

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | VORBEMERKUNGEN | 2 |
| 2 | AUSGANGSWERTE | 2 |
| 3 | BAUSTOFFE | 3 |
| 3.1 | Stahl | 3 |
| 3.2 | Holz | 3 |
| 4 | LASTANNAHMEN | 3 |
| 4.1 | Ständige Einwirkungen | 3 |
| 4.2 | Veränderliche Einwirkungen | 3 |
| 4.3 | Außergewöhnliche Einwirkungen | 4 |
| 5 | STATISCHE BERECHNUNGEN | 5 |
| 5.1 | Pos. 1 – Spundwand | 5 |
| 5.1.1 | Nutzungszustand – BS-P.1 (Belastung durch Eisdruck) | 5 |
| 5.1.2 | Abrostung | 6 |
| 5.2 | Pos. 2 – Bediensteg | 7 |
| 6 | GEOHYDRAULISCHE BERECHNUNGEN | 8 |
| 6.2 | Unterströmung | 8 |
| 6.3 | Umströmung | 11 |
| 6.4 | Suffosion | 12 |
| 6.5 | Bauzeitliche Grundwasserhaltung | 12 |

ANLAGENVERZEICHNIS

| Anlage | | Seitenzahl |
|------------|-----------------------------------|------------|
| A 1 | Spundwandberechnung | 6 |
| A 2 | Berechnungen Bediensteg | 7 |
| A 3 | Geohydraulische Berechnungen | 6 |
| A 4 | bauzeitliche Grundwasserabsenkung | 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 herausgearbeitet und durch den Auftraggeber bestätigt.

Dazu wird über die gesamte Gewässerbreite eine Stahlspundwand eingebracht. Zur Abflussregulierung wird in der Spundwand ein Fenster hergestellt, worin der Staurahmen eingeschweißt wird. Die Regulierung erfolgt über hölzerne Staubohlen. Über eine zweite Öffnung, einen 40 cm breiten Schlitz, erfolgt die Wasserableitung zur Fischaufstiegsanlage, welche hier durch ein Raugerinne in Beckenstruktur umgesetzt wird.

Zur sicheren Bedienung und Unterhaltung dieser wasserwirtschaftlichen Anlage ist eine Steganlage herzustellen 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 50,20 | Oberboden, Torf | 12,0 | 2,0 | 15,0 | 0 | 1 *10 ⁻⁶ |
| bis 49,70 | Schluff (U,t) | 17,0 | 8,5 | 20,0 | 15 | 1 *10 ⁻⁹ |
| darunter | Mittelsand,feinsandig,grobsandig (SE,mitteldicht bis dicht) | 18,0 | 11,0 | 32,0 | 0 | 2 *10 ⁻⁴ |

3 BAUSTOFFE

3.1 Stahl

Qualitätsanforderungen Stahlwasserbau : siehe gesonderte Unterlage

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

Spundwände : S 240 GP

3.2 Holz

Staubohlen Wehr : Nadelholz C 24, S 13 (Kiefer oder glw.)

4 LASTANNAHMEN

4.1 Ständige Einwirkungen

Eigengewicht entsprechend DIN EN 1991-1-1 sowie DIN EN 1991-1-1/NA

4.2 Veränderliche Einwirkungen

Verkehrslasten

| | |
|--|------------------------|
| Bediensteg | 2,50 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)

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 STATISCHE BERECHNUNGEN

5.1 Pos. 1 – Spundwand

Die Querspundwand dient dem Wasseraufstau und der kontrollierten Wasserabgabe über den Staubohlenverschluss sowie die Schlitzöffnung für die Fischaufstiegsanlage.

Als maßgebende Belastungssituation für die Spundwand ergibt sich der Nutzungszustand mit maximalem Oberwasser- und minimalem Unterwasserspiegel bei oberwasserseitigem Eisdruck.

