KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

TRAGWERKSPLANUNG

Stand 07/2024

Projektbezeichnung:	Singold Überleitung Großaitingen
Bauherr:	Wasserwirtschaftsamt Donauwörth Förgstraße 23 86609 Donauwörth
Auftraggeber:	Björnsen Beratende Ingenieure GmbH Niederlassung Augsburg Morellstraße 33 86159 Augsburg
Auftragsnummer:	60296
Auftragnehmer:	KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH, Niederlassung Nürnberg Rothenburger Straße 241 90439 Nürnberg

Bearbeiter:
Dipl.-Ing. David Poliszuk

Projektleiter:
Dipl.-Ing. Henning Pinar

Inhaltsverzeichnis

1. Unterlagen/ Vorschriften/ Software 4
2. Vorbemerkungen 6
3. Geometrie 8
4. Baugrund und Materialkennwerte 11
4.1. Materialkennwerte: 11
4.2. Mindestbewehrung: 11
4.3. Baugrund 12
5. Verbau mit Spundwand 20
Pos. 1 Bemessungswasserstände 20
Pos. 2 Einwirkungen 20
Pos. 3 Bemessungssituationen: 22
Pos. 4 Standsicherheit 23
Pos. 5 Wassermenge 34
6. Drosselbauwerk 39
Pos. 1 Geometrie 39
Pos. 2 Bemessungswasserstände: 41
Pos. 3 Einwirkungen 41
Pos. 4 Teilsicherheitsbeiwerte 50
Pos. 5 Bemessungssituationen: 52
6.1. Drosselbauwerk – Äußere Standsicherheit 53
Pos. 1 Nachweis gegen Auftrieb 53
Pos. 2 Gleitsicherheit 54
Pos. 3 Nachweis gegen Kippen (EQU) 56
Pos. 4 Sicherheit gegen Hydraulischen Grundbruch 59
Pos. 5 Wassermenge 64
Pos. 6 Setzungen 65
Pos. 7 Materialtransport 74

6.2. Drosselbauwerk – Innere Standsicherheit.....86

Pos. 1 Stauwand.....86

Pos. 2 Flügelwände.....92

Pos. 3 Sohle.....95

Pos. 4 Begrenzung der Verformungen.....97

Pos. 5 Kopfbalken / Sporn.....100

Anlage 1 - Newmark-Diagramme (Spannungverteilung)

Anlage 2 - Betonbemessung – Stauwand (mit Harzer Statik Programm)

Anlage 3 - Betonbemessung – Sohle (mit Harzer Statik Programm)

Anlage 4 - Zeichnungen

1. Unterlagen/ Vorschriften/ Software

[1] KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH, Überleitung Wertach-Singold Großaitingen, Entwurfspläne, Nürnberg, Mai 2023,

[2] CRYSTAL Geotechnik, Baugrunderkundung/Baugrundgutachten B201615 „Singold-Überleitung Großaitingen“, Großaitingen, 16. März 2021,

[3] DIN EN 1992-1-1: 2011-01, EC 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, i. V. mit:

- DIN EN 1992-1/ NA: 2013-04, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter, EC 2,

[4] DIN EN 1997-1: 2014-03, EC 7, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, i. V. mit:

- DIN EN 1997-1/ NA: 2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter, EC 7,
- DIN 1054: 2010-12, Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau,
- DIN 1054/A1: 2012-08, Änderung zu DIN 1054: 2010-12,

[5] DIN EN 1991-1: 2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Allgemeine Einwirkungen i. V. mit den NA,

[6] DIN 19702: 2013-02, Massivbauwerke im Wasserbau,

[7] DIN 1054, Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau (12/2010).

[8] DIN 4085: 2017-08, Baugrund – Berechnung des Erddrucks

[9] Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB), BAWMerkblatt, 2013.

[10] Merkblatt DWA-M 507-1, Deiche an Fließgewässern, 2011.

[11] EAU 2004, Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häafen und Wasserstraßen, 10. Auflage.

[12] EAB, Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 4. Auflage.

[13] Statik im Erdbau, 2., überarbeitete Auflage, Henner Türke, Ernst & Sohn.

[14] Harzer Statik 19/03.1,

[15] GGU-UNDERPIN, Version 6.

[16] GGU-RETAIN, Version 7.

[17] GGU-SSFLOW2D, Version 9.

2. Vorbemerkungen

Für die Vorbemessung des Drosselbauwerks wurde von einem im Bemessungsfall sich maximal einstellenden Oberwasserstand von 532 mNHN ausgegangen. Die Sohlhöhe der Singold beträgt im Bereich Standort ca. 530,70 mNHN.

Ausbildung des Bauwerks

Es werden zwei Öffnungen in der Drossel vorgesehen, eine fest eingestellte, 1,70 m breite Öffnung auf der linken Seite und eine mit Schwimmer geregelte 3,20 m breite Öffnung auf der rechten Seite.

Die lichte Breite zwischen den Flügelwänden beträgt 6,40 m und entspricht so ca. der Sohlbreite der Singold an dieser Stelle. Die Gründungstiefe beträgt 1,50 m unter Sohle Singold. Im Bereich der Stauwand wird als Sickersperre eine Spundwand eingebracht und bis in die schwächer durchlässigen Schichten eingebunden. Die Spundwand bindet in einen 70 cm tiefen Sporn aus unbewehrtem Beton ein, der mit Stabankern an den Konstruktionsbeton der Stauwand verankert wird. Die Sohlen der Flügelwände sind 65 cm dick, die Wände werden mit einer Dicke von 50 cm ausgeführt. Die Oberkante der Wände wird einschl. Freibord zu 532,50 mNHN festgelegt.

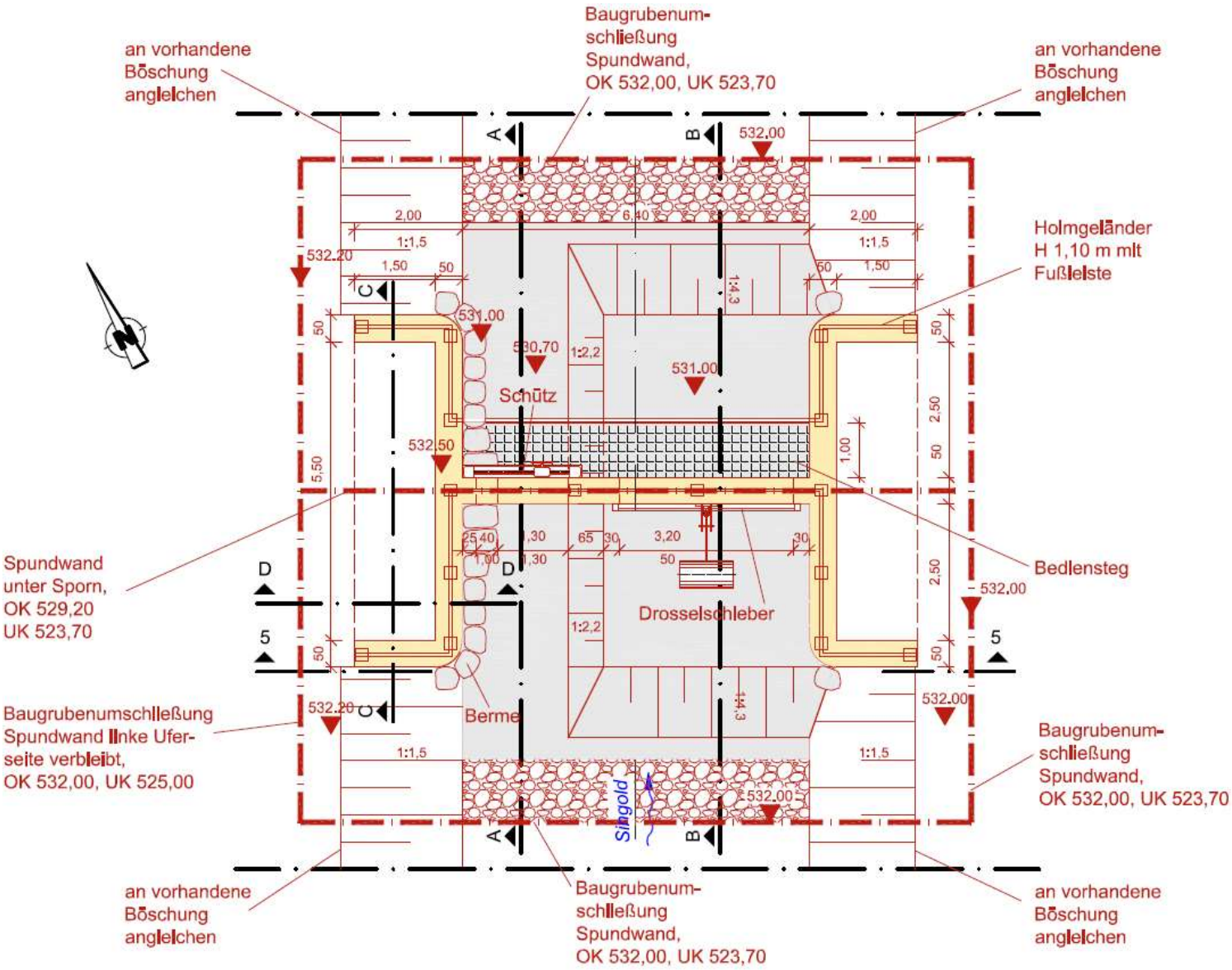
Die Sohlsicherung im Ober- und Unterwasser besteht aus einem 70 cm dicken Steinsatz nach DIN 19657 mit einem 30 cm dicken Unterbau aus Wasserbausteinen CP45/125. Die Sohlsicherung wird im nach den Flügelwänden sohlgleich an die Singold angeschlossen. Der Geländeangleich an die Flügelwände erfolgt mit Aushub.

