

INHALTSVERZEICHNIS

1	VORBEMERKUNGEN	3
2	AUSGANGSWERTE	3
3	BAUSTOFFE	4
3.1	Beton	4
3.2	Stahl	4
4	LASTANNAHMEN	5
4.1	Ständige Einwirkungen	5
4.2	Veränderliche Einwirkungen	5
4.3	Außergewöhnliche Einwirkungen	6
5	NACHWEIS DER STANDSICHERHEIT	7
5.1	Pos. 1 – Unterwasserbetonsohle	7
5.2	Pos. 2 – Spundwand Wehr – außen	8
5.2.1	Bauzustand – BS-T (ausgehobene Baugrube vor Einbau Unterwasserbeton)	8
5.2.2	Nutzungszustand – BS-P.1 (Revision - Stahlbetonsohle wirkt als Aussteifung)	8
5.2.3	Nutzungszustand – BS-P.2 (Eisdruck)	9
5.2.4	maßgebende Anforderungen	9
5.3	Pos. 3 – Spundwand Trennwand Wehr – Fischpass	9
5.3.1	Bauzustand – BS-T (ausgehobene Baugrube vor Betonage Unterwasserbeton)	9
5.3.2	Nutzungszustand – BS-P.1 (Revision - Stahlbetonsohle wirkt als Aussteifung)	10
5.3.3	Nutzungszustand – BS-P.2 (Eisdruck)	10
5.3.4	maßgebende Anforderungen	10
5.4	Pos. 4 – Spundwand Fischpass - außen	11
5.4.1	Abrostung	11
5.5	Pos.5 - Bauwerkssohle – Wehr und Fischpass	12
5.5.1	Anforderungen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit / Dauerhaftigkeit	12
5.5.2	Berechnung äußere Lasteinwirkung	13

5.6	Befestigungsdalben für Schwimmbalken	14
5.6.1	Einwirkungen	14
5.6.2	Berechnung	14
6	GEOHYDRAULISCHE BERECHNUNGEN	16
6.2	Unterströmung	16
6.3	Umströmung	18
6.4	Suffosion	19

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage		Seitenzahl
A 1	Berechnungen Unterwasserbetonsohle	1
A 2	Spundwandberechnungen	30
A 3	Berechnungen Bauwerkssohle	8
A 4	Berechnungen Befestigungsdalben	12
A 5	Geohydraulische Berechnungen	4
A 6	bauzeitliche Grundwasserhaltung	2

1 VORBEMERKUNGEN

In der Vorplanung des Vorhabens Verbesserung der Wasserverteilung im Staugürtel VI wurde als Vorzugsvariante die Herstellung einer Wehranlage mit parallelem Fischaufstieg am Standort des vorhandenen Notstaus in Spundwandbauweise herausgearbeitet und durch den Auftraggeber bestätigt.

Die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an diesem Bauwerk ist in diesem Zusammenhang ein wesentlicher Bestandteil. Dazu wird am rechtsseitigen Ufer eine Fischwanderhilfe als Vertical- Slot- Pass ebenfalls als Spundwandkonstruktion errichtet.

Die erforderliche Wehrbreite beträgt 2,50 m, der Fischpass erfordert eine lichte Breite von 2,45 m.

Zur sicheren Bedienung und Unterhaltung dieser wasserwirtschaftlichen Anlage ist eine Steganlage vorzusehen über die man die andere Gewässerseite erreichen kann. Die technische Umsetzung erfolgt als Stahlbaukonstruktion mit Walzprofilen als Haupttragelemente und Lichtgitterrosten als Belag.

2 AUSGANGSWERTE

Die verwendeten Daten sind dem Baugrundgutachten vom Ingenieur- und Baugrundbüro Kunze aus Peitz entnommen. Die aufgenommenen Bohrprofile und Rammdiagramme besitzen einen örtlichen Höhenbezug, so dass eine Zuordnung nach amtlichem Höhennetz DHHN 92 vorgenommen werden kann.

Folgende Bodenverhältnisse wurden am Bauwerksstandort angetroffen (Bohransatz=51,40mNHN).

UK Schicht [mNHN]	Bodenschicht	cal γ [kN/m ³]	cal γ' [kN/m ³]	cal ϕ' [°]	cal c ' [kN/m ²]	cal k [m/s]
bis 50,60	Oberboden (HZ,F)	12,0	2,0	15,0	0	1 *10 ⁻⁶
bis 50,50	Schluff (U,t)	17,0	8,5	20,0	15	1 *10 ⁻⁹
bis 50,00	Mittelsand, feinsandig, locker	17,5	10,5	30,0	0	1 *10 ⁻⁴
darunter	Mittelsand,feinsandig,grobsandig (SE, mitteldicht bis dicht)	18,0	11,0	32,0	0	1 *10 ⁻⁴

