

GEOTECHNISCHER BERICHT

über die Baugrundverhältnisse für das

Bauvorhaben: Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der
Hochhalde Schkopau gem. § 36 KrW-/AbfG
Flusstrasse (1. Revision)

Auftrag-Nr.: kl - 042/02/09

gültig als: Hauptgutachten (Hauptuntersuchung gem. DIN 4020)

Auftraggeber: MDSE - Mitteldeutsche Sanierungs- und
Entsorgungsgesellschaft mbH
Alustraße 1

06749 Bitterfeld-Wolfen

Halle/S., 22.06.2010



Marco Neumann

Anmerkung: Der Bericht umfasst die Seiten 1 bis 67 und die auf Seite 8 aufgeführten Anlagen und besteht aus 2 Mappen.

e-mail: info@baugrundbuero-klein.de
Internet: www.baugrundbuero-klein.de

Steuernummer: 110/239/04030

Stadt- und Saalkreis Sparkasse Halle · BLZ 800 537 62 · Kto 387 085 885

Hummelweg 3
06120 Halle/Dölau

Telefon: 0345 - 532 36 90
Telefax: 0345 - 532 36 92
Funktel.: 0177 - 219 38 02

Inhaltsverzeichnis	Seite
Titelblatt	1
Inhaltsverzeichnis	2
Unterlagen	4
Anlagenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
0. Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen	10
1. Bauvorhaben	13
2. Baugrund	15
2.1 Morphologie, Bebauung und Bewuchs	15
2.2 Geologie	16
2.3 Hydrogeologie/Hydrologie.....	17
2.4 Besonderheiten	19
3. Untersuchungen	20
3.1 Lage, Art und Umfang der Bodenaufschlüsse und Felduntersuchungen	20
3.2 Laboruntersuchungen	23
4. Ergebnisse der Untersuchungen.....	26
4.1 Schichtenverlauf und -verbreitung	26
4.2 Klassifizierung und Eigenschaften der Bodenschichten	30
4.3 Hydrologie und Grundwasserverhältnisse.....	35
5. Baugrundbeurteilung	38
5.1 Baugrundeinschätzung	39
5.2 Gründungsvorschlag.....	40
5.3 Charakteristische Kennwerte für erdstatische Berechnungen	40

5.4	Setzungen/Hebungen/Verkantungen	42
5.5	Maßgebliche Bemessungsparameter für den Wegebau.....	42
5.6	Dämme/Hinterfüllung	44
6.	Hydrogeologische Ergebnisse	44
6.1	Grundwasserdynamik.....	44
6.2	Grundwasserstand	46
6.3	Hydraulische Durchlässigkeit des Untergrundes	48
6.4	Berechnung der zu erwartenden Grundwassermengen zur neuen Trasse	
	der Laucha	51
6.5	Handlungsempfehlungen.....	53
7.	Bautechnische Hinweise	54
7.1	Böschungen / Baugruben.....	54
7.2	Wasserhaltung	56
7.3	Nachbarsicherung.....	57
7.4	Verlegung von Rohrleitungen	58
7.5	Bohr- und Rammbarkeit der Böden	59
8.	Umweltrelevante Untersuchungen	60
8.1	Schädliche Bodenveränderungen, Altlasten, altlastverdächtige Flächen	60
8.2	Entsorgungsweg für Aushubmaterialien	64
9.	Vorschläge für weitere Untersuchungen und Gültigkeit des Berichtes.....	65

Unterlagen

- [1] Baubeschreibung Baugrunderkundung, Projekt „Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau gem. § 36 KrW-/AbfG“, ARGE Lauchaumverlegung, 12/2008
- [2] Leistungsbeschreibung Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung, Projekt „Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau gem. § 36 KrW-/AbfG“, ARGE Lauchaumverlegung, 12/2008
- [3] Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau gem. § 36 KrW-/AbfG - Vorplanung (24.10.2008), erstellt/übergeben durch ARGE Lauchaumverlegung
- [4] Ergebnisbericht „Projekt Altdeponien, Hochhalde Schkopau - Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde - Modelltechnische Untersuchungen im Rahmen der Lauchaumverlegung (Fachgutachten)“ (03/2009), erstellt durch IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH
- [5] Übersichtslageplan (10/2008, M 1 : 5.000), erstellt/übergeben durch ARGE Lauchaumverlegung
- [6] Lageplan der deponienahen Variante mit Aufschlusspunkten der Baugrunderkundung (Blatt 1 - 6, 10/2008, M 1 : 1.000), erstellt/übergeben durch ARGE Lauchaumverlegung
- [7] Feld-Schichtenverzeichnisse und Profile der Rammkernsondierungen RKS 1 - 37, RKS 1z - 12z, der Aufgrabungen Sch 1 - Sch 3 sowie Rammsondierprotokolle/-diagramme DPL 1 - DPL 4 und DPH 5 - DPH 10/10a, erstellt durch DMT-Leipzig Zweigniederlassung der DMT GmbH & Co. KG im Zeitraum 04 - 05/2009
- [8] Schichtenverzeichnisse der Rammkernbohrungen BK 1 - BK 45, erstellt durch Lutz Grimm Geotestbohrtechnik im Zeitraum 04 - 07/2009
- [9] Prüfberichte/Protokolle der bodenmechanischen Laborversuche inkl. Ergänzungen/Hinweise zu den Laborergebnissen (17.07.2009), erstellt durch DMT-Leipzig Zweigniederlassung der DMT GmbH & Co. KG
- [10] Hydrologische Angaben 155/2009/4637 des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (28.07.2009)
- [11] Prüfbericht/Protokoll Labor-Nr.133509, erstellt durch FCB GmbH

- [12] Prüfberichte Nr. 12987/1, 13480/1, 13499/1, 13674/1, 13852 und 14112 zur Untersuchung von Grundwasserproben auf Betonaggressivität nach DIN 4030, Stahlkorrosivität nach 50 929 und Einleitqualität nach §§2, 3 und 7 WHG durch ANALYTIKUM Umweltlabor GmbH
- [13] Prüfberichte Nr. 13940, 13894, 13988, 14193 und 14551 zur Untersuchung von Bodenproben nach der Anlagengenehmigung der Hochhalde Schkopau durch ANALYTIKUM Umweltlabor GmbH
- [14] Koordinaten-Liste der abgesteckten und eingemessenen Erkundungsstellen (04 - 07/2009), erstellt durch K & S Vermessung
- [15] Mitteilungen der Tauw GmbH und FUGRO Consult GmbH zu Grundwassermessstellen-Daten am S-Rand der Hochhalde Schkopau vom 26./29.06.2009
- [16] **DIN EN 206-1** und **DIN 1045-2** (DIN-Fachbericht 100, 2005)
- [17] **DIN 1054** Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau (01/2005)
- [18] **DIN 1055-2** Lastannahmen für Bauten - Bodenkenngößen Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel (02/1976)
- [19] **DIN 4019-1** Setzungsberechnungen bei lotrechter, mittiger Belastung (04/1979)
- [20] **DIN V 4019-100** - Baugrund - Setzungsberechnungen - Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten (04/1996)
- [21] **DIN 4020** Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke (09/2003)
- [22] **DIN EN ISO 22475-1** Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenahmeverfahren und Grundwassermessungen (2006) und **DIN EN ISO 22476-2** Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Rammsondierungen (2005)
- [23] **DIN 4022** Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels (12/1997), **DIN EN ISO 14688-1** Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung (01/2003) und **DIN EN ISO 14688-2** Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen der Bodenklassifizierungen (11/2004) sowie **DIN EN ISO 14689-1** Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung (04/2004)
- [24] **DIN 4030** Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase (06/2008)
- [25] **DIN 4084** Baugrund - Geländebruchberechnungen (01/2009)

- [26] **DIN EN ISO 22475-1** Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenahmeverfahren und Grundwassermessungen (2006) und **DIN EN ISO 22476-2** Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Rammsondierungen (2005)
- [27] **DIN 4123** Gebäudesicherung im Bereich von Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen (09/2000)
- [28] **DIN 4124** Baugruben und Gräben; Böschungen, Arbeitsraumbreiten (10/2002)
- [29] **DIN 4149** Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten (04/2005)
- [30] **DIN 50 929** Korrosion der Metalle (09/1985)
- [31] **DIN 18 121, 18 122, 18 123, 18 127, 18 128, 18 129, 18 130, 18 135 und 18 137**, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben
- [32] **DIN 18 196** Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke (06/2006)
- [33] **DIN 18 300** Erdarbeiten (10/2006)
- [34] **DIN 18 301** Bohrarbeiten (10/2006)
- [35] **LAGA M 20** - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden der LAGA vom 05.11.2004)
- [36] **ZTVE-StB 09** - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
- [37] **RStO 01** - Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, 2001
- [38] **RLW** - Richtlinien für den ländlichen Wegebau (2005)
- [39] **ZTV LW 99/01** - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege (2007)
- [40] **TL Gestein-StB 04** - Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (2004/2007)
- [41] Geologische Karte Halle und Umgebung (1995), M 1 : 50.000
- [42] Ingenieurgeologische Karte der DDR, Blatt M 32 - 24 Halle/S. (1963), M 1 : 100.000
- [43] Bericht zum Haldenmonitoring 2006, ÖGP Buna TM 01.03/05 (06/2007), erstellt durch FUGRO Consult GmbH
- [44] Bericht zum Haldenmonitoring 2008, ÖGP Buna TM 01.03/05 (03/2009), erstellt durch FUGRO Consult GmbH
- [45] Diskussionspapier zur Verlegung der Laucha - Variantenbetrachtung, erstellt von: C & E Consulting und Engineering GmbH im Auftrag der LAF (18.03.2004)
- [46] Anlagengenehmigung DHS (Stand 01.07.2008)

- [47] Bewertung der Prüfberichte umweltchemischer Analysen nach Anlagengenehmigung DHS durch ANALYTIKUM Umweltlabor GmbH (22.07.200)
- [48] Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt: Landesbohrdatenbank Sachsen-Anhalt. <http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/index.php?id=20870> (07/2009)
- [49] Umweltbundesamt: 12. Inventarisierung von Grundwasserschäden Ökologisches Großprojekt BUNA, 12.2 Untergrund- und Grundwasserverhältnisse. http://www.umwelt-bundesamt.de/boden-und-altlasten/altlast/web1/berichte/gw_gp/gw_gp38.htm (08/2009)
- [50] **AbwV** - Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer, Anhang 51 Oberirdische Ablagerung von Abfällen (06/2004)
- [51] Begutachtung der Standsicherheit der Außendämme bei Verwendung von Asche I 72 als Stützkörpermaterial für das Objekt Absetzanlage des Kombinat VEB Chemische Werke Buna (05/1975), erstellt durch Dr. W. Förster, Bergakademie Freiberg
- [52] Regelprofile in Höhe der Ingenieurbauwerke (M 1 : 250, 21.09.2009) und mündliche Informationen zu Laucha-Sohlhöhen an 0+000 und 2+440 sowie Ingenieurbauwerken vom 22.09.2009, mitgeteilt durch Fr. Uhlig/Hr. Hein, ARCADIS Consult GmbH
- [53] Ergebnisbericht „Projekt Altdeponien, Hochhalde Schkopau - Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde - Modelltechnische Untersuchungen im Rahmen der Lauchaumverlegung (Fachgutachten)“, (03/2009), erstellt durch IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH
- [54] Mitteilung (E-Mail) der MDSE mbH (Herr Büscher) vom 21.09.2009 mit Auskunft zu Bauwerken im Bereich der Altdeponie 1

Anlagenverzeichnis

1	Übersichtslageplan, M 1 : 10.000	1 Blatt
2	Aufschlussplan, M 1 : 2.000	5 Blatt
3	Schichtenverzeichnisse der Bohrungen mit Fotodokumentation	380 Blatt
4	Zeichnerische Darstellung der Baugrundaufschlüsse und Felduntersuchungen	
4.1	Rammkernbohrungen und Rammsondierungen, inkl. Legende	51 Blatt
4.2	Kleinrammbohrungen und Rammsondierungen	23 Blatt
4.3	Aufgrabungen	2 Blatt
5	Labor-/Felduntersuchungen Boden	
5.1	Korngrößenverteilungen (einschl. k_f -Werte)	37 Blatt
5.2	Zustandsgrenzen, Plastizitätsdiagramme	20 Blatt
5.3	Proctorversuche	5 Blatt
5.4	Kompressionsversuche	entfällt
5.5	Scherversuche	21 Blatt
5.6	Durchlässigkeitsbestimmungen	5 Blatt
5.7	Wassergehalte	6 Blatt
5.8	Glühverlust	13 Blatt
5.9	Kalkgehaltbestimmung	3 Blatt
5.10	Wasserdruckversuche	12 Blatt
5.11	Quellhebungs-/druckversuche	9 Blatt
5.12	Tabellarische Zusammenstellung bodenphysikalischer Kennwerte	1 Blatt
5.13	Ergänzungen/Hinweise zu den Laborergebnissen (DMT-Leipzig)	5 Blatt
6	Labor-/Felduntersuchungen Festgestein	entfällt
7	Chemische Analytik	
7.1	Grundwasser	
7.1.1	Betonaggressivität/Stahlkorrosivität	28 Blatt
7.1.2	Einleitqualität (nach §§ 2, 3 und 7 WHG)	11 Blatt
7.2	Boden	
7.2.1	Umweltrelevante Analysen (Anlagengenehmigung DHS)	68 Blatt
8	Baugrundschnitte	10 Blatt
9	Hydrologie	2 Blatt
10	Hydrologische Mitteilungen der Behörden	
10.1	Brunnenstandorte (nach Mitteilung der Unteren Wasserbehörde, Saalekreis)	1 Blatt
10.2	Hydrologische Angaben 155/2009/4637 des LHW	2 Blatt
10.3	Erkundete Wasserstände im Untersuchungszeitraum	3 Blatt

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
BK	Kernbohrung
BV	Bauvorhaben
DHHN 92	Deutsches Haupthöhennetz 1992
DHS	Hochhalde Schkopau
DK	Deponieklasse
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon)
DPL	Leichte Rammsondierung (dynamic probing light)
DPM	Mittelschwere Rammsondierung (dynamic probing medium)
DPH	Schwere Rammsondierung (dynamic probing heavy)
EOX	extrahierbare organisch gebundene Halogenverbindungen
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GK	geotechnische Kategorie
GOK	Geländeoberkante
GWL	Grundwasserleiter
GWM	Grundwassermessstelle
HHQ	höchster (bekannter) Ab-/Durchfluss
HS	Höhensystem
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
m ü. NHN	Meter über Normalhöhennull
m ü. NN	Meter über Normalnull
NNQ	niedrigster (bekannter) Ab-/Durchfluss
ÖGP	ökologisches Großprojekt
OK	Oberkante
PK	Preisklasse
RKS	Rammkernsondierung
Sch	Aufgrabung (Schurf)
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon)
TR	Technische Regel

0. Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen

Der vorliegende geotechnische Bericht beinhaltet die Erkundungsergebnisse der Baugrunduntersuchung für das Bauvorhaben „Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau gem. § 36 KrW-/AbfG, Flusstrasse“ unter Berücksichtigung des derzeitigen Kenntnis- und Planungsstandes. Gegenstand des Berichtes sind der ~2,4 km lange, bis 10 m tiefe und 70 m breite Laucha-Einschnitt und die neu zu errichtenden, überwiegend beidseitigen Unterhaltungswege. Die im Bauabschnitt bei 0+650 1+350 befindliche Altdeponie 1 der Hochhalde Schkopau wird vor Beginn der Baumaßnahmen abgetragen und ist ebenso wie die Ingenieurbauwerke im Verlauf der Flusstrasse kein Bestandteil des vorliegenden Berichtes.

Der Bauabschnitt befindet sich am rechten Ufer der Laucha nördlich der Merseburger Ortsteile Annemariental und Elisabethhöhe sowie Knapendorf und Bündorf als Ortsteilen der Gemeinde Schkopau. Die natürliche Geländehöhe am Standort beträgt ~87 - 100 m ü. NHN.

Im Verlauf der geplanten Flusstrasse wurden zur Erkundung der Untergrundverhältnisse insgesamt 45 Rammkernbohrungen, 37 Kleinrammbohrungen, 3 Aufgrabungen und 11 Rammsondierungen ausgeführt. 3 der Rammkernbohrungen wurden als Grundwassermessstellen (GWM) ausgebaut.

Geomorphologisch bedingt sind 2 Baugrundmodelle zu unterscheiden. In den Niederungen (Laucha, Wertsgraben) dominieren unkonsolidierte, holozäne Auensedimente (2) über untergeordnet vorkommenden tertiären Schichten (4) den Baugrund. In den Geländehochlagen und deren Flanken wurden ausschließlich geringmächtige, pleistozäne Sedimente (3) auf mächtigen, zersetzten und verwitterten Schichten des mittleren Buntsandsteins (5) erkundet.

Gemäß der hydrogeologischen Modellgliederung wurde durch die Erkundung der GWL 1 (re-zente/quartäre/tertiäre Schichten) in den Niederungen sowie der GWL 2 (Hardeggen-Folge) und 3 (Detfurth-Sandstein) in den Hochlagen aufgeschlossen. Hydraulische Verbindungen zwischen den GWL über die Buntsandstein-Verwitterungszone sind vorhanden. In den Niederungen wurde oberflächennahes, durch geringer durchlässige Deckschichten gespanntes Grundwasser festgestellt. In Verbindung mit der aktuellen Niederschlagsituation und der Wasserführung der Laucha und des Wertsgrabens sind hier Höchstwasserstände im Niveau der GOK möglich.

