



**Renaturierung Ruhlander Schwarzwasser  
Schaffung der ökologischen Durchgängigkeit  
an den Wehren 17.33 und 17.33a  
01945 Hermsdorf-Jannowitz**

Teil I: Baugrunderkundung  
Teil II: Standsicherheitsnachweis

IFG-Projekt-Nr.: 190-10-14

Bauherr: Gewässerverband „Kleine Elster – Pulsnitz“  
Finsterwalder Straße 32a  
03249 Sonnewalde  
Telefon: 035323 / 637-0  
Fax: 035323 / 637-25

Entwurfsplaner: eta h AG engineering, Büro Bautzen  
Thomas-Mann-Straße 2  
02625 Bautzen  
Telefon: 03591 / 6773-0  
Fax: 03591 / 6773-29

Verfasser: IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH  
Purschwitzer Straße 13  
02625 Bautzen  
Telefon: 03591 / 6771-30  
Fax: 03591 / 6771-40

Bautzen, 02.02.2015

.....  
Dipl.-Ing. Stefan Thiem  
Geschäftsführer / Bearbeiter



Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>0. Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>Teil I: Baugrunduntersuchung</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Zielstellung und Untersuchungsumfang</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Verwendete Unterlagen</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Feldarbeiten</b> .....	<b>8</b>
<b>4. Baugrundbeschreibung</b> .....	<b>9</b>
4.1 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse.....	9
4.2 Untergrundaufbau.....	9
4.3 Maßgebendes Baugrundprofil Wehr 17.33a.....	14
<b>5. Bodenmechanische Laboruntersuchungen</b> .....	<b>14</b>
<b>6. Bodenmechanische Kennwerte</b> .....	<b>16</b>
<b>7. Beurteilung der Untergrundverhältnisse</b> .....	<b>17</b>
7.1 Untergrund.....	17
7.2 Bautechnische Eigenschaften.....	18
7.3 Boden- und Bohrbarkeitsklassen, Frostempfindlichkeit .....	20
<b>8. Bautechnische Hinweise</b> .....	<b>21</b>
8.1 Ersatzneubau Wehr 17.33a .....	21
8.1.1 Gründungsempfehlung.....	21
8.1.2 Baugrubenverbau, Wasserhaltung .....	22
8.1.3 Wassermengen.....	25
8.2 Rückbau Wehr 17.33 und Neubau Sohlgleite .....	25
8.3 Teichzuleiter .....	27
<b>9 Chemische Untersuchungen</b> .....	<b>27</b>
9.1 Sedimentuntersuchung nach LAGA.....	27
9.2 Untersuchung Oberboden.....	29
9.3 Betonaggressivität des Wassers.....	30
9.4 Stahlaggressivität des Wassers.....	30
<b>10. Abschließende Hinweise</b> .....	<b>32</b>

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Tabelle 1. Lage der Bohrungen) .....	8
Tabelle 2. Grundwasserstände.....	12
Tabelle 3. Lagerungsdichte .....	12
Tabelle 4. Lagerungsdichte und Steifemodul.....	13
Tabelle 5. Normalprofil Wehr 17.33a .....	14
Tabelle 6. Bodenmechanische Laborergebnisse .....	15
Tabelle 7. Bodenmechanische Kennwerte .....	16
Tabelle 8. Boden- und Bohrbarkeitsklassen, Frostempfindlichkeit.....	20
Tabelle 9. Grundbruchberechnung .....	21
Tabelle 10. Untersuchung nach LAGA TR Boden .....	28
Tabelle 11. Untersuchung Oberboden nach BBodSchV .....	29
Tabelle 12. Betonaggressivität des Grundwassers.....	30

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 1: Grundwasserstände am Wehr 17.33 / 17.33a.....	11
Abbildung 2: Anordnung Peilrohr zur Kontrolle des Wasserdruckes.....	24
Abbildung 3: typische Kornverteilungskurven für enggestufte Flusssande (Schicht 2).....	26

## Anlagenverzeichnis

## Blattzahl

### Teil I: Baugrunduntersuchung

Anlage 1	Übersichtskarte, Maßstab 1:5.000 .....	1
Anlage 2	Lageplan mit Aufschlusspunkten, Maßstab 1:250 .....	1
Anlage 3	Baugrundschnitte .....	3
3.1	Wehr 33a: Längs- und Querprofil	
3.2	Wehr 33: Längsprofil	
3.3	Teichzuleiter	
Anlage 4	Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse	
4.1	Schichtenverzeichnisse .....	11
4.2	Bohrprofile, Sondierprotokolle .....	17
Anlage 5	Bodenmechanische Laborergebnisse	
5.1	natürlicher Wassergehalt DIN 18121 .....	3
5.2	Konsistenzgrenzen DIN 18122 .....	1
5.3	Korngrößenverteilung DIN 18123 .....	13
Anlage 6	Grundbruch- und Setzungsberechnung .....	2
	Blatt 1: Gründungssohle 106,5 m ü.NHN	
	Blatt 2: Gründungssohle 105,0 m ü.NHN	
Anlage 7	Auftriebsnachweis, hydraulischer Grundbruch .....	3
	Blatt 1: Ermittlung Untergrundpotentiale	
	Blatt 2: Auftriebsnachweis, hydraulischer Grundbruch (ohne Unterbeton)	
	Blatt 3: Auftriebsnachweis, hydraulischer Grundbruch (mit Unterbeton)	
Anlage 8	Chemische Laboruntersuchungen	
8.1	Sediment - LAGA TR Boden (Prüfbericht 1015927001) .....	6
8.2	Beton- und Stahlaggressivität Wasser (Prüfbericht 1015927002) .....	2
8.3	Oberboden – BbodSchV (Prüfbericht 1015927003) .....	2

## 0. Zusammenfassung

Die aus den beiden Wehren 17.33 und 17.33a bestehende Wehranlage in 01904 Hermsdorf OT Jannowitz soll umgebaut werden. Anstelle des Wehres 17.33 entsteht eine ca. 90 m lange Sohlgleite. Das benachbarte Wehr 17.33a wird ebenfalls zurückgebaut und durch ein Zweifeldwehr ersetzt.

Das IFG Ingenieurbüro für Geotechnik führte im Rahmen der vorliegenden Baugrunduntersuchungen 11 Kleinrammbohrungen mit Tiefen zwischen 2...10 m und 6 schwere Rammsondierungen (DPH) mit Tiefen bis 15 m aus.

Der **Teil I** des Gutachtens enthält die Angaben zu den Baugrund- und Grundwasserverhältnissen.

Im **Teil II** erfolgt die Ermittlung der Sohlwasserdruckverteilung am Bauwerk durch ein FE-Modell. Für die Böschungen des Ruhlander Schwarzwassers wird ein Standsicherheitsnachweis erarbeitet. Dieser Teil wird zu einem späteren Zeitpunkt nach Vorliegen der Entwurfsplanung bearbeitet.

### Teil I: Baugrunduntersuchung

Der Baugrund ist durch ca. 3 Meter mächtige locker gelagerte Sande gekennzeichnet. Darunter stehen bis zu 5 Meter mächtige Schluffe sowie ausgeprägt plastischer Ton an. Im Liegenden sind wiederum mitteldicht gelagerte Fein- sowie Mittel- und Grobsande vorhanden. Das Grundwasser steht im Niveau der Vorfluter an.

Durch die locker gelagerten Sande bzw. die zusammendrückbaren bindigen Böden ist mit Setzungen des Bauwerkes von bis zu 5 cm zu rechnen. Die Setzungsberechnung ist nach Ermittlung der tatsächlichen Bauwerkslasten nochmals zu überprüfen.

In Abhängigkeit von den tatsächlichen Bauwerkslasten kann die Gründung auf den Sanden oder den bindigen Böden erfolgen, wobei dies auch Auswirkungen auf den Umfang der Wasserhaltung hat. Die Rammbarkeit des Baugrundes wurde bis 15,0 m u.GOK nachgewiesen, wobei ab ca. 102 m ü.NHN schwer rammbare Sande anstehen. Für die Baugrube ist ein Spundwandverbau geplant. Es wird empfohlen, diesen Verbau nach Abschluss der Arbeiten im Untergrund zu belassen, um Schäden am Bauwerk zu vermeiden.

## Teil I: Baugrunduntersuchung

### 1. Zielstellung und Untersuchungsumfang

Der Gewässerverband „Kleine Elster-Pulsnitz“ plant Baumaßnahmen an der Wehranlage 17.33 und 17.33a in Hermsdorf-Jannowitz. Das Wehr 17.33 soll abgerissen und durch eine Sohlgleite ersetzt werden. Für das Wehr 17.33a ist ein Ersatzneubau geplant. Die Planungen werden durch die Ingenieurbüro eta h AG, Büro Bautzen bearbeitet. Die eta AG ist auch Auftraggeber der IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH.

Gemäß Aufgabenstellung ist eine Baugrunduntersuchung am bestehenden Wehr (geplanter Ersatzneubau) durchzuführen, mit deren Ergebnissen eine Beschreibung der Baugrundverhältnisse, Gründungsempfehlungen und eine Standsicherheitsuntersuchung erarbeitet werden können. Diese Standsicherheitsuntersuchung umfasst ein Strömungsmodell des Wehres, die Ermittlung des Sohlwasserdruckes für nachfolgende statische Berechnungen und die Standsicherheitsberechnungen für die Böschungen am Wehr.

Das Gutachten gliedert sich in 2 Teile:

- Teil I: Baugrunduntersuchung
- Teil II: Strömungsmodell und Standsicherheitsnachweis

**Der hier vorliegende Teil I enthält die Angaben zu den durchgeführten Baugrunduntersuchungen.** Der Teil II wird zu einem späteren Zeitpunkt erarbeitet, wenn die Planungen soweit fortgeschritten sind, dass gesicherte Angaben für die hydraulischen Berechnungen vorliegen.