3 BAUSTOFFE

3.1 Beton

Bauteil	Expositionsklassen	erforderliche Mindestbetonqualität zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit
Unterwasserbeton	XC 2, XA 1, WF	C 25/30 aus Expositionsklassen, betontechnologisch sind höhere Anforderungen möglich
Bauwerkssohle	XC 2, XA 1, XM1, WF	C 30/37

3.2 Stahl

Qualitätsanforderungen Stahlwasserbau : siehe gesonderte Unterlage

Sonstige Elemente (Geländer, Bediensteg, ...): S 235

Spundwände : S 240 GP

4 LASTANNAHMEN

4.1 Ständige Einwirkungen

<u>Eigengewicht</u>	Stahlbeton:	25,00 kN/m ³ (ungünstig)
		24,00 kN/m ³ (günstig)
	Stahl (S 235):	78,50 kN/m ³

Erddruck aus Hinterfüllung: entsprechend Bodenschichtung aus Baugrunderkundung

<u>Wasserdruck:</u>	OW = 51,10 mNHN (Stauziel)
	UW = 50,74 mNHN (MNW)
	UW = 49,90 mNHN (UW-Sohlhöhe)

4.2 Veränderliche Einwirkungen

Verkehrslasten

Ersatzflächenlast (nicht befahrbare Flächen)	5,00 kN/m ²
Alternativ: Einzellast in ungünstigster Stellung	2,00 kN
Handlauf, horizontal:	1,00 kN/m
Fahrzeuge auf Hinterfüllung, bauzeitlich	16,7 kN/m ²
Fahrzeuge auf Hinterfüllung, Revision	10,0 kN/m ²

Eisdruck und Eisstoß

$p_E = 150 \text{ kN/m}^2$, $h_E = 0,3\text{m}$ (nach DIN 19704), OW = 51,10 m NHN, UW = 50,70 m NHN
bzw. $p_{E,th.} = 150 \text{ kN/m}^2$, $h_E = 0,4\text{m}$ (thermischer Eisdruck nach EAU, E 205)

Windlasten

Über Geländeoberkante befinden sich keine größeren Bauteilflächen, so dass diese Einwirkung keine relevanten Schnittgrößen liefert.

Temperatur: ohne gesonderten Nachweis

Anpralllasten: sind mit Ersatzkräften aus Eis abgedeckt

4.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

Aus dieser Einwirkungskategorie sind für die betrachtete Anlage keine Belastungen vorhanden.

5 NACHWEIS DER STANDSICHERHEIT

5.1 Pos. 1 – Unterwasserbetonsohle

Aufgrund des hohen Eisengehaltes im Grundwasser an diesem Standort wurde zur Reduzierung des Aufwandes der Wasserhaltung die Herstellung einer Unterwasserbetonsohle im Spundwandkasten als Vorzugslösung gewählt.

Entsprechend der als Anlage beigefügten Berechnung ist bei einem maximalen Grundwasserstand von 51,10 mNHN und einer Oberkante des Unterwasserbetons von 49,40 mNHN eine Stärke von 1,60 m zur Gewährleistung der Auftriebssicherheit auszuführen. Anschließend ist das vorhandene Wasser aus dem Spundwandkasten abzupumpen. Bis zur Herstellung der Stahlbetonsohle ist der vorhandene Grundwasserstand zu beobachten und arbeitstäglich zu dokumentieren. Sollte dieser über den planmäßigen Maximalwert von 51,10 mNHN ansteigen ist eine Flutung des Spundwandkastens bzw. eine gleichwertige Auflast erforderlich.

Berücksichtigung der Spundwand – konstruktive Verankerung (z.B. Kopfbolzendübel)

Zur Minimierung der Mächtigkeit des Unterwasserbetons wird das Spundwandeigengewicht mit 110 kg/m² und einer Bohlenlänge von 8,0 m berücksichtigt.

Die Gesamtbreite beträgt 5,80 m (Abstand äußere Spundwandachse), wobei 3 Spundwände in Längsrichtung berücksichtigt werden.

$$G_{UW} = 23,0 \cdot 1,60 = 36,8 \text{ kN/m}$$

$$G_{Sp} = 3 \cdot 1,1 \cdot 8,0 \text{ kN} / 5,80\text{m} = 4,55 \text{ kN/m}$$

$$t_{neu} = (36,8 \text{ kN/m} - 4,55 \text{ kN/m}) / 23,0 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{1,40 \text{ m}}$$

Anzahl und Anordnung Kopfbolzendübel

Auf jedem zur Unterwasserbetonsohle gerichtetem Spundwandberg wird ein Kopfbolzendübel (S 235, Ø 19mm, L=100mm) aufgeschweißt. Im ungünstigsten Fall (äußere Spundwand) ergibt sich eine erforderliche Dübeltragfähigkeit von:

$$\text{Erf. } V_D = 8,0\text{m} \cdot 1,1\text{kN/m}^2 \cdot 1,2\text{m} = 10,6 \text{ kN}$$

$$\text{Vorh. } V_{D,c} (\text{Betontragfähigkeit}) = 0,36 \cdot d^2 \cdot (f_c \cdot E_{cm})^{0,5} = 0,36 \cdot 19^2 \cdot (20 \cdot 30000)^{0,5} = 100,6 \text{ kN}$$

$$\text{Vorh. } V_{D,s} (\text{Stahltragfähigkeit}) = 0,85 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4 = 0,85 \cdot 370 \cdot \pi / 4 \cdot 19^2 = \mathbf{89,1 \text{ kN}}$$

Nachweis: $1,5 \cdot 10,6 = 15,9 \text{ kN} < 89,1 / 1,7 = 52,4 \text{ kN} \rightarrow$ Nachweis erfüllt!

