Ingenieurbüro PROKON
Beratung und Bauplanung GmbH

Geohydraulische
Untersuchungen

Hochwasserschutz Guben – Lausitzer Neiße 2.BA, TO 2

PROKON

INHALTSVERZEICHNIS

1 Aufgabenstellung 4

2 Hydrogeologische Verhältnisse 4

3 Filterstabilitätsnachweise 7

4 Geohydraulische Standsicherheitsnachweise 8

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bauwerksparameter 4
Tabelle 2: Durchlässigkeitsbeiwerte k_f [m/s] 5
Tabelle 3: Bemessungswasserstände 6
Tabelle 4: Kennwerte Basiserdstoff 7
Tabelle 5: Filteraufbau Raugerinnebeckenpass 7
Tabelle 6: Ansätze zur Ermittlung der Unterströmungstiefe nach WAPRO 3.15, Tabelle A 1 8
Tabelle 7: Ermittlung der Unterströmungstiefe 9
Tabelle 8: Ermittlung des kritischen Gefälles 9
Tabelle 9: Ermittlung der vorhandenen Sicherheit gegenüber hydraulischem Grundbruch 10
Tabelle 10: Ermittlung der Sicherheit gegenüber Erosionsbruch 11

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1 Filterstabilitätsnachweis

Anlage 2 Geohydraulische Untersuchungen Auslaufbauwerk

Unterströmung im Bereich des Wehrkörpers
Abbildung 1: Potentiallinienverlauf
Abbildung 2: Wassermengen

PLANUNGSGRUNDLAGEN

[1] PROKON: Entwurfsplanung Hochwasserschutz Guben, Lausitzer Neiße, 2. BA, TO 2 Auslaufbauwerk Egelneiße und Uferwand, Juni 2014

[2] LUGV: Hochwasserstände der Lausitzer Neiße (Ergebnisse der Hydraulik im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementplanung, Stand 2012) per e-mail vom 17.01.2014

[3] Vermessungsunterlagen vom Vermessungsbüro Schmidt (Luckau), Dezember 2009

[4] Ingenieur- und Baugrundbüro Kunze: ergänzende Baugrunduntersuchungen zum Bauvorhaben „Hochwasserschutz Guben“ im Bereich der Einmündung der Egelneiße und dem Gelände der Plastinate GmbH, März 2013

[5] Ingenieur- und Baugrundbüro Kunze: Baugrunduntersuchung zum Bauvorhaben „Hochwasserschutz Guben“, August 2011

[6] Ingenieurbüro PROWA: Baugrunduntersuchung zum Vorhaben „Lausitzer Neiße – Hochwasserschutz Guben, Fluss-km 15+100 bis 15+640“, Dezember 1999

[7] DIN EN 1990 Grundlagen der Tragwerksplanung (12/2010)

[8] DIN EN 1997 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1 und 2 (12/2010)

[9] DIN 4084 – Baugrund, Gelände- und Böschungsbruchberechnungen

[10] DIN 1054 – Zulässige Belastungen des Baugrundes

[11] DIN 1055 – Teil 2, Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngrößen

[12] Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben" auf der Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes EAB – 100

[13] Dörke/Dehme, Grundbau in Beispielen, Teil 1, 2. Auflage 1999, Werner Verlag, Düsseldorf

[14] Schneider, Bautabellen für Ingenieure, 12. Auflage 1996, Werner-Verlag Düsseldorf

[15] Merkblatt, Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Ausgabe 1989

[16] WAPRO 3.15 Bemessung des unterirdischen Wehrumrisses, Ausgabe Januar 1977

[17] GGU-SS Flow (GW 2), Programm zur Berechnung von zweidimensionalen Grundwasserströmungen mit der FEM, Version 10.03/2013

1 Aufgabenstellung

Zum Schutz der Bebauung entlang des Unterlaufes der Egelneiße vor Hochwasser aus der Lausitzer Neiße ist im Mündungsbereich ein Auslaufbauwerk zu errichten. Im Hochwasserfall wird das Bauwerk verschlossen. Um anfallendes Drängewasser etc. aus der Egelneiße überleiten zu können, wird am selben Standort ein Schöpfwerk errichtet.