Für das Bauwerk gilt die Geotechnische Kategorie 2.

## 2. Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden für die Planung der Feldarbeiten sowie für die Erarbeitung des Gutachtens verwendet:

- /U1/ Angebotsaufforderung und Aufgabenstellung, eta h AG, Büro Bautzen.
- /U2/ Angebot AN2014/105, IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH vom 27.03.2014.
- /U3/ Auftrag der eta h AG, Büro Bautzen vom 15.10.2014.
- /U4/ Lageplan (Vorplanung), Variante 3.1, eta h AG, Büro Bautzen, 31.01.2011.

### Literatur:

- /U5/ Lithofazieskarte der quartären Bildungen, Blatt 2568 (Großhain), Zentrales Geologisches Institut, Berlin, 1985.
- /U6/ EAU, Empfehlung des Arbeitskreises Ufereinfassungen, 10. Auflage, Ernst & Sohn, 2005.
- /U7/ Geologische Spezialkarte des Königreiches Sachsen, Blatt 4648 (Section Schönfeld-Ortrand), Leipzig, 1886.
- /U8/ Geologie von Sachsen, Kurt Pietzsch, Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1962.
- /U9/ DIN 4020:2003, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke.
- /U10/ DIN 19702:2010, Massivbauwerke im Wasserbau.
- /U11/ Topographische Karte, M 1:10.000, Blatt 4648 (Ortrand), Landesvermessungsamt Sachsen, 2010.
- /U12/ Grundbautaschenbuch, 6. Auflage, Ernst & Sohn, 2001.
- /U13/ Raitchel/Kempfert: Geotechnik nach EUROCODE, 3. Auflage, Beuth-Verlag, 2012.

### 3. Feldarbeiten

Die Feldarbeiten dienen der Erkundung der Baugrundverhältnisse für folgende Teile der Wehranlage:

- Ersatzneubau Wehr 17.33a: Bohrungen BS 1 bis BS 4
- Rückbau Wehr 17.33 und Bau einer Sohlgleite (Länge ca. 90 Meter): BS 5 bis BS 9
- Umverlegung Teichablauf: BS 10, BS 11.

Die Geländearbeiten erfolgten in der Zeit vom 29.10. bis 26.11.2014 durch das unterzeichnende Ingenieurbüro. Die Arbeiten wurden mittels selbstfahrendem hydraulischem Kleinrammbohrgerät durchgeführt. Im Bereich des Wehres und der geplanten Spundwände wurden neben den Kleinrammbohrungen auch schwere Rammsondierungen durchgeführt. Die Einmessung der Bohransatzpunkte erfolgte auf der Grundlage der Entwurfsvermessung /U4/ mittels Nivelliergerät. Es gilt das Höhensystem DHHN 92 (m ü.NHN). Die Lage der Bohransatzpunkte ist in Anlage 2 dargestellt.

Aus den Bohrungen wurden gestörte Proben für die Durchführung bodenmechanischer Laboruntersuchungen entnommen. Außerdem wurden Wasser- und Sedimentproben für chemische Untersuchungen entnommen.

**Tabelle 1. Lage der Bohrungen)**

Bohrung	Lage	Rechtswert	Hochwert	Tiefe RKS	Tiefe Sondierung	Ansatzhöhe [m ü.NHN]
<b>Wehr 17.33a (Ersatzneubau)</b>						
BS 1/DPH 1	östlich Wehr 17.33a	3420182,7	5694679,2	8,0 m	15,0 m	108,84
BS 2/DPH 2		3420180,1	5694657,7	10,0 m	15,0 m	110,01
BS 3 / DPH 3	westlich Wehr 17.33a	3420158,4	5694678,7	8,0 m	15,0 m	108,14
BS 4/DPH 4		3420163,4	5694663,8	10,0 m	15,0 m	110,17
<b>Wehr 17.33 (Rückbau)</b>						
BS 5 / DPH 5	westlich des Umfluters auf Insel	3420149,7	5694673,8	8,0 m	16,0	110,01
BS 6 / DPH 6		3420196,8	5694688,6	8,0 m	15,4	110,76
BS 7		3420130,2	5694706,1	6,0 m	/	109,49
BS 8		3420127,9	5694722,3	3,0 m	/	107,99
BS 9		3420125,4	5694733,1	3,0 m	/	108,11
<b>Teichzuleiter</b>						
BS 10		3420121,7	5694683,7	2,0 m	/	110,02
BS 11		3420118,2	5694694,1	2,0 m	/	109,95

## 4. Baugrundbeschreibung

### 4.1 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

Das Bauvorhaben befindet sich etwa in der Mitte der Ortslage Jannowitz. Das Ruhlander Schwarzwasser teilt sich oberhalb des Wehres 17.33a. Der westliche Gewässerarm fließt über das Wehr 17.33 und vereinigt sich unterhalb wieder mit dem Ruhlander Schwarzwasser. Durch die Teilung des Ruhlander Schwarzwassers bildet sich eine Insel zwischen den beiden Gewässerarmen, die nur über die beiden Wehre zu erreichen ist.

Der Rückstau an den Wehren 17.33 und 17.33a speist einen kleinen Teich östlich des Gewässers sowie mehrere Teiche einer Fischzuchtanlage östlich des Gewässers. Die mittlere Geländehöhe beträgt ca. 110 m ü.NHN.

Der Untersuchungsstandort befindet sich im Lausitzer Urstromtal. Die geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete /U5/ weist für diesen Bereich holozäne sandige Flussablagerungen über Niederterrassen-Ablagerungen der Weichsel- und Saalekaltzeiten aus. Diese besitzen eine Mächtigkeit von bis zu 8 Metern.

Im Liegenden stehen 3-4 Meter mächtige Kiese und Sande der Elster-2-Kaltzeit an. An der Quartärbasis sind tertiäre Ablagerungen des Miozäns vorhanden.

Das Grundwasser steht oberflächennah etwa im Niveau der Vorfluter an und korrespondiert aufgrund der guten Durchlässigkeit des Untergrundes mit der Wasserführung der Vorfluter.

### 4.2 Untergrundaufbau

Bei den Bohrarbeiten wurde der aufgrund der geologischen Karten zu erwartende Untergrundaufbau festgestellt (s. auch Anlage 4).

#### Wehr 17.33a (Ersatzneubau) – Baugrundschnitt s. Anlage 3.1

Entlang des Gewässers haben vermutlich anthropogene Bodenumlagerungen stattgefunden. So wurden bis ca. 1 m Tiefe sehr lockere und teils humose Sande angetroffen (**Schicht 1:** SU/SU\* - Sand, schluffig bis stark schluffig). Sie enthalten sehr geringe Spuren von Ziegelresten, was auf derartige Umlagerungen hindeutet. Der humose Anteil ist vor allem auf verrottete Laubreste und die starke Durchwurzelung dieser Schicht zurückzuführen.

Darunter stehen Flussablagerungen in Form enggestufter Mittelsande an, die bis 2,50...3,90 m reichen (**Schicht 2:** SE – Sand, enggestuft). Die Lagerungsdichte dieser Sande ist als locker bis sehr locker einzustufen.

An der östlichen Seite des Wehres 17.33a wurden im Liegenden der Schicht 2 zunächst Grobschluffe mit einer Mächtigkeit von bis zu 3,60 m (**Schicht 3**: UL – Grobschluff, schwach feinsandig, leichtplastisch) angetroffen. Diese Schluffe besitzen eine sehr enge Kornverteilung, was sie im Zusammenhang mit Wasser- oder Grundwasserströmungen sehr vibrations- und erosionsempfindlich macht.

In allen Bohrungen am Wehr 17.33a folgen darunter ausgeprägt plastische Tone (**Schicht 4**: TA – Ton, steif bis halbfest). Bis zur Endteufe von 10 Metern stehen in der weiteren Folge Feinsande (**Schicht 5a**: SU – Sand, schluffig) und Grobsande (**Schicht 5b**: SE – Sand, enggestuft) an. Deren Lagerungsdichte kann als mitteldicht bis dicht beschrieben werden.

#### Wehr 17.33 (Rückbau / Umbau Sohlgleite) – Baugrundschnitt s. Anlage 3.2

Entlang der geplanten Sohlgleite ist ein ähnlicher Aufbau wie am Wehr 17.33a zu verzeichnen. Oberflächennah stehen sehr lockere humose Sande an (**Schicht 1**: SU/SU\* - Sand, schluffig bis stark schluffig), unter denen enggestufte Mittelsande lagern. Diese reichen bis 4 m u.GOK, in BS 5 sogar bis 8 m u.GOK (**Schicht 2**: SE – Sand, enggestuft). Die Lagerungsdichte dieser Sande ist als locker bis sehr locker einzustufen.

Die Schluffe (**Schicht 3**: UL – Grobschluff, schwach feinsandig, leichtplastisch) und ausgeprägt plastischen Tone (**Schicht 4**: TA – Ton, steif bis halbfest) konnten entlang des Umfluters nicht als durchgängige Schicht nachgewiesen werden. In der Bohrung BS 5 fehlen beide Schichten vollkommen. Bis zur Endteufe von max. 8 Metern wurden in BS 2 Mittelsande (**Schicht 2**: SE – Sand, enggestuft) angetroffen. Deren Lagerungsdichte kann unterhalb von 3,5 m als mitteldicht bis dicht beschrieben werden.