Im Einschnitt-Bereich liegen die Ruhewasserstände bei ~2 - 4 m unter GOK, wobei auch hier überwiegend von leicht gespanntem Grundwasser auszugehen ist, denn die mehrfachen Wasseranschnitte erfolgen in der Regel in größeren Tiefen. Sicker-/Schichtwasserzuflüsse sind saison- und niederschlagsabhängig auch hier bis in den Bereich der GOK möglich.

Das Grundwasser der untersuchten Proben aus dem Einschnitt ist als schwach bis stark betonaggressiv zu bewerten, wobei keine Differenzierung nach GWL erfolgt. Die Stahlkorrosivität des Grundwassers ist als sehr gering bis mittel zu beurteilen. Nach den hier dokumentierten Analysen des Grundwassers zur Einleitqualität nach §§ 2, 3 und 7 WHG ist eine Einleitung in Oberflächengewässer grundsätzlich möglich.

Der Einschnitt wird zu überwiegenden Teilen im Buntsandstein angelegt werden, der hierfür prinzipiell geeignet ist. Die Grundwasserführung zwischen Sohle des neuen Laucha-Bettes und ca. 2,0 m unter jeweiliger GOK erfordert spezielle Maßnahmen zur Sicherung der Böschungen gegen Erosion durch ausfließendes Grundwasser. Die Standsicherheit der Böschungen ist generell und unter Berücksichtigung vorhandener Bauwerke (DB-Strecke Merseburg - Halle-Nietleben) nachzuweisen. Im Zusammenhang mit der Wasserhaltung ist eine Gefährdung der Bauwerksstandsicherheit durch die gespannten Grundwasserverhältnisse (hydraulischer Grundbruch) der tieferen Festgesteins-GWL 2 - 4 auszuschließen.

Die Unterhaltungswege sind nach planerischen Erfordernissen gemäß RLW zu gestalten und den beiden Baugrundmodellen anzupassen. Während in der Laucha-Niederung in erster Line zusätzliche Maßnahmen (Bodenaustausch, Geokunststoffe und/oder Bodenverbesserung/-verfestigung) zur Gewährleistung einer minimalen Planumtragfähigkeit (30 MN/m^2) notwendig sind, ist im Einschnitt die permanente Entwässerung des prinzipiell ausreichend tragfähigen Buntsandsteinuntergrundes und der anschließenden Böschungen als Zusatzmaßnahme sicherzustellen.

Wasserhaltung im Bau- und Endzustand sind in engem Zusammenhang mit der temporären und endgültigen Sicherung der Einschnitt-Böschungen und dem gesamten Bauablauf inkl. der Ingenieurbauwerke zu planen. Für eine Entspannung/Entwässerung des Einschnittbereiches mit offener Wasserhaltung in freiem Gefälle bei fortschreitendem Aushub ist ausreichend Zeit einzuplanen. Geschlossene Wasserhaltung zur Entwässerung der auszuhebenden Schichten ist prinzipiell möglich - benötigt jedoch lange Vorlaufzeiten, eine hohe Brunnendichte und stellt im Endeffekt einen deutlich massiveren Eingriff in den Grundwasserhaushalt mit ungleich höherer Reichweite als der Einschnitt selbst dar.

Durch chemische Analysen wurden lokale Belastungen der Bodenproben mit Schadstoffen nachgewiesen, die eine Verwertung/Entsorgung der Aushubmassen auf der DHS jedoch nicht ausschließt. Lediglich die Verwertbarkeit nach LAGA M 20, TR Boden ist in den Schichten der Laucha-Niederung ausgeschlossen bzw. stark eingeschränkt. Die Buntsandstein-Aushubmassen sind allgemein nicht oder gering in der LAGA M 0-Verwertbarkeit eingeschränkt.

Für die weitere Planung und die Umsetzung des Bauvorhabens (bzw. auch der Teilbauvorhaben, je nach Bauablauf) sind aus geotechnischer Sicht notwendig:

- zuverlässige Beurteilung des mittel- und langfristigen Einflusses der Baumaßnahmen/des Bauwerkes und der damit einhergehenden Grundwasserabsenkung auf die Grundwassersituation am Standort und dessen Umfeld unter Einbeziehung der GWM 1-3-Daten und weiterer verdichtender Erkundungen und Feldversuche (Einrichtung weiterer Messstellengruppen und Pumpversuche)

- Einarbeitung der Ergebnisse der Baugrunduntersuchung und der hier empfohlenen verdichtenden Erkundungen in ein hydrologisches Modell zur Prognose der Auswirkungen der Flusstrasse und anfallender Grundwassermengen
- Interpretation der hydrologischen Veränderungen infolge der Lauchaumverlegung hinsichtlich Standsicherheit im Einflussbereich befindlicher Bauwerke (u. a. Böschungssysteme der Hochhalde Schkopau) und möglicher Setzungen dauerhaft entwässerter Abschnitte entlang der Flusstrasse
- Neubewertung bzw. weiterführende Bewertung der geotechnischen Situation nach Fertigstellung von Teilbauwerken, da zum Beispiel die Ausführung der Flusstrasse signifikante Veränderungen der hydrogeologischen Situation hervorruft oder dann neu errichtete Bauwerke zu sichern sind
- Begutachtungen/Klassifizierung des beim Aushub flächig freigelegten Buntsandsteins (Schichten 5a - 5c) für die Planung von Teilbauwerken
- weiträumiges, langjähriges Beweissicherungsverfahren, dass alle Bauwerke im Einflussbereich der Flusstrasse erfasst
- umwelttechnische Überwachung und Begleitung der Baumaßnahmen vor allem in der Laucha-Niederung und im Bereich der Altdeponie 1 in Abstimmung mit den zuständigen Behörden, dem Planer und dem Bauherren
- Verifizierung der Grundwassereinleitqualität durch weiterführende Analysen unter konkreten Vorgaben der zuständigen Wasserbehörde hinsichtlich Qualität und Quantität chemischer und physikalischer Parameter

1. Bauvorhaben

Für die Stilllegung der Hochhalde Schkopau (DHS) der MDSE mbH im Rahmen des Teilsanierungsrahmenkonzeptes im Auftrag der Landesanstalt für Altlastenfreistellung ist die Umverlegung der Laucha vorgesehen. Das Baugrundbüro Klein wurde durch die MDSE mbH mit der Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung (Leistungsphasen 2 und 3 nach HOAI) der im Vorfeld ausgewählten deponienahen Variante beauftragt.

Das Gesamtbauvorhaben umfasst den Neubau

1. der Flusstrasse inkl. Unterhaltungswege (Flusstrasse)
2. einer Brücke über die Flusstrasse nördlich Knapendorf (~0+240),
3. einer Brücke über die Flusstrasse an der Elisabethhöhe (~2+175),
4. eines Bahndurchlasses (~1+790) und
5. eines Absperrbauwerkes am alten Laucha-Lauf.

Die Ergebnisse der Baugrunderkundung werden für die einzelnen Bauwerke jeweils in einem gesonderten geotechnischen Bericht dargestellt. Der vorliegende Bericht gilt für den Teil

Flusstrasse.

Nach Prüfung mehrerer Varianten im Vorfeld [45] wird hier die deponienahe Variante der künftigen Laucha geotechnisch erkundet und bewertet. Die deponienahe Trasse zweigt nördlich der OL Knapendorf vom bisherigen Laucha-Bett und wird nördlich Elisabethhöhe im Bereich der Wertsgraben-Mündung wieder in den natürlichen Laucha-Lauf eingebunden. Die neue Trasse ist ~2,4 km lang und soll als offener Gelände-Einschnitt angelegt werden, in dem die Laucha in freiem Gefälle (~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 [4]. In ~2 m Höhe über dem Einschnitttiefsten sollen beidseitig 4 m breite Bermen mit Unterhaltungswegen angelegt werden. Von 0+000 - 0+250 ist - wie auch am bisherigen Laucha-Bett an der DHS-S-Seite - nur ein einseitiger Unterhaltungsweg geplant. Die Böschungsneigung ist mit 1 : 2,5 für die Einschnitt-Böschungen und mit 1 : 2 für die Laucha-Rinne unterhalb der Unterhaltungswege vorgesehen [4, 52].

Die Auskleidung der permanent wasserführenden Rinne soll nach [4, 52] mit Wasserbausteinen auf Geovlies erfolgen - auf den Böschungen oberhalb der Unterhaltungswege sind erosionsgeschützter Oberboden über 80 cm Dränageschicht mit beidseitigem Geovlies vorgesehen. Die Unterhaltungswege sind in [6] mit einem Aufbau nach RLW [38] aus Schottertragschicht und am südlichen Unterhaltungsweg mit einer zusätzlichen, 20 cm mächtigen Schotterrasen-Schicht ausgewiesen.

Am Beginn und Ende des Bauabschnittes sind Modifizierungen des Querschnittes geplant, so dass einerseits die Neugestaltung des Laucha-Bettes entfällt (südlich der DHS) oder kein Unterhaltungsweg vorgesehen ist (östlich der geplanten Brücke Elisabethhöhe). Die geschilderten Details sind im Lageplan (Anlagen 1 und 2) ersichtlich. Zum Bauablauf des gesamten Projektes (Ingenieurbauwerke, Flusstrasse) liegen derzeit keinerlei Angaben vor.

Der vorliegende Bericht umfasst ausschließlich die Baugrunderkundung und -beurteilung/-klassifizierung und bautechnischen Hinweise für die Herstellung des Einschnittes und der lauchap parallelen Unterhaltungswege. Für die Planung werden die im Zuge dieser Erkundung gewonnenen baugrundtechnischen Ergebnisse zusammengefasst, ausgewertet und charakteristische Kennwerte für erdstatische Berechnungen und Nachweise festgelegt. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Darstellung der hydrogeologischen Situation gelegt, anhand der quantitative Einschätzungen der im Einschnitt anfallenden Wassermengen gegeben werden. Für die Verwertung/Entsorgung potentieller Aushubmassen werden chemische Analysen von Boden und Grundwasserproben ausgewertet und nach geltenden Regelwerken beurteilt.

2. Baugrund

2.1 Morphologie, Bebauung und Bewuchs

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

Bei 0+070 - 0+170 sind in [6] weitere Geländeanschlüttungen vermerkt. Bei den nahezu anthropogen unbeeinflussten Flächen handelt es sich überwiegend um landwirtschaftlich genutzte Flächen (0+250 - 0+600 und 1+540 - 2+130) und brachliegende Areale mit lokalem Baum-/Strauchbewuchs (1+350 - 1+540 und 2+180 - 2+440).

Die Geländehöhen im Bauabschnitt liegen zwischen ~86,6 m (2+440, Einmündung der umverlegten Laucha ins vorhandene Bett) und ~100,0 m NHN (0+650). Der höchste Geländeabschnitt ist die Altdeponie 1 der DHS, die auf einem SW-NE-orientierten Rücken angelegt wurde, der das Laucha-Tal vom Wertsgraben-Tal trennt.

Im Verlauf der geplanten Flusstrasse sind augenscheinlich keine massiven, gegründeten Bauwerke vorhanden. Am W-Rand der Altdeponie 1 (~0+600) weisen oberirdische Deckel und Rohrleitungen [6] auf unterirdische (Schacht-)Bauwerke hin - nach Informationen der MDSE mbH existiert hier auch ein „massives Stahlbetonbauwerk“. Auch bei der Beräumung der Altdeponie 1 ist das Vorhandensein/Antreffen von massiven Bauwerken nicht auszuschließen. Bei der MDSE mbH liegen zu eventuellen Bauwerken im Bereich der Altdeponie 1 und deren unmittelbaren Umfeld keine Angaben vor [53]. Zwischen den Stationen 1+350 - 1+650 beträgt der geringste Abstand zu genutzten (Wohn-)Gebäuden 50 - 100 m (Annemariental). Die Brücke der Anliegerstraße über den Wertsgraben nordwestlich Elisabethhöhe liegt ~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 (1+780) zu nennen.

2.2 Geologie

Die Ausführungen dieses Kapitels beruhen auf den Unterlagen [1, 41, 43, 44, 49].

Der Standort liegt innerhalb der Merseburger Buntsandsteinplatte, die leicht nach NW geneigt ist und durch Bruch-/Senkungsstrukturen (Dörstewitzer Senke) speziell im westlichen Teil der DHS 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 NW 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.

Die Schnittdarstellungen der Anlage 8 geben einen Überblick über die Verbreitung und Abfolge der Schichten am Standort.

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

2.3 Hydrogeologie/Hydrologie

Im Rahmen des ökologischen Großprojektes (ÖGP) Buna wurde der Standort detailliert untersucht und bis heute überwacht. Die folgenden Ausführungen basieren auf den Unterlagen zum ÖGP Buna [43, 44, 49] und im Rahmen der Lauchaumverlegung bereits vorliegenden Unterlagen [1, 3, 4].

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 DHS 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 NW 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 (i. W. 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, so dass 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 Einschnitttiefen von ~10 m (ab Deponie-sohle bzw. natürlicher GOK) hingegen werden die durch Verwitterung geprägten GWL 2 - 4 maßgebend sein. Eine stratigrafische Zuordnung der erkundeten Schichten zu den einzelnen Folgen/GWL des mittleren Buntsandsteins gestaltet sich aufgrund des intensiven Verwitterungsgrades schwierig. Nach Auswertung der Bohrerergebnisse bildet die Hardeggen-Folge (GWL 2) die Buntsandsteinoberfläche von BK 3 bis BK 10, die Detfurth-Wechselfolge von BK 11 bis BK 27 und der Detfurth-Sandstein (GWL 3) und die Avicula-Schichten (GWL 4) von BK 28 bis zum Ende des Bauabschnittes.

Bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde des Saalekreises wurden die Standorte von Brunnen im Einflussbereich der Lauchaumverlegung abgefragt. Die mitgeteilten Standorte sind in der Anlage 10 dargestellt. Es gibt demnach in den Ortslagen Bündorf, Knapendorf und Elisabethhöhe sowie im DOW-Werksgelände Brunnen mit und ohne Wasserrecht sowie Erdwärmesonden für Wärmepumpen.

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

Zur Wasserführung und zu Hochwasserständen der Laucha liegen Angaben in [4, 45] 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.

Spezielle Ausführungen zur hydrogeologischen und hydrologischen Situation beinhaltet das Kapitel 6 des vorliegenden Berichtes.

2.4 Besonderheiten

Das Gebiet rechts der Laucha ist nicht von Altbergbau und seinen Folgeerscheinungen betroffen.

Nach [42] sind in geotechnischer Hinsicht am Standort keine Senkungserscheinungen aufgrund von Subrosion des tieferen, salinaren Untergrundes zu erwarten.

Trinkwasserschutzzonen oder Altlastverdachtsflächen sind am unmittelbaren Bauwerksstandort nicht bekannt. Eine Ausnahme stellt der Abschnitt der Altdeponie 1 zwischen den Stationen 0+600 bis 1+350 mit den nicht mehr in Betrieb befindlichen Kalkhydrat-Spülteichen dar. Diese sollen nach [3] vor der Umverlegung der Laucha in andere Deponiebereiche umgelagert werden.

Ein Feldgehölz etwa 150 m südlich des Standortes und nordöstlich Annemariental ist nach [45] ein ausgewiesenes geschütztes Biotop.

Der Standort befindet sich gemäß DIN 4149 [29] außerhalb der Erdbebeneinwirkungszonen. Der Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben ist nicht erforderlich. Eine Berücksichtigung von Zusatzkräften, resultierend aus der Erdbebenbelastung, ist daher bei der Tragwerksdimensionierung nicht erforderlich.

Literaturangaben absoluter Höhen (u. a. auch Grundwasserstände) sind ausnahmslos in m ü. NN (HS 140) angegeben und werden auch so in diesen Bericht übernommen. Die Einmessung der Baugrundaufschlüsse erfolgte mit Bezug auf HS 160 (DHHN 92, m ü. NHN). Die Höhendifferenz zwischen beiden Systemen liegt am Standort im mm-Bereich [14] und wurde deshalb bei der Baugrunderkundung vernachlässigt. Im Bericht angegebene absolute Höhen sind, sofern kein anderer Bezug aufgeführt ist, immer NHN-Höhen.

3. Untersuchungen

3.1 Lage, Art und Umfang der Bodenaufschlüsse und Felduntersuchungen

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse, Probenahme und Ermittlung der Lagerungsdichte wurden die in der Tab. 1 angegebenen Aufschlüsse im Zeitraum 04 - 07/2009 ausgeführt. Die Aufschlüsse BK 1a, BK 2a und DPH 10a wurden nachträglich zur Aufschlussverdichtung ausgeführt bzw. zum Erreichen der erforderlichen Aufschlusstiefen zusätzlich ins Erkundungsprogramm aufgenommen. Die Bohrungen BK 33, BK 34 und BK 43 wurden um bis zu 4 m tiefer ausgeführt. Die Anpassung des Erkundungsprogramms bzw. lokale Verschiebungen der Ansatzpunkte geschahen in Abstimmung mit Auftraggeber und Projektsteuerung. Die Rammkernbohrungen erfolgten durch Geotestbohrtechnik Grimm - Kleinrammbohrungen, Rammsondierungen und Aufgrabungen wurden durch die DMT-Leipzig ausgeführt.

Alle Aufschluss-Ansatzpunkte wurden vor Beginn der Feldarbeiten im Gelände markiert sowie durch die analytec Dr. Steinhau Ingenieurgesellschaft für Baugrund, Geophysik und Umwelt-engineering mbH auf Kampfmittelfreiheit geprüft und nach Abschluss der Feldarbeiten durch K & S Vermessung nach Lage und Höhe eingemessen [14].