Die Gründung des Bauwerkes erfolgt als Tiefgründung auf Stahlspundwänden.

In der Entwurfsplanung zum Ersatzneubau werden folgende relevante Parameter des Bauwerks angegeben.

Tabelle 1: Bauwerksparameter

Parameter	Wehr
Sohlhöhe Oberwasser	39,50 m NHN
Sohlhöhe Unterwasser	39,70 m NHN
Bauteillänge (bzgl. Umspundung)	14,6 m
Bauteilbreite	4,9 m (lichte Breite Bauwerk) 8,0 m (Gewässerbreite oh.)

Im Rahmen der Geohydraulischen Untersuchung ist die Standsicherheit des Absperrbauwerkes in Hinblick auf die Unterströmung zu überprüfen. Zusätzlich sind Filterstabilitätsnachweise für die Sohlsicherungen zu erbringen. Für den Aufbau der geplanten Riegelrampe zwischen dem Absperrbauwerk und der Kugelbrücke sind ebenfalls Stabilitätsnachweise zu erbringen.

2 Hydrogeologische Verhältnisse

2.1 Baugrundverhältnisse

Zur Analyse der Baugrundverhältnisse wurden mehrere Baugrundgutachten erarbeitet. Neben Untersuchungen aus dem Jahr 1999 (Ingenieurbüro PROWA) liegen aktuelle Aufschlüsse vom August 2011 sowie Ergänzungen vom März 2013 (Ingenieur- und Baugrundbüro Kunze aus Peitz) vor.

Gutachten Ingenieurbüro PROWA Cottbus GmbH von 1999

Zur Erkundung des Baugrundes wurden neun Aufschlüsse über den Bereich von Neiße-km 15+000 bis 15+640 in Form von Trockenbohrungen mit gestörten Probenahmen abgeteuft. Außerdem sind im Bereich der Spundwand, im Bereich des Auslaufes Egelneiße, zwei Sondierungen mit der schweren Rammsonde durchgeführt worden.

Bei den Aufschlüssen wurden im Wesentlichen einheitliche Baugrundverhältnisse angetroffen.

In der oberen Lage wurden Auffüllungen erkundet, deren Stärke zwischen 1,20 m (B 2 - PROWA) und 3,70 m (B 8 - PROWA) betragen. Die Zusammensetzung ist unterschiedlich, hauptsächlich besteht die Auffüllung jedoch aus Ziegelschutt mit schluffigem Sand. Die Bohrung B 1 - PROWA und B 2 - PROWA weisen oberhalb der Auffüllungsschicht aufgefüllt Sande und zum Teil aufgefüllte Schluffe auf. Diese Böden bilden den Körper des vorhandenen Deiches.

Unterhalb der Auffüllung lagert eine Auelehmschicht, die eine Abstufung von SU, SU* bis UL hat. In den Aufschlüssen B 3 - PROWA und B 4 - PROWA wurden diese Schichten nicht angetroffen. Darunter stehen bis zur Endteufe der Aufschlüsse – ausgenommen B 5 und B 6 – fluviatile Sande und Kiese an. Die Kiese sind in die Sandschicht eingelagert und weisen unterschiedliche Schichtdicken auf.

In den Bohrungen B 5 - PROWA und B 6 - PROWA stehen ab ca. 13 m als unterste Schicht bis zur Endteufe bei 15 m Schluffe an.

Gutachten Baugrundbüro Kunze (2011, 2013)

Für den vorliegenden Untersuchungsbereich sind in erster Linie die Erkundungsergebnisse des Gutachtens vom März 2013 relevant, Es wurden insgesamt 4 Bohrungen (RKS 5 – 8, Tiefe 12,0 m) abgeteuft, sowie Drucksondierungen (Tiefe 15,0 m) durchgeführt.

angetroffene Baugrundverhältnisse:

Die oberflächennah anstehende Auffüllung ist durch diverses Uferbefestigungsmaterial der Vorjahre gekennzeichnet. Das mit Ziegelschutt, Steinen und Restmauerwerk belastete Sandgemenge ist wechselhaft (meist locker) gelagert und steht bis ca. 4 – 5 m unter Gelände an.

