

09. Dezember 2016

Vertragsnummer (AG): W12/P/tPL/02/16

Projektnummer (AN): 9510

Hochwasserschutz Herzberg (Elster)

Maßnahme SE 3p

Teilobjekt 1



Geotechnischer Bericht

Auftraggeber: Landesamt für Umwelt Brandenburg
Referat W21 – Hochwasserschutz, Investiver Wasserbau
14476 Potsdam, OT Groß Glienicke, Seeburger Chaussee 2
☎ 0391 / 581-0

Auftragnehmer:



An der Pikardie 8,
01277 Dresden
☎ 0351 / 21 683-30



Projektleiterin: Dr. R. Scholz
FB-Leiter: Dr. R. Lewis
Bearbeiter: Dipl.-Geophys. U. Hoffmann
Geologie-Techn. T. Müller
Geol.-Facharb. R. Altmann

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung	2
2.	Unterlagen	2
3.	Örtliche Verhältnisse	3
3.1	Lage, Topographie	3
3.2	Geologie, Hydrogeologie	4
4.	Geotechnische Kategorie und Erkundungskonzept	5
5.	Feld- und Laboruntersuchungen	5
5.1	Widerstandsgeoelektrische Profilmessungen	5
5.2	Geotechnische Felduntersuchungen	6
5.3	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	7
5.4	Boden-, abfall- und grundwasseranalytische Laboruntersuchungen	8
6.	Untersuchungsergebnisse	10
6.1	Allgemeiner Schichtenaufbau	10
6.2	Geoelektrik	12
6.3	Geotechnische Felduntersuchungen	12
6.4	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	14
6.5	Boden-, abfall- und grundwasseranalytische Laboruntersuchungen	21
7.	Baugrundmodell	28
7.1	Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse	28
7.1.1	Abschnitt A1	28
7.1.2	Abschnitt A2	30
7.1.3	Abschnitt A3	33
7.1.4	Abschnitt A4	35
7.1.5	Umverlegung Gewässerbett Schwarze Elster	37
7.1.6	Reprofilierung Flutmulde	37
7.2	Bodenklassifikation und Bodenkennwerte	38
7.3	Homogenbereiche	41
8.	Hinweise und Empfehlungen	43
8.1	Allgemeine Hinweise zum Erdbau	43
8.2	Einbringen von Spundwänden	45
8.3	Wasserhaltung	45
8.4	Auswirkungen auf Nachbarbauwerke	46
8.5	Eignung von Aushubmaterial zur Wiederverwendung	46
9.	Abschließende Anmerkungen	47
	Tabellenverzeichnis	48
	Abkürzungsverzeichnis	49
	Anlagenverzeichnis und Anhänge	50
	Normen und Regelwerke	51

1. Veranlassung

Im Zuge der Entwurfs- und Genehmigungsplanung für Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes im Stadtgebiet Herzberg (Elster) sind Angaben zu den Baugrundverhältnissen im Bereich der bestehenden Deichanlagen sowie der vorgesehenen Rückverlegungs- und Neubautrassen, inkl. deren Anschlussbereiche erforderlich.

Die Aufgabenstellung zu „Planungsleistungen für Hochwasserschutzmaßnahmen Herzberg (Elster), Maßnahme SE 3p“ /U 1/ beinhaltet u. a. auch Leistungen zur Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung in Sinne von Anlage 1.3 HOAI. Diese Leistungen werden durch die Planungsgemeinschaft Hochwasserschutz Herzberg erbracht.

In Vorbereitung der erforderlichen technischen Erkundungsmaßnahmen ist durch den geotechnischen Sachverständigen ein Erkundungskonzept aufgestellt worden. Dabei sind die bereits vorliegenden Untersuchungen aus der Baugrundvoruntersuchung (2013) /U 2/ einbezogen worden.

Das Erkundungskonzept diene dem AG als Grundlage für die beschränkte Ausschreibung der Feld- und Laboruntersuchungen sowie deren Vergabe an die GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH.

2. Unterlagen

- /U 1/ Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg:
Aufgabenbeschreibung für Planungsleistungen für Hochwasserschutzmaßnahmen Herzberg (Elster), Maßnahme SE 3p, 24.09.2015.
- /U 2/ Ingenieurbüro Geo Modenbach, Berlin:
Baugrunduntersuchung (Voruntersuchung) zur Deichsanierung an der Schwarzen Elster in der Ortslage Herzberg, km 35+020 bis 38+100 beidseitig, 29.07.2013.
- /U 3/ Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg:
Baufachliche Stellungnahme der Abt. Ökologie, Naturschutz, Wasser vom 04.11.2013.
- /U 4/ BDC Dorsch Consult Berlin :
Vorplanung zum HWS Herzberg/Elster–SE 3p, 20.02.2014.
- /U 5/ Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg:
Protokoll der zentralen Begutachtungskommission zur Vorplanung, 24.03.2014.
- /U 6/ Ingenieurbüro Geo Modenbach, Berlin:
Ergebnisse der magnetischen Prospektion sowie von Schadstoffuntersuchungen für den linken Deich der Schwarzen Elster bei km 0+200 bis 0+450 (Bereich Sportplatz), März / April 2014.
- /U 7/ Planungsgemeinschaft HWS Herzberg:
Erkundungskonzept zur Baugrundhauptuntersuchung für die Teilobjekte 1 und 2, 29.02.2016.
- /U 8/ Landesamt für Umwelt Brandenburg, Prüfstelle Wasserbau:
Ergänzende Hinweise zum Erkundungskonzept Baugrundhauptuntersuchung, 01.03.2016.

- /U 9/ KTH Bauplanung GmbH:
Entwässerungsplan zum Neubau des Gewerbegebietes an der B 87, Juli 2006.
- /U 10/ Ingenieur-Vermessungsbüro Münster und Graf GbR, Herzberg/Elster:
Bestandszeichnungen zur rechtsseitigen Deichsanierung zwischen Bahn und B 87, 2015.
- /U 11/ Ingenieur-Vermessungsbüro Münster und Graf GbR, Herzberg/Elster:
Bestandsplan zur Regenwasserleitung und Straßenbeleuchtung am Kaxdorfer Weg, Juli 2016.
- /U 12/ Landesamt für Umwelt Brandenburg, Ingenieurbereich Elsterwerda:
Schreiben zur Leitungsauskunft vom 29.06.2016.
- /U 13/ Zentrales Geologisches Institut, Berlin:
Lithofazieskarte Quartär, Maßstab 1:50.000, Blatt 2367 (Herzberg), 1987, Ausgabe 3.
- /U 14/ Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg:
Atlas zur Geologie von Brandenburg, 2. Auflage, 2002.
- /U 15/ Landesamt für Umwelt Brandenburg, Abt. Wasserwirtschaft 1:
Hydrologische Fachauskunft vom 24.03.2016.
- /U 16/ Zentraler Kampfmittelbeseitigungsdienst der Polizei Brandenburg:
Auskunftsschreiben zum Kampfmittelbestand, 14.09.2016.

3. Örtliche Verhältnisse

3.1 Lage, Topographie

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich links- und rechtsseitig der Schwarzen Elster oberhalb und innerhalb des Stadtgebiets Herzberg, Landkreis Elbe-Elster.

Das Stadtgebiet und dessen Umfeld liegt innerhalb einer flachen Geländeniederung (Elster-*au*) und ist von einem System von Altwasserstrukturen (Alte Ester, Scheidelache, Lapine) und künstlichen Entwässerungsgräben (z. B. Altherzberger Binnengraben, Mühlgraben) durchzogen.

Östlich des Planungsgebietes verläuft die Bundesstraße B 101. Die Bundesstraße B 97 quert die Schwarze Elster innerhalb der Ortslage Herzberg.

Im Teilobjekt TO 1 waren gemäß Aufgabenstellung /U 1/ folgende Abschnitte zu untersuchen:

- Abschnitt 1 - linksseitiger Deich oberhalb Wehr bis Wehr Herzberg, Länge ca. 670 m,
- Abschnitt 2 - linksseitiger Deich zwischen Wehr und alter Bahnbrücke, Länge ca. 500 m und rechtsseitiger Deich zwischen Wehr und Bahnbrücke, Länge ca. 480 m
- Abschnitt 3 - linksseitiger Deich zwischen alter Bahnbrücke und B 87, Länge ca. 360 m und rechtsseitiger Deich zwischen Bahnbrücke und B 87, Länge ca. 400 m
- Abschnitt 4 - linksseitiger Deich zwischen B 87 und Brücke Kaxdorf, Länge ca. 1.300 m
- Umverlegung des Flussbetts der Schwarzen Elster zwischen Bahnbrücke und B 87
- Reprofilierung einer Flutmulde in den Abschnitten 3 und 4 auf einer Länge ca. 400 m

Die Lage der zu untersuchenden Deichabschnitte ist im Übersichtslageplan zum Vorhaben HWS Herzberg (Elster), SE 3p dargestellt (Anlage 1).

3.2 Geologie, Hydrogeologie

Geologie

Das Untersuchungsgebiet befindet sich innerhalb der Niederung der Schwarzen Elster bei Herzberg im Lausitzer Urstromtal. In diesem Gebiet sind oberflächennah holozäne Ablagerungen der Elsteraue in Form von Auesanden, Auelehm bzw. Aueton sowie humosen Schichten verbreitet. Stellenweise sind anthropogene Aufschüttungen vorhanden. Die holozänen Böden werden flächendeckend von weichselkaltzeitlichen Sanden und Kiesen fluviatilen und glazifluviatilen Ursprungs unterlagert, in die lokal glazigene Grundmoränen (Geschiebemergel) oder glazilimnische Bildungen (Bänderschlufl, Bänderton) eingelagert sein können. Die weichsel-saalekaltzeitliche Abfolge, deren Basis etwa bei 15-25 m u. GOK verläuft, wird vom „Elster-Komplex“ unterlagert, der wiederum aus einer bis zu 100 m mächtigen Abfolge glazigener, glazilimnischer und glazifluviatiler Bildungen aufgebaut ist. Die Quartärbasis liegt unterhalb von -30...-40 m NHN und wird von oligozänen und miozänen Schichten der Cottbuser und Spremberger Folge gebildet /U 13/, /U 14/.

Eine Besonderheit des Baugrunds stellen historisch wechselnde Gewässerverläufe der Schwarzen Elster in Form einer Vielzahl von offenen und verdeckten Altwasserstrukturen dar (Alte Elster, Gewässerflächen im Stadtgebiet, Mäanderstrukturen bei Frauenhorst usw.). Die Altwasserstrukturen sind teilweise sehr kleinräumig ausgeprägt (≤ 30 m). Aufgrund des starken lokalen Wechsels von Abtrags- und Verlandungsbereichen ist mit einem recht inhomogenen, kleinräumig strukturierten Aufbau des Untergrunds zu rechnen.

Folgende Bodenarten bzw. Bodengruppen nach DIN 18196 /R 27/ sind im Zuge der Voruntersuchung /U 2/ angetroffen worden:

- humoser Oberboden (OH, HZ, OU)
- Sande mit wechselndem Feinanteil (SE, SU, SU*)
in lockerer, mitteldichter und dichter Lagerung
- Auelehm (SU*, ST*, TL)
- Aueton (TM, TA, OT)
- Schluffe (SU*-UL)
- Torf (HN-HZ)
- Torfmudde (HZ-F)
- Schluffmudde (OU-F)
- Kiessande (GE-GI)
- nichtbindige Auffüllungen [A]

Durchgängige Oberbodenschichten sind nicht in jedem Fall angetroffen worden.

Die Ergebnisse der Voruntersuchung wurden bei der Realisierung der Baugrundhauptuntersuchung berücksichtigt.

Hydrogeologie

Die Mächtigkeit des oberen GWLK 1 (unbedeckte quartäre Sande und Kiese) beträgt 15...20 m, z. T. jedoch auch > 20 m (s. Schnittdarstellungen in /U 13/). Der Grundwasserflurabstand beläuft sich bei mittleren Grundwasserständen auf 1...3 m. In der Regel ist der Zustand des oberen GWL ungespannt. Bei Verbreitung entsprechend mächtiger Deckstauer können lokal auch gespannte Grundwasserverhältnisse auftreten.

4. Geotechnische Kategorie und Erkundungskonzept

Die umzubauenden bzw. neu zu errichtenden HWS-Anlagen der Schwarzen Elster sind gemäß DIN 19712 /R 5/ aufgrund des hohen Schadenspotentials (geschlossene Siedlungen) in HWSA-Klasse I einzustufen. Hieraus resultiert die Einordnung der HWS-Anlagen in die Geotechnische Kategorie GK 3. Bei Verhältnissen, die mindestens der geotechnischen Kategorie GK 2 entsprechen, sind gemäß DIN EN 1997-2 /R 1/ i. V. mit DIN 4020 /R 4/ direkte Aufschlüsse erforderlich. Die für die Beurteilung und die Berechnung notwendigen Baugrunderkenngrößen müssen versuchstechnisch und/oder mit Hilfe von Korrelationen bestimmt werden.

In Vorbereitung der Ausschreibung und Vergabe von Erkundungsleistungen wurde durch die Planungsgemeinschaft HWS Herzberg ein Erkundungskonzept zur Baugrundhauptuntersuchung aufgestellt /U 7/ und mit der zuständigen Bauprüfstelle des AG abgestimmt /U 8/

Aufgrund des kleinräumigen Wechsels von Böden mit unterschiedlicher Gründungseignung wurde eine möglichst lückenlose Erkundung des Baugrunds mittels geophysikalischer Verfahren für notwendig erachtet. Neben der Detektion von aufgeweichten, breiigen und organischen Böden am Deich- und Verkehrswegeplanum sollte die Verbreitung von bindigen Schichten nachgewiesen werden, um die Möglichkeit der wirksamen Anbindung einer wasserseitigen Dichtung prüfen zu können.

Im Erkundungskonzept wird die methodische Vorgehensweise bei der komplexen geophysikalisch-geotechnischen Erkundung dargestellt und erläutert. Anhand von Länge, Besonderheiten, vorgesehenen Planvarianten sowie Erkundungsstand aus der Voruntersuchung wird jeweils ein objektspezifischer Untersuchungsumfang für die Baugrundhauptuntersuchung in den einzelnen Teilobjekten und Untersuchungsabschnitten abgeleitet. Der Untersuchungsumfang umfasst neben den Felduntersuchungen auch bodenmechanische sowie boden-, abfall- und wasseranalytische Laboruntersuchungen.

Auf Grundlage des bestätigten Erkundungskonzeptes erfolgte durch die Planungsgemeinschaft HWS Herzberg eine Beschränkte Ausschreibung der Erkundungsleistungen zur Baugrundhauptuntersuchung nach Abschnitt 1 VOB/A. Im Ergebnis des Vergabeverfahrens wurde die GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH am 06.06.2016 mit der Durchführung der Erkundungsleistungen beauftragt.

5. Feld- und Laboruntersuchungen

5.1 Widerstandsgeoelektrische Profilmessungen

Für die Erkundung des Untergrundes der Bestandsdeiche sowie der landseitigen Erweiterungsflächen kamen direkte Verfahren (geotechnische Aufschlüsse) in Kombination mit indirekten Verfahren (geophysikalische Messungen) zum Einsatz. Dieses Vorgehen entspricht den Anforderungen gemäß /R 5/ und /R 6/.

Im vorliegenden Fall wurden zur Abgrenzung organisch-humoser sowie fein-, gemischt- und grobkörniger Böden mehrfachüberdeckende, 2D-widerstandsgeoelektrische Profilmessungen eingesetzt /R 14/. Mit diesen Verfahren ist es möglich, lückenlose Erkundungsprofile in Längsrichtung der HWS-Anlagen zu erstellen und daraus geoelektrische Homogenbereiche im Untergrund abzuleiten und ggf. Anomaliebereiche festzustellen (z. B. Abgrenzung von Auffüllungen und verdeckten Altwasserstrukturen, Detektion von Aufweichungs-/ Vernäsungszonen usw.).

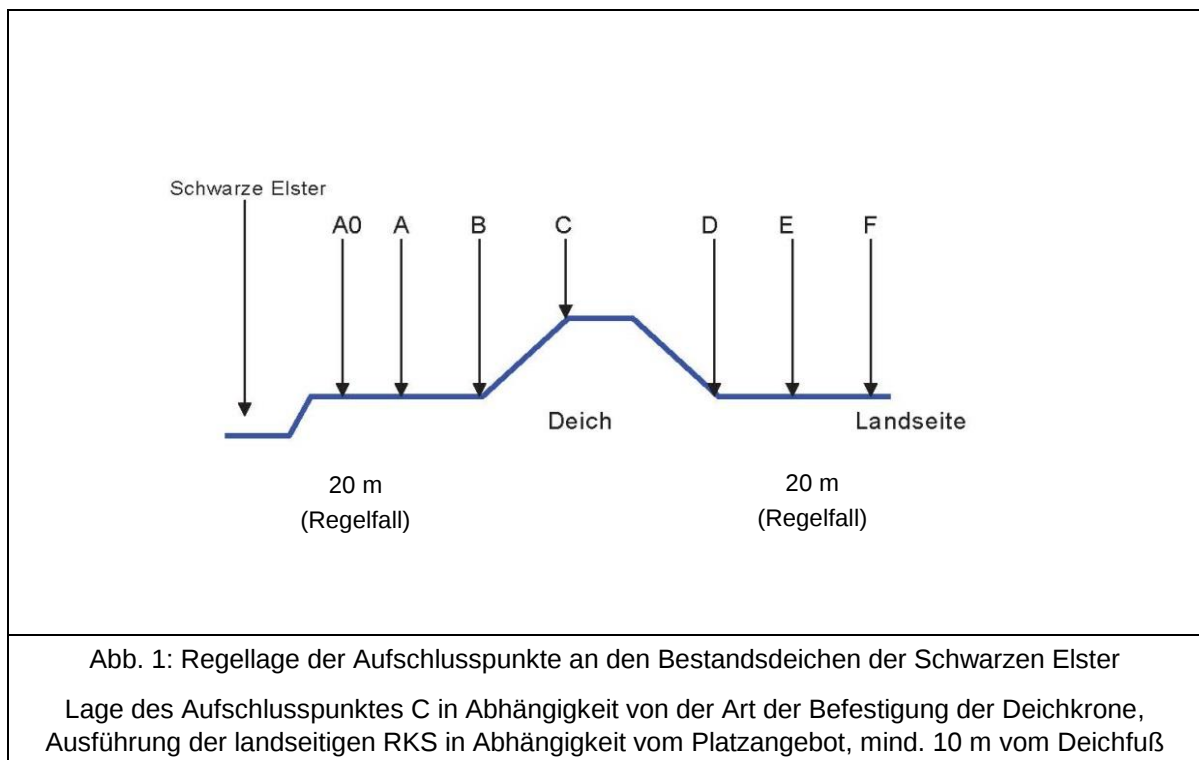
Detaillierte Erläuterungen zu Durchführung, Auswertung und Ergebnissen der geoelektrischen Messungen sind im Ergebnisbericht Geoelektrik dargelegt (Anhang A 1.1).