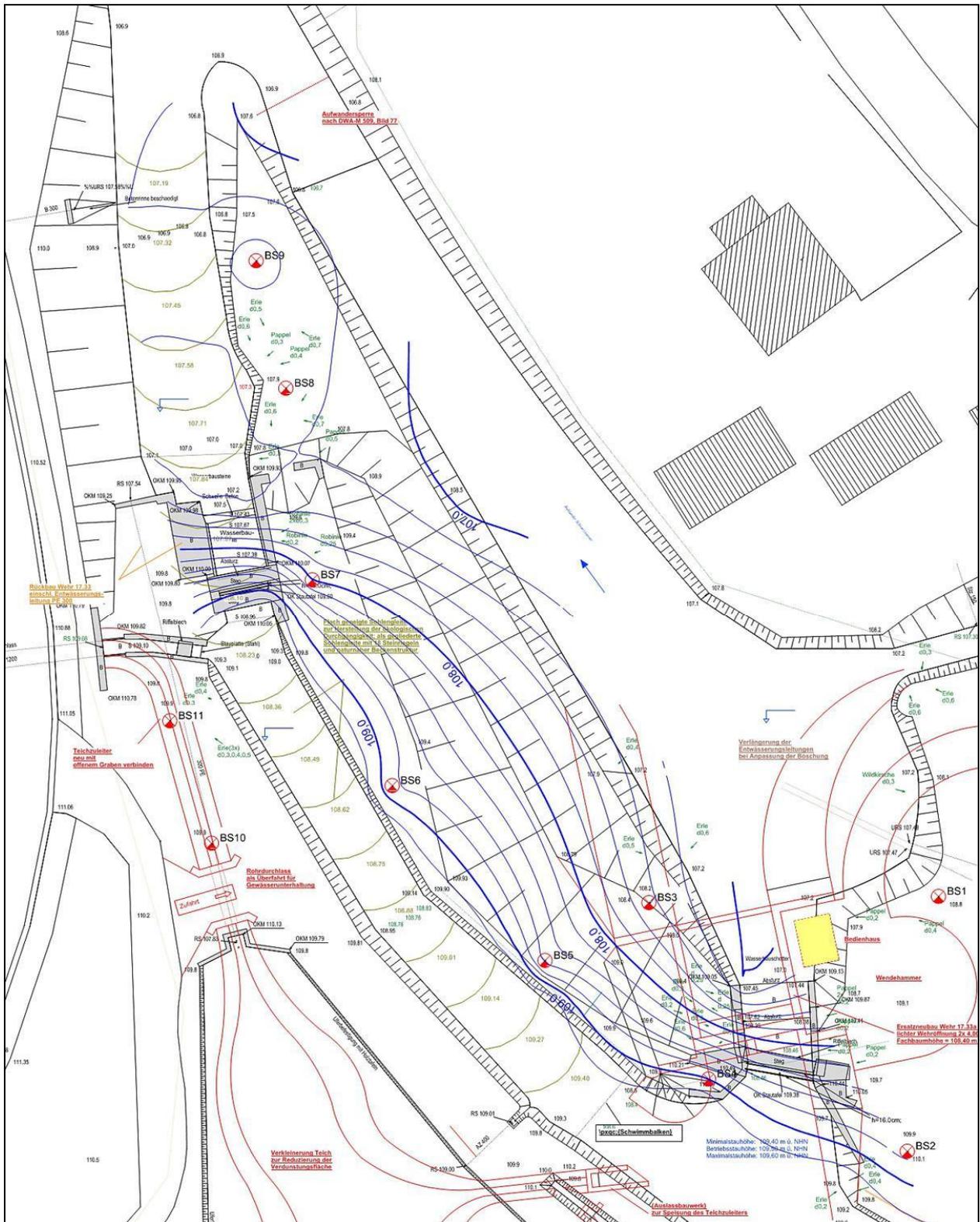
Die nördlichen Bohrungen BS 8 und BS 9 (Tiefe: 3,0 m) liegen am Ende der Sohlgleite, dem nördlichen Punkt der Insel zwischen beiden Gewässerarmen. Hier wurden eher grobsandig-kiesige Sedimente durch das Ruhlander Schwarzwasser abgelagert (**Schicht 2**: SE).

#### Teichzuleiter – Baugrundschnitt s. Anlage 3.3

Am Teichzuleiter liegen die Bohrungen BS 10, BS 11, deren Tiefe in Abstimmung mit dem Planungsbüro bei 2,0 m liegen sollte. Unter einer nur 10 cm starken Oberbodenschicht wurden bis zur Endteufe Mittel- bis Grobsande (**Schicht 2**: SE – Sand, enggestuft) angetroffen. Diese Sande weisen erhöhte humose Bestandteile aus Pflanzenresten und Holzstücken auf.



## Grundwasserstände



**Abbildung 1: Grundwasserstände am Wehr 17.33 / 17.33a**

Das Grundwasser steht im gesamten Wehrumfeld etwa im Niveau der Vorfluter an. Zwischen dem Umfluter und dem Ruhlander Schwarzwasser (Insel) kann ein deutliches Wasserspiegelgefälle festgestellt werden (s. Abbildung 1).

**Tabelle 2. Grundwasserstände**

Bohrung	Lage	Ansatzhöhe [m ü.NHN]	Ruhe-GW [m. u. GOK]	Ruhe-GW [m. ü.NHN]
BS 1/DPH 1	östlich Wehr 17.33a	108,84	/	/
BS 2/DPH 2		110,01	1,30	108,71
BS 3 / DPH 3	westlich Wehr 17.33a	108,14	0,70	107,44
BS 4/DPH 4		110,17	1,15	109,02
BS 5 / DPH 5	westlich des Umfluters auf Insel	110,01	1,50	108,51
BS 6 / DPH 6		110,76	1,96	108,80
BS 7		109,49	1,50	107,99
BS 8		107,99	0,70	107,29
BS 9		108,11	0,60	107,51
BS 10		Teichzuleiter	110,02	/
BS 11	109,95		1,55	108,40

### Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte wird anhand der schweren Rammsondierungen bewertet, die vor allem bei enggestuften und weitgestuften Sanden eine gute Korrelation mit Erfahrungswerten aufweist.

**Tabelle 3. Lagerungsdichte**

Bohrung	Tiefe	Schicht / Boden	Schlagzahl	mittlere Schlagzahl	Lagerungsdichte	mittlere Lagerungsdichte	Lagerung/Konsistenz
BS 3 / BS 4 (westlich Wehr 17.33a)	0,0-1,0 m	1: Sand, humos	0...1	1	0...0,20	0,10	sehr locker
	1,0-3,9 m	2: Sand	0...1	1	0...0,20	0,10	sehr locker
	3,9-7,5 m	4: Ton	5..15	6	/	/	steif
	7,5- 10,0 m	5a: Feinsand	7...10	8	0,43...0,48	0,45	mitteldicht
	> 10 m	Sand?	7...15	10	0,43...0,55	0,50	mitteldicht
BS 1 / BS 2 (östlich Wehr 17.33a)	0,0-0,9 m	1: Sand, humos	1...5	2	/	/	sehr locker
	0,9-2,7 m	2: Sand	2...5	3	0,27...0,43	0,35	locker
	2,7-6,0 m	3: Schluff	5...12	7	/	/	mitteldicht
	6,0-8,0 m	4: Ton	5...20	10	/	/	steif
	8,0-10,0 m	5b: Sand	15...25	20	0,55...0,65	0,60	mitteldicht
	>10,0 m	Sand?	15...25	20	0,55...0,65	0,60	mitteldicht

Aus den Sondierergebnissen und der Lagerungsdichte kann der Steifemodul nach Ohde aus der nachfolgenden Beziehung ermittelt werden:

$$E_S = n \cdot p_a \cdot \frac{c_{\sigma} \cdot s_{\sigma} + 0,5 \cdot D_d \cdot z^w}{p_a \cdot \sigma}$$

n Steifebeiwert (aus Rammsondierung)

w Steifeexponent (für rollige Böden =0,5)

$s_{\sigma} = \sigma \cdot (d+z)$  lotrechte Normalspannung in der Gründungssohle oder in der Tiefe z unterhalb der Gründungssohle

$D_d = i \cdot s_1$  Erhöhung der lotrechten Spannungen durch die Baumaßnahme in der Gründungssohle oder in der Tiefe z unterhalb der Gründungssohle

$p_a$  atmosphärischer Druck (100 kN/m<sup>2</sup>)

Als Ausgangswert für die Sohlnormalspannung unter dem Wehr wurde  $s_0 = 200 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Als mögliche Gründungstiefe gilt Schicht 2 bei 106,0 m ü.NHN. Tabelle 4 enthält die Entwicklung der Lagerungsdichte und des Steifemoduls über die Tiefe:

**Tabelle 4. Lagerungsdichte und Steifemodul**

bis Tiefe [m ü.NHN]	Schicht	Schlagzahl $N_{10,\bar{u}}$	Lagerung Konsistenz	Lagerungsdichte D [-]	Steifemodul $E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]
106,0	Schicht 2: SE/SU	0...1	sehr locker	0,10	18
103,0	Schicht 3: UL Schicht 4: TA	6...10	steif	/	10
100,0	Schicht 5a/5b: SE/SU	10	mitteldicht	0,50	50

### 4.3 Maßgebendes Baugrundprofil Wehr 17.33a

Für das Wehr 17.33a kann folgendes Normalprofil angenommen werden (maßgebendes Bohrprofil: BS 4):

**Tabelle 5. Normalprofil Wehr 17.33a**

Schicht-Nr.	Tiefe u.GOK	Tiefe [m ü.NHN]	Beschreibung
1	1,00 m	bis 109,2	SE/SU - Oberboden / Sand, schwach schluffig, organisch humose Auflage
2	1,0 – 3,9 m	bis 106,3	SE – Sand, enggestuft, locker bis sehr locker Flussablagerungen
4 *)	3,9 – 7,5 m	bis 102,7	TA – Ton, ausgeprägt plastisch, steif Beckenton
5a/5b	7,5 – 10,0 m	bis 100,2	SE/SU – Sand, enggestuft, mitteldicht (Feinsand/Mittelsand) glazifluviatil
5a/5b **)	10,0 – 15,0 m	bis 95,2	SE – Sand, enggestuft, mitteldicht (Feinsand/Mittelsand) glazifluviatil

Ansatzhöhe: 110,17 m ü.NHN  
 Grundwasser: 1,10 m 109,10 m ü.NHN  
 Endteufe: 10,0 m 100,17 m ü.NHN (Bohrung)  
 15,0 m 105,17 m u.NHN (Sondierung)

\*) nur in BS 3 und BS 4, in BS 1/BS 2 stehen in dieser Tiefe Schluffe (Schicht 3) und im Liegenden Ton (Schicht 4) an

\*\*\*) Schichtansprache nach geologischer Karte, durch Sondierung nur indirekt erkundet.

