

1. Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis	1
2.	Unterlagen	2
3.	Berechnungsquerschnitte	3
4.	Berechnungsgrundlagen	4
4.1	Nachweiskonzept	4
4.2	Berechnungsprogramme	4
4.3	Berechnungsansätze	4
4.3.1	Spundwände	4
4.3.2	Deich und wasserseitige Böschungen	5
5.	Einwirkungen und Beanspruchungen	9
5.1	Ständige Einwirkungen	9
5.1.1	Eigengewicht	9
5.1.2	Erddruck	9
5.1.3	Gebäude-/Gründungslasten	9
5.1.4	Abrostung	10
5.2	Veränderliche Einwirkungen	10
5.2.1	Wasserstände	10
5.2.2	Verkehrslasten	10
5.2.3	Bauzeitliche Beanspruchungen	11
5.3	Außergewöhnliche Einwirkungen	11
5.3.1	Wasserstände	11
5.3.2	Versagen von Dichtungen	11
5.3.3	Versagen von Dräns	12
5.3.4	Windwurf	12
5.3.5	Eisdruck	12
6.	Bemessungssituationen	12
6.1	Deich und wasserseitige Böschungen	12
6.2	Spundwände	13
7.	Ergebnisse	16
7.1	Deiche	16
7.2	Spundwände	27
8.	Anlagen	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Materialkennwerte QP 0+968	7
Tabelle 2: Materialkennwerte QP 1+250	7
Tabelle 3: Materialkennwerte Ersatzneubau Deichkörper	8
Tabelle 4: Wasserstände	13
Tabelle 5: Ergebnisse der untergrundhydraulischen Berechnungen BS-P	17
Tabelle 6: Ergebnisse der untergrundhydraulischen Berechnungen BS-A	17
Tabelle 7: Globale Tragsicherheit, Lastfälle BS-P und BS-A	17
Tabelle 8: Lokale Tragsicherheit Bemessungssituation BS-P und BS-A	18
Tabelle 9: Lokale Tragsicherheit am Böschungsfuß	18
Tabelle 10: Globale Standsicherheit gegen Gleiten	19
Tabelle 11: Globale Standsicherheit gegen Gleiten	19
Tabelle 12: Materialkennwerte QP 1+947	28
Tabelle 13: : Materialkennwerte QP 2+200	28
Tabelle 14: Ergebnisse Spundwandberechnung QP 1+947	29
Tabelle 15: Nachweis der Lagesicherheit gegen Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch	30
Tabelle 16: Ergebnisse Spundwandberechnung QP 2+200	30
Tabelle 17: Nachweis der Lagesicherheit gegen Aufschwimmen und hydraulischem Grundbruch	31
Tabelle 18: Ergebnisvergleich der Auslenkungen verschiedener Profile bei Bemessungssituation BS-A 1.4	31

Anlagen

Anlage 1	Abschnitt 4, QS km 0+968
Anlage 2	Abschnitt 4, QS km 1+250
Anlage 3	Abschnitt 4, QS km 1+947
Anlage 4	Abschnitt 4, QS km 2+200

2. Unterlagen

- /1/ Planungsgemeinschaft Hochwasserschutz Herzberg:
Entwurfsplanung Teilobjekt 1; Hochwasserschutz Herzberg – Maßnahme SE 3p, Bearbeitungsstand 12/2016.
- /2/ Planungsgemeinschaft Hochwasserschutz Herzberg:
Geotechnischer Bericht Teilobjekt 1; Hochwasserschutz Herzberg – Maßnahme SE 3p, Bearbeitungsstand 12/2016.
- /3/ GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH:
Baugrunduntersuchung Teilobjekt 1, Hochwasserschutz Herzberg – Maßnahme SE 3p, Bearbeitungsstand 10/2016.

- /4/ Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg:
Charakteristische Abflussganglinien für die Pegel Herzberg und Bad Liebenwerder als Grundlage für die instationären Durchströmungsberechnungen, 11.01.2017.
- /5/ Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg:
Stellungnahme zu den Lastannahmen und Berechnungsansätzen vom 05.12.2016 und 07.04.2017.
- /6/ Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg:
Brandenburgische Richtlinie für die Anwendung Geosynthetischer Tondichtungsbahnen im Deichbau, Ausgabe 2016 (BRAD16)
- /7/ Planungsgemeinschaft Hochwasserschutz Herzberg:
Zusammenstellung der Lastannahmen und Berechnungsansätze für das TO1- Abschnitte 1-4 vom 30.11.2016.
- /8/ DIN EN 1997-1: EC 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009.
- /9/ DIN EN 1997-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – EC 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
- /10/ DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Dezember 2010.
- /11/ DIN EN 1993-5: EC 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –Teil 5: Pfähle und Spundwände, Dezember 2010.
- /12/ DIN 4084: Baugrund – Geländebruchberechnungen, Januar 2009.
- /13/ DIN 4085: Baugrund – Berechnung des Erddrucks; Oktober 2007.
- /14/ DIN 19712: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Januar 2013.
- /15/ DIN 19704-1: Stahlwasserbauten, Teil 1: Berechnungsgrundlagen, Mai 1998.
- /16/ DWA – Regelwerk, Merkblatt DWA-M 507-1: Deiche an Fließgewässern Teil1: Planung, Bau und Betrieb, Dezember 2011.
- /17/ EAU 2012: Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, 11. Auflage 2012.
- /18/ Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Merkblatt – Materialtransport im Boden (MMB), Ausgabe 2013.

3. Berechnungsquerschnitte

Auf der Grundlage der vorliegenden Planungsquerschnitte /1/ und den Ergebnissen der Baugrunderkundung /3/ wurden in den einzelnen Abschnitten des Teilobjektes 1 die folgenden Berechnungsquerschnitte ausgewählt.

Abschnitt 4 – km 0+925 – 2+222:

- km 0+968
- km 1+250
- km 1+947
- km 2+200

4. Berechnungsgrundlagen

4.1 Nachweiskonzept

Die Nachweise erfolgen nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten entsprechend DIN EN 1997-1 /8/ in Verbindung mit DIN 1054 /10/. Es werden Ausnutzungsgrade μ berechnet.

4.2 Berechnungsprogramme

Spundwand

GGU-RETAIN (Version 9.44)

Deich

GGU-SS-FLOW2D (Version 11.03) – stationäre Durchströmungsberechnung

GGU-TRANSIENT (Version 7.02) – instationäre Durchströmungsberechnung

GGU-STABILITY (Version 12.16) – Böschungsbruch, Gleitsicherheit, Spreizsicherheit

GGU-UPLIFT (Version 6.07) – Auftriebssicherheit, hydraulischer Grundbruch

4.3 Berechnungsansätze

4.3.1 Spundwände

Die Bemessung der Spundwand erfolgt gemäß EAU nach dem Verfahren von BLUM. Die Wände sind unverankert und werden als fest eingespannt angenommen.

Bemessung Wandquerschnitt

Die Bemessung des Spundwandquerschnittes erfolgt nach DIN EN 1993-5 /11/. Es werden elastische statische Berechnungen durchgeführt. Für die Spundwand wird vorzugsweise die Stahlgüte S240GP berücksichtigt.

Bei den Berechnungen werden die Querschnittswerte der Spundwand je lfd./m-Wand bezogen auf eine Doppelbohle zugrunde gelegt.

In den Berechnungsquerschnitten wird die Spundwand bis zur geplanten Deichoberkante berücksichtigt. Die teilweise geplante Oberbodenüberdeckung von 20 cm wird dabei vernachlässigt. Der Ansatz der um ca. 20 cm höheren Spundwand liegt auf der sicheren Seite.

Einbindetiefe

Bei voller oder teilweiser Einspannung ist ein Längenzuschlag zur theoretisch ermittelten Einbindetiefe erforderlich. Die Ermittlung des erforderlichen Längenzuschlages erfolgt nach EAU 2012, Pkt. 8.2.9 /17/.

Kopfauslenkung

Gemäß Abstimmung /5/ ist eine maximal zulässige Kopfauslenkung von $w < 5,0$ cm für die Spundwand im Deich zu berücksichtigen.

Im Bereich von Gebäuden / Bauwerken wird eine maximale Kopfauslenkung von $w < 2,0$ cm zugelassen.

Geometrie und Baugrund

Die Baugrundsichtung und die Zuordnung der Bodenkennwerte wird entsprechend den Angaben aus den Baugrundunterlagen /2/ und /3/ berücksichtigt.

Es wird ein horizontaler Schichtverlauf angesetzt, da das verwendete Berechnungsprogramm keine geeigneten Schichtverläufe abbildet. Es wird der jeweils ungünstigste Schichtverlauf berücksichtigt.