Die Bohrungen BK 14, BK 20 und BK 32 wurden auftragsgemäß zu den Grundwassermessstellen GWM 1 bis GWM 3 ausgebaut und mit Piezometern ausgerüstet, die seit dem 25.06.2009 in Betrieb sind. Die Ausbauprotokolle bzw. Ausbauzeichnungen sind Teil des Schichtverzeichnis (Anlage 3) und der grafischen Profildarstellung (Anlage 4).

Da der Eigentümer/Pächter der Flächen SW' des Bahndammes keine Genehmigung zur Errichtung einer dauerhaften GWM innerhalb seiner Flächen gab, wurde die BK 32/GWM 3 um ca. 30 m nach ENE an den Fuß des Bahndammes verlegt.

Schichtverzeichnisse, Bohrprofile, Rammsondierdiagramme sowie Protokolle der Probenahmen und des GWM-Klarpumpens sind in den Anlagen 3 und 4 enthalten.

Felduntersuchungen wurden neben den Rammsondierungen nur in Form von WD-Tests (Wasserabpress-Versuch) vorgenommen. Da WD-Tests festgesteinstypische Feldversuche sind und durch die tiefreichende Verwitterung des Buntsandsteins (5) kaum „echtes“ Festgestein erbohrt wurde, erfolgten die Tests an den Bohrungen BK 6, BK 9, BK 26 und BK 30 jeweils in der maximalen, für den geplanten Einschnitt sinnvollen Tiefe von 8,0 - 10,0 m unter GOK. Die Ergebnisse der WD-Tests sind in Anlage 5.10 enthalten - eine ausführliche Auswertung erfolgt im Kapitel 6 des vorliegenden Berichtes.

Tabelle 1: Koordinaten der für die Erkundung der Flusstrasse ausgeführten direkten und indirekten Baugrundaufschlüsse

Aufschluss	Rechtswert	Hochwert	Ansatzhöhe [m ü. NHN]	Aufschluss	Rechtswert	Hochwert	Ansatzhöhe [m ü. NHN]
RKS 1	4494678,88	5694028,86	92,11	Sch1	4495826,97	5694467,53	93,10
RKS 2	4494724,38	5694012,23	91,99	Sch2	4494844,33	5693988,16	90,98
RKS 3	4494772,41	5694004,72	92,04	Sch3	4495735,47	5694185,08	89,91
RKS 4	4494824,33	5693997,07	92,19	BK 1	4495829,19	5694527,03	92,61
RKS 5	4494888,97	5693987,85	92,23	BK 1A	4495827,39	5694526,09	92,59
RKS 6	4494922,42	5693981,64	92,04	BK 2	4495834,92	5694503,98	93,15
RKS 7	4494972,05	5693975,69	91,94	BK 2A	4495832,82	5694503,67	93,12
RKS 8	4495022,00	5693974,64	91,91	BK 3	4495888,06	5694533,12	94,61
RKS 9	4495072,57	5693975,94	91,69	BK 4	4495936,21	5694570,79	95,84
RKS 10	4495122,03	5693977,66	91,35	BK 5	4495982,45	5694524,66	96,75
RKS 11	4495171,97	5693979,31	91,22	BK 6	4496038,46	5694548,02	97,01
RKS 12	4495223,39	5693981,07	91,04	BK 7	4496079,94	5694518,42	97,37
RKS 13	4495271,94	5693982,08	90,89	BK 8	4496133,07	5694530,03	98,28
RKS 14	4495321,85	5693984,04	90,88	BK 9	4496174,11	5694483,69	99,23
RKS 15	4495371,81	5693986,35	90,95	BK 10	4496232,43	5694521,00	100,04
RKS 16	4495421,68	5693988,54	91,07	BK 11	4496278,54	5694491,33	98,99
RKS 17	4495471,70	5693990,10	91,03	BK 12	4496325,21	5694468,55	97,89
RKS 18	4495521,51	5693993,75	91,18	BK 13	4496378,55	5694483,82	98,31
RKS 19	4495569,02	5694009,38	91,41	BK 14/GWM 1	4496433,52	5694511,94	99,04
RKS 20	4495611,67	5694035,27	91,37	BK 15	4496473,46	5694444,58	99,02
RKS 21	4495648,36	5694069,30	91,54	BK 16	4496528,79	5694480,22	98,75
RKS 22	4495677,53	5694110,01	90,93	BK 17	4496573,08	5694432,20	99,25
RKS 23	4495706,67	5694150,34	91,17	BK 18	4496624,22	5694440,08	98,93
RKS 24	4495733,35	5694192,78	91,02	BK 19	4496676,38	5694453,70	98,65
RKS 25	4495748,14	5694240,74	90,92	BK 20/GWM 2	4496729,60	5694466,74	98,85
RKS 26	4495749,34	5694264,24	90,70	BK 21	4496770,10	5694398,99	99,49
RKS 27	4495767,73	5694292,97	90,45	BK 22	4496833,85	5694436,31	99,62
RKS 28	4495769,20	5694341,64	90,41	BK 23	4496864,69	5694384,57	99,90
RKS 29	4495773,66	5694388,26	92,89	BK 24	4496920,87	5694393,85	97,36
RKS 30	4495789,37	5694438,87	93,48	BK 25	4496952,15	5694331,73	96,40
RKS 31	4495816,02	5694476,50	92,61	BK 26	4497010,92	5694338,85	96,34
RKS 32	4497611,00	5694764,05	89,87	BK 27	4497056,39	5694389,48	96,90
RKS 33	4497654,68	5694778,96	88,11	BK 28	4497112,93	5694357,49	96,62
RKS 34	4497678,37	5694812,97	87,66	BK 29	4497145,17	5694418,46	97,97
RKS 35	4497684,59	5694870,06	87,64	BK 30	4497211,61	5694396,87	96,67
RKS 36	4497689,72	5694911,12	87,86	BK 31	4497222,03	5694463,58	97,50
RKS 37	4497695,07	5694952,49	87,19	BK 32/GWM 3	4497318,35	5694450,12	95,05

Fortsetzung Tabelle 1

Aufschluss	Rechtswert	Hochwert	Ansatzhöhe [m ü. NHN]	Aufschluss	Rechtswert	Hochwert	Ansatzhöhe [m ü. NHN]
DPL 1	4494679,18	5694028,66	92,11	BK 33	4497295,02	5694477,17	96,02
DPL 2	4495072,21	5693975,90	91,69	BK 34	4497320,93	5694492,27	95,65
DPL 3	4495521,83	5693993,94	91,18	BK 35	4497339,35	5694495,88	94,70
DPL 4	4495749,01	5694264,29	90,70	BK 36	4497383,32	5694507,28	92,33
DPL 5	4495767,92	5694292,83	90,45	BK 37	4497387,13	5694550,37	93,27
DPH 6	4495829,39	5694526,81	92,61	BK 38	4497446,60	5694574,04	91,20
DPH 7	4495835,15	5694504,42	93,15	BK 39	4497461,92	5694635,07	92,92
DPH 8	4497577,13	5694761,16	92,38	BK 40	4497507,43	5694658,48	91,34
DPH 9	4497587,81	5694740,57	91,86	BK 41	4497519,19	5694713,72	92,84
DPH 10	4497274,63	5694506,55	96,55	BK 42	4497551,73	5694716,10	91,41
DPH 10a	4497294,68	5694477,37	96,02	BK 43	4497585,56	5694764,13	91,15
				BK 44	4497590,92	5694740,92	91,86
				BK 45	4497274,30	5694506,34	96,55

3.2 Laboruntersuchungen

Zur bautechnischen Beurteilung und Klassifizierung der erkundeten Schichten wurden die in Tabelle 2 aufgeführten bodenmechanischen Versuche und chemischen Analysen an ungestörten und gestörten Bodenproben durch DMT-Leipzig und FCB GmbH ausgeführt. Weiterhin wurden chemische Analysen an Boden- und Grundwasserproben zur Erfassung bau- und umweltchemischer Eigenschaften (Betonaggressivität, Stahlkorrosivität, Einleitqualität des Grundwassers, Verwertbarkeit von Bodenaushub) des Baugrundes in der Analytikum Umweltlabor GmbH durchgeführt. Diese Versuche und Analysen sowie deren schichtbezogener Umfang sind in Tab. 2 und 3 aufgeführt. Die Laborberichte/-protokolle mit den Ergebnissen sind in den jeweils angegebenen Anlagen enthalten. Die Auswahl der Bodenproben für die bodenmechanischen und chemischen Laboranalysen wurde durch den Unterzeichner vorgenommen.

Tabelle 2: Anzahl und schichtbezogene Verteilung der bodenmechanischen und chemischen Untersuchungen an den Bodenproben der Flusstrasse

Schichten		Kornverteilung DIN 18 123	Konsistenzgrenzen DIN 18122	Proctordichte DIN 18 127	Rahmenscherversuch DIN 18 137-3	k _r -Bestimmung DIN 18 130	Wassergehalt DIN 18 121	Glühverlust DIN 18 128	Kalkgehalt DIN 18 129	Quellhebungs-/- druckversuch	Anlagengenehmigung DHS
Anlage		5.1	5.2	5.3	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.11	7.2.1
Auffüllung	1										
Oberbau	1a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
Unterbau	1b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
allgemein	1c	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
Altdeponie 1 (Kalkhydrat)	1d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Holozän	2										
Oberboden	2a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Laucha-Schlamm	2b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Auelehm/-mergel	2c	7	7	-	-	-	9	6	-	-	5
Talsand	2d	8	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Aueton	2e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torf	2f	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 2

Schichten		Kornverteilung DIN 18 123	Konsistenzgrenzen DIN 18 122	Proctordichte DIN 18 127	Rahmenscherversuch DIN 18 137-3	k _r -Bestimmung DIN 18 130	Wassergehalt DIN 18 121	Glühverlust DIN 18 128	Kalkgehalt DIN 18 129	Quellhebungs-/- druckversuch	Anlagengenehmigung DHS
<i>Anlage</i>		<i>5.1</i>	<i>5.2</i>	<i>5.3</i>	<i>5.5</i>	<i>5.6</i>	<i>5.7</i>	<i>5.8</i>	<i>5.9</i>	<i>5.11</i>	<i>7.2.1</i>
Pleistozän	3										
Geschiebelehm	3a	-	-	-	2	-	-	-	1	-	1
Sand/Kiessand	3b	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Tertiär	4										
Braunkohle	4a	-	-	-	2	-	-	2	-	-	-
Sand	4b	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Quarzit	4c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	4d	2	3	-	-	-	3	2	-	-	-
Buntsandstein	5										
Zersatz (Wechselagerung)	5a	11	3	1	5 ¹⁾	5	7	-	1	-	3
Zersatz (Ton/Schluff)	5b	3	7	1	1 ¹⁾	1	3	1	1	3	2
verw. Fels (Sandstein)	5c	4	-	3	1 ¹⁾	-	-	-	-	-	2

¹⁾ Die Versuchsbedingungen der Rahmenscherversuche sind detailliert in Anlage 5.5 (Ergebnisse) und Anlage 5.11 (Ergänzungen/Hinweise zu den Laborergebnissen) dargestellt.

Tabelle 3: Chemische Analysen an Grundwasserproben der Flusstrasse

Grundwasser	Betonaggressivität DIN 4030	Stahlkorrosivität DIN 50 929	Einleitqualität nach §§ 2, 3 und 7 WHG
<i>Anlage</i>	<i>7.1.1</i>		<i>7.1.2</i>
BK 1	1	1	-
BK 2	1	1	-
BK 4	-	-	1
BK 5	1	1	-
BK 9	1	-	1
BK 14/GWM 1	1	1	1
BK 20 / GWM 2	1	1	-
BK 24	-	-	1
BK 28	1	-	-
BK 32/GWM 3	1	1	1
BK 33	-	-	
BK 43	1	1	-
BK 44	1	1	-

4. Ergebnisse der Untersuchungen

4.1 Schichtenverlauf und -verbreitung

Am Standort wurde das unten angegebene Schichtmodell erkundet. Je nach geomorphologischer Situation und vorhandenen Bauwerken sind die Schichten im Verlauf der Flusstrasse sehr unterschiedlich verbreitet. Während Auffüllungen (Schichten 1) im Bereich der Bauwerke/Altdeponie 1 verbreitet sind, dominieren die holozänen Schichten (Schichten 2) in den Niederungen. Pleistozäne Sedimente (Schichten 3) sind als Reste im Bereich der Geländehochlagen und deren Flanken auf dem verwitterten Buntsandstein (5) vorhanden und das Tertiär (Schichten 4) ist auf den Untergrund am Beginn der Flusstrasse (~0+200 - 0+300) beschränkt. Der tiefgründig verwitterte Buntsandstein (Schichten 5) bildet im weitaus überwiegenden Teil des geplanten Einschnittes (~0+300 - 2+100) den maßgebenden Baugrund bis zur Sohle des neuen Laucha-Bettes. Das Schichtmodell wurde neben stratigrafischen Kriterien überwiegend nach geotechnischen Eigenschaften der erkundeten Schichten erarbeitet.

Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Schichten ist den Schichtenverzeichnissen (Anlage 3) bzw. Profilen (Anlage 4) dieses Berichtes zu entnehmen. Die Verbreitung der Schichtkomplexe und deren Mächtigkeiten am Standort sind in den Baugrund-Längs- und Querschnitten (Anlage 8) dargestellt.

Mit Ausnahme der Altdeponie (1d) haben bauwerksbezogene Auffüllungen (1a/1b, Oberbau und Unterbau von Wegen/Straßen) keine Bedeutung für die Flusstrasse. Diese speziellen Auffüllungen werden in den entsprechenden Berichten (Brücke bei Knapendorf, Brücke Elisabethhöhe) behandelt.

Schicht 1 **Auffüllungen**

- 1a **Oberbau** - entfällt
- 1b **Unterbau** - entfällt
- 1c **Auffüllungen allgemein** - gemischtkörnige Erdstoffe mit unterschiedlichen Anteilen an Schluff/Sand/Kies, lokal tonig/steinig und hoher anthropogener Anteil (u. a. BK 1, BK 2, BK 24), differenzierte Mächtigkeiten bis 3,2 m (BK 2a), weich - steif und locker - mitteldicht
RKS 29 und 30 - morphologisch sichtbare Aufhaldung (Deponie?) westlich des Knapendorfer Friedhofes mit unbekannter Herkunft aus kiesigem Schluff und Sand, steif - halbfest/mitteldicht, mit Bauschuttresten, mit Oberboden abgedeckt, bis 2,5 m mächtig
- 1d **Altdeponie 1** - tonig/schluffig/feinsandige Schlämme (Kalkhydrat), breiig - weich, thixotrop, trocken bis vernässt, graublau, zwischen 1,0 und 4,0 m mächtig, lokal (BK 12 - BK 15) mit oberbodenartigen Erdstoffen abgedeckt, an der Basis ab ca. 96,5 m ü. NHN wasserführend, untergeordnet auch gemischtkörnige Erdstoffe als Teile der Dämme

Schicht 2 **holozäne Schichten**

- 2a **Oberboden** - tonig/feinsandiger Schluff, schwach humos - humos, weich - steif, z. T. auch überschüttet unter der Altdeponie 1, mittlere Mächtigkeit ~0,5 m - lokal auch bis zu 1,2 m
- 2b **Laucha-Sediment (-Schlamm)** - flüssiger - breiiger Ton, schluffig, schwach sandig, organisch, nass, an Sch 2 und Sch 3 zw. 60 cm bzw. 90 cm mächtig
- 2c **Auelehm/-mergel** - schwach sandiger - sehr stark sandiger Schluff, schwach tonig - tonig, schwach organisch-organisch, häufig Holz-/Muschelreste, feucht - nass, kalkhaltig (Mergel) - kalkfrei (Lehm), weich - steif, in der Talauen nahezu lückenlos mit Mächtigkeiten von ~0,6 - >5,0 m vorhanden, mittlere Mächtigkeit 1 - 2 m, stark sandige oder rein sandige Einlagerungen sind wasserführend

- 2d **Talsand** - schwach schluffige - schluffige (Fein-/Mittel-)Sande, selten kiesig, mitteldicht, innerhalb der Talauen in der Regel gespanntes Grundwasser führend (Ausnahme BK 3, BK 4 und RKS 32-34), stark differenzierte Mächtigkeiten
- 2e **Ton** - schluffiger Ton, sandig, weich, lokal schwach organisch und schwach kiesig, stark feucht - nass, meist untergeordnet eingelagert/verzahnt in/mit 2c, mittlere Mächtigkeit 1 - 2 m
- 2f **Torf** - stark zersetzt, nass, als 20 cm mächtige Schicht in RKS 3 (ab 2,8 m), in RKS 18 (4,5 - 4,7 m) und RKS 29 (ab 5,8 m) erkundet, im Bereich RKS 28 als rezente/unzersetzte Bildung an der GOK bis 0,35 m Tiefe

Schicht 3 **pleistozäne Schichten**

- 3a **Geschiebelehm/-mergel** - tonig - sandiger Schluff, sehr schwach kiesig, weich - steif - halbfest, oft gemeinsam mit 3b als mehr oder weniger geschlossene Decke zwischen BK 8 - BK 16 und Bahndamm-BK 40 sowie BK 42 - BK 43 verbreitet, Mächtigkeiten von 0,2 m bis 2,0 m
- 3b **Sand/Kiessand** - schwach kiesige - kiesige Sande, lokal schwach schluffig, mitteldicht, Verbreitung annähernd wie 3a - zusätzlich an BK 3, 0,5 m bis 2,8 m mächtig, unterhalb der Altdeponie 1 (BK 10 - BK 14) und in Tieflagen (BK 26, BK 38) wasserführend