## 5. Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Zur genaueren Bestimmung der bodenmechanischen Kennwerte sowie zur Einstufung der Rammsondierungen (Lagerungsdichte) wurden folgende bodenmechanische Untersuchungen durchgeführt (s. auch Anlage 5):

- 6x Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes nach DIN 18121
- 1x Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach Atterberg, DIN 18122
- 13x Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN 8123.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

**Tabelle 6. Bodenmechanische Laborergebnisse**

Bohrn. Nr.	Probe/Teufe	Bodengruppe nach DIN 18196	w <sub>n</sub> [Ma %]	I <sub>c</sub> [-]	d<0,063 mm (Feinkorn)	d>2,0 mm (Kieskorn)	U	k <sub>f</sub> nach BEYER [m/s]
<b>BS 1</b>	P1/1,0-1,8	Schicht 2 SE – Sand, enggestuft	/	/	3,2%	12,5%	3,2	2,71*10 <sup>-4</sup>
	P2/3,0-3,5	Schicht 3 UL – Schluff	/	/	67,7%	0,0%	115	7,6*10 <sup>-8</sup>
	P3/5,0-5,3	Schicht 3 UL – Schluff	22,20	/	41,2%	0,1%	25	2,27*10 <sup>-7</sup>
	P4/7,0-7,5	Schicht 4 TA – Ton	23,8	1,0	/	/	/	/
<b>BS 2</b>	P3/1,2-2,0	Schicht 2 SE – Sand, enggestuft	/	/	4,6%	1,7%	2,9	2,08*10 <sup>-4</sup>
	P4/2,7-4,0	Schicht 3 UL – Schluff	25,0	/	/	/	/	/
	P5/5,7-6,0	Schicht 4 TA – Ton	23,7	1,01	92%	0,0%	/	/
	P6/7,0-8,0	Schicht 4 TA – Ton	23,8	1,0	/	/	/	/
	P7/9,0-10,0	Schicht 5b SU- Sand, schluffig	/	/	10,2%	0,0%	3,0	3,09*10 <sup>-5</sup>
<b>BS 3</b>	P1/0,5-0,8	Schicht 1 SE – Sand, enggestuft	/	/	3,7%	6,5%	3,7	2,40*10 <sup>-4</sup>
	P2/2,5-2,8	Schicht 2 SE – Sand, enggestuft	/	/	2,3%	16,7%	4,0	3,16*10 <sup>-4</sup>
	P3/3,5-4,0	Schicht 4 TA – Ton	23,5	1,01				
	P4/5,0-5,5	Schicht 4 TA – Ton	23,2	1,02	/	/	/	/
	P5/7,0-7,5	Schicht 5a SU* - Feinsand, schluffig	/	/	17,3%	1,5%	/	/
<b>BS 4</b>	P2/1,5-2,0	Schicht 2 SU – Sand, schluffig	31,8	/	/	/	/	/
	P3/3,5-4,0	Schicht 2 SU* - Sand, st. schluffig	31,2	/	/	/	/	/
<b>BS 5</b>	P2/5,0-5,5	Schicht 2 SU – Sand, schluffig	/	/	9,2%	1,9%	3,8	3,99*10 <sup>-5</sup>
<b>BS 6</b>	P2/1,5-2,0	Schicht 2 SW – Sand, weitgestuft	/	/	3,3%	33,0%	7,0	2,14*10 <sup>-4</sup>
	P3/2,5-3,0	Schicht 2 SE – Sand, enggestuft	/	/	3,0%	17,5%	3,8	2,26*10 <sup>-4</sup>
	P4/3,8-4,0	Schicht 3 UL – Schluff	28,0	/	/	/	/	/
	P5/5,5-6,0	Schicht 5b SE – Sand, enggestuft	/	/	3,2%	7,6%	3,1	2,66*10 <sup>-4</sup>

Konsistenzgrenzen Schicht 4 (BS 2/P5)

- Fließgrenze: w<sub>L</sub> = 58,2%
- Ausrollgrenze: w<sub>P</sub> = 23,9%
- Plastizitätszahl: I<sub>P</sub> = 34,3%

## 6. Bodenmechanische Kennwerte

Die bodenmechanischen Kennwerte wurden aufgrund der ingenieurgeologischen Feldansprache, in Auswertung der Laborergebnisse sowie nach tabellierten und regionalen Erfahrungswerten festgelegt (DIN 1055, EAU).

**Tabelle 7. Bodenmechanische Kennwerte**

Bodenart	Kurzzeichen	cal g [kN/m <sup>3</sup> ]	cal g' [kN/m <sup>3</sup> ]	cal f' [Grad]	cal c' [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>f</sub> [m/s]	cal E <sub>s</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]
Oberboden		/	/	/	/	/	/
<u>Schicht 1</u> Sand, enggestuft bis schluffig, teils organisch, sehr locker (Flussablagerung)	SE/SU	18	8	28,0	0	2*10 <sup>-4</sup>	10-15
<u>Schicht 2</u> Mittel- und Grobsand, enggestuft sehr locker (glazifluviatil)	SE	18	10	30,0	0	3*10 <sup>-4</sup>	15
<u>Schicht 3</u> Grobschluff, schwach sandig, steif (glazilimnisch)	UL	19	9	25	0	2*10 <sup>-7</sup>	10
<u>Schicht 4</u> Ton ausgeprägt plastisch, steif (glazilimnisch)	TA	18	8	22,5	20	1*10 <sup>-9</sup>	10
<u>Schicht 5a</u> Fein- und Mittelsand, schluffig mitteldicht (glazifluviatil)	SU	18	10	28,0	0	4*10 <sup>-5</sup>	40
<u>Schicht 5b</u> Mittel- und Grobsand, enggestuft bis schluffig, mitteldicht (glazifluviatil)	SE/SU	18	10	32,5	0	3*10 <sup>-4</sup>	50

Legende:

cal. g cal. Bodenwichte, erdfeucht [kN/m<sup>3</sup>]  
 cal. g' cal. Bodenwichte unter Auftrieb [kN/m<sup>3</sup>]  
 cal f' cal. Reibungswinkel [°]  
 cal. k<sub>f</sub> cal. Durchlässigkeit [m/s]

cal. c' cal. Kohäsion [kN/m<sup>2</sup>]  
 cal. c<sub>Geb</sub> cal. Kohäsion (Gebirge) [MN/m<sup>2</sup>]  
 cal. E<sub>s</sub> cal. Steifemodul [MN/m<sup>2</sup>]

## 7. Beurteilung der Untergrundverhältnisse

### 7.1 Untergrund

#### Wehr 17.33a (Ersatzneubau)

Für die Gründung des Wehres lagen zum Zeitpunkt der Erkundung noch keine Angaben vor. Anhand des Niveaus der vorhandenen Flusssohle bei 107,4 m ü.NHN und einer geschätzten Stärke der Wehrgründung von ca. 0,90 m kann von einer möglichen Gründungssohle bei 106,5 m ü.NHN ausgegangen werden. Diese mögliche Gründungssohle ist im Baugrundschnitt (Anlage 3.1) eingezeichnet.

Die sandigen Schichten (Schicht 1, Schicht 2) weisen eine lockere bis sehr lockere Lagerung auf, wobei die Lagerungsdichte an der westlichen Wehrwange (Insel) durchgängig als sehr locker einzuschätzen ist (Schlagzahl von  $N_{10} = 0...1$ ). Diese Sande sind ohne eine Nachverdichtung nicht als Gründungssohle geeignet.

Unterhalb 106,0 m ü.NHN stehen bindige Schichten (Schicht 3: UL – Schluff bzw. Schicht 4: TA – Ton ausgeprägt plastisch) an. Diese Schichten besitzen eine steife Konsistenz sowie eine geringe Durchlässigkeit. Eine Gründung des Bauwerkes in Schicht 3 / Schicht 4 ist in Abhängigkeit von der Bauwerkslast und unter Beachtung der relativ starken Zusammendrückbarkeit der Schichten möglich (Setzungen).

Bis zur Endteufe stehen wiederum pleistozäne Sande in mitteldichter Lagerung an (Schicht 5a/5b).