Die geometrischen Verhältnisse werden aus den vorliegenden Querschnitten der Planung /1/ übernommen.

4.3.2 Deich und wasserseitige Böschungen

Die Nachweise zur Tragfähigkeit erfolgen auf der Grundlage des DWA-M 507-1 /16/, der DIN 19712 und des MMB 2013 /18/.

geohydraulische Randbedingungen

Bei den stationären Durchströmungsberechnungen werden folgende Randbedingungen angesetzt:

wasserseitiger Modellrand (vertikal und horizontal):

- offener Modellrand von der Modellunterkante bis zur Höhe des Wasserstandes in der jeweiligen Bemessungssituation und Ansatz eines Festpotentials entsprechend dem jeweiligen Wasserstand
- Für die instationären Durchströmungsberechnungen wurde ein zeitlicher Ansatz berücksichtigt, der dem Verlauf der schnellen Wasserspiegelabsenkung der Ganglinie des HW2010 am Pegel Herzberg entspricht. Gemäß Abstimmung mit dem LfU wurde folgende lineare Absenkung der ablaufenden HW-Ganglinie berücksichtigt:
 - 0 – 6 Tage nach Scheitel: 11,5 cm / Tag
 - 7 – 13 Tage nach Scheitel: 10,0 cm / Tag
 - 13 – 34 Tage nach Scheitel: 4,3 cm / Tag

landseitiger Modellrand:

- vertikaler Modellrand: geschlossener Modellrand (ungünstigster Fall)
- horizontaler Modellrand: Ansatz eines Festpotentials auf Geländenniveau. Iteration der Festpotentiale im Böschungsbereich bis keine Wassereintritte mehr auftreten.

Geometrie und Baugrund

Die Baugrundsichtung und die Zuordnung der Bodenkennwerte wird entsprechend den Angaben aus den Baugrundunterlagen /2/ und /3/ berücksichtigt.

Die geometrischen Verhältnisse werden aus dem vorliegenden Querschnitt der Planung /1/ übernommen.

Nach [3] werden folgende Kennwerte des vorhandenen Baugrundes angesetzt:

Stat.: 0+968

Schicht	Bezeichnung	Reibungs- winkel	Wichte	Kohäsion	Durchlässigkeits- beiwert
		[°]	[kN/m ³]	[kn/m ²]	[m/s]
S2.1 (s-hf)	TL, TL-TM	32,5	18,0	5	1x10 ⁻⁷
S2.1-S3.1 (hf)	SU*/ST*, ST*-TL	32	18	5	7x10 ⁻⁷
S3.2 (l-md)	SU-SU*/ST* (GU-GU*)	30	17,5	0	1x10 ⁻⁴
S4.1 (md)	SE	32,5	17	0	1x10 ⁻⁴
S2.1-S31 (w)	SU*/ST*, ST*-TL	32	15,5	2	1x10 ⁻⁷
S2.1 (w)	TL, TL-TM	32	15,5	2	1x10 ⁻⁶
S4.1 (md)	SE	32,5	17	0	1x10 ⁻⁴

Tabelle 1: Materialkennwerte QP 0+968

Stat.: 1+250

Schicht	Bezeichnung	Reibungs- winkel	Wichte	Kohäsion	Durchlässig- keits- beiwert
		[°]	[kN/m ³]	[kn/m ²]	[m/s]
S2.1-S3.1 (hf)	SU*/ST*, ST*-TL	32	18	5	7x10 ⁻⁷
S3.2 (l-md)	SU-SU*/ST* (GU-GU*)	30	17	0	1x10 ⁻⁴
S2.1 (s-hf)	TL, TL-TM	32,5	18	5	1x10 ⁻⁷
S4.1 (md)	SE	32,5	17	0	1x10 ⁻³

Tabelle 2: Materialkennwerte QP 1+250

Weitere Ausführungen zu den hydrogeologischen und den Baugrundverhältnissen finden sich in der Baugrundhauptuntersuchung /3/

Für den neu zu errichtenden Deich (Ersatzneubau) wurden folgende Deichbaumaterialien nach DIN 1055 T2 ausgewählt:

Schicht	Bezeichnung	Reibungswinkel	Wichte	Kohäsion	Durchlässigkeitsbeiwert
		[°]	[kN/m ³]	[kn/m ²]	[m/s]
Oberboden	OH	27	18,0	1	1x10 ⁻⁵
Deichverteidigungsweg	GU, GT (d)	32,5	20	0	1x10 ⁻⁶
GTD	Bentonitmatte	27	21	5	^{*)} 1x10 ⁻¹⁰
Stützkörper	GU/GT	35	22	0	1x10 ⁻⁶
Schutzschicht	ST	35	20	0	1x10 ⁻⁴
Filterkörper	GW	35	20	0	1x10 ⁻⁴
unklassifiziertes Material	GW	35	22	0	1x10 ⁻³
Schotterband	GW	32,5	20	0	1x10 ⁻²
Dichtungsprisma	GT	27,5	20	5	1x10 ⁻⁸

Tabelle 3: Materialkennwerte Ersatzneubau Deichkörper

^{*)} gemäß Herstellerangaben hat die GTD einen Durchlässigkeitsbeiwert von 5x10⁻¹¹ m/s bei einer Dicke von 0,7 cm. Auf Grund der Modellierung im Berechnungsprogramm (Modellierungsdicke der GTD ca. 15 cm) wurde der Durchlässigkeitsbeiwert entsprechend auf 1x 10⁻¹⁰ m/s abgemindert.

In Ergänzung zur Planung aus 12/2017 wurde in Absprache mit dem AG wasserseitig ein zusätzlicher Dichtungsprisma aus bindigem Material (kf=1x 10⁻⁸m/s) oberhalb der Geotextilen Tondichtungsbahn konstruktiv, zur Sicherung des Deichkörpers vor Erosion bei Kroneneinstau (BS-A), eingebracht.

Gemäß der Baugrundunterlagen (/3/,9510-S-92-010_Abschnitt-A4-L-LS_DF—LS_1 und LS_2) ist davon auszugehen dass der Deckstauer nur lokal vorhanden ist und sich Probleme mit hydr. Grundbruch bzw. Aufschwimmen nicht ergeben.

Zur Berechnung wurden, den ungünstigsten Fall annehmend, Profile mit vorhandenem Deckstauer ausgewählt.

Der Deckstauer (anstehende Auelehmschicht) unter dem neu zu errichteten Filterkörper des Deichneubaues wird zur Gewährleistung der Standsicherheit des Deiches ausgetauscht. Als Bodenaustauschmaterial wird das Stützkörpermaterial (GU/GT) vorgeschlagen (siehe nachfolgende Standsicherheitsberechnungen).

Die ist entsprechend bei der Bauausführung zu berücksichtigen.

5. Einwirkungen und Beanspruchungen

5.1 Ständige Einwirkungen

5.1.1 Eigengewicht

Das Eigengewicht der Spundwände wird im Programm automatisch berücksichtigt.

5.1.2 Erddruck

Erddruck – Beanspruchungsseite:

- aktiver Erddruck nach DIN 4085
- Wandreibungswinkel δ_a
 - $\delta_a = 1/3 \varphi$ (weniger rau, lockere Lagerung, weiche – steife Konsistenzen)
 - $\delta_a = 2/3 \varphi$ (rau, mitteldichte – dichte Lagerung, halbfeste – feste Konsistenzen)
- Ersatzerddruck: Ersatzreibungswinkel: $\varphi_{\text{Ersatz, k}} = 40^\circ$

Erddruck – Widerstandsseite:

- passiver Erddruck nach DIN 4085
- Wandreibungswinkel
 - $\delta_p = 1/3 \varphi$ (weniger rau, lockere Lagerung, weiche – steife Konsistenzen)
 - $\delta_p = 2/3 \varphi$ (rau, mitteldichte – dichte Lagerung, halbfeste – feste Konsistenzen)

Die Werte δ_p werden ggf. abgemindert, um die Bedingung $\Sigma V \geq 0$ (keine Zugkräfte) zu erfüllen.

Erddruck – Ansatz der Deichböschungen:

Gemäß DIN 19712 darf die stützende Wirkung von Anböschungen/Anschüttungen nur dann bei den Nachweisen zur Tragfähigkeit berücksichtigt werden, wenn deren Bestand gesichert und nachgewiesen wird.

In den Abschnitten 1 und 2 wird davon ausgegangen, dass die Deichböschungen ausreichend standsicher sind. Es erfolgten exemplarisch Berechnungen mit teilweiser und vollständiger Erosion der wasserseitigen Böschungen.