Schicht 4 **tertiäre Schichten**

- 4a **Braunkohle** - Braunkohle mit wechselndem mineralischen Anteil (Ton, Schluff, Sand), geringer Inkohlungsgrad, häufig holzig, ~1,5 - 3,5 m mächtig, teilweise vernässt, lokale Einlagerungen der Schicht 4c (Quarzit)
- 4b **Sand** - Mittelsand, feinsandig, schluffig, lokal kohlig/organisch, wasserführend, breiig/weich - locker/mitteldicht, ~1,2 - 2,0 m mächtig
- 4c **Quarzit** - zementierter Sandstein mit sehr guter Kornbindung, dicht/frisch - kaum verwittert, klüftig - grobstückig, Bänke von 0,5 - 2,0 m Mächtigkeit und stark variierender Tiefenlage (5,7 - >10,0 m unter GOK)

- 4d **Ton** - Ton, schwach - stark sandig, schluffig, mit rein sandigen/wasserführenden Lagen, an BK 1a und BK 2a zw. 8,7 m und 16,1 m unter GOK, steif/halbfest, nach SSW einfallende Oberfläche, Mächtigkeit 1,2 - 4,9 m

Schicht 5 **Buntsandstein**

- 5a **Felszersatz (WL Ton/Schluff/Sand)** - Wechsellagerung/Gemenge aus Ton, Schluff und Sand mit sehr wenigen verwitterten Bruchstücken (kiesiger Anteil) und ohne bis sehr schwacher Kornbindung, z. T. aufgearbeitet, Lockergesteinscharakter (schluffiger - stark schluffiger Fein-/Mittelsand, lokal grobsandig und schwach tonig/kiesig), mitteldicht - steif/halbfest
- 5b **Felszersatz (Ton/Schluff)** - überwiegend schwach (fein-)sandiger Ton/Schluff, steif - halbfest - fest, stark verwittert bis entfestigt, Lockergesteinscharakter
- 5c **verwitterter Fels (Sandstein)** - Fein-/Mittelsand, tonig, schwach schluffig, schwach grobsandig, schwach kiesig (Gesteinsbruchstücke), verwittert bis zersetzt, Sandsteinlagen/-bänke (schwach mürbe - mürbe, grobstückig, z. T. zementiert und massig), dicht, fest gelagert, Wasserführung in sandigen Lagen bzw. verwitterten Sandsteinbänken

Die Übergänge im mittleren Buntsandsteins zwischen fein-/gemischt- und grobkörnigen Zersatz (5a), überwiegend feinkörnigen Zersatz (5b) und verwitterten Fels (5c) sind in der Regel fließend. So sind geringmächtigere festere/zementierte Lagen mit weniger intensivem Verwitterungsgrad im Zersatz (5a, 5b) ebenso möglich wie vollständig entfestigte/zersetzte Schichten im verwitterten Fels (5c). Allgemein ist mit zunehmender Tiefe von einer Abnahme der Lockergesteineigenschaften bei gleichzeitiger Zunahme der Festgesteinseigenschaften auszugehen.

Zum Einfallen der Schichtung im Buntsandstein konnten keine Daten erlangt werden, da im Zuge der Erkundung lediglich hangend/liegend-orientierte Proben gewonnen werden konnten. Für die korrekte Bestimmung des Schichteinfallens sind jedoch vollständig, sowohl vertikal als auch horizontal nach Himmelsrichtungen orientierte Proben notwendig. Bisher ist von einem generellen leichten Einfallen der Schichten nach NW auszugehen, wobei durch lokale (Bruch- oder Senkungs-)Strukturen auch abweichendes Einfallen der Buntsandsteinschichten auftreten kann.

4.2 Klassifizierung und Eigenschaften der Bodenschichten

Basierend auf der organoleptischen Feldansprache und den Labor-/Felduntersuchungen (vgl. Anl. 5) sind die Schichten nach bautechnischen Kriterien (DIN 18 196 [32]), wie in Tabelle 4 angegeben, zu klassifizieren. Es wurden sowohl (Labor)-Ergebnisse der Aufschlüsse im Verlauf der Flusstrasse als auch der Aufschlüsse an den Ingenieurbauwerken (Brücke bei Knapendorf, Brücke Elisabethhöhe und Bahndurchlass) für die Klassifizierung verwendet - lediglich bei der Schicht 1d (Auffüllung - Altdeponie 1/Kalkhydrat) wurde auf Literaturangaben [51] zurückgegriffen. Die Angaben der im weiteren Bericht folgenden Tabellen 4 bis 10 beziehen sich also ausschließlich auf Analysen bzw. organoleptischer Prüfung der unmittelbar im Bereich der Flusstrasse gewonnenen Bodenproben und der hier durchgeführten Felduntersuchungen.

Tabelle 4: Bautechnische Klassifizierung und Eigenschaften der Lockergesteine

Bodenart	allgemeine Auffüllung	Auffüllung Altdeponie 1	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 (4...überschüttet)	2
Bodenklasse (DIN 18 301)	BB 2, BN 2, BS 1	BB 1-BB 2, (BN 2)	BB 2, BO 1	BB 1
Kornverteilung	fein-/gemischt-grobkörnig	feinkörnig	feinkörnig	feinkörnig
Lagerungsdichte bez. Lagerungsdichte I_D	locker/mitteldicht 0,15 - 0,35	-	-	-
Konsistenz Konsistenzzahl I_C	weich/steif 0,5 - 1,0	breiig/weich 0,25 - 0,75	weich/steif 0,5 - 1,0	flüssig/breiig < 0,5
Zusammendrückbarkeit	groß - mittel	sehr groß	sehr groß	extrem
Verdichtungsfähigkeit	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht
Frostempfindlichkeit	F 3	F 3	F 3	F 3
Wasserdurchlässigkeit	10^{-4} - 10^{-6} m/s	-	$\sim 10^{-6}$ m/s	$\sim 10^{-7}$ m/s
Bemerkung	inhomogen	i. W. Kalkhydrat	tlw. überschüttet	nur Laucha-Bett

Fortsetzung Tabelle 4

Bodenart	Auelehm/-mergel, Aueton	Torf	Talsand	Geschiebelehm/-mergel	Sand Kiessand
Schicht-Nr:	2c/2e	2f	2d	3a	3b
Bodengruppe (DIN 18 196)	OU, TM, UL, SU*	HN, HZ	SU, SU*	TL, SU*	SU, SW, SE, GW
Bodenklasse (DIN 18 300)	2, 4	2	3, 4	4	3
Bodenklasse (DIN 18 301)	BB 2, BO 1	BO 1, BO 2	BN 1, BN 2	BB 2 - BB 3, BN 2, S 1	BN 1, BS 1
Kornverteilung	fein-/gemischt- körnig	-	grob-/gemischt- körnig	fein-/ge- mischtkörnig	grobkörnig
Lagerungsdichte bez. Lagerungsdichte I_D	-	-	locker/mitteldicht 0,15 - 0,35	-	mitteldicht/dicht 0,35 - 0,85
Konsistenz Konsistenzzahl I_C	weich/steif 0,5 - 1,0	-	weich 0,5 - 0,75	weich/ <u>steif</u> 0,5 - 1,0	-
Zusammendrückbarkeit	groß	-	mittel	mittel	gering
Verdichtungsfähigkeit	sehr schlecht	-	mittel	schlecht	gut
Frostempfindlichkeit	F 3	F 3	F 2 - F 3	F 3	F 1 - F 2
Wasserdurchlässigkeit ¹⁾ :					
Kornverteilung (Anl. 5.1)	$2,4 \times 10^{-6}$ - $2,4 \times 10^{-9}$ m/s	-	$8,1 \times 10^{-5}$ - $3,9 \times 10^{-6}$ m/s	-	$1,0 \times 10^{-4}$ m/s
Erfahrungswerte	10^{-6} - 10^{-9} m/s	stark	10^{-4} - 10^{-6} m/s	$\sim 10^{-8}$ m/s	10^{-3} - 10^{-4} m/s
Bemerkung	lokal Wasser- gehalte bis 73 %	-	mit Schluff-La- gen, meist grund- wasserführend	-	Basis meist wasserführend

Fortsetzung Tabelle 4

Bodenart	Braunkohle	Sand	Quarzit	Ton
Schicht-Nr:	4a	4b	4c	4d
Bodengruppe (DIN 18 196)	(HZ)	SU, SU*	-	TL, TM, ST*, SU*
Bodenklasse (DIN 18 300)	2 (organisch)	3, 4	7	4, 5
Bodenklasse (DIN 18 301)	BO 1	BN 1, BN 2	FV 5 - FV 6, FD 3 - FD 5	BB 2 - BB 4
Kornverteilung	-	grob-/gemischtkörnig	-	feinkörnig
Lagerungsdichte bez. Lagerungsdichte I_D	-	mitteldicht - dicht 0,35 - 0,85	-	mitteldicht - dicht 0,35 - 0,85
Konsistenz Konsistenzzahl I_C	weich/fest -	-	-	steif - halbfest 0,75 - 1,25
Zusammendrückbarkeit	mittel	gering	keine	gering
Verdichtungsfähigkeit	sehr schlecht	mittel	-	schlecht
Frostempfindlichkeit	F 3	F 2 - F 3	-	F 3
Wasserdurchlässigkeit ¹⁾ :				
Kornverteilung (Anl. 5.1)	-	$2,5 \times 10^{-5}$ m/s	-	-
Erfahrungswerte	$10^{-5} - 10^{-7}$ m/s	$10^{-4} - 10^{-6}$ m/s	$< 10^{-8}$ m/s	$< 10^{-9}$ m/s
Bemerkung	lokal vernässt	grundwasserführend, lokal kohlig/organisch	Festgestein	mit rein sandigen Lagen bis 0,5 m

Fortsetzung Tabelle 4

Bodenart	Felsersatz (Ton/Schluff/Sand-WL)	Felsersatz (Ton/Schluff)	verwitterter Fels (Sandstein)
Schicht-Nr.	5a	5b	5c
Bodengruppe (DIN 18 196)	SE, SU, SU*, ST, ST*, TL	SU*, ST, ST*, TL, TM	(SU, SU*, ST, ST*, TM) ²⁾
Bodenklasse (DIN 18 300)	5, 6	5, 6	6, 7
Bodenklasse (DIN 18 301)	BN 1 - BN 2, BB 2 - BB 4, BS 1 - BS 2	BB 2 - BB 4	BN 2, FV 1 - FV 3, FD 1 - FD 2
Kornverteilung	gemischtkörnig	fein-/gemischtkörnig	-
Lagerungsdichte bez. Lagerungsdichte I_D	mitteldicht - dicht 0,35 - 0,85	-	dicht - sehr dicht 0,85 - 1,00
Konsistenz Konsistenzzahl I_C	halbfest 1,0 - 1,25	steif/halbfest/fest > 0,75	fest -
Zusammendrückbarkeit	mittel - gering	mittel - gering	sehr gering
Verdichtungsfähigkeit	schlecht	schlecht	nicht verdichtbar
Frostempfindlichkeit	F 3	F 3	
Wasserdurchlässigkeit ¹⁾ :			
Kornverteilung (Anl. 5.1)	$1,5 \times 10^{-5} - 1,4 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	$\sim 4 \times 10^{-8} \text{ m/s}$	$3,6 - 7,9 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
Laborversuch (Anl. 5.6)	$9 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-11} \text{ m/s}$	$3,2 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	-
WD-Test (Anl. 5.10)	-	-	$4,8 - 6,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ $1,9 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ $7,0 - 8,9 \times 10^{-7} \text{ m/s}$
Erfahrungswerte	$10^{-6} - 10^{-9} \text{ m/s}$	$\leq 10^{-9} \text{ m/s}$	$10^{-4} - 10^{-9} \text{ m/s}$
Bemerkung	WL toniger, schluffiger und sandiger Lagen, mit Gesteinsbruchstücken (Kies-Anteil)	sandige Lagen sind grundwasserführend	differenziert entfestigtes Verwitterungsprodukt mit mürben/festeren Sand- steinbänken, sandige Lagen sind grundwasser- führend

1) Die Durchlässigkeit differiert in geschichteten/wechselagernden Böden/Festgesteinen je nach Feinkorngehalt sehr stark und ist zudem stark richtungsabhängig (geringer senkrecht bzw. höher parallel zur Schichtung). Die k_f -Werte nach den Kornverteilungen (vgl. Anlage 5.1) wurden nach der für den jeweiligen Boden zulässigen Methode bestimmt und sind für die Anwendung in Berechnungen/Dimensionierungen zu halbieren. Nach der Methode von SEELHEIM bestimmte k_f -Werte sind häufig überproportional zu groß bestimmt und wurden deshalb nur nach einer Plausibilitätsprüfung für die Zusammenstellung der Durchlässigkeitsbeiwerte in Tab. 3 verwendet.

2) Beurteilung gemäß Bohrgut

Einschätzungen der Bohr- und Rammpbarkeit der erkundeten Schichten sind neben der Klassifizierung nach DIN 18 301 [34] in der Tab. 3 auch unter Punkt 7.5, Tabelle 9 dieses Berichtes enthalten.

Tabelle 5: Klassifizierung (Benennung und Beschreibung) von Fels nach DIN EN ISO 14689-1 [23]

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

Tabelle 6 enthält die allgemeine Bewertung der erkundeten, in entsprechend weiter Verbreitung vorhandenen und in größerem Umfang zum Aushub/zur Verwertung gelangenden Schichten hinsichtlich ihrer bautechnischen Eignung und Einsatz in Bereichen mit geotechnisch definierten Anforderungen. Die nicht in Tabelle 6 enthaltenen Schichten sind aufgrund ihrer Eigenschaften für die angegebenen Einsatzbereiche in der Regel nicht geeignet.

Tabelle 6: Allgemeine Bewertung verbreiteter und in größerem Umfang zum Aushub gelangender Schichten hinsichtlich ihrer bautechnischen Eignung

Einsatz als...	Talsand	Geschiebelehm/-mergel	Kiessand
Schicht-Nr.	2d	3a	3b
Dammbaustoff	bedingt ¹⁾	geeignet	geeignet
ungebundener Oberbau	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Filtermaterial	nicht geeignet	nicht geeignet	bedingt ¹⁾
Hinterfüllung	bedingt ¹⁾	bedingt ¹⁾	geeignet
Baugrundverbesserung	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet

Fortsetzung Tabelle 6

Einsatz als...	Felsersatz (Ton/Schluff/Sand-WL)	Felsersatz (Ton/Schluff)	verwitterter Fels (Sandstein)
Schicht-Nr.	5a	5b	5c
Dammbaustoff	bedingt geeignet ¹⁾	bedingt geeignet ¹⁾	bedingt geeignet ¹⁾
ungebundener Oberbau	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Filtermaterial	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Hinterfüllung	bedingt geeignet ¹⁾	bedingt geeignet ¹⁾	bedingt geeignet ¹⁾
Baugrundverbesserung	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet

¹⁾ Eine Bewertung ist nur unter Berücksichtigung der genauen geotechnischen Anforderungen an den Baustoff möglich.

Durch die Proctorversuche an Proben des zersetzten/verwitterten Buntsandsteins (5a - c) wurden Proctordichten ρ_{pr} von 1,72-1,92 g/cm³ bei optimalen Wassergehalten w_{pr} von 10,5 - 17,8 % bestimmt. Die natürlichen Wassergehalte w_n der entnommenen Buntsandstein-Proben liegen durch die Grundwasserführung in der Regel über den optimalen Wassergehalten.

4.3 Hydrologie und Grundwasserverhältnisse

Zum Zeitpunkt der Baugrunderkundung (04 - 07/2009) wurde an allen Aufschlüssen mit Ausnahme des Sch 1 Grundwasser angetroffen. Je nach geomorphologischer Situation wurden stark unterschiedliche Flurabstände festgestellt. In den Niederungen (RKS 1 - RKS 28 und RKS 33 - 37) liegen die Ruhewasserstände bei 0,35 bis ~1,0 m unter GOK, wobei es in der Regel um gespanntes Grundwasser handelt, dessen Anschnitt an der UK der undurchlässigeren Deckschichten (i. W. Auelehm/-mergel/-ton) erfolgt.

Im Einschnitt-Bereich (0+000 - 2+200) wurden überwiegend Ruhewasserstände zwischen 2 und 4 m unter GOK registriert, wobei auch hier der Wasseranschnitt in der Regel tiefer erfolgt. Das heißt, auch hier ist das Grundwasser gespannt. Die Angabe genauer Druckhöhen ist nicht möglich, da meist mehrere wasserführende Schichten angeschnitten wurden und eine genaue Zuordnung zwischen Ruhewasserstand und Anschnitttiefe nicht möglich ist.

Mit derzeitigem Kenntnisstand sind die erkundeten wasserführenden Schichten oberhalb der geplanten Flusstrassen-Sohle in den Niederungen (0+000 - 0+300 und 2+200 - 2+440) in den GWL 1 einzuordnen. Im Abschnitt 0+300 - 2+200 bestehen zwischen Sicker- und Schichtwässern oberhalb bzw. im Niveau der Buntsandstein-Oberfläche in den Bereichen BK 3 - BK 9 (~0+350 - 0+600) und BK 24 - BK 42 (~1+350 - 2+150) hydraulische Verbindungen zu den Festgesteins-GWL 2 und 3 (Hardeggen-Folge und Detfurth-Sandstein). Eine Beeinflussung der Höchstwasserstände und des Wasserchemismus (u. a. erhöhte Sulfatgehalte) ist mit hoher Sicherheit anzunehmen.