Darunter wurden bis ca. 10 – 11 m unter Gelände Neißeschotter als grobsandig – kiesige Ablagerungen angetroffen, die dicht (DS 5) bis mitteldicht (DS 7), stets aber wechselhaft mit vereinzelt sogar lockeren Zonen gelagert sind.

In der Erkundungsbasis steht ab 11 -12 m unter Gelände ein sehr dicht gelagerter Mittelsand an.

Zusammenfassend kann der Baugrund in drei Schichten eingeteilt werden:

1. Auffüllung aus alles Sandfraktionen, Bauschutt, Ziegelschutt, Steine, Holzreste, Wurzeln, i.o.T vegetative Deckschicht oder Straßenbefestigung 0 – 4 bzw. 5 m u. GOK
2. Neißeschotter aus Kies und Sandschüttungen in Lagen oder Gemischen, wechselhaft gelagert zwischen mitteldicht bis dicht mit lockeren Zonen 4 / 5 m – 10 / 12 m u. GOK
3. feinsandiger Mittelsand, Feinsand, tiefer versandeter Geschiebemergel / oder –lehm mit Steinbeimengungen, sehr fest gelagert ab 10 bzw. 12 m u. GOK bis Endteufe

In der nachstehenden Tabelle sind die Durchlässigkeitsbeiwerte, die für die Modellierung des Strömungsbildes verwendet wurden, zusammengestellt.

Tabelle 2: Durchlässigkeitsbeiwerte k_f [m/s]

Bodenart	**Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]**
Mittelsand, feinsandig	$4{,}0 \cdot 10^{-4}$
Mittelsand, grobsandig	$4{,}5 \cdot 10^{-4}$
Feinkies	$8{,}0 \cdot 10^{-4}$
Sohlsicherung (Wasserbausteine vgl. Kapitel 3)	$2{,}0 \cdot 10^{2}$
Sohlsicherung (Schotter, vgl. Kapitel 3)	$1{,}0 \cdot 10^{1}$
Spundwand	$1{,}0 \cdot 10^{-12}$

2.2 Bemessungswasserstände

Für die geohydraulischen Nachweise zur Unterströmung des Auslaufbauwerkes ist die maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser ausschlaggebend. Dieser Bemessungsfall existiert bei einem Hochwasserstand HW100 in der Lausitzer Neiße. Es wurde von einer kurzen Wellendurchlaufzeit ausgegangen. Der Verschluss des Auslaufbauwerkes wird bei einem Wasserstand von 43,90 m NHN in der Lausitzer Neiße durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Bemessungswasserstände angegeben.

Tabelle 3: Bemessungswasserstände

	Oberwasser	**Unterwasser**	**Differenz Δh**
HW_{100} in der Lausitzer Neiße	45,40 m NHN	43,90 m NHN	1,50 m

3 Filterstabilitätsnachweise

Für die Sohl- und Böschungssicherungen im Bereich des Auslaufbauwerkes bzw. des Sohlaufbaus der Riegelrampe in der Egelneiße wurde die Bemessung des Filteraufbaues gemäß Merkblatt „Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen" (MAK) der BAW durchgeführt. Der Sohlaufbau der Riegelrampe ist aufgrund des gewählten gröberen Deckmaterials als ungünstigerer Bemessungsfall anzusetzen, so dass lediglich für diesen Bereich ein Nachweis erbracht wurde.

Kennwerte Basiserdstoff

Aus dem Baugrundgutachten vom März 2013 wurden die Kennwerte des anstehenden Bodens im Gründungsbereich der Riegelrampe (= Raugerinnebeckenpass) entnommen. Es stehen prinzipiell die Bohrungen RKS 5 (rechtes Ufer) und RKS 7 (linkes Ufer) zur Verfügung. Die Bodenprobe 1 der Bohrung 7 weist dabei für den Bereich des Gründungsplanums die ungünstigen Kornverteilungen auf, so dass diese Körnung für die Nachweisführung verwendet wurde.