Im Abschnitt 3 wird für den Nachweis der Tragfähigkeit davon ausgegangen, dass die wasserseitige Deichböschung bis in Höhe des wasserseitigen Deichfußes vollständig erodiert ist (teilweise Prallhanglage). Dies stellt für die Bemessung der Spundwand den ungünstigsten Fall dar. Zusätzlich erfolgt der erdstatische Nachweis der wasserseitigen Deichböschung bei fallendem Wasserspiegel.

5.1.3 Gebäude-/Gründungslasten

Liegen nicht vor.

5.1.4 Abrostung

Die Spundwände werden hauptsächlich vollständig in den Boden eingebracht. Die Abrostung der Spundwände wird beidseitig für eine unterstellte Nutzungsdauer von 100 Jahren nach DIN EN 1993-5, Tabelle 4-1 /11/, angenommen:

- ungestörte natürliche Böden (Kies, Sand, Schluff, Ton):
0,0120 mm/ Jahr \Rightarrow 1,20 mm in 100 Jahren,
- aggressive natürliche Böden (Sumpf, Torf):
0,0325 mm/ Jahr \Rightarrow 3,25 mm in 100 Jahren.

Der freistehende Teil der Spundwand wird mit einem Korrosionsschutz versehen.

5.2 Veränderliche Einwirkungen

5.2.1 Wasserstände

Für die Spundwandbemessung wird mit dem statischen Wasserdruck gerechnet. Es erfolgen keine Durchströmungsberechnungen. Die Durchlässigkeiten der Bodenschichten bleiben unberücksichtigt. Die Gradienten auf der Aktiv- und Passivseite ergeben sich aus der Annahme eines linearen Druckabbaus um die Spundwand.

Beanspruchungen durch Grund-/Oberflächenwasser

- Wasserseite und Landseite: beidseits mittlere und erhöhte Wasserstände

Beanspruchungen durch das Bemessungshochwasser (BHW)

- Wasserseite: BHW
- Landseite: Grundwasserstand im Hinterland = GOK (Deichfuß, bzw. Fuß Berme)

Beanspruchungen aus fallendem Wasserspiegel nach BHW

Dieser Ansatz berücksichtigt einen Wasserüberdruck in Richtung Wasserseite, da nach einem Hochwasser auf der Luftseite deutlich höhere GW-Stände herrschen und die Wasserstände im Gewässer bereits schneller abgesunken sind. Die luftseitigen Wasserstände werden maximal bis zur GOK am Deichfuß angenommen. Wasserseitig wird ein um 50 cm niedrigerer Wasserstand angesetzt. Dieser Ansatz orientiert sich an der EAU 2012, Pkt. 4.2, Bild E-19-1, Situation 2a /17/. Genauere Ansätze sind nur möglich, wenn Ergebnisse einer Grundwassermodellierung oder anderweitige Angaben vorliegen.

- Wasserseite: 0,5 m unterhalb des luftseitigen Wasserstandes
- Landseite: Grundwasserstand im Hinterland = GOK (Deichfuß, bzw. Fuß Berme)

Luftseitige Wasserstände über Gelände werden nicht berücksichtigt.

5.2.2 Verkehrslasten

Deichverteidigungsweg:

- $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ auf 3 m Breite gemäß DWA-M 507-1.

5.2.3 Bauzeitliche Beanspruchungen

Bauzeitliche Hochwasserstände (BauHW)

Eventuelle bauzeitliche, standsicherheitsrelevante Wasserstände sind noch nicht festgelegt. Die Baumaßnahme sollte möglichst außerhalb von Hochwasser gefährdeten Zeiten realisiert werden. Bauzeitliche Hochwasserstände wurden im Rahmen der vorliegenden Berechnungen nicht untersucht.

Bauzeitlich erhöhte Verkehrslasten

Eventuelle bauzeitliche, erhöhte Verkehrslasten sind noch nicht festgelegt. Bauzeitliche, erhöhte Verkehrslasten wurden im Rahmen der vorliegenden Berechnungen nicht untersucht.

5.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

5.3.1 Wasserstände

Beanspruchungen durch Wasserdruck infolge bordvollen Einstaus

- Wasserseite: bordvoller Einstau bis OK Wand/Deich
- Landseite: Grundwasserstand im Hinterland = GOK (Deichfuß, bzw. Fuß Berme)

Beanspruchungen aus fallendem Wasserspiegel nach bordvollem Einstau

Formal ist dieser Ansatz nach DIN 197125 bzw. DWA-M 507-1 nicht vorgesehen. Er stellt jedoch für die Spundwandbemessung einen möglicherweise maßgebenden Belastungsfall dar, der nicht auszuschließen ist.

Dieser Ansatz berücksichtigt einen Wasserüberdruck in Richtung Wasserseite, da nach einem Hochwasser auf der Luftseite deutlich höhere GW-Stände herrschen und die Wasserstände im Gewässer bereits schneller abgesunken sind. Die luftseitigen Wasserstände werden maximal bis zur GOK am Deichfuß angenommen. Wasserseitig wird ein um 1,0 m niedrigerer Wasserstand angesetzt. Dieser Ansatz orientiert sich an der EAU 2012, Pkt. 4.2, Bild E-19-1, Situation 2a /17/. Genauere Ansätze sind nur möglich, wenn Ergebnisse einer Grundwassermodellierung oder anderweitige Angaben vorliegen.

- Wasserseite: 1,0 m unterhalb des luftseitigen Wasserstandes
- Landseite: Grundwasserstand im Hinterland = GOK (Deichfuß, bzw. Fuß Berme)

Luftseitige Wasserstände über Gelände werden nicht berücksichtigt.

5.3.2 Versagen von Dichtungen

Die Spundwand übernimmt im vorliegenden Fall sowohl tragende als auch dichtende Funktion. Stahlspundwände zeichnen sich erfahrungsgemäß durch eine hohe Systemsicherheit hinsichtlich ihrer dichtenden Wirkung aus. Das hydraulische Versagen der Spundwand wird daher nicht betrachtet.

5.3.3 Versagen von Dräns

Aufgrund der vergleichsweise seltenen hydraulischen Beanspruchung und der flächigen Anordnung kann dieser Belastungsfall als sehr selten betrachtet bzw. ausgeschlossen werden. Daher wird ein hydraulisches Versagen bei Deich (BS-A.3) und Spundwand nicht berücksichtigt.

5.3.4 Windwurf

Für den Wurzelkrater werden folgende Annahmen getroffen:

Wurzelkrater: Tiefe 1,5 m gemäß DWA-M 507-1,
Neigung des Kraters zur Spundwand: Reibungswinkel $\varphi_k/2$ des abgerutschten Deichmaterials bzw. der Bodenschicht im Untergrund.

Die Betrachtungen erfolgen im Abschnitt 2 an den Profilen km 0+150 und km 0+455 für die Baumstandorte auf der Wasserseite.

5.3.5 Eisdruck

In DIN 19712 und DWA-M 507-1 werden keine Angaben zu den Lastansätzen gemacht.

In Abstimmung mit dem LfU wurde folgender Lastansatz für den Eisdruck berücksichtigt:

- $p_E = 60 \text{ kN/m}$ als Linienlast in Höhe des BHW

Dies entspricht einer horizontalen Flächenlast von $p_E = 180 \text{ kN/m}^2$ bei einer Mindesteisdicke von 30 cm.

6. Bemessungssituationen

6.1 Deich und wasserseitige Böschungen

ständige Bemessungssituation (BS-P) – Hochwasserzustand

- BS-P.1 – BHW
 - Eigenlast,
 - Wasserstand im Vorland: BHW,
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast auf Deichverteidigungsweg (Deichkrone) $p_V = 33,0 \text{ kN/m}^2$
- BS-P.2 – fallender Wasserspiegel von BHW
 - Eigenlast,
 - fallender Wasserspiegel ausgehend vom BHW bis zum wasserseitigen Deichfuß,
 - Verkehrslast auf Deichverteidigungsweg (Deichkrone) $p_V = 33,0 \text{ kN/m}^2$

außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A) – besondere Belastungen/Situationen

- BS-A.1 – Bordvoll
 - Eigenlast,
 - Wasserstand im Vorland: bordvoller Einstau bis zu wasserseitigen Deichkrone,
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast auf Deichverteidigungsweg $p_V = 33,0 \text{ kN/m}^2$
- BS-A.2 – BHW
 - Eigenlast,
 - Wasserstand im Vorland: BHW,
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast auf Deichverteidigungsweg (Deichkrone) $p_V = 33,0 \text{ kN/m}^2$
 - Versagen der Dichtung (GTD und Dichtungskeil)

BS-P.2 fallender Wasserspiegel:

Auf Grund des homogenen Deichaufbaues und der vorhandenen gleichen Geometrie wurde die Bemessungssituation P.2 nur an einem Querprofil nachgewiesen.