5.2 Geotechnische Felduntersuchungen

Die geotechnische Erkundung erfolgte mittels folgender Aufschlussverfahren:

- 22 verrohrte Trockenbohrungen mit Gewinnung gekernter Proben (BK), Ausführung im Bereich geplanter Spundwandstrecken, Endtiefe jeweils 15 m
- 177 Kleinbohrungen (RKS), Endtiefe zwischen 4 und 6 m, in großen Teilen Ausführung mit Hilfsverrohrung aufgrund instabiler Bohrlöcher, davon 8x Ausbau zu temporären GW-Entnahmestellen (Rammpegel 2“) im Bereich von Sielbauwerken und geplanten Spundwandstrecken, inkl. Grundwasserprobenahme
- 40 Schwere Rammsondierungen (DPH) zur Bestimmung der Lagerungsdichte nichtbindiger Böden im Untergrund, Endtiefe zwischen 6 und 15 m
- 72 Bohrstocksondierungen (BS) zur Erkundung und Beprobung des Oberbodens
- 7 Schürfe (SCH) zur Entnahme von Sonderproben (Einschlagstutzen) für bodenmechanische Versuche
- 1 Schürfe (SCH) zur Entnahme von Gleisschotter
- 3 Bauwerksbohrungen zur Entnahme von Asphaltkernen im Bereich Radweg/DVW.

Die Lage der geotechnischen Erkundungsprofile ist anhand von Indikationen aus den widerstandsgeoelektrischen Tiefenschnitten abschließend festgelegt worden. Hinsichtlich Lage und Tiefe sowie Bezeichnung der geotechnischen Aufschlüsse wird u. a. an die Vorgaben der Voruntersuchung /U 2/ angeschlossen.



Alle Angaben zu den geotechnischen Aufschlüssen und Probenentnahmen liegen diesem Gutachten an Anhang A bei.

5.3 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Der bodenmechanische Untersuchungsumfang orientiert sich an den Vorgaben der Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen der VOB/C 2016 (/R 38/-/R 41/) und den Anforderungen an die geotechnische Nachweisführung (/R 1/, /R 3/).

Der Bericht zur Baugrundvoruntersuchung /U 2/ weist insgesamt 13 einzelne Modellschichten aus, die bisher nicht zu Homogenbereichen zusammengefasst worden sind. Homogenbereiche sind begrenzte Bereiche, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- und Felsschichten, die für einsetzbare Geräte (für das jeweilige Bauverfahren) vergleichbare Eigenschaften aufweisen. Sind umweltrelevante Inhaltsstoffe zu beachten, so sind diese bei der Einteilung in Homogenbereiche zu berücksichtigen. Die Homogenbereiche sind im Zuge der Planung umfassend zu beschreiben. Dabei muss neben dem charakteristischen Wert für die Bemessung auch eine Spannbreite des jeweiligen Kennwertes angegeben werden, die aufgrund von Feld- und Laboruntersuchungen sowie ggf. Erfahrungen für die Bauausführung zu erwarten ist.

Eine Übersicht über den bodenmechanischen Untersuchungsumfang enthält Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über bodenmechanische Laboruntersuchungen

Eigenschaft / Kennwert	Norm	Anzahl Voruntersuchung	Anzahl Hauptuntersuchung
Wassergehalt	/R 15/	38	73
Zustandsgrenzen, Konsistenz- und Plastizitätszahlen	/R 16/	4	13
Korngrößenverteilung (mit Körnungsbändern)	/R 17/	89	43 (6)
Masseanteil an Steinen, Blöcken und großen Blöcken	Wiegen und Aussortieren	-	-
Dichte	/R 18/, /R 19/	0	12
Lagerungsdichte (min/max)	/R 20/	0	8
organischer Anteil	/R 21/	7	18
Kalkgehalt	/R 22/	0	2
einaxiale Druckfestigkeit	/R 24/	0	3
Kohäsion	/R 25/	0	6
Abrasivität	/R 26/	0	3

Anhang A 3.1 enthält alle Angaben zu den untersuchten Proben und den Ergebnissen der bodenmechanischen Laboruntersuchungen.

5.4 Boden-, abfall- und grundwasseranalytische Laboruntersuchungen

Für die Planung und Ausschreibung der Leistungen zum Bau der HWS-Anlagen sind Angaben zur Beschaffenheit und Wiederverwendbarkeit der Ober- und Abtragsböden erforderlich.

Oberboden

Für den abzutragenden Oberboden war die Vorbelastung mit Metallen und organischen Stoffen durch einen Abgleich mit den Vorsorgewerten nach Anhang 2 BBodSchV /R 28/ sowie dem Mindestuntersuchungsprogramm nach LAGA TR Boden, Tabelle II.1.2-1 /R 29/ festzustellen.

Des Weiteren sollte die technologische Eignung des Oberbodens für die Wiederverwendung anhand von Qualitätsparametern für den Wasserbau (/R 5/, /R 43/) überprüft werden:

- C/N-Verhältnis (Sollwert < 14)
- organischer Anteil (Sollwert 4...8 % Glühverlust)
- Schluffkornanteil (Sollwert > 15 %, Bodengruppen SU*, UL/TL, kein SE, SU)

Die bodenanalytischen Untersuchungen des Oberbodens erfolgten anhand von Mischproben, die aus land- und wasserseitigen Einzelproben zusammengestellt worden sind.

Eine Übersicht über den oberbodenanalytischen Untersuchungsumfang enthält Tabelle 2.

Tabelle 2: Oberbodenanalytische und vegetationstechnische Laboruntersuchungen

Abschnitt	Länge (m)	Herkunft Oberbodenproben	Anzahl Untersuchungen
A1 links	670	2x Deichkörper 2x Landseite	4
A2 links	500	2x Deichkörper 1x Landseite 1x Deponieabdeckung	4
A2 rechts	480	2x Deichkörper 2x Landseite	4
A3 links	400	2x Deichkörper 2x Landseite	4
A3 rechts	400	2x Deichkörper 2x Landseite	4
A4 links	1.320	4x Deichkörper 4x Landseite	8
Reprofilierung Flutmulde	400	1x oberhalb B 87 1x unterhalb B 87	2
Summe	4170		30

Abtragsboden (Unterboden)

Für die abzutragenden Deichbaustoffe und Böden war deren Vorbelastung nach LAGA TR Boden /R 29/ im Umfang des Mindestuntersuchungsprogramm für Böden mit unspezifischen Verdacht (Tabelle II.1.2-1) zu ermitteln.

Die abfallanalytische Untersuchung der Deichbaustoffe sowie der land- und wasserseitigen Böden erfolgte sowohl an auffälligen Einzelproben, als auch an abschnitts- und schichtenrepräsentativen Mischproben, die jeweils aus mehreren Einzelproben zusammengestellt worden sind. An den Proben, an denen eine Überschreitung der Z2-Zuordnungswerte nachgewiesen worden ist, sind ergänzend nach Anhang 3 Deponieverordnung nachuntersucht worden (Tabelle 2, Zuordnungswerte für Parameter der Deponieklasse DK 0).

Eine Übersicht über den bodenanalytischen Untersuchungsumfang enthält Tabelle 3.

Tabelle 3: Bodenanalytische Laboruntersuchungen

Abschnitt	Länge (m)	Herkunft Bodenproben	Anzahl LAGA	Anzahl DepV
A1 links	670	Deichkörper, Untergrund, Schotterauffüllung	3	-
A2 links	500	Deichkörper, Untergrund, Altablagerung	8	3
A2 rechts	480	Deichkörper, Untergrund, Schotterauffüllung	8	-
A3 links	400	Deichkörper, Untergrund, Bauschuttauffüllung	4	-
A3 rechts	400	Deichkörper, Untergrund, Bauschuttauffüllung	6	-
A4 links	1.320	Deichkörper, Untergrund, RC-Auffüllung Wasserseite, Vorland	13	-
Reprofilierung Flutmulde	400	Wasserseite, Vorland	1	-
Summe	4170		43	3

Sonderuntersuchung Gleisschotter

Eine Mischprobe des Gleisschotters aus dem Bereich des ehemaligen Bahndamms bei km 0+500 ist einer Sonderuntersuchung nach Altschotterrichtlinie der DB Netz AG /R 33/ unterzogen worden. Außerdem ist eine ergänzende Analytik auf Herbizide in der Kornfraktion < 31,5 mm erfolgt.

Sonderuntersuchung Asphalt Rad-/DV-Wege

Drei aus den Rad- und DV-Wege entnommene Asphalt-Bohrkerne sind hinsichtlich ihrer Teer-/Pechhaltigkeit analytisch untersucht worden (PAK₁₆, Phenol-Index, /R 31/, /R 32/).

Grundwasser

In Bereichen, in denen Spundwände in den Untergrund eingebracht werden sollen, sind die korrosiven Eigenschaften des Grundwassers bestimmt worden.

Eine Übersicht über die Grundwasseruntersuchungen enthält Tabelle 4.

Tabelle 4: Grundwasseranalytische Laboruntersuchungen

Abschnitt	Geplante Länge Spundwand (m)	Anzahl GW-Proben	Untersuchungs-umfang
A1 links	ca. 600 (Bereich Kleingärten)	1	Stahlkorrosivität /R 37/ Betonaggressivität /R 36/
A2 rechts	ca. 150 (Schöpfwerk Altherzberg)	1	
A3 links	ca. 400 (Bahn- bis Straßenbrücke)	1	
A3 rechts	ca. 150 (Bereich Bebauung LS)	1	
A4 links	ca. 20 (RW-Pumpwerk) ca. 200 (Altwasser Kaxdorf)	2	
A2 links	ca. 450 (u. a. Altablagerung)	3	zusätzlich: LAWA-GFS-Parameter für Altablagerung /R 35/
Summe	ca. 1.970	9	

Alle Prüfberichte und Bewertungsergebnisse zu den boden-, abfall- und grundwasseranalytischen Laboruntersuchungen sind in Anhang A 4 zu diesem Gutachten enthalten.

6. Untersuchungsergebnisse

6.1 Allgemeiner Schichtenaufbau

Vor Ort erfolgte durch den mit der geotechnischen Erkundung beauftragten AN eine geotechnische Bodenansprache nach /R 9/ und /R 10/. Die aufgestellten Feldberichte für die Kern- und Kleinbohrungen (BK, RKS) liegen diesem Bericht als Anhänge A 2.2 und A 2.3 bei.

Durch den geotechnischen Sachverständigen sind die Feldarbeiten fachtechnisch begleitet und überwacht worden, um eine einheitliche Verfahrensweise zur Bodenansprache bei den unterschiedlichen direkten geotechnischen Aufschlüssen zu gewährleisten (BK, RKS, SCH). Die in den Feldberichten ausgewiesenen Baugrundsichten sind einem allgemeinen Schichtenmodell zugeordnet worden. Dieses Modell unterscheidet hinsichtlich der geotechnischen Eigenschaften im Wesentlichen 5 Hauptschichtengruppen:

- S 1 – anthropogene Auffüllungen
- S 2 – feinkörnige Böden
- S 3 – gemischtkörnige Böden
- S 4 – grobkörnige Böden
- S 5 – organische Böden und Böden mit organischen Beimengungen

Die Schichtengruppen sind je nach anzutreffenden Bodengruppen weiter in 14 geotechnisch relevante Baugrundsichten untergliedert worden (s. Tabelle 5). Der Oberboden ist aufgrund seiner Nichteignung zur Aufnahme von Bauwerkslasten nicht als gesondertes Schichtglied ausgehalten. Die Schichtenprofile der Altbohrungen aus der Baugrundvoruntersuchung /U 2/ sind in das allgemeine Schichtenmodell eingearbeitet worden.

Tabelle 5: Allgemeines Schichtenmodell HWS Herzberg (Elster)

Schicht	Bezeichnung	Bodengruppe DIN 18196	Ingenieurgeologische Einheiten	Zuordnung Modell aus /U 2/
S 1 – Auffüllungen				
S 1.1	Auffüllung, bindig	[ST*, TL, TM, TA]	Geländeverfüllungen und -aufschüttung Verlandungen / Abschwemmmassen	nicht ausgewiesen
S 1.2	Auffüllung, nichtbindig	[SU-SU*, ST*, GU, SE, GI-GW]		
S 1.3	Auffüllung, überwiegend Fremdanteile	A	Altablagerungen Altdeponien	nur verbal beschrieben (Antreffen von Bau- schuttresten)
S 2 – Feinkörnige Böden (> 40 % Massenanteil < 0,06 mm)				
S 2.1	gering plastischer Schluff / Ton	TL, TL-TM	Auelehm Geschiebelehm/ Geschiebemergel Beckenschluff/-ton	Schluff, Lehm, sandig
S 2.2	mittel plastischer Schluff / Ton	TM, TM-TA		Aueton, steifer Ton
S 2.3	ausgeprägt plasti- scher Schluff / Ton	TA		
S 3 – Gemischtkörnige Böden (5-40 % Massenanteil < 0,06 mm)				
S 3.1	überwiegend plastische Eigenschaften	SU*/ST*, ST*-TL	Auelehm, Geschiebe- lehm / -mergel Beckenschluff/-ton	Schluff Lehm, sandig
S 3.2	überwiegend nicht plastische Eigenschaften	SU-SU*/ST* (GU-GU*)	verlehnte Sande, Kiessande und Kiese	Sand, schwach schluf- fig bis schluffig, mitteldicht bis dicht
S 4 – Grobkörnige Böden (< 5 % Massenanteil < 0,06 mm)				
S 4.1	Sande	SE (SI-SW)	Schmelzwassersande Aue-/Schwemmsande Beckensande Tertiärsande	Sand, mitteldicht bis dicht
S 4.2	Kiessande und Kiese	GI (GW)	Terrassenschotter Flussschotter	Kiessand, mitteldicht bis dicht
S 5 – Organische Böden und Böden mit organischen Beimengungen				
S 5.1	Schluff/Ton mit organischen Beimengungen	OT	Aueton Beckenschluff/-ton tertiärer Kohleton	humoser Oberboden Aueton, Schluffmudde
S 5.2	Sande/ Kiese mit organischen Beimengungen	OH	humoser Oberboden	humoser Oberboden
S 5.3	Torf (Humus)	HN, HZ	Torf, ± zersetzt	humoser Oberboden Torf, Torfmudde
S 5.4	Faulschlamm, Mudde	F	Torf-/Laubmudde Schluff-/Sandmudde	Torfmudde Schluffmudde

6.2 Geoelektrik

In Auswertung der geoelektrischen Profilmessungen konnte eine Vielzahl von Teilabschnitten ausgehalten und beschrieben werden (s. Tabelle 1 im Ergebnisbericht Geoelektrik, Anhang A 1.1). Aus den Widerstandstiefenschnitten (Anhang A 1.3) ist zusammenfassend folgendes zu erkennen:

- Oberflächennah stehen überwiegend sandige Sedimente an.
- Lokal deuten Widerstandsminima auf Altarmstrukturen im Untergrund hin, z. B. linksseitig bei km 1+360, 1+630, 1+910 und 2+080 sowie rechtsseitig bei km 0+020, 0+210 und 0+400.

Zum Messzeitpunkt herrschten weitgehend trockene Bedingungen vor. Dadurch ist die oberste Schicht meist ausgetrocknet und weist hohe elektrische Widerstände auf. Eine Zuordnung von Bodengruppen ist dort nur eingeschränkt möglich. Gleichzeitig verweisen horizontal ausgebildete extreme Widerstandsminima auf ein Überspringen der Inversion im Bereich des Grundwasserspiegels hin. Mit den geoelektrischen 2D-Widerstandsmessungen konnten entlang der einzelnen Abschnitte die lithologischen Verhältnisse gut abgebildet werden. Die Ergebnisse liefern damit eine solide Grundlage zur Abgrenzung der unterschiedlichen Böden und bilden die Basis für die weiterführenden geotechnischen Untersuchungen.

Die Widerstands-Tiefen-Schnitte sind in die Konstruktion der ingenieurgeologischen Längsschnitte eingeflossen (s. Anlage 5).

6.3 Geotechnische Felduntersuchungen

Rammsondierungen

Die Auswertung der Schweren Rammsondierungen erfolgte unter Einbeziehung der Ergebnisse der jeweiligen Schlüsselbohrungen. In die korrelative Auswertung sind dabei alle im Zuge der Baugrundhauptuntersuchung ausgeführten DPH einbezogen worden. Die im Zuge der Baugrundvoruntersuchung /U 2/ hergestellten Rammsondierungen (DPL-5, DPH) wurden bei der Korrelation nicht berücksichtigt, sind jedoch in die qualitative Interpretation der Lagerungsdichte nichtbindiger Böden eingeflossen.

Die Angaben zur Lagerungsdichte (I_D nach DIN 14688-1 /R 9/) für Sande, Kiessande und Kiese über und unter dem Grundwasser wurden im Regelfall aus folgenden Korrelationen gemäß Anhang G.1 DIN EN 1997-2 /R 1/ abgeleitet:

- enggestufte Sande ($C_u \leq 3$) über dem Grundwasser
Schicht S 4.1 (SE) mit Übergängen zu S 3.2 (SU) und S 5.2 (OH):
$$I_D = 0,10 + 0,435 \lg N_{10H} \quad (1)$$

- enggestufte Sande ($C_u \leq 3$) unter dem Grundwasser
Schicht S 4.1 (SE) mit Übergängen zu S 3.2 (SU) und S 4.2 (GI-GW):
$$I_D = 0,23 + 0,380 \lg N_{10H} \quad (2)$$

- weitgestufte Sande und Kiese ($C_u \geq 6$) über dem Grundwasser
Schicht S 4.2 (GI-GW) mit Übergängen zu S 3.2 (GU):
$$I_D = -0,14 + 0,550 \lg N_{10H} \quad (3)$$

Die Angaben zum Reibungswinkel φ' werden aus Anhang G.2 DIN EN 1997-2 /R 1/ abgeleitet. Aus den korrelativen Zusammenhängen ergeben sich Lagerungsdichten und Reibungswinkel in Abhängigkeit von den Schlagzahlen N_{10H} gemäß Tabelle 6.

Tabelle 6: Zusammenhang von Lagerungsdichte, Reibungswinkel und Schlagzahl N_{10} bei Schweren Rammsondierungen

Schicht (Bodengruppe)	Lage zum Grundwasser	I _D	Lagerungs- dichte	Schlagzahlen DPH _{10H}	Reibungs- winkel (φ´)
S 4.1 (SE) Übergänge zu S 3.2 (SU) und S 5.2 (OH)	oberhalb	0...0,15	sehr locker	≤ 1	< 30
		0,15...0,35	locker	2...3	30
		0,35...0,65	mitteldicht	3...18	32,5
		0,65...0,85	dicht	18...50	35
		0,85...1,00	sehr dicht	> 50	n.a.
S 4.1 (SE) Übergänge zu S 3.2 (SU) und S 4.2 (GI-GW)	unterhalb	0,15...0,35	locker	≤ 1	30
		0,35...0,65	mitteldicht	2...14	32,5
		0,65...0,85	dicht	14...40	35
		0,85...1,00	sehr dicht	> 40	n.a.
S 4.2 (GI-GW) Übergänge zu S 3.2 (GU)	unterhalb	0...0,15	sehr locker	≤ 3	< 30
		0,15...0,35	locker	4...7	30
		0,35...0,65	mitteldicht	7...30	34
		0,65...0,85	dicht	30...60	38
		0,85...1,00	sehr dicht	> 60	n.a.
n. a.: nicht angetroffen					

Die Sande im Deichkörper (S 3.2, S 4.1) sowie Sande, Kiessande und Kiese (S 3.2, S 4.1, S 4.2) im oberflächennahen Untergrund der HWS-Anlagen sind meist locker bis mitteldicht gelagert. Mit zunehmender Tiefe und Überlagerungsdruck steigt die Lagerungsdichte erwartungsgemäß auf mitteldichte bis dichte Zustände an. Die Grenzen der Lagerungsdichte von locker zu mitteldicht bzw. mitteldicht zu dicht wurden zum Teil in recht unterschiedlichen Tiefen angetroffen. Die verschiedengradig dicht gelagerten Gesteinskomplexe sind in den ingenieurgeologischen Längs- und Querschnitten entsprechend der Erkundungsergebnisse abgegrenzt.