Tabelle 4: Kennwerte Basiserdstoff

	Basiserdstoff Riegelrampe RKS 7, Probe 7/1 Mittelsand
d_{10}	0,23 mm
d_{50}	0,61 mm
d_{60}	0,83 mm
U_l	3,6
k_f	$4{,}3 \cdot 10^{-4}$ m/s

Die Nachweisführungen sind in der Anlage 1 dargestellt. Im Ergebnis der Untersuchungen wurde nachfolgender 2-Schicht-Filteraufbau ermittelt. Für die Körnungsgrößen sind in der Tabelle 5 das linke und rechte Körnungsband angegeben.

Tabelle 5: Filteraufbau Raugerinnebeckenpass

	Filterschicht 1 **Kies 2/16**	**Filterschicht 2** **Schotter 32/63**	**Deckschicht** **LMB 5/40**
d_{10} [mm]	2,1 … 2,2	33,0 … 35,0	180 … 190
d_{50} [mm]	5,5 … 6,0	42,0 … 45,0	210 … 220
d_{60} [mm]	6,5 … 7,0	45,0 … 48,0	215 … 225
U_l	3,1 … 3,2	1,4	1,2
k_f [m/s]	$5{,}5\ 10^{-2}$ … $6{,}1\ 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{1}$ … $1{,}5 \cdot 10^{1}$	$4{,}1 \cdot 10^{2}$ … $4{,}5 \cdot 10^{2}$

Nachweis der Gesamtdurchlässigkeit im Verhältnis zum Basiserdstoff

$$X = \frac{k_{f\,Deckschicht}}{k_{f\,Basis}} \geq 100$$

$$X = 1{,}0 \cdot 10^{6} >> 100$$

4 Geohydraulische Standsicherheitsnachweise

4.1 Programmsystem

Die Simulation der Sickerwasserströmung im Bereich des Auslaufbauwerkes wurde mit Hilfe des Programmsystems GGU- SS – Flow 2 D (Version 10.03/2013) durchgeführt. Das Programm ermöglicht die Berechnung von stationären Grundwasserströmungen in horizontalen, vertikalen und rotationssymmetrischen Grundwassersystemen nach der Finiten-Elemente-Methode.

4.2 Unterströmung

4.2.1 Ermittlung der Unterströmungstiefe

Die wirksame Unterströmungstiefe (T_w) ist abhängig von

- der unterströmten Bauwerkslänge (L_B) und
- der Bauwerkstiefe (d_o)

Aus dem Verhältnis beider Parameter wird der Bemessungsansatz für die Berechnung der Unterströmungstiefe laut WAPRO 3.15, Tabelle A1 bestimmt.

Tabelle 6: Ansätze zur Ermittlung der Unterströmungstiefe nach WAPRO 3.15, Tabelle A 1

Gründungsstufe	Verhältnis L_B/d_o	Ansatz zur Berechnung der Unterströmungstiefe
flach	≥ 5	$T_w = 0{,}5 \cdot L_B$
mittel	3,4 bis 5	$T_w = 2{,}5 \cdot d_o$
tief	1 bis 3,4	$T_w = 0{,}5 \cdot L_B + 0{,}8 \cdot d_o$
sehr tief	0 bis 1	$T_w = 0{,}3 \cdot L_B + d_o$

In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die Unterströmungstiefe sowie die Bauwerkstiefe (d_o = Differenz zwischen der Unterkante Wasserbaufilter im Oberwasser und Unterkante Spundwand) aufgeführt. Die Nachweisführung der Unterströmung wurde für den Bereich der Wehrfelder durchgeführt, da hier die geringste Bauwerkslänge vorliegt.

Tabelle 7: Ermittlung der Unterströmungstiefe

Bauwerks-länge L_B [m]	Unterkante Wasserbau-filter OW [m NHN]	Unterkante Spund-wand [m NHN]	Bauwerks-tiefe d_o [m]	Verhältnis L_B/d_o	Unterströmungs-tiefe T_w [m]
14,6 m (Wehr)	39,00	34,70	4,3	3,4 (Gründungsstufe: mittel)	10,8

Bei einer Sohlhöhe im Oberwasser von 39,70 m NHN ergibt sich eine wirksame Unterströmungstiefe T_w von 28,90 m NHN.