Dabei wurden die Zeitabstände beim BS-fWsp im 3 Tagesrhythmus angesetzt, nach d15 waren die Ausnutzungsgrade im Maximum, weshalb nach d18 der Nachweis erfüllt erbracht war.

Die vorübergehende Bemessungssituation (BS-T) wurde nicht betrachtet, da Bauzustände bei der Errichtung von Deichen keine Hochwasserschutzfunktion haben und ein Versagen damit nicht maßgebend ist.

Wasserstände:

Bei den Berechnungen wurden die Bemessungswasserstände wie folgt angesetzt:

Querprofil	Bemessungswasserstände [mDHHN 92]	
	Lastfall BS-P	Lastfall BS-A
0+968	81,37	81,87
1+250	81,34	81,84

Tabelle 4: Wasserstände

6.2 Spundwände

Unter Berücksichtigung der genannten Einwirkungen werden gemäß DIN 19712 die folgenden Bemessungssituationen (BS) untersucht.

Ständige Bemessungssituation (BS-P)

- Bemessungssituation BS-P1.1
 - vollständiges Deichprofil
 - Wasserstand im Vorland: mittlerer Grundwasserstand
 - Wasserstand im Hinterland: mittlerer Grundwasserstand
 - Verkehrslast $p_V = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)

- Bemessungssituation BS-P1.2
 - vollständiges Deichprofil
 - Wasserstand im Vorland: BHW
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)
- Bemessungssituation BS-P1.3
 - vollständiges Deichprofil
 - Wasserstand im Vorland = Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)
- Bemessungssituation BS-P.2:
 - vollständiges Deichprofil
 - Wasserstand im Vorland: 0,5 m unter luftseitigem Wasserstand
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)

Außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A)

- Bemessungssituation BS-A1.1
 - vollständiges Deichprofil,
 - Wasserstand im Vorland: bordvoll, bis OK Wand/Deich
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)
- Bemessungssituation BS-A1.2
 - vollständiges Deichprofil
 - Wasserstand im Vorland: 1,0 m unter luftseitigem Wasserstand
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)
- Bemessungssituation BS-A1.3
Diese Bemessungssituation wurde im Abschnitt 1 und 3 berücksichtigt.
 - wasserseitige Deichböschung vollständig erodiert
 - Wasserstand im Vorland: 0,5 m unter luftseitigem Wasserstand
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)
- Bemessungssituation BS-A1.4
Diese Bemessungssituation wurde im Abschnitt 2 berücksichtigt.
 - Windwurf wasserseitig in Verbindung mit Erosion
 - Wasserstand im Vorland: 0,5 m unter luftseitigem Wasserstand
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_v = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)

- Bemessungssituation BS-A1.5
 - vollständiges Deichprofil,
 - Wasserstand im Vorland: BHW
 - Wasserstand im Hinterland: GOK
 - Verkehrslast $p_V = 33,0 \text{ kN/m}^2$ (kein Ansatz wenn stützende Wirkung)
 - Eisdruck $p_E = 60 \text{ kN/m}$ in Höhe BHW

7. Ergebnisse

7.1 Deiche

Die DIN 19712 fordert den Nachweis der allgemeinen Standsicherheit der Böschungen, der örtlichen Sicherheit, z.B. bei Sickerwasseraustritten an der Böschung, der Auftriebssicherheit, der hydraulischen Grundbruchsicherheit und der Suffosionssicherheit.

Porenwasserdrücke

Für die Berechnung der Lastfälle BS-P1 und BS-A1 ist die Böschung der Luftseite maßgebend. Hierfür wurde ein auf die Böschung gerichtete stationäre Sickerwasserströmung mit einem Porenwasserdrucknetz modelliert. Die dabei resultierenden Porenwasserdrücke werden als Einwirkungen in den erdstatischen Berechnungen verwendet.

Die Bemessungssituation BS-P2 (schnelle Wasserspiegelabsenkung) wurde instationär gerechnet.

Der zeitliche Berechnungsansatz wurde entsprechend dem Erläuterungsbericht gewählt, der dem Verlauf der schnellen Wasserspiegelabsenkung der Ganglinie des HW2010 am Pegel Herzberg entspricht.

Die lineare Absenkung der ablaufenden HW-Ganglinie wurde gemäß Pkt. 4.3.2 betrachtet:

Potentialrandbedingungen und Netzgeometrie

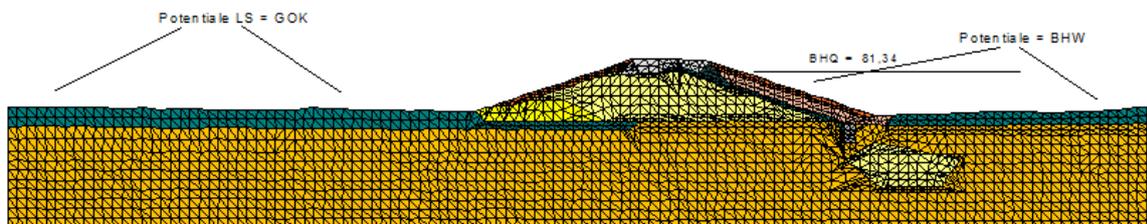


Abbildung 3: **Netzgeometrie QP 1+250 und Bereiche der Potentiale**

Berechnungsergebnisse:

Die Ergebnisse der untergrundhydraulischen Berechnungen sind für die Querprofile gemäß Planung in den angehängten EDV Ausdrucken dargestellt.

Bemessungssituation BS-P.1

Querprofil	Deckschicht		Nachweis		Wassermenge l/s pro lfm
	UK	OK	Auftrieb	hydr. Grundbruch	
0+968	78,33	79,75	0,854	0,825	$2,2 \times 10^{-3}$
1+250	77,79	79,23	0,641	0,292	$1,3 \times 10^{-3}$

Tabelle 5: Ergebnisse der untergrundhydraulischen Berechnungen BS-P**Bemessungssituation BS-A.1**

Querprofil	Deckschicht		Nachweis		Wassermenge l/s pro lfm
	UK	OK	Auftrieb	hydr. Grundbruch	
0+968	78,33	79,75	0,902	0,924	$2,3 \times 10^{-3}$
1+250	77,79	79,23	0,620	0,204	$1,7 \times 10^{-3}$

Tabelle 6: Ergebnisse der untergrundhydraulischen Berechnungen BS-A**1. Tragsicherheitsnachweise der Deichprofile****Allgemeine (globale) Tragsicherheit**

Die globale Böschungsbruchsicherheit wurde nach DIN 1054 mit dem Gleitkreisverfahren nach BISHOP/KREY durchgeführt. Dabei wurden im Gegensatz zur lokalen Standsicherheit tiefer reichende, kreisförmige Bruchkörper mit Lamellen untersucht. Die Berechnung erfolgte mit dem Programm GGU-STABILITY, Version 12.04.

Bei der Berechnung zum Nachweis der Böschungen wurden die sich aus den untergrundhydraulischen Berechnungen ergebenden Porenwasserdrücke in einem Ansatz als Porenwasserdrucknetz berücksichtigt.

Im Zuge der Berechnungen wurden die Einwirkungen E mit den rückhaltenden Widerständen R verglichen und Ausnutzungsgrade ermittelt. Ausreichende Sicherheiten sind bei Ausnutzungsgraden $\mu \leq 1,0$ vorhanden.

Die Nachweise der luft- und wasserseitigen Böschung sind nachfolgend zusammengefasst.

Für die Lastfälle BS-P und BS-A ergibt sich:

BS	QP 0+968	QP 1+200
P.1	0,80	0,94
A.1	0,74	0,57

Tabelle 7: Globale Tragsicherheit, Lastfälle BS-P und BS-A

Somit wurden für die Lastfälle BS-P und BS-A durchgehend Ausnutzungsgrade von $\mu < 1$ nachgewiesen. Es liegt somit ausreichende globale Tragsicherheit vor.

Lokale Tragsicherheit

Die lokale Böschungsbruchsicherheit wurde nach DIN 1054 mit dem Verfahren nach Janbu (Polygone / Lamellen) durchgeführt. Dabei wurden im Gegensatz zur globalen Standsicherheit flache, kreisförmige Bruchkörper mit Lamellen untersucht. Die Berechnung erfolgte mit dem Programm GGU-STABILITY, Version 12.16.