Als Absturzsicherung sind 1,10 m hohe feuerverzinkte Holmgeländer mit Fußleiste vorgesehen, die mit Fußplatten auf den Wänden verankert sind. Das Bauwerk quert ein 1,0 m breiter Bediensteg aus einer feuerverzinkten Stahlkonstruktion mit Gitterrostabdeckung. Der Bediensteg ist beidseitig in Auflagernischen in den Flügelwänden gelagert.

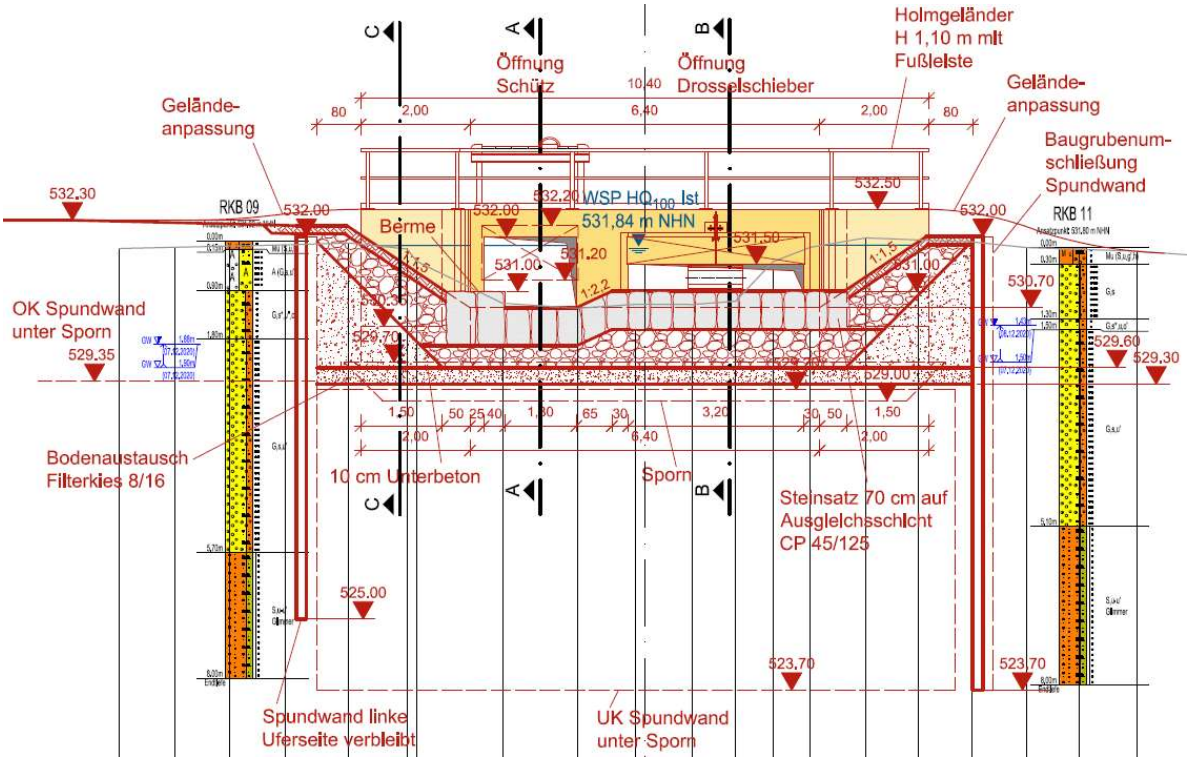
Die Andienung des Bauwerks erfolgt bauzeitlich und dauerhaft von der linken Seite über den dort vorhandenen Weg. Durch die Ausbildung der linken Flügelwand ergibt sich dort eine Stellfläche für Fahrzeuge des Betreibers. Zusätzlich verbleibt der linke Spundwandriegel der bauzeitlichen Baugrubenumschließung im Baugrund und dient als Verbau für das Aufstellen von Hebezeugen oberhalb und unterhalb des Betonbauwerks z.B. zum Beräumen von Treibgut oder bei Eisgang.

Das Bauwerk wird in einem Spundwandkasten mit offener Wasserhaltung hergestellt. Die Spundwände der Baugrubenumschließung binden bis in die gering durchlässigen tertiären Schichten ein. Innerhalb der Baugrube wird eine offene Wasserhaltung mit Pumpensümpfen, z.B. aus Schachtringen, eingerichtet.

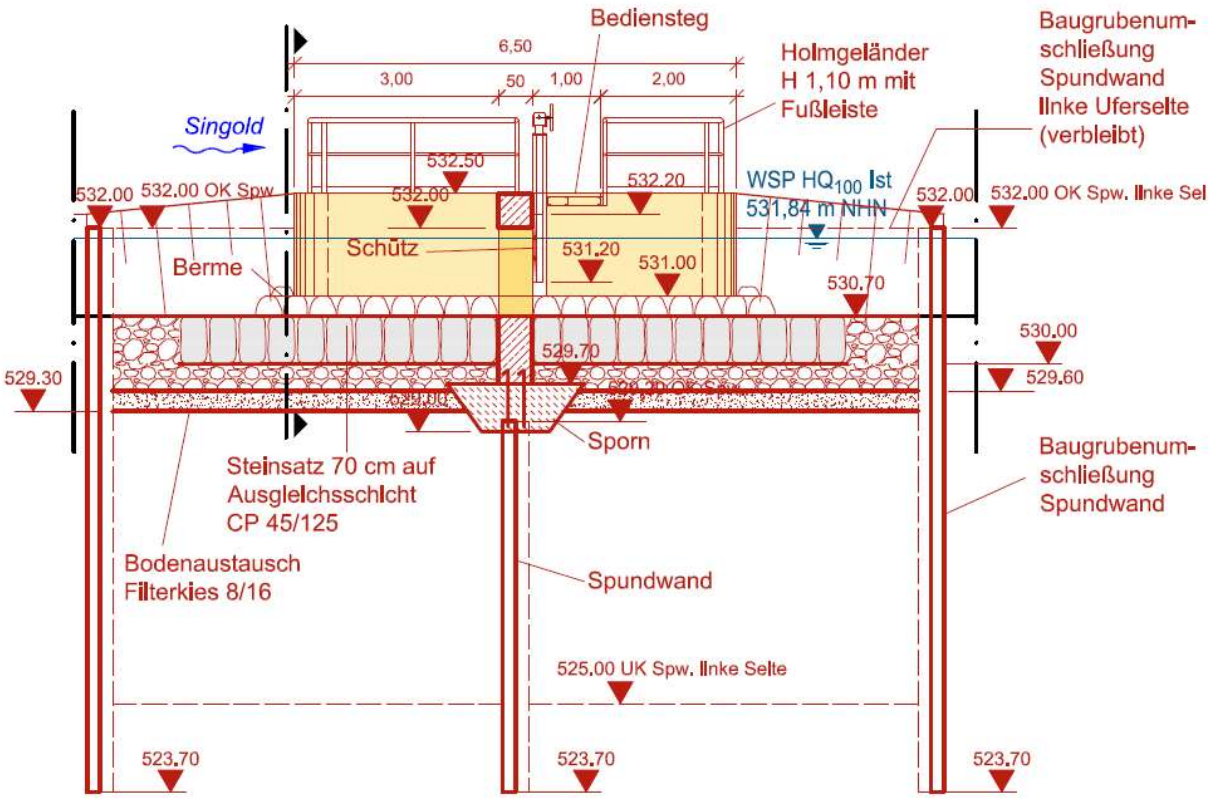
3. Geometrie


Baugrubenum-
schließung
Spundwand,
OK 532,00, UK 523,70
an vorhandene
Böschung
angleichen
an vorhandene
Böschung
angleichen
Holmgeländer
H 1,10 m mit
Fußleiste
Spundwand
unter Sporn,
OK 529,20
UK 523,70
Bedlensteg
Baugrubenumschließung
Spundwand linke Ufer-
seite verbleibt,
OK 532,00, UK 525,00
Baugrubenum-
schließung
Spundwand,
OK 532,00, UK 523,70
an vorhandene
Böschung
angleichen
Baugrubenum-
schließung
Spundwand,
OK 532,00, UK 523,70
an vorhandene
Böschung
angleichen
Schütz
Drosselschieber
Berme
Singold
532,00
532,20
531,00
530,70
532,50
1:1,5
1:2,2
1:4,3
2,00
6,40
1,50
50
5,50
2,50
1,00
3,20
65
30
25,40
1,30