Die untere Modellgrenze wurde in Anlehnung an die ermittelte Unterströmungstiefe (Modellgrenze ≤ Tw) auf 28,00 m NHN festgelegt.

4.2.2 Nachweis gegenüber hydraulischem Grundbruch

Beim Austritt des Sickerwassers im Unterwasser tritt eine vertikale Strömung zur Flusssohle auf. Infolge des Strömungswiderstandes in Fließrichtung wirkt eine Massenkraft auf das Korngerüst des Bodens. Dieser Strömungskraft wirkt das Gewicht des Erdstoffes unter Auftrieb (γ') entgegen:

$$\gamma' = (1 - n)\ (\gamma_s - \gamma_w)$$

Das kritische Druckgefälle ist erreicht, wenn der Auftrieb gleich dem Gewicht des Erdstoffes wird:

$$\gamma_w \cdot \Delta h \cdot F = \gamma' \cdot F \cdot \Delta s$$

$$I_{krit} = \frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

$$I_{krit} = \frac{(1 - n)\ (\gamma_s - \gamma_w)}{\gamma_w}$$

Tabelle 8: Ermittlung des kritischen Gefälles

Bauteil	Basiserdstoff	n [-]	γ_s [kN/m³]	γ_W [kN/m³]	I_{krit} [-]
Auslaufbauwerk	Mittelsand, grobsandig mS	0,20	17,5	10,5	0,53

Wird das kritische Gefälle überschritten, tritt hydraulischer Grundbruch ein.

Die erforderliche Sicherheit gegenüber hydraulischem Grundbruch beträgt nach DIN 1054:

Teilsicherheitsbeiwerte :	**η (LF1)**	**η (LF2)**	**η (LF3)**
	≥ 1,4	≥ 1,3	≥ 1,2

Entsprechend der Modellergebnisse ergeben sich für den Betriebszustand des Auslaufbauwerkes nachstehende Verhältnisse.

Tabelle 9: Ermittlung der vorhandenen Sicherheit gegenüber hydraulischem Grundbruch

Modellergebnisse	**Δh [m]**	**Δs [m]**	**$I_{vorh.} = \Delta h / \Delta s$**	**$\eta_{vorh.} = I_{krit.} / I_{vorh}$**
Anlage 2, Abb. 1	0,10	1,00	0,10	5,3

Für das Bauwerk wird die erforderliche Sicherheit ($\eta_{erf.} = 1,4$) deutlich eingehalten. Die Sicherheit gegenüber hydraulischem Grundbruch ist vorhanden.

4.2.3 Nachweis gegenüber allgemeinem Erosionsbruch

Unter Erosion wird der Transport fast aller Fraktionen des Erdstoffes verstanden.

Am Wasserbaufilter ist Kontakterosion nicht möglich, da durch die Bemessung nach den Filterregeln das geometrische Kontakterosionskriterium zwischen den einzelnen Schichten des Filters eingehalten wird.

$$D_{50} = d_{50} \cdot A_{50,\,zul}$$

Im übrigen Unterwasserbereich kann es nur zu Erosionserscheinungen kommen, wenn das hydraulische Erosionskriterium nicht erfüllt ist.

Hydraulisches Erosionskriterium:

$$I_{m,vorh} < I_{m,zul}$$

$Q = A \cdot v$

$A = T_w \cdot b$

$v = k_f \cdot I$

$$I = \frac{Q}{b \cdot T_w \cdot k_f}$$

Das zulässige hydraulische Gefälle für Erosionsbruchsicherheit beträgt für Fein- bis Mittelsand bei Vorhandensein einer Spundwand:

$$I_{m,zul} = 0,20$$

Dieser Wert darf bei Bauwerken mit Entwässerungseinrichtungen (Wasserbaufilter) bis zum 1,3-fachen erhöht werden.

$$I_{m,zul} = 1{,}3 \cdot 0{,}20$$

$$\boxed{I_{m,zul} = 0{,}26}$$

Aus den Simulationen wurde für die maßgebliche Wasserspiegeldifferenz von $\Delta H_{max} = 1{,}5$ m die Sickerwasseraustrittsmenge an dem unterwasserseitigen Modellknoten der Flusssohle ermittelt (vgl. Tabelle 10 und Anlage 2, Abbildung 2). Das vorhandene mittlere hydraulische Gefälle für das Auslaufbauwerk in der Egelneiße wurde daraus wie folgt abgeleitet.