5.2 Pos. 2 – Spundwand Wehr – außen

5.2.1 Bauzustand – BS-T (ausgehobene Baugrube vor Einbau Unterwasserbeton)

Randbedingungen

- Geländeoberkante = 51,80 mNHN (~ Rammebene)
- Baugrubensohle = 48,0 mNHN (UK Unterwasserbeton)
- Wasserstand außen = 51,10 mNHN
- Wasserstand in Baugrube = 51,10 mNHN
- Verkehrslast auf Hinterfüllung: 16,7 kN/m² (für Baufahrzeuge bis 30 t)

Berechnungsergebnis

berechnete Spundwandlänge = 8,72 m
erforderliches Widerstandsmoment = 960 cm³/m

5.2.2 Nutzungszustand – BS-P.1 (Revision - Stahlbetonsohle wirkt als Aussteifung)

Randbedingungen

- Geländeoberkante = 51,80 mNHN
- Baugrubensohle = 49,50 mNHN (UK Stahlbetonsohle)
- Wasserstand außen = 51,10 mNHN
- Wasserstand innen = 49,50 mNHN
- Verkehrslast auf Hinterfüllung: 10 kN/m²

Berechnungsergebnis

berechnete Spundwandlänge = 3,86 m
erforderliches Widerstandsmoment = 150 cm³/m

5.2.3 Nutzungszustand – BS-P.2 (Eisdruck)

Randbedingungen

- Geländeoberkante = 51,80 mNHN
- Baugrubensohle = 49,50 mNHN (UK Stahlbetonsohle)
- Wasserstand außen = 51,10 mNHN
- Wasserstand, innen = 51,10 mNHN
- Eisdruck = 150 kN/m² (auf 40cm Eisdicke)

Berechnungsergebnis

berechnete Spundwandlänge = 5,18 m

erforderliches Widerstandsmoment = 360 cm³/m

5.2.4 maßgebende Anforderungen

Im Ergebnis der durchgeführten Berechnungen ergeben sich für diese Position folgende Mindestanforderungen:

Erforderliche Spundwandlänge = 8,72 m → **gewählt = 9,00 m**

Erforderliches Widerstandsmoment = 960 cm³/m → **gewählt = 1.200 cm³/m** (ohne Abrostungszuschlag)

5.3 Pos. 3 – Spundwand Trennwand Wehr – Fischpass

5.3.1 Bauzustand – BS-T (ausgehobene Baugrube vor Betonage Unterwasserbeton)

Die Einwirkungen für diesen Lastfall entsprechen der zuvor berechneten äußeren Spundwand, die Berechnungsergebnisse werden daher aus dieser Position übernommen.

Berechnungsergebnis

berechnete Spundwandlänge = 8,72 m

erforderliches Widerstandsmoment = 960 cm³/m

5.3.2 Nutzungszustand – BS-P.1 (Revision - Stahlbetonsohle wirkt als Aussteifung)

Randbedingungen

- OK Sohle Fischpass = 50,50 mNHN
- Sohle Wehr = 49,50 mNHN (Steife auf 49,70 mNHN)
- Wasserstand Wehr = 49,80 mNHN
- Wasserstand FAA = 51,10 mNHN
- OK Spundwand = 51,80 mNHN

Berechnungsergebnis

berechnete Spundwandlänge = 4,22 m

erforderliches Widerstandsmoment = 100 cm³/m

5.3.3 Nutzungszustand – BS-P.2 (Eisdruck)

Randbedingungen

- Spundwandoberkante = 51,80 mNHN
- Sohle Fischpass = 50,50 mNHN
- Wasserstand Fischpass = 51,10 mNHN
- Sohle Wehr = 49,80 mNHN (Steife)
- Wasserstand Wehr = 49,80 mNHN
- Eisdruck = 150 kN/m² (auf 40cm Eisdicke)

Berechnungsergebnis

berechnete Spundwandlänge = 3,62 m

erforderliches Widerstandsmoment = 470 cm³/m

5.3.4 maßgebende Anforderungen

Im Ergebnis der durchgeführten Berechnungen ergeben sich für diese Position folgende Mindestanforderungen:

Erforderliche Spundwandlänge = 8,72 m → **gewählt = 9,00 m**

Erforderliches Widerstandsmoment = 960 cm³/m → **gewählt = 1.200 cm³/m** (ohne Abrostungszuschlag)

5.4 Pos. 4 – Spundwand Fischpass - außen

Für diese Spundwand ergeben sich keine größeren Beanspruchungen im Nutzungszustand wie zuvor berechnet, daher wird auch hier der Bauzustand vor Einbau des Unterwasserbetons maßgebend. Die Ergebnisse hierfür werden aus Position 2 übernommen.