5.1.1 Nutzungszustand – BS-P.1 (Belastung durch Eisdruck)

Randbedingungen

- Spundwandoberkante = 51,80 mNHN
- Geländeoberkante = 51,50 mNHN
- Fachbaum, Sohlhöhe = 50,50 mNHN
- Wasserstand, Oberwasser = 51,11 mNHN
- Wasserstand Unterwasser = 50,70 mNHN
- Eisdruck = 150 kN/m² (auf 30cm Eisdicke, bei Stauziel)

Die Berechnung der Spundwand erfolgt als unverankerte, im Boden voll eingespannte, Konstruktion. Durch die geplante 50 cm starke Sohlsicherung sowie dem darunter angeordneten 2-stufigen Kornfilter werden die bis 49,70 mNHN anstehenden nicht tragfähigen Bodenschichten (Torf, Schluff) ersetzt.

Berechnungsergebnis

Gemäß der als Anlage beigefügten Berechnung sind aus statischer Sicht folgende Mindestanforderungen durch das eingesetzte Spundwandprofil zu erfüllen:

- Spundbohlenlänge $\geq 6,0$ m (Spundwandunterkante = 45,80 mNHN)
- Erforderliches Widerstandsmoment ≥ 640 cm³/m (für S 240 GP)

5.1.2 Abrostung

Entsprechend der ausgeführten Grundwasseranalyse ist am Bauwerksstandort mit einer Abrostungsrate von 0,1 mm/a zu rechnen.

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 50 cm unter Gewässersohle 49,40 mNHN) vorgeschlagen. Der Stahlkorrosionsbeginn wird dadurch um ca. 20 Jahre verzögert.

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

Für ein Spundwandprofil AZ 36-700N ergibt sich ein effektives Widerstandsmoment von:

$$\begin{aligned}W_{\text{eff}} &= t_{\text{nutz}}/t_{\text{neu}} * W_{\text{neu}} \\ &= (15,0 - 12,0)/15,0 * 3.590 \text{ cm}^3/\text{m} \\ &= 718 \text{ cm}^3/\text{m}\end{aligned}$$

$$W_{\text{erf}} = 640 \text{ cm}^3/\text{m} < 718 \text{ cm}^3/\text{m} = W_{\text{vorh.}} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

unter Berücksichtigung einer Abrostung von insgesamt 12 mm ($60a * 0,01\text{mm}/a * 2$).

Zusammen mit dem verzögerten Abrostungsbeginn aufgrund der beidseitigen Korrosionsschutzbeschichtung kann eine Gesamtstandzeit von **80 Jahren** gewährleistet werden.

5.2 Pos. 2 – Bediensteg

Für die sichere Bedienbarkeit wird an der Spundwand ein Bediensteg mit Lichtgitterrosten als Belag und einem beidseitigem Stahlrohrgeländer angeordnet. Nachfolgend sind die Dimensionen der wichtigsten Trag- und Verbindungselemente zusammengestellt.

- Stahlprofilkonsole (z.B. IPE 120) als Auflager für die Hauptträger, maximaler Konsolabstand = 3,0 m
- Hauptträger (U 200) mit Unterzügen (U 80)
- Stahlrohrgeländer (Pfosten 51x4 mm, Handlauf 51x4 mm, Stegblech/Befestigungsblech 10 mm und 2 x M 12/ 5.6) bei einem maximalen Pfostenabstand von 1,60 m

Einwirkungen: $p = 2,5 * 1,0 / 2 = 1,25 \text{ kN/m}$ (je Hauptträger)

$g = 0,20 + 0,30$ (für Unterzüge, Belag, Geländer) = 0,50 kN/m

Die als Anlage beigefügte Berechnung ergab folgende maximale Auslastung der Tragelemente:

- Hauptträger (U 200): $\mu = 0,43 \leq 1,0$ → Nachweis erfüllt!
- Stegkonsole (IPE 120): $\mu = 0,55 \leq 1,0$ → Nachweis erfüllt!
- Schweißnaht Stegkonsole ($a_w = 4\text{mm}$, Schweißnahtlänge = 314mm):
 $\mu = 0,82 \leq 1,0$ → Nachweis erfüllt!

