

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

Teil II:
Geohydraulische Berechnungen /
Stand sicherheitsnachweise

Projekt-Nr.: 190-10-14

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

Auftraggeber: eta h AG - Ingenieurbüro Bautzen
Thomas-Mann-Straße 2
02625 Bautzen
Telefon: 03591 / 6773-0
Fax: 03591 / 6773-29

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

Bautzen, 20.10.2015



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



IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH

02625 Bautzen
Purschwitzer Str. 13
Tel.: 03591 / 6771-30
Fax: 03591 / 6771-40

01833 Stolpen
Bischofswerdaer Str. 14a
Tel.: 035973/296-21
Fax: 035973/296-26

09599 Freiberg
Halsbrücker Str. 31a
Tel.: 03731 / 685-42
Fax: 03731 / 685-44

Handelsregister Dresden
HRB 10480

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Stefan Thiem
Dipl.-Ing. Arnd Böhmer

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zielstellung und Untersuchungsumfang	5
2. Verwendete Unterlagen.....	5
3. Geohydraulische Verhältnisse am Bauwerk.....	6
3.1 Allgemeine Angaben zum Bauwerk	6
3.2 Untergrundverhältnisse.....	7
4. Nachweisführung	9
5. Hydraulische Modelle.....	9
5.1 vertikal-ebenes Modell (längs zur Flussachse)	10
5.1.1 Mächtigkeit des Grundwasserleiters.....	10
5.1.2 Durchlässigkeiten.....	11
5.2 Vertikal-ebenes Modell im Endzustand (längs zur Flussachse).....	11
5.2.1 Mächtigkeit des Grundwasserleiters.....	11
5.2.2 Durchlässigkeiten.....	11
5.3 Horizontal-ebenes Modell und vertikal-ebenes Modelle	12
5.3.1 Mächtigkeit des Grundwasserleiters.....	12
5.3.2 Durchlässigkeiten.....	13
5.3.3 Festpotentiale	13
5.4 vertikal-ebenes Modell Dichtwand	14
5.4 Vereinfachungen der Modelle	15
6. Ergebnisse hydraulische Modellierung	16
6.1 Auftriebsnachweis.....	16
6.2 Sohlwasserdruckverteilung	17
6.3 Wasserstände in den Böschungen	19
6.3.1 Böschung zwischen Sohlgleite und Tosbecken.....	19
6.3.2 Böschung unterhalb des Kranstandortes.....	20
7. Erosions- und Suffosionssicherheit	21
8. Standsicherheitsnachweis Böschungen	23
8.1 Böschung am Kranstandort	23
8.1.1 Örtliche Verhältnisse	23
8.1.2 Eingangswerte	23
8.1.3 Bemessungssituationen	24
8.1.4 Einwirkungen	25
8.1.5 Lage der Sickerlinie.....	25
8.1.6 Ergebnisse.....	26

8.2	Standsicherheitsnachweis Dichtwand-Böschung	26
8.2.1	Örtliche Verhältnisse	26
8.2.2	Eingangswerte	26
8.2.3	Bemessungssituationen	27
8.2.4	Einwirkungen	28
8.2.5	Lage der Sickerlinie.....	28
8.2.6	Ergebnisse.....	28
9.	Abschließende Hinweise.....	29

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1. Normalprofil Wehr 17.33a	8
Tabelle 2. Bodenmechanische Kennwerte	8
Tabelle 3. vertikal-ebenes Modell - Berechnungsergebnisse (BS-P)	18
Tabelle 4. Maßgebendes Kennwertprofil Kranstandort	24
Tabelle 5. Bemessungssituationen Teilsicherheitsbeiwerte (EC 7-1).....	24
Tabelle 6. Ergebnisse globale Standsicherheit.....	26
Tabelle 7. Maßgebendes Kennwertprofil Dichtwand.....	27
Tabelle 8. Bemessungssituationen Teilsicherheitsbeiwerte (EC 7-1).....	27
Tabelle 9. Ergebnisse globale Standsicherheit.....	28

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: obere Begrenzung des Grundwasserleiters (rot: Spundwände)	13
Abbildung 2: Lage des Profilschnittes für vertikal-ebenes Modell (Dichtwand).....	14
Abbildung 3: vertikal-ebenes Modell in Gewässerachse	16
Abbildung 4: Potential in der Böschung zwischen Sohlgleite und Tosbecken.....	19
Abbildung 5: Potential in der Böschung zwischen Teich und Tosbecken.....	21
Abbildung 6: Kornverteilungskurve von 4 Bodenproben der Schicht 2.....	22

Anlagenverzeichnis

Nr.	Bezeichnung	Blattzahl
Anlage 1	Planungsunterlagen	2
	- Blatt 1: Lage- und Höhenplan	
	- Blatt 2: Längsschnitt Wehr	
Anlage 2	Auftriebsnachweis Baugrube (vertikal-Ebenes Modell)	3
	- Blatt 1: Netzknoten mit Baugrundschichten	
	- Blatt 2: Potentialverteilung (Bemessungssituation BS-T)	
	- Blatt 3: Auftriebsnachweis (Bemessungssituation BS-T)	
Anlage 3	Sohlwasserdruckverteilung Wehr (Vertikal-ebenes Modell)	
Anlage 3.1	Kombination 1 (Bemessungssituation: BS-P)	2
	- Blatt 1: Potentialverteilung	
	- Blatt 2: Sohlwasserdruckkräfte	
Anlage 3.2	Kombination 2 (Bemessungssituation: BS-T)	2
	- Blatt 1: Potentialverteilung	
	- Blatt 2: Sohlwasserdruckkräfte	
Anlage 4	Standsicherheitsnachweise	
Anlage 4.1	Horizontal-ebenes Modell (Bemessungssituation: BS-T)	2
	- Blatt 1: Netzknoten mit Lage des Bauwerkes	
	- Blatt 2: Potentialverteilung	
Anlage 4.2	Dichtwand (vertikal-Ebenes Modell)	4
	- Blatt 1: Lage der Sickerlinie (Bemessungssituation BS-P)	
	- Blatt 2: Hydraulischer Gradient (BS-P)	
	- Blatt 3: Lage der Sickerlinie (Bemessungssituation BS-T)	
	- Blatt 4: hydraulischer Gradient (BS-T)	
Anlage 4.3	Kranstandort (Standsicherheitsnachweis)	
Anlage 4.3.1	Böschung Kranstandort \Rightarrow Fluss (Bemessungssituation BS-P)	3
Anlage 4.3.2	Böschung Kranstandort \Rightarrow Fluss (Bemessungssituation BS-T1)	3
Anlage 4.3.3	Böschung Kranstandort \Rightarrow Fluss (Bemessungssituation BS-T2)	3
Anlage 4.4	Standsicherheitsnachweis Dichtwandböschung	
Anlage 4.4.1	Böschung Sohlgleite \Rightarrow Fluss (Bemessungssituation BS-P)	3
Anlage 4.4.2	Böschung Sohlgleite \Rightarrow Fluss (Bemessungssituation BS-T)	3
Anlage 4.5	Suffossionsnachweis	1

1. Zielstellung und Untersuchungsumfang

Im Zuge der Planungen zur Schaffung der ökologischen Durchgängigkeit an den Wehren 17.33 und 17.33a in 01945 Hermsdorf-Jannowitz wurde das IFG Ingenieurbüro für Geotechnik Bautzen mit einer Baugrunduntersuchung des Standortes beauftragt. Diese erfolgte im November/Dezember 2014. Das Gutachten zur Baugrunduntersuchung wurde am 02.02.2015 fertiggestellt. Auftraggeber und Planungsbüro ist die eta h AG, Ingenieurbüro Bautzen. Auf der Grundlage dieser Baugrunduntersuchung wurde eine Planungsunterlage durch das Ingenieurbüro Bautzen der **eta** AG erarbeitet (/U5/, /U6/).

Im Zuge des Planungsfortschrittes ist, aufbauend auf dem Teil I: Baugrunduntersuchung /U1/, eine geohydraulische Modellierung zur Ermittlung der Sohlenwasserdrücke und eine Standsicherheitsberechnung der Erdbauwerke zu erarbeiten.

Der vorliegende Bericht enthält folgende Berechnungen und Nachweise:

- Auftriebssicherheit der Baugrube im Bauzustand (vertikal-ebenes Strömungsmodell)
- Sohlwasserdruckes unter dem Wehr im Endzustand (vertikal-ebenes Strömungsmodell)
- Berechnung der Potentialverteilung Im Wehrumfeld und den Böschungen (horizontal-ebenes und vertikal-ebenes Strömungsmodell)
- Nachweis der Böschungsstandsicherheit an der Dichtwand und am Kranstandort
- Nachweis der Suffosionssicherheit.

2. Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden für die Berechnungen 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.
- /U5/ Lageplan Entwurfsplanung, eta h AG, Büro Bautzen, 15.09.2015.
- /U6/ Längs- und Querprofile Sohlgleite, eta h AG, Büro Bautzen, 16.09.2015.
- /U7/ Wehrumrisse, Bauwerkschnitte, eta h AG, Büro Bautzen, 21.08.2015.
- /U8/ Geotechnischer Bericht Wehr 17.33 und 17.33a, IFG Ingenieurbüro für Geotechnik (190-10-14), 02.02.2015.

Literatur:

- /U9/ Lithofazieskarte der quartären Bildungen, Blatt 2568 (Großenhain), Zentrales Geologisches Institut, Berlin, 1985.
- /U10/ EAU, Empfehlung des Arbeitskreises Ufereinfassungen, 10. Auflage, Ernst & Sohn, 2005.
- /U11/ Geologische Spezialkarte des Königreiches Sachsen, Blatt 4648 (Section Schönfeld-Ortrand), Leipzig, 1886.
- /U12/ Geologie von Sachsen, Kurt Pietzsch, Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1962.
- /U13/ DIN 4020:2003, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke.
- /U14/ DIN 19702:2010, Massivbauwerke im Wasserbau.
- /U15/ Topographische Karte, M 1:10.000, Blatt 4648 (Ortrand), Landesvermessungsamt Sachsen, 2010.
- /U16/ Grundbautaschenbuch, 6. Auflage, Ernst & Sohn, 2001.
- /U17/ Raithel/Kempfert: Geotechnik nach EUROCODE, 3. Auflage, Beuth-Verlag, 2012.
- /U18/ Bundesanstalt für Wasserbau: MSD Merkblatt für die Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen, 2011
- /U19/ Bundesanstalt für Wasserbau: MMB Merkblatt für Materialbewegungen im Boden, 2013.
- /U20/ HERTH, ARENDTS: Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung, 3. Auflage, Ernst&Sohn, 1994.

3. Geohydraulische Verhältnisse am Bauwerk

3.1 Allgemeine Angaben zum Bauwerk

Wehrbauwerk;

Länge des Wehres einschl. Tosbecken:	12,90 m	
Breite des Wehres einschl. Wehrwangen:	8,22 m	
Wasserstand Oberwasser:	HQ 100	= 109,65 m NHN
	Stauziel	= 109,60 m NHN
Wasserstand Unterwasser:	HQ 100	= 108,03 m NHN
	MW	= 107,15 m NHN
Sohle des Tosbeckens:	105,55 m NHN	
Dicke der Tosbeckensohle:	0,80 m	
Flusssohle Oberwasserseite:	108,40 m NHN	
Flusssohle Unterwasserseite:	107,00 m NHN	

Sohlgleite:

Länge der Sohlgleite:	100,80 m
Anzahl der Querriegel:	25
Flusssohle Oberwasserseite:	110,35 m NHN
Flusssohle Unterwasserseite:	107,20 m NHN

Die geometrischen Angaben wurden den Unterlagen des Planungsbüros /U6/, /U7/ entnommen. Im Ergebnis der Baugrunduntersuchung /U8/ kann das Wehr ohne schädliche Setzungen im Niveau 105,55 m NHN auf einer Beton-Sauberkeitsschicht innerhalb mitteldicht gelagerter Feinsande (Schicht 3) bzw. in einem halbfesten Ton (Schicht 4) gegründet werden, die im Umfeld des gesamten Wehres angetroffen wurden.

Nach dem derzeitigen Planungsstand soll das Wehr auf einer Unterwasserbeton-Sohle gegründet werden, um die Aufwendungen für die bauzeitliche Wasserhaltung zu reduzieren. Daher ist im Rahmen des vorliegenden Gutachtens die Stärke des Unterwasserbetons festzulegen und ein Auftriebsnachweis zu führen.

Die Baugrube erhält eine bauzeitliche wasserdichte Umschließung (Spundwand), deren Fußpunkt ebenfalls im Zusammenhang mit dem Auftriebsnachweis festzulegen ist. Die Spundwände sollen nach Abschluss der Baumaßnahme im Baugrund verbleiben.

Zwischen Sohlgleite und Wehr wird eine Spundwand als Dichtwand eingebaut, um die Durchsickerung der Böschung von der höher gelegenen Sohlgleite zum tiefer liegenden Unterwasserbereich des Wehres verringern. Die örtlichen Verhältnisse gehen aus dem Lageplan des Bauwerkes (Anlage 1) hervor.

3.2 Untergrundverhältnisse

Die ausführliche Beschreibung der Baugrund- und Untergrundverhältnisse erfolgt in der Baugrunduntersuchung /U8/. Für die Modellierung der Strömungsverhältnisse sowie die Standsicherheitsberechnung wird nachfolgend eine zusammenfassende Beschreibung der Baugrundverhältnisse gegeben.

Am **Wehrstandort** stehen unterhalb locker gelagerter Sande (Schicht 2: SE - Mittelsand) zunächst Grobschluffe bis Feinsande (Schicht 3) in mitteldichter Lagerung an. Im Liegenden wurden halbfeste, ausgeprägt plastische Tone (Schicht 4) angetroffen, deren Schichtunterkante im Bereich des Wehres in nordöstlicher Richtung um ca. 1 m einfällt. Die Tone reichen bis 103...101 m NHN. Unterhalb der Tone stehen eiszeitliche Fein- und Mittelsande in mitteldichter Lagerung an (Schicht 5a / Schicht 5b).

Die Baugrundbohrungen reichen bis 10 m Tiefe, schwere Rammsondierungen wurden bis 15 m Tiefe ausgeführt.

Im Bereich der **Sohlgleite** wurden ähnliche Verhältnisse angetroffen, wobei hier jedoch die bindige Schicht 3 (Grobschluff/Feinsand) und Schicht 4 (Ton) nicht durchgängig vorhanden sind. Die Bohrungen erreichten eine Tiefe zwischen 3...8 Metern.

Grundwasser wurde stets im Niveau der Vorfluter angetroffen.

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

Tabelle 1. 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 ü.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.

Tabelle 2. Bodenmechanische Kennwerte

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

Legende:

cal. g cal. Bodenwichte, erdfeucht [kN/m³]
 cal. g' cal. Bodenwichte unter Auftrieb [kN/m³]
 E_s cal. Steifemodul [MN/m²]

cal. c' cal. Kohäsion [kN/m²]
 cal f' cal. Reibungswinkel [°]
 cal. k_f cal. Durchlässigkeit [m/s]

4. Nachweisführung

Die Durchführung von Standsicherheitsberechnungen und hydraulischen Nachweisen erfolgt in den folgenden Schritten:

- a) Erarbeitung eines vertikal-ebenen Modells längs zur Flussachse zur Bemessung der Spundwandlänge, der Stärke des Unterwasserbetons und Nachweis der Auftriebssicherheit – Anlage 2.

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die übrigen Modelle, aus denen sich Wasserdrücke unterhalb des Wehres für den Bau- und Endzustand ableiten lassen. Die nachfolgenden Modelle dienen der Ermittlung von Eingangsgrößen für die weiteren Nachweise (Standsicherheitsberechnungen für Böschungen, Nachweis der Suffosionssicherheit).

- b) vertikal-ebenes Modell längs zur Flussachse, Berechnung des Sohlwasserdruckes im Endzustand (Anlage 3). Dem Tragwerksplaner liefern diese Werte die Grundlage zum Nachweis der Kipp- und Gleitsicherheit des Bauwerkes.
- c) horizontal-ebenes Strömungsmodell, Berechnung der Potentialverteilung im Wehrumfeld und für die Böschungen an der Dichtwand bzw. am Kranstandort – Anlage 4.1.
- d) vertikal-ebenes Strömungsmodell, Berechnung der Potentialverteilung an der Dichtwand (Anlage 4.2), Eingangsgröße für die Ermittlung der Böschungsstandsicherheit an der Dichtwand (Anlage 4.4) und Nachweis der Suffosionssicherheit (Anlage 4.5).
- e) Standsicherheitsnachweis Kranstandort (Anlage 4.3) auf der Grundlage des horizontal-ebenen Strömungsmodells (Anlage 4.1).

Die Ergebnisse aus Punkt c) bis e) gehen in die Nachweise der Böschungsstandsicherheit und die sonstigen geotechnischen Nachweise ein.

5. Hydraulische Modelle

Für die Simulation der hydraulischen Verhältnisse wurde das Programm *Flow-2D* der GGU-Software GmbH (Vers. 10.08) genutzt. Das Programm arbeitet nach der Finiten-Elemente-Methode.