Sehr dichte Lagerungsverhältnisse sind bis in die Endtiefen von 15 m u. GOK nicht bzw. nur sehr vereinzelt nachgewiesen worden.

In den oberflächennahen nichtbindigen Auffüllungen (Schicht S 1.2, Bodengruppen [SU/SU*], [GU]) können aufgrund fehlender Korrelationen sowie des Oberflächeneinflusses bei den Sondierungen keine sicheren Angaben zur Lagerungsdichte abgeleitet werden. Anhand der Bohrbarkeit kann jedoch für diese Materialien von einer überwiegend mitteldichten Lagerung ausgegangen werden, insbesondere beim Einbau unter Verkehrswegen (Rad- und DV-Wege auf Deichkrone, Wirtschaftswege auf der Landseite).

6.4 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

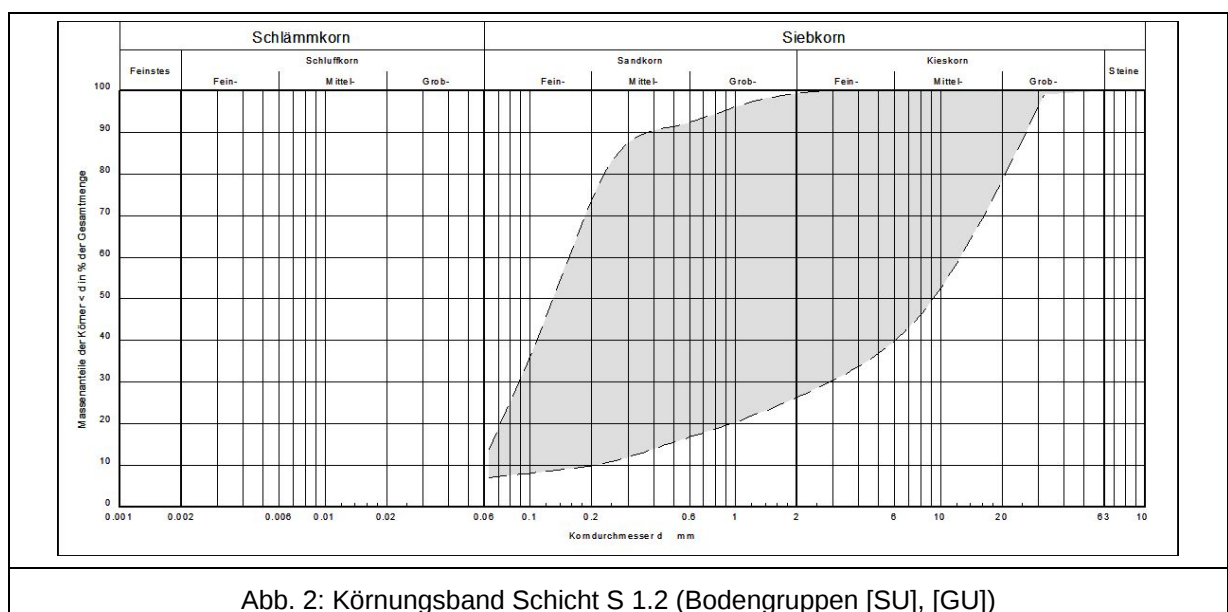
Korngrößenverteilung und Berechnung der Wasserdurchlässigkeit

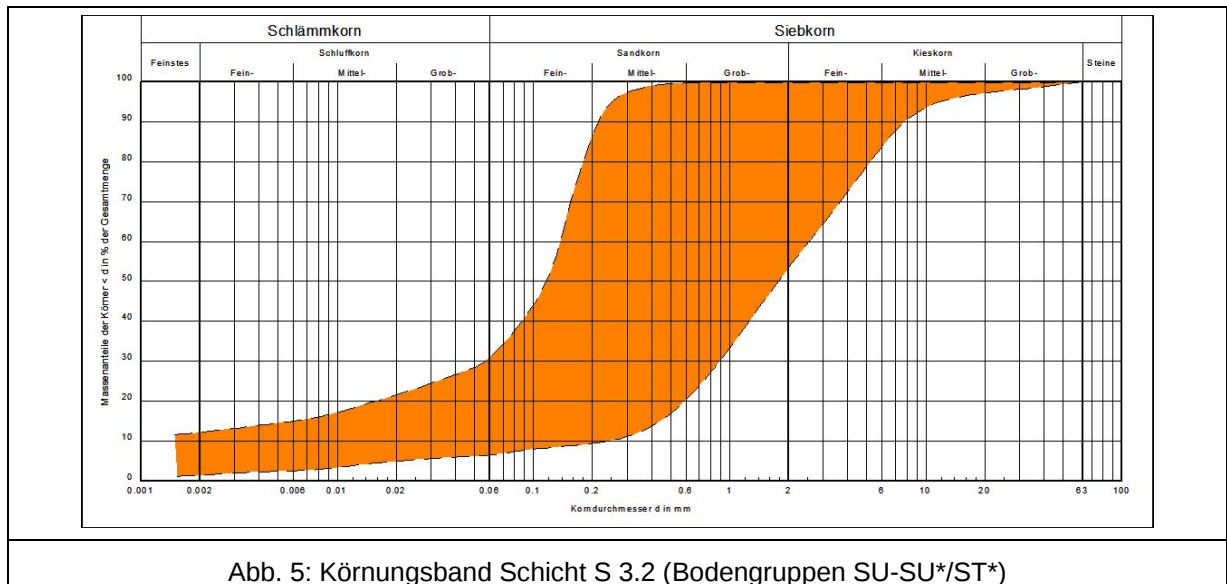
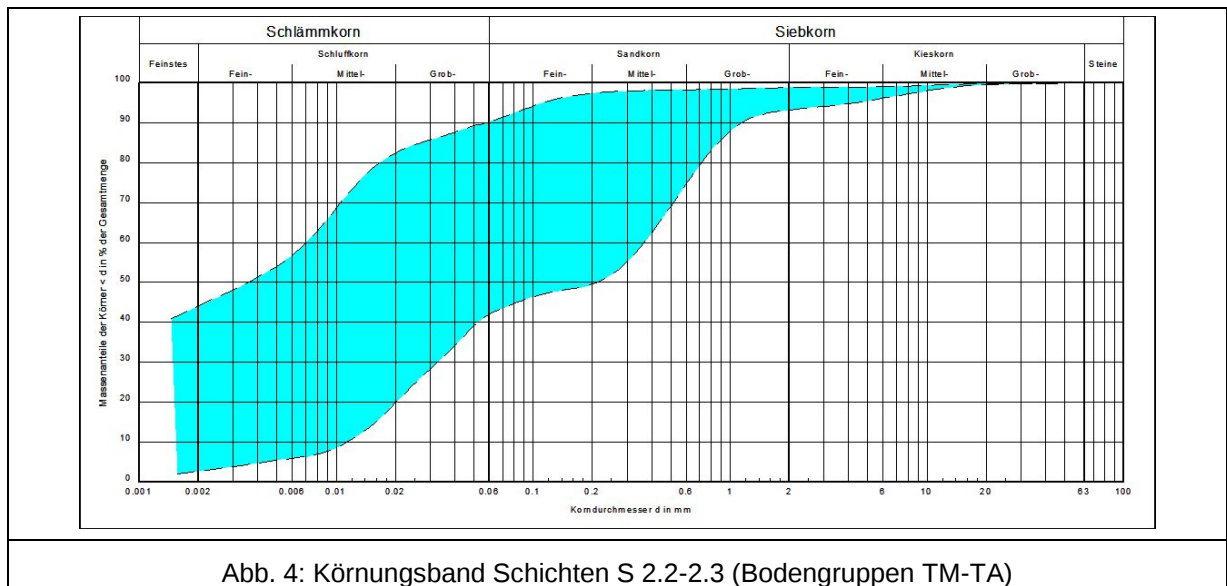
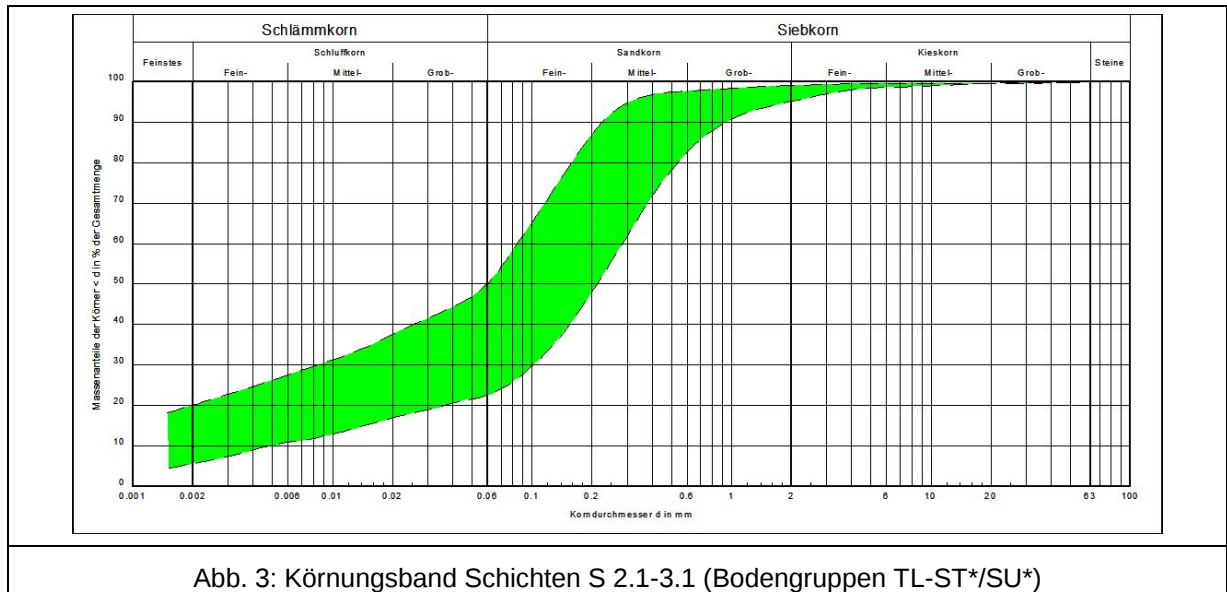
An insgesamt 42 Proben ist die Korngrößenverteilung durch Siebung nach nassem Abtrennen der Feinteile (26x) bzw. kombinierte Sieb-Sedimentations-Analyse (16x) bestimmt worden. Aus den Körnungslinien konnte die Wasserdurchlässigkeit des Bodens anhand der Verfahren von Beyer, Hazen, Kaubisch bzw. nach USBR abgeschätzt werden. Für die maßgebenden Schichten ergeben sich Kennwerte gemäß Tabelle 7.

Tabelle 7: Ergebnisse der Korngrößenbestimmung, k_f -Werte

Schicht	Boden- gruppe	Anzahl Versuche	C_u	$d_{<0,063}$ (%)	k_f -min (m/s)	k_f -max (m/s)	k_f -med (m/s)
S 1.2	[SU], [GU]	2	5	7...13	9×10^{-6}	8×10^{-5}	5×10^{-5}
	[GU]	1	59	6	3×10^{-4}	3×10^{-4}	3×10^{-4}
S 2.1-3.1	TL-ST*	2	75...120	32...36	1×10^{-7}	2×10^{-6}	7×10^{-7}
S 3.1	ST*/SU*	4	67	40...45	5×10^{-8}	1×10^{-7}	9×10^{-8}
S 2.2	TM-TA	2	n.b.	62...75	1×10^{-8}	2×10^{-6}	4×10^{-7}
S 2.3	TA	3	n.b.	47...82	5×10^{-10}	2×10^{-7}	3×10^{-8}
S 3.2	SU*/ST*	1	20	18...19	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}
	SU	5	4...11	8...15	3×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
S 4.1	SE	14	2...6	1...4	1×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-4}
S 4.2	GI-GW	8	6...20	0...4	5×10^{-4}	1×10^{-3}	8×10^{-4}

In den nachfolgenden Abbildungen 2 bis 7 sind die Körnungsbänder der einzelnen Schichten dargestellt, die sich aus den Untersuchungen gemäß Tabelle 7 sowie der Baugrundvoruntersuchung /U 2/ ergeben.





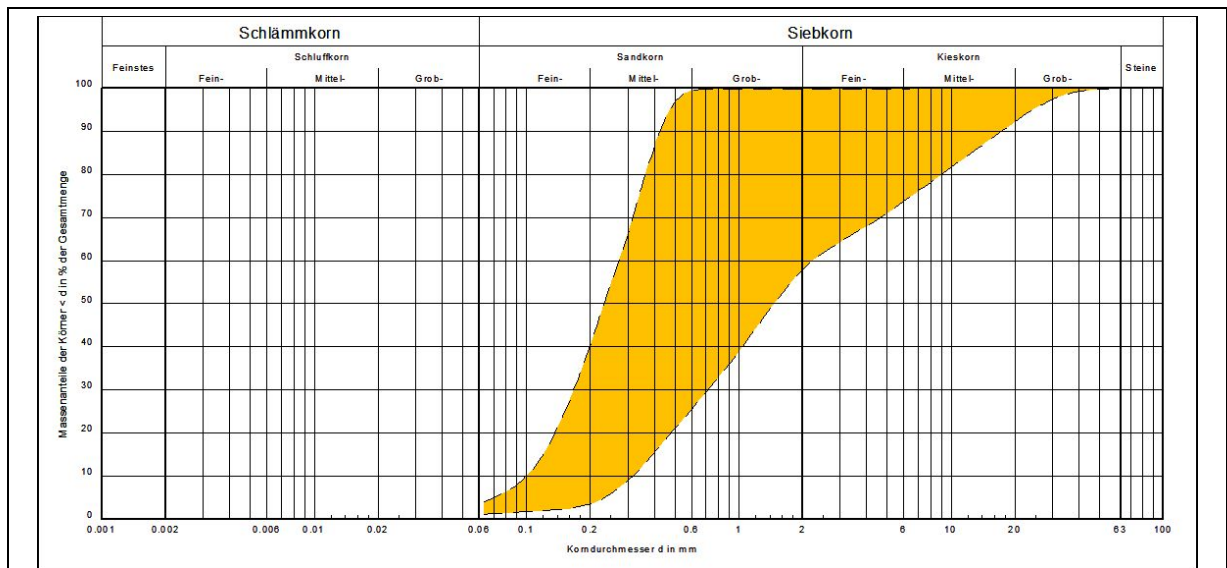


Abb. 6: Körnungsband Schicht S 4.1 (Bodengruppe SE)

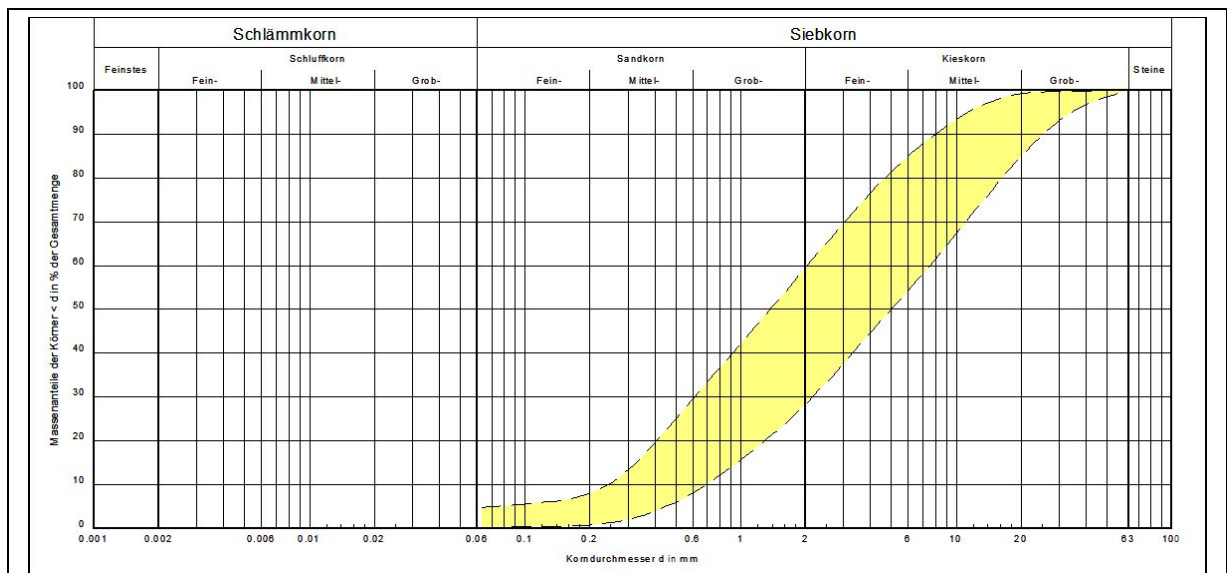


Abb. 7: Körnungsband Schicht S 4.2 (Bodengruppen GI-GW)

Wassergehalt

An insgesamt 73 Proben ist der natürliche Wassergehalt (w) durch Ofentrocknung nach DIN 17892-1 /R 15/ bestimmt worden (s. Tabelle 8). Dabei ergaben sich - unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Baugrundvoruntersuchung /U 2/ - folgende Wertebereiche für die einzelnen Schichten.

Tabelle 8: Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen

Schicht	Bodengruppe	Anzahl Versuche Hauptuntersuchung	w_n (%) inkl. Angaben in /U 2/
S 1.2	[SU-SU*], [GU]	4	2...7
S 2.1-3.1	TL-ST*	13	8...41
S 2.2-2.3	TM-TA	10	10...40
S 3.2	SU-SU*, ST*	11	3...43
S 4.1	SE (-SW)	23	2...24
S 4.2	GI (-GW)	8	2...12
S 5.1	OT, OU	1	22...86
S 5.2	OH	2	24...36
S 5.3	HN-HZ	1	62

Zustandsgrenzen

An 13 Proben der bindigen Böden sind Fließ- (w_L) und Ausrollgrenzen (w_P) sowie Plastizitäts- (I_P) und Konsistenzzahlen (I_C) bestimmt worden. Für die maßgebenden Schichten ergaben sich dabei Kennwerte gemäß Tabelle 9.

Tabelle 9: Plastische Eigenschaften der untersuchten Böden

Schicht	Anzahl Versuche	Boden- gruppen	w (%)	w_L (%)	w_P (%)	I_P (%)	I_C (%)
S 2.1	1	TL	26	32	16	15	0,29
S 2.1-3.1	3	TL-ST*	13...17	17...24	9...12	8...12	< 0...0,44
S 2.2	2	TM	18...22	41...46	18...41	23...32	0,52...0,75
S 2.3	6	TA	16...36	53...91	21...34	32...57	0,56...1,13
S 5.1	1	OT	86	73	42	32	< 0
Anmerkung: Bei erhöhtem Überkornanteil sowie bei $I_C < 0$ wurde die Konsistenz im Zuge der ingenieurgeologischen Bodenansprache beurteilt.							

Die Ergebnisse der Plastizitätsversuche sind in die ingenieurgeologische Bodenansprache eingeflossen. Alle untersuchten Proben liegen oberhalb der A-Linie im Plastizitätsdiagramm. Von daher sind alle fein- und gemischtkörnigen Böden hinsichtlich ihrer plastischen Eigenschaften als Ton bzw. tonig angesprochen und dargestellt worden.

Im Zuge der Baugrundvoruntersuchung /U 2/ sind bereits vier Versuche zur Bestimmung der Zustandsgrenzen nach Atterberg erfolgt. (je 1* in den Bodengruppen ST*, TL, TM und TA). Auch diese vier Proben liegen allesamt oberhalb der A-Linie im Plastizitätsdiagramm, ohne dass jedoch eine Anpassung der Bodenansprache in den Schichtenprofilen erfolgt ist.