#### Wehr 17.33 (Rückbau / Neubau Sohlgleite)

Im Gründungshorizont der geplanten Sohlgleite stehen enggestufte Sande in sehr lockerer Lagerung (Schicht 1 / Schicht 2) bis mindestens 3 Meter unter Ansatzpunkt an. Die Schichtunterkante der Sande fällt mit der Fließrichtung von 106,0 m ü.NHN auf 105,0 m ü.NHN ab, wobei die Sohlgleite in der Tiefe von 109...107 m ü.NHN abfällt. Aufgrund der sehr lockeren Lagerung und enggestuften Kornverteilung sind die Sande als erosionsempfindlich einzuschätzen. Daher ist unterhalb der Sohlgleite ein entsprechender Filteraufbau erforderlich.

## 7.2 Bautechnische Eigenschaften

### **Schicht 1: SE/SU – Sand, enggestuft/schluffig**

Diese Schicht ähnelt einem sandigen Oberboden, da sie ebenso einen hohen Anteil an organischen Beimengungen (Wurzeln, Holz- und Pflanzenreste) enthält. Der Boden ist als sehr locker einzustufen. Das Material ist mäßig frostempfindlich (F2). Aufgrund der engen Kornverteilung und des organischen Anteils ist es nur für geotechnisch wenig anspruchsvolle Zwecke wie z.B. Geländeregulierung oder die geplante Teilverfüllung des Teiches geeignet. Die Sande sind mit  $k_f = 2 \cdot 10^{-4}$  m/s als mittel durchlässig einzustufen.

### **Schicht 2: SE – Mittel- und Grobsand, enggestuft**

Diese Sande besitzen mit  $U=2\dots3$  eine sehr enggestufte Korngrößenverteilung. Sie enthalten nur geringste Schluffanteile. Derartige Sande gelten als schwer wiederverdichtbar. Das überwiegend mittelsandige Material wird teilweise von feinsandigen Lagen durchzogen.

Die Lagerungsdichte ist durchgängig als locker bis sehr locker einzuschätzen. Für eine Gründung auf den locker gelagerten Sanden wäre eine Nachverdichtung erforderlich. Das Material ist nicht frostempfindlich (F1). Es besitzt mit  $k_f = 3 \cdot 10^{-4}$  m/s eine mittlere Durchlässigkeit nach DIIN 18130 T1.

### **Schicht 3: UL – Grobschluff, schwach feinsandig**

Diese Schluffe besitzen aufgrund ihres geringen Tonanteils nur eine sehr geringe Kohäsion. Das führt dazu, dass das Material in Böschungen schon bei geringem Porenwasserdruck zum Fließen neigt. Daher ist der Schluff auch bei geringen Erschütterungen (z.B. durch Verdichtungsgeräte) fließgefährdet. Eine Nachverdichtung bzw. ein Wiedereinbau von Bodenaushub aus dieser Schicht ist nur sehr eingeschränkt und bei trockener Witterung bzw. Grundwasserabsenkung möglich. Unter Beachtung des geringen Steifemoduls (Setzungsneigung) sind Gründungen mit geringem Sohldruck auf dieser Schicht möglich.

Das Material gilt mit  $k_f = 2 \cdot 10^{-7}$  m/s als schwach durchlässig nach DIN 18130 T1. Daher wirkt dieses Material sehr gut als Sohldichtung der späteren Baugrube. Die Frostempfindlichkeit ist als stark (F3) einzustufen.

#### **Schicht 4: TA – Ton, ausgeprägt plastisch**

Diese Tone weisen eine steife bis halfeste Konsistenz auf. Durch den hohen Bildsamkeitsbereich verändert sich die Konsistenz erst bei stärkerem Wasserzutritt. Einmal aufgeweichtes Material wird jedoch als Baugrund unbrauchbar. Das Material ist nicht wiederverdichtbar und besitzt eine sehr geringe Durchlässigkeit. Die Frostempfindlichkeit ist als F3 (stark frostempfindlich) einzustufen. Als Gründungshorizont für mittlere Lasten ist es bei der vorhandenen halfesten Konsistenz geeignet., führt jedoch ebenso wie Schicht 3 zu höheren Setzungen.

#### **Schicht 5a: SU – Feinsand, schluffig**

#### **Schicht 5b: SE – Mittel- und Grobsand, enggestuft**

Die Sande der Schichten 5a und 5b liegen in einigen Bohrungen als getrennte Schichten vor, gehen aber auch teilweise in Wechsellagerung ineinander über. Beide Schichten liegen unterhalb der künftigen Gründungssohle und spielen bautechnisch nur eine untergeordnete Rolle. Aus geotechnischer Sicht besitzen sie bei der festgestellten mitteldichten Lagerung günstige Voraussetzungen zur Aufnahme von Bauwerkslasten, so dass die möglichen Setzungen des Bauwerkes vor allem aus den darüberliegenden Schichten 3 und 4 resultieren werden.

Das Material ist mäßig frostempfindlich (F1-F2). Es besitzt mit  $k_f = 10^{-4} - 10^{-5}$  m/s eine mittlere Durchlässigkeit nach DIN 18130 T1.

### 7.3 Boden- und Bohrbarkeitsklassen, Frostempfindlichkeit

Für Erdarbeiten gelten folgende Boden- und Bohrbarkeitsklassen nach VOB bzw. Frostempfindlichkeitsklassen nach ZTVE-StB 09.

**Tabelle 8. Boden- und Bohrbarkeitsklassen, Frostempfindlichkeit**

Bodenart	Kurzzeichen	Frostempfindlichkeit ZTVE-StB 09	Bodenklasse DIN 18300	Bohrbarkeitsklasse DIN 18301	Rohrvortriebsarbeiten DIN 18319
Oberboden		/	1	/	/
<u>Schicht 1</u> Sand, enggestuft bis schluffig, teils organisch, sehr locker (Flußablagerung)	SE/SU	F2	3	BN 1	LNE 1
<u>Schicht 2</u> Mittel- und Grobsand, enggestuft sehr locker (glazifluviatil)	SE	F1	3	BN 1	LNE 1
<u>Schicht 3</u> Grobschluff, schwach sandig, steif (glazilimnisch)	UL	F3	4	BB 2	LBM 2
<u>Schicht 4</u> Ton ausgeprägt plastisch, steif (glazilimnisch)	TA	F3	5	BB 3	LBM 2
<u>Schicht 5a</u> Fein- und Mittelsand, schluffig mitteldicht (glazifluviatil)	SU	F2	3	BN 2	LN 2
<u>Schicht 5b</u> Mittel- und Grobsand, enggestuft bis schluffig, mitteldicht (glazifluviatil)	SE/SU	F1	3	BN 1	LNE 2

*DIN 18300: Bodenklassen für Erdarbeiten nach DIN 18300:2012*

*DIN 18301: Bohrbarkeitsklassen nach DIN 18301:2012*

*DIN 18319: Rohrvortriebsarbeiten nach DIN 18319:2012*

## 8. Bautechnische Hinweise

### 8.1 Ersatzneubau Wehr 17.33a

#### 8.1.1 Gründungsempfehlung

Eine Flachgründung des Bauwerkes ist grundsätzlich möglich. Die Vorzugsvariante enthält eine Gründung auf Unterwasserbeton (103,05 m ü.NHN) in Schicht 3 bzw. Schicht 4. Der Nachweis der Auftriebssicherheit erfolgt in Teil II des Gutachtens (hydraulische Nachweise).

Die Anlage 6 enthält die Grundbruch- und Setzungsberechnung (Vorbemessung) zur Abschätzung der zu erwartenden Setzungen. Grundlage bilden die statischen Nachweise des Ingenieurbüros Dr. K.-H. Weise (Lastermittlungen im LF 1).

#### Lasten aus Wehrbauwerk:

Vertikalkräfte (Lastfall 1):  $P_z = 2.943,57 \text{ kN}$

#### Lasten aus Füllbeton:

Abmessungen (L x B x H): 4,0 x 7,45 x 2,15 m  
 Volumen:  $V = 61,09 \text{ m}^3$   
 Wichte Beton (unbew.):  $g = 23,0 \text{ kN/m}^3 / g' = 13,0 \text{ kN/m}^3$   
 Vertikalkraft Füllbeton:  $P_z = V \times g$   $P_z = 794,17 \text{ kN}$

#### Lasten aus Unterbeton:

Abmessungen (L x B x H): 12,5 x 7,45 x 2,5 m  
 Volumen:  $V = 232,81 \text{ m}^3$   
 Wichte Beton (unbew.):  $g = 23,0 \text{ kN/m}^3 / g' = 13,0 \text{ kN/m}^3$   
 Vertikalkraft Füllbeton:  $P_z = V \times g$   $P_z = 3.026,56 \text{ kN}$

**S  $P_z = 6.764,30 \text{ kN}$**

Lasten in der Sohlfuge ((Unterbeton): bei A = 12,45 x 7,45 m (92,75 m<sup>2</sup>):  $s_v = 72,93 \text{ kN/m}^2$

**Tabelle 9. Grundbruchberechnung**

	ohne Vorbelastung (s. Anlage 6, Blatt 1)	mit Vorbelastung (s. Anlage 6, Blatt 2)
Sohle Wehr	106,55 m ü.NHN	106,55 m ü.NHN
Sohle Unterwasserbeton	103,05 m ü.NHN	103,05 m ü.NHN
Last in der Sohlfuge Unterwasserbeton	6.764,30 kN	6.764,30 kN
Sohldruck UK Unterbeton	72,93 kN/m <sup>2</sup>	72,93 kN/m <sup>2</sup>
Vorbelastung	/	40 kN/m <sup>2</sup>
Setzung	0,92	0,32
Ausnutzungsgrad Grundbruch	$\mu = 0,13$	$\mu = 0,13$

Die Setzungen werden in Anlage 6, Blatt 2 (Überarbeitung vom 11.11.2015) mit  $s = 0,32 \text{ cm}$  ermittelt. Dabei wurde eine Vorbelastung des Baugrundes von  $40 \text{ kN/m}^2$  berücksichtigt. Ohne Berücksichtigung der Vorbelastung hätte sich eine Setzung von  $s = 0,92 \text{ cm}$  eingestellt. Die tatsächlichen Setzungen werden noch unterhalb der rechnerisch ermittelten Setzungen liegen, da die Mantelreibung der Spundwände nicht berücksichtigt wird.