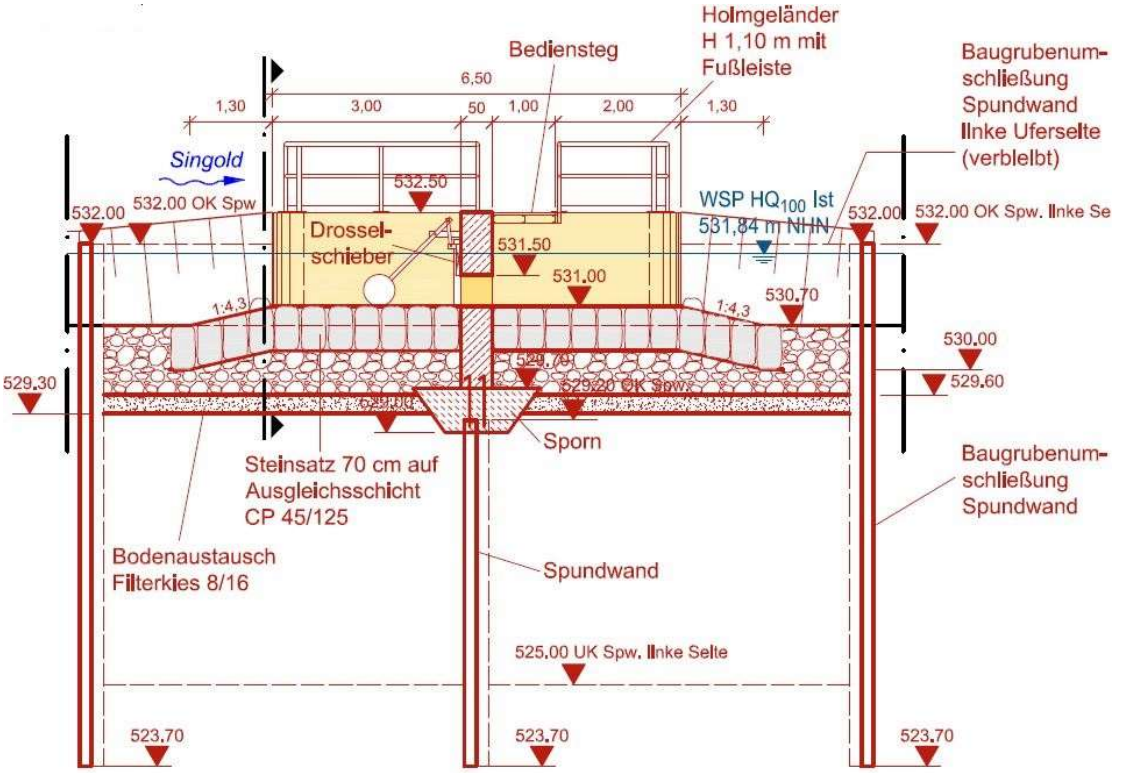
Profil 5-5



Profil A-A



Profil B-B


Holmgeländer
H 1,10 m mit
Fußleiste
Bediensteg
Baugrubenum-
schließung
Spundwand
linke Uferseite
(verbleibt)
6,50
1,30
3,00
50
1,00
2,00
1,30
Singold
532.50
532.00
532.00 OK Spw
Drossel-
schieber
531.50
531.00
WSP HQ100 Ist
531,84 m NHN
532.00
532.00 OK Spw. linke Se
1:4,3
1:4,3
530.70
530.00
529.60
529.30
529.20 OK Spw
Sporn
Steinsatz 70 cm auf
Ausgleichsschicht
CP 45/125
Baugrubenum-
schließung
Spundwand
Bodenaustausch
Filterkies 8/16
Spundwand
525,00 UK Spw. linke Seite
523.70
523.70
523.70

bauzeitliche,
überfahrbare
Durchlässe
DN 1000
OK 532.00
bauzeitliche
Überfahrt/
Rammplanie
4.00
linke Spundwand
vor der Verrohrung
herstellen
(verbleibt).
OK 532,00,
UK 525,00
OK 532.00
Baugruben-
umschließung
Spundwand,
OK 532.00,
UK 523,70
Profil 5
OK 529.20
Spundwand
unter Sporn
OK 529,20,
UK 523,70
Pumpensumpf
DN 1000
4.00
Pumpensumpf
DN 1000
bauzeitliche,
überfahrbare
Durchlässe
DN 1000
Baugruben-
umschließung
Spundwand,
OK 532.00,
UK 523,70
OK 532.00
OK 532.00
Rammplanie
bauzeitliche
Überfahrt/
Rammplanie
Baugruben-
umschließung
Spundwand,
OK 532.00,
UK 523,70
4.00

4. Baugrund und Materialkennwerte

4.1. Materialkennwerte:

Beton *Expositionklasse: XC2, XA1, XF3, WF*

C25/30 LP Druckfestigkeitsklasse

C_{nom} = 6,0 cm ZTV-W

W_k = 0,25 mm

γ = 24 kN/m^2

Gemäß DIN 19702:2013-02 Abschnitt 6.2 "Begrenzung der Rissbreiten von Stahlbeton" gilt:

[...] Bei massigen Bauteilen (Dicke > 0,8 m) oder Bauteilen mit der Anforderung der Wasserundurchlässigkeit ist neben betontechnologischen Maßnahmen die rissbreitenbegrenzende Bewehrung für einen Rechenwert (90 %-Quantil) der Rissbreite von w_K = 0,25 mm zu dimensionieren. Höhere Anforderungen können in Abhängigkeit der Nutzung erforderlich werden. Für alle übrigen Bauteile gelten die Anforderungen nach DIN EN 1992-1-1. Bei massigen Bauteilen (Dicke > 0,8 m) sind Nachweise zur Begrenzung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1:2011-01, 7.3.4, zu führen. [...]

Da es sich bei den Betonbauteilen um Bauwerke mit WU-Anforderung handelt, wird w_k = 0,25 mm festgelegt.

Betonstahl BSt 500 (B)

f_{yk} = 500 N/mm^2

4.2. Mindestbewehrung:

Konstruktive Mindestbewehrung

Als konstruktive Mindestbewehrung für Bauteile mit Anforderungen an eine Wasserundurchlässigkeit ist eine Querschnittsfläche des Betonstahls von 0,1% der Betonquerschnittsfläche je Seite und Verlegerichtung, höchstens aber a_s = 25 cm^2/m einzulegen. Die konstruktive Mindestbewehrung ist mit einem Mindestdurchmesser von 10 mm und höchstens s = 15 cm je Seite und Verlegerichtung einzuhalten.

Mindestbewehrung für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme

Gemäß DIN 19702 ist bei massiven Wasserbauwerken oder Bauteilen mit der Anforderung der Wasserundurchlässigkeit früher Zwang zu berücksichtigen. Gemäß DIN EN 1992-1-1:2011: wird die Mindestbewehrung für die Stahlbetonbauteile gewählt.