Erforderliche Spundwandlänge = 8,72 m → **gewählt = 9,00 m**

Erforderliches Widerstandsmoment = 960 cm³/m → **gewählt = 1.200 cm³/m** (ohne Abrostungszuschlag)

5.4.1 Abrostung

Entsprechend der ausgeführten Grundwasseranalyse ist am Bauwerksstandort mit einer Abrostungsrate von 0,1 mm/a zu rechnen. Bei einer geplanten Nutzungsdauer von 100 Jahren ist demnach von 10,0 mm Abrostung je Seite auszugehen.

Aufgrund der handelsüblichen Materialstärken der Spundwandprofile wird an diesem Standort eine beidseitige Korrosionsschutzbeschichtung für die Korrosivitätskategorie Im 3 (Schutzdauer lang) nach DIN EN 12944 von OK Spundwand (51,80 mNHN) bis OK Unterwasserbeton (49,50 mNHN) vorgeschlagen.

Damit wird auf der Wasserseite kein Abrostungszuschlag berücksichtigt, die intakte Beschichtung der wasserbeaufschlagten Flächen ist mit vertretbarem Aufwand kontrollierbar und bei Bedarf instandzusetzen.

Für die erdseitigen Flächen wird ein Korrosionsbeginn erst nach 20 Jahren, aufgrund der Beschichtung, in Ansatz gebracht. Damit wird eine Abrostung von insgesamt 8,0 mm berücksichtigt.

Die Berücksichtigung der Wandstärkenreduzierung kann vereinfacht über eine Abminderung des Widerstandsmomentes im Verhältnis zur Wandstärke des Neumaterials erfolgen.

Für ein Spundwandprofil PU 22+1 errechnet sich damit ein effektives Widerstandsmoment von:

$$\begin{aligned}W_{\text{eff}} &= t_{\text{nutz}}/t_{\text{neu}} * W_{\text{neu}} \\ &= (13,1 - 8,0)/13,1 * 2.335 \text{ cm}^3/\text{m} \text{ (für Doppelbohlen)} \\ &= 909 \text{ cm}^3/\text{m}\end{aligned}$$

Im Nutzungszustand ergaben sich die maßgebenden Anforderungen an das Widerstandsmoment bei Pos. 3 – äußere Spundwand (Pkt. 5.3.3)

$$\text{zu } W_{\text{erf.}} \geq 470 \text{ cm}^3/\text{m}$$

Mit dem Spundwandprofil PU 22+1 können diese Anforderungen auch unter Berücksichtigung eines Abrostungszuschlages von 8,0 mm erfüllt werden.

$$470 \text{ cm}^3/\text{m} < 909 \text{ cm}^3/\text{m} \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt!}$$

5.5 Pos.5 - Bauwerkssohle – Wehr und Fischpass

Die Sohle wird im Wehr- und Fischpassbereich als Stahlbetonkonstruktion in einer Dicke von 40 cm ausgeführt. Aufgrund der vorhandenen Unterwasserbetonsohle wird die Sohlplatte in vertikaler Richtung kaum beansprucht. Als maßgebende äußere Last wird daher die Beanspruchung aus der aussteifenden Wirkung der Spundwandkonstruktion berücksichtigt. Zur Sicherstellung der Kraftübertragung ist daher umlaufend an der Spundwand in Höhe der bewehrten Sohle ein Stahlprofil (U 120 oder glw.) an jedem Spundwandrücken anzuschweißen, um in den Spundwandtälern die Bewehrung dahinter verankern zu können.

5.5.1 Anforderungen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit / Dauerhaftigkeit

Aufgrund der vorhandenen Umgebungsbedingungen ist die Einordnung in folgende Expositionsklassen erforderlich:

- **XC 2, XA 1, XM 1, WF**

Daraus ergibt sich eine erforderliche Mindestdruckfestigkeit für den herzustellenden Beton von:

- **C 30/37**

Konstruktive Mindestbewehrung

Entsprechend DIN 19702 ist für alle Begrenzungsflächen ein Bewehrungsquerschnitt von mindestens 0,1 % des Betonquerschnittes einzulegen. Damit ergeben sich für die vorliegenden Bauteilabmessungen folgende Werte.

Bauteil	Mindestbewehrung	b	h	Ac	min. As
	nach ZTV-W	cm	cm	cm ²	cm ²
Bauwerkssohle	Ø 10/15 bzw. 0,1%Ac	100	40	4.000,00	Ø 10/15

Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung

Die Ermittlung der Mindestbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung erfolgt für Bauteildicken ≤ 80 cm nach DIN EN 1992-1-1 mit einer zulässigen Rissbreite von 0,25 mm (nach DIN 19702).