Damit ist eine näherungsweise gute Anpassung des Modells an Schichtgrenzen oder Bauwerke möglich, da die im Modell verwendete Dreiecksvermaschung eine sehr gute Nachbildung sowohl rechtwinkliger als auch schräger oder gekrümmter Grenzflächen gestattet. Die Berechnung von instationären Grundwasserströmungen ist möglich, jedoch im vorliegenden Anwendungsfall nicht erforderlich.

5.1 vertikal-ebenes Modell (längs zur Flussachse)

Das vertikal-ebene Modell dient der Ermittlung der Einbindetiefe der Spundwand und der Bemessung der Stärke des Unterwasserbetons. Für die ermittelten Parameter erfolgt eine interaktive Anpassung bis zum Nachweis der Auftriebssicherheit der Baugrubensohle. Das Modell wurde für den ungünstigsten Wasserstand im Bemessungsfall BS-T erarbeitet.

- Wasserspiegel oberhalb des Wehres: HQ 100 = 109,65 m NHN
- Wasserspiegel unterhalb des Wehres: HQ 100 = 108,03 m NHN

Die Knotenabstände des Simulationsnetzes betragen 1,0 m in den bauwerksferneren Bereichen und 0,25 bis 0,50 m in unmittelbarer Bauwerksnähe. Nach MSD (Merkblatt für die Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen, Ausg. 2011) werden kolmatierte oder abgedichtete Flusssohlen bei Standsicherheitsnachweisen nicht berücksichtigt.

5.1.1 Mächtigkeit des Grundwasserleiters

a) Grundwasserleiter am Wehr

Im unmittelbaren Wehrumfeld wird die erkundete Schichtunterkante der Tone (Schicht 4) als obere Grenze des Grundwasserleiters vorgegeben. Diese Schicht konnte in allen Bohrungen im Umfeld des Wehres nachgewiesen werden.

b) Grundwasserleiter in der Umgebung des Wehres

Im Umfeld des Wehres wird als OK Grundwasserleiter (OK GWL) die Gewässersohle des Ruhlander Schwarzwassers (108,4 m NHN bzw. 107,0 m NHN) festgelegt. Die Unterkante des Grundwasserleiters wird bei 90,0 m NHN festgelegt.

Damit ergibt sich folgende Mächtigkeit des Grundwasserleiters:

- oberhalb Wehr: $OK_{GWL} - UK_{GWL} = 108,4 \text{ m} - 90,0 \text{ m} = 18,4 \text{ m}$
- unterhalb Wehr: $OK_{GWL} - UK_{GWL} = 107,0 \text{ m} - 90,0 \text{ m} = 17,0 \text{ m}$

Die tatsächliche vertikale Ausdehnung des Grundwasserleiters ist nach Angaben der geologischen Karte deutlich höher als die im Modell verwendete Mächtigkeit. Eine Berücksichtigung der tatsächlichen Grundwasserleiter-Mächtigkeit hätte jedoch keine Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse des Modells. Da der Einfluss von Spundwänden auf Wasserhaltungen erst mit der Verringerung des Abstandes zwischen Spundwandfuß und OK Grundwasserstauer auf <10% der durchströmten Gesamtmächtigkeit des Grundwasserleiters deutlich zunimmt ($/U20/$), wird bei der vorliegenden Berechnung die Modellunterkante auf das Niveau 90,0 m NHN begrenzt.

5.1.2 Durchlässigkeiten

Die Kennwerte für Durchlässigkeit und Nutzporosität gehen wie folgt in das Modell ein:

- Schicht 2 (SE – Sand, enggestuft): $k_{f,x} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $k_{f,y} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $n = 0,25$
- Schicht 4 (TA – Ton, ausgeprägt plastisch): $k_{f,x} = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ $k_{f,y} = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ $n = 0,10$
- Schicht 5b (SE – Mittelsand): $k_{f,x} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $k_{f,y} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $n = 0,20$

Der Wert für die horizontale Durchlässigkeit beträgt in den natürlich anstehenden Schichten jeweils das 3-fache der vertikalen Durchlässigkeit. (s.a. DIN 19702: Standsicherheit von Massivbauwerken im Wasserbau). Diese wird nach DIN 19702 über den Verlängerungsfaktor $l = 3$ berücksichtigt. Die Spundwand wird als vollkommen undurchlässig angenommen.

Für die auf der Flusssohle eingebauten Schichten werden folgende Durchlässigkeiten und Nutzporositäten berücksichtigt:

- Wasserbausteine (Sohlbefestigung): $k_f = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ $n = 0,45$
- Filterschicht nach MAK: $k_f = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $n = 0,30$

5.2 Vertikal-ebenes Modell im Endzustand (längs zur Flussachse)

Das vertikal-ebene Modell dient der Darstellung der Strömungsverhältnisse in Gewässerachse und der späteren Ermittlung der Sohlwasserdruckverteilung.

Das Modell wird für folgende Wasserstände erarbeitet:

- Wasserspiegel oberhalb des Wehres: 109,65 m (HQ 100) alle Bemessungssituationen
- Wasserspiegel unterhalb des Wehres: 107,15 m (MW) = Bemessungssituation BS-P
- 108,03 m (HQ 100) = Bemessungssituation BS-T

Für den Wasserspiegel oberhalb des Wehres wird der HQ 100-Wert gewählt, da die Sperrhöhe mit 109,60 m NHN nur wenig vom HQ 100-Wert abweicht. Daraus ergeben sich insgesamt zwei unterschiedliche Wasserstandskombinationen.

5.2.1 Mächtigkeit des Grundwasserleiters

Es gelten die unter Kapitel 5.1.1 abgeleiteten Mächtigkeiten des Grundwasserleiters.

5.2.2 Durchlässigkeiten

Es gelten die unter Kapitel 5.1.2 abgeleiteten Durchlässigkeiten.

5.3 Horizontal-ebenes Modell und vertikal-ebenes Modelle

Das horizontal-ebene Modell dient der Veranschaulichung der Strömungsverhältnisse im weiteren Umfeld der Wehranlage einschließlich der Sohlgleite. Mit diesem Modell können die Wechselwirkungen bei unterschiedlichen Wasserständen in Ober- und Unterwasser sowie an der Sohlgleite dargestellt werden.

Das horizontal-ebene Modell dient auch der Überprüfung der Gültigkeit des vertikal-ebenen Modells an der Dichtwand (Kapitel 5.4), aus dem letztlich die Grundwasserstände für Standsicherheitsnachweise an Böschungen abgeleitet werden.

Das Modell wird für folgende Wasserstände erarbeitet:

- Wasserspiegel oberhalb des Wehres: 109,65 m (HQ 100) alle Bemessungssituationen
- Wasserspiegel unterhalb des Wehres: 107,15 m (MW) = Bemessungssituation BS-P

5.3.1 Mächtigkeit des Grundwasserleiters

Da das horizontal-ebene Modell keine geschichteten Baugrundverhältnisse und somit keine unterschiedlichen vertikalen Durchlässigkeiten berücksichtigen kann, wird bei diesem Modell auf Vereinfachungen zurückgegriffen. Anstelle der gut durchlässigen und filterstabil hergestellten Flusssohle bzw. Sohlgleite wird im Umfeld des Wehres der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert der Schichten 2 und 5b verwendet.

Für das Wehr selbst gilt die Schichtunterkante der Schicht 4 (Ton) als OK Grundwasserleiter. Die Schichtunterkante liegt zwischen 103,0...101,0 m NHN. Die in der Abbildung 1 grün dargestellte Fläche stellt die in den Baugrundbohrungen erkundete Verbreitungsgrenze der Schicht 4 dar.

Spundwände gehen als undurchlässige Hindernisse in das Modell ein, wobei hier die Nachbildung dadurch erfolgt, dass der Spundwandfuß gleichzeitig OK Grundwasserleiter bildet. Die Verhältnisse sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Höhenkote des Spundwandfußes wird zuvor im Zuge des Auftriebsnachweises (Kapitel 6.1) ermittelt.

Als obere Begrenzung des Grundwasserleiters werden folgende Spundwandtiefen berücksichtigt:

- Umschließung Wehrbaugrube: 94,0 m NHN
- Flügelwände oberwasserseitig: 94,0 m NHN
- Dichtwand Sohlgleite: 103,0 m NHN
- Begrenzung Nachlaufstrecke: 103,0 m NHN

Die Unterkante des Grundwasserleiters wird einheitlich bei 90,0 m NHN festgelegt.