4.2 MINDESTBEWEHRUNG nach DIN EN 1992-1-1

(für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme)

Annahmen: ***Wände (dicke : 50cm)***

Rissbreite	w_k =	0,25	mm
Betonfestigkeitklasse		C25/30	
Betonzugfestigkeit (28 Tage)	f_{ctm} =	2,60	N/mm²
Betonzugfestigkeit (3-5 Tage)			
	% =	50	
	$f_{ct,eff}$ = % f_{ctm} =	1,30	N/mm²
Bezugswert der Betonzugfestigkeit			
	$f_{ct,0}$=	2,90	N/mm²
Bauteildicke	h =	50,00	cm
Bauteilbreite	b =	100	cm
Betondeckung	c_{nom} =	60	mm
Stabdurchmesser	Øs =	12	mm

Berechnungswerte Geometrie:

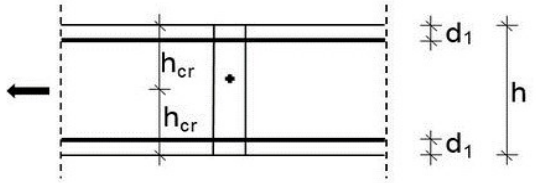
Beiwerte (Zentrische Zug)	k_c =	1,00	
Beiwerte			
wenn h ≤ 0,30m	k =	0,80	
wenn h ≥ 0,80m	k =	0,5	
	k =	0,68	
Achsabstand	d1 =	6,60	cm
Statische Nutzhöhe	d =	43,40	cm
Verhältnis	h/d1 =	7,58	
Effektive Höhe	h_{eff} =	18,20	cm

$$0 \le \frac{h}{d_1} < 5,0: \quad h_{c,ef} = 0,50 \cdot h$$

$$5,0 \le \frac{h}{d_1} < 30: h_{c,ef} = 0,10 \cdot h + 2,0 \cdot d_1$$

$$\frac{h}{d_1} \ge 30: \qquad h_{c,ef} = 5,0 \cdot d_1$$

Fläche der Betonzugzone	A_{ct} =	2500	cm²
	$A_{c,eff}$ =	1820	cm²
Höhe der Zugzone	h_{cr} =	25,00	cm



4.2 MINDESTBEWEHRUNG nach DIN EN 1992-1-1

(für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme)

Berechnungswerte Modifizierter Stabdurchmesser:

Grenzdurchmesser 1	$\emptyset s^*_1$ =	83,14	mm
Grenzdurchmesser 2	$\emptyset s^*_2$ =	26,77	mm
	Maßgebender $\emptyset_s^*$ =	26,77	mm

$$\emptyset_s^* = \emptyset_{s1}^* \leq \emptyset_{s2}^*$$

$$\emptyset_s^* = \emptyset_s \times \frac{8 \times d1}{k.k_c.h_{cr}} \times \frac{f_{ct,0}}{f_{ct,eff}} \leq \emptyset_s \times \frac{f_{ct,0}}{f_{ct,eff}}$$

Ermittlung der Stahlspannung

E_s =	200000	N/mm²
f_{yk} =	500,00	
σ_s =	180,28	N/mm²

Ermittlung der Mindestbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung

$$A_{s,min} = \min\left\{ k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \;;\; \max\left\{ \frac{f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff}}{\sigma_s} \;;\; \frac{k \cdot f_{cteff} \cdot A_{ct}}{f_{yk}} \right\} \right.$$

$A_{s,min1}$ =	12,26	cm²/m	
$A_{s,min2}$ =	13,12	cm²/m	
$A_{s,min3}$ =	4,42	cm²/m	
$A_{s,min}$ =	**12,26**	**cm²/m**	

4.2 MINDESTBEWEHRUNG nach DIN EN 1992-1-1

(für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme)

Annahmen: ***Sohle (dicke : 65cm)***

Rissbreite	w_k =	0,25	mm
Betonfestigkeitklasse		C25/30	
Betonzugfestigkeit (28 Tage)	f_{ctm} =	2,60	N/mm²
Betonzugfestigkeit (3-5 Tage)			
	% =	50	
	$f_{ct,eff}$ = % f_{ctm} =	1,30	N/mm²
Bezugswert der Betonzugfestigkeit			
	$f_{ct,0}$=	2,90	N/mm²
Bauteildicke	h =	65,00	cm
Bauteilbreite	b =	100	cm
Betondeckung	c_{nom} =	60	mm
Stabdurchmesser	Øs =	12	mm

Berechnungswerte Geometrie:

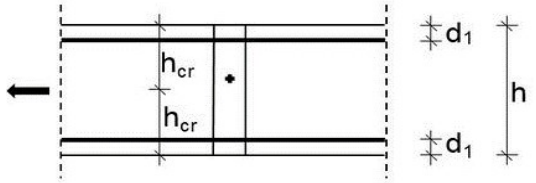
Beiwerte (Zentrische Zug)	k_c =	1,00	
Beiwerte			
wenn h ≤ 0,30m	k =	0,80	
wenn h ≥ 0,80m	k =	0,5	
	k =	0,59	
Achsabstand	d1 =	6,60	cm
Statische Nutzhöhe	d =	58,40	cm
Verhältnis	h/d1 =	9,85	
Effektive Höhe	h_{eff} =	19,70	cm

$$0 \le \frac{h}{d_1} < 5,0: \quad h_{c,ef} = 0,50 \cdot h$$

$$5,0 \le \frac{h}{d_1} < 30: h_{c,ef} = 0,10 \cdot h + 2,0 \cdot d_1$$

$$\frac{h}{d_1} \ge 30: \qquad h_{c,ef} = 5,0 \cdot d_1$$

Fläche der Betonzugzone	A_{ct} =	3250	cm²
	$A_{c,eff}$ =	1970	cm²
Höhe der Zugzone	h_{cr} =	32,50	cm



4.2 MINDESTBEWEHRUNG nach DIN EN 1992-1-1

(für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme)

Berechnungswerte Modifizierter Stabdurchmesser:

Grenzdurchmesser 1	$\emptyset s^*_1$ =	73,71	mm
Grenzdurchmesser 2	$\emptyset s^*_2$ =	26,77	mm
Maßgebender $\emptyset_s$* =		26,77	mm

$$\emptyset_s^* = \emptyset_{s1}^* \leq \emptyset_{s2}^*$$

$$\emptyset_s^* = \emptyset_s \times \frac{8 \times d1}{k.k_c.h_{cr}} \times \frac{f_{ct,0}}{f_{ct,eff}} \leq \emptyset_s \times \frac{f_{ct,0}}{f_{ct,eff}}$$

Ermittlung der Stahlspannung

E_s =	200000	N/mm²
f_{yk} =	500,00	
σ_s =	180,28	N/mm²

Ermittlung der Mindestbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung

$$A_{s,min} = \min\left\{ k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \right.$$
$$\left. \max\left\{ \frac{f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff}}{\sigma_s} ; \frac{k \cdot f_{cteff} \cdot A_{ct}}{f_{yk}} \right. \right.$$

$A_{s,min1}$ =	13,83	cm^2/m	
$A_{s,min2}$ =	14,21	cm^2/m	
$A_{s,min3}$ =	4,9855	cm^2/m	
$A_{s,min}$ =	**13,83**	**cm^2/m**	

4.3. Baugrund

Die charakteristischen Bodenkennwerte werden in [2], wie folgt, angegeben:

Boden	γ	γ'	Φ	c	Es	k
	[kN/m³]	[kN/m³]	[°]	[kN/m²]	[MN/m²]	[m/sec]
A1 – Auffüllungen (Kies, sandig, schwach schluffig)	21 - 22	12 - 13	35	0	60 - 120	≤ $5x10^{-2}$
B1.2 – Decklagen (Kies, stark sandig, schluffig bis stark schluffig, schwach organisch)	19 - 20	10	30 - 32,5	0 - 2	25 - 50	≤ $1x10^{-2}$
B2 – Flussablagerungen (Kies, sandig, schwach schluffig)	20	10 - 12	32,5 - 35	0	40 – 80	≤ $5x10^{-2}$
B3.1 – Tertiäre Sedimente (Sand, schwach schluffig bis schluffig)	20 - 21	10 - 11	32,5 - 35	2 - 5	40 - 80	≤ $5x10^{-4}$

Hinweis: In Bohrung RKB-12, in der Nähe der Baustelle, wurde keine Betonaggressivität Wasser festgestellt. [2]

Um den Aushub sicher durchführen zu können, muss der Spundwandverbau gemäß den statischen Berechnungen ausgeführt werden.
Es werden folgende Annahmen getroffen:

- Der Bemessungswert des Bodenwiderstandes für die Gründungsschicht beträgt $\sigma_{R,d}$ = 280 kN/m² gemäß Baugrundgutachten, entsprechend der Schicht „Quartäre Kiese B.2“

geringste Einbindetiefe (m)	aufnehmbarer Sohldruck in kN/m² für b bzw. b‘				
	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
≥ 1,0	250	300	350	320	280

Zeichenerklärung für Bodenprofile (DIN 4023)

Bezeichnung der Erkundungsstellen

SCH 1 = Schurf Nr.
B 1 = Bohrung Nr.
B 1-P = Bohrung Nr. mit Pegelausbau
SDB 1 = Kleinbohrung