Für die Bodenplatte der Bauwerke wurde entsprechend der als Anlage beigefügten Berechnung, bei den geplanten Konstruktionsgrößen die Bewehrung zur Rissbreitenbegrenzung wie folgt ermittelt.

- **Oben + unten**, berechnet $a_{s,riss} = 19,72 \text{ cm}^2/\text{m}$ Gewählt: $\emptyset 16/10$ (20,1 cm^2/m)

5.5.2 Berechnung äußere Lasteinwirkung

Aus Pos. Stahlpundwand: max. $N_{\text{Druck}} = 140 \text{ kN/m}$

max. $N_{\text{Zug}} = 140 \text{ kN/m}$

- **Oben + unten**, berechnet $a_s = 8,5 \text{ cm}^2/\text{m}$

maßgebende Bewehrung

Richtung	Lage	Querschnitt, erforderlich [cm^2]	Querschnitt, gewählt
Querrichtung	unten	19,72	$\emptyset 16/10$
	oben	19,72	$\emptyset 16/10$
Längsrichtung	unten	19,72	$\emptyset 16/10$
	oben	19,72	$\emptyset 16/10$
Bügel		-	Nur Abstandhalter

5.6 Befestigungsdalben für Schwimmbalken

5.6.1 Einwirkungen

Es werden 2 Bemessungssituationen berechnet. Als ständige bzw. häufig auftretende Belastung wird die Einwirkung Schiffsstoß durch Spreewaldkahn eingeordnet. Die Beanspruchung durch Eisstoß bzw. Treibgutstoß wird gemäß EAU als außergewöhnliche Bemessungssituation behandelt.

BS-P.1 – Schiffsanprall (Personenkahn)

Für einen vollbesetzten Personenkahn wird mit einer Gesamtlast von 2000 kg und einer Anprallgeschwindigkeit von 1,0 m/s gerechnet.

Die maximale Horizontalkraft ergibt sich für diese Bemessungssituation zu:

$$\begin{aligned} H_1 &= 2000 \text{ kg} \cdot 1,0 \text{ m/s} / 0,1 \text{ s} \\ &= 20 \text{ kN (Kraftangriffspunkt = 20 cm über Wsp.)} \end{aligned}$$

BS-A.1 – Eisdruck, Eisstoß (nach E 205 EAU)

$$\begin{aligned} H_2 &= 150 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,30 \text{ m} = 45,0 \text{ kN/m für eine Einwirkungsbreite von 1,0 m} \\ &\text{(Kraftangriffspunkt = 15 cm unter Wsp.)} \end{aligned}$$

5.6.2 Berechnung

Als Dalben ist ein Stahlrohr $d_a = 260 \text{ mm}$ mit 10 mm Wandstärke geplant.

Die Oberkante Pfahl ist mit 0,50 m über Stauziel (= 51,60 mNHN) vorgesehen.

Die Gewässersohle hat in diesem Bereich eine Höhe von 49,90 mNHN.

Die Berechnung der erforderlichen Einbindetiefe des Verankerungsdalbens wird mit dem Software-Programm GGU-RETAIN durchgeführt.

Als Ersatzsystem wurde eine Bohlträgerwand mit einem äquivalenten Trägerprofil (HEA 220) und einem Pfahlabstand von 1,0 m verwendet.

Berechnungsergebnis BS-P.1

Erforderliche Dalbenlänge $\geq 5,84 \text{ m}$

Erforderliches Widerstandsmoment $\geq 310 \text{ cm}^3$

Berechnungsergebnis BS-A.1

Erforderliche Dalbenlänge $\geq 6,44$ m

Erforderliches Widerstandsmoment ≥ 320 cm³

Die detaillierten Berechnungen sind als Anlage beigefügt.

Maßgebend wird damit die Bemessungssituation BS-A.1, sodass für die Dalbenausführung folgende Mindestanforderungen zu erfüllen sind:

Dalbenlänge, gewählt = **6,50 m** > **6,44 m** = Länge, erforderlich

Dalbenquerschnitt, gewählt = **Stahlrohr S 355, D=260mm, t=10mm**

Widerstandsmoment, vorhanden = **473 cm³** > **320 cm³** = Widerstandsmoment, erforderlich

Bei einer in Ansatz zu bringenden Abrostung von 0,01 mm/a ergibt sich nach einer Standzeit von 100 Jahren und beidseitigem Korrosionsangriff ein effektives Widerstandsmoment von:

$W = (10,0 - 2,0) / 10,0 * 473 = 378$ cm³, womit noch die Mindestanforderungen erfüllt werden.

Die Höhenlage der Gewässersohle ist im Verankerungsbereich sicherzustellen, z.B. mit einer, der hydraulischen Belastung entsprechenden, Deckschicht aus Wasserbausteinen.