Die Durchlässigkeit der erkundeten Schichten ist sehr unterschiedlich (vgl. Tab. 4) und reicht von undurchlässig ($\leq 10^{-8}$ m/s) bis stark durchlässig ($\sim 10^{-3}$ m/s). In Verbindung mit der wechselnden Schichtung - vor allem im Bereich der Niederungen - ist mit entsprechend differenzierten Verhältnissen am Beginn des Einschnittes 0+000 - 0+350 und an dessen Ende 1+850 - 2+250 zu rechnen.

Die in Tabelle 4 angegebenen Durchlässigkeitsbeiwerte k_f der erkundeten Schichten beruhen auf Erfahrungswerten, auf den ermittelten Kornverteilungen (Anl. 5.1) und den Labor-/Feldversuchen zur direkten Bestimmung des k_f -Wertes (Anl. 5.6/Anl. 5.10). Hierbei ist zu beachten, dass speziell in geschichteten Sedimenten mit variablem Feinkornanteil die Durchlässigkeiten senkrecht und parallel zur Schichtung um mehrere Zehnerpotenzen von einander abweichen können. Während tonig/schluffige Lagen lokale Stauer/Geringleiter bilden, sind die sandigen Abschnitte der erkundeten Schichten als (Poren-)Grundwasserleiter zu charakterisieren. Dementsprechend sind sowohl in den holozänen bis tertiären Sedimenten der Niederungen als auch im stark geschichteten, zersetzten/verwitterten Buntsandstein auf engem Raum variierende hydrogeologische Verhältnisse zu erwarten.

Die in Tab. 4. aufgeführten k_f -Werte bilden mit ihrer teilweise großen Schwankungsbreite diese variablen Verhältnisse anschaulich ab. Aus geotechnischer Sicht wird empfohlen, bevorzugt die k_f -Werte der direkten Bestimmungen (Anlage 5.6 und 5.10) und die Erfahrungswerte zu verwenden. Bei der Anwendung aus Kornverteilungen errechneter Durchlässigkeitsbeiwerte k_f (vgl. Tab. 4) in Dimensionierungen /Bemessungen sind diese zu halbieren.

Unabhängig von den ermittelten Grundwasserständen sind in Abhängigkeit von Saison und Niederschlagsgeschehen Zuflüsse von Schicht- und Sickerwässern zwischen GOK und erkundetem Grundwasserspiegel möglich.

Zur Wasserführung und zu Hochwasserständen der Laucha liegen Angaben in [4, 45] vor. Die hydrologischen Daten sind unter Beachtung des Querschnittes auf die Flusstrasse anzuwenden.

Tabelle 7 stellt die durch Analysen nach DIN 4030 [24] und DIN 50 929 [30] ermittelte Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des am Standort vorhandenen Grundwassers übersichtlich dar (vgl. Anlage 7.1.1). Ursache der schwach bzw. stark betonangreifende Wirkung des Grundwassers ist fast ausschließlich der Sulfatgehalt (>200 mg/l bzw. >600 mg/l), der auf geogene Ursachen (Sulfatgehalt im Buntsandstein) zurückzuführen ist. Bei den Grundwasserproben aus BK 2 und BK 14 wurde zusätzlich ein erhöhter Ammoniumgehalt (>15 mg/l) ermittelt, der schwach betonaggressiv wirkt. Eine Differenzierung des Angriffsgrades nach GWL ist nicht abzuleiten, da sowohl an Proben des GWL 1 (u. a. BK 1, BK 2) als auch des GWL 3 (u. a. BK 14 und BK 33) starke Betonaggressivität bestimmt wurde.

Tabelle 7: Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Grundwassers

Probe	Betonaggressivität		Stahlkorrosivität (DIN 50 929)				
	Angriffsgrad (DIN 4030)	Exposi- tions- klasse [16, 24]	Wasser/Luft-Grenze		Unterwasserbereich		Deckschicht- Güte auf feuerver- zinkten Stählen
			Flächen- Korro- sion	Mulden-/ Loch- korrosion	Flächen- korrosion	Mulden-/ Loch- korrosion	
BK 1	stark an- greifend	XA 2	sehr gering	gering	sehr gering		gut
BK 2				mittel	sehr gering	gering	
BK 5					sehr gut		
BK 9	schwach an- greifend	XA 1	-				
BK 14 GWM 1	stark angrei- fend	XA 2	sehr gering	gering	sehr gering		sehr gut
BK 20 GWM 2	schwach an- greifend	XA 1					
BK 28	nicht angreifend ¹⁾	-	-				
BK 33	stark angrei- fend	XA 2	sehr gering	gering	sehr gering		sehr gut
BK 43							
BK 44							

¹⁾ Mit einem Sulfatgehalt unterhalb der Nachweisgrenze (< 0,2 mg/l) weicht die Probe aus BK 28 als einzige von den Ergebnissen der übrigen Proben ab. Die Bewertung „schwach angreifend“ durch Analytikum Umweltlabor GmbH in Anlage 7.1.1. (Prüfbericht 13480/1) ist nicht korrekt. Als Ursache wird nach Rücksprache mit dem Labor ein Fehler bei Konservierung oder Analyse der Grundwasserprobe vermutet. Auf die Gesamtbeurteilung des Grundwassers als stark betonaggressiv hat das Ergebnis der Probe aus BK 28 keinen Einfluss.

5. Baugrundbeurteilung

Für die Baumaßnahmen zur Herstellung der neuen Flusstrasse und die parallelen Unterhaltungswege wird aufgrund der geologischen und hydrologischen Verhältnisse sowie der Standortbedingungen die **geotechnische Kategorie 2 (GK 2)** nach der DIN 1054 [17] festgelegt.

5.1 Baugrundeinschätzung

Der erkundete Baugrund ist aufgrund der Länge des Bauvorhabens und dessen Erstreckung über verschiedene geomorphologische Formen differenziert beschaffen und dementsprechend zu bewerten. Generell sind 2 Haupttypen des Baugrundes auszuhalten. Zum einen die Tallagen mit den **rezenten-tertiären Sedimenten** und zum anderen die Hochlagen und deren Flanken mit dem zersetzten/verwitterten **Buntsandstein** und lokal auflagernden pleistozänen Resten.

Für die Anlage der Flusstrasse und Herstellung der Einschnitt-Böschungen sind beide Haupttypen unter Beachtung der schichttypischen Scherfestigkeiten und charakteristischen Kennwerte prinzipiell geeignet. Besonderes Augenmerk ist beim Einschnitt im zersetzten/verwitterten **Buntsandstein** (~0+350 - 2+150) auf die tlw. gespannte Grundwasserführung bis zu ~8 m oberhalb des neuen Laucha-Bettes und die erschwerte Gewinnung des „Festgesteins mit überwiegendem Lockergesteinscharakter“ zu legen. Auch in den **rezenten-tertiären Sedimenten** der Niederungen gelten die hydrogeologischen Verhältnisse als erschwerend. Aufgrund der Grundwasserführung abzuböschender Schichten sind im Einschnitt jeweils geeignete Systeme zur schadlosen Fassung und Ableitung des zufließenden Grundwassers vorzusehen. Die Standsicherheit der Böschungen und Böschungssysteme ist unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Bedingungen und dem (Erd-)Bauwerk des Bahndammes nachzuweisen.

Die Tragfähigkeit der Schichten im potentiellen Planumsniveau der Unterhaltungswege ist ebenfalls differenziert zu beurteilen. In der Laucha-Niederung (RKS 1 - BK 3/0+350) werden stark feuchte bis wassergesättigte, überwiegend feinkörnige Sedimente der Schichten 1c, 2a und 2c/2e (allg. Auffüllungen, Oberboden, Auelehm/-mergel/-ton) den maßgebenden Untergrund bilden. Die genannten Schichten sind staunässehaltend, stark wasser-/frostopfindlich, unkonsolidiert sowie z. T. organisch und (gespanntes) Grundwasser führend und deshalb in der Summe ihrer Eigenschaft nicht oder nur sehr begrenzt tragfähig. In diesem Abschnitt sind zwingend Maßnahmen zur Herstellung eines fachgerechten, tragfähigen Unterbaus/Planums notwendig.

Im Buntsandstein-Einschnitt (~0+350 - 2+150) werden die beidseitigen Unterhaltungswege ausnahmslos in den konsolidierten Schichten 3a, 3b, 5b und 5c (Geschiebelehm/-mergel, Kiessand, tonig/schluffiger Felsersatz und verwitterter Fels) liegen, die als Planum prinzipiell ausreichend tragfähig sind. Ungeachtet dessen sind auch diese Schichten wegen des vorhandenen Feinkornanteils teilweise stark wasser-/frostepfindlich und neigen bei ungehindertem Wasserzutritt zu Aufweichung und Tragfähigkeitsverlust. Das Planum liegt in diesem Abschnitt bis zu 8 m unterhalb des Grundwasserspiegels und selbst nach langer Standzeit werden Wasserzuflüsse aus den Böschungen/dem Untergrund erfolgen.

In beiden Baugrund-Typen ist generell von ungünstigen Wasserverhältnissen nach ZTVE-StB [36] auszugehen.

5.2 Gründungsvorschlag

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind im Zuge der neuen Flusstrasse keine gegründeten Bauwerke vorgesehen. Die notwendigen Ingenieurbauwerke zur Überquerung der Flusstrasse (Brücke Knapendorf, Bahndurchlass, Brücke Elisabethhöhe) sind Gegenstand separater Geotechnischer Berichte.

5.3 Charakteristische Kennwerte für erdstatische Berechnungen

Für erdstatische Berechnungen und Nachweise können die in Tabelle 8 angegebenen charakteristischen Werte angesetzt werden.

Die Festlegungen beruhen dabei auf den Ergebnissen der Labor- und Felduntersuchungen, der makroskopischen Schichtansprache sowie Erfahrungswerten an vergleichbaren Standorten. Berücksichtigt werden die in der DIN 1055-2 [18] angegebenen Richtwerte für Lockergesteine bzw. lockergesteinsähnliche Böden und in [51] für das Kalkhydrat. Spezifische auf Einzelproben bezogene Ergebnisse bodenmechanischer Laborversuche wurden unter Berücksichtigung der generellen und variierenden Beschaffenheit der Schichten gewichtet einbezogen.

Tabelle 8: Charakteristische Kennwerte der einzelnen Schichten

Berechnungswerte		Auffüllung allgemein		Altdeponie 1	Oberboden
Schicht-Nr.		1c		1d	2a
Wichte	γ_k [kN/m ³]	18		11-13	17
Wichte unter Auftrieb	γ' [kN/m ³]	9		2-4	8
Reibungswinkel	ϕ_k' [°]	30		20-30	22
Kohäsion	c_k' [kN/m ²]	0		5	0
Steifemodul	$E_{s,k}$ [MN/m ²]	8		-	-
		Laucha-Schlamm	Torf	Auelehm/-mergel, Aueton	
Schicht-Nr.		2b	4a	2c, 2e	
Wichte	γ_k [kN/m ³]	-	11	17	
Wichte unter Auftrieb	γ' [kN/m ³]	12	1	8	
Reibungswinkel	ϕ_k' [°]	10	10	22	
Kohäsion	c_k' [kN/m ²]	0	5	10	
Steifemodul	$E_{s,k}$ [MN/m ²]	-	1	5	
Berechnungswerte		Talsand	Geschiebelehm/-mergel		Kiessand
Schicht-Nr.		2d	3a		3b
Wichte	γ_k [kN/m ³]	18	20		19
Wichte unter Auftrieb	γ' [kN/m ³]	9	10		11
Reibungswinkel	ϕ_k' [°]	30	30		35
Kohäsion	c_k' [kN/m ²]	0	25		0
Steifemodul	$E_{s,k}$ [MN/m ²]	12	12		50
		Braunkohle	Sand	Quarzit	Ton
Schicht-Nr.		4a	4b	4c	4d
Wichte	γ_k [kN/m ³]	12	19	26	21
Wichte unter Auftrieb	γ' [kN/m ³]	3	10	16	11
Reibungswinkel	ϕ_k' [°]	30	32	-	27
Kohäsion	c_k' [kN/m ²]	15	0	100	20
Steifemodul	$E_{s,k}$ [MN/m ²]	5	35	500 - 1000	15
		Felsersatz (WL Ton/Schluff/Sand)		Felsersatz (Ton/Schluff)	verwitterter Fels (Sandstein)
Schicht-Nr.		5a		5b	5c
Wichte	γ_k [kN/m ³]	20		22	21
Wichte unter Auftrieb	γ' [kN/m ³]	10		12	12
Reibungswinkel	ϕ_k' [°]	27		27	35
Kohäsion	c_k' [kN/m ²]	10		15	10
Steifemodul	$E_{s,k}$ [MN/m ²]	20		20	50

Die für erdstatische Berechnungen maßgebenden Schichtgrenzen und Grundwasserstände sind den Schichtenverzeichnissen (Anlage 3), Bohrprofilen (Anlage 4) oder dem Baugrundschnitt (Anlage 8) zu entnehmen.

5.4 Setzungen/Hebungen/Verkantungen

Durch den Aushub des Einschnittes erfolgt keine Belastung des Baugrundes, weshalb nicht mit dem Auftreten von Setzungen zu rechnen ist. Es kommt durch den Aushub des bis zu 10 m tiefen Einschnittes zu einer Entlastung der verbleibenden Schichten (i. W. verwitterter Fels/Sandstein - 5c). Durch die Entlastung und den ungehinderten Wasserzutritt (Laucha-Bett) an stark tonige/schluffige Schichten (Quellen der Tonminerale) im verwitterten Fels sind Hebungen mit Beträgen im cm-Bereich möglich. In überwiegend feinkörnigen Proben des Zersatz (5b) wurden bei 3 Quellhebungs-/druckversuchen Volumenzunahmen von 0,18 - 1,81% unter 100 kN/m² Auflast bestimmt (vgl. Anlage 5.11). Unter Beachtung der Randbedingungen (Einschnitt-Tiefe, Baugrundbeschaffenheit, Wasserführung und Quelldruck) sind Hebungen der Einschnittsohle bis zu 3 cm möglich.

Bei fachgerechter Herstellung von Untergrund, Unterbau und Oberbau der Unterhaltungswege sind durch die auftretenden dynamischen Lasten keine Setzungen zu erwarten.

5.5 Maßgebliche Bemessungsparameter für den Wegebau

Eine Frostsicherung ist nach RLW [38] nicht vorgesehen. Die Bauweise (Art/Baustoffe und Dicke der Trag-/Deckschichten) der Unterhaltungswege ist deshalb nach planerischen Anforderungen gemäß Bild 8.2 der RLW vorzusehen. Die hydrologischen Verhältnisse sind nach ZTVE-StB im gesamten Bauabschnitt als ungünstig zu beurteilen.

Die Tragfähigkeit des Untergrundes ist im Abschnitt RKS 1-BK 3 (~0+350) mit E_{v2} max. 30 MN/m² einzuschätzen. Im verwitterten Fels (5c) wird die Tragfähigkeit stark variieren - bei der Planung ist von E_{v2} ~45 MN/m² auszugehen.

Für die Tragschichten der Unterhaltungswege sind geeignete Baustoffe nach TL Gestein-StB 04 [40] bereitzustellen und gemäß ZTV LW [39] einzubauen. Auf ungebundenen Tragschichten ist ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 80$ MN/m² bei einem Verdichtungsgrad von ≥ 103 % D_{Pr} nachzuweisen.

Tragfähigkeitserhöhungen des potentiellen Planums

Speziell im Abschnitt RKS 1 - RKS 28 wird - sofern die Gradiente des Weges nicht angehoben und die besser tragfähigen, vorhandenen Auffüllungen (1c) als Planum genutzt werden - keine ausreichende Planumtragfähigkeit $E_{v2} \geq 30$ MN/m² vorliegen. Es sind deshalb Maßnahmen zur Verbesserung der Tragfähigkeit notwendig. Aus geotechnischer Sicht sind folgende Maßnahmen möglich:

- 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)
- Einarbeiten von Grobschlag (≥ 20 cm) in den weichen Untergrund in Verbindung mit Geokunststoffen und Bodenaustausch (≥ 30 cm)
- Bodenverbesserung/-verfestigung durch Zugabe geeigneter Baustoffe oder hydraulischer Bindemitteln (erfordert Eignungsuntersuchungen zur Bestimmung des Bindemittelgehaltes)
- Anhebung der Gradiente und Nutzung der Auffüllungen (1c) als Unterbau (Nachteil sind stark wechselnde Verhältnisse durch Inhomogenität und generell auszutauschenden Oberboden)

An der GOK anstehender Oberboden (2a) oder Torf (2e) ist generell vor dem Wegebau vollständig auszuheben.

Entwässerung

Nach RLW [38] sind Hangdruckwässer durch Sickerschichten, Quersickerungen oder auch Längssickerungen dauerhaft zu fassen und schadlos abzuleiten. Im Einschnitt werden die Unterhaltungswege am Fuß der Böschungen in grundwasserführenden Schichten angelegt, weshalb in jedem Fall ausreichende, filterstabile und gegen Feinkorneintrag gesicherte Entwässerungseinrichtungen gemäß RLW vorzusehen sind. Im Abschnitt RKS 1 - RKS 28 ist mindestens eine flächige Sickerschicht unter der Tragschicht einzuplanen. Die Ableitung der gefassten Wässer kann über die parallel verlaufende Laucha erfolgen. Für die Ableitung von Niederschlagswasser sind dichte Deckschichten mit einem Quergefälle von 3 % (zur Laucha) herzustellen.