Bei der Berechnung zum Nachweis der Böschungen wurden die sich aus den untergrundhydraulischen Berechnungen ergebenden Porenwasserdrücke in einem Ansatz als Porenwasserdrucknetz berücksichtigt.

Im Zuge der Berechnungen wurden die Einwirkungen E mit den rückhaltenden Widerständen R verglichen und Ausnutzungsgrade ermittelt. Ausreichende Sicherheiten sind bei Ausnutzungsgraden $\leq 1,0$ vorhanden.

Folgende Ergebnisse wurden für die luftseitige Böschung ermittelt:

BS	QP 0+968	QP 1+200
P.1	0,57	0,54
A.1	0,51	0,50

Tabelle 8: Lokale Tragsicherheit Bemessungssituation BS-P und BS-A

Sowohl Schutzschicht als auch Böschungswinkel der Wasserseite gleichen dem der Landseite. Somit ist für alle Lastfälle der Ausnutzungsgrad $\mu < 1$ nachgewiesen.

Lokale Tragsicherheit am Deichfuß (Spreizsicherheit)

Der Nachweis der Spreizsicherheit ist gemäß DIN 19712 nur bei weichem, bindigem Untergrund am Deichfuß zu führen. Diese Verhältnisse liegen nicht vor. Um dennoch Angaben zur vorhandenen Sicherheit gegen Spreizen zu erhalten, wurden entsprechende Berechnungen für die Lastfälle BS-T und BS-A durchgeführt.

In Merkblatt DWA-M 507 aufgeführten Verfahren weisen Einschränkungen in der Anwendbarkeit (teilweise keine kohäsiven Böden, keine Strömungskräfte, keine Verkehrslasten) auf. Daher erfolgen im vorliegenden Fall erdstatische Betrachtungen an polygonalen Bruchkörpern nach der Methode der Starrkörperbruchmechanismen. Dabei erfolgt eine Variation des aktiven Gleitwinkels am Gleitkeil, was dem aktiven Erddruckansatz gleichkommt.

Folgende Ergebnisse wurden für die luftseitige Böschung ermittelt:

BS	QP 0+968	QP 1+200
P.1	0,55	0,36
A.1	0,49	0,42

Tabelle 9: Lokale Tragsicherheit am Böschungsfuß

Es sind somit durchgehend ausreichende Sicherheiten gegen Spreizen vorhanden.

Globale Standsicherheit Gleitsicherheit (Sicherheit gegen Abschieben des Deichkörpers)

Die Gleitsicherheit des Deiches wird mit dem Standsicherheitsprogramm für eine ebene Gleitfläche mittels Blockgleitmethode ermittelt. Die ebenen Gleitflächen werden variiert zwischen einer horizontalen Gleitfläche, ausgehend von luftseitigem Böschungsfuß, und einer Gleitfläche zwischen Vorlandfuß und wasserseitigem Böschungsfuß.

Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

BS	QP 0+968	QP 1+200
P.1	0,06	0,05
A.1	0,09	0,08

Tabelle 10: Globale Standsicherheit gegen Gleiten

Darstellung der Ergebnisse der Bemessungssituation BS-P2, fallender Wasserspiegel für das Querprofil QP 1+250

Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

Zeit	glob. Stand.	lok. Stand.	spreizen
6d	0,76	0,77	0,23
9d	0,72	0,71	0,29
12d	0,74	0,72	0,45
15d	0,74	0,75	0,54
18d	0,73	0,58	0,57

Tabelle 11: Globale Standsicherheit gegen Gleiten

Sicherheit gegen Materialtransport

Nachweis des geometrischen Kriteriums nach DWA-M 507-1:2011:

Nachweise von Kontakterosion und Suffosion:

Überprüfung der Einhaltung des geometrischen Kriteriums:

Prüfung, ob der feinere Boden durch die Öffnungen des gröberen Bodens wandern kann (Erosion), bzw. die Feinanteile eines weitgestuften Bodens in der Lage sind, durch die Hohlräume des gröberen Anteils zu wandern (Suffosion). Falls das geometrische Kriterium nicht eingehalten wird, ist die Überprüfung des hydraulischen Kriteriums notwendig.

Zum Suffosionsnachweis kann gemäß BAWMerkblatt-MSD:2011 vorab überprüft werden, ob eines der nachfolgenden Kriterien erfüllt ist. Ist dies der Fall, so kann der Boden mit ausreichender Sicherheit, ohne weitergehende Untersuchungen, als suffosionssicher eingeschätzt werden:

$U \approx 1$

$U < 10$ und eine Körnungslinie, die in halblogarithmischer Darstellung einer Geraden entspricht

$ID > 0,6$ bei $U > 10$ und eine Körnungslinie, die in halblogarithmischer Darstellung einer Geraden entspricht, mit $ID = (e_{max} - e_n) / (e_{max} - e_{min})$

$U < 8$ und eine stetige Körnungslinie

Ansonsten kann zum geometrischen Nachweis der Suffosion die Kornverteilung in Feinanteil (Basiserdstoff) und Grobanteil (Filtererdstoff) an der Stelle bei ca. 10 % - 20 % des Siebdurchgangs getrennt werden, falls nicht auffällige Fehlkorndurchmesser vorhanden sind (vgl. DWA-M 507-1:2011). Mit beiden Fraktionen wird dann analog ein Kontakterosionsnachweis durchgeführt.

Für nichtbindige Erdstoffe mit $U \leq 20$ kann für den Nachweis gegen Kontakterosion das Kriterium nach CISTIN & ZIEMS Anwendung finden. Mit Hilfe der Ungleichförmigkeiten des Basiserdstoffes UB und des Filtererdstoffes UF kann dann grafisch ein zulässiges Abstandsverhältnis A_{50} ermittelt werden (vgl. nachfolgende Abbildung).

Das vorhandene Abstandsverhältnis $A_{50\text{vorh}}$ kann wie folgt ermittelt werden:

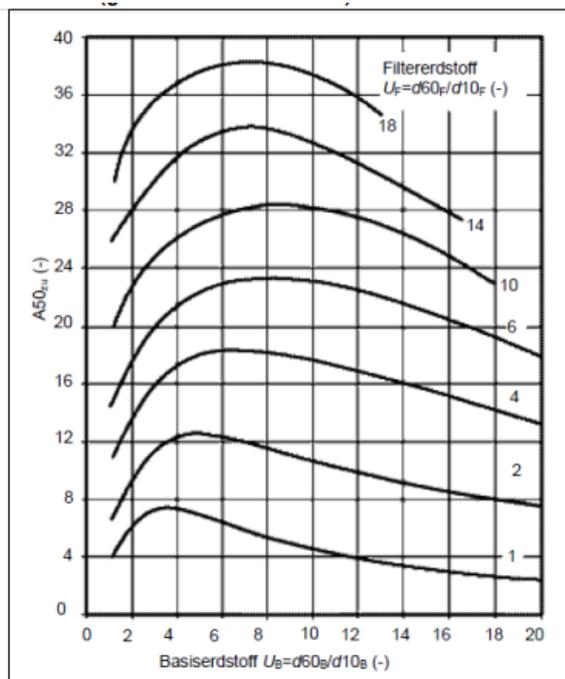
$$A_{50\text{vorh}} = d_{50F}/d_{50B}$$

Genügt das vorhandene Abstandsverhältnis der Bedingung

$$A_{50\text{vorh}} \leq A_{50\text{zul}}$$

ist der Boden gegenüber der angrenzenden Schicht erosionssicher bzw. suffusionssicher. Das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte braucht nicht angewendet werden, da bereits ausreichende Sicherheiten im Verfahren enthalten sind (vgl. DWA-M 507-1:2011). Kann der Nachweis nicht geführt werden, so muss der Nachweis des hydraulischen Kriteriums erfolgen.

Abbildung 1: Kriterium nach CISTIN & ZIEMS zum Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion (gem. DWA-M 507-1:2011)



Nachweis des hydraulischen Kriteriums:

Für die Überprüfung des hydraulischen Kriteriums wird dem vorhandenen hydraulischen Gradienten, der dem Strömungsmodell entnommen werden kann, ein Grenz- bzw. kritischer Gradient gegenübergestellt. Dabei werden wiederum Bemessungswerte nach dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte betrachtet:

$$i_{\text{vorh}} \times g_{\text{H,vorh}} \leq i_{\text{krit}} / g_{\text{H,krit}}$$

Das kritische Strömungsgefälle für Böden mit $U \leq 5$ wird nach Ziem (1969) wie folgt bestimmt:

$$i_{\text{krit,B}} = 0,66 + \frac{6}{d \cdot 10^{\frac{2}{5}} \times 450^{\frac{2}{5}}}$$

Nachweis:

Der Deichkörper selbst ist ein Neubau und wird vollständig aus Liefermaterialien hergestellt. Den Liefermaterialien wird unterstellt, dass diese von vornherein die geometrischen Kriterien der Erosions- und Suffosionssicherheit einhalten.