Gebrauchstauglichkeit

Die in der Berechnung ermittelte Kopfverschiebung des Befestigungsdalben von **103 mm** sichert ein ausreichendes Arbeitsvermögen des Befestigungsdalbens für die am Standort zu erwartenden Einwirkungen.

6 GEOHYDRAULISCHE BERECHNUNGEN

6.1 Berechnungsverfahren

Geohydraulische Berechnungen:

Zur Ermittlung der Grundwasserströmungsverhältnisse erfolgte eine Berechnung mit dem Programm SS Flow2D von der Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik. Mit diesem Programm können stationäre Grundwasserströmungen mit der Finiten- Element- Methode in einem zweidimensionalen System berechnet werden. Die Grenzen des Modells wurden so gesetzt, dass die maßgebenden Bereiche genügend genau modelliert werden können.

6.2 Unterströmung

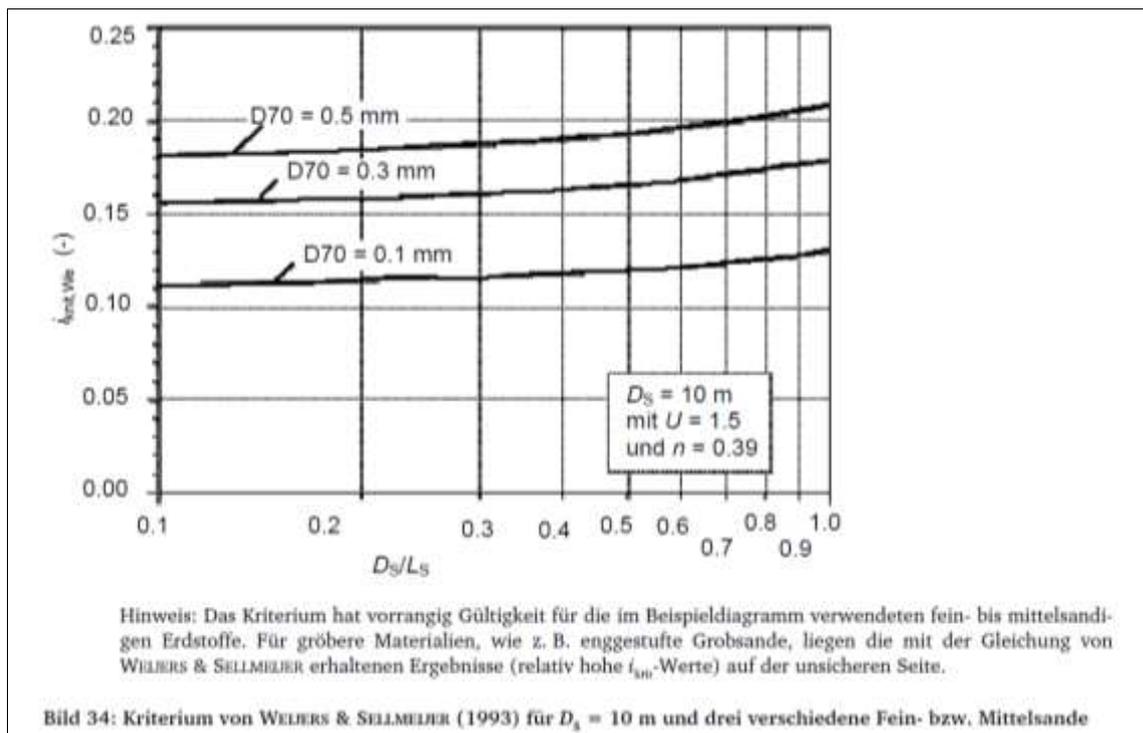
Durch die Berechnung der Unterströmung ist nachzuweisen, dass keine schädlichen Bodenumlagerungen infolge der sich einstellenden Sickerwasserströmung eintreten. Der Bewegungsbeginn tritt bei Überschreitung des kritischen hydraulischen Gradienten i_{krit} ein.

Ungleichförmigkeitsgrad anstehender Boden: $U \leq 3,0$ (SE)

Oberwasserstand: 51,10 mNHN

Unterwasserstand: 50,70 mNHN

Für die ober- und unterwasserseitig vorhandenen Spundwände wird eine Unterkante von 43,30 mNHN in der Berechnung berücksichtigt.



Aus dem Diagramm zur Bestimmung des kritischen hydraulischen Gefälles (DWA-M 507-1) ergibt sich bei den vorliegenden Untergrundverhältnissen (D_{70} -Wert $\geq 0,2$ mm) ein zulässiger hydraulischer Gradient von:

$$i_{zul} = 0,13$$

Der vorhandene hydraulische Gradient ergibt sich beim größten Wasserspiegelunterschied zwischen Ober- und Unterwasser zu:

$$i_{vorh} = v_{max} / k_f$$

k_f – Wert für anstehenden Boden

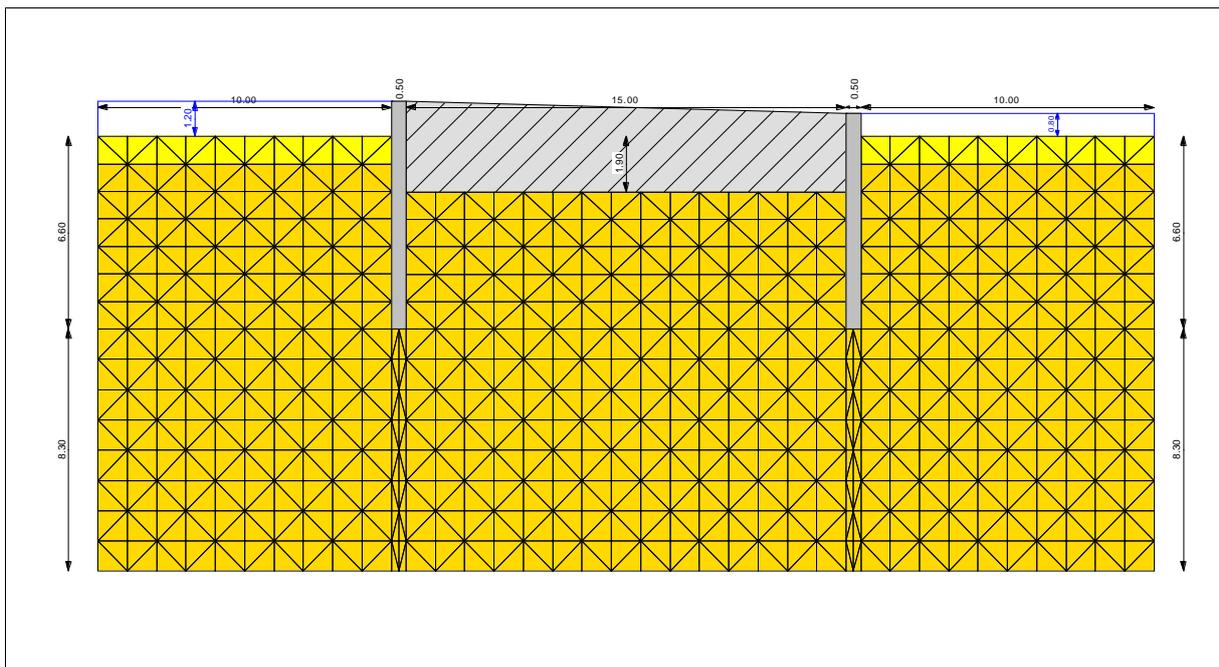
$$k_f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s (SE)}$$

v_{max} lt. Berechnungsprogramm

$$v_{max} = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$i_{vorh} = (2,8 \cdot 10^{-6} \text{ [m/s]}) / (1 \cdot 10^{-4} \text{ [m/s]})$$