Organischer Anteil

An insgesamt 18 Proben ist der organische Anteil / Glühverlust (V_{GL}) nach DIN 18128 /R 21/ bestimmt worden. Die Ergebnisse sind in die Bodenansprache eingeflossen. Für die maßgebenden Schichten wurden die Kennwerte in Tabelle 10 erfasst. Dabei ergaben sich - unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Baugrundvoruntersuchung /U 2/ - folgende Wertebereiche für die einzelnen Schichten.

Tabelle 10: Organische Anteile

Schicht	Anzahl Versuche Hauptuntersuchung	Bodengruppe	V_{GL} (%)	Bodenansprache DIN EN ISO 14688-2
S 1.2	2	[SU-SU*]	1,5...2,5	überwiegend schwach organisch
S 2.1	3	TL	2,5...5,0	
S 2.2	2	TM	3,0...4,5	
S 3.1-3.2	1	SU-SU*, ST*	1,0...5,0	
S 4.1	4	SE	0,4...4,0	sehr schwach bis schwach organisch
S 4.2	2	GI	0,4...1,0	
S 5.1	1	OT, OU	6...10	mittel organisch
S 5.2	2	OH	6...13	
S 5.3	1	HN-HZ	10.. 33	mittel bis stark organisch

Die Ergebnisse der Bestimmung des organischen Anteils sind in die ingenieurgeologische Bodenansprache eingeflossen.

Dichte

An 11 ungestörten Proben der fein- und gemischtkörnigen Böden sind die Roh- und Trockendichten (ρ , ρ_d) nach DIN 18125-2 /R 19/ sowie die Korndichten (ρ_s) nach DIN 18124 /R 18/ bestimmt worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11: Ergebnisse der Dichtebestimmung

Schicht	Anzahl Versuche	ρ (g/cm ³)	w (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)
S 2.1-3.1	5	1,49...1,88 Ø 1,65 (Aueton)	10...37	1,13...1,65 Ø 1,38 (Aueton)	2,53...2,62 Ø 2,59
	1	2,24 (Bänderton)	13	1,98 (Bänderton)	2,67
S 3.1-3.2	5	1,63...1,83 Ø 1,72	4...12	1,46...1,74 Ø 1,62	2,63...2,66 Ø 2,64

Die Ergebnisse der Dichtebestimmung sind bei der Festlegung der charakteristischen Bodenkennwerte berücksichtigt worden.

Der pleistozäne Bänderton nimmt offenbar eine Sonderstellung ein. Aufgrund der Vorbelastung ist dessen Dichte wesentlich höher als die der holozänen Auebildungen.

Lagerungsdichte

An 8 Proben der grob- und gemischtkörnigen Böden sind die Lagerungsdichten bei lockerster und dichtester Lagerung (min ρ_d , max ρ_d) nach DIN 18126 /R 20/ (Einfüllversuche, Schlaggabelversuche) sowie die Korndichten (ρ_s) nach DIN 18124 /R 18/ bestimmt worden. Aus den Versuchsergebnissen sind Angaben zum Porenanteil (min n, max n) sowie zur Porenzahl (min e, max e) abgeleitet worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

Tabelle 12: Lagerungsdichten bei lockerster und dichtester Lagerung

Schicht	Anzahl Versuche	min ρ_d (g/cm ³)	max ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	min n	max n
					min e	max e
S 3.2	2	1,10...1,21	1,39...1,55	2,58...2,62	0,41...0,46	0,54...0,57
					0,69...0,86	1,17...1,34
S 4.1	6	1,35...1,46	1,71...1,86	2,66...2,67	0,30...0,36	0,45...0,49
					0,44...0,56	0,83...0,98

Aus den minimalen und maximalen Lagerungsdichten kann eine gute Verdichtungsfähigkeit (I_f) der grob- und gemischtkörnigen Böden nach /R 20/ abgeleitet werden:

$$S\ 3.2 \quad I_f = 0,55...0,69$$

$$S\ 4.1 \quad I_f = 0,59...0,98$$

Kalkgehalt

An je einer Probe der gemischt- und grobkörnigen Böden aus dem Bereich der Flutmulde sind die Kalkgehalte nach /R 22/ bestimmt worden. Hierbei ergaben sich folgende Werte:

- Schicht S 3.1 (Bodengruppe SU*/ST*): 0,4 %
- Schicht S 4.1 (Bodengruppe SE): 0,5 %

Der Kalkgehalt spielt somit bei der Beurteilung der Böden hinsichtlich Lösbarkeit, Verdichtbarkeit und Verwertbarkeit nur eine untergeordnete Rolle.

Scherparameter

Zur versuchstechnischen Bestimmung der Scherparameter bindiger Böden sind insgesamt sechs direkte Scherversuche (Rahmenscherversuche nach /R 25/) mit Normalspannungen von $\sigma = 100 - 300 \text{ kN/m}^2$ ausgeführt worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13: Ergebnisse der Scherversuche

Schicht	Anzahl Versuche	Bodengruppe	eff. Reibungswinkel $\phi'(^{\circ})$	eff. Kohäsion $c' (\text{kN/m}^2)$
S 2.1-3.1	5	ST*-TL	31,9...37,0 $\phi' 34,1$	2,4...9,1 (steif-halbfest) $\phi' 5,2$
S 2.2	1	TM	30,4	16,5 (steif)

Die Ergebnisse der Scherversuche sind bei der Festlegung der charakteristischen Bodenkennwerte berücksichtigt worden.

Steifemoduln

Zur Bestimmung der Steifemoduln sind drei einaxiale Druckversuche nach /R 24/ an zylindrischen Gesteinsproben (Stutzen) ausgeführt worden. Die an den Proben realisierbaren Druckspannungen beliefen sich auf max. 60, 70 bzw. 110 kN/m^2 . Die Steifemoduln des einaxialen Druckversuchs gemäß Tabelle 14 sind aus der Neigung der Druck-Stauchungslinien (σ_a - s_a' -Diagramme) abgeleitet worden (s. Anhang A 3.2).

$$E_u = \Delta \sigma_a / \Delta s_a'$$

Tabelle 14: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

Schicht	Anzahl Versuche	max. Druckspannung σ_a (kN/m^2)	Bezogene Setzung s_a' (%)	Steifemodul E_u (MN/m^2)	bei σ_a (kN/m^2)
S 3.2	1	56,0	6,3	6,3	10...45
S 2.1	1	71,7	5,0	5,0	10...70
S 2.2	1	113,2	2,0	2,0	30...110

Die Ergebnisse der einaxialen Druckversuche sind in die Festlegung der charakteristischen Bodenkennwerte eingeflossen.

Abrasivität

Für die Feststellung der abrasiven Eigenschaften der grobkörnigen Böden im Bereich der geplanten Spundwandstrecken sind 3 Abrasivitätsversuche nach /R 26/ veranlasst worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 zusammengestellt.

Tabelle 15: Ergebnisse der Abrasivitätsbestimmung

Schicht	Anzahl Versuche	Bodengruppe	LAK (g/t)
S 4.1-4.2	1	SE-GW	1110
S 4.2	2	GI	1072...1143

Die versuchstechnisch festgestellten LCPC-Koeffizienten (LAK) von 1070...1150 g/t belegen eine starke Abrasivität der sandig-kiesigen Böden. Der zu erwartende Verschleiß an der Bohrtechnik (beim Vorbohren) ist demnach sehr hoch.

6.5 Boden-, abfall- und grundwasseranalytische Laboruntersuchungen

Oberböden

Die untersuchten Oberböden weisen flächendeckend in allen Abschnitten eine Vorbelastung mit Metallen auf, die die Vorsorgewerte der BBodSchV signifikant übersteigen (s. Tabelle 16).

Tabelle 16: Metallgehalte in den Oberböden

Metall	min...max-Gehalt (mg/kg TS)	Median 30 Proben (mg/kg TS)	Vorsorgewert /R 28/ für Sande (mg/kg TS)
Blei	40...220	62	40
Cadmium	0,2...1,8	0,69	0,4
Chrom	21...210	52	30
Kupfer	19...270	45	20
Nickel	6...35	19	15
Quecksilber	0,2...1,7	0,42	0,1
Zink	57...720	160	60

Erhöhte Anteile organischer Inhaltsstoffe sind hingegen nur punktuell nachweisbar:

- bei km 0+150...0+420 (A2 L) in der Abdeckung der Altablagerung mit PAK=4,1 mg/kg
- bei km 0+690...0+860 (A3 L) auf dem Deichkörper mit PAK=11,6 mg/kg sowie
- bei km 0+910...1+250 (A4 L) auf der Landseite mit PAK=5,3 mg/kg.

Die Humusgehalte in den untersuchten Proben schwanken relativ stark zwischen 1,2 und 21 % (Median 4,5 %).

Die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Qualitätsparameter für die Wiederverwendung im Wasserbau sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Qualitätsparameter für die Wiederverwendung des Oberbodens

Parameter	min...max-Werte	Median	Sollwerte
C/N-Verhältnis	8...21	12,4	< 14
Organ. Anteil (TOC)	0,9...9,6 %	2,3 %	4...8 %
Schluffkorn-anteil	2...15,8 %	6,2 %	> 15 %

Die überwiegende Anzahl der untersuchten Oberbodenproben lässt sich den Bodengruppen SE und SU nach DIN 18196 zuordnen. Lediglich eine der insgesamt 30 untersuchten Proben kann aufgrund des Feinkornanteils von > 15 % in die Bodengruppe SU* eingestuft werden. Die standorteigenen Oberböden sind insbesondere aufgrund der geringen Schluffkorn- und organischen Anteile für eine Wiederverwendung technologisch ohne Vorbehandlung nicht geeignet. Die Vorbehandlungsmaßnahmen müssen ein Zumischen feinkörniger Fraktionen $\leq 0,06$ mm sowie ein bedarfsgerechtes Einbringen von stickstoffhaltigen und organischen Komponenten umfassen.

Abtragsböden

Die potenziellen Abtragsböden aus den Deichkörpern, dem Deichuntergrund, von der Landseite sowie abschnittsweise auch von der Wasserseite (Bereich Umverlegung Schwarze Elster, Reprofilierung Flutmulde) sind hinsichtlich ihrer Schadstoffbelastung nach TR LAGA untersucht worden /R 29/. Der Untersuchungsschwerpunkt lag dabei auf den Stützkörpern der Bestandsdeiche (Deichkörper). In Bereichen, in denen nach gegenwärtigem Planungsstand voraussichtlich ein Abtrag von Boden über den Oberbodenabtrag hinaus erfolgen soll, sind ergänzende Untersuchungen auf der Land- und Wasserseite der Bestandsdeiche vorgenommen worden.

Die Ergebnisse der abfallanalytischen Untersuchungen sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 18: Ergebnisse der Untersuchungen nach TR LAGA

Ab-schnitt	Station	Wasser-seite	Deich-körper	Deich-untergrund	Land-seite
A1 links	0-670...0-400		U: Z 1.1 (nur TOC)		
A1-A2 links	0-400...0+270		S: 2x Z 0		A: Z 0
A2 links	0+270...0+420		U/T: Z 2 (PAK, Sulfat)	S: Z 2 (pH, Sulfat)	A: > Z 2 (SO ₄) A: > Z 2 (Cu) DK II (TOC) DK III (Glühverlust)
					A: Z 2 (PAK, SO ₄)
					U: > Z 2 (SO ₄) DK II (TOC) DK III (Glühverlust)
	0+420... Bahnbrücke			S/U: Z 2 (pH, Sulfat)	
A3 links	Bahnbrücke... 0+727		S: Z 1.1 (Hg)	S: Z 1.1 (Hg)	
	0+727... Brücke B 87	S: Z 1.1 (Hg) A: Z 1.1 (PAK)			
A4 links	Brücke B 87... 1+200	S: Z 1.1 (Hg, TOC)	S: Z 1.1 (As,Pb,Hg)	S: Z 2 (pH, Sulfat, Ni)	
			S: Z 1.1 (Hg)		
	1+200...1+650		S: Z 1.1 (Hg)	S: Z 1.1 (Hg, TOC)	
	1+650...1+900		S: Z 1.1 (Hg)	S: Z 0	
				U: Z 0	
	1+900...2+130		S: Z 0	S: Z 2 (pH, Sulfat, Ni)	
A2 rechts	0+000...0+150		S: Z 0	S: Z 2 (SO ₄ , Ni)	
				A: Z 1.1 (As,Cr,Cu,Ni,Zn)	
	0+150...0+300		S: Z 2 (nur pH)		
	0+150... Bahnbrücke	S: Z 0	U: Z 2 (nur pH)	S: Z 0	
				U: Z 2 (nur pH)	
	0+300... Bahnbrücke		S: Z 1.1 (nur TOC)		

Fortsetzung von Tabelle 18:

Ab-schnitt	Station	Wasser-seite	Deich-körper	Deich-untergrund	Land-seite
A3 rechts	Bahnbrücke... 0+740	S: Z 0	U: Z 1.1 (TOC, As)	S: Z 0	
	Wasserseite: Umverlegung Schw. Elster		S+G: Z 2 (Sulfat)		
	0+740... Brücke B 87		S: Z 0	S: Z 0 A: Z 2 (TOC, pH)	
A3-A4	Flutrinne: 0+750...1+100	S: Z 0			
Angabe der Einbauklassen (in Klammern einstufigsrelevante Parameter) grün: ≤ Z 0; gelb: ≤ Z 1.1, orange: ≤ Z 2; rot: > Z 2 Bodenarten S: Sand; G: Kies, U: Schluff; T: Ton; A: Auffüllungen					

Hinsichtlich der Schadstoffbelastung der Boden und Auffüllungen und deren Abgrenzung in den einzelnen Teilabschnitten lassen sich folgende zusammenfassende Angaben machen:

- Im Abschnitt A1 L sowie im Abschnitt A2 L zwischen km 0+000 und 0+270 sind keine Auffälligkeiten im Deichkörper, Untergrund und auf der Landseite festgestellt worden. Der in der Probe MP QP 1.1+2.1 (Schluff DK) festgestellte schwach erhöhte TOC-Gehalt (0,7 %, **Einbauklasse 1, ≤ Z 1.1**) ist möglicherweise auf humose Anteile oder Wurzelreste zurückzuführen und hat nur eine untergeordnete Bedeutung.
- Ab km 0+270 (Abschnitt A2 L) ist im Deichkörper und Deichuntergrund der Einfluss der landseitigen Altablagerung „Am Sportplatz“ nachweisbar. Aufgrund von erhöhten Gehalten an PAK (4,7 mg/kg) und Sulfaten (> 20...28 mg/l Eluat) sowie dem Absinken des pH-Wertes auf < 6,5 (minimal 5,7) sind die Böden aus diesem Bereich der **Einbauklasse 2 (≤ Z 2)** zuzuordnen.
- Das eigentliche Inventar der Altablagerung übersteigt in drei der vier untersuchten Proben die Zuordnungswerte Z 2 der LAGA TR Boden. Überschreitungsrelevante Parameter sind insbesondere Sulfat (bis 1.300 mg/l Eluat) sowie Kupfer (bis 760 mg/kg). Aufgrund der Z 2-Wert-Überschreitung ist eine ergänzende Analytik nach Deponieverordnung veranlasst worden. Diese ergab eine Einstufung des Abfalls in die **Deponieklassen DK II (TOC) bzw. DK III (Glühverlust)**. Eine Überschreitung der Zuordnungswerte der DK I für Glühverlust bzw. TOC ist gemäß Fußzeile 3 Tabelle 2 Anhang 2 DepV nicht zulässig, da sonstige Fremdbestandteile (z. B. Glas, Asche Hausmüll, Bauschutt) deutlich mehr als 5 Volumenprozent ausmachen.
- Zwischen Bahnbrücke (A3 L) und ca. km 1+900 (A4 L) ist in Deichkörper, Deichuntergrund sowie auf der Wasserseite eine schwache, aber durchgängige Quecksilberkontamination in den sandigen Böden nachweisbar (max. 0,2 mg/kg), die lokal auch mit erhöhten Arsen- und Bleigehalten einhergeht (max. 24 bzw. 100 mg/kg, jeweils **Einbauklasse 1, ≤ Z 1.1**).
- Im Untergrund des Abschnitts A4 L sind zwischen km 0+800 und 1+200 sowie km 1+800 und 2+100 erhöhte Gehalte von Sulfat (max. 28 mg/l) und Nickel (35 µg/l) im Bodeneluat

nachgewiesen worden, die zu einer Einstufung in **Einbauklasse 2 ($\leq Z\ 2$)** nach LAGA TR Boden führen.

- Im Untergrund des Abschnitts A2 R sind zwischen Wehrstandort (km 0+000) und km 0+150 ebenfalls erhöhte Gehalte von Sulfat (max. 56 mg/l) und Nickel (46 µg/l) im Untergrund nachgewiesen worden (**Einbauklasse 2 ($\leq Z\ 2$)** im Eluat)).
- Zwischen km 0+150 und Bahnbrücke (Abschnitt A2 R) ist in Deichkörper, Deichuntergrund sowie auf der Landseite ein Absinken der pH-Werte im Bodeneluat auf Werte von $< 6,5$ (min. 5,8) zu beobachten (**Einbauklasse 2, $Z\ 2$**).
- Zwischen Bahnbrücke und km 0+700 (Abschnitt A3 R) wurde erhöhte Sulfatgehalte im Eluat des sandig-kiesigen Deichmaterial nachgewiesen, die eine Einstufung des Bodens in **Einbauklasse 2 ($\leq Z\ 2$)** nach LAGA TR Boden bedingen (max. 90 mg/l).
- Im Eluat der bei km 0+860 (Abschnitt A3 R) im Deichuntergrund angetroffenen Bau-schuttauffüllung wurde ein hoher pH-Wert von 10,4 gemessen (**Einbauklasse 2, $Z\ 2$**). Außerdem sind schwach erhöhte Arsen-, Chrom-, Quecksilber- und Zinkgehalte in dieser Auffüllung festgestellt worden (≤ 1.1).
- Im Bereich der Flutmulde sind keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Schadstoffbelastung der Böden festgestellt worden (alle Werte $\leq Z\ 0$ bzw. $\leq Z\ 1.1$ auf der Wasserseite der Deiche).

Zusammenfassend sind die Bereiche, in denen die Zuordnungswerte $Z\ 1.1$ der LAGA Boden überschritten werden (Einbauklasse ≥ 2), in Tabelle 19 zusammengestellt.

Tabelle 19: Zusammenstellung der Abschnitte mit Böden der LAGA-Einbauklassen ≥ 2

Abschnitt	Station	Lage	Bodenart	Einbauklasse
A2 L	0+270... 0+420	Landseite	Altablagerungen, Schluff	> Z 2 (DK II...III)
		Deichkörper, Untergrund	Sand, Schluff, Ton	2 (≤ Z 2)
	0+420... Bahnbrücke	Untergrund	Sand, Schluff	
A4 L	Brücke B 87... 1+200	Untergrund	Sand	
	1+900...2+130			
A2 R	Wehr Herzberg... 0+150	Untergrund	Sand	
	0+150... Bahnbrücke	Deichkörper	Sand, Schluff	
		Untergrund	Schluff	
A3 R	Bahnbrücke... 0+740	Deichkörper	Sand, Kies	
	0+740... Brücke B 87	Untergrund	Auffüllung	

Bituminöse Wegebaustoffe

Im Abschnitt 1 (links) sind zwei Kernproben aus der Tragschicht Radwegs auf der Deichkronen (km 0+020 und 0+480) sowie eine Kernprobe aus der Tragschicht des Zufahrtsweges zum Wehr (km 0+000 rechtsseitig) Herzberg entnommen worden.