6 GEOHYDRAULISCHE BERECHNUNGEN

6.1 Berechnungsverfahren

Geohydraulische Berechnungen:

Zur Ermittlung der Grundwasserströmungsverhältnisse erfolgt 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

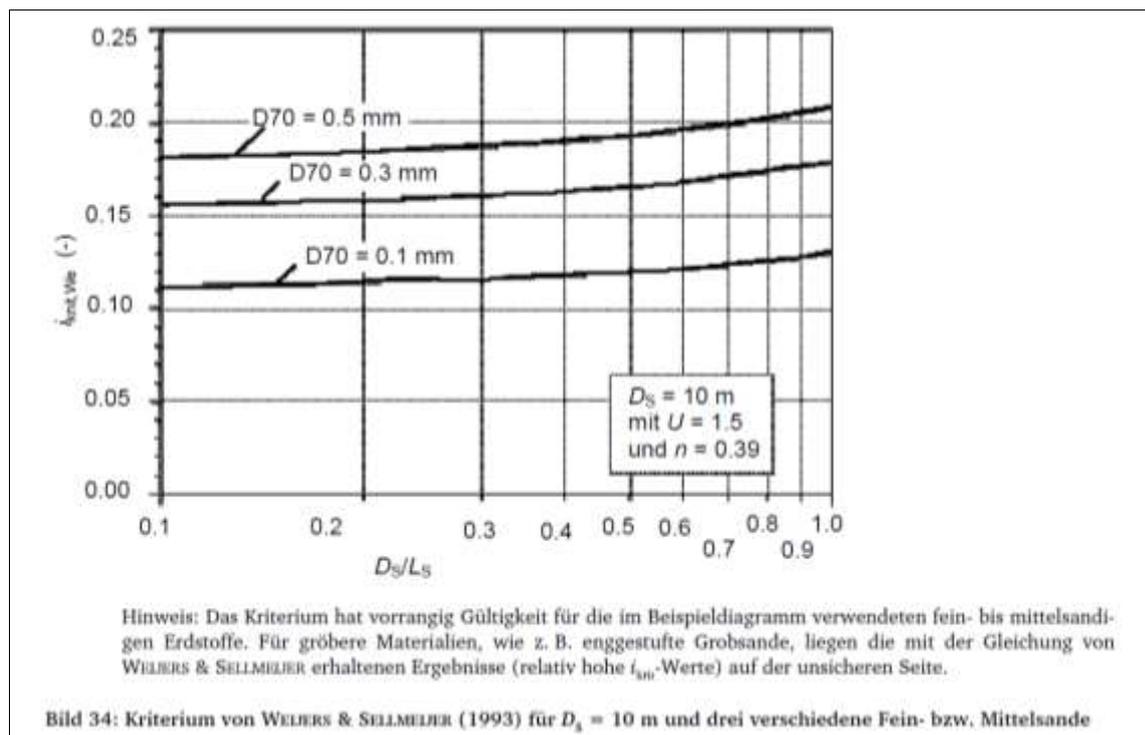
Durch die Berechnung der Unterströmung ist nachzuweisen, dass keine schädlichen Bodenumlagerungen infolge der sich einstellenden Sickerwasserströmung eintreten. Der Bewegungsbeginn tritt bei Überschreitung des kritischen hydraulischen Gradienten i_{krit} ein.

Ungleichförmigkeitsgrad anstehender Boden: $U \leq 3,5$ (SE)

Oberwasserstand: 51,10 mNHN

Unterwasserstand: 50,70 mNHN

Für eine statisch erforderliche Spundwandlänge von 6,0 m (OK Spundwand = 51,80 mNHN) wird eine Unterkante von 45,80 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 $\geq 0,3$ mm) ein zulässiger hydraulischer Gradient von:

$$i_{zul} = 0,15$$

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

$$k_f = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s (SE)}$$

v_{max} lt. Berechnungsprogramm

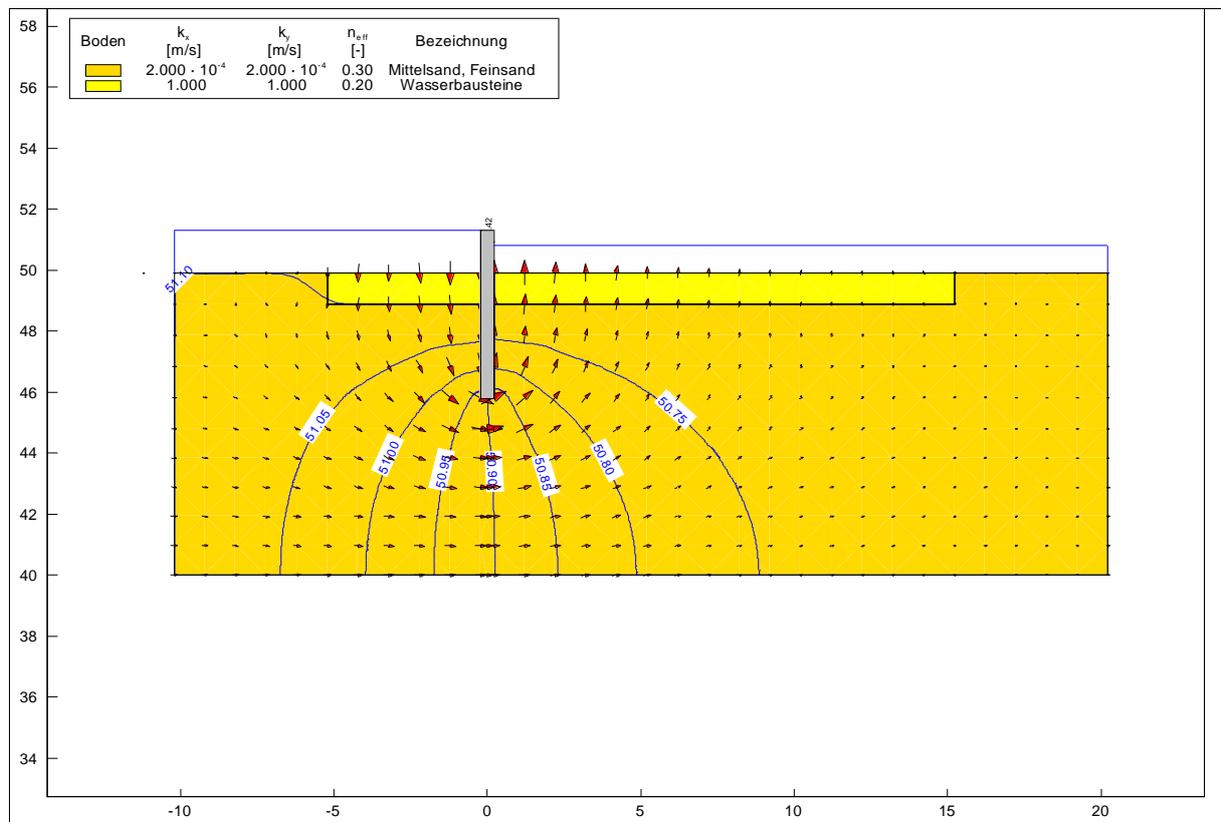
$$v_{max} = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$i_{vorh} = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} / 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$i_{vorh} = 0,17 < i_{zul} = 0,15 \rightarrow$$

Nachweis nicht erbracht!

Die Spundbohlenlänge wird zur Verlängerung des Sickerweges um 1,0 m auf 7,0 m Bohlenlänge vergrößert.



Unterströmung Wehr 45

Mit neuer Spundbohlenlänge (**7,0m**):

v_{\max} lt. Berechnungsprogramm

$$v_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$i_{\text{vorh}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} / 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$i_{\text{vorh}} = \mathbf{0,125} < i_{\text{zul}} = \mathbf{0,15}$$