Tabelle 10: Ermittlung der Sicherheit gegenüber Erosionsbruch

Sickerwasser-austrittsmenge Q [m³/s · m]	**Breite b [m]**	**Unterströmungstiefe [m]**	**Durchlässigkeits-beiwert k [m/s]**	**$I_{m,\ vorh}$ [-]**
$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	8,0	10,8	$8{,}0 \cdot 10^{-4}$	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$

$$I_{m,vorh} = 2{,}7 \cdot 10^{-3} << 0{,}26 = I_{m,zul}$$

Die Sicherheit gegenüber Erosionsbruch ist vorhanden.

4.3 Umströmung des Auslaufbauwerkes

Durch die vollständige Umspundung des Auslaufbauwerkes sowie die beidseitig in Bauwerksachse anschließenden Uferwände mit Spundwanddichtung sind nur minimale Strömungsvorgänge zu erwarten und somit keine Standsicherheitsprobleme vorhanden. Auf den rechnerischen Nachweis wurde daher verzichtet.

Filterstabilität ungebundener Kornfilter nach MAK (1989)

Anlage 1

Objekt: Aufbau Raugerinnebeckenpass - Ermittlung Filterschicht 1

1. Ausgangsdaten

Beschreibung	Zeichen [Einheit]	Wert
Basiserdstoff mS RKS 07, Probe 7/1	$d_{10,I}$ [mm]	0,230
	$d_{50,I}$ [mm]	0,610
	$d_{60,I}$ [mm]	0,830
	U_I	3,6
	k_f [m/s]	4,3E-04

2. Ermittlung Kennwerte der Filterschicht

$k_{Filter} \geq 25 \cdot k_{Boden}$

$k_{Filter} \geq$ 1,1E-02 m/s

Ableitung D_{10} nach HAZEN:

$k_{Filter} =$ (1,0 bis 1,5) $\cdot D^2_{10}$ (D_{10} in cm)

$k_{Filter} \leq 1{,}25 \cdot D^2_{10}$

$D_{10} \geq \sqrt{\frac{k_{Filter}}{1{,}25}} \geq$ 0,093 cm

gewählte Kennwerte Filterschicht:

Beschreibung	Zeichen [Einheit]	Wert	Zeichen [Einheit]	Wert
Filterschicht Kiessand 2/16	$D_{10,I}$ [mm]	2,100	$D_{10,r}$ [mm]	2,200
	$D_{50,I}$ [mm]	5,500	$D_{50,r}$ [mm]	6,000
	$D_{60,I}$ [mm]	6,500	$D_{60,r}$ [mm]	7,000
	U_{II}	3,1	U_{II}	3,2
	k_f [m/s]	5,5E-02	k_f [m/s]	6,1E-02

3. Nachweisführung nach Cistin/Ziems:

Bedingung: $0{,}1 < d_{50,I} < 30$ → 0,1 < 0,610 < 30

→ Bedingung erfüllt!

Berechnung des vorhandenen Abstandsverhältnisses:

vorh $A_{50} = D_{50,r}/d_{50,I}$ → vorh A_{50} = 10

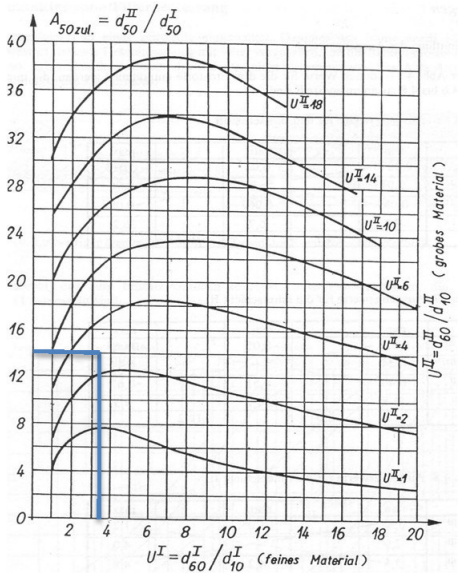
Bestimmung des zulässigen Abstandsverhältnisses:
(vgl. Diagramm)

U_I = 3,61 → zul A_{50} = 14

U_{II} = 3,18

→ vorh A_{50} < zul A_{50}

Bedingung ist erfüllt!