Sowohl die organoleptische Materialansprache, als auch die abfallanalytischen Untersuchungen nach /R 31/, /R 32/ ergaben in keiner der untersuchten Proben Hinweise auf teer-/pechtypische Inhaltsstoffe:

- geruchlos
- PAK (EPA) nicht bestimmbar, da alle Einzel-PAK < 1 mg/kg OS
- Phenolindex < 0,01 mg/l

Somit sind die bituminösen Wegebaustoffe in Verwertungsklasse A nach RuVA-StB bzw. BTR-RC-StB einzustufen. Die entsorgungsrelevante Deklaration kann als nicht gefährliche **Abfallart 170302** erfolgen (Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 170301 fallen).

Gleisschotter

Die untersuchte Mischprobe des Gleisschotters weist relativ hohe Chromgehalte in Feststoff (780 mg/kg) und Eluat (2,1 mg/l) auf, die zu einer Einstufung des Materials in Deponieklasse **DK III** führen.

Die ergänzende Analytik auf Unkrautbekämpfungsmittel in der Fraktion < 31,5 mm ergab folgende Befunde:

- Glyphosat < 0,05 µg/l
- AMPA < 0,05 µg/l
- Summe Herbizide ohne Glyphosat u. AMPA: 3,1 µg/l

mit folgenden nachgewiesenen Einzelsubstanzen:

- Atrazin: 0,025 µg/l
- Simazin: 0,57 µg/l
- Thiazafluron: 2,5 µg/l

Die Prüfung, ob es sich bei dem untersuchten Gleisschotter um gefährlichen Abfall handelt, erfolgte anhand /R 34/. Gemäß Anhang III kann die gefahrenrelevante Eigenschaft H13 (Beseitigung) in der Regel als erfüllt angesehen werden, wenn die Konzentrationsgrenze von 1 mg/l für Chrom (gesamt) im Eluat überschritten wird. Diese Überschreitung ist im vorliegenden Fall gegeben, sodass eine Zuordnung zur **Abfallart 170507*** erfolgt (Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält). Die Prüfung der Gefahrenrelevanz der nachgewiesenen Herbizide kann daher an dieser Stelle entfallen.

Grundwasser, Spundwandstrecken

Die Untersuchungsergebnisse des Grundwassers hinsichtlich der beton- und stahlkorrosiven Eigenschaften sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

Tabelle 20: Korrosive Eigenschaften des Grundwassers

Abschnitt	Station Probenahme	Probe	Beton-aggressivität	Stahl-korrosivität
A1 L	0-480 (Altwasser HL)	WP A1 L-1	schwach (30 mg/l kalkl. CO ₂)	sehr gering bis gering
A2 L	0+285 (Deponie)	WP A2 L Dep-1	nicht bestimmt	
A2 R	0+120 (Schöpfwerk)	WP A2 R-1	stark (85 mg/l kalkl. CO ₂)	
A3 L	0+800 (neue HWS-Achse)	WP A3 L-1	nicht bestimmt	
A3 R	0+816 (Anbindung B 87)	WP A3 R-1	schwach (20 mg/l kalkl. CO ₂)	sehr gering
A4 L	1+127 (RW-Pumpwerk)	WP A4 L-1	stark (45 mg/l kalkl. CO ₂)	sehr gering
	2+099 (Altwasser Kaxdorf)	WP A4 L-2	nicht bestimmt	sehr gering bis gering

Grundwasser, Altablagerung „Am Sportplatz“

Die Übersicht der Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen im Abstrom der Altablagerung (s. Anhang A 4.5) verdeutlicht, dass die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA (GFS 2004 bzw. Entwurf GFS 2015) für die Parameter, die in Tabelle 21 aufgeführt sind, signifikant überschritten werden.

Tabelle 21: Überschreitung der LAWA-GFS im Grundwasser der Altablagerung

Parameter	LAWA GFS 2004 (E 2015)	Anzahl Überschreitung	festgestelltes Maximum	Überschreitungs-faktor (GFS 2004)
Arsen	10 (3,2)	3	70	7,0
Blei	7 (1,2)	1	200	29
Bor	740 (180)	1	1.700	2,3
Cadmium	0,5 (0,3)	2	9	18
Chrom	7 (3,4)	1	36	5,1
Kobalt	8 (2)	1	33	4,1
Kupfer	14 (5,4)	1	120	8,6
Nickel	14 (7)	1	44	3,1
Selen	7 (3)	1	15	2,1
Vanadium	4 (4)	1	64	15
Zink	58 (60)	3	480	8,3

Fortsetzung von Tabelle 21:

Parameter	LAWA GFS 2004 (E 2015)	Anzahl Überschreitung	festgestelltes Maximum	Überschreitungs- faktor (GFS 2004)
Sulfat	240.000	3	580.000	2,4
Σ PAK	0,2	2	22,1	110
Benzo(a)pyren	0,01	2	2,23	220
Dibenz(a,h)- anthracen	0,01	2	0,291	29
weitere 5 PAK	0,025	je 2	1,2...3,9	50...160
Σ LHKW	20	2	191	9,5
Dichlorethen	0,5	1	130	260
Nonylphenol	0,3	1	0,81	2,7
alle Konzentrationsangaben in µg/l				

Die Untersuchungsergebnisse belegen, dass im unterirdischen Abstrom der Altablagerung „Am Sportplatz“ eine lokale Grundwasserkontamination mit Metallen sowie anorganischen und organischen Inhaltsstoffen nachweisbar ist.

7. Baugrundmodell

7.1 Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

7.1.1 Abschnitt A1

Linke Seite

Altdeich

Der ingenieurgeologische Längsschnitt (Anlage 5.1) entlang der wasserseitigen Deichkrone verdeutlicht, dass der Deichkörper ist in diesem Abschnitt sehr heterogen aufgebaut ist. Im Bestandsdeich sind weiche, steife und halbfeste bzw. locker bis mitteldicht gelagerte Böden der Schichten S 2.1-3.1 (Bodengruppen ST*-TA), S 3.2 (SU/SU*) und S 4.1 (SE) nachgewiesen worden. Die bindigen Deichbaustoffe sind der Einbauklasse 1 ($\leq Z$ 1.1), die sandigen Böden der Einbauklasse 0 ($\leq Z$ 0) nach /R 29/ zuzuordnen.

Auf der Deichkrone verläuft ein Radweg, dessen Schotterbefestigung sich im ingenieurgeologischen Längsschnitt widerspiegelt (Schicht S 1.2). Die bituminösen Deck- und Trag-schichten sind teerfrei (Verwertungsklasse A nach /R 31/, /R 32/).

Im Teilabschnitt zwischen altem und neuem Wehrstandort (km 0+080...0+000) ist der Altdeich im Zuge des Ersatzneubaus der Wehranlage durch den Einbau einer wasserseitigen Dichtung (Bentonitmatten) instand gesetzt worden.

Untergrund

Der oberflächennahe Untergrund ist durch eine wechselnde Mächtigkeit eines überwiegend bindigen Schichtenkomplexes S 2.1-2.3/3.1 gekennzeichnet, der sich im geoelektrischen Längsschnitt deutlich als Widerstandsminimum abzeichnet. Die Mächtigkeit des bindigen Sedimentkomplexes beläuft sich auf 0,5-5,5 m, wobei auch sandige Lagen bzw. Inhomoge-

nitäten eingeschaltet sind (S 3.2-4.1). Die maximale Mächtigkeit wurde am QP 3.1 bei km 0-295 festgestellt.

Im weiteren Untergrund sind Sande, Kiessande und Kiese der Schichten S 4.1 (SE) sowie S 4.2 (GI-GW) mit Übergängen zu S 3.2 (SU, GU) verbreitet. Diese weisen in der Regel eine mitteldichte, mit zunehmender Tiefe und Überlagerungsdruck auch dichte Lagerung auf. Die Grenze zwischen mitteldichter und dichter Lagerung liegt nach Auswertung der Rammsondierungen zwischen +70 m NHN bei km 0-000 (Wehr Herzberg) und +76 m NHN bei km 0-700. Die Sande aus dem Deichuntergrund sind der Einbauklasse 0 ($\leq Z 0$) nach /R 29/ zuzuordnen.

Zwischen km 0-700 und 0-100 sind auf der Wasserseite des Deiches organische Torf- und Torfmudde-Bildungen festgestellt worden, die stellenweise bis an den Deichfuß heranreichen. Im Bereich des landseitigen Altwassers bei km 0-700 bis 0-550 (QP 1, QP 2) sind ebenfalls Torfmudden nachgewiesen worden, die sich offenbar bis in Bereiche unterhalb der Deichaufstandsfläche erstrecken.

Am landseitigen Deichfuß verläuft zwischen km 0-700 und 0-050 ein schotterbefestigter Wirtschaftsweg (S 1.2). Die Dicke des Schotterbettes wurde im Bereich der QP 1.1-3.1 mit 0,40-0,60 m festgestellt, wobei auch Hinweise auf einen lokalen Bodenaustausch bestehen (0,30 m aufgefüllte Sande bei QP 1). Der überwiegend kiesige Schotter führt stellenweise mineralische Fremddanteile in Form von Ziegelbruchstücken ($\leq 10 \%$).

Bei km 0-080...0-070 befindet sich der Standort des ehemaligen Wehrs Herzberg. Aus dem geoelektrischen Längsschnitt am wasserseitigen Deichfuß lassen sich in diesem Bereich relativ stark gestörte Lagerungsverhältnisse im oberflächennahen Untergrund ableiten (kleinräumiger Wechsel von Widerstandsminima und –maxima), vermutlich verursacht durch im Boden verbliebene Einbauten sowie inhomogene Auffüllungen. Während der Erkundungsarbeiten am alten Wehrstandort (QP 4, Wasserseite) sind Bohrhindernisse angetroffen worden, die darauf hindeuten, dass alte Bauwerksfundamente im Boden verblieben sind. Darauf deutet auch ein lokales Widerstandsmaximum hin, welches zwischen km 0-090 und 0-060 am wasserseitigen Deichfuß festgestellt worden ist.

Grundwasserverhältnisse

Die Grundwasserflurabstände beliefen sich zum Zeitpunkt der geotechnischen Erkundung 2016 je nach Geländehöhe auf 0,5 bis 2 m.

Zwischen km 0-700 und 0-225 herrschen aufgrund des Vorhandenseins von Deckstauern überwiegend schwach gespannte GW-Verhältnisse vor (s. RKS QP 1.1 A und C-E, RKS QP 2.1 A-C und E, RKS QP 3.1 A-E). Zwischen km 0-225 und 0-000 hingegen sind überwiegend ungespannte Grundwasserverhältnisse angetroffen worden.

Die Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers im Bereich der geplanten Innendichtung ergab nur sehr geringe bis geringe stahlkorrosive Eigenschaften.

7.1.2 Abschnitt A2

Linke Seite

Altdeich

Der Altdeich besteht in diesem Abschnitt überwiegend aus locker bis mitteldicht gelagerten Sanden der Schichten S 3.2 (SU/ST) und S 4.1 (SE). Zwischen km 0+200 und 0+320 sind bindige Erdstoffe an der Deichbasis nachgewiesen worden (S 2.1-3.1, Bodengruppe ST*-TL).

Gemäß Ergebnissen der Schadstoffuntersuchungen sind die Sande im Deichkörper zwischen km 0+000 und 0+270 der Einbauklasse 0 ($\leq Z 0$) zuzuordnen. Ab km 0+270 zeigt sich im sandig-tonigen Deichmaterial (S 3.1, S 3.2) der Einfluss der landseitigen Altablagerung „Am Sportplatz“ in Form von schwach erhöhten PAK- und Sulfatgehalten (Einbauklasse 2, $\leq Z 2$).

Die asphaltierte Befestigung der Deichkrone endet bei km 0+062. Die wasser- und landseitige Deichschultern sind ab km 0+050 fast auf ihrer gesamten Länge mit Laubbäumen bewachsen.

Untergrund

Im oberflächennahen Deichuntergrund sind flächendeckend grob- und gemischtkörnige Sande der Schichten S 3.2 und S 4.1 (Bodengruppe SE-SU/SU*) verbreitet. Zwischen km 0+000 und 0+370 ist im Untergrund eine durchgängige Tonschicht (S 2.1-3.1) nachgewiesen worden, deren Mächtigkeit zwischen 0,40 und 2,00 m schwankt (s. ingenieurgeologischer Längsschnitt, Anlage 5.2).

Im weiteren Untergrund sind Sande, Kiessande und Kiese der Schichten S 4.1 (SE) sowie S 4.2 (GI-GW) in mitteldichten bis dichten Lagerungszuständen verbreitet. Die Grenze zwischen mitteldichter und dichter Lagerung wurde anhand der Auswertung der Schlagzahlen aus den Rammsondierungen zwischen +69 m NHN an der Bahnbrücke und +73 m NHN am QP 6 (km 0+240) abgeleitet.

Auf der Wasserseite des Deiches sind stellenweise torfig-humose Bildungen mit mittlerem bis starkem Zersetzungsgrad nachgewiesen worden (S 5.3, Bodengruppe HZ, km 0+050, 0+265, 0+285, 0+382).

Altablagerung „Am Sportplatz“

Auf der Landseite des Deiches grenzt ein Sportplatzgelände an. In Anlage 7 liegt ein Detaillageplan bei, in dem die mittels Geoelektrik (DF LS) und geotechnischen Aufschlüssen (QP 6 bis QP 6.5, Stützbohrungen) festgestellte flächige Abgrenzung einer Altablagerung eingezeichnet ist. Stellenweise reichen die Ablagerungen bis an den landseitigen Deichfuß heran.

Die Mächtigkeit der Altablagerung beträgt 0,50 bis 3,30 m. Als Ablagerungsinventar wurde teilmineralisierter Hausmüll, Asche, Altglas, Kunststoffe/Folien, Altmetalle, Altholz sowie Bauschutt in Form von Beton- und Ziegelresten mit einem Anteil zwischen 10 und 40 % angetroffen. Die abfallrelevanten Untersuchungen des Ablagerungsmaterials ergab 1x Einstufung in Einbauklasse 2 ($\leq Z 2$) sowie 3x Einstufung in Deponieklasse III.

Grundwasserverhältnisse

Im An- und Abstrom der Altablagerung sind Grundwasseruntersuchungen erfolgt. Dabei ist eine Überschreitung der LAWA-Geringfügigkeitsschwellen (GFS) für eine Vielzahl von Parametern nachgewiesen worden (s. Tabelle 21), sodass ein Verdacht auf das Vorhandensein eines lokalen Grundwasserschadens besteht. Die Abstromrichtung des Grundwassers wurde bei Mittelwasserverhältnissen mit NNW bis N entsprechend der hydrologischen Verhältnisse (Schwarze Elster) festgestellt.

Die Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers im Bereich der geplanten Innendichtung ergab sehr geringe bis geringe stahlkorrosive Eigenschaften.

Rechte Seite

Altdeich

Im rechtsseitigen Abschnitt zwischen Wehr und Bahnbrücke ist der Altdeich sehr inhomogen und regellos aufgebaut (s. Längsschnitt, Anlage 5.5). Dementsprechend wurde ein relativ breites Spektrum an fein-, gemischt- und grobkörnigen Böden festgestellt:

- grob- und gemischtkörnige Auffüllungen mit Bauschuttanteilen $\leq 10\%$ (S 1.2, Bodengruppen [SE, SU-ST]),
- grob- und gemischtkörnige Sande (S 3.2, S 4.1, Bodengruppen SU*, SU und SE-SW)
- grob- und gemischtkörnige Kiessande (S 3.2, S 4.2, Bodengruppen GI-GW und GU).
- feinkörnige Sand-Ton-Gemische und Tone (S 2.1-3.1, S 2.2, Bodengruppen ST*-TM)

Die nichtbindigen Böden weisen eine lockere bis mitteldichte Lagerung auf. Die bindigen Böden weisen je nach Wassergehalt zumeist eine steife bis halbfeste Konsistenz auf.

Im Zuge der Schadstoffuntersuchungen an den Deichböden sind mit Ausnahme von schwach erhöhten TOC-Gehalten bis 0,6 % ($\leq Z\ 1$) sowie geringen Versauerungseffekten ($pH_{\min} = 5,8$, innerhalb Z 2) keine Auffälligkeiten festgestellt worden.

Gemäß Auskunftsscheiben des Ingenieurbereichs /U 12/ besitzt der Deich zwischen Wehr Herzberg und Schöpfwerksgelände (0+000 – 0+120) eine Innendichtung aus Ton. Das Dichtungselement wurde im Zuge der geotechnischen Erkundung jedoch nicht nachgewiesen.

Die wasser- und landseitigen Deichschultern sind fast auf der gesamten Länge dieses Abschnitts mit Laubbäumen bewachsen.

Untergrund

Im Deichuntergrund sind überwiegend Sande, Kiessande und Kiese der Schichten S 3.2, S 4.1 und S 4.2 verbreitet. Stellenweise sind räumlich nicht zusammenhängende geringmächtige Tonlagen im Untergrund eingeschaltet, die den Schichten S 2.1-2.3 bzw. S 3.1 zuzuordnen sind (Bodengruppen ST*-TL, TM-TA). Die Tonmächtigkeit wurde in den Aufschlüssen überwiegend mit $\leq 1\text{ m}$ angetroffen, lediglich bei km 0+031 (DF WS), 0+250 (DU) und 0+503 (DU, DF LS) sind größere Mächtigkeiten zwischen 1,25 und 1,70 m nachgewiesen worden (s. ingenieurgeologische Längsschnitte, Anlage 5.5). Die Lagerungsdichte der Sande, Kiessande und Kiese nimmt generell mit der Tiefe von locker-mitteldicht auf mitteldicht bis dicht zu.

Humose Böden (S 5.3) sind vereinzelt auf der Wasserseite des Deiches nachgewiesen worden, wobei die Mächtigkeit der HN- bzw. HZ-Torflagen in der Regel 0,5 m nicht übersteigt. Im Bereich der wasserführenden Altarmstruktur der Schwarzen Elster zwischen km 0+375

und 0+450 sind wasser- und landseitig Faulschlammbildungen (S 5.4) mit überwiegend breiiger Konsistenz angetroffen worden. Aus den Widerstands-Tiefen-Schnitten an den wasser- und landseitigen Deichfüßen lässt sich die Altwasserstruktur anhand eines ausgeprägten Widerstandsminimums gut abgrenzen. Die Unterkante des Faulschlammhorizontes wurde in einer Stützbohrung bei km 0+442 am wasserseitigen Deichfuß bei 2,30 m u. GOK erbohrt. Der geoelektrische Längsschnitt (Anlage 5.5) deutet jedoch darauf hin, dass die Unterkante des bindig-organischen Schichtenkomplexes bis zu 3,0 m unter GOK reicht.

Hinsichtlich der Schadstoffbelastung der Böden im Untergrund sind folgende Auffälligkeiten festgestellt worden:

- schwach erhöhte Metallgehalte in der oberflächennahen kiesigen Auffüllung auf der Wasserseite am QP 23.1 bei km 0+031 (Einbauklasse 1, $\leq Z$ 1.1)
- erhöhte Nickel-, Zink- und Sulfatgehalte im Bodeneluat der Sande aus dem Deichuntergrund zwischen km 0+000 und 0+150 (Einbauklasse 2, $\leq Z$ 2)
- schwache Versauerungserscheinungen an fein- und gemischtkörnigen Böden von der Landseite des Deiches, $pH_{\min} = 6,3$ (innerhalb Z 2).