Die Grundbruchsicherheit ist damit grundsätzlich gegeben. Stabilisierend wirken zusätzlich die Spundwände, welche bei der Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Die Berechnung gilt jedoch nur unter der Annahme lotrechter mittiger Belastung und ohne die exakte Berücksichtigung ständiger und vorübergehender Lasten. Sie ist im weiteren Planungsfortschritt an die tatsächliche Belastung anzupassen.

### **8.1.2 Baugrubenverbau, Wasserhaltung**

Für die Herstellung der Baugrube wird ein Spundwandverbau empfohlen. Der Baugrund ist bis zur Tiefe von  $15,0 \text{ m}$  rammpbar, wobei zu unterscheiden ist:

- bis  $106,5 \text{ m}$  ü.NHN: leichte Rammung
- bis  $102,0 \text{ m}$  ü.NHN: mittelschwere Rammung
- bis  $95,0 \text{ m}$  ü.NHN: mittelschwere bis schwere Rammung

Wie aus dem Baugrundschnitt (Anlage 3.1) erkennbar ist, sind die Sande im Bereich der Fischzuchtanlage deutlich dichter gelagert als unter der westlich des Wehres gelegenen Insel. Die anstehenden Sande der Schicht 5a (Feinsand) und 5b (Sand, enggestuft) neigen aufgrund der steilen Kornverteilungskurven zur Selbstverdichtung infolge des Einvibrierens der Spundwände. Daher ist das Einvibrieren von Spundwänden tiefer als  $102,0 \text{ m}$  ü.NHN mittels freireitender Mäklar nicht zu empfehlen. Infolge der möglichen Selbstverdichtung und der ungleichmäßigen Lagerung der Sande unterhalb des Bauwerkes wird empfohlen, den Spundwandverbau nach Ende der Bauarbeiten im Untergrund zu belassen, um Schäden am Bauwerk zu vermeiden.

Durch einen Spundwandverbau und die gegebenen Baugrundverhältnisse bestehen günstige Verhältnisse für eine Baugrube mit geringem Wasserhaltungsaufwand. Die durchgängig vorhandenen Schluffe und Tone mit geringer Wasserdurchlässigkeit ( $k_f = 2 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ ) verhindern einen stärkeren Wasserzufluss über die Baugrubensohle.

Der Spundwandverbau muss dafür mindestens bis in die Schicht 3 bzw. Schicht 4 reichen. Da die Schluffe (Schicht 3) keine derartig gute Dichtwirkung aufweisen wie die liegenden Tone (Schicht 4) wird empfohlen, den Spundwandfuß bei der Mindesttiefe  $102,0 \text{ m}$  ü.NHN abzusetzen. Die Länge des Spundwandverbaus richtet sich auch nach dem Auftriebs- und Grundbruchnachweis (s. u.).

Anlage 7 enthält den Auftriebsnachweis und hydraulischen Grundbruchnachweis. Die Nachweise gelten für die Gründungsvariante 2 (Bodenaustausch) und liegen damit für die Variante 1 auf der sicheren Seite. Eine Proberechnung führte zu dem Ergebnis, dass weder Auftriebssicherheit noch hydr. Grundbruchsicherheit nachzuweisen sind, wenn das Wasser im Inneren des Spundwandverbau nur bis Baugrubensohle abgesenkt wird. Es ist daher notwendig, den Wasserdruck auf die Baugrubensohle soweit abzusenken, bis die entsprechenden Sicherheiten gegeben sind. Dies ist ab einem Grundwasserstand von 104,5 m NHN der Fall.

- Bemessungswasserstand: 109,5 m ü.NHN (Betriebsstau)
- Baugrubensohle: 105,0 m ü.NHN
- Absenkziel in der Baugrube: 104,5,0 m ü.NHN (bauzeitlich bis Einbringen Unterbeton)  
106,5 m ü.NHN (nach Einbringen Unterbeton)

In Anlage 7.1 wird zunächst das Potential an UK Spundwand (100,0 m ü.NHN) ermittelt. Das Potential an UK Spundwand beträgt 106,25 m ü.NHN. Damit erfolgt der hydraulische Grundbruch- und Auftriebsnachweis für folgende Bauzustände:

- a) vor Einbringen Unterbeton (Absenkziel: 104,5 m ü.NHN) – Anlage 7.2
  - Ausnutzungsgrad Auftrieb:  $\mu = 0,90$
  - Ausnutzungsgrad hydr. Grundbruch:  $\mu = 0,93$
- b) nach Einbringen Unterbeton (Absenkziel: 106,5 m ü.NHN) – Anlage 7.3
  - Ausnutzungsgrad Auftrieb:  $\mu = 0,88$
  - Ausnutzungsgrad hydr. Grundbruch:  $\mu = 0,91$

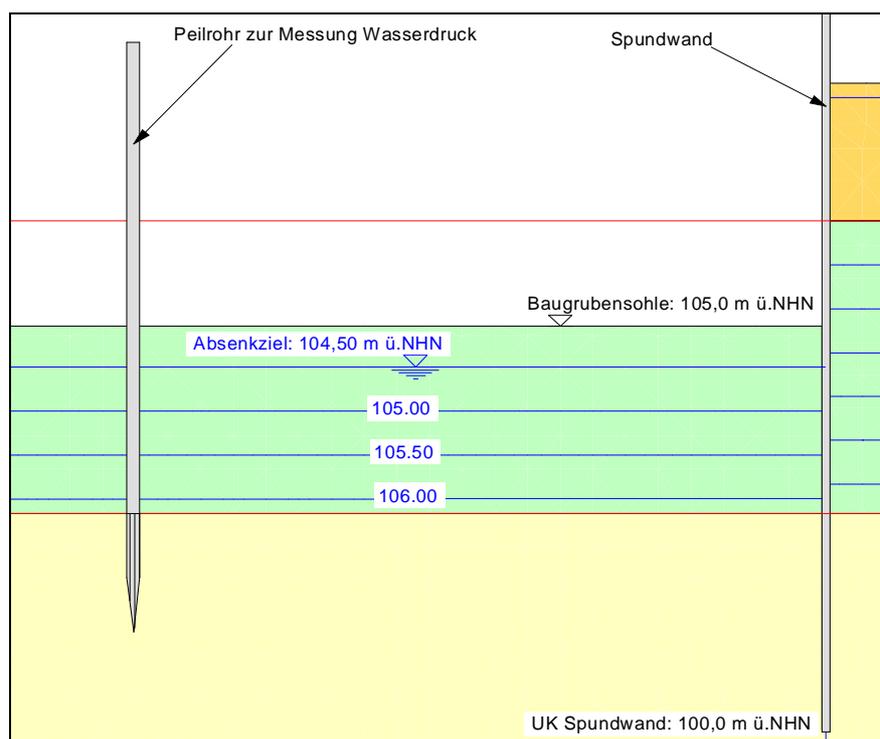
Die Berechnung erfolgt in beiden Fällen für den Bauzustand (Bemessungsfall BS-T) mit folgenden Teilsicherheitsbeiwerten:

- Gewicht - günstige ständige Einwirkungen:  $g_{G,stab} = 0,95$
- Auftrieb- ungünstige ständige Einwirkungen:  $g_{G,dst} = 1,05$
- Hydraulischer Grundbruch – Strömungskraft:  $g_{gam,H} = 1,30$  (günstiger Untergrund)

Schlussfolgerung:

Bis zum Einbringen des Unterbetons ist eine Wasserhaltung innerhalb der Baugrube mit dem Absenkziel 104,5 m ü.NHN erforderlich. Da die bindigen Schichten (Schicht 3/Schicht 4) mittels Spülfilterverfahren nicht entwässerbar sind, muss der Wasserdruck unterhalb dieser Schichten verringert werden. Die Wasserhaltung dient damit nicht in erster Linie der Trockenhaltung der Baugrube, sondern der Verringerung des Wasserdrucks auf die Baugrubensohle. Die Funktionsfähigkeit der Wasserhaltung ist störungsfrei und ohne Unterbrechung zu gewährleisten und zu kontrollieren. Dazu wird der Einbau eines Peilrohres empfohlen, in dem der Wasserdruck gemessen werden kann (s. Ausschnitt aus Anlage 7.1: Abbildung 2).

Nach Aushärtung des Unterbetons (UK: 122,0 / OK: 122,9 m ü.NHN) kann die Wasserhaltung langsam zurückgefahren werden. Die Auftriebssicherheit ist dann auch bei ausgeschalteter Wasserhaltung gegeben. Bedingung ist, dass der Wasserstand außerhalb der Baugrube den Betriebsstau nicht überschreitet.



**Abbildung 2: Anordnung Peilrohr zur Kontrolle des Wasserdruckes**

Unverbaute Baugruben oberhalb des Grundwasserspiegels können im Winkel von 45° geböscht werden.