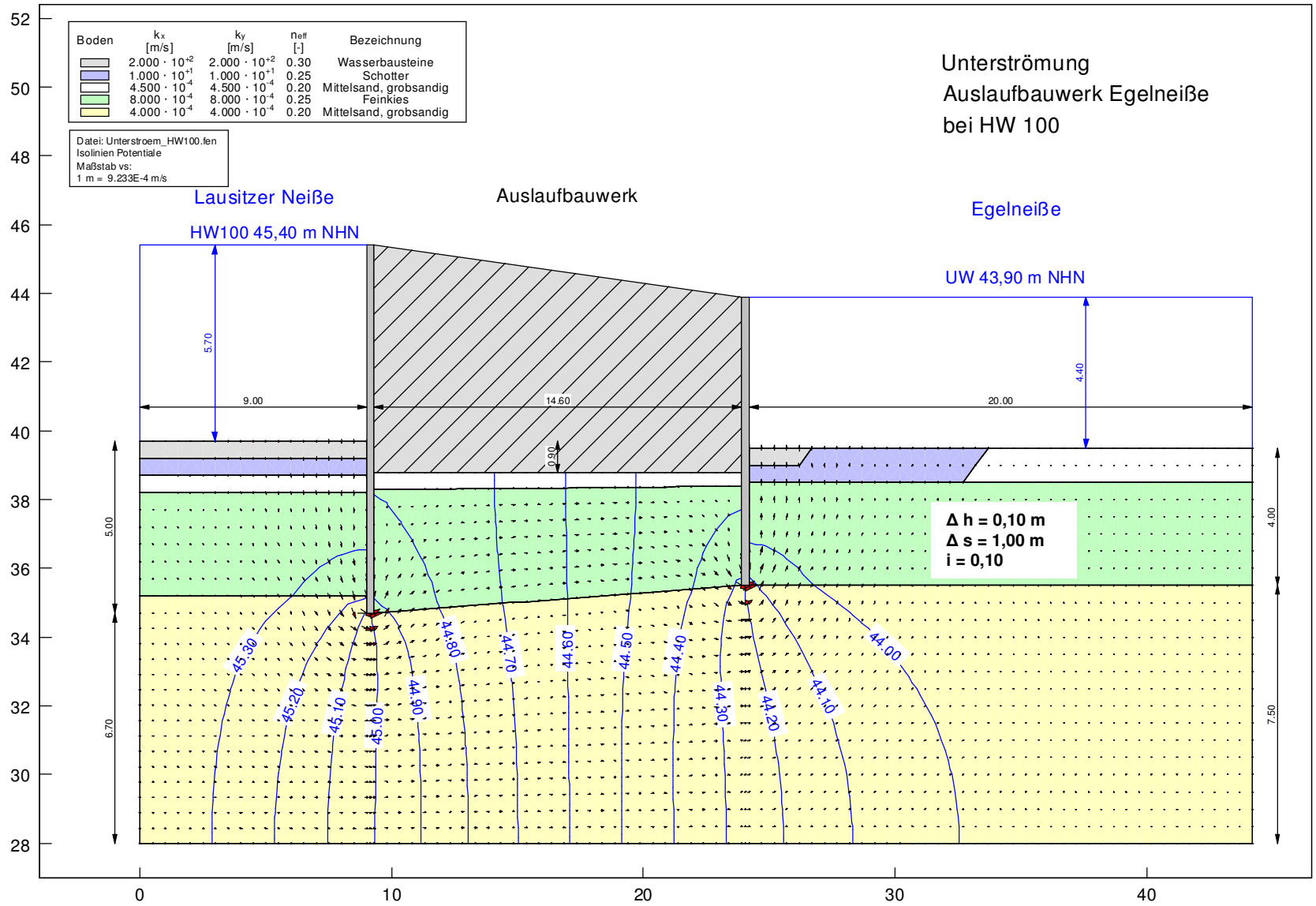


Abbildung 1: Potentiallinienverlauf Unterströmung Auslaufbauwerk bei HW100 in der Lausitzer Neiße