DPL = leichte Rammsondierung
DPM = mittelschwere Rammsondierung
DPH = schwere Rammsondierung
} DIN EN ISO 22476-2

Probenbezeichnung

P 1.60m gestörte Probe
S 1.60m Sonderprobe

Angaben zum Grundwasser

GW ▽ 8.90m (01.04.2003) Grundwasser am 01.04.03 8,9m u. GOK angebohrt

GW ▼ 8.90m (09.10.2003) Grundwasser nach Bohrende

GW ▼ 8.90m (09.10.2003) Ruhewasserstand im Pegel

Kurzzeichen, Zeichen und Farbkennzeichnungen für Bodenarten und Fels nach DIN 4023 und DIN EN ISO 14688-1

Benennung		Kurzzeichen DIN 4023		Kurzzeichen DIN EN ISO 14688-1		Farbgebung	
Bodenart	Beimengung	Bodenart	Beimengung	Bodenart	Beimengung	Zeichen	Flächenfarbe
Kies	kiesig	G	g	Gr	gr		hellgelb
Grobkies	grobkiesig	gG	gg	CGr	cgr		hellgelb
Mittelkies	mittelkiesig	mG	mg	MGr	mgr		hellgelb
Feinkies	feinkiesig	fG	fg	FGr	fgr		hellgelb
Sand	sandig	S	s	Sa	sa		orangegelb
Grobsand	grobsandig	gS	gs	CSa	csa		orangegelb
Mittelsand	mittelsandig	mS	ms	MSa	msa		orangegelb
Feinsand	feinsandig	fS	fs	FSa	fsa		orangegelb
Schluff	schluffig	U	u	Si	si		oliv
Ton	tonig	T	t	Cl	cl		violett
Torf, Humus	torfig,humus	H	h	Or	or		dunkelbraun
Mudde (Faulschlamm	organische Beimengung	F -	- o	Or	or		helllila -
Auffüllung		A	-	Mg	-	A	-
Steine	steinig	X	x	Co	co		hellgelb
Blöcke	mit Blöcken	Y	y	Bo	bo		hellgelb
Fels allgemein		Z	-	-	-	Z	dunkelgrün
Fels verwittert		Zv	-	-	-	Zv	dunkelgrün

Weitere Angaben

' = schwach (Anteil < 15 %)
* = stark (Anteil > 30 %)
∪ = naß (Vernässungszone oberhalb GW)

= breiig
= weich
= steif

= halbfest
= fest
= klüftig

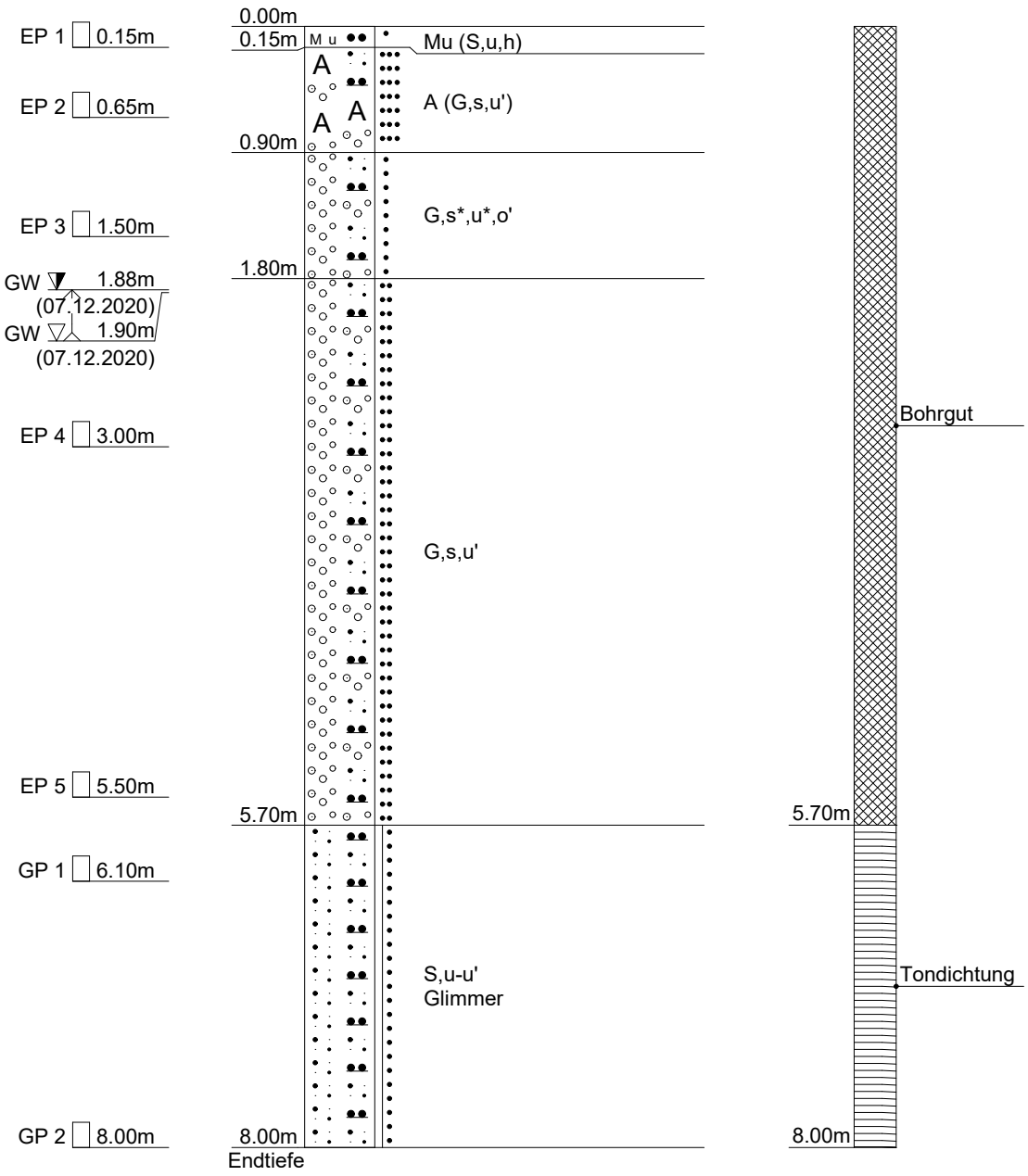
= locker bis sehr locker
= mitteldicht

= dicht
= sehr dicht

Crystal Geotechnik GmbH	Projekt:	Gew II, Singold, Singold-Überleitung	
Berat. Ingenieure und Geologen	Projekt-Nr.:	B 201615	
Hofstattstr. 28, 86919 Utting	Anlage:	3.9	
Tel.: 08806 / 95894-0	Maßstab:	1: 50 / 1: 25	Datum: 07.12.2020
Fax: 08806 / 95894-44	Rechtswert:	4409081.40	Hochwert: 5343221.67