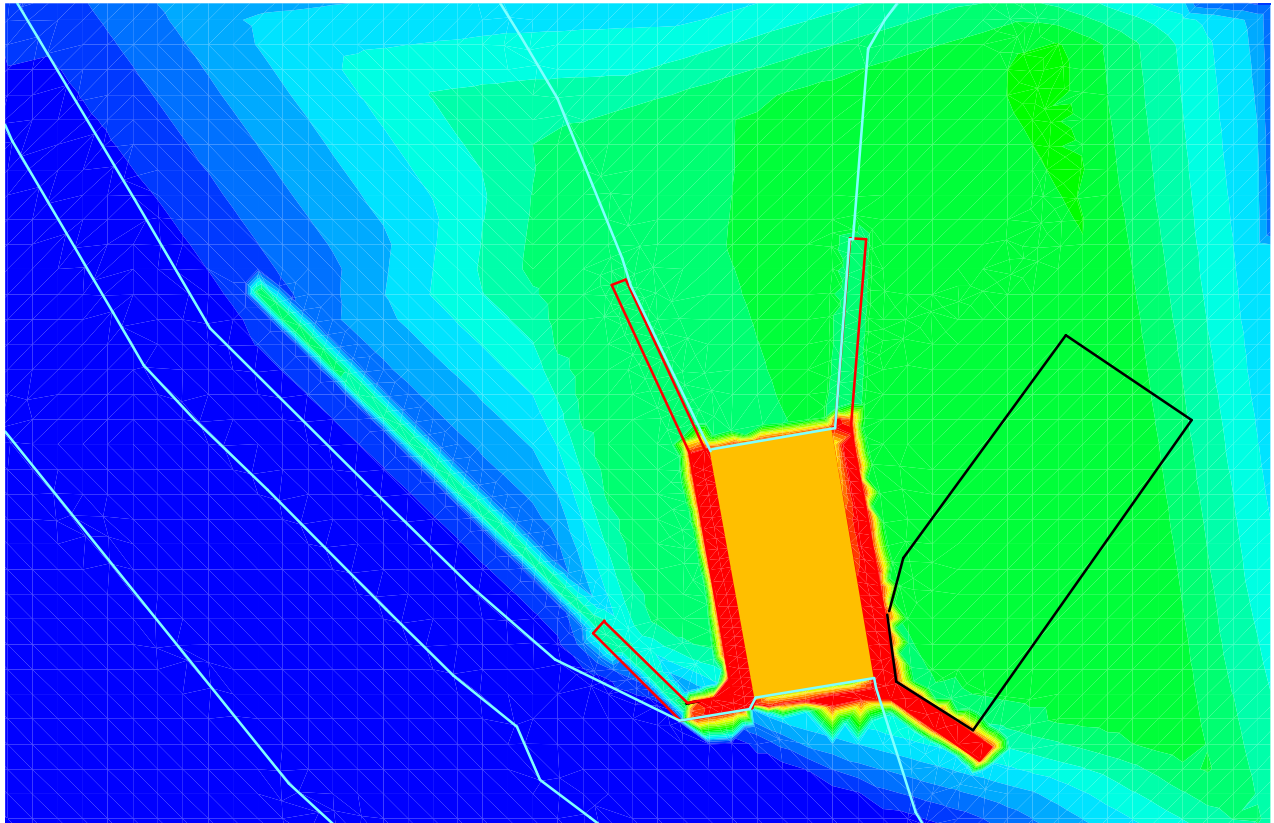


Abbildung 1: obere Begrenzung des Grundwasserleiters (rot: Spundwände)

5.3.2 Durchlässigkeiten

Maßgebend für Durchlässigkeit und Nutzporosität sind die Schichten 2 und 5b, die etwa gleiche Durchlässigkeiten aufweisen. Sie gehen wie folgt in das Modell ein:

- Schicht 2 (SE – Sand, enggestuft): $k_f = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $n = 0,25$
- Schicht 5b (SE – Mittelsand): $k_f = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $n = 0,20$ (maßgebliche Nutzporosität)

5.3.3 Festpotentiale

Festpotentiale bilden Randbedingungen, die durch die Simulationsrechnung nicht verändert werden. Neben dem HQ 100 (Oberwasser) und dem Betriebsstau (Unterwasser) gelten in diesem Modell folgende Randbedingungen:

- Sohlgleite: Wasserstände entsprechend Längsschnitt /U6/
- Teich westlich der Sohlgleite: 109,60 m NHN
- Teich östlich des Wehres: 188,80 m NHN

5.4 vertikal-ebenes Modell Dichtwand

Das vertikal-ebene Modell verläuft etwa senkrecht zur Flussachse, um die Unterströmung der Spundwand nachbilden zu können (s. Abbildung 2). Die Erhöhung der Standsicherheit wird vorwiegend durch ihre Funktion als Dichtwand zwischen dem hohen Wasserspiegel in der Sohlgleite und der wesentlich tiefer gelegenen Sohle des Ruhlander Schwarzwassers erreicht.

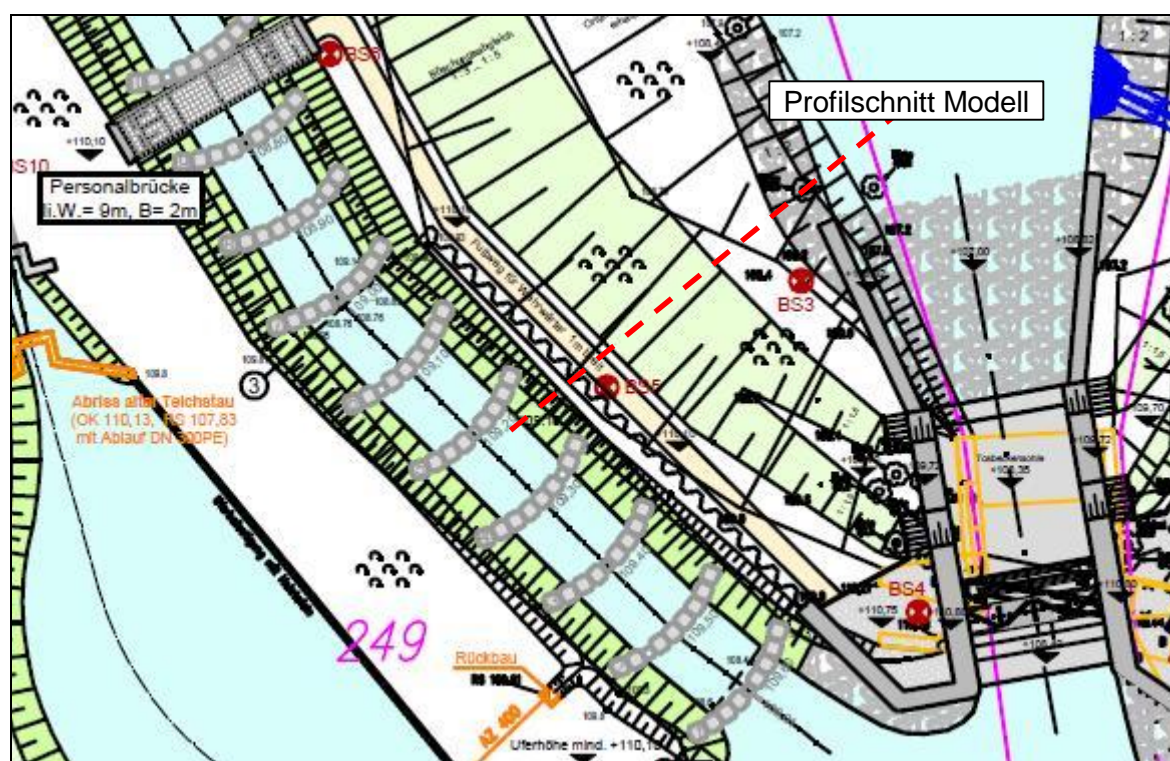


Abbildung 2: Lage des Profilschnittes für vertikal-ebenes Modell (Dichtwand)

Das Modell berücksichtigt hinsichtlich der Durchlässigkeit keine unterschiedlichen Baugrundsichten. Es gilt der unter Kapitel 5.3.2 abgeleitete Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 3,0 \cdot 10^{-4}$ m/s.