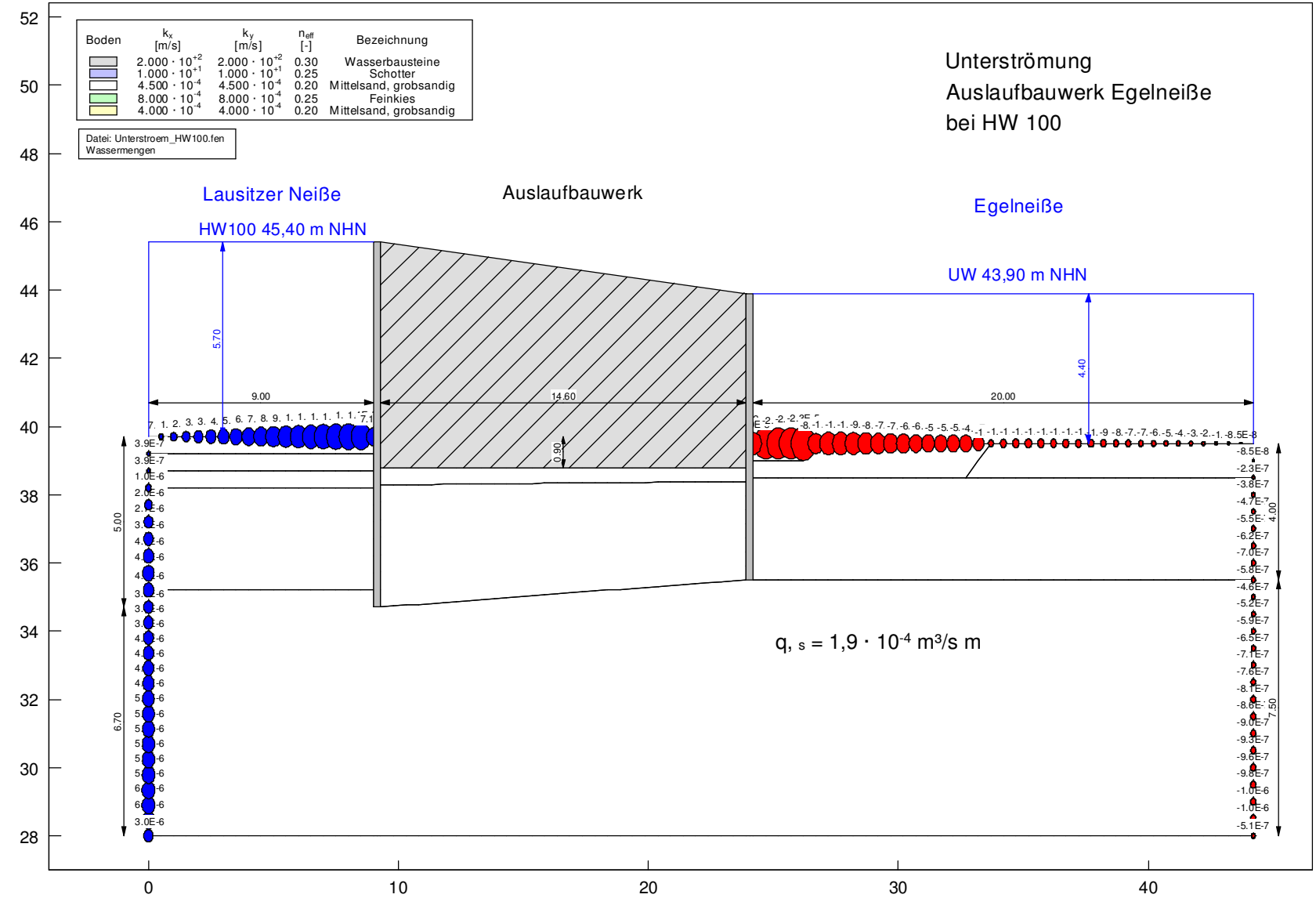


Abbildung 2: Wassermengen Unterströmung Wehrkörper