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ (nach RStO 01) erfüllt werden. Hierzu ist die Dränageschicht im Bermenbereich aus einem ausreichend durchlässigen Brechkornmaterial herzustellen. Bei Einsatz eines Rundkorngemisches muss davon ausgegangen werden, dass die Mindestanforderungen an die Tragfähigkeit nicht erfüllt wird.

Es wird darauf verwiesen, dass auch im Bereich 2 die potentiellen Planumsböden bzw. die unterhalb der Dränageschicht anstehenden Böden aufgrund der vorhandenen Feinkornanteile wasserempfindlich sind. Die für den Bereich 1 erarbeiteten Hinweise zum Schutz des Planums sind bei der Herstellung der Dränageschicht sinngemäß zu berücksichtigen.

Oberbau nach RLW

Maßgebend für die Bemessung des Oberbaus nach der RLW sind die Untergrundtragfähigkeit sowie die zu erwartenden Beanspruchung des Oberbaus. Die Mindestanforderung an die Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ können entsprechend der erarbeiteten Hinweise erfüllt werden. Die Bemessung des Oberbaus nach RLW kann sodann unter Berücksichtigung der Beanspruchung durch den Fachplaner erfolgen.

Oberbau nach RStO

Die in beiden Bereichen anstehenden potentiellen Planumsböden sind in der Regel aufgrund ihrer Kornzusammensetzung als stark frostempfindlich anzusehen und werden gemäß ZTVE-StB 09 der Frostempfindlichkeitsklasse F3 zugeordnet. Somit sind aus Gründen der Frostsicherheit Frostschutzschichten vorzusehen, welche vom Fachplaner gemäß RStO zu bemessen sind. Hierbei sind in beiden Bereichen ungünstige Wasserverhältnisse anzusetzen.

12. Vorschläge für weitere Untersuchungen

Im Zuge der Projektbearbeitung wurden Berechnungen zum Nachweis der Sicherheit der Sohle der neuen Laucha gegen Auftrieb und hydraulischen Grundbruch aufgestellt. Hierzu wurden Annahmen hinsichtlich der Lage und der Druckhöhe des hierfür maßgebenden GWL 2 getroffen. Diese Annahmen sind zu überprüfen. Hierzu sind ggfs. ergänzende Baugrunderkundungen erforderlich.

Vor der Ausführung der Erdarbeiten zur Herstellung des Einschnittes der neuen Laucha müssen vorhandene Versorgungsleitungen bis zu 3 m unter das geplante Bett der Laucha verlegt werden. Bei Einschnittstiefen von bis zu 11,5 m sind hierzu Erdarbeiten bis $\approx 14,5$ m erforderlich. Zur Planung dieser Erdarbeiten sind die vorliegenden Angaben zu den Baugrundverhältnissen nicht ausreichend, sodass in Abstimmung mit den zuständigen Versorgungsträgern ggfs. ergänzend erkundet werden muss. Im Zuge dieser ergänzenden Baugrunduntersuchungen sind folgende Fragestellungen zu klären:

- Lösbarkeit des tieferen Baugrundes
- Konzeptionierung der Baugrubensicherung
- Konzeptionierung der bauzeitlichen Wasserhaltung
- Erkundung des Grundwasserleiters GWL 2 im Leitungsbereich und Konzeptionierung von Maßnahmen zur Auftriebssicherung der Leitungen

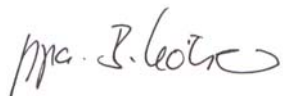
Für Vorplanungen der erforderlichen Umverlegungen können die Angaben aus dem vorliegenden Baugrundgutachten verwendet werden. Hinsichtlich der Auftriebssicherung der Leitungen ist zunächst davon auszugehen, dass hier massive Konstruktionen (Betonumhüllungen, ggfs. in Verbindung mit einer Rückverankerung über Zugpfähle) erforderlich werden. Diese Maßnahmen sind jedoch abhängig von den bisher nicht vorliegenden Angaben zum Grundwasserleiter GWL 2.

Es wird empfohlen, die ggfs. erforderlichen Erkundungen des Grundwasserleiters GWL 2 mit den Erkundungen im Leitungsbereich zu kombinieren.

Zur Sicherung der Einschnittsböschungen ist eine Dränageschicht, beidseitig geschützt durch geotextile Filter, mit einer Oberbodenandeckung vorgesehen. Die Böschungen werden mit Neigungen von 1:2,5 (oberhalb der Unterhaltungswege) bis 1:3 (unterhalb der Unterhaltungswege) ausgeführt. Erfahrungsgemäß ist bei Böschungsneigungen von steiler 1:3 der Nachweis der Gleitsicherheit in den Fugen des Entwässerungssystems, insbesondere bei den auftretenden Strömungskräften, problematisch. Gleiches gilt für den Nachweis der Filterstabilität zwischen dem inhomogenen Untergrund und dem geplanten geotextilen Filter. Im Zuge der weiteren Planungen werden hierzu Materialrecherchen und entsprechende laborative Ermittlungen von Reibungsparametern zwischen möglichen mineralischen und polymeren Baustoffen empfohlen. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Recherchen sind Nachweise der Stand- bzw. Gleitsicherheit zu führen.

Für den Wegebau sind zur Erreichung ausreichender Planumstragfähigkeiten Maßnahmen zur Untergrundverbesserung erforderlich. Für die hierzu mögliche Bodenverbesserung mit Bindemitteln sind entsprechende Eignungsuntersuchungen erforderlich. Sollen Bodenverbesserungen ausgeführt werden, sind diese Eignungsuntersuchungen vorab auszuführen.

Aufgrund der Komplexität der Gesamtbaumaßnahmen sind planungsbegleitend ergänzende Abstimmungen zwischen den Beteiligten erforderlich. Die Einbeziehung des Baugrundgutachters wird empfohlen.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B. Kröber', is positioned above the printed name.

(Dipl.-Ing. B. Kröber)