### 8.1.3 Wassermengen

Die Berechnung der zu hebenden Wassermengen innerhalb der Baugrube erfolge über das bereits in Kap. 8.3 genutzte 2-dimensionale Grundwassermodell. Als Eingangsgrößen gelten:

- Wasserdruck an UK Spundwand: 106,25 m ü.NHN
- Absenkziel innerhalb der Baugrube: 104,50 m ü.NHN
- Baugrubenabmessung: 12,0 x 9,5 m

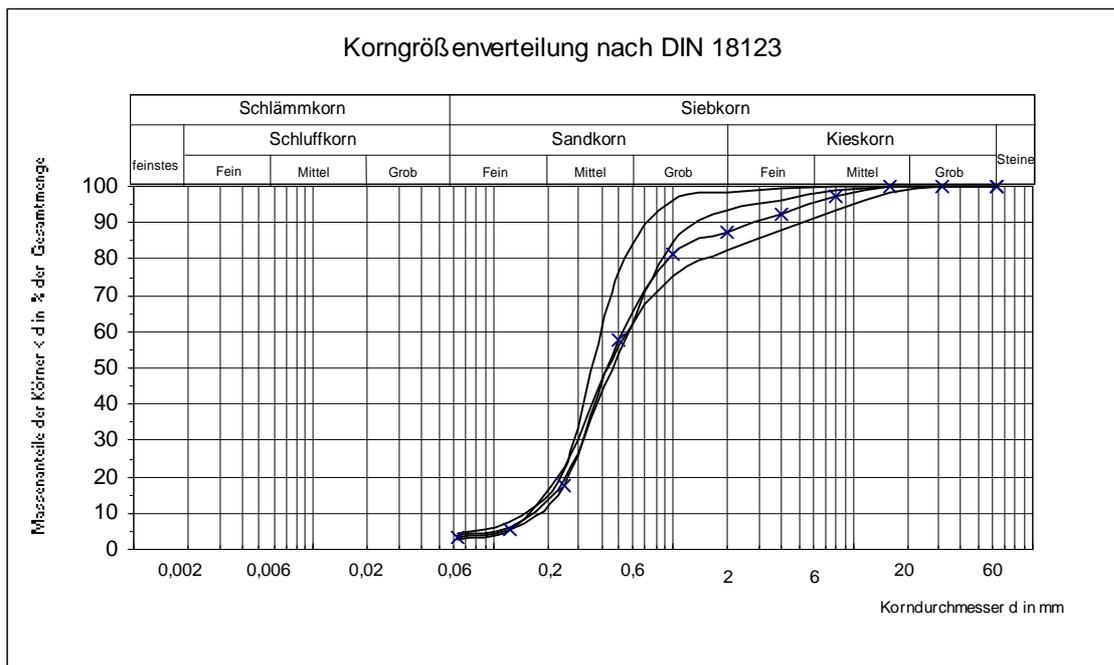
Im Inneren der Spundwand wurde eine Wassermenge von  $9,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$  berechnet. Bei einer Breite der Baugrube von  $B=12,0 \text{ m}$  ergibt sich eine Wassermenge von  **$Q = 45 \text{ m}^3/\text{h}$** .

Nach Grundbautaschenbuch (6. Auflage, Band 2, S. 451) kann die Wassermenge auch anhand von Tabellenwerten ermittelt werden, die aus der Absenktiefe und dem  $k_f$ -Wert gebildet werden. Bei einer Entspannung des Potentials um 1,0 m wurde eine Wassermenge von  **$Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$**  ermittelt.

Es wird empfohlen, für die weiteren Planungen von einer Wassermenge  **$Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$**  auszugehen, die bis zum Einbringen und Aushärten des Unterbetons anfällt.

## 8.2 Rückbau Wehr 17.33 und Neubau Sohlgleite

Die auf der Sohle des Umfluters anstehenden enggestuften Sande sind gegen Materialtransport und Auskolkung empfindlich. Ein entsprechender Filteraufbau in Anlehnung an das gültige Regelwerk der Bundesanstalt für Wasserbau (MAR: Merkblatt für die Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlsicherungen.... bzw. MAK: Merkblatt für die Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen) ist daher erforderlich. Die Filter-Abstimmung ist für einen Mittelsand (SE) vorzunehmen. Die für dieses Material gültige Kornverteilungskurve als Zusammenfassung der entsprechenden Siebanalysen findet sich in untenstehender Abbildung 3.



**Abbildung 3: typische Kornverteilungskurven für enggestufte Flusssande (Schicht 2)**

Baugrubenböschungen können oberhalb des Grundwasserspiegels (s. Baugrundschnitt, Anlage 3.2) im Winkel von 45° hergestellt werden. Da die geplante Sohlgleite stets nur knapp oberhalb des GW-Spiegels zum Erkundungszeitpunkt liegen wird, muss für die Herstellung der Arbeitsebene eine leichte GW-Absenkung mittels Spülfiltern oder ein temporärer Verbau (z.B. Fangedamm oder BigBags) zur Böschungssicherung errichtet werden.

Am östlichen Ufer des Umfluters / der Sohlgleite soll gemäß Vorplanung eine Spundwand eingebracht werden, die vom Wehr 17.33a ausgehend auf ca. 25 m Länge in Richtung der Bohrung BS 6 reicht. Die Baugrundverhältnisse im Bereich der Spundwand sind im Baugrundschnitt (Anlage 3.2) dargestellt. Um eine möglichst wirksame Abdichtung des Umfluters gegen das tiefer gelegene Ruhlander Schwarzwasser zu erreichen, sollte die Spundwand bis zur Höhenkote 104,5 m ü.NHN reichen. Bis zu dieser Tiefe konnte in den Bohrungen BS 4 und BS 6 eine bindige Schicht nachgewiesen werden (Schicht 3 / Schicht 4), die allerdings in BS 5 nicht vorhanden war. Der Baugrund ist bis zur Tiefe von 106,0 m ü.NHN leicht rammbär, bis 104,5 m ü.NHN mittelschwer rammbär.

### 8.3 Teichzuleiter

Mit den Bohrungen BS 10 und BS 11 wurde die geplante Sohle des Teichzuleiters zwar nicht erreicht, jedoch ist davon auszugehen, dass bis mindestens 3,50 m u. GOK noch enggestufte Sande der Schicht 2 anstehen. Dazu können die Ergebnisse der am gegenüberliegenden Ufer abgeteuften Bohrungen BS 6 und BS 7 herangezogen werden (s. Baugrundschnitt Anlage 3.2).

Die Böschung des als offener Graben geplanten Teichzuleiters kann mit einer Neigung von 45° hergestellt werden. Bei stärkerer Strömung sollte dieser Graben jedoch einen geeigneten Erosionsschutz (z.B. Wasserbausteine) erhalten.

## 9 Chemische Untersuchungen

### 9.1 Sedimentuntersuchung nach LAGA

Aus dem Ruhlander Schwarzwasser, dem Umfluter und dem Teich wurden 4 Sediment-Mischproben entnommen und im Labor EUROFINS Umwelt Ost GmbH, 09633 Halsbrücke untersucht.

- Mischprobe MP 1a: Umfluter oberhalb Wehr 17.33, Ruhlander Schwarzwasser oberhalb Wehr 17.33a  
Sedimentstärke: 70...100 cm
- Mischprobe MP 1b: Umfluter unterhalb Wehr 17.33  
Sedimentstärke: 5...10 cm
- Mischprobe MP 2a: geplant oberhalb des Ablaufes der Fischzuchtanlage, Sohle war mit Wasserbausteinen befestigt, daher keine Sedimentprobe möglich
- Mischprobe MP 2b: Ruhlander Schwarzwasser unterhalb des Ablaufes Fischzuchtanlage  
Sedimentstärke: 5...10 cm
- Mischprobe MP 3: Teich, Sedimentstärke ca. 10 cm

Tabelle 10. Untersuchung nach LAGA TR Boden

Parameter (Feststoff)	Einheit	Zuordnungswerte LAGA TR-Boden			Analyseergebnisse			
		Z0	Z1	Z2	MP 1a Umfluter	MP 1b Umfluter	MP 2b Ruhl. Wasser	MP 3 Teich
Trockenmasse	Ma-%				34,6	71,1	67,4	61,6
TOC	Ma-% TS	0,5 (1,0) <sup>5)</sup>	1,5	5	<b>15,2</b>	0,7	<b>1,9</b>	<b>2,6</b>
EOX	mg/kg TS	1	3 <sup>6)</sup>	10	< 1	< 1	< 1	< 1
Kohlenwasserst. (C10-C40)	mg/kg TS	100	300 (600) <sup>7)</sup>	1000 (2000) <sup>7)</sup>	<b>205</b>	< 40	< 40	< 40
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,3	0,9	3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
S PAK	mg/kg TS	3	3 (9) <sup>10)</sup>	30	0,57	n.b.	n.b.	n.b.
Arsen	mg/kg TS	10	45	150	<b>16</b>	1,8	3,9	5,4
Blei	mg/kg TS	40	210	700	26	5	6	16
Cadmium	mg/kg TS	0,4	3	10	<b>1,3</b>	0,3	0,4	<b>0,7</b>
Chrom	mg/kg TS	30	180	600	16	3	5	11
Kupfer	mg/kg TS	20	120	400	17	3	3	11
Nickel	mg/kg TS	15	150	500	<b>30</b>	5	8	15
Quecksilber	mg/kg TS	0,1	1,5	5	<b>0,15</b>	< 0,07	< 0,07	< 0,07
Zink	mg/kg TS	60	450	1500	<b>190</b>	44	<b>65</b>	<b>87</b>