Bereich Schöpfwerk Altherzberg

Im Bereich des Schöpfwerkes Altherzberg (km 0+120 – 0+170) setzt der Deichkörper aus. Das umzäunte Schöpfwerksgelände grenzt weitgehend höhengleich an die beidseitig vorhandenen Deichkronen an. Daher setzt auch der geoelektrische Längsschnitt DF LS in diesem Bereich aus.

Auf der Wasserseite befinden sich 5 Rohrauslässe, die mit einer ca. 35 m langen Spundwand befestigt sind. Die Rohrdurchlässe (4x DN 600 St, 1x DN 500 St) bilden sich im geoelektrischen Längsschnitt DF WS als zwei ausgeprägte Widerstandsminima ab.

Im oberflächennahen Untergrund wurden eine ca. 1 m mächtige, mitteldicht gelagerte nichtbindige Auffüllung (S 1.2, [SU-ST]) sowie eine ca. 0,7 m mächtige, weiche bis steife Tonlage (3.1, ST*) nachgewiesen. Darunter folgen Sande, Kiessande und Kiese der Schichten S 3.2, S 4.1 und S 4.2 in mitteldichter Lagerung. Bei etwa +68 m NHN wurde der Übergang von mitteldichten zu dichten Lagerungszuständen nachgewiesen.

Mit Ausnahme der oben beschriebenen erhöhten Nickel-, Zink- und Sulfatgehalte im Untergrund zwischen km 0+000 und 0+150 (Einbauklasse 2, $\leq Z$ 2) sind im Bereich des Schöpfwerkes keine weiteren Auffälligkeiten bei den Schadstoffuntersuchungen festgestellt worden.

Grundwasserverhältnisse

Die Grundwasserflurabstände beliefen sich in den Bereichen außerhalb von wasserführenden Altarmen zum Zeitpunkt der geotechnischen Erkundung 2016 auf 1-2 m. Im Bereich der Altwasserstrukturen (km 0+000 – 0+060 und 0+375 und 0+450) herrschen hingegen flurnaher Grundwasserstände vor (0,05-0,50 m).

In der überwiegenden Anzahl der Aufschlüsse sind ungespannte Grundwasserverhältnisse angetroffen worden. Nur sehr vereinzelt sind bei Vorhandensein bindiger Deckstauer schwach gespannte GW-Verhältnisse angetroffen worden.

Die Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers im Bereich der geplanten Innendichtung am Schöpfwerk (km 0+105 – 0+190) ergab zwar sehr geringe stahlikor-

rosive, jedoch stark betonaggressive Eigenschaften, letztere aufgrund des Nachweises von 85 mg/l kalklösendem CO₂ im Grundwasser.

7.1.3 Abschnitt A3

Linke Seite

Altdeich

Der Altdeich besteht in diesem Abschnitt überwiegend aus locker bis mitteldicht gelagerten Sanden der Schichten S 3.2-4.1 (SU/ST, SE) mit Übergängen zu S 5.2 (OH). Bei km 0+650 (RKS QP 9 C) ist eine bindige Einlagerung der Schicht S 2.2-2.3 (TM-TA) nachgewiesen worden.

Die Untersuchung der sandigen Deichböden hinsichtlich der Schadstoffbelastung ergab eine Einstufung in Einbauklasse 1 ($\leq Z$ 1.1) aufgrund schwach erhöhter Quecksilbergehalte im Bodenfeststoff (0,13 mg/kg).

Die wasser- und landseitigen Deichschultern sind fast auf ihrer gesamten Länge mit Bäumen bewachsen.

Untergrund

Zwischen Bahnbrücke (km 0+500) und km 0+750 wurde im oberflächennahen Untergrund durchgängig eine relativ geringmächtige tonige Zwischenschicht nachgewiesen (0,20-0,40 m, s. ingenieurgeologischer Längsschnitt DK-WS, Anlage 5.3). Im tieferen Untergrund sind Sande, Kiessande und Kiese der Schichten S 4.1 (SE) sowie S 4.2 (GI-GW) mit Übergängen zu S 3.2 (SU, GU) verbreitet. Diese weisen in der Regel eine mitteldichte Lagerung auf, wobei auch lagenweise Übergänge zu dichten Lagerungsverhältnissen nachweisbar sind. Die Grenze zwischen mitteldichter und dichter Lagerung wurde anhand der Rammsondierungen zwischen < +64,5 m NHN an der Bahnbrücke und +69,5 m NHN bei km 0+800 bis Straßenbrücke B 87 erkundet.

Auf der Wasserseite des Deiches stehen unterhalb des Oberbodens tonige (S 2.1, S 3.1) sowie organisch-humose Böden (S 5.1-S 5.3) an, die stellenweise bis an den wasserseitigen Deichfuß heranreichen.

Grundwasserverhältnisse

Die Grundwasserflurabstände beliefen sich zum Zeitpunkt der geotechnischen Erkundung 2016 je nach Geländehöhe auf 1-2 m.

Die Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers im Bereich der geplanten Innendichtung ergab sehr gering bis gering stahlkorrosive Eigenschaften.

Rechte Seite

Altdeich

Im Abschnitt zwischen Bahnbrücke und B 87 besteht der Stützkörper des Altdeichs überwiegend aus locker bis mitteldicht gelagerten Sanden und Kiessanden der Schichten S 3.2 (SU-SU*/GU), S 4.1 (SE-SW) und S 4.2 (GI-GW). Bei km 0+550 und 0+615 wurden auch tonige Lagen bzw. Einschaltungen nachgewiesen (S 2.1-3.1, ST*-TL).

Zwischen km 0+475 (Bahnbrücke) und etwa km 0+700 sind im sandig-kiesigen Stützkörpermateriale erhöhte Sulfatgehalte nachgewiesen worden, die eine Einstufung des Bodens in Einbauklasse 2 ($\leq Z\ 2$) bedingen. Zwischen km 0+700 und km 0+900 (Straßenbrücke B 87) sind hingegen bei den Schadstoffuntersuchungen der sandigen Deichbaustoffe keine Auffälligkeiten festgestellt worden (Einbauklasse 0, $\leq Z\ 0$).

Im Zuge von Deichsanierungsmaßnahmen im Jahr 2013 sind Kiessande 0/16 als Verstärkung des landseitigen Stützkörpers eingebaut worden. Am landseitigen Deichfuß wurden ein Filterprisma aus einem Sand-Kies-Gemisch 2/16 sowie ein Schotterband 16/32 angeordnet. Der im Zusammenhang mit der Deichsanierung hergestellte Entlastungsschlitz unterhalb des Stützkörpers ist gemäß Bestandszeichnungen ebenfalls mit Kiessand 0/16 verfüllt worden. Die Deichsanierung ist im Teilabschnitt zwischen km 0+475 (Bahnbrücke) und 0+740 (bebaute Grundstücke an der Mühlstraße) erfolgt.

Der Deichabschnitt A3 rechts ist auf seiner gesamten Länge frei von Gehölzen.

Untergrund

Im oberflächennahen Deichuntergrund sind im Abschnitt zwischen km 0+475 (Bahnbrücke) und 0+680 stellenweise relativ geringmächtige tonige Einlagerungen nachgewiesen worden, die den Baugrundsichten S 2.1-3.1 (Bodengruppen ST*-TL) zuzuordnen sind. Die Mächtigkeit dieser Tonlagen wurde mit 0,20-1,40 m festgestellt. Die Schadstoffuntersuchung einer Einzelprobe bei km 0+503 (QP 26.1) ergab aufgrund schwach erhöhter TOC- und Arsengehalte eine Einstufung der ST*/TL-Böden in Einbauklasse 1 (≤ 1.1).

Bei km 0+860 ist am wasserseitigen Deichfuß eine 0,80 m mächtige kiesig-steinige Auffüllung angetroffen worden, die etwa 50 % Bauschuttanteile enthält (Ziegel-, Beton- und Keramikbruch). Die Schadstoffuntersuchung dieses Materials ergab eine Einstufung in Einbauklasse 2 ($\leq Z\ 2$) aufgrund erhöhter TOC-Gehalte und eines pH-Wertes von 10,4.

Im tieferen Untergrund folgen Sande, Kiessande und Kiese der Schichten S 3.2, S 4.1 und S 4.2. Deren Lagerungsdichte wurde anhand der Rammsondierungen überwiegend mit locker bis mitteldicht festgestellt. Allerdings ist im Bereich der geplanten Spundwand ab km 0+720 bis 0+900 (B 87) eine tiefreichende Auflockerungszone festgestellt worden. In den drei betreffenden DPH 29.1 B, DPH 29.2 B und DPH 30.1 B wurden bis 10 bzw. 12 m u. GOK sehr geringe Schlagzahlen von $N_{10,DPH} = 1$ festgestellt, was einer lockeren Lagerung der SE-Sande im Grundwasser entspricht. Bei den Schadstoffuntersuchungen der Sande aus dem Deichuntergrund sind keine Auffälligkeiten festgestellt worden (Einbauklasse 0, $\leq Z\ 0$).

Auf der Wasserseite des Deiches sind oberflächennah auf der gesamten Länge bindige Böden (S 2.1, 2.2 und 3.1, ST*-TM) sowie humose Bildungen (S 5.3, HN-HZ) in wechselnden Lagerungsverhältnissen und Mächtigkeiten von bis zu 2,5 m verbreitet.

Grundwasserverhältnisse

Die Grundwasserflurabstände beliefen sich zum Zeitpunkt der geotechnischen Erkundung 2016 auf 1-2 m. In der überwiegenden Anzahl der Aufschlüsse sind ungespannte Grundwasserverhältnisse angetroffen worden. Nur in einem Aufschluss sind aufgrund des Vorhandenseins eines bindigen Deckstauers schwach gespannte GW-Verhältnisse angetroffen worden (RKS SB WS B 0+587 R).

Die Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers im Bereich der geplanten Innendichtung (km 0+720 – 0+900) ergab sehr gering stahlkorrosive sowie schwach betonaggressive Eigenschaften (20 mg/l kalkösendes CO₂).

7.1.4 Abschnitt A4

Linke Seite

Altdeich

Im Abschnitt zwischen B 87 und Brücke Kaxdorf besteht der Altdeich meist aus locker bis mitteldicht gelagerten Sanden der Schichten S 1.2 [SU], S 3.2 (SU/ST) und S 4.1 (SE), z. T. mit Einschaltung organischer Sande (S 5.2, OH). Eine Ausnahme bildet der Teilabschnitt bei km 1+480 bis 1+600 in dem eine wechselnde Lagerung von bindigen (S 3.1) und nichtbindigen (S 3.2) Deichbaustoffen angetroffen worden ist (s. RKS QP 15.1 C). Zwischen km 1+625 und 1+820 sind im unteren Teil des Deichkörpers auch tonige Deichbaustoffe aufgeschlossen worden (S 2.1-3.1, Bodengruppen ST*-TL).

Die Schadstoffuntersuchungen der überwiegend sandigen Deichbaustoffe ergab folgende Einstufungen:

- km 0+900 (Brücke B 87) – km 1+900: Einbauklasse 1 ($\leq$ Z 1.1) aufgrund einer schwachen Quecksilberbelastung im Bodenfeststoff
- km 1+900 – km 2+220 (Brücke Kaxdorf): Einbauklasse 0 ($\leq$ Z 0)

Im Bereich des Altwassers Kaxdorf sind am landseitigen Deichfuß Hinweise auf eine vorhandene Deichfußbefestigung aus aufgefüllten Kiesen der Schicht S 1.3 (Bodengruppe [GW-GU]) angetroffen worden (s. RKS 17.3 D bei km 2+099).

Zwischen km 0+900 (B 87) und km 1+120 (Clara-Zetkin-Straße) verläuft ein schotterbefestigter Radweg auf der Deichkrone. Gemäß Schadstoffuntersuchung ist die Schottertragschicht des Weges der Einbauklasse 1 ($\leq$ Z 1.1) zuzuordnen.

Die landseitige Deichböschung und Deichschulter sind abschnittsweise mit Laubbäumen bewachsen, insbesondere im Teilabschnitt ab km 1+800 bis 2+220 (Brücke Kaxdorf).

Untergrund

Im Deichuntergrund ist zwischen km 0+900 (B 87) und km 1+900 durchgehend eine bindige Schicht in den grobkörnigen Sanden eingelagert, deren Mächtigkeit zwischen 0,20 m (RKS QP 11.1 C) und 3,50 m (RKS QP 14.2 C) beträgt. Bei dieser bindigen Zwischenschicht handelt es sich um Böden der Schichten S 2.1-3.1 (Bodengruppen ST*-TL), mit Übergängen zu S 2.2/2.3 und S 5.1 (s. ingenieurgeologischer Längsschnitt DK-WS, Anlage 5.4).

Die Untersuchung der Sande aus dem Deichuntergrund ergab folgende Auffälligkeiten:

- km 0+900 (Brücke B 87) – km 1+200 und km 1+900 – km 2+100: Einbauklasse 2 ($\leq Z\ 2$), aufgrund von Versauerungserscheinungen ($\text{pH}_{\min} = 5,6$) in Verbindung mit erhöhten Sulfat- und Nickelgehalten im Bodeneluat
- km 1+200 – 1+600: Einbauklasse 1 ($\leq Z\ 1.1$), aufgrund schwach erhöhter TOC-Gehalte sowie Quecksilberwerte im Bodenfeststoff

In den Teilabschnitten zwischen km 1+600 und 1+900 sowie ab km 2+100 bis 2+220 (Brücke Kaxdorf) wurden keine Auffälligkeiten bei den bodenanalytischen Untersuchungen festgestellt (Einbauklasse 0, $\leq Z\ 0$).

Mehrfach waren in diesem Abschnitt im Untergrund torfig-humose Bildungen anzutreffen:

- km 1+230 – 1+330 (HN-HZ), Wasser- und Landseite, Mächtigkeit ca. 0,5 m
- km 1+300 – 1+360 (HZ), Deichaufstandsfläche, Mächtigkeit ca. 0,5 m
- km 1+400 – 1+540 (HN-HZ), tieferer Untergrund, Mächtigkeit ca. 0,4 m
- km 1+790 – 1+860 (HZ), 2 m u. GOK auf der Landseite, Mächtigkeit ca. 0,3 m
- km 2+020 – 2+100 (HZ), Deichaufstandsfläche, Mächtigkeit ca. 1,5 m

Die relativ kleinräumigen Torfbildungen werden als Indikationen auf Einflussbereiche ehemaliger Altwasserstrukturen der Schwarzen Elster gedeutet.

Im Bereich des QP 17.3 (Altwasser Kaxdorf, km 2+099) ist im oberflächennahen Untergrund eine ca. 1 m mächtige tonige Schicht nachgewiesen worden (S 2.1-3.1, Bodengruppe ST*-TM), die sich von der Wasserseite bis auf die Landseite des Deiches erstreckt. Am QP 17.1 (Altwasser Kaxdorf, km 1+947) wurde diese tonige Zwischenlage im Bereich des Deiches nicht nachgewiesen. Allerdings befinden sich auch hier auf der Wasser- und Landseite bindige und organische Böden der Schichten S 2.1-3.1 (ST*-TL), S 5.1 (OT) und S 5.3 (HN). Die Sohle des Altwassers ist offenbar weitgehend abgedichtet.

Im weiteren Untergrund sind Sande, Kiessande und Kiese der Schichten S 4.1 (SE) sowie S 4.2 (GI-GW) mit Übergängen zu S 3.2 (SU, GU) verbreitet. Meist sind diese Böden mitteldicht, mit zunehmender Tiefe auch mitteldicht bis dicht gelagert. Der Übergang zu dichten Lagerungszuständen konnte mittels Rammsondierungen zwischen +68 m NHN bei km 1+947 (QP 17.1) und +75 m NHN bei km 0+968 (QP 11.1) nachgewiesen werden.

Grundwasserverhältnisse

Die Grundwasserflurabstände beliefen sich zum Zeitpunkt der geotechnischen Erkundung 2016 je nach Geländehöhe auf 1-2 m. In der überwiegenden Anzahl der Aufschlüsse sind ungespannte Grundwasserverhältnisse angetroffen worden. Bei Vorhandensein bindiger Deckstauer herrschen jedoch vereinzelt auch schwach gespannte GW-Verhältnisse vor (z. B. in RKS QP 14.1 B, 14.1 D, 14.2 D, 14.1 E, 14.2 E und 16.1 D).

Die Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers im Bereich der geplanten Innendichtungen ergab sehr gering bis gering stahlkorrosive Eigenschaften. Im Bereich des Regenwasser-Pumpwerkes bei km 1+127 wurde allerdings aufgrund des Befundes von 45 mg/l kalklösendem CO_2 eine starke Betonaggressivität des Grundwassers nachgewiesen.

7.1.5 Umverlegung Gewässerbett Schwarze Elster

Im Abschnitt 3 (zwischen Bahn- und Straßenbrücke) ist aus hydraulischen Gründen eine Umverlegung der Schwarzen Elster geplant. Zur Herstellung des umverlegten Flussbettes sind Maßnahmen zum Geländeabtrag und zur Profilierung des Gewässerquerschnitts auf der rechten Seite erforderlich.

Untergrund

Für den Bereich der geplanten Umverlegung liegen insgesamt neun Baugrundaufschlüsse vor (QP 26.1 bis 29.1). Die Schichtenprofile zeigen dabei relativ stark wechselnde Lagerungsverhältnisse von humosen Böden (S 5.3, HN-HZ, Oberboden), Tonschichten (S 2.1, TL-TM) und schwach bis mittel schluffigen Sanden (S 3.2, SU/SU*) über grobkörnigen Sanden, Kiessanden und Kiesen (S 4.1-4.2, SE/SW-GW). Die Tone weisen in Abhängigkeit vom Grundwasserabstand steife bis weiche Zustandsformen auf. Die Lagerungsdichte der Sande und Kiese wurde anhand der Bohrbarkeit (RKS) mit locker bis mitteldicht abgeleitet.

Die Schadstoffuntersuchung in den Sanden aus Deichuntergrund sowie von der Wasser- und Landseite bei QP 26.1-27.1 ergab keine Auffälligkeiten (Einbauklasse 0, $\leq Z$ 0).

Grundwasserverhältnisse

Aufgrund der räumlichen Nähe zur Schwarzen Elster beliefen sich die Grundwasserstände zum Zeitpunkt der geotechnischen Erkundung auf 1-2 m unter GOK, wobei überwiegend ungespannte GW-Verhältnisse angetroffen worden sind. Die chemische Untersuchung des Grundwassers ergab schwach betonaggressive und sehr gering stahlkorrosive Eigenschaften (Probe aus RKS QP 29.2 A bei km 0+816).

7.1.6 Reprofilierung Flutmulde

Untergrund

Im Bereich der geplanten Flutrinne sind überwiegend sandige Böden der Bodengruppen SE, SU und SU* verbreitet, die den Baugrundsichten S 3.2 und S 4.1 zuzuordnen sind. In einem Aufschluss oberhalb der Straßenbrücke B 87 (RKS Flutrinne 3) wurde zusätzlich eine 70 cm mächtige Toneinlagerung nachgewiesen (S 2.1-3.1, Bodengruppen ST*-TL).

Die Schadstoffuntersuchung in den schluffigen Sanden der Schicht S 3.2 ergab keine Auffälligkeiten (Einbauklasse 0, $\leq Z$ 0).

Grundwasserverhältnisse

Aufgrund der Nähe zur Schwarzen Elster beliefen sich die Grundwasserstände bei der geotechnischen Erkundung auf 1-2 m unter GOK, wobei in allen drei Aufschlüssen ungespannte GW-Verhältnisse angetroffen worden sind.

7.2 Bodenklassifikation und Bodenkennwerte

Auf der Grundlage der geotechnischen Erkundung sowie der Laboruntersuchungen erfolgt an dieser Stelle die Klassifikation der angetroffenen Böden gemäß /R 27/und /R 45/. Des Weiteren wird in Tabelle 22 eine Zuordnung von Homogenbereichen zu den einzelnen Baugrundsichten vorgenommen.