5.6 Dämme/Hinterfüllung

Es sind keine Dämme und Hinterfüllungen im Bauabschnitt vorgesehen.

6. Hydrogeologische Ergebnisse

Das folgende Kapitel 6 wurde vollständig durch Herrn Geologieingenieur M. Wähner vom Ingenieurbüro Maik Wähner, Chemnitzer Str.40 in 09599 Freiberg erarbeitet.

6.1 Grundwasserdynamik

6.1.1 Ist-Zustand

Für die Beurteilung der Grundwasserdynamik des Ist-Zustandes stehen die Grundwassergleichenpläne des Haldenmonitorings April und September 2008 [41, 42] zur Verfügung. Die Pläne sind in Anlage 9, Blatt 1 und 2 dargestellt.

In den Gleichenplänen ist gut die Vorfluterwirkung der Laucha für das Grundwasser erkennbar. Die von Südwest nach Nordost zur Saale verlaufende Grundwasserfließrichtung wird durch die hydraulische Vorfluterwirkung lokal in Richtung Laucha umgelenkt. Die Wasserscheide zwischen der regionalen Fließrichtung und der lokalen Fließrichtung ist vom Lauf der Laucha in nördlicher Richtung rund 600 m entfernt. Die hydraulischen Gefälle zur Laucha können standortbezogen wie folgt aus den Gleichenplänen überschlägig abgeleitet werden:

- Gefälle von der Halde nach SE senkrecht zur GWM 7372 $i = 0,021$
- Gefälle aus Richtung GWM 6101 senkrecht zur Laucha nach SE $i = 0,02$
- Anstieg von der Laucha senkrecht über die GWM 4216 nach SSE $i = 0,012$

Der Vergleich der Gefälle zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen dem Anstrom aus Norden und Süden zur Laucha. Der nördliche Anstrom weist das größere Gefällepotential auf. Ursache des erhöhten Gefällepotentials in nördlicher Richtung ist zum einen die künstliche Geländeerhöhung durch die Halde, zum anderen kann für den Grundwasserleiter auf eine geringere hydraulische Durchlässigkeit in nördlicher Richtung geschlossen werden. In südliche Richtung und damit in Richtung der geplanten Flusstrasse ist ein geringeres Gefälle vorhanden. Im Vergleich der Anstromrichtungen ist der südliche Grundwasseranstrom zur Laucha als geringer anthropogen beeinflusst zu bewerten.

6.1.2 *Veränderung durch die Lauchaumverlegung*

Durch die Umverlegung der Laucha wird die drainierende Wirkung des Flusslaufes mindestens im Bereich der DHS um 300 m bis 700 m nach Süden verschoben. Diese Verschiebung lässt wiederum eine Verschiebung der nördlich gelegenen Wasserscheide nach Süden um 300 bis 700 m erwarten. Die Verschiebung der Wasserscheide bewirkt nach jetziger Einschätzung einen Grundwasserspiegelanstieg unterhalb der Halde als auch im DOW-Gelände. Eine ausreichend genaue Prognose dieses möglichen Wasserspiegelanstieges nördlich der heutigen Laucha ist auf der Datengrundlage der Baugrunderkundung nicht möglich. Werte im Dezimeterbereich, in ungünstigen Bereichen auch im Meterbereich sind aber nicht auszuschließen.

Nach Süden wird durch die Umverlegung der Laucha die drainierende Wirkung der Laucha verstärkt. Durch die drainierende Wirkung erfolgt im bisher wenig durch die Laucha beeinflussten Bereich eine deutliche Grundwasserspiegelabsenkung. Nach dem derzeitigen Planungsstand und den bei der Baugrunderkundung angetroffenen Grundwasserständen ist unmittelbar am neuen Laucha-Bett von einer mittleren Absenkung des Grundwasserspiegels um 4,4 m auszugehen. Unter Ansatz des im aktuellen Zustand vorhandenen hydraulischen Gefälles von $i = 0,012$ errechnet sich überschlägig eine Reichweite der Drainagewirkung von rund 370 m. Maximal wird eine Absenkung am neuen Laucha-Bett um 8,7 m erreicht, wodurch sich an diesen zentralen Punkten der neuen Trasse die Reichweite auf 725 m erhöht.

Damit wird die nördliche Ortslage Knapendorf und die gesamte Ortschaft Annemariental von der Absenkung des Grundwasserspiegels erfasst. **Voraussetzung der überschlägigen Prognose ist, dass die hydrogeologischen Verhältnisse zwischen dem aktuell durch die Laucha beeinflussten Bereich und dem künftig beeinflussten Bereich weitgehend identisch sind.**

Eine genauere Prognose der Umverlegung der Laucha auf den Grundwasserstand und die Grundwasserdynamik wäre nur durch weitgehendere Berechnungen vorzugsweise mit einem numerischen Modell möglich. Für eine Verbesserung der Aussage mit einer numerischen Modellrechnung ist der durch die lokale Baugrunderkundung gewonnene Datenbestand zu lokal und in Bezug auf die hydraulischen Aquiferparametern zu unsicher.

Weiterführende grundwasserhydraulische Untersuchungen sind an der Baumaßnahme und deren weiterem Umfeld unter Einbeziehung von Ergebnissen im Rahmen des ökologischen Großprojektes anzuraten (vgl. 6.5).

6.2 Grundwasserstand

Der Grundwasserstand des GWL 1, 2 und 3 im vorgesehenen Baufeld wird maßgeblich durch die Laucha und die Grundwasserneubildung bestimmt.

Für die Beurteilung der Grundwasserstandsentwicklung stehen für den oberen Grundwasserleiter (GWL 1) die im Rahmen des halbjährlichen Haldenmonitorings gemessenen Grundwasserstände zur Verfügung. Der vorliegende Messzeitraum liegt zwischen dem Frühjahrsmonitoring 2001 und der Herbstmessung 2008 [15]. Im Messzeitraum war an den im Baufeld vorhandenen Grundwassermessstellen eine maximale Wasserspiegelschwankung um 1,5 bis max. 2,4 m zu verzeichnen. Der Hochpunkt ist in den Messreihen der Frühjahrsmessung 2003 zu erkennen. Dieser Wasserspiegel wird auf die extremen Niederschlagsereignisse im Jahr 2002 zurückzuführen sein.

Das dieses Ereignis noch über ein 1/2 Jahr später messbar war, lässt auf ein gutes Speichervermögen des Grundwasserleiters bei geringer bis mäßiger hydraulischer Durchlässigkeit schließen. Der Grundwasserstand selbst wird ereignisbezogen noch deutlich über das gemessene Niveau angestiegen sein. Wie in Kap. 7.2 erwähnt, werden extreme Grundwasserstände auf dem Geländeniveau und die Ausbildung von temporären Feuchtflächen möglich sein.

Zum Zeitpunkt der Baugrunderkundung wurden jahreszeitlich bedingt und in Bezug auf die vorliegenden Messreihen Grundwasserstände unter dem langfristigen mittleren Grundwasserstand angetroffen. Der niedrigste Grundwasserstand wird noch einige Dezimeter unter dem Niveau der Baugrunderkundung anzutreffen sein.

Für die Beurteilung des Grundwasserstandes liegen die Messungen der Wasserstände in den direkten Baugrundaufschlüssen vor. Diese Wasserstände sind durch den Bohrprozess sowie den nicht eindeutig definierbaren Aufschlusshorizont, Einfluss von Schichtwasser und unterlagernden Grundwasserleitern verfälscht. Aus dieser Verfälschung resultieren die deutlichen Schwankungen der Wasserstände und damit der Grundwasserspiegeloberfläche in den Schnitten der Anlage 8.

Im Rahmen der Baugrunderkundung wurden entlang der geplanten Trasse drei Grundwassermessstellen errichtet. Die Messstellen wurden mit automatischen Systemen zur Messung und Speicherung des Grundwasserstandes ausgestattet. Bei einer ausreichenden Beobachtungszeit möglichst über ein Jahr sollten die Messreihen hinsichtlich der Grundwasserstandsentwicklung ausgewertet werden.

6.3 Hydraulische Durchlässigkeit des Untergrundes

6.3.1 Siebanalysen

Aus den Bohrkernen wurde eine Anzahl von Proben entnommen und über Sieb-/Schlamm-Analysen und die hydraulische Durchlässigkeit berechnet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Kap. 4.2, 4.3 und Tab. 4 dargestellt und bewertet.

Die k_f -Werte der betrachteten zu entwässernden Schichten (i. W. 5a - 5c) schwanken nach den Siebanalysen (Anlage 5.1) zwischen $k_f = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s und $k_f = 1,4 \cdot 10^{-9}$ m/s (Mittelwert $1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s, ohne Berechnungen nach SEELHEIM). Die Sieblinien- k_f -Werte streuen in weiten Grenzen und belegen die differenzierte petrografische Beschaffenheit der Schichten. Die k_f -Werte der WD-Versuche (Anlage 5.10) liegen etwa 1 Zehnerpotenz niedriger als die k_f -Werte aus den Siebanalysen. Die laborativen Durchlässigkeitsversuche (Anlage 5.6) liegen um ca. 1 Zehnerpotenz unter den geringsten Sieblinien- k_f -Werte und bis zu 4 Zehnerpotenzen unter den WD-Tests.

In Bezug auf die anderen angewandten Methoden der k_f -Wertbestimmung müssen die Ergebnisse der Siebanalysen als erhöht eingestuft werden.

6.3.2 Durchlässigkeitsbestimmungen an ungestörten Bodenproben

Die Durchlässigkeitsbestimmungen erfolgten laborativ an ungestörten Bodenproben. Mit diesen Versuchen wird im Wesentlichen die vertikale Durchlässigkeit bestimmt. Die horizontale Durchlässigkeit kann am Standort entsprechend Kap. 4.3 deutlich von der vertikalen Durchlässigkeit abweichen. Auf Grund der Feinschichtung ist eine deutlich geringere vertikale Durchlässigkeit in Bezug zur horizontalen Durchlässigkeit zu erwarten. Dies bestätigen die Ergebnisse der Durchlässigkeitsbestimmungen mit k_f -Werten zwischen $3,6 \cdot 10^{-11}$ m/s und $4,1 \cdot 10^{-9}$ m/s, die jedoch an überwiegend feinkörnigen Proben der Schichten 5a und 5b (Felszersatz) erfolgten.

6.3.3 *Wasserdruckversuche (WD-Tests)*

Wasserdruckversuche wurden in den Bohrungen BK 6, BK 9, BK 26 und BK 30 im Teufenbereich zwischen 8 und 10 m unter Gelände durchgeführt.

Bei WD-Tests wird in einem abgesperrten Bohrloch Wasserdruck aufgegeben. Die Druckaufgabe erfolgt dabei in der Regel in mehreren Druckstufen. Für eine ausreichend repräsentative Auswertung werden mindestens 5 Druckstufen gefahren, bei denen der Druck allmählich erhöht wird. Anschließend erfolgten wieder eine stufenweise Druckreduzierung und die Abgleichsmessung nach der letzten Druckaufgabe. In jeder Druckstufe sollte zum Ende der Druckstufe eine weitgehende Konstanz des Druckverlaufes und der Aufgaberate erreicht werden.

Die Auswertung des WD-Testes erfolgt qualitativ über ein Aufgaberate (Q)-Druck (P)-Diagramm (Anl. 5.10). Im Diagramm wird für jeden Druck die dazugehörige Aufgabemenge aufgetragen und die jeweiligen Punkte in der Reihenfolge der Stufen miteinander verbunden. Die dabei entstehende Hystereseschleife liefert wichtige Hinweise auf die Verhältnisse im Gebirge während des Versuches. Neben der qualitativen Auswertung eines WD-Tests ist auch dessen quantitative Auswertung mit Berechnung des k_f -Wertes möglich. Die Auswertung geht auf die Berechnung nach KOHLBRUNNER (1947) zurück.

In der Betrachtung geht man von der Annahme eines homogenen Gebirges mit radialsymmetrischen und konstantem Durchfluss bei einem stationären Regime aus. Da dieser Zustand in der Natur praktisch nicht anzutreffen ist, muss die k_f -Wertberechnung in ihrer Aussagekraft als Näherung innerhalb eines Gültigkeitsbereiches betrachtet werden. In den im Anhang beiliegenden Berechnungen des k_f -Wertes wurde folgender Ansatz verwendet:

$$k_f = \frac{Q}{2\pi \cdot L \cdot H} \cdot \ln \frac{L}{r} \quad [\text{m/s}]$$

Q = abgepresste Wassermenge [m^3/s]

L = freie Bohrlochstrecke [m]

H = in der Teststrecke wirksamer Überdruck

r = wirksamer Bohrlochradius

Die vorstehende Formel ist für den k_f -Wertebereich zwischen $k_f = 1 \cdot 10^{-8}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$ m/s gut anwendbar.

Bei den WD-Tests in BK 6, BK 9 und BK 30 wurde entsprechend den Versuchsprotokollen ein versuchsbedingter Wasseranstieg oberhalb des Packers z. T. bis zum Überlauf des Bohrloches gemessen. In der Regel erfolgte der Wasserspiegelanstieg über dem Packer verzögert, so dass eher von einer gebirgsbedingten Umläufigkeit, z. T. im Zusammenhang mit Aufreiß- bzw. Freispüleffekten ausgegangen werden kann.

Bei der direkten Umläufigkeit in der Bohrung werden die Berechnungsergebnisse durch den Wasserverlust verfälscht. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Fall höhere Verlustraten und k_f -Werte bestimmt werden, wie sie tatsächlich in der Teststrecke vorhanden sind.

Bei der indirekten Umläufigkeit über das Gebirge ist die Verfälschung der Versuchsergebnisse deutlich geringer. Im unmittelbaren Umfeld des Bohrloches kann jedoch das Gestein durch den Bohrprozess in seiner hydraulischen Eigenschaft verändert sein. In den meisten Fällen wird durch Auflockerung und Ausspülung eine Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit auftreten. Auch in diesem Fall werden höhere Verlustraten und k_f -Werte bestimmt, als sie tatsächlich im Testbereich vorhanden sind. Im Fall der Umläufigkeit über das Gebirge besteht aber eine Wahrscheinlichkeit, dass die Versuchsergebnisse den tatsächlichen Gegebenheiten nahe kommen.

In der Auswertung entsprechend Anlage 5.10 wurde berücksichtigt, dass durch die Baumaßnahme keine Veränderung der Lagerungsdichte durch Druckaufgabe erfolgt. Aus diesem Grund werden die k_f -Werte der Druckstufen vor erfolgten Aufreiß- bzw. Freispüleffekten verwendet. Die Einzelbewertung der einzelnen Versuche erfolgt im jeweiligen WD-Kurzbericht (Anl. 5.10). In Summe liegen die k_f -Werte der WD-Tests zwischen $7 \cdot 10^{-7}$ m/s und $5,8 \cdot 10^{-6}$ m/s. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen ist sowohl durch die Inhomogenität des Gebirges als auch durch die Grenzen der Untersuchungsmethode begründet.

In Betrachtung der durchgeführten Untersuchungen zur k_f -Wertbestimmung können die WD-Tests auf Grund der Durchführung vor Ort in den zu untersuchenden Schichten in Bezug auf die Repräsentanz als am aussagekräftigsten angesehen werden. Da zudem die k_f -Werte der WD-Tests zwischen den der Siebanalysen und der laborativen Durchlässigkeitsbestimmung liegen, wird für die weiterführende Berechnung der mittlere aus den WD-Tests bestimmte k_f -Wert von:

$$k_f = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

verwendet.

6.4 Berechnung der zu erwartenden Grundwassermengen zur neuen Trasse der Laucha

Für die Berechnung des Grundwasserzustroms zum neuen Bett der Laucha wird das Darcysche Gesetz:

$$Q = k_f \cdot F \cdot \frac{h}{l}$$

verwendet.

Q = Abflussmenge [m^3/s]

k_f = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

F = durchflossene Fläche [m^2]

l = Länge des betrachteten Fließweges

h = Höhe des Wasserspiegelunterschiedes auf der Länge l

Als Berechnungsansatz kommen folgende Parameter zur Anwendung:

- ein hydraulisches Gefälle von $i = 0,012$ (entspricht h/l)
- ein durchflossene Fläche von:
 - für die Wasserstände der Baugrunderkundung = 10.600 m^2
 - für einen um 2,4 m erhöhten Grundwasserstand = 16.300 m^2
 - für einen um 0,5 m niedrigeren Grundwasserstand = 9.400 m^2
- ein mittlerer k_f -Wert von $2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

Im Ergebnis der Berechnung sind folgende Zuflussmengen aus dem Grundwasser zur Trasse des neuen Laucha-Bettes von Nord und Süd berechenbar:

- für einen während der Baugrunderkundung angetroffenen Grundwasserstand
 $Q = 0,5 \text{ l/s} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$
- für einen um 2,4 m gegenüber der Baugrunderkundung erhöhten (= Maximalwert der bisherigen Grundwasserganglinien) Grundwasserstand
 $Q = 0,78 \text{ l/s} = 2,8 \text{ m}^3/\text{h}$
- für einen um 0,5 m gegenüber der Baugrunderkundung niedrigeren Grundwasserstand
 $Q = 0,46 \text{ l/s} = 1,7 \text{ m}^3/\text{h}$

Die Ergebnisse der Berechnungen stellen den stationären Zustand nach Einstellung des hydraulischen Gleichgewichtes und damit den Zustand einige Jahre nach Fertigstellung der neuen Flusstrasse dar. Die Mengen repräsentieren in Bezug auf die Grundwasserneubildung einen Mittelwert, der sich aus dem hydraulischen Gefälle der Gleichenpläne und dem Speichervermögen der Grundwasserleiter ergibt. Nach Abschätzung der vorliegenden Grundwasserganglinien wird es sich um ein Jahresmittel handeln.