5.4 Vereinfachungen der Modelle

Die o.g. Modelle besitzen folgende Vereinfachungen:

a) vertikal-ebenes Modell am Wehr:

- Das gesamte Wehr wird als monolithischer Körper erfasst. Füllbeton und Wehrkörper werden nicht getrennt betrachtet.
- Die Schicht 4 (Ton) wird nur im unmittelbaren Umfeld des Wehres berücksichtigt.
- Eine mögliche Kolmation der Gewässersohle wird nicht betrachtet.
- Unterkante Grundwasserleiter ist nicht exakt bekannt und wird mit 90,0 m NHN angenommen.

b) horizontal-ebenes Modell:

- Die Verbreitung der Schicht 4 ist nicht exakt bekannt und wird anhand der Bohrerergebnisse (Bohrungen BS 1 bis BS 5) geschätzt.
- Schichtungen können nicht berücksichtigt werden. Da jedoch Schicht 2 und Schicht 5b ähnliche Eigenschaften aufweisen, ist diese Vereinfachung zulässig. Die undurchlässige Schicht 4 (Ton) wird über die Modellierung der OK Grundwasserleiter berücksichtigt.
- Die Stärke der Spundwände kann nicht mit einer Genauigkeit im Zentimeterbereich dargestellt werden.
- Unterkante Grundwasserleiter ist nicht exakt bekannt und wird mit 90,0 m NHN angenommen.

c) vertikal-ebenes Modell Dichtwand

- Das Modell berücksichtigt hinsichtlich der Durchlässigkeit keine unterschiedlichen Baugroundschichten.

Die o.g. Vereinfachungen sind für die Darstellung der allgemeinen Untergrundströmung im Bauwerksbereich ausreichend und liegen überwiegend auf der sicheren Seite bzw. haben keinen Einfluss auf die Rechenergebnisse.

6. Ergebnisse hydraulische Modellierung

6.1 Auftriebsnachweis

Das vertikal ebene Modell umfasst einen Modellbereich von 50 m Länge in Gewässerachse. Die Knotenabstände des Simulationsnetzes betragen ca. 0,50 m (s. Abbildung 3). Das komplette Modell einschließlich der Baugrundsichten ist als Anlage 2, Blatt 1 enthalten.

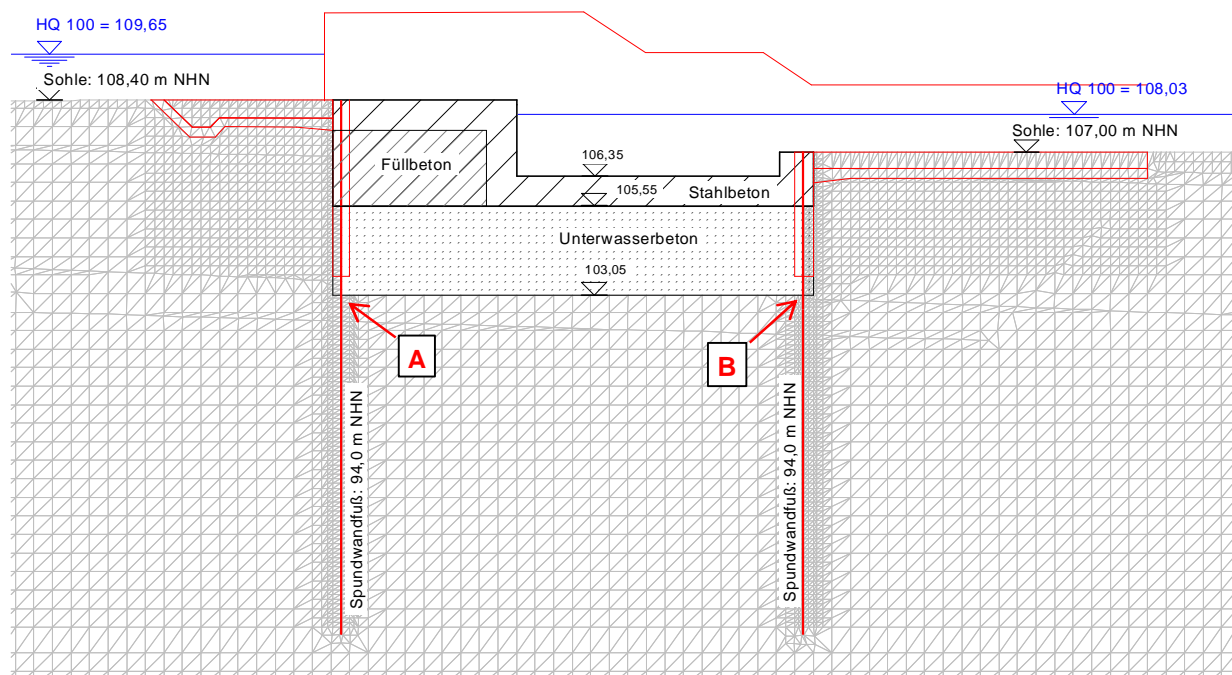


Abbildung 3: vertikal-ebenes Modell in Gewässerachse

Das Strömungsmodell wurde für die in Kapitel 5.1 aufgeführten Wasserstände in der Bemessungssituation BS-T erarbeitet. Diese Bemessungssituation ist bis zum Betonieren des Wehrkörpers für den Bauzustand maßgebend und berücksichtigt auch Hochwasserereignisse (HQ 100).

Neben den graphisch dargestellten Ergebnissen der hydraulischen Berechnungen (Potentiallinien, Wasserdruckkräfte) wurden Einzelwerte entnommen, die programmtechnisch bedingt, nicht als Rechenausdruck vorliegen.

Zunächst wird die Potentialverteilung unter Berücksichtigung der Wasserstände in der Bemessungssituation BS-T berechnet. Das am Spundwandfuß (Oberwasser) ermittelte Potential (s. Anlage 2, Blatt 2) geht in den Auftriebsnachweis ein.

Die Einbindetiefe der Spundwand und Stärke des Unterwasserbetons wurde in einem iterativen Prozess zuvor so lange variiert, bis der Auftriebsnachweis erfüllt war.

Eingangswerte Auftriebsnachweis nach EC-7:

- UK Spundwand Oberwasser: 94,0 m NHN
- UK Spundwand Unterwasser: 94,0 m NHN
- Potential am Spundwandfuß Oberwasser: 108,69 m NHN
- Teilsicherheitsbeiwert Einwirkungen: $g_{dst.} = 1,050$
- Teilsicherheitsbeiwert Widerstände: $g_{stb.} = 0,950$

Ergebnis (s. Anlage 2, Blatt 3):

- Sohle Unterwasserbeton: 103,05 m NHN
- Stärke Unterwasserbeton: 2,50 m
- Ausnutzungsgrad: $\mu = 0,998$

Da der Auftriebsnachweis an der oberwasserseitigen Spundwand erfüllt ist, gilt dieser auch an allen übrigen Spundwänden als erfüllt. An der oberwasserseitigen Spundwand herrscht das größte Potential der gesamten Baugrube (s. Anlage 2, Blatt 2).

6.2 Sohlwasserdruckverteilung

Für die Ermittlung der Sohlwasserdruckverteilung wird das bereits unter Kapitel 6.1 beschriebene Modell genutzt. Länge der Spundwand und Sohle Unterbeton entsprechen den ermittelten Werten des Auftriebsnachweises.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnung sind jeweils auf 2 Blatt der Anlage 3.1 (Bemessungssituation BS-P) und Anlage 3.2 (Bemessungssituation BS-T) dargestellt:

- Blatt 1: Potentiallinien
- Blatt 2: Wasserdruckkräfte

Neben den graphisch dargestellten Ergebnissen der hydraulischen Berechnungen (Potentiallinien, Wasserdruckkräfte) wurden Einzelwerte entnommen, die programmtechnisch bedingt, nicht als Rechenausdruck vorliegen. Die für weitere statische Nachweise erforderlichen Werte wurden manuell aus dem FE-Netz abgegriffen und sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3. vertikal-ebenes Modell - Berechnungsergebnisse (BS-P)

Wasserstand		Potential am Punkt		Wasserdruck am Punkt		Sohlwasserdruck		Bemessungssi- tuation Anlage
Oberwasser	Unterwasser	A	B	P _A	P _B	statisch	dynamisch	
NHN	NHN	NHN	NHN	mWS	mWS	kN/m	kN/m	
109,65	107,15	107,96	107,95	4,81	4,79	617,91	1,2	BS-P 3.1
109,65	108,03	108,55	108,55	5,40	5,40	696,60	0	BS-T 3.2

Die Werte für den Wasserdruckansatz gelten für UK Unterewasserbeton. Die Berechnungsergebnisse wurden auf 2 Stellen nach dem Komma gerundet.