Tabelle 22: Bodenklassifikation

Schicht	Bezeichnung	Bodengruppe DIN 18196	Homogen- bereich	Frostempfind- lichkeit
S 1.1	Auffüllung, bindig	[ST*, TL, TM, TA]	A	F2-F3
S 1.2	Auffüllung, nichtbindig	[SU-SU*, ST*, GU, SE, GI-GW]	B	F1-F3
S 1.3	Auffüllung, überwiegend Fremdanteile	A	D	für Gründung ungeeignet
S 2.1	gering plastischer Schluff / Ton	TL, TL-TM	A	F3
S 2.2	mittel plastischer Schluff / Ton	TM, TM-TA		F2-F3
S 2.3	ausgeprägt plasti- scher Schluff / Ton	TA		F2
S 3.1	überwiegend plastische Eigenschaften	SU*/ST*, ST*-TL		F3
S 3.2	überwiegend nicht plastische Eigenschaften	SU-SU*/ST* (GU-GU*)	B	F2-F3
S 4.1	Sande	SE (SI-SW)		F1
S 4.2	Kiessande und Kiese	GI (GW)		
S 5.1	Schluff/Ton mit organischen Beimengungen	OT	C	F2
S 5.2	Sande/ Kiese mit organischen Beimengungen	OH		
S 5.3	Torf (Humus)	HN, HZ		
S 5.4	Faulschlamm, Mudde	F		für Gründung ungeeignet

In Tabelle 23 werden charakteristische Bodenkennwerte für die maßgeblichen Schichten angegeben. Diese sind sowohl aus Laborversuchen (L) und Korrelationen (K), als auch aus folgenden Erfahrungswerten (E) unter Beachtung von /U 2/ abgeleitet worden.

- Angaben aus vergleichbaren Vorhaben im norddeutschen / Berliner Raum
- Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ (EAU)
- DIN 1055-2

Tabelle 23: Charakteristische Bodenkennwerte zum HWS Herzberg (Elster), TO 1

Schicht	Boden- gruppe	k_f (L,E)	$cal \gamma_k / \gamma_k'$ (L,E)	$cal \phi_k'$ (L,K,E)	$cal c_k'$ (L,E)	$cal E_s$ (L,E)
		[m/s]	[kN/m³]	[°]	[kN/m²]	[MN/m²]
S 1: Auffüllungen						
S 1.1	[ST*,TL,TM]	$1 \times 10^{-7} \dots 1 \times 10^{-6}$	16,0 / 7,0 w...st	32,0	2 - w 5 - st 10 - hf	2...4 – w 4...10 – st 10...15 – hf
S 1.2	[SU, GU]	$1 \times 10^{-5} \quad 3 \times 10^{-4}$	16,5 / 8,0 – lo 17,5 / 9,0 - md	30,0 – lo 32,5 – md	0	10...20 - lo 20...50 – md
S 1.3	[A]	$1 \times 10^{-5} \dots 1 \times 10^{-4}$	15,0 / 6,0 lo...md	20,0		1-2
S 2: Feinkörnige Böden						
S 2.1	TL, TL-TM	$5 \times 10^{-8} \dots 1 \times 10^{-7}$	Aueton:	32,0	2 - w 5 - st 10 - hf	2...4 – w 4...10 – st 10...15 – hf
S 2.2	TM, TM-TA	$1 \times 10^{-8} \quad 1 \times 10^{-6}$	15,5 / 6,5 -w 16,5 / 7,5 - st 18,0 / 9,0 – hf	30,0		
S 2.3	TA	$5 \times 10^{-10} \dots 2 \times 10^{-7}$	Bänderton: 22,0 / 12,0	22,5	2 - w 10 - st 15 - hf	
S 3: Gemischtkörnige Böden						
S 3.1	SU*/ST* ST* TL	$1 \times 10^{-7} \dots 1 \times 10^{-6}$	Aueton: 15,0 / 6,0 -w 16, 5 / 7,5 –st 17,5 / 8,5 -hf	32,0	2 - w 5 - st 10 - hf	2...4 – w 4...10 – st 10...15 – hf
S 3.2	SU-SU*/ST* (GU-GU*)	$1 \times 10^{-5} \dots 2 \times 10^{-4}$	16,5 / 8,0 – lo 17,5 / 9,0 – md	30,0 – lo 32,5 – md	0	5...20 - lo 10...50 – md
S 4: Grobkörnige Böden						
S 4.1	SE	$1 \times 10^{-4} \dots 1 \times 10^{-3}$	16,0 / 8,5 – lo 17,0 / 9,5 – md 18,0 / 10,5 – di	30,0 – lo 32,5 – md 35,0 – di	0	10...20 - lo 20...50 – md 40...80 – di
S 4.2	GI (GW)	$5 \times 10^{-4} \dots 1 \times 10^{-3}$	18,0 / 10,5 – md 19,0 / 11,5 – di	30,0 – lo 34,0 – md 38,0 – di		25...50 – md 50...100 – di

Fortsetzung von Tabelle 23:

Schicht	Boden- gruppe	k_f (L,E)	cal γ_k / γ_k' (L,E)	cal ϕ_k' (L,K,E)	cal c_k' (L,E)	cal E_s (L,E)
		[m/s]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[MN/m ²]
S 5: Organische Böden und Böden mit organischen Beimengungen						
S 5.1	OT	$1 \times 10^{-8} \dots 1 \times 10^{-7}$	14,0 / 5,0 - br 15,0 / 6,0 – w 16,0 / 7,0 – st	20,0	2 – w	1...2 – w
S 5.2	OH	$1 \times 10^{-5} \dots 1 \times 10^{-4}$	15,0 / 6,5 – lo 16,0 / 7,5 – md	30,0 – lo 32,5 – md	0	10...20 - lo 20...40 – md
S 5.3	HN-HZ	$1 \times 10^{-7} \dots 1 \times 10^{-6}$	11,0 / 1,0 – w	15,0	2,0	0,5...2 – w
S 5.4	F					
<u>Erläuterungen:</u> k_f ... Wasserdurchlässigkeitsbeiwert cal ... mittlerer Rechenwert einer Bodenkenngroße γ_k ... charakteristischer Wert der Wichte des erdfeuchten Bodens γ_k' ... charakteristischer Wert der Wichte des Bodens unter Auftrieb ϕ_k' ... charakteristischer Wert des Reibungswinkels c_k' ... charakteristischer Wert der Kohäsion E_s ... Steifemodul im Spannungsbereich 20 – 100 kN/m ² Konsistenz: br ... breiig, w ... weich, st ... steif, hf ... halbfest, f ... fest Lagerung: lo ... locker, md ... mitteldicht, di ... dicht (L) Werte aus bodenmechanischen Laborversuchen abgeleitet (K) Werte aus Korrelationen abgeleitet (E) aus Erfahrungswerten abgeleitet						

Beim Ansatz der Kennwerte für die Böden der bindigen Schichtengruppe S 2 sowie der Schichten S 1.1, S 3.1 und S 5.1 ist zu berücksichtigen, dass es im Hochwasserfall zu einer starken Aufweichung des Deichuntergrundes kommen kann. Dieser Zustand würde bedeuten, dass die Scherparameter für die bindigen Böden an diesen Zustand angepasst und entsprechend abgemindert werden müssten (ggf. bis zum Verlust der Scherfestigkeit). Da im Hochwasserfall der Deichuntergrund jedoch nicht sofort vollständig aufweicht, sondern dies als fortschreitender Prozess zu betrachten ist (Versickerung von Oberflächenwasser, Ansteigen von Grundwasser), kann für die bindigen Böden eine Restkohäsion von maximal 2 kN/m² angesetzt werden.

7.3 Homogenbereiche

Die erkundeten Baugrundsichten werden gemäß Tabelle 24 zu Homogenbereichen zusammengefasst. Ein Homogenbereich nach VOB/C ist ein „begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Bodenschichten, der für einsetzbare Geräte vergleichbare Eigenschaften aufweist“. Umweltrelevante Inhaltsstoffe sind bei der Einteilung in Homogenbereiche zu berücksichtigen.

Folgende Gewerke sind im vorliegenden Fall bei der Einteilung in Homogenbereiche zu berücksichtigen:

- Erdarbeiten (DIN 18300, für GK 3)
- Bohrarbeiten (DIN 18301)
- Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten (DIN 18304)

Anwendungsbereich

- Deichbau
- Wegebau
- Profilierung Flutmulde und Gewässer
- Geländeprofilierung
- Einbringen von Spundwänden (Rammen, Pressen)
- Vorbohrungen als Einbringhilfen

Einteilung der Homogenbereiche

- A – bindige Böden und Auffüllungen
- B – nichtbindige Böden und Auffüllungen
- C – organische Böden und Böden mit organischen Beimengungen
- D – Altablagerungen

Kennwerte und Eigenschaften der Homogenbereiche

Tabelle 24: Homogenbereiche nach DIN 18300 (GK 3), DIN 18301 und DIN 18304

Parameter / Eigenschaft	Homogenbereich			
	A bindige Böden	B nichtbindige Böden	C organische Böden	D Altablagerungen
Modell- schichten	S 1.1, S 2.1-2.3, S 3.1	S 1.2, S 3.2, S 4.1-4.2	S 5.1-5.4	S 1.3
Körnungs- bänder	s. Abb. 2 und Abb. 3	s. Abb. 1 und Abb. 4-6	n. b.	n. b.
Masseanteil Steine [%]	0	≤ 10 (S 4.2)	0	≤ 10 (S 1.3)
Masseanteil Blöcke [%]	0	0	0	≤ 5 (S 1.3)
(Roh-) Dichte, [g/cm ³]	1,5...2,2	1,6...1,8	1,1...1,6	1,0...1,5
Kohäsion [kN/m ²]	2...15 (weich-halbfest)	0	S 5.1+5.3/5.4: 0...2 (breiig-weich)	nicht relevant
undräßierte Scherfestigkeit [kN/m ²]	< 5 (breiig) ...500 (halbfest)	nicht relevant	S 5.1: < 5 (breiig) ...60 (weich)	nicht relevant
Wasser- gehalt [%]	5...40	1...25	S 5.2: 10...35 % S 5.3: 40...80 % S 5.1: > 80 %	10...25
Konsistenz- zahl I _c [-]	0 (breiig)... 1,25 (halbfest)	nicht relevant	S 5.1: 0 (breiig)... 0,75 (weich)	nicht relevant
Plastizitäts- zahl I _p [%]	8...60	nicht relevant	S 5.1: 30...35	nicht relevant
Lagerungs- dichte I _D [-]	nicht relevant	≤ 0,2...0,66 (locker-mitteldicht) 0,66...0,85 (dicht-sehr dicht)	S 5.2: ≤ 0,3 (locker)	≤ 0,2...0,6 (locker-mitteldicht)
organischer Anteil [V _{GI} , %]	1...6	< 1...4	6...12	4...10
Abrasivität LAK [g/t]	nicht relevant	1.050...1.150 (stark abrasiv)	nicht relevant	nicht relevant
Bodengruppe DIN 18196	ST*, TL, TM, TA	SE, SU, SU* GI, GW	OH, OT, HN, HZ, F	A
ortsübliche Bezeichnung	Auelehm, Geschiebelehm Bänderton	Auffüllungen, Sande, Kiesande, Kiese	Kolmationsschicht. Humus/Torf, Mud- de, Faulschlamm	Altablagerungen
Schadstoffbelastung, LAGA TR Boden	Z 0...Z 2	Z 0...Z 2	n.b.	Z 2...DK III

8. Hinweise und Empfehlungen

8.1 Allgemeine Hinweise zum Erdbau

Regelwerke

Bei der Planung und Ausführung von Erdarbeiten sind die Anforderungen aus DIN 19712 und ZTV-W LB 205 /R 43/ bzw. ZTVE-StB 09 /R 45/ zu beachten. Zusätzlich sind bei Ausschachtungen in unmittelbarer Nähe zu Gebäuden die Bestimmungen aus DIN 4123 /R 48/ sowie bei der Herstellung von Baugruben und Gräben aus DIN 4124 /R 49/ von besonderer Relevanz.

Umgang mit Oberboden

Im Zuge der Baumaßnahmen ist der vorhandene Oberboden vom Deich sowie soweit bautechnologisch erforderlich, im landseitigen Schutzstreifen abzutragen und separat zu lagern. Die Zwischenlagerung sollte möglichst in Form von profilierten und geglätteten Bodenmieten mit maximal 2,0 m Höhe erfolgen. Das überwiegend locker gelagerte Material darf nicht überschüttet oder überfahren werden, um irreversible Schädigungen des Bodengefüges zu verhindern. Bei einer voraussichtlichen Lagerungsdauer von mehr als 6 Monaten sollten die Oberbodenmieten begrünt werden (vgl. DIN 19731).

Der vorhandene Oberboden ist nachweislich mit Metallen vorbelastet (Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn) und weist schwache Versauerungserscheinungen auf ($4,2 \leq \text{pH} \leq 6,7$). Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Oberboden nach entsprechender Vorbehandlung prinzipiell für vegetationstechnische Zwecke im Zuge des Um- bzw. Neubaus der HWS-Anlagen am Herkunftsort wiederverwendet werden kann, z. B. zur Herstellung einer Wachstumsschicht oder als Bestandteil von Schotterrasen. Zur Einschätzung der Wiederverwendbarkeit sollte durch den Objektplaner eine Mengenbilanzierung zu Auf- und Abtrag auf Grundlage der im Zuge der geotechnischen Untersuchungen festgestellten Oberbodenmächtigkeit erfolgen (s. Bohrstocksondierungen, Anhang A 2.5).

Abtrag der Altdeiche

Aufgrund der inhomogenen Beschaffenheit der Altdeiche aus Sanden und Tonen (Bodengruppen SE-SU-SU*/ST*-TL/TM, Übergänge zu OH) sowie der meist lockeren bis mitteldichten Lagerung sind die vorhandenen Deichkörper im Zuge des Umbaus abzutragen und lagenweise wirksam nachzuverdichten. Die Tiefenwirksamkeit der Verdichtung ist anhand von Dichte- (D_{Pr}) und Tragfähigkeitsbestimmungen (E_{vd}) nachzuweisen. Die Verdichtungsanforderungen für das Altdeichmaterial richten sich nach ZTV-W LB 205.

Gründung der Bauwerke

Generell kann davon ausgegangen werden, dass der in den Bestands- und Erweiterungstrassen anstehende Baugrund für den Neubau und Umbau der HWS-Anlagen mit folgenden Einschränkungen geeignet ist.

- Humose Böden (S 5.2, S 5.3), Faulschlämme / Mudden (S 5.4) sowie Auffüllungen, die überwiegend Fremddanteile enthalten (S 1.3) sind für die Herstellung von Bauwerksgründungen ungeeignet.

- Falls im Bereich des Planums weitere, nicht ausreichend tragfähige Böden anstehen (z. B. aufgeweichte Böden S 2, S 3.1, S 5.1), sind Maßnahmen zur Baugrundverbesserung einzuplanen (z. B. Teilbodenaustausch, Einarbeiten von hydraulischen Bindemitteln, Einbau von bewehrenden Geotextilien).
- Gleiches gilt für solche Bereiche, in denen eine wasserseitige Anschüttung der herzustellenden Spundwände vorgesehen ist.

Insbesondere bindige Böden der Schichtengruppe S 2 sind stark wasser- und frostempfindlich. Daher sollten Erdarbeiten möglichst bei trockener und frostfreier Witterung ausgeführt werden.

Das Planum für Bauwerke und Verkehrswege muss generell frei von Wurzeln sein. Die Entscheidung über ein Nachverdichtungserfordernis ist anhand der Ergebnisse von Verdichtungs- und Tragfähigkeitsprüfungen zu treffen. Im Zweifelsfall sollte die Einschätzung der Tragfähigkeit des Gründungsplanums durch den Baugrundsachverständigen erfolgen.

Das Untersuchungsgebiet liegt nach RStO12 /R 46/ in der Frosteinwirkungszone II. Bei der Planung des konstruktiven Aufbaus der DV- und Radwege sowie der Festlegung von Mindestanforderungen an Verdichtungsgrad und Tragfähigkeit ist die Frostempfindlichkeit der am Planum anstehenden Böden gemäß Tabelle 22 zu berücksichtigen (F1-F3). Das Grundwasser steht dauerhaft bei 1-2 m unter Planum an, kann jedoch temporär im Hochwasserfall bis auf ≤ 1 m ansteigen.

Beschaffenheit und Einbau der Deich-und Wegebaustoffe

Die AG-seitigen Vorlagen zur „Zusammenstellung der Qualitätsparameter“ (DIN 19712/ZTV-W LB 205) sowie zur „Zusammenstellung der Prüfarten und des Prüfumfangs der Eigen- und Kontrollüberwachung“ sind im Zuge der Ausführungsplanung an das jeweilige Teilobjekt bzw. Baulos anzupassen und als Bestandteil der Vergabeunterlagen beizufügen.

Vor Lieferung und Einbau von Deich- und Wegebaustoffen ist deren Eignung zu prüfen (Eignungsnachweise). Hierbei sind insbesondere folgende Eigenschaften festzustellen und nachzuweisen:

- natürlicher Wassergehalt (DIN 18121)
- Konsistenzgrenzen (DIN 18122)
- Korngrößenverteilung (DIN 18123)
- Dichte (DIN 18125)
- optimale Einbauwassergehalte, Proctordichten (DIN 18127)
- organische Anteile / Glühverlust (DIN 18128)
- Wasserdurchlässigkeit bei Einbauverdichtung (DIN 18130)
- Scherparameter (DIN 18137)
- Unbedenklichkeit der Schadstoffbelastung (LAGA TR Boden, BBodSchV)

Die Beschaffenheit der Liefermaterialien muss die der Objektplanung und den Standsicherheitsnachweisen (Planzustand) zugrunde liegenden Mindestanforderungen erfüllen.

Filterregeln

Für alle neu einzubauenden Böden sind die Filterregeln zu beachten (z. B. aus /R 50/). Im Zweifelsfall sind zur Gewährleistung der Erosions- und Filterstabilität trennende und stabilisierende Geotextilien vorzusehen.

8.2 Einbringen von Spundwänden

Für das Einbringen der Spundwände sollten u. a. die Anforderungen an Stoffe, Bauausführung und Qualitätssicherung gemäß ZTV-W LB 214 /R 44/ vereinbart werden.

Im Regelfall ist vorgesehen, die Spundwände von der Landseite aus herzustellen. Lediglich im Bereich der vorhandenen landseitigen Bebauung rechtsseitig oberhalb der Straßenbrücke B 87 (Abschnitt A3 R) muss ein Einbringen von der Wasserseite aus erfolgen. Für die Aufstandsfläche der Rammtechnik ist eine ausreichend breite und tragfähige Arbeitsebene vorzusehen. Bei Bemessung und Herstellung des Rammplanums ist das Vorhandensein von gering tragfähigen Böden zu berücksichtigen.

In den aufzustellenden Rammplänen sind die Ergebnisse der vorliegenden geotechnischen Aufschlüsse lage- und höhengerecht einzutragen (Bohrprofile, Rammprogramme).

Aufgrund der im Zuge der geotechnischen Erkundung angetroffenen Boden- und Lagerungsverhältnisse kann von einer überwiegend leichten bis mittelschweren Rammbarkeit in Deichkörper und oberflächennahem Untergrund ausgegangen werden (lockere bis mitteldichte Lagerung, Homogenbereich A2). Ausnahmen hierfür bilden möglicherweise stärker bauschuttführende Auffüllungen, deren Auftreten insbesondere im Bereich der Altablagerung „Am Sportplatz“ erfahrungsgemäß nicht auszuschließen ist (z. B. Reste von Stahlbeton).