RKB 09

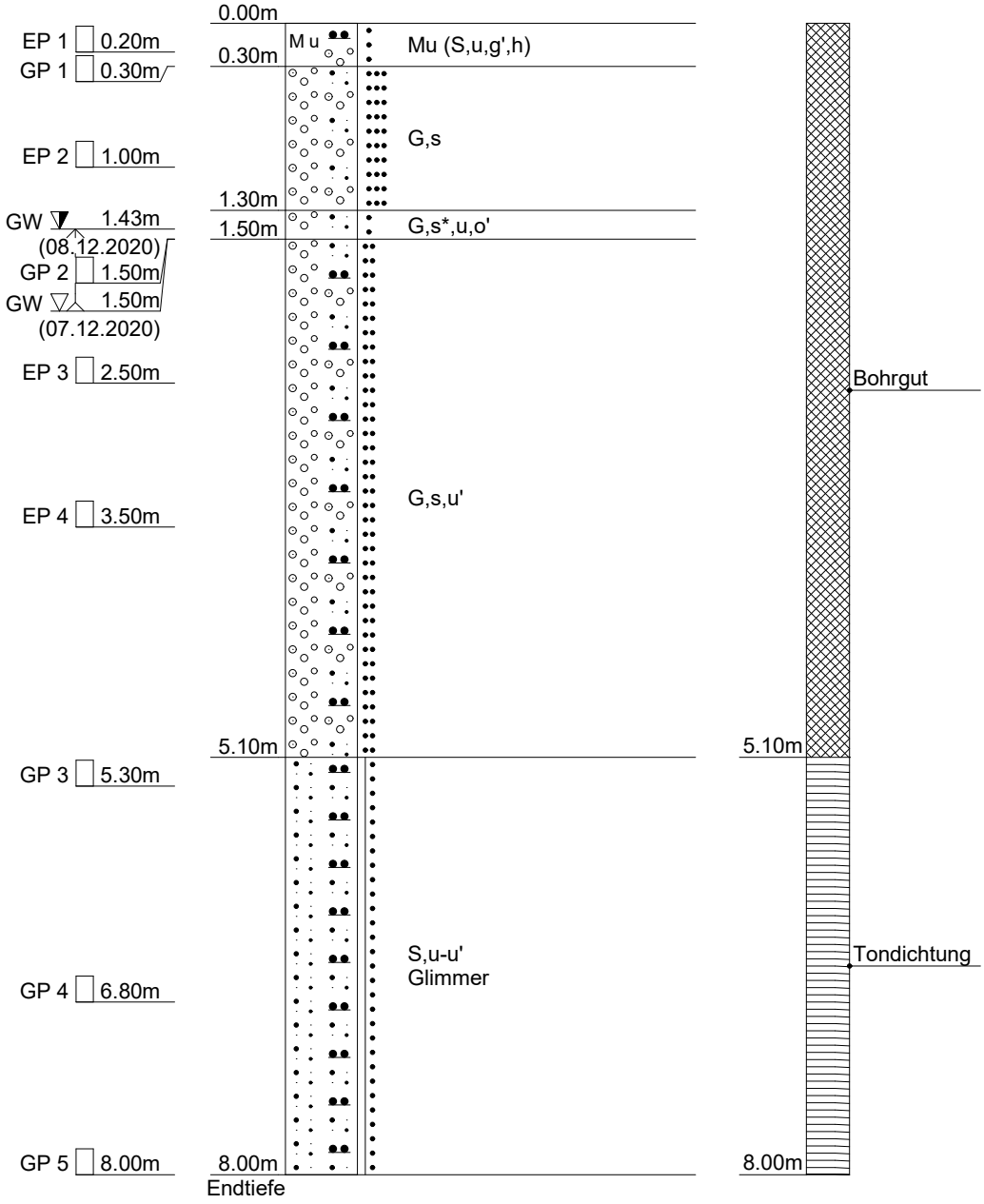
Ansatzpunkt: 531.92 m NHN



Crystal Geotechnik GmbH	Projekt:	Gew II, Singold, Singold-Überleitung	
Berat. Ingenieure und Geologen	Projekt-Nr.:	B 201615	
Hofstattstr. 28, 86919 Utting	Anlage:	3.11	
Tel.: 08806 / 95894-0	Maßstab:	1: 50 / 1: 25	Datum: 07.12. - 08.12.2020
Fax: 08806 / 95894-44	Rechtswert:	4409098.72	Hochwert: 5343220.97

RKB 11

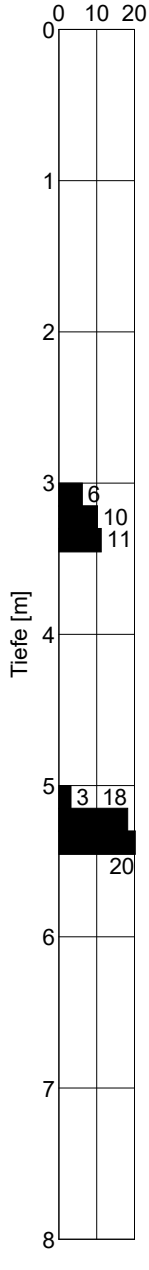
Ansatzpunkt: 531.80 m NHN



Rückverfüllung

PDP-Test

Schläge je 15 cm N15



5. Verbau mit Spundwand

Pos. 1 Bemessungswasserstände

SN_{BZ} = 531,30 müNN *Singold-Niveau während der Bauphase*

GWS_{BZ} = 530,20 müNN *Grundwasserspiegels während der Bauphase*
(Berechnet als Mittelwert des GWS in den Bohrungen RKB-9 und RKB-11) siehe [2].

GWS_{MW} = 531,80 müNN *Mittelwert des Grundwasserspiegels*
(*Mittelwert des erwarteten GWS während der Nutzungsdauer) siehe [2], Seite 20.*
*„Wird auf der sicheren Seite mit **532,00 müNN** angenommen“*

Pos. 2 Einwirkungen

A. Ständige Lasten:

I. Erddruck + Verdichtungserddruck:

Erddruck Bemessung nach DIN 4085.
In den Bereichen, in denen eine Hinterfüllung eingebaut wird, ist der Verdichtungserddruck nach DIN 4085-2017-08 anzusetzen. Die Wände werden als nachgiebig berücksichtigt (Aktiver Erddruck). Es wird eine leichte Verdichtung mit Vibrationsplatten mit einer Betriebsmasse von ≤ 250 kg.

e_{vh} = 15,00 kN/m²

z_a = 2,00 m

Nur auf der linken Seite ist mit intensiver Verdichtung zu rechnen.
Tiefe der Hinterfüllung = 1,30m

e_{vh} = 25,00 kN/m²

$z_a = z_{hinterfullung}$ = 1,30 m

II. Wasserdruck:

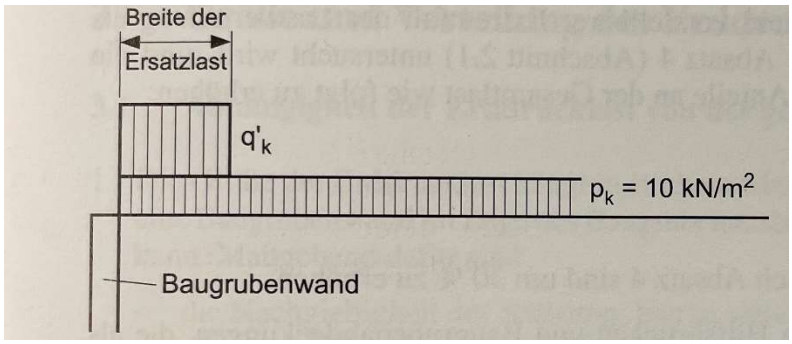
Wassergewicht: γ_W = 10,00 kN/m³

B. Veränderliche Lasten:

I. Verkehrlasten:

Nach EAB (EB-57)

- Gesamtgewicht des Gerätes 300 kN (30tn)
- Gleichlast pk 10,0 kN/m²
- Zusätzliche Streifenlast qk‘ *(Abstand 0,60m)* 40,0 kN/m²
- Breite der Streifenlast 2,00 m



C. Außergewöhnliche Lasten:

I. Erdbeben:

Die Baustelle befindet sich außerhalb der Erdbebenzonen nach Bild 2 (DIN 4149). Der Grad der Erdbebengefährdung außerhalb der Erdbebenzonen 1 bis 3 ist als so gering einzuschätzen, dass diese Norm dort nicht angewendet werden muss.

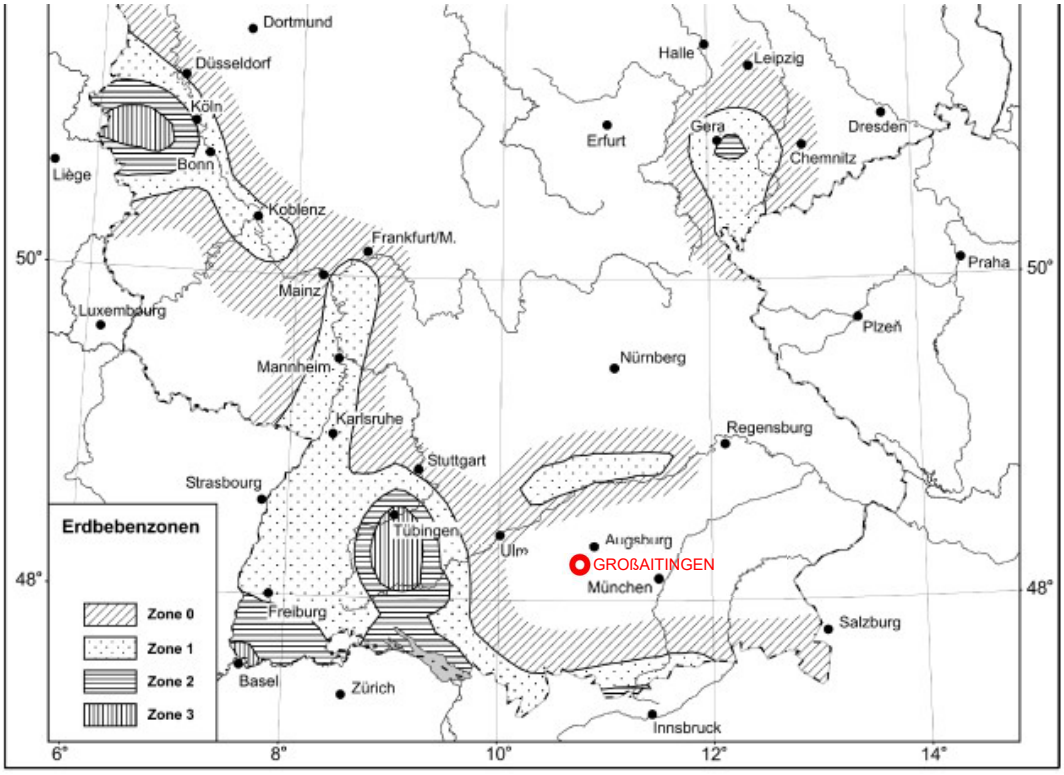


Bild 2 — Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

Pos. 3 Bemessungssituationen:

BS-P.1 = Endzustand, nur linke Seite. An diesem Ufer bleibt die Spundwand nach der Bauzeit erhalten.