Parameter (Eluat)		Z0	Z1.1	Z1.2	Z2	MP 1a Umfluter	MP 1b Umfluter	MP 2b Ruhl. Wasser	MP 3 Teich
pH-Wert	ohne	6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12	6,7	5,3	<b>4,8</b>	<b>4,6</b>
el. Leitfähigkeit	µS/cm	250	250	1500	2000	166	190	<b>268</b>	<b>338</b>
Arsen	µg/l	14	14	20	60	2	< 1	3	< 1
Blei	µg/l	40	40	80	200	< 1	< 1	< 1	< 1
Cadmium	µg/l	1,5	1,5	3	6	< 0,3	< 0,3	0,5	< 0,3
Chrom (ges.)	µg/l	12,5	12,5	25	60	< 1	< 1	< 1	< 1
Kupfer	µg/l	20	20	60	100	< 5	< 5	< 5	< 5
Nickel	µg/l	15	15	20	70	3	<b>26</b>	<b>39</b>	<b>24</b>
Quecksilber	µg/l	< 0,5	< 0,5	1	2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Zink	µg/l	150	150	200	600	< 10	80	<b>400</b>	10
<b>Bewertung:</b>						<b>(&gt; Z2 *)</b>	<b>Z2</b>	<b>Z2</b>	<b>Z2</b>

\*) Die Probe MP 1a weist einen sehr TOC-Gehalt auf, der auf den hohen Anteil an verrottetem Laub zurückzuführen ist. Dafür spricht auch die sehr geringe Trockenmasse von 34,6 %. Da diese Probe ansonsten keine Werte oberhalb Z1 aufweist, wird empfohlen, das Material zur geplanten Teilverfüllung des Teiches mit zu verwenden. Der erhöhte TOC-Gehalt kann bei dieser Anwendung nicht zu Schäden durch Gasbildung führen, die u.a. ein Grund für die Einschränkungen bei der Verwertung nach LAGA bzw. der Entsorgung nach DepV (Deponieverordnung) sind. Hierfür ist eine Ausnahmegenehmigung beim zuständigen Landratsamt zu erwirken. Die Verwendung in einer „bodenähnlichen Anwendung“ nach BBodSchV wurde im nachfolgenden Kapitel 9.2 geprüft, ist jedoch aufgrund erhöhter Gehalte an Quecksilber, Nickel und Zink nicht zulässig (s. Tabelle 11).

Die Mischproben MP 1b, MP 2b und MP 3 weisen erhöhte Nickelgehalte im Eluat auf. Dies führt zur Einstufung in den Zuordnungswert Z2. Das Material kann nur unter definierten technischen Sicherungsmaßnahmen in der Einbauklasse 2 verwertet werden.

Die Laborprotokolle sind in Anlage 8.1 enthalten. Für alle Sedimente gilt die Abfallschüsselnummer 170504.

## 9.2 Untersuchung Oberboden

Für die Verwertung von Böden nach BBodSchV (Bundesbodenschutzverordnung) gelten die Vorsorgewerte des Anhanges 2, Tabelle 4.1 und 4.2. Der vorhandene Oberboden ist in die Bodenart ‚Sand‘ einzustufen (Analysenprotokolle s. Anlage 8.3).

**Tabelle 11. Untersuchung Oberboden nach BBodSchV**

Vorsorgewerte			Analysenwerte	
Parameter	Einheit		Mischprobe Oberboden	MP 1a Umfluter
pH-Wert	mg/kg TS	/	4,9	6,7
Humusgehalt	mg/kg TS	/	4,4	/
Cadmium	mg/kg TS	0,4	< 0,2	<b>1,3</b>
Blei	mg/kg TS	40	11	26
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	30	7	16
Kupfer	mg/kg TS	20	4	17
Quecksilber	mg/kg TS	0,1	< 0,07	<b>0,15</b>
Nickel	mg/kg TS	15	3	<b>30</b>
Zink	mg/kg TS	60	29	<b>190</b>
Summe PAK	mg/kg TS	Humus <8%: 3 Humus > 8%: 10	0,06	0,57
Summe PCB <sub>6</sub>	mg/kg TS	Humus <8%: 0,05 Humus > 8%: 0,1	n.b.	/
			für bodenähnliche Anwendungen geeignet	für bodenähnliche Anwendungen <b>nicht</b> geeignet

*n.b.: aus Einzelwerten aufgrund Unterschreitung der Bestimmungsgrenze nicht berechenbar*

### 9.3 Betonaggressivität des Wassers

Die Bestimmung der Betonaggressivität des Grundwassers nach DIN 4030 erfolgte an einer aus dem Ruhlander Schwarzwasser entnommenen Wasserprobe (s. Anlage 8.2). Die Wasserprobenahme aus dem Bohrloch war nicht möglich, da die Bohrungen infolge der locker gelagerten Sande stets im Niveau des Grundwassers zufließen. Die chemischen Untersuchungen erfolgten im Labor EUROFINS Umwelt Ost GmbH in 09633 Halsbrücke.

**Tabelle 12. Betonaggressivität des Grundwassers**

Parameter	Prüfergebnis	Grenzwerte nach DIN 4030		
	WP 1 (Ruhlander Schwarzwasser)	schwach	stark	sehr stark
pH-Wert	7,1	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> ) [mg/l]	7,9	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) [mg/l]	< 10	15-30	30 - 60	> 60
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) [mg/l]	83	200-600	600 - 3000	> 3000
CO <sub>2</sub> (kalklösend) [mg/l]	6	15-40	40 - 100	> 100

Für erdberührte Gründungsteile gilt die Expositionsklasse (XA0) gemäß DIN-FB 100 "Beton".

### 9.4 Stahlaggressivität des Wassers

Die Stahlaggressivität des Wassers wurde ebenfalls an einer Wasserprobe aus dem Ruhlander Schwarzwasser bestimmt.

Nr.	Merkmal	Ergebnis	Einheit	Bewertungsziffern für	
				Eisen unlegiert	Stahl verzinkt
1	Wasserart			<b>N1</b>	<b>M1</b>
	fließende Gewässer	fließende Gewässer		0	-2
	stehende Gewässer			-1	1
	Küste von Binnenseen			-3	-3
	anaerob. Moor, Meeresküste			-5	-5
2	Lage des Objektes			<b>N2</b>	<b>M2</b>
	Unterwasserbereich			0	0
	Wasser/Luft-Bereich			1	-6
	Spritzwasserbereich			0,3	-2
3	Neutralsalze c (Cl <sup>-</sup> ) + 2c (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		mol/m <sup>3</sup>	<b>N3</b>	<b>M3</b>
	<1	2,40		0	0
	>1 bis 5			-2	0
	>5 bis 25			-4	-1
	>25 bis 100			-6	-2
	>100 bis 300			-7	-3
	>300			-8	-4

4	Säurekapazität bis pH 4,3 (Alkalität $K_{S\ 4,3}$ )		mol/m <sup>3</sup>	<b>N4</b>		<b>M4</b>	
	<1	1,10		1	2	-1	1
	1 bis 2			2		1	
	>2 bis 4			3		1	
	>4 bis 6			4		0	
	>6			5		-1	
5	Calcium c (Ca <sup>2+</sup> )		mol/m <sup>3</sup>	<b>N5</b>		<b>M5</b>	
	<0,5	1,10		-1	0	0	2
	0,5 bis 2			0		2	
	2 bis 8			1		3	
	>8			2		4	
6	pH-Wert			<b>N6</b>		<b>M6</b>	
	<5,5	7,10		-3	0	-6	1
	5,5 bis 6,5			-2		-4	
	>6,5 bis 7,0			-1		-1	
	>7,0 bis 7,5			0		1	
	>7,5			1		1	
7	Objekt/Wasser Potential $U_H$ (zur Feststellung der Fremdkathoden)		V	<b>N7</b>			
	>2 bis -0,1			-2			
	>-0,1 bis 0,0			-5			
	>0,0			-8			

a) **unlegierter Stahl**

Unterwasserbereich	$W_0 = N_1 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 +$ $N_3/N_4 =$	-1,0
Wasser/Luft-Grenze	$W_1 = W_0 - N_1 + N_2 \times$ $N_3$	= -3,0
Spritzwasserbereich	$W_1 = W_0 - N_1 + N_2 \times$ $N_3$	= -1,6

DIN 50929 T3, Tab. 7. Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in Wasser

$W_0$ - bzw. $W_1$ -Werte	Mulden- u. Lochkorrosion	Flächenkorrosion
> 0	sehr gering	sehr gering
-1 bis -4	gering	sehr gering
< -4 bis -8	mittel	gering
< -8	hoch	mittel

Die Stahlaggressivität des Wassers gegenüber unlegiertem Stahl bei Mulden- und Lochkorrosion als „gering“ bei Flächenkorrosion als „sehr gering“ einzustufen.

b) **verzinkter Stahl**

Unterwasserbereich	$W_D = M_1 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 =$	2,0
Wasser/Luft-Grenze	$W_L = W_D + M_2 =$	-4,0
Spritzwasserbereich	$W_L = W_D + M_2 =$	0,0

*DIN 50929 T3, Tab. 5. Beurteilung der Güte von Deckschichten auf feuerverzinkten Stählen*

$W_D$ - bzw. $W_L$ -Werte	Güte der Deckschichten
> 0	sehr gut
-1 bis -4	gut
-5 bis -8	befriedigend
< -8	nicht ausreichend

Die Güte der Deckschichten, die sich bei verzinktem Stahl ausbilden, kann als „gut“ bis „sehr gut“ eingeschätzt werden.

## 10. Abschließende Hinweise

Die Feldarbeiten und die Erarbeitung des vorliegenden Baugrundgutachtens erfolgten auf der Grundlage der Vorplanung. Sollten sich im weiteren Planungsfortschritt Änderungen gegenüber den zugrundeliegenden Annahmen ergeben, sind die Aussagen des Gutachtens auf ihre Gültigkeit zu überprüfen.

Das Baugrundgutachten ist nur in seiner Gesamtheit gültig.