Eine Präzisierung dieser Annahme sollte aber an Hand einer ereignisbezogenen Auswertung der laufenden Grundwasserstandsmessungen erfolgen. **Bei der Umsetzung der Baumaßnahme ist im Anfangsstadium durch die Porenentwässerung mit deutlich höheren Zuflussmengen zu rechnen.** Extreme Grundwasserneubildungsereignisse lassen ebenfalls zeitlich begrenzt einen deutlich über den ausgewiesenen Werten liegenden Grundwasserzustrom zur Laucha erwarten.

In Bezug auf die Aussagekraft des Berechnungsergebnisses muss auf die Unsicherheiten bei der k_f -Wertbestimmung hingewiesen werden. Der k_f -Wert ist aber ein wesentlicher Faktor der Mengenermittlung. Zur Veranschaulichung werden die Abflussmengen aus den mittleren k_f -Werten der Siebanalysen mit $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ und der Durchlässigkeitsversuche mit $k_f = 4 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ wie folgt ausgewiesen:

- $Q_{\text{Siebanalysen}} = 4,3 \text{ l/s} = 15,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- $Q_{\text{Durchlässigkeitsversuche}} = 0,0001 \text{ l/s} = 0,00036 \text{ m}^3/\text{s}$

Grundlage der Beispielrechnung sind die bei der Baugrunderkundung angetroffenen Grundwasserstände.

Aus dem Unterschied der Berechnungsergebnisse zeigt sich, dass für eine Verbesserung der Aussagekraft weiterführende Erkundungsarbeiten notwendig sind. Im nachfolgenden Kapitel 6.5 werden Empfehlungen für ein weiterführendes Erkundungsprogramm gegeben.

Für die überschlägige Berechnung des möglichen Wasserandranges aus den quartären Sanden wurden die k_f -Werte der Siebanalysen mit $9 \cdot 10^{-5}$ m/s verwendet. In der überschlägigen Berechnung wurden der maßgeblich betroffene Abschnitt zwischen der RKS 30 und der BK 3 betrachtet. Der Abschnitt weist eine Länge von rund 150 m auf. Nach der Methode von Dupuit-Thiem errechnet sich im stationären Zustand für diesen Abschnitt unter Verwendung der vorgenannten Parameter ein Wasserandrang von ca. 5 l/s. Auf Grund der Unsicherheit bei der k_f -Wertbestimmung und der nur punktuellen Aussagekraft muss die ausgewiesene Wassermenge kritisch betrachtet werden - eine Überprüfung ist zu empfehlen. Die Quantifizierung der zufließenden Wassermenge beim Aushub dieses Abschnittes (RKS 30-BK 3) der Flusstrasse ist nur unter Berücksichtigung des konkreten Bauablaufes sinnvoll, da das Tempo des fortschreitenden Aushubs und die Größe der Baugrube(n) das hydraulische Gefälle und damit den Zufluss wesentlich bestimmt.

6.5 Handlungsempfehlungen

Im ersten Schritt sollten die hydraulischen Durchlässigkeiten durch Feldversuche bestimmt werden. Als beste Methode zur Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit und des Speichervermögens des Grundwasserleiters werden Pumpversuche vorgesehen. Im Vorfeld der Pumpversuche werden entlang der geplanten Trasse an drei Standorten je ein Grundwassermessstellenpaar vorgeschlagen. Je eine Grundwassermessstelle soll als Pumpbrunnen verwendet werden. Die als Pumpbrunnen verwendete Grundwassermessstelle sollte einen Ausbaudurchmesser DN 125 und eine Tiefe von 15 m unter Gelände aufweisen. Die zweite Beobachtungsmessstelle wird in einer Entfernung von 8 bis 10 m zum Pumpbrunnen vorgesehen, für diese ist ein Ausbaudurchmesser DN 50 bei analoger Tiefe zur Pumpmessstelle ausreichend.

Die Ziele der Messstellenanordnung sind wie folgt zu benennen:

- Bestimmung der Transmissivität und des k_f -Wertes über das Absenkungs- und Wiederanstiegsverhalten des Pumpbrunnens und der Beobachtungsmessstelle
- Berechnung des Speicherkoeffizienten aus dem Absenkungsverhalten der Beobachtungsmessstelle

Die Messstellengruppen sollten wenig südlich der geplanten Flusstrasse gleichmäßig entlang der Trasse verteilt unter Berücksichtigung der Standortverhältnissen errichtet werden.

Nach Errichtung der Grundwassermessstellen wird für jede Messstellengruppe ein achtstündiger Pumpversuch mit anschließender Wiederanstiegsmessung vorgesehen. Aus diesen Pumpversuchen sind dann die voranstehend aufgezählten hydraulischen Aquiferparameter ausreichend genau bestimmbar.

Auf Basis der neu ermittelten Daten ist die Berechnung des hydraulischen Einflusses der neuen Flusstrasse der Laucha mit einem vereinfachten numerischen Modell für den oberen Grundwasserleiter zu empfehlen. Die Berechnung sollte instationär erfolgen, so dass auch Modellrechnungen für die Bauphase und den sich unmittelbar an den Bau anschließenden Zeitraum möglich sind. In der Modellrechnung sind zudem Einflüsse der Drainage-Wirkung besser abschätzbar.

Die aufgeführten Empfehlungen sind erste Handlungsansätze und werden im Rahmen eines separaten, weiterführenden Untersuchungskonzeptes weiter ausgebaut.

7. Bautechnische Hinweise

7.1 Böschungen / Baugruben

Baugruben im eigentlichen Sinne werden bei den geplanten Baumaßnahmen nach derzeitigem Planungsstand nicht erforderlich sein. Der Einschnitt sollte von Beginn an in seiner endgültigen Form hergestellt werden, damit die die Sicherung der Abgrabungen durch die endgültige Böschungsneigung gegeben ist.

Für die Sicherung bauzeitlicher Abgrabungen gelten die Regeln der DIN 4124 [28], nach den unbelasteten Wänden von Baugruben in nicht wasserführenden Schichten bis zu einer Tiefe von 1,25 m senkrecht angelegt werden können. Bei größeren Tiefen oder Wasserführung ist gemäß den Forderungen der DIN 4124 abzuböschten (feinkörnige bzw. mindestens steifplastische Schichten bis max. 60°, gemischt- bis grobkörnige, inhomogene weiche oder wasserführende Schichten bis max. 45°) bzw. es ist nach statisch-konstruktiven Erfordernissen zu verbauen. Nach 5 m Böschungshöhe ist bei geböschten Baugruben ohne separaten Standsicherheitsnachweis eine mindestens 1,5 m breite Berme anzulegen. Um Baugruben herum ist ein $\geq 0,6$ m breiter Streifen von sämtlichen Lasten freizuhalten.

Die Anlage von Böschungen zur Baugrubensicherung ist in engem Zusammenhang mit der Wasserhaltung und dem Bau der Flusstrasse zu betrachten und zu planen (vgl. Punkt 7.2).

Die Standsicherheit der Einschnitt-Böschungen bzw. des Böschungssystems in Verbindung mit dem zu unterquerenden Bahndamm bei ~1+780 ist nach DIN 4084 nachzuweisen. Zur Feststellung des Schichteinfallens (potentielle Gleitflächen) sind weitere Erkundungen vorzusehen oder es ist während der Aushubarbeiten das Einfallen der angeschnitten Schichten im Buntsandstein zu dokumentieren - sofern annähernd böschungsflächenparalleles Einfallen registriert wird, sind die potentiellen Gleitflächen in die Standsicherheitsberechnungen einzubeziehen und die Böschungsgeometrie ggf. anzupassen bzw. es sind konstruktive Sicherungen einzubauen. Auf den Böschungen sind ab dem Niveau des Grundwasserhöchststandes konstruktive Sicherungen zum schadlosen Grundwasser-Austritt vorzusehen, mit denen zufließendes Grundwasser bzw. auch oberflächennahes Schicht-/ Sickerwasser in freiem Gefälle in den Einschnitt abgeführt werden kann.

Bei fachgerecht geplanter und umgesetzter Wasserhaltung (vgl. 7.2) und permanenter Absenkung des Grundwasserspiegels mittels Sickerschichten auf den Böschungen und der Einschnitt-Sohle ist die Gefahr des hydraulischen Grundbruchs im Bereich der Einschnittsohle weitgehend ausgeräumt. Der Nachweis ist in Verbindung mit hydrologischen Modellierungen und Standsicherheitsberechnungen von planerischer Seite zu führen.

7.2 Wasserhaltung

Zum Zeitpunkt der Baugrunderkundung (04 - 07/2009) wurde an allen Aufschlüssen mit Ausnahme des Sch 1 Grundwasser angetroffen. Je nach geomorphologischer Situation wurden stark unterschiedliche Flurabstände festgestellt. In den Niederungen (RKS 1 - RKS 28 und RKS 33 - 37) liegen die Ruhewasserstände bei 0,35 bis ~1,0 m unter GOK, wobei es sich in der Regel um gespanntes Grundwasser handelt, dessen Anschnitt an der UK der undurchlässigeren Deckschichten (i. W. Auelehm/-mergel/-ton) erfolgt. Im Einschnitt-Bereich (0+000 - 2+200) wurden überwiegend Ruhewasserstände zwischen 2 und 4 m unter GOK registriert, wobei auch hier der Wasseranschnitt in der Regel tiefer erfolgt. Das heißt, auch hier ist das Grundwasser gespannt. Die Angabe genauer Druckhöhen ist nicht möglich, da meist mehrere wasserführende Schichten angeschnitten wurden und eine genaue Zuordnung zwischen Ruhewasserstand und Anschnitt-Tiefe nicht möglich ist.

Die angegebenen Wasserstände sind keine Höchstwasserstände. Aufgrund der differenzierten Verhältnisse, des Einflusses der Laucha und den kleinräumigen Wechsel wasserführender und geringleitender bzw. stauender Schichten im mittleren Buntsandstein sind zuverlässige Prognosen der Höchstwasserstände mit dem derzeitigen Kenntnisstand nicht möglich. Im Bereich der Talauen (RKS 1 - RKS 28 und RKS 33 - 37) ist erfahrungsgemäß und in Abhängigkeit von Saison und Niederschlagsintensität mit Grundwasserflurabständen und Schicht-/Sickerwasserzuflüsse im Niveau der GOK zu rechnen. Für Höchstwasserstände im Einschnitt-Bereich sind die langfristigen Daten der neu errichteten GWM 1 - 3 auszuwerten.

Mit Ausnahme des Kiessandes (3b) und mit Abstrichen auch des Talsandes (2d) sind die wasser-gesättigten und wasserführenden Schichten schwer entwässerbar. Kurzfristig wirkende, voreilende offene oder geschlossene Wasserhaltungen sind demnach nur stark begrenzt einsetzbar oder in ihrer Reichweite stark eingeschränkt. Da im fertig gestellten Einschnitt ohnehin zufließendes Grundwasser permanent zu fassen und abzuleiten ist, sollte die Bauwasserhaltung in engem Zusammenhang mit der Anlage/Sicherung der Böschungen und der endgültigen Wasserfassung/-ableitung betrachtet und geplant werden (vgl. Punkt 7.1).

Aus geotechnischer Sicht wird ein großflächiger Aushub über die gesamte Einschnittbreite empfohlen der mit flachen Böschungen tiefer geführt wird. Die Entwässerung kann dabei über mehrere weit lateral voreilende, tiefe Stichgräben erfolgen, die in den bereits fertigen Einschnitt entwässern. Mit fortschreitendem Aushub sind die Böschungen unverzüglich gegen Materialaustrag zu sichern. Die nach [3] auf den Einschnittböschungen vorgesehenen, beidseitig mit Geovlies filterstabil ausgestatteten Dränageschichten (80 cm, Regelprofil Variante 1) sind aus geotechnischer Sicht für die Fassung und schadlose Ableitung zufließender Sicker-/Schicht- und Grundwässer geeignet. Bei durchlässiger Sicherung (Abdeckung) der Böschungen und Gestaltung des neuen Laucha-Bettes und somit langfristiger Grundwasserabsenkung im Umfeld des Einschnittes wird nach derzeitigem Kenntnisstand keine Sicherung gegen Auftrieb notwendig sein. Eine vollständige Abdichtung des Einschnittes gegen zufließendes Grundwasser ist zwar prinzipiell möglich, erscheint aufgrund der Kosten für Abdichtung und Auftriebssicherung nicht wirtschaftlich.

Bei der weiteren Planung ist der Einfluss der Wasserhaltung und im Endzustand permanenten Grundwasserabsenkung auf die hydrologische Situation des Standortes und seines Umfeldes zu prüfen (u. a. Brunnenstandorte, vgl. Anlage 10.1).

7.3 Nachbarsicherung

Am Standort vorhandene erdverlegte Leitungen sind vor Baubeginn fachgerecht zu sichern bzw. umzuverlegen. Bestehende Wege/Straßen werden nach derzeitigem Kenntnisstand zurückgebaut bzw. im Zuge von Brückenbauwerken im künftigen Einschnitt-Bereich neu erstellt.

Bei der weiteren Planung ist der Einfluss des massiven Eingriffs in die hydrologische Situation am Standort und dessen Umfeld zu prüfen und zu prognostizieren. Insbesondere ist auch der Einfluss der künftig durch die Lauchaumverlegung dauerhaft veränderten Grundwasserstände auf die Standsicherheit der Böschungssysteme der Hochhalde Schkopau zu prüfen. Generell ist durch einen ansteigenden Grundwasserspiegel nördlich des alten Laucha-Laufes (vgl. 6.1.2.) von einer negativen Beeinflussung der Standsicherheiten der Böschungssysteme der Hochhalde auszugehen.

Südlich des alten Laucha-Laufes im Bereich mit Grundwasserspiegelabsenkungen (vgl. 6.1.2) durch die dränierende Wirkung des neuen Laucha-Einschnittes sind Setzungen des entwässerten Baugrundes (lokal bis in die Ortslagen Annemariental und nördliches Knapendorf) zu erwarten. Stichhaltigere Aussagen hinsichtlich zu erwartender Setzungen sind nur mit Hilfe des unter 6.5 empfohlenen verfeinerten Modells der oberen GWL zu treffen.

Auswirkungen auf bestehende Nutzungen des Grundwassers (vgl. Anlage 10) sind zu vermeiden oder anderweitig zu regeln.

Der Bahndamm der DB-Strecke Merseburg-Halle/Neustadt ist in die Standsicherheitsberechnungen einzubeziehen und nach den Anforderungen der DB AG zu sichern. Erforderliche Schutzmaßnahmen (auch für die Unterquerung mittels Durchörterung) für den Bahndamm sind in Abstimmung mit dem zuständigen Regionalbereich der DB AG festzulegen. Der Bahndamm ist in ein Beweissicherungssystem einzubinden, dass vor, während und nach den Bauarbeiten den Zustand bzw. die Standsicherheit des Bahndammes überwacht und dokumentiert.

7.4 Verlegung von Rohrleitungen

Die am Standort vorhandenen, die geplante Flusstrasse querenden, unterirdischen (Rohr-)Leitungen (u. a. für chemische Halbprodukte) werden beim Neubau der Flusstrasse umzuverlegen sein. Je nach Bauweise der Leitungen und den Vorgaben der Eigentümer/Betreiber sind fachgerechte Lösungen für die Querung der Flusstrasse (Dükerung, Brückenkonstruktionen, Umverlegung) vorzusehen.

7.5 Bohr- und Rammbarkeit der Böden

Tabelle 9: Einschätzung der Bohr- und Rammbarkeit der erkundeten Schichten unter Berücksichtigung der jeweils überlagernden Schichten

Schicht	Bodenart	Bohrbarkeit	Rammbarkeit Schlagramme	Rammbarkeit Vibrationsramme
1c	allg. Auffüllungen	gut ¹⁾	mittel - gut ¹⁾	mittel - gut ¹⁾
1d	Altdeponie 1	gut ¹⁾	-	-
2a	Oberboden	gut	gut	gut
2c, 2e	Auelehm/-mergel/-ton	gut	gut	gut
2d	Talsand	gut	gut	gut
3a	Geschiebelehm/-mergel	gut	gut - mittel	mittel
3b	Kiessand, Sand	gut	mittel - schwer	schwer
4a	Braunkohle	gut - mittel	schlecht - sehr schlecht	sehr schlecht
4b	Sand	gut	mittel - schwer	schwer
4c	Quarzit	schwer	nicht möglich	nicht möglich
4d	Ton	gut - mittel	sehr schwer - nicht möglich	sehr schwer - nicht möglich

Fortsetzung Tabelle 9

Schicht	Bodenart	Bohrbarkeit	Rammbarkeit Schlagramme	Rammbarkeit Vibrationsramme
5a	Felsersatz (WL Ton/Schluff/Sand)	gut	mittel - schwer	schwer
5b	Felsersatz (Ton/Schluff)	gut	mittel - schwer	schwer - sehr schwer
5c	verwitterter Fels (Sandstein)	gut - mittel ²⁾	sehr schwer - nicht möglich ²⁾	sehr schwer - nicht möglich ²⁾

¹⁾ In anthropogenen Schichten sind Bauwerksreste und/oder Steine/Blöcke als Bohr-/Rammhindernisse nicht auszuschließen.