Die Sohlwasserdruckkräfte Kräfte berechnen sich zu:

Hydrostatische Sohlwasserdruckkräfte: $S_{x,1} = g_w * (x_1 - x_2) * P_w$

Hydrodynamische Sohlwasserdruckkräfte: $S_{x,2} = g_w * (x_1 - x_2) * \frac{\rho_w}{\rho} * \frac{P_{w1} - P_{w2}}{2} * \frac{\ddot{u}}{\phi}$

Hydrostatische Horizontalkräfte: $H_{x,1} = g_w * (y_1 - y_2) * P_w$

Hydrodynamische Horizontalkräfte: $H_{x,2} = g_w * (y_1 - y_2) * \frac{\rho_w}{\rho} * \frac{P_{w1} - P_{w2}}{2} * \frac{\ddot{u}}{\phi}$

x_1 / x_2 - x-Koordinate am Punkt 1 bzw. Punkt 2

y_1 / y_2 - y-Koordinate am Punkt 1 bzw. Punkt 2

$S_{x,1}$ - hydrostatische Sohlkraft [kN/m]

$S_{x,2}$ - hydrodynamische Sohlkraft [kN/m]

$H_{x,1}$ - hydrostatische Horizontalkraft [kN/m]

$H_{x,2}$ - hydrodynamische Horizontalkraft [kN/m]

g_w - Wichte des Wasser 10 kN/m³

P_w - hydrostatischer Wasserdruck (rechteckige Druckverteilung)

$P_{w1}; P_{w2}$ - hydrodynamische Wasserdrücke (dreieckige Druckverteilung)

6.3 Wasserstände in den Böschungen

6.3.1 Böschung zwischen Sohlgleite und Tosbecken

Das Modellgebiet hat eine Länge von 170 Metern und eine Breite von 160 Metern. Die Grundlagen der Modellbildung wurden unter Kapitel 5.3 erläutert.

Anlage 4.1, Blatt 2 zeigt die Potentiallinien, die sich aus dem geplanten Bauvorhaben ergeben. In der untenstehenden Abbildung 4 wird das Potential entlang einer gedachten Schnittlinie (s.a. Abbildung 2) dargestellt. Diese Werte bilden eine Eingangsgröße für den Nachweis der Suffosionssicherheit (s. Kapitel 7).

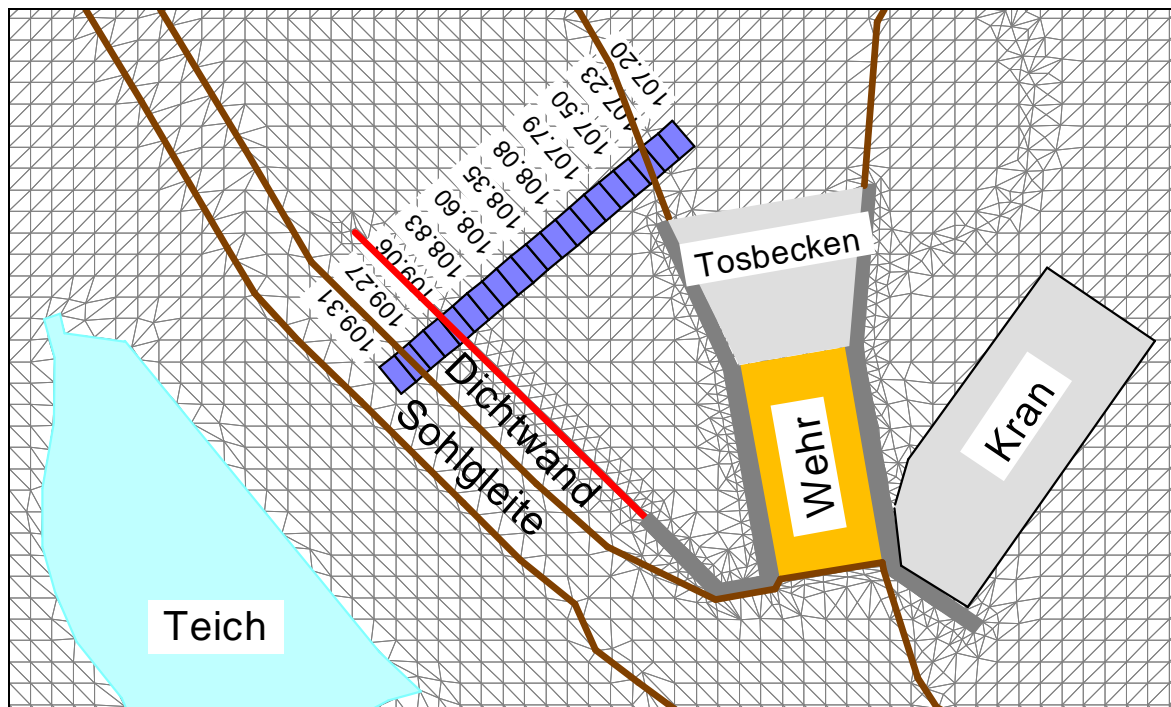


Abbildung 4: Potential in der Böschung zwischen Sohlgleite und Tosbecken

Um die jeweiligen Vereinfachungen bei Ermittlung des Porenwasserdruckes im horizontal-ebenen und vertikal-ebenen Modell auszugleichen, wird für die Sickerstrecke Dichtwand \rightarrow Tosbecken das Potential des vertikal-ebenen Modells entsprechend Abbildung 4 korrigiert. Dies erfolgt durch eine Korrektur der Sickerlinie nach oben. Damit wird auch im vertikalen Schnitt die seitliche Umströmung der Dichtwand aus dem horizontal-ebenen Modell berücksichtigt. Die Korrektur entspricht etwa der halben Differenz der Potentiale beider Modelle. Die Anpassung ist in Anlage 4.2 (Blatt 1 und Blatt 3) dargestellt.

Der Berechnung liegt eine Spundwandtiefe an der Dichtwand von 103,0 m NHN zugrunde. Dies entspricht der Einbindetiefe der Spundwand des Tosbeckens.

Folgende Wasserstände werden berücksichtigt:

- Bemessungssituation BS-P

- Wasserspiegel Sohlgleite (4. Querriegel): 109,50 m NHN bei HQ 100
- Wasserspiegel Tosbecken: 107,15 m NHN bei MW

- Bemessungssituation BS-T

- Wasserspiegel Sohlgleite (4. Querriegel): 109,50 m NHN bei HQ 100
- Wasserspiegel Tosbecken: 108,03 m NHN bei HQ 100

Hinweis: Für den Wasserspiegel am Oberwasser wird immer HQ 100 angenommen, da sich Betriebsstau und HQ 100 lediglich um 5 cm unterscheiden. Der Wasserspiegel am 4. Querriegel der Sohlgleite wurde aus dem Längsprofil der Sohlgleite abgegriffen (s. /U6/).

6.3.2 Böschung unterhalb des Kranstandortes

Für Wartungszwecke ist ein Kranstandort vorgesehen, dessen Standsicherheit nachzuweisen ist (s. Kapitel 8.1). Aus dem horizontal-ebenen Modell (Anlage 4.1, Blatt 2) wurde das Potential zwischen dem benachbarten Teich der Fischwirtschaft und der Wasserfläche unterhalb des Tosbeckens abgeleitet. Das Ergebnis der Simulation ist in Abbildung 5 dargestellt.

Für diese Böschung erfolgt keine zusätzliche Simulation in einem vertikal-ebenen Modell. Das ermittelte Potential am Kranstandort geht direkt in den Standsicherheitsnachweis (s. Kapitel 8.2) ein. Das Potential aus in Abbildung 5 wird in eine entsprechende Sickerlinie des Standsicherheitsnachweises überführt.