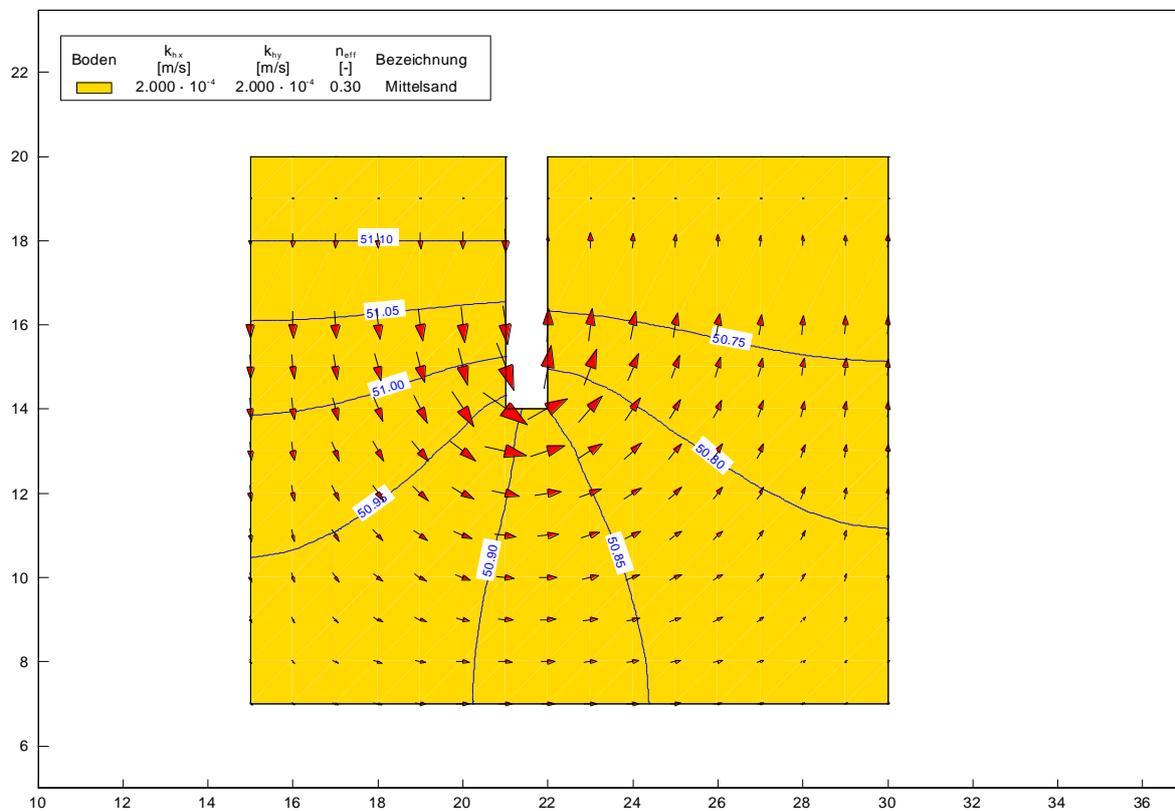
Mit einer Spundwandunterkante von 44,80 mNHN (Bohlenlänge = 7,0m) konnte der Nachweis erbracht werden. Die zugehörigen Berechnungsausdrucke befinden sich im Anhang.

**Gewähltes Spundwandprofil: AZ 36-700N (S 240 GP) oder gleichwertig,
($W_{\text{elast}} = 3.590 \text{ cm}^3/\text{m}$)**

Länge 7,00m (OK = 51,80 mNHN, UK = 44,80 mNHN)

6.3 Umströmung

Für die Berechnung der horizontalen Umströmung wird eine seitliche Einbindung der Spundwand von mindestens 2,0 m in den anstehenden Erdstoff berücksichtigt.



Umströmung Wehr 45 (Draufsicht)

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

v_{max} lt. Berechnungsprogramm

$$v_{max} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$i_{vorh} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} / 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$i_{vorh} = 0,11 < i_{zul} = 0,15$$

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 ober- und unterhalb des Bauwerks sowie der unterhalb der Spundwand zu errichtenden Steinriegel wird aufgrund der flurnahen Grundwasserstände eine Grundwasserabsenkung erforderlich.

Randbedingungen

Grundwasserstand, vorhanden = 50,80 mNHN

Grundwasserstand, bauzeitlich (abgesenkt) = 48,90 mNHN

Durchlässigkeit des Untergrundes $k_f = 2,2 \cdot 10^{-4}$ 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 | Zeitraum | k _f (Boden) | GW (ist) | GW(Bau) | Reichweite | Fördermenge | | | |
|-------------|-----------|----------|------------------------|----------|---------|------------|-------------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | m/s | m NHN | m NHN | m |
| Wehr 45 | 40 x 25 m | 3 Wochen | 2,20E-04 | 50,80 | 48,90 | 84,5 | 0,01330 | 13,30 | 1.149 | 24.129 |

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

Aufgrund des festgestellten Eisengehaltes im Grundwasser (24,4 mg/l) ist eine Aufbereitung vor Einleitung des gehobenen Grundwassers in das Fließgewässer erforderlich.

Aufgestellt: Cottbus, 26.10.2018, ergänzt 04.03.2019

Bearbeiter: T. Haas, Dipl.-Ing.