Für bindige Böden müssen auf Grund der Kohäsion der Feinanteile im Allgemeinen keine Nachweise gegen Kontakterosion durchgeführt werden (vgl. DWA-M 507-1:2011).

Demnach müssen im vorliegenden Fall Nachweise für die nichtbindigen anstehenden Böden im Untergrund erbracht werden.

Nachweis gegen Erosionsgrundbruch:

Gemäß DWA-M 507-1:2011 kann für den Nachweis gegen Erosionsgrundbruch das Verfahren nach CHUGAEV Anwendung finden. Dort wird der Bemessungswert des vorhandenen mittleren Gradienten mit dem Bemessungswert eines kritischen bodenspezifischen Gradienten verglichen. Der kritische Gradient kann nachfolgender Abbildung entnommen werden:

Abbildung 2: Kritischer Gradient nach CHUGAEV (Erosionsgrundbruch)

Bodenart	$i_{\text{krit}} (-)$
Dichter Ton	0,40 – 0,52
Grobsand, Kies	0,25 – 0,33
Schluffiger Ton	0,20 – 0,26
Mittelsand	0,15 – 0,20
Feinsand	0,12 – 0,16

Am luftseitigen Deichfuß können Fehlstellen in der in der anstehenden Auelehmschicht (Deckstauer) nicht ausgeschlossen werden, daher sind während der Baumaßnahmen ent-

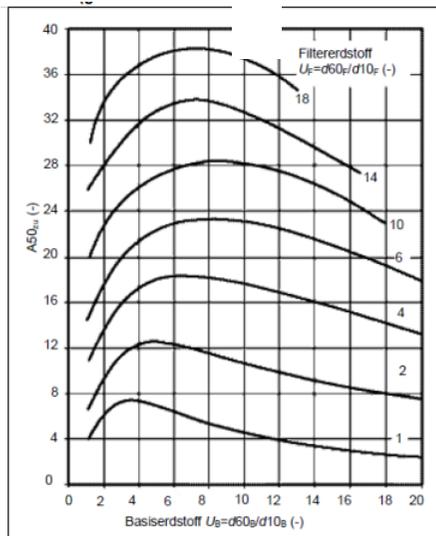
sprechende Suchschachtungen durchzuführen und bei Erfordernis Sickerschlitze zur Verhinderung von Grundbruchgefährdung anzulegen.

Nachweis Materialtransport:

Nachweis des geometrischen Kriteriums nach DWA-M 507-1:2011

Geometrischer Nachweis der Standsicherheit gegen Kontakterosion nach CISTIN & Ziems / MMB (2013) - QP 0+968 und 1+250

Nr.	Bodenfunktion	Bezeichnung	Kornverteilung	d60	d50	d10	U		Nachweis
				[mm]	[mm]	[mm]	[-]		
1	Basiserdstoff	Stützkörper SE	Lieferbedingungen	0,4	0,3	0,11	3,636	$A50_{vorh} < A50_{kritisch}$	erfüllt!
	Filtererdstoff	Filterkörper GW	Standardwerte	0,6	0,4	0,18	3,333	$1,3 < 14$	
2	Basiserdstoff	S2.1-S3.2 TL-ST*/SU*	Körnungsband MW	0,15	0,125	0,0025	60	$A50_{vorh} < A50_{kritisch}$	erfüllt!
	Filtererdstoff	Filterkörper GW	Standartwerte	0,6	0,4	0,18	3,333	$3,2 < 15$	



Der Nachweis der Kontakterosion nach CISTIN & ZIMS ist erfüllt.

Geometrischer Nachweis der Sicherheit gegen Suffosion - QP 0+968 und 1+250

Gemäß BAW-Merkblatt - MSD (2011) gelten Böden, die eines der nachfolgenden Kriterien erfüllen, ohne gesonderten Nachweis als Suffosions-sicher:

Nr.	Kriterium
(1)	$U \approx 1$
(2)	$U < 1$ und eine Körnungslinie, die in halblogarithmischer Darstellung einer Geraden entspricht
(3)	$I_p > 0,6$ bei $U > 10$ und eine Körnungslinie, die in halblogarithmischer Darstellung einer Geraden entspricht, mit $I_D = (e_{max} - e_n) / (e_{max} - e_{min})$
(4)	$U < 8$ und eine stetige Körnungslinie

Nr.	Bodenbezeichnung	Kornverteilung nach	d60 [mm]	d10 [mm]	$U = d60/d10$	Einschätzung d. Kornverteilung	Einschätzung
1	GTD	Herstellerangaben	-	-	-	-	Suffosions-sicher
2	Dichtungsprisma Schluff/Ton	Standardwerte	0,02	0,003	6,67	stetig	Suffosions-sicher
3	Stützkörper GL	Standardwerte	2,5	0,9	2,78	stetig	Suffosions-sicher
4	Filtermaterial G	Standardwerte	10	2,8	3,57	stetig	Suffosions-sicher

Bei den Hochwasserschutzanlagen handelt es sich um Deichneubauten, so dass bei den Materialanforderungen des einzubauenden Lockergesteins die entsprechenden Materialeigenschaften gefordert werden müssen.

Nachweis der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch nach CHUGAEV - QP 0+968 und 1+250

Teilsicherheitsbeiwerte (gem. DIN 19712:2013-01)

	Einwirkung	Widerstände
BS-P	1.35	1.10
BS-T	1.20	1.10
BS-A	1.10	1.10

Bodenart	i_{krit} [-]
Dichter Ton	0,40 – 0,52
Grobsand, Kies	0,25 – 0,33
Schluffiger Ton	0,20 – 0,26
Mittelsand	0,15 – 0,20
Feinsand	0,12 – 0,16

Kritischer Kontrollgradient i_{krit} nach CHUGAEV (DAVIDENKOFF 1970)

Nr.	Bodenbezeichnung	Bemessungssituation	$i_{vorh,ch}$ (Ø) (charakt.)	$i_{krit,ch}$ (charakt.)	$i_{vorh,d}$ (Ø) (bem.)		$i_{krit,d}$ (bem.)	Entscheidung
1	S2.1-3.1 (TL-ST*/SU*)	BS-P.1	0,329	0,2	0,405	>	0,182	Nachweis nicht erfüllt!
		BS-P.2	0,330	0,2	0,405	>	0,182	Nachweis nicht erfüllt!
		BS-A.1	0,4	0,2	0,440	>	0,182	Nachweis nicht erfüllt!

Die vorhandenen charakteristischen Gradienten $i_{vorh,ch}$ wurden der Potentialberechnung der jeweiligen Bemessungssituation entnommen. Diese stellen einen groben Mittelwert aus den Gradienten entlang des Untergrundes zwischen der WS Dichtung und dem SL-Austritt an der nahen Geländeböschung dar.

Die kritischen charakteristische Kontrollgradienten $i_{krit,ch}$ wurden der oberen Tabelle entnommen.

Die Nichterfüllung des Erosionsgrundbruch-Nachweises ist als nicht kritisch anzusehen, wenn die Bodenkörner nicht austreten können.

Dies ist bei Einhaltung der Nachweise für Kontakterosion, hydraulischem Grundbruch und Erosionsgrundbruch für die darüber liegende Bodenschicht der Fall.