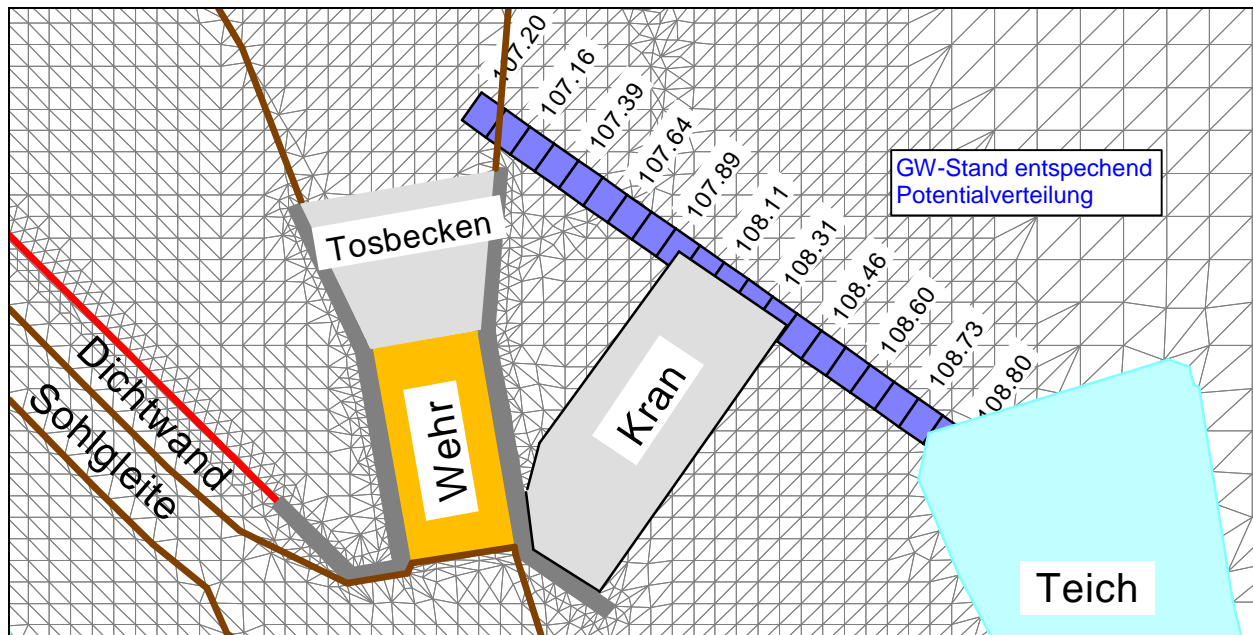


Abbildung 5: Potential in der Böschung zwischen Teich und Tosbecken

7. Erosions- und Suffosionssicherheit

Nach MSD (Merkblatt für die Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen /U18/) kann ein Nachweis gegen Fugenerosion im Falle gerammter Spundwände an Bauwerken entfallen. Die Berücksichtigung eines über die Weglänge eintretenden Potentialabbaus in Strömungsberechnungen ist daher zulässig.

Böden, welche die nachfolgenden geometrischen Kriterien erfüllen, gelten nach /U18/ als suffosionssicher:

- $c_U \approx 1$
- $c_U < 10$ mit einer Körnungslinie, die in halblogarithmischer Darstellung einer Gerade entspricht
- $I_D > 0,6$ bei $U > 10$ oder
- $c_U < 8$ und stetiger Körnungslinie

Die betroffenen Böden der Schicht 2 können als suffosionssicher gelten. Der Ungleichförmigkeitsgrad von 4 untersuchten Bohrproben (s. geotechnischer Bericht / Teil I des Gutachtens /U8/ und Abbildung 6) liegt zwischen $c_U = 2,9 \dots 3,8$.

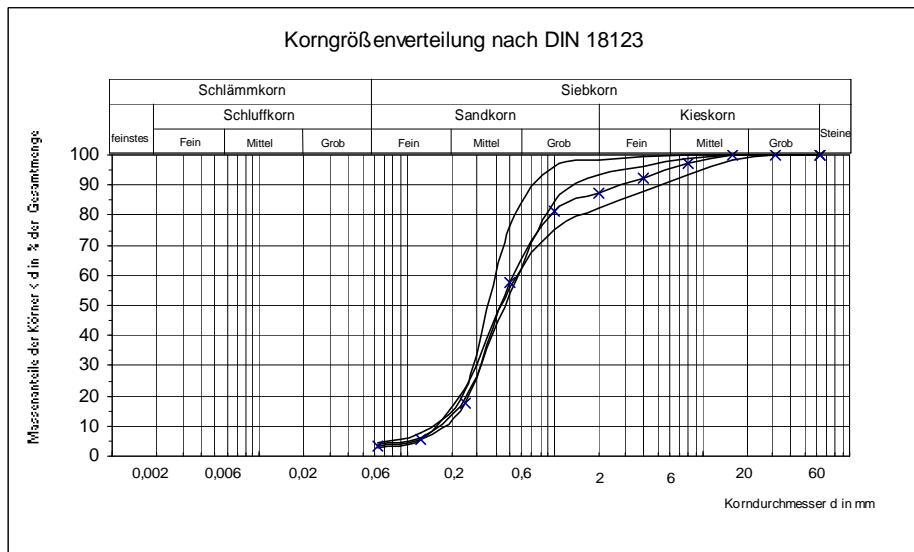


Abbildung 6: Kornverteilungskurve von 4 Bodenproben der Schicht 2

Ergänzend sind in Anlage 4.5 Suffosionsnachweise nach MMB (BAW: Merkblatt für Materialbewegung im Boden) enthalten. Folgende Nachweise wurden durchgeführt:

- Verfahren nach ZIEMS (Forderung: $h \geq 1,50$): $h = 2,06 \hat{=}$ Boden suffosionssicher
- Verfahren nach KENNEY und LAU: Kurve oberhalb der H-Linie $\hat{=}$ nicht suffosiv

Damit entfallen weitere hydraulische Nachweise der Suffosionssicherheit.

8. Standsicherheitsnachweis Böschungen

8.1 Böschung am Kranstandort

8.1.1 Örtliche Verhältnisse

Am rechtsseitigen Ufer des Ruhlander Schwarzwassers ist eine Kranaufstellfläche mit den Abmessungen 19,2 x 7,7 m vorgesehen. Die Befestigung erfolgt mit:

- 10 cm Betonpflaster
- 2 cm Mörtel
- 20 cm Beton-Tragschicht è Gesamtstärke: 0,32 m

Der Nachweis der Böschungsstandsicherheit wird für die Böschung zwischen Kranstandort und Tosbecken geführt. Obwohl die Schnittspur die Tosbeckenwand schneidet, geht die Berechnung davon aus, dass sich an dieser Stelle eine unbefestigte Böschung befindet. Damit sind die Annahmen zu den Gleitkreisen auf der sicheren Seite.

Für die Reinigung der Wehranlage und das Herausheben des Wehrverschlusses ist ein Mobilkran Typ LTM 1030 vorgesehen. Das Fahrzeug besitzt folgende Abmessungen:

- Länge: 10,15 m
- Breite: 2,55 m
- Breite zwischen den Stützen: 6,00 m
- Länge zwischen den Stützen: 6,30 m
- Gesamtgewicht: 24 t
- max. Traglast: 35 t

8.1.2 Eingangswerte

Für den Standsicherheitsnachweis wird eine Ersatzflächenlast SLW 60 mit 33,3 kN/m² zugrunde gelegt. Der Baugrund wird nach dem Schichtenverzeichnis der am nächsten gelegenen Bohrung BS 1 dargestellt.

Unter Verwendung der im geotechnischen Bericht (/U8/) angegebenen bodenmechanischen Kennwerte ergibt sich das in Tabelle 4 aufgeführte Kennwertprofil. Die derzeitige Geländehöhe am Bohrpunkt BS 1 beträgt 108,84 m NHN. Für den Kranstandort und den Zufahrtsweg enthält die Planung eine Endhöhe von 110,75 m NHN. Daher wird bei der nachfolgenden Berechnung davon ausgegangen, dass bauseitig eine Auffüllung mit gut verdichtbarem Sand oder Kies erfolgt. Das Material wird nachfolgend als Schicht 0 aufgeführt.

Tabelle 4 Maßgebendes Kennwertprofil Kranstandort

Schicht Nr.	Tiefe [m] u. GOK	Niveau [m NHN]	Kurzzeichen	g	g'	f'	c'	E _s
0	0,3...2,9	110,3...107,8	SW/GW	19	11	30	0	40
2	2,9...4,4	107,8...106,3	SE	18	10	30	0	15
3	4,4...8,0	106,3...102,7	UL	19	9	25	0	10
4	8,0...9,6	102,7...101,1	TM/TA	18	8	22,5	20	10
5b	9,6...15,7	101,1...95,0	SE	18	10	32,5	0	50

Legende (alle Kennwerte sind charakteristische Werte):

g	Bodenwichte, erdfeucht [kN/m ³]	E _s	Steifemodul [MN/m ²]
g'	Bodenwichte unter Auftrieb [kN/m ³]	c'	Kohäsion [kN/m ²]
f'	Reibungswinkel [°]		

Die Böschungsgeometrie und der Böschungsaufbau wurden gem. Entwurfszeichnungen /U5/ übernommen.

8.1.3 Bemessungssituationen

Für die Böschung sind folgende Bemessungssituationen zu untersuchen:

Tabelle 5. Bemessungssituationen Teilsicherheitsbeiwerte (EC 7-1)

Bemessungssituation	Beschreibung (DIN 1054)	Anwendung auf Berechnungsgang	Teilsicherheitsbeiwerte				
			ständige Einwirkungen	veränderliche Einwirkungen	f'	c'	g
BS-P	ständige Situation	Eigenlast Verkehrslast durch Wartungsfahrzeug Betriebsstau am Unterwasser (MW)	1,0	1,3	1,25	1,25	1,0
BS-T ₁	vorübergehende Situation	Eigenlast Verkehrslast durch Kran (SLW 30) Betriebsstau am Unterwasser (MW)	1,0	1,0	1,15	1,1	1,0
BS-T ₂	vorübergehende Situation	Eigenlast Verkehrslast durch Kran (SLW 30) HQ 100 am Ober- und Unterwasser	1,0	1,0	1,15	1,1	1,0

8.1.4 Einwirkungen

Ständige Einwirkungen:

Ständige Einwirkungen resultieren aus der Eigenlast der Böschung.