²⁾ Auf Grund zunehmender Festgesteinseigenschaften sowie auftretender unverwitterter Bänke/Einlagerungen ist für Rammungen im Felsersatz mit erschwerten Bedingungen (u. a. Beräumung von Bohr- und Rammhindernissen, Rammhilfen, Vorbohren) zu rechnen.

8. Umweltrelevante Untersuchungen

8.1 Schädliche Bodenveränderungen, Altlasten, altlastverdächtige Flächen

Mit Ausnahme des Deponiekörpers (Altdeponie 1) zwischen 0+600 und 1+350 sind am Standort keine Altlasten oder Altstandorte bekannt. Die Altdeponie 1 soll nach [3] vor Beginn der Bau-
maßnahmen zur Laucha-Umverlegung vollständig aufgenommen und innerhalb der DHS umge-
lagert werden.

Nach den Angaben in den Schichtenverzeichnissen und eigener organoleptischer Spezifizierung
waren alle entnommenen Bodenproben hinsichtlich umweltrelevanter Schadstoffe unauffällig -
es gibt daher keine Anzeichen und Hinweise auf das Vorhandensein von kontaminierten Böden.

An den in Tab. 10 aufgeführten Bodenproben wurden Untersuchungen (ohne Festigkeitspara-
meter und Brennwert) nach der Anlagengenehmigung der Hochhalde Schkopau durchgeführt,
um eine mögliche Verwertung/Entsorgung potentieller Aushubmassen auf der DHS zu prüfen.
Die Prüfberichte sind als Anlage 7.2.1 dem Bericht beigelegt.

Tabelle 10: Deklaration der untersuchten Bodenprobe nach Anlagengenehmigung der Hochhalde Schkopau [46] und nach LAGA M 20, TR Boden [35] und Bewertung des untersuchenden Labors [47]

Schicht	Beschreibung	Aufschluss, Probe	Tiefe [m]	Anlagengenehmigung DHS erfüllt?	maßgebender Parameter (DHS)	LAGA M 20, TR Boden (relevanter Parameter)
1c	allg. Auffüllung	RKS 3 G1	0,18 - 0,5	ja (DK II)	TOC	> Z2 (Sulfat, el. Leitfähigk.)
1c 2c	allg. Auffüllung mit Auelehm/-mergel	RKS 21 G1-G5	0,0 - 3,0	ja (DK III)	TOC	> Z2 (PAK, el. Leitfähigk.)
1c	allg. Auffüllung	RKS 30 G1+G2	0,4 - 2,7	ja (DK 0)	-	Z1 (TOC)
1c		BK 1	0,1 - 0,9	nein (13940) ¹⁾	TOC	> Z2 (TOC)
1c		BK 1	0,1 - 0,9	ja (DK II) ¹⁾	-	Z2 (TOC)
1c		BK 2a	1,0 - 2,0	ja (DK I)	-	> Z2 (Sulfat)
1c 1d	allg. Auffüllung Altdeponie 1	BK 14	2,5 - 3,5	ja (DK 0)		Z2 (Sulfat)
1c	allg. Auffüllung	BK 24	0,0 - 0,7	ja (DK 0)	-	Z0
1c		BK 30	0,0 - 0,0	ja (DK II)	Ammonium-N	Z2 (Sulfat)
1c	Auffüllung (Unterbau)	BK 44	0,25 - 1,1	ja (DK I)	DOC, Fluorid	Z1 (TOC)
2a	Oberboden	Sch 1	0,3 - 0,48	ja (DK II)	(Flügelscherfestigkeit)	Z1 (TOC)
2a		BK 19	3,2 - 3,3	ja (DK II)	Ammonium-N, TOC	Z2 (TOC)
2b	Laucha-Schlamm	Sch 3 G1+G2	0,0 - 0,9	ja (DK II)	TOC	> Z2 (Chlorid)
2c	Auelehm/-mergel	RKS 6 G1	0,6 - 1,0	ja (DK III)	TOC	> Z2 (Sulfat)
2c		RKS 10 G1	0,65 - 1,0	ja (DK II)	TOC	Z2 (TOC)
2c		RKS 17 G2	0,7 - 1,5	ja (DK II)	TOC	Z1.2 (Sulfat, Chlorid)
2c		RKS 28 G2	0,35 - 2,0	ja (DK II)	TOC	Z2 (Sulfat, Chlorid, TOC)
2c		RKS 35 G1+G2	0,42 - 1,5	ja (DK I)	Fluorid	Z2 (Sulfat)

Fortsetzung Tabelle 10

Schicht	Beschreibung	Aufschluss, Probe	Tiefe [m]	Anlagengenehmigung DHS erfüllt?	maßgebender Parameter (DHS)	LAGA M 20, TR Boden (relevanter Parameter)
2c 2d	Auelehm/-mergel Talsand	RKS 32 G2+G3	0,40 - 2,0	ja (DK 0)	-	Z2 (Sulfat)
2d	Talsand	BK 2a	4,0 - 5,0	ja (DK 0)	-	Z2 (Sulfat)
3a	Geschiebelehm/-mergel	BK 38	1,0 - 1,7	ja (DK 0)	-	Z1.2 (Sulfat)
3b	Kiessand	BK 43	1,8 - 2,7	ja (DK 0)	-	Z0
5a	Felszersatz (WL Ton/Schluff/Sand)	BK 9	0,8 - 1,3	ja (DK 0)	-	Z0
5a		BK 28	3,0 - 4,0	ja (DK 0)	-	Z0
5a		BK 33	1,9 - 2,5	ja (DK 0)	-	Z0
5b	Felszersatz (Ton/Schluff)	BK 4	1,0 - 2,0	ja (DK III)	DOC	Z2 (Sulfat)
5b		BK 24	1,5 - 2,0	ja (DK I)	DOC, Fluorid	Z1.2 (Sulfat)
5c	verwitt. Fels (Sandstein)	BK 7	6,0 - 7,0	ja (DK 0)	-	Z0
5c		BK 31	5,1 - 6,0	ja (DK 0)	-	Z1.2 (Sulfat)

¹⁾ Nummer des Labor-Prüfbericht- in Anlage 7.2.1

Die an den Proben analysierten Parameter werden zusätzlich nach den technischen Regeln LAGA M 20, TR Boden [35] und den dort aufgeführten Zuordnungswerten Z0 bis Z2 beurteilt. Im Analysenumfang der Anlagengenehmigung DHS sind jedoch die LAGA-M 20-Parameter EOX und Schwermetalle (jeweils in der Originalsubstanz beim Untersuchungsumfang „unspezifischer Verdacht für Boden mit bis zu 10 % Fremdbestandteilen“) nicht enthalten, so dass die Bewertung nach LAGA M 20, TR Boden in Tabelle 10 unter Vorbehalt erfolgt. Tabelle 10 enthält sowohl die Ergebnisse der Bewertung [47] durch die Analytikum Umweltlabor GmbH nach der Anlagengenehmigung DHS als auch nach LAGA M 20, TR Boden.

Mit Ausnahme der Probe der allgemeinen Auffüllungen (1c) aus BK 1/09 (0,1 - 0,9 m unter GOK), die aufgrund doppelter Probenahme durch den Bohrbetrieb auch 2-mal untersucht wurde, erfüllen alle Proben die Anforderungen für eine Verwertung/Entsorgung auf der DHS. Die entsprechenden, probenbezogenen Deponieklassen sind in Tab. 10 angegeben - die Preisklassen (PK) der DHS sind in der Bewertung durch das Labor in Anlage 7.2.1 enthalten.

Die Probe der allgemeinen Auffüllungen (Schicht 2d, 0,1 - 0,9 an BK 1) erfüllt aufgrund des hohen TOC-Gehaltes von 8,7 Masse-% bisher nicht die Forderungen der Anlagengenehmigung DHS, weshalb hier baubegleitende Untersuchungen/Analysen des Heizwertes (H_O) und der Atmungsaktivität (AT 4) vorzusehen sind.

Nach LAGA M 20, TR Boden sind die untersuchten Proben wie in Tab. 10 angegeben zu bewerten. Demnach beschränken sich kritische ($>Z_2$) Belastungen mit Schadstoffen (Sulfat, Chlorid, PAK) überwiegend auf die oberflächennahen Bereiche der Laucha-Niederung (RKS 1 - RKS 28). Im Einschnitt-Bereich (ohne Altdeponie 1) und der Wertsgraben-Niederung werden keine Z_2 -Zuordnungswerte überschritten.

Für die Einleitung des in die neue Flusstrasse eintretenden Grundwassers wurden 5 Grundwasserproben nach §§ 2, 3 und 7 WHG durch Analytikum Umweltlabor GmbH untersucht. Der Untersuchungsumfang wurde im Stadium der Angebotsabgabe an Geotestbohrtechnik Grimm durch die Analytikum Umweltlabor GmbH nach deren Erfahrungen bei der Analyse von Grundwasserproben am Standort der DHS festgelegt. Die Bewertung ausgewählter Parameter (vgl. Tab. 11) erfolgt nach Anhang 51 der AbwV [50] in dem Anforderungen an die Einleitung von Wässern aus oberirdischer Ablagerung von Abfällen in Oberflächengewässer festgelegt werden. Nach den in der Tabelle aufgeführten Analyseergebnissen der einzelnen Proben und Anforderungen der AbwV ist eine Einleitung des dem Einschnitt zufließenden Grundwassers in die Laucha möglich. Für die Parameter POX (ungelöste/ausblasbare organisch gebundene Halogene) und Nitrat sind im Anhang 51 der AbwV keine Vorgaben enthalten. Gleiches gilt für Sulfat, das nach den Analysen zur Betonaggressivität in der Größenordnung bis max. 1 g/l im Grundwasser enthalten ist. Abschließende Bewertungen zur Einleitung des Grundwassers in das Oberflächenfließgewässer Laucha sind nur nach konkreten Vorgaben der zuständigen Untere Wasserbehörde möglich. Die Vorgaben werden von der Behörde im Rahmen eines wasserrechtlichen Genehmigungsverfahrens, das im Zuge der weiteren Planung anzustrengen ist, festgelegt.

Tabelle 11: Ergebnisse der Grundwasseranalysen nach §§ 2, 3 und 7 WHG (Einleitqualität) und Beurteilung ausgewählter Parameter nach Anhang 51 der AbwV [50]

Parameter	Anforderungen der AbwV, Anhang 51	Entnahmestelle				
		BK 4	BK 9	BK 14	BK 24	BK 32
		[mg/l]				
AOX	0,500	0,051	0,057	0,029	<0,010	0,027
POX	-	<0,010	0,025	<0,010	0,013	<0,010
CSB	200,000	<15,000	19,000	<15,000	39,000	40,000
Gesamt-Stickstoff	70,000	0,030	13,000	28,000	3,800	26,000
LHKW (Buna-Liste)	10,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,022
Nitrit	2,000	1,500	1,300	0,180	<0,100	<0,100
Nitrat	-	120,000	48,000	84,000	<0,200	<0,200
Phosphor	3,000	0,110	0,310	<0,040	0,085	<0,040
Quecksilber	0,050	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sulfid	1,000	-	<0,1 ¹⁾	<0,1 ¹⁾	-	-

¹⁾ Ergebnis der Analyse auf Betonaggressivität

8.2 Entsorgungsweg für Aushubmaterialien

Aus gutachterlicher Sicht gelten für die orientierend, umwelttechnisch untersuchten Proben und Schichten folgende Einbau- bzw. Deponieklassen nach LAGA M 20, TR Boden [35] bzw. Anlagengenehmigung DHS [46]:

Wie in Tabelle 10 angegeben erfüllen mit Ausnahme der Probe der BK 1 (0,1 - 0,9 m, allgemeine Auffüllungen - 1c) alle Proben die Anforderungen für eine Verwertung/Entsorgung auf der DHS. Die mitunter hohen TOC-Gehalte in Verbindung mit hohen Wassergehalten schränken die bodenmechanische Einbaubarkeit (Festigkeit) der in vergleichsweise geringem Umfang anfallenden, anthropogenen und holozänen Aushubmassen (i. W. Schichten 1c, 2b, 2c) ein. Hinsichtlich dieser Parameter ist die Verwertung/Entsorgung mit den zuständigen Behörden und dem Deponiebetreiber im Vorfeld der Baumaßnahmen abzustimmen.

Nach LAGA M 20, TR Boden entsprechen die in Tabelle 10 ermittelten Zuordnungswerte folgenden Einbauklassen, die die Bedingungen für die Verwertung der Aushubmassen festlegen:

Z0	Einbauklasse 0:	uneingeschränkter Einbau in bodenähnlichen Anwendungen
Z1 (Z1.1)	Einbauklasse 1:	eingeschränkter offener Einbau
Z1.2	Einbauklasse 1:	eingeschränkter offener Einbau in hydrogeologisch günstigen Gebieten (zw. Höchstgrundwasserstand und Einbau-UK sind $\geq 2,0$ m mächtige, überwiegende feinkörnige Schichten mit hohem Rückhaltevermögen vorhanden)
Z2	Einbauklasse 2:	eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen

Die Zuordnungen der Tabelle 10 gelten nur in umwelttechnischer Hinsicht und ohne Berücksichtigung der geotechnischen Eignung. Die geotechnische Eignung der Aushubmassen ist bei der Verwertung gesondert nachzuweisen.

9. Vorschläge für weitere Untersuchungen und Gültigkeit des Berichtes

Die Aussagen im vorliegenden Bericht basieren auf punktförmigen Bohrprofilen, so dass lokale Unregelmäßigkeiten und Inhomogenitäten nicht vollkommen ausgeschlossen werden können. Treten im Zuge der Bauausführung Unregelmäßigkeiten bzw. Abweichungen zum beschriebenen Schichtmodell und den geotechnischen Eigenschaften der jeweiligen Schichten auf, ist der Unterzeichner umgehend zu informieren.

Leistungspositionen zur Herstellung von tragfähigen/temporären Baustraßen und Arbeitsebenen (u. a. Kranstandorte) gemäß ZTVE-StB [36] sind ins LV aufzunehmen. Anfallende Kosten für geotechnische Abnahmen und Überwachungstätigkeiten sowie für erforderliche Tragfähigkeits-/Verdichtungsnachweise sind bei der Planung zu berücksichtigen.

Hinsichtlich möglicher (unterirdischer oder überschütteter) Bauwerke im Bereich der Altdeponie 1 sind intensive Recherchen und bei Verdacht ggf. gezielte Erkundungen zum Nachweis der Beschaffenheit/Ausdehnung der Bauwerke durchzuführen.

Für die Planung der Wasserhaltung und zuverlässigen Beurteilung des Einflusses der Baumaßnahmen und des Bauwerkes auf die Grundwassersituation am Standort und dessen Umfeld sind die langfristigen Daten der GWM 1 - 3 auszuwerten und weitere Messstellen einzurichten und/oder Erkundungen/Feldversuche (Pumpversuche) vorzunehmen. Die gewonnenen Daten sind für die Berechnung des hydraulischen Einflusses der neuen Flusstrasse in einem vereinfachten numerischen Modell oder einem vorhandenen Modell (vgl. [4]) für die relevanten GWL zu verwenden. Mit dem Modell der GWL sind mögliche Einflüsse der Lauchaumverlegung auf den Standort zu prüfen - so sind u. a. mögliche Setzungen durch die Absenkung des Grundwasserspiegels zu verifizieren oder konkrete Einflüsse auf die Standsicherheit sensibler Bauwerke (Böschungssystem der Hochhalde Schkopau) zu untersuchen.

Begutachtungen/Klassifizierungen des beim Aushub flächig freigelegten Buntsandsteins (5a - 5c) sind nach Möglichkeit in die Planungen für die Durchörterung des Bahndurchlass einzubeziehen. Erkundungen zum Schichteinfallen des Buntsandsteins für Böschungs-Standsicherheitsnachweise sind für die Planungen zur Böschungssicherung zwingend notwendig und können z. B. durch Aufgrabungen oder Bohrungen mit Entnahme vollständig richtungsorientierter Proben erfolgen.

Die umweltrelevanten Untersuchungen am Bohrgut der Baugrundaufschlüsse basieren auf derzeit geltenden Normen und Regelwerken, wurden stichprobenartig vorgenommen und tragen ausschließlich orientierenden Charakter. Die umwelttechnische Überwachung und Begleitung der Baumaßnahmen ist vor allem in der Laucha-Niederung und im Bereich der Altdeponie 1 zwischen den zuständigen Behörden, dem Planer und dem Bauherren abzustimmen. Für die Einleitung des Grundwassers in die Laucha sind von der zuständigen Wasserbehörde konkrete Anforderungen hinsichtlich Qualität und Quantität chemischer und physikalischer Parameter des Grundwassers einzufordern.

Der vorliegende Bericht ist nur in seiner Gesamtheit verbindlich und gilt in seiner inhaltlichen und räumlichen Abgrenzung für das im Bericht beschriebene Bauvorhaben „Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau gem. § 36 KrW-/AbfG, Flusstrasse“. Alle Empfehlungen und Folgerungen basieren ausschließlich auf den aufgeführten Unterlagen und dem zum Zeitpunkt der Berichtserstellung vorliegenden Planungsstand.

* * * * *