7.2 Spundwände

Pos. 003- HWS Spundwandsicherung, Stat. 1+947 Planung

Pos. 004- HWS Spundwandsicherung, Stat. 2+200 Planung

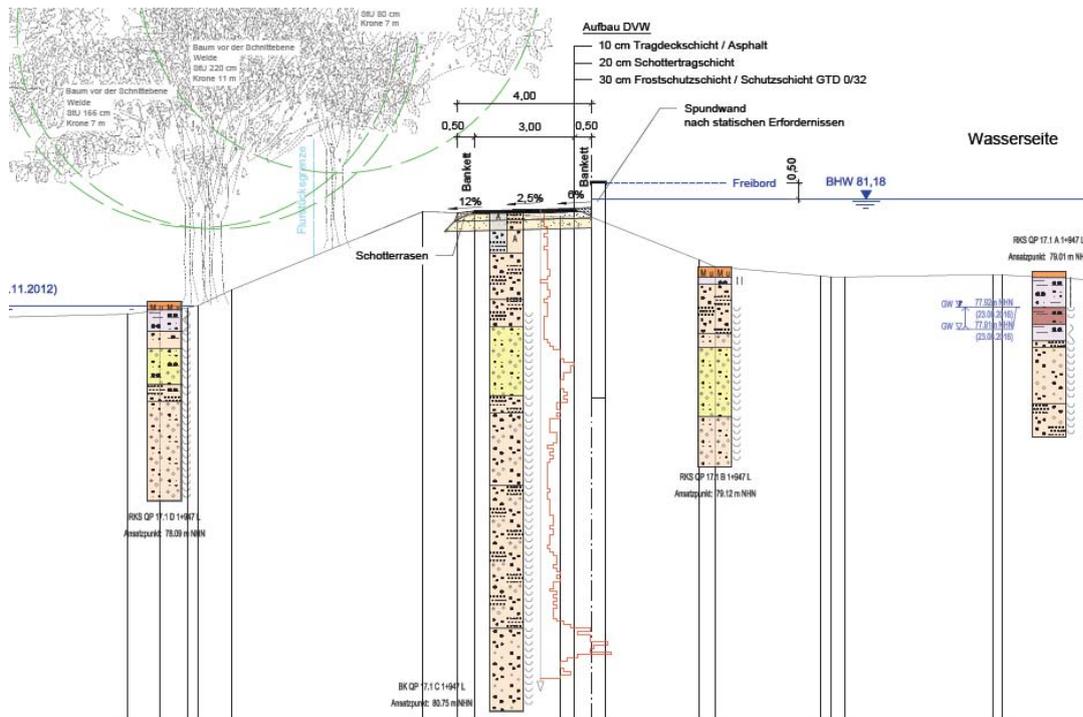


Abbildung 4: Regelprofil bei Stat. 1+947

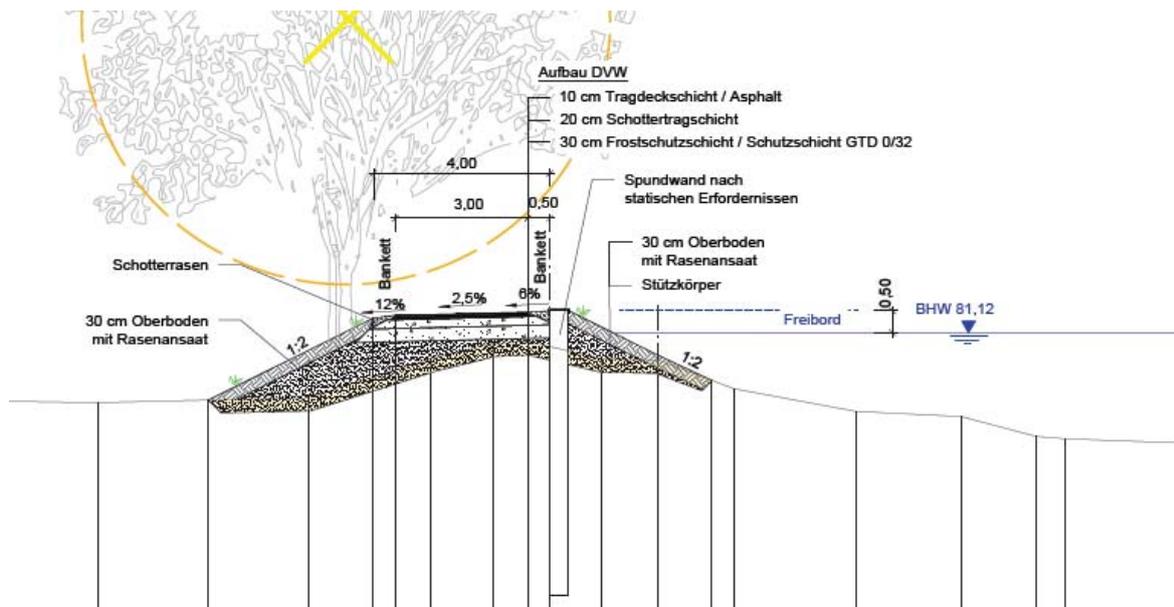


Abbildung 5: Regelprofil bei Stat. 2+200

Baugrund/Materialkennwerte

Nach [3] werden folgende Kennwerte des vorhandenen Baugrundes angesetzt:

Stat.: 1+947

Schicht	Bezeichnung	Reibungswinkel	Wichte	Kohäsion	Durchlässigkeits-beiwert
		[°]	[kN/m ³]	[kn/m ²]	[m/s]
S3.2 (l)	SU*/ST*	34	18,0	0	1x10 ⁻³
S4.2 (md)	SU*/ST*, SU	32,5	17,5	0	7x10 ⁻⁴
S4.1 (md)	SE	32,5	19	0	1x10 ⁻⁴

Tabelle 12: Materialkennwerte QP 1+947

Stat.: 2+200

Schicht	Bezeichnung	Reibungswinkel	Wichte	Kohäsion	Durchlässigkeits-beiwert
		[°]	[kN/m ³]	[kn/m ²]	[m/s]
S4.1 (l-md)	SE	30	17,0	0	1x10 ⁻⁴
S4.1 (md)	SE	32,5	18,0	0	1x10 ⁻⁴
S4.1 (d)	SE	32,5	18,0	0	1x10 ⁻⁴

Tabelle 13: : Materialkennwerte QP 2+200

Weitere Ausführungen zu den hydrogeologischen und den Baugrundverhältnissen finden sich in der Baugrundhauptuntersuchung [3].

2. Ergebnisübersicht

Berechnung des Profils der Stat. 1+947 und 2+200:

Untersucht und nachgewiesen wurde die ungünstigste (außergewöhnliche) Bemessungssituation, bei welcher die durch das Einbringen der Spundwand ggf. aufgelockerte wasserseitige Böschung, ohne Zeit zur Konsolidierung, durch ein Hochwasserereignis nach schnell fallendem Wasserspiegel erodiert.

Bemessungssituation Stat. 1+947	Profil	Widerstandsmoment $W_{el}[\text{cm}^3/\text{m}]$	Erforderliche Profillänge [m]	Kopfauslenkung [mm]
BS-P1.1	GU6N	625	4,70	2,5
	GU8S	820	4,70	1,9
BS-P1.2	GU6N	625	3,43	0,3
	GU8S	820	3,43	0,2
BS-P1.3	GU6N	625	4,82	2,7
	GU8S	820	4,82	2,0
BS-P2	GU6N	625	4,70	2,5
	GU8S	820	4,70	1,9
BS-A1.1	GU6N	625	5,48	6,0
	GU8S	820	5,48	4,5
BS-A1.2	GU6N	625	2,71	0,1
	GU8S	820	2,71	0,0
BS-A1.3	GU6N	625	6,58	37,3
	GU8S	820	6,58	28,2
BS-A1.4	GU6N	625	6,86	48,3
	GU8S	820		36,5
	AZ12-700	1.205		24,7
	AZ14-700	1.405		21,0

Tabelle 14: Ergebnisse Spundwandberechnung QP 1+947

Nachweis	Stat. 1+947
Aufschwimmen	0,80 < 1
hydraulischer Grundbruch	0,72 < 1

Tabelle 15: Nachweis der Lagesicherheit gegen Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch

Alle Nachweise im Planzustand sind eingehalten < 1.

Bemessungssituation Stat. 2+200	Profil	Widerstandsmoment W_{el}[cm³/m]	Erforderliche Profillänge [m]	Kopfauslenkung [mm]
BS-P1.1	GU6N	625	4,89	19,8
	GU8S	820	4,89	15,9
BS-P1.2	GU6N	625	5,66	12,8
	GU8S	820	5,66	9,7
BS-P1.3	GU6N	625	4,95	6,3
	GU8S	820	4,95	4,7
BS-P2	GU6N	625	4,89	6,0
	GU8S	820	4,89	4,5
BS-A1.1	GU6N	625	4,89	7,5
	GU8S	820	4,89	5,6
BS-A1.2	GU6N	625	3,63	1,2
	GU8S	820	3,63	0,9
BS-A1.3	GU6N	625	6,28	45,2
	GU8S	820	6,28	34,2
BS-A1.4	GU6N	625	5,48	22,7
	GU8S	820		17,2
	AZ12-700	1.205		11,6
	AZ14-700	1.405		9,9

Tabelle 16: Ergebnisse Spundwandberechnung QP 2+200

Nachweis	2+200
Aufschwimmen	0,68 < 1
hydraulischer Grundbruch	0,35 < 1

Tabelle 17: Nachweis der Lagesicherheit gegen Aufschwimmen und hydraulischem Grundbruch

Alle Nachweise im Planzustand sind eingehalten < 1.