In den sich im Liegenden anschließenden Sande und Kiessande treten aufgrund der Lage im Grundwasser und des teilweise engen Körnungsspektrums mittelschwere bis schwere Rammbedingungen auf (Homogenbereich B2). Insbesondere in den SE-Böden kann die Verdichtungsfähigkeit beim Einbringen des Rammguts stark herabgesetzt sein. Weiterhin ist mit erhöhten Rammwiderständen bzw. Rammhindernissen beim Auftreffen auf größere Baumwurzeln oder Wurzelgeflecht zu rechnen. Daher ist der Einsatz von Rammhilfen einzuplanen.

8.3 Wasserhaltung

Für die HWS-Maßnahmen im TO 1 sind voraussichtlich nur in geringem Umfang Wasserhaltungsmaßnahmen für Grund- und Oberflächenwasser in folgenden Bereichen erforderlich:

- Neu-/Umbau des Durchlassbauwerkes für den Regenwasserkanal an der Clara-Zetkin-Straße (Abschnitt A4 L)
- Herstellen einer landseitigen Befestigung des Deichfußes im Bereich des Altwassers im Abschnitt A2 R (0+350...0+450)

Durchlass RW-Kanal

Das Grundwasser wurde zum Zeitpunkt der geotechnischen Erkundung hier bei +77,8...78,0 m NHN angetroffen (s. ingenieurgeologisches Querprofil 13.1 bei km 1+127 L). Dieses Höhengniveau entspricht etwa der Sohlhöhe des Durchlasses (Rohrscheitel WS = +78,42 m NHN, Durchmesser 500 mm, lt. Vermessung). Daher sind beim Umbau des Durchlasses voraussichtlich keine oder nur in geringem Umfang Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich. Aufgrund der geringen Absenkungsbeträge ist eine offene Wasserhaltung möglich. Das Regenwasser aus dem RW-Kanal ist jedoch bauzeitlich umzuleiten.

Altwasser

Im Bereich des Altwassers kann die Wasserhaltung für das Oberflächenwasser mittels vorgeschüttetem Fangedamm erfolgen (z. B. unter Verwendung von Big Bags). Da die Gesamtmächtigkeit der Kolmations- und Faulschlammschichten am landseitigen Deichfuß mit 1,70 m u. GOK festgestellt worden ist (s. RKS QP 25.2 D bei km 0+400 R) kann im Falle der Errichtung eines Massivbauwerkes der erforderliche Absenkungsbetrag zur Herstellung einer trockenen Baugrube nicht mehr mit einer offenen Wasserhaltung erreicht werden. Alternativ sollten daher die Möglichkeiten des Einbaus von Unterwasserbeton oder von Grobschlag unterhalb des Grundwasserspiegels zur Stabilisierung des neuen Deichkörpers geprüft werden.

8.4 Auswirkungen auf Nachbarbauwerke

Auswirkungen auf benachbarte Bauwerke sind insbesondere im Abschnitt A3 rechtsseitig im Bereich der Wohn- und Gewerbebebauung an der Mühlstraße zu erwarten. Die bestehende Bebauung befindet sich in diesem Abschnitt nur wenige Meter vom landseitigen Deichfuß entfernt bzw. grenzt unmittelbar an den Deich an. In diesem Teilabschnitt ist das Einbringen einer Innendichtung (Spundwand) im Bereich der wasserseitigen Böschung vorgesehen. Der DV-Weg soll zwischen der Spundwand und den (teilunterkellerten) Gebäuden hergestellt und landseitig mit einer Winkelstützwand eingefasst / begrenzt werden.

Die Erd- und Tiefbauarbeiten sind so zu planen, dass keine bzw. nur unwesentliche schadenswirksamen Bauwerkerschütterungen und dynamisch bedingten Setzungen auftreten. Aufgrund des relativ geringen Abstands von 8-15 m von der Rammachse (wasserseitige OK Deich) befinden sich die Gebäude voraussichtlich im Nahfeld der Schwingungen, sodass sich Erschütterungs- und Setzungsprognosen für die einzelnen Gebäude im Vorfeld schwierig und aufwändig gestalten. Beim Einbringen der Innendichtung und der Ausführung von landseitigen Verdichtungsarbeiten sollten daher möglichst lärm- und erschütterungsarme Bautechnologien vorgesehen werden (z. B. erschütterungsfreie Press- bzw. erschütterungsarme Vibrationsverfahren, ggf. Ausweichen auf Bohrpfahlgründungen, statische oder oszillierende Verdichtungsverfahren usw.). Außerdem sind Maßnahmen zur Beweissicherung in Form von baubegleitenden Erschütterungsmessungen vorzusehen.

8.5 Eignung von Aushubmaterial zur Wiederverwendung

Generell sind die abzutragenden und auszuhebenden Böden aus geotechnischer Sicht sowie im Hinblick auf deren Schadstoffbelastung für eine Wiederverwendung im Zuge der geplanten Neu- und Umbaumaßnahmen eingeschränkt geeignet.

Oberboden

Der standorteigene Oberboden weist eine flächendeckende Vorbelastung mit Metallen auf, deren Gehalte die Vorsorgewerte der BBodSchV übersteigen. Bei der Wiederverwendung im Zuge des Neu- bzw. Umbaus der HWS-Anlagen sind daher insbesondere die Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden gemäß § 12 BBodSchV zu beachten (Vermeidung des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung). Der Oberboden ist möglichst am Herkunftsort wiederzuverwenden. Aufgrund der Überschreitung der Vorsorgewerte ist eine Zustimmung der zuständigen Abfallwirtschafts- und Boden-

schutzbehörde beim Landkreis Elbe-Elster zur geplanten Verfahrensweise der Wiederverwendung erforderlich.

Aufgrund der geringen Schluffkorn- und organischen Anteile ist eine Wiederverwendung des Oberbodens als Wachstumsschicht nicht ohne Vorbehandlung möglich. Die Vorbehandlung muss insbesondere ein dosiertes Zumischen feinkörniger Fraktionen $\leq 0,06$ mm (Schluffanteil > 15 %) sowie ein bedarfsgerechtes Einbringen von stickstoffhaltigen und organischen Komponenten umfassen ($C/N < 14$, organischer Anteil 4-8 %). Aufgrund der überwiegend sandigen Beschaffenheit der Oberböden ist die Mächtigkeit beim Wiederaufbringen mit $d = 30$ cm vorzusehen (s. Qualitätsparameter Oberboden).

Abtrag Deichkörper

Die sandigen und tonigen Abtragsmaterialien der Altdeiche sind Einbauklassen nach /R 29/ zugeordnet worden (s. Tabelle 18).

Böden der Einbauklassen 0 ($\leq Z$ 0) und 1 ($\leq Z$ 1.1) sind in technischen Bauwerken uneingeschränkt in offener Bauweise wiedereinbaubar. Böden der Einbauklasse 2 ($\leq Z$ 2, s. Tabelle 19) sind hinsichtlich des Wiedereinbaus reglementiert, der Einbau ist nur mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen zulässig – z. B. in nicht oder nur schwach wasser-durchlässigen Bauweisen unter einer Dichtungsschicht. Falls keine Wiederverwendung der Z 2-Böden im Zuge der HWS-Maßnahme möglich ist, sind planerisch Maßnahmen zu deren Verwertung zu berücksichtigen.

Bituminöse Ausbaustoffe

Die bituminösen Ausbaustoffe der DV- und Radwege sind aufgrund ihrer Einstufung in Wertungsklasse A uneingeschränkt wiederverwendbar. Die entsprechenden Aus- und Neubaumengen sollten im Zuge der weiteren Objektplanung aus abfallrechtlicher Sicht mengenmäßig bilanziert werden (Rückbau – Wiedereinbau).

9. Abschließende Anmerkungen

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den geoelektrischen Untersuchungen um indirekte Aufschlussverfahren handelt und die durchgeführten direkten Bodenaufschlüsse nur punktförmigen Charakter tragen. Die daraus resultierenden Aussagen müssen deshalb nicht auf jede Stelle des Untersuchungsgebietes zutreffen. Eventuell auftretende Abweichungen von den prognostizierten Verhältnissen sollten durch die an der Baumaßnahme Beteiligten unter Hinzuziehung des geotechnischen Sachverständigen beraten werden.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über bodenmechanische Laboruntersuchungen	7
Tabelle 2:	Oberbodenanalytische und vegetationstechnische Laboruntersuchungen	8
Tabelle 3:	Bodenanalytische Laboruntersuchungen.....	9
Tabelle 4:	Grundwasseranalytische Laboruntersuchungen	10
Tabelle 5:	Allgemeines Schichtenmodell HWS Herzberg (Elster).....	11
Tabelle 6:	Zusammenhang von Lagerungsdichte, Reibungswinkel und Schlagzahl N_{10} bei Schweren Rammsondierungen.....	13
Tabelle 7:	Ergebnisse der Korngrößenbestimmung, k_f -Werte	14
Tabelle 8:	Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen	17
Tabelle 9:	Plastische Eigenschaften der untersuchten Böden.....	17
Tabelle 10:	Organische Anteile	18
Tabelle 11:	Ergebnisse der Dichtebestimmung	19
Tabelle 12:	Lagerungsdichten bei lockerster und dichtester Lagerung.....	19
Tabelle 13:	Ergebnisse der Scherversuche	20
Tabelle 14:	Ergebnisse der einaxialen Druckversuche	20
Tabelle 15:	Ergebnisse der Abrasivitätsbestimmung	21
Tabelle 16:	Metallgehalte in den Oberböden	21
Tabelle 17:	Qualitätsparameter für die Wiederverwendung des Oberbodens	22
Tabelle 18:	Ergebnisse der Untersuchungen nach TR LAGA.....	23
Tabelle 19:	Zusammenstellung der Abschnitte mit Böden der LAGA-Einbauklassen ≥ 2	25
Tabelle 20:	Korrosive Eigenschaften des Grundwassers	27
Tabelle 21:	Überschreitung der LAWA-GFS im Grundwasser der Altablagerung	27
Tabelle 22:	Bodenklassifikation.....	38
Tabelle 23:	Charakteristische Bodenkennwerte zum HWS Herzberg (Elster), TO 1	39
Tabelle 24:	Homogenbereiche nach DIN 18300 (GK 3), DIN 18301 und DIN 18304.....	42

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Regellage der Aufschlusspunkte an den Bestandsdeichen der Schwarzen Elster
Abb. 2:	Körnungsband Schicht S 1.2 (Bodengruppen [SU], [GU])
Abb. 3:	Körnungsband Schichten S 2.1-3.1 (Bodengruppen TL-ST*/SU*)
Abb. 4:	Körnungsband Schichten S 2.2-2.3 (Bodengruppen TM-TA)
Abb. 5:	Körnungsband Schicht S 3.2 (Bodengruppen SU-SU*/ST*)
Abb. 6:	Körnungsband Schicht S 4.1 (Bodengruppe SE)
Abb. 7:	Körnungsband Schicht S 4.2 (Bodengruppen GI-GW)

Abkürzungsverzeichnis

BHW	Bemessungshochwasser
BK	Kernbohrung
BS	Bohrstocksondierung
D	Dichte
DB	Deichböschung
DF	Deichfuß
DK	Deichkrone bzw. Deponieklasse
DPH	Schwere Rammsondierung (dynamic probing heavy)
DVW	Deichverteidigungsweg
GFS	Geringfügigkeitsschwelle
GK	Geotechnische Kategorie bzw. Güteklasse von Proben
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
GWLK	Grundwasserleitender stratigrafischer Komplex
HL	Hinterland
HWS	Hochwasserschutz
k_f	Wasserdurchlässigkeit
KV	Korngrößenverteilung
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LAK	Abrasivitäts-Koeffizient
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LP	(Erkundungs-) Längsprofil
LS	Landseite
MP	Mischprobe
OB	Oberboden
P	Einzelprobe
QP	(Erkundungs-) Querprofil
RKS	Rammkernbohrung
SCH	Schurf
ST	(Einschlag-) Stützen
TO	Teilobjekt
TR	Technische Regeln
VGL	Glühverlust
VL	Vorland
w_n	Wassergehalt
WS	Wasserseite
Z	Zuordnungswert (LAGA)
ZG	Zustandsgrenzen

Abkürzung der Bodenarten nach DIN 4023 und der Bodengruppen nach DIN 18196

Anlagenverzeichnis und Anhänge

- Anlage 1: Übersichtsplan zum HWS Herzberg (Elster)
 Maßstab 1 : 40.000 (1 Blattschnitt)
- Anlage 2: Lageplan mit geotechnischen Aufschlüssen
 Maßstab 1 : 500 (7 Blattschnitte)
- Anlage 3: Schichtenprofile der Kernbohrungen (BK)
 nach geotechnischer Bearbeitung (22 Seiten)
- Anlage 4: Schichtenprofile der Kleinbohrungen (RKS)
 nach geotechnischer Bearbeitung (177 Seiten)
- Anlage 5: Ingenieurgeologische Längsschnitte
 Maßstab 1 : 5.000 (L) / 1: 50 (H)
- Anlage 5.1: Abschnitt A1 L (3 Blattschnitte)
- Anlage 5.2: Abschnitt A2 L (3 Blattschnitte)
- Anlage 5.3: Abschnitt A3 L (3 Blattschnitte)
- Anlage 5.4: Abschnitt A4 L (6 Blattschnitte)
- Anlage 5.5: Abschnitt A2 R (3 Blattschnitte)
- Anlage 5.6: Abschnitt A3 R (3 Blattschnitte)
- Anlage 6: Ingenieurgeologische Querschnitte
 Maßstab 1 : 50
- Anlage 6.1: Abschnitt A1 L (5 Blattschnitte)
- Anlage 6.2: Abschnitt A2 L (8 Blattschnitte)
- Anlage 6.3: Abschnitt A3 L (3 Blattschnitte)
- Anlage 6.4: Abschnitt A4 L (11 Blattschnitte)
- Anlage 6.5: Abschnitt A2 R (6 Blattschnitte)
- Anlage 6.6: Abschnitt A3 R (5 Blattschnitte)
- Anlage 7: Detaillageplan der Erkundungsergebnisse im Bereich der Altablagerung
 „Am Sportplatz“ Herzberg
 Maßstab 1 : 500 (1 Blattschnitt)
- Anhang A Geotechnischer Untersuchungsbericht der GGL Geophysik und Geotechnik
 Leipzig GmbH.
- Anhang B Baugrundvoruntersuchung zur Deichsanierung an der Schwarzen Elster in der
 Ortslage Herzberg und Ergebnisse der magnetischen Prospektion sowie von
 Schadstoffuntersuchungen für den linken Deich im Bereich des Sportplatzes,
 Ingenieurbüro Geo Modenbach, Berlin.

Normen und Regelwerke

- /R 1/ DIN EN 1997-1: 2014-03 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln“.
- /R 2/ DIN EN 1997-2: 2010-10 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“.
- /R 3/ DIN 1054: 2010-12: „Baugrund – Standsicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“.
- /R 4/ DIN 4020: 2010-12 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2“.
- /R 5/ DIN 19712: 2013-01 „Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern“.
- /R 6/ DWA-Merkblatt M 507-1, Ausgabe 2011: „Deiche an Fließgewässern, Planung, Bau und Betrieb“.
- /R 7/ DIN EN ISO 22475-1: 2007-01 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Aufschluss- und Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen, Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung“.
- /R 8/ DIN EN ISO 22476-2: 2012-03 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 2: Rammsondierungen“.
- /R 9/ DIN EN ISO 14688-1: 2013-12 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden, Teil 1: Benennung und Beschreibung“.
- /R 10/ DIN EN ISO 14688-2: 2013-12 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden, Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen“.
- /R 11/ DIN EN ISO 14689-1: 2011-06: „Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung.“
- /R 12/ DIN 19682-12: 2007-11: „Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 12: Bestimmung des Zersetzungsgrades der Torfe“.
- /R 13/ DIN 4023: 2006-02 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen“.
- /R 14/ Weller, Lewis, Niederleithinger; Forschungsbericht 281 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin:
„Geophysikalische Verfahren zur Strukturerkundung und Schwachstellenanalyse von Flussdeichen – ein Handbuch, 2008.
- /R 15/ DIN 17892-1: 2015-03 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Bestimmung des Wassergehalts“.
- /R 16/ DIN 18122-1: 1997-07 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) - Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze“.
- /R 17/ DIN 18123: 2011-04 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung“.

- /R 18/ DIN 18124: 2011-04 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korndichte - Kapillarpiknometer, Weithalspiknometer, Gas-piknometer“.
- /R 19/ DIN 18125-2: 2011-03 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens - Teil 2: Feldversuche“.
- /R 20/ DIN 18126: 1996-11 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung“.
- /R 21/ DIN 18128: 2002-12 „Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Glühverlustes“.
- /R 22/ DIN 18129: 2011-07: „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Kalkgehaltsbestimmung.“
- /R 23/ DIN 18130-1: 1998-05: „Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche“.
- /R 24/ DIN 18136: 2003-11: „Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Einaxialer Druckversuch.“
- /R 25/ DIN 18137-3: 2002-09 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit, Teil 3: Direkter Scherversuch.“
- /R 26/ NF P 18-579: 2013-02-09: „Gesteinskörnungen – Bestimmung der Koeffizienten der Abrasivität und Mahlbarkeit“ (französische Norm).
- /R 27/ DIN 18196: 2011-05 „Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke“.
- /R 28/ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), § 12 „Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden“, 1999, Aktualisierung 2015.
- /R 29/ Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Bodenmaterial (LAGA TR Boden), Ausgabe 2004.
- /R 30/ Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen (LAGA PN 98), Ausgabe 2001.
- /R 31/ Brandenburgische Technische Richtlinien für Recycling-Baustoffe im Straßenbau (BTR RC-StB), Ausgabe 2014.
- /R 32/ Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechhaltigen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau (RuVA-StB 01), Ausgabe 2001.
- /R 33/ DB Netz AG:
Richtlinie 880.4010 (2003): „Bautechnik; Verwertung von Altschotter.“
- /R 34/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
„Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung“ vom 10.12.2001.
- /R 35/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ausgaben 2004 und Entwurf 2015:
„Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser.“

- /R 36/ DIN 4030: 2008-06: „Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte; Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben.“
- /R 37/ DIN 50929: 1985-09: „Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern.“
- /R 38/ Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen – „ATV Erdarbeiten“ (DIN 18300: 2016-09).
- /R 39/ Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen – „ATV Bohrarbeiten“ (DIN 18301: 2016-09).
- /R 40/ Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen – „ATV Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten“ DIN 18304: 2016-09).
- /R 41/ Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen – „ATV Nassbaggerarbeiten“ (DIN 18311: 2016-09).
- /R 42/ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Wasserbau (ZTV-W): Leistungsbereich 203 „Baugrunderschließung und Bohrarbeiten“, Ausgabe 1999.
- /R 43/ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Wasserbau (ZTV-W): Leistungsbereich 205 „Erdarbeiten“, Ausgabe 2015.
- /R 44/ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Wasserbau (ZTV-W): Leistungsbereich 214 „Spundwände, Pfähle, Verankerungen“, Ausgabe 2008.
- /R 45/ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB 09), Ausgabe 2009.
- /R 46/ Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12), Ausgabe 2012.
- /R 47/ DIN 1055-2: 2010-11 „Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Bodenkenngößen“.
- /R 48/ DIN 4123: 2013-04: „Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude“.
- /R 49/ DIN 4124: 2012-01 „Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten“.
- /R 50/ Bundesanstalt für Wasserbau:
Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB), Ausgabe 2013.