Vorübergehende Einwirkungen (Verkehrslasten):

BS-P: Die zu untersuchende Böschung wird im Regelfall nicht befahren. Für die Belastung mit leichten Wartungsfahrzeugen wird eine Ersatzflächenlast von 10 kN/m^2 auf der Böschungsoberkante angenommen. Die Entfernung zur Böschung wird durch die Befestigung des Kranstandortes vorgegeben und beträgt 1,2 m.

BS-T: Für den Kran wird eine Ersatzflächenlast SLW 30 mit $33,3 \text{ kN/m}^2$ angenommen.

Wasserstände

Für die Bemessungssituationen gelten folgende Wasserstände:

BS-P:	Oberwasser: HQ 100 = 109,65 m NHN
	Unterwasser: MW = 107,15 m NHN
BS-T ₁ :	Oberwasser: HQ 100 = 109,65 m NHN
	Unterwasser: MW = 107,15 m NHN
BS-T ₂ :	Oberwasser: HQ 100 = 109,65 m NHN
	Unterwasser: HQ 100 = 108,03 m NHN

8.1.5 Lage der Sickerlinie

Die Lage Sickerlinie wurde mittels des horizontal-ebenen FE-Modells ermittelt, in Kapitel 6.3.2 erläutert und als Potentialverteilung (Abbildung 5) graphisch dargestellt. Die sich daraus ergebende Sickerlinie kann aus der Standsicherheitsberechnung (Anlage 4.3) für die jeweiligen Bemessungssituationen entnommen werden.

8.1.6 Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse für die in Tabelle 5 aufgeführten Bemessungssituationen sind in Anlage 4.3 enthalten. Die nachfolgende Tabelle 6 enthält die zu betrachtenden Berechnungsfälle sowie die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen.

Tabelle 6. Ergebnisse globale Standsicherheit

Bemessungssituation	Wasserstand OW / UW	Verkehrslast	Ergebnis	Anlage
BS-P	109,65 / 107,15 m NHN	10,0 kN/m ²	$\mu = 0,99$	4.3.1
BS-T ₁	109,65 / 107,15 m NHN	33,3 kN/m ²	$\mu = 0,95$	4.3.2
BS-T ₁	109,65 / 108,03 m NHN	33,3 kN/m ²	$\mu = 0,88$	4.3.3

Damit ist die Standsicherheit am Kranstandort für alle untersuchten und maßgebenden Bemessungssituationen erfüllt.

8.2 Standsicherheitsnachweis Dichtwand-Böschung

8.2.1 Örtliche Verhältnisse

Entlang der Sohlgleite soll, beginnend von der linksseitigen Flügelwand des Wehres eine Spundwand-Dichtung mit einer Länge von 24 Metern errichtet werden. Dadurch sollen die derzeit zu beobachtenden Sickerströmungen von der Sohlgleite zum Ruhlander Schwarzwasser unterbunden werden. Die Spundwand reicht bis in eine Tiefe von 103,0 m NHN.

Die Böschungsgeometrie und der Böschungsaufbau wurden gem. Entwurfszeichnungen /U5/, /U6/ übernommen.

8.2.2 Eingangswerte

Der Berechnungsschnitt verläuft nördlich einer gedachten Linie BS 5 – BS 3 gemäß Abbildung 2 und Abbildung 4. Vereinfachend geht der Standsicherheitsnachweis davon aus, dass der wenig durchlässige Ton (Schicht 4) nicht in der gesamten Böschung vorhanden ist. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite. Die Böschungsgeometrie und der Böschungsaufbau wurden gem. Entwurfszeichnungen /U5/ übernommen.

Unter Verwendung der im geotechnischen Bericht (/U8/) angegebenen bodenmechanischen Kennwerte ergibt sich das in Tabelle 7 aufgeführte Kennwertprofil.

Tabelle 7 Maßgebendes Kennwertprofil Dichtwand

Schicht Nr.	Tiefe [m] u. GOK	Niveau [m NHN]	Kurzzeichen	g	g'	f'	c'	E _s
1	0,0...1,5	110,0...108,5	SE/SU	18	8	28	0	10
2	1,5...8,0	108,5...102,0	SE	18	10	30	0	15
5b	8,0...10,0	102,0...100,0	SE	18	10	32,5	0	50

Legende (alle Kennwerte sind charakteristische Werte):

g	Bodenwichte, erdfeucht [kN/m ³]	E _s	Steifemodul [MN/m ²]
g'	Bodenwichte unter Auftrieb [kN/m ³]	c'	Kohäsion [kN/m ²]
f'	Reibungswinkel [°]		

8.2.3 Bemessungssituationen

Für die Böschung sind folgende Bemessungssituationen zu untersuchen:

Tabelle 8. Bemessungssituationen Teilsicherheitsbeiwerte (EC 7-1)

Bemessungssituation	Beschreibung (DIN 1054)	Anwendung auf Berechnungsgang	Teilsicherheitsbeiwerte				
			ständige Einwirkungen	veränderliche Einwirkungen	f'	c'	g
BS-P	ständige Situation	Eigenlast Verkehrslast durch Wartungsfahrzeug Betriebsstau am Unterwasser (MW)	1,0	1,3	1,25	1,25	1,0
BS-T	vorübergehende Situation	Eigenlast Verkehrslast durch Wartungsfahrzeug HQ 100 am Ober- und Unterwasser	1,0	1,0	1,15	1,1	1,0

8.2.4 Einwirkungen

Ständige Einwirkungen:

Ständige Einwirkungen resultieren aus der Eigenlast der Böschung.

Vorübergehende Einwirkungen (Verkehrslasten):

Die zu untersuchende Böschung wird im Regelfall nicht befahren. Für die Belastung mit leichten Wartungsfahrzeugen wird eine Ersatzflächenlast von 10 kN/m^2 auf der Böschungsoberkante angenommen. Die Entfernung zur Böschung wird durch die Befestigung des Kranstandortes vorgegeben und beträgt 1,2 m.

Wasserstände

Für die Bemessungssituationen gelten folgende Wasserstände:

BS-P: Oberwasser: HQ 100 = 109,50 m NHN (Wsp. am Querriegel Nr. 4)

Unterwasser: MW = 107,15 m NHN

BS-T: Oberwasser: HQ 100 = 109,50 m NHN (Wsp. am Querriegel Nr. 4)

Unterwasser: HQ 100 = 108,03 m NHN

8.2.5 Lage der Sickerlinie

Die Lage Sickerlinie wurde in Kapitel 6.3.1 mittels des horizontal-ebenen FE-Modells ermittelt und entsprechend der Ergebnisse der Anlage 4.2 (vertikal-ebener Schnitt) angepasst. Die sich daraus ergebende Sickerlinie ist in Anlage 4.2, Blatt 1 und 3 dargestellt. Sie geht in die Standsicherheitsberechnung (Anlage 4.4) ein.

8.2.6 Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse für die in Tabelle 8 aufgeführten Bemessungssituationen sind in Anlage 4.4 enthalten. Die nachfolgende Tabelle 9 enthält die zu betrachtenden Berechnungsfälle sowie die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen.

Tabelle 9. Ergebnisse globale Standsicherheit

Bemessungssituation	Wasserstand OW / UW	Verkehrslast	Ergebnis	Anlage
BS-P	109,50 / 107,15 m NHN	$10,0 \text{ kN/m}^2$	$\mu = 0,67$	4.4.1
BS-T	109,50 / 108,03 m NHN	$10,0 \text{ kN/m}^2$	$\mu = 0,60$	4.4.2

Damit ist die Standsicherheit für die Böschung zwischen Dichtwand und Ruhlander Schwarzwasser unterhalb des Tosbeckens erfüllt.

9. Abschließende Hinweise

Bei Änderungen des Projektes, die Auswirkungen auf die hydraulische Situation oder Standsicherheitsberechnungen haben, sind die o.g. Nachweise auf ihre Gültigkeit zu überprüfen. Der vorliegende Standsicherheitsnachweis gilt nur im Zusammenhang mit dem Bericht zur Baugrunduntersuchung vom 02.02.2015 /U8/.