Bei der Ermittlung der Profile wurden, jeweils für den ungünstigsten Bemessungssituation BSA1.4, 4 verschiedene Profile mit unterschiedlichen Widerstandsmomenten betrachtet.

Profil	Profildicke [mm]	Widerstandsmoment [cm ³ /m]	Auslenkung [mm]	
			QP 1+947	2+200
GU6N	6	625	50,2	32,7
GU8S	8	820	37,9	24,7
AZ12-700	8,5	1.250	25,7	16,7
AZ14-700	10,5	1.450	21,9	14,2

Tabelle 18: Ergebnisvergleich der Auslenkungen verschiedener Profile bei Bemessungssituation BS-A 1.4

Neben den rechnerisch erforderlichen Längen werden im nachfolgenden Lieferlängen empfohlen. Bei den empfohlenen Lieferlängen wurde eine paarweise Staffelung des Spundwandfußes von 1,0 m berücksichtigt (jede 2. Doppelbohle 1,0 m kürzer als erforderlich). Gemäß der EAU 2012, Pkt. 8.2.10.2 /16/, ist eine untere, paarweise Staffelung von 1,0 m ohne Nachweis möglich. Bei der Wahl der Lieferlängen wurde die Längentoleranz für warmgewalzte Spundbohlen berücksichtigt.

Es wird empfohlen, abschnittsweise gleiche Lieferlängen einzubauen.

Es wird empfohlen warmgewalzte Spundwandprofile zu verwenden.

Bei der Festlegung der Spundwandprofile sind die folgenden Angaben zu beachten:

Abschnitt 1: km 1+880 – 2+025:

- maßgebend: QS km 1+947
- empfohlene Lieferlänge: 7 m
- Stahlgüte: S240 GP
- statisch erforderliches elastisches Widerstandsmoment Wel: > 1.405 cm³/je m Wand
- erf. Wanddicke: t = 10,5 mm zzgl. beidseits 1,2 mm ≥ 12,9 mm
- erf. Wanddicke: s = 10,5 mm zzgl. beidseits 1,2 mm ≥ 12,9 mm.

Abschnitt 1: km 2+025 – 2-222:

- maßgebend: QS km 2+200
- empfohlene Lieferlänge: 7,0 m
- Stahlgüte: S240 GP
- statisch erforderliches, elastisches Widerstandsmoment Wel: > 820 cm³/je m Wand
- erf. Wanddicke: t = 8,0 mm zzgl. beidseits 1,2 mm ≥ 10,4 mm
- erf. Wanddicke: s = 7,5 mm zzgl. beidseits 1,2 mm ≥ 9,9 mm.

8. Anlagen

Anlage 1 Abschnitt 4, QS km 0+968

Seite	BS	Darstellung
1	P	Sicherlinie
2	P	Böschungsbruch, global
3	P	Böschungsbruch, lokal
4	P	Spreizen
5	P	Gleiten
6	P	Sicherheit gegen hydr. Grundbruch und Aufschwimmen
7	A.1	Sicherlinie
8	A.1	Böschungsbruch, global
9	A.1	Böschungsbruch, lokal
10	A.1	Spreizen
11	A.1	Gleiten
12	A.1	Sicherheit gegen hydr. Grundbruch und Aufschwimmen
13	A.2	Sicherlinie
14	A.2	Böschungsbruch, global
15	A.2	Böschungsbruch, lokal
16	A.2	Spreizen
17	A.2	Gleiten

Anlage 2 Abschnitt 4, QS km 1+250

Seite	BS	Darstellung
1	P.1	Sicherlinie
2	P.1	Böschungsbruch, global
3	P.1	Böschungsbruch, lokal
4	P.1	Spreizen
5	P.1	Gleiten
6	P.1	Sicherheit gegen hydr. Grundbruch und Aufschwimmen
7	P.2	Sicherlinie, 6d
8	P.2	Böschungsbruch, global, 6d
9	P.2	Böschungsbruch, lokal, 6d
10	P.2	Spreizen, 6d
11	P.2	Sicherlinie, 9d
12	P.2	Böschungsbruch, global, 9d
13	P.2	Böschungsbruch, lokal, 9d
14	P.2	Spreizen, 9d
15	P.2	Sicherlinie, 12d
16	P.2	Böschungsbruch, global, 12d
17	P.2	Böschungsbruch, lokal, 12d
18	P.2	Spreizen, 12d
19	P.2	Sicherlinie, 15d
20	P.2	Böschungsbruch, global, 15d
21	P.2	Böschungsbruch, lokal, 15d
22	P.2	Spreizen, 15d
23	P.2	Sicherlinie, 18d
24	P.2	Böschungsbruch, global, 18d
25	P.2	Böschungsbruch, lokal, 18d
26	P.2	Spreizen, 18d
27	A.1	Sicherlinie
28	A.1	Böschungsbruch, global
29	A.1	Böschungsbruch, lokal
30	A.1	Spreizen
31	A.1	Gleiten
32	A.1	Sicherheit gegen hydr. Grundbruch und Aufschwimmen
33	A.2	Sicherlinie
34	A.2	Böschungsbruch, global
35	A.2	Böschungsbruch, lokal
36	A.2	Spreizen
37	A.2	Gleiten

Anlage 3 Abschnitt 4 QS km 1+947

- Anlage 3.1 BS P1.1 – beidseits mittlere GW-Stände, Profil GU6N
- Anlage 3.2 BS P1.1 – beidseits mittlere GW-Stände, Profil GU8S
- Anlage 3.3 BS P1.2 – BHW, Profil GU6N
- Anlage 3.4 BS P1.2 - BHW, Profil GU8S
- Anlage 3.5 BS P1.3 – beidseits hohe GW-Stände, Profil GU6N
- Anlage 3.6 BS P1.3 – beidseits hohe GW-Stände, Profil GU8S
- Anlage 3.7 BS P.2 – fallender WSP nach BHW, Profil GU6N
- Anlage 3.8 BS P.2 – fallender WSP nach BHW, Profil GU8S
- Anlage 3.9 BS A1.1 – Bordvoll, Profil GU6N
- Anlage 3.10 BS A1.1 – Bordvoll, Profil GU8S
- Anlage 3.11 BS A1.2 – fallender WSP nach bordvollem Einstau, Profil GU6N
- Anlage 3.12 BS A1.2 – fallender WSP nach bordvollem Einstau, Profil GU8S
- Anlage 3.13 BS A1.3 – vollständige Erosion der wasserseitigen Böschung, Profil GU6N
- Anlage 3.14 BS A1.3 – vollständige Erosion der wasserseitigen Böschung, Profil GU8S
- Anlage 3.15 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil GU6N
- Anlage 3.16 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil GU8S
- Anlage 3.17 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil AZ 12-700
- Anlage 3.18 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil AZ 14-700
- Anlage 3.19 BS-A Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch und Auftriebssicherheit

Anlage 4 Abschnitt 4, QS km 2+200

- Anlage 4.1 BS P1.1 – beidseits mittlere GW-Stände, Profil GU6N
- Anlage 4.2 BS P1.1 – beidseits mittlere GW-Stände, Profil GU8S
- Anlage 4.3 BS P1.2 – BHW, Profil GU6N
- Anlage 4.4 BS P1.2 - BHW, Profil GU8S
- Anlage 4.5 BS P1.3 – beidseits hohe GW-Stände, Profil GU6N
- Anlage 4.6 BS P1.3 – beidseits hohe GW-Stände, Profil GU8S
- Anlage 4.7 BS P.2 – fallender WSP nach BHW, Profil GU6N
- Anlage 4.8 BS P.2 – fallender WSP nach BHW, Profil GU8S
- Anlage 4.9 BS A1.1 – Bordvoll, Profil GU6N
- Anlage 4.10 BS A1.1 – Bordvoll, Profil GU8S
- Anlage 4.11 BS A1.2 – fallender WSP nach bordvollem Einstau, Profil GU6N
- Anlage 4.12 BS A1.2 – fallender WSP nach bordvollem Einstau, Profil GU8S
- Anlage 4.13 BS A1.3 – vollständige Erosion der wasserseitigen Böschung, Profil GU6N
- Anlage 4.14 BS A1.3 – vollständige Erosion der wasserseitigen Böschung, Profil GU8S
- Anlage 4.15 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil GU6N
- Anlage 4.16 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil GU8S
- Anlage 4.17 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil AZ 12-700
- Anlage 4.18 BS A1.4 – BHW + Eisdruck, Profil AZ 14-700
- Anlage 4.19 BS-A Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch und Auftriebssicherheit