$$i_{vorh} = 0,028 < i_{zul} = 0,13$$



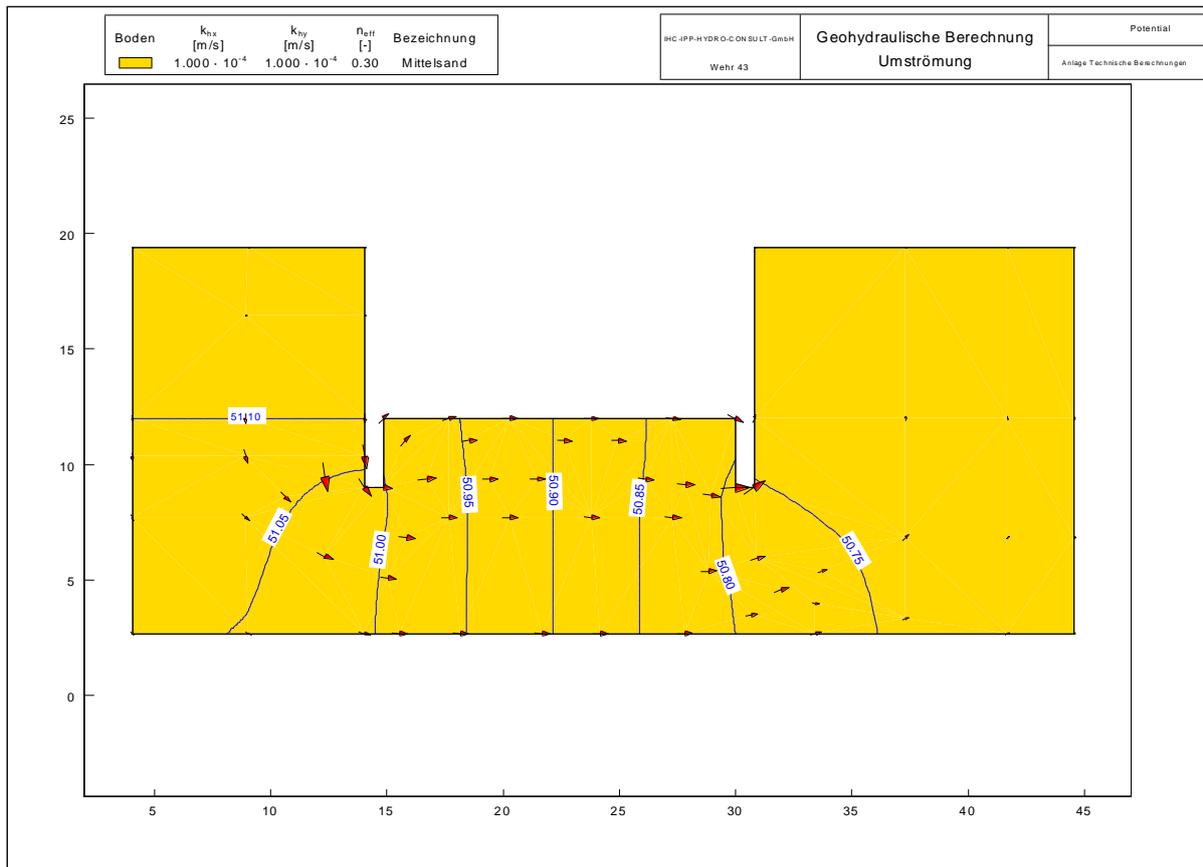
Unterströmung Wehr 43

Mit der in der Berechnung berücksichtigten Spundwandunterkante von 43,30 mNHN konnte der Nachweis erbracht werden. Die zugehörigen Berechnungsausdrucke befinden sich im Anhang.

6.3 Umströmung

Für die Berechnung der horizontalen Umströmung wird eine seitliche Einbindung der Spundwand von mindestens 3,0 m in den anstehenden Erdstoff berücksichtigt.

$$i_{\text{vorh}} = v_{\text{max}} / k_f$$



Umströmung Wehr 43 (Draufsicht)

v_{max} lt. Berechnungsprogramm

$$v_{\text{max}} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$i_{\text{vorh}} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} / 8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$i_{\text{vorh}} = 0,021 < i_{\text{zul}} = 0,13$$

Mit den angesetzten Randbedingungen kann der Nachweis einer ausreichenden horizontalen Sickerweglänge erbracht werden.

6.4 Suffosion

Entsprechend BAW-Merkblatt „Materialtransport im Boden“ gilt der Nachweis gegenüber Suffosion (Stofftransport innerhalb einer Schicht) in **nicht kohäsiven Böden** als erfüllt, wenn folgende Kriterien erfüllt werden.

- Kornverteilung des Bodens verläuft stetig
- Ungleichförmigkeit des Bodens ≤ 8

Der Vergleich mit den im Baugrundgutachten festgestellten Kornverteilungen zeigt, dass diese Bedingungen am betrachteten Standort (Bodenschichten im Bereich der Sickerströmung) erfüllt sind.

6.5 Bauzeitliche Grundwasserhaltung

Zur Herstellung der Böschungs- und Sohlsicherungen im Anpassungsbereich ober- und unterhalb des Bauwerks wird aufgrund der flurnahen Grundwasserstände eine Grundwasserabsenkung erforderlich.

Randbedingungen

Grundwasserstand, vorhanden = 50,90 mNHN

Grundwasserstand, bauzeitlich (abgesenkt) = 48,90 mNHN

Durchlässigkeit des Untergrundes $k_f = 1,3 \cdot 10^{-4}$ m/s (Fein- bis Mittelsand)

Die Reichweite des Absenktrichters wurde mit der Sichardt-Formel abgeschätzt und die Modellgrenzen mindestens bis zu dieser Entfernung gewählt. Der Grundwasserleiter wurde in einer Stärke von 10 m angesetzt.

Die Berechnung erfolgte mit dem Programm SS-Flow-2D von GGU als horizontal ebenes System. Maßgebend für den Grundwasserzustrom werden die durchlässigen Sande im Bereich der Gründungssohle (Bohrung 1 – Probe 1).

Berechnungsergebnis

Bezeichnung	Fläche	gepl. Zeitraum	k _f (Boden)	GW (ist)	GW(Bau)	Reichweite	Fördermenge			
							m/s	m NHN	m NHN	m
Wehr 43	2 x 15 x 15m	2 Wochen	1,30E-04	50,90	48,90	68,4	0,02490	24,90	2.151	30.114

Für die Ermittlung der Gesamtmenge wurde von einer Vorentwässerung von einer Woche und einer Woche für die auszuführenden Arbeiten ausgegangen.

Aufgrund des festgestellten Eisengehaltes im Grundwasser (26,6 mg/l) ist eine Aufbereitung vor Einleitung des gehobenen Grundwassers in das Fließgewässer erforderlich.

Die gute Durchlässigkeit des Untergrundes führt zu einer gegenseitigen Beeinflussung der beiden Absenkbereiche, sodass bei der Berechnung von einer gleichzeitigen Absenkung ausgegangen wurde.

Aufgestellt: Cottbus, 26.10.2018, ergänzt 04.03.2019

Bearbeiter: T. Haas, Dipl.-Ing.