BS-T.1 = Bauzeit, alle Spundwände.

BS-A.1 = Kronenstau während der Bauphase, alle Spundwände.

BS-A.2 = Kronenstau im Endzustand, nur linke Seite.

Einwirkungen / BS	**P.1** BS-P	**T.1** BS-T	**A.1** BS-A	**A.2** BS-A
	nur linke Seite			*nur linke Seite*
Eigenlast einschl. Erddruck	x	x	x	x
Verkehrslast	pk + pk'	pk + pk'	pk + pk'	pk + pk'
Wasserdruck: Singold	531,30	531,30	532,00	530,70
GWS - Baugrube	-	529,30	529,30	-
GWS - Außerbaugrube	532,00	530,20	532,00	532,00
Baugrube	530,70	529,30	529,70	530,70

5. SPUNDWAND SINGOLD

Pos. 4 Standsicherheit

(1) Bauablauf

Bauphase 1

1. Einbringen linke Spundwand bis 525,00 müNN
2. Einrichtung Singold-Verrohrung
3. Schüttung Rammplanie
4. Einbringen nord, süd und rechte Spundwand bis 523,70 müNN
5. Aushub

Hinweis: Linke Spundwand verbleibt für spätere Nutzung im Bauwerksunterhalt

(2) Spundwandbemessung

Profil **GU 8N**

Die Standsicherheit wird mit dem Programm GGU-RETAIN nachgewiesen:

Einwirkungen / BS		**P.1** BS-P	**T.1** BS-T	**A.1** BS-A	**A.2** BS-A		
		nur linke Seite			*nur linke Seite*		
Eigenlast einschl. Erddruck		x	x	x	x		
Verkehrslast		pk + pk'	pk + pk'	pk + pk'	pk + pk'		
Wasserdruck:	Singold	531,30	531,30	532,00	530,70		
	GWS - Baugrube	-	529,30	529,30	-		
	GWS - Außerbaugrube	532,00	530,20	532,00	532,00		
Baugrube		530,70	529,30	529,70	530,70		
Ergebnisse							
SPUNDWAND (Profillänge)	Linke Seite	6,92	6,69	6,14	5,41	**6,92**	m
	Recht Seite	-	8,07	7,85	-	**8,07**	m
	Süd- & Nordseite	-	8,10	7,58	-	**8,10**	m

GWS: Grundwasserspiegel

Die folgenden Werte werden angenommen:

	Spundwand GU 8N		
	Profillänge m	OK müNN	UK müNN
Linke Seite	7,00	532,00	525,00
Recht-, Nord- und Südseite	8,30	532,00	523,70
Unter Sporn (als Dichtung)	5,50	529,20	523,70

(3) Zusätzliche Bemerkungen

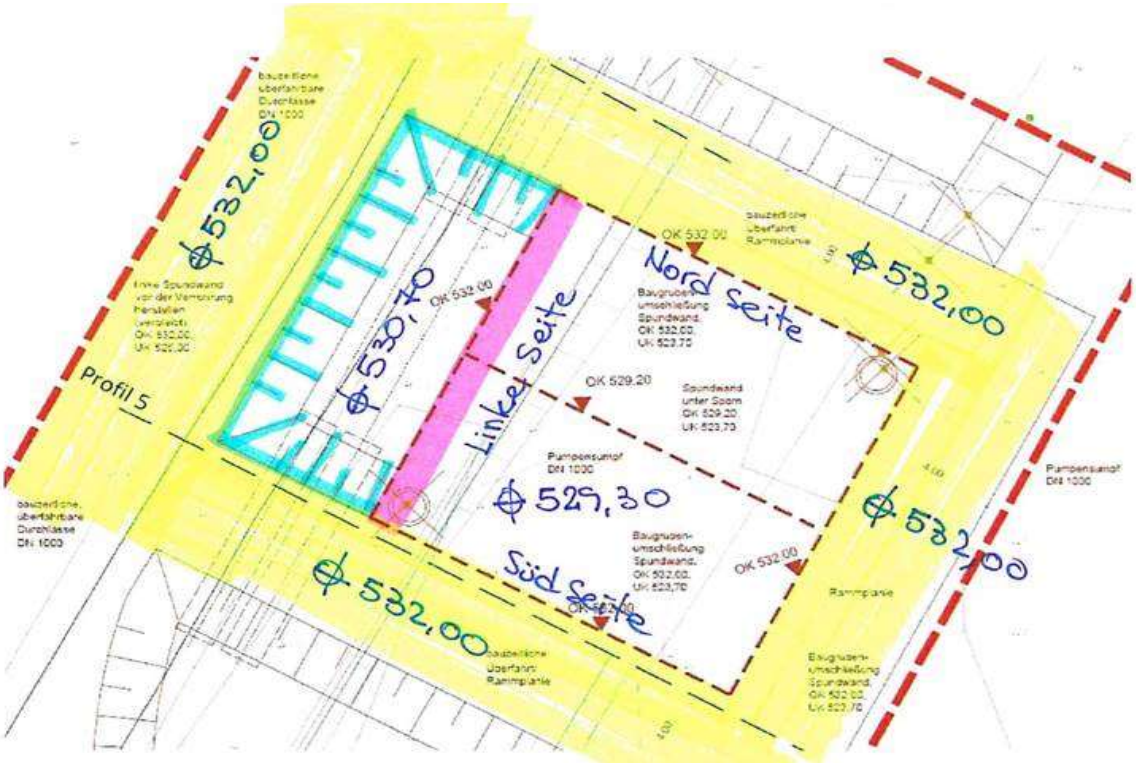
In der nachstehenden Skizze dargestellt, unterscheidet sich der Zustand während der Bauzeit (BS-T1) der linken Seite der Spundwand von dem der südlichen, nördlichen und rechten Seite.

Nord, Süd und Recht Seite (BS-T1 „Bauzeit“):

Erdseite GOK =	532,00 müNN
Luftseite GOK =	529,30 müNN
Sonstiges =	Verkehrlasten auf der Erdseite

Linke Seite (BS-T1 „Bauzeit“):

Erdseite GOK =	530,70 müNN
Luftseite GOK =	529,30 müNN
Sonstiges =	Keine Verkehrlasten auf der Erdseite



Die statischen Anforderungen auf der linken Seite während der Bauzeit geringer als die andere Seiten (Recht, Nord und Süd).

Der Bereich hinter der Spundwand auf der linken Seite (hellblau schraffiert) wird erst verfüllt, wenn die Betonarbeiten abgeschlossen sind und der Bach seinen endgültigen Flussverlauf genommen hat.
Danach wird es eine Verkehrsbelastung geben, aber die statischen Anforderungen werden geringer sein, weil es mehr „Hinterfüllung“ auf der Luftseite geben wird. Siehe Skizze Unten mit Bauphasen.

Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Linke Seite (Endzustand) - Standsicherheit BS-P1 (Ständige Lasten)

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.500	-0.330	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.500	-0.330	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.500	-0.330	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.500	-0.330	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

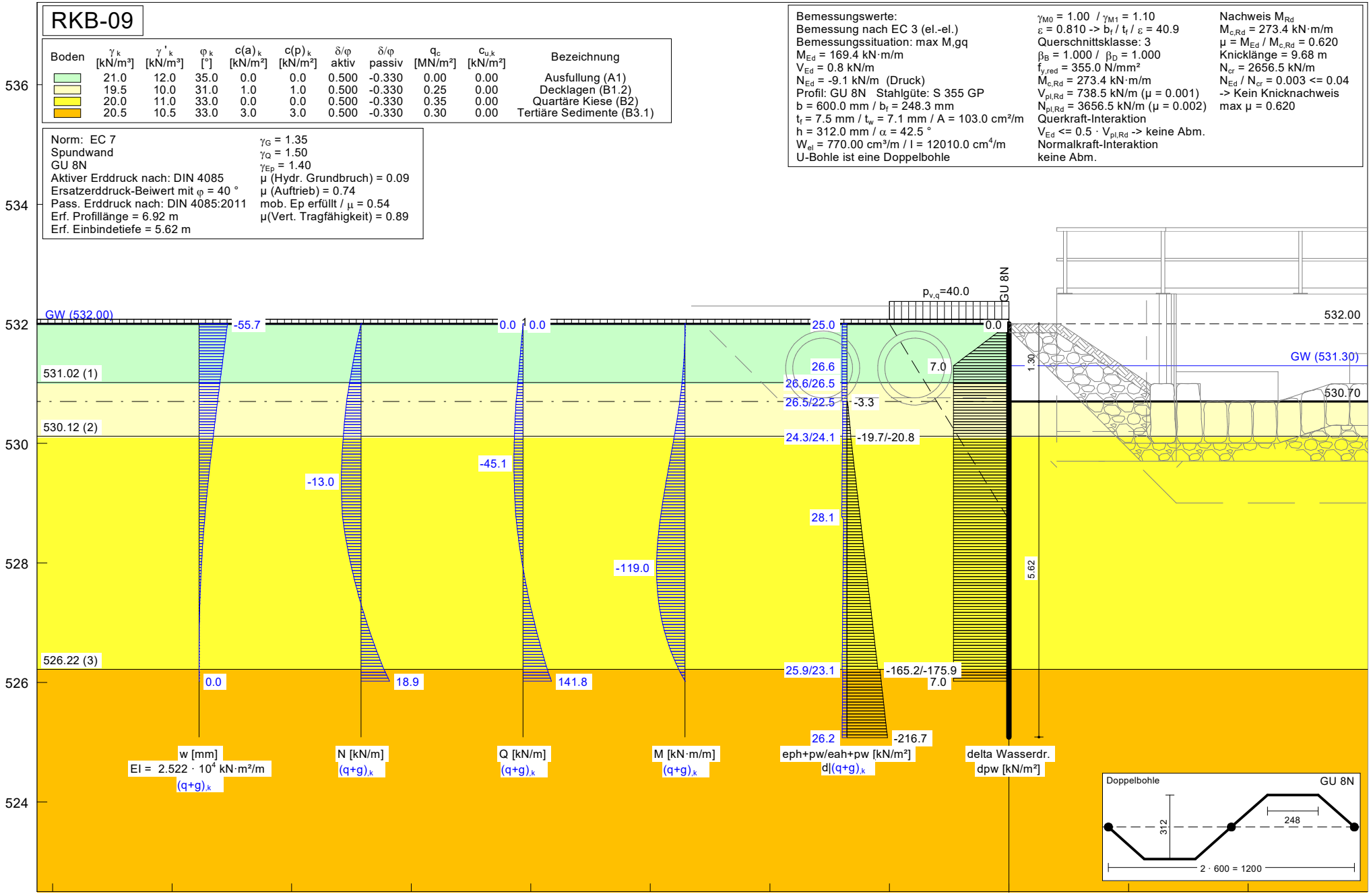
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 6.92 m
Erf. Einbindetiefe = 5.62 m

γ_G = 1.35
γ_Q = 1.50
γ_{Ep} = 1.40
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.09
μ (Auftrieb) = 0.74
mob. Ep erfüllt / μ = 0.54
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.89

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: max M,gq
M_{Ed} = 169.4 kN·m/m
V_{Ed} = 0.8 kN/m
N_{Ed} = -9.1 kN/m (Druck)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.001)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.002)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
μ = M_{Ed} / $M_{c,Rd}$ = 0.620
Knicklänge = 9.68 m
N_{cr} = 2656.5 kN/m
N_{Ed} / N_{cr} = 0.003 <= 0.04
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.620



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Standsicherheit BS-T1(Bauzeit) - linke Seite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.667	-0.500	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.660	-0.500	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.660	-0.500	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.660	-0.500	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

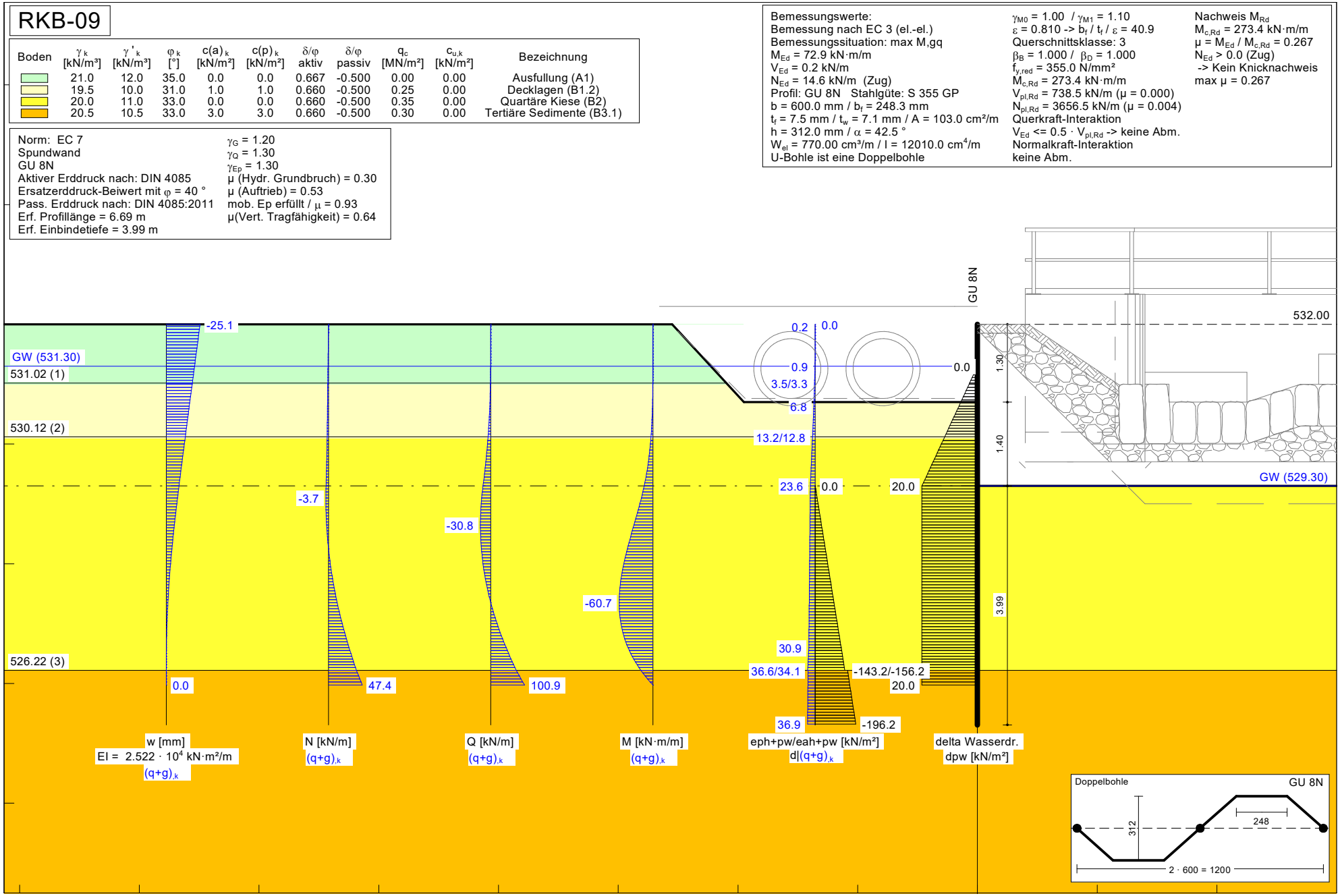
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 6.69 m
Erf. Einbindetiefe = 3.99 m

γ_G = 1.20
γ_Q = 1.30
γ_{Ep} = 1.30
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.30
μ (Auftrieb) = 0.53
mob. Ep erfüllt / μ = 0.93
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.64

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: max M,gq
M_{Ed} = 72.9 kN·m/m
V_{Ed} = 0.2 kN/m
N_{Ed} = 14.6 kN/m (Zug)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.000)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.004)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
μ = M_{Ed} / $M_{c,Rd}$ = 0.267
N_{Ed} > 0.0 (Zug)
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.267



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Standsicherheit BS-A1 (Kronenstau während der BZ) - linke Seite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.667	-0.330	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.660	-0.330	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.660	-0.330	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.660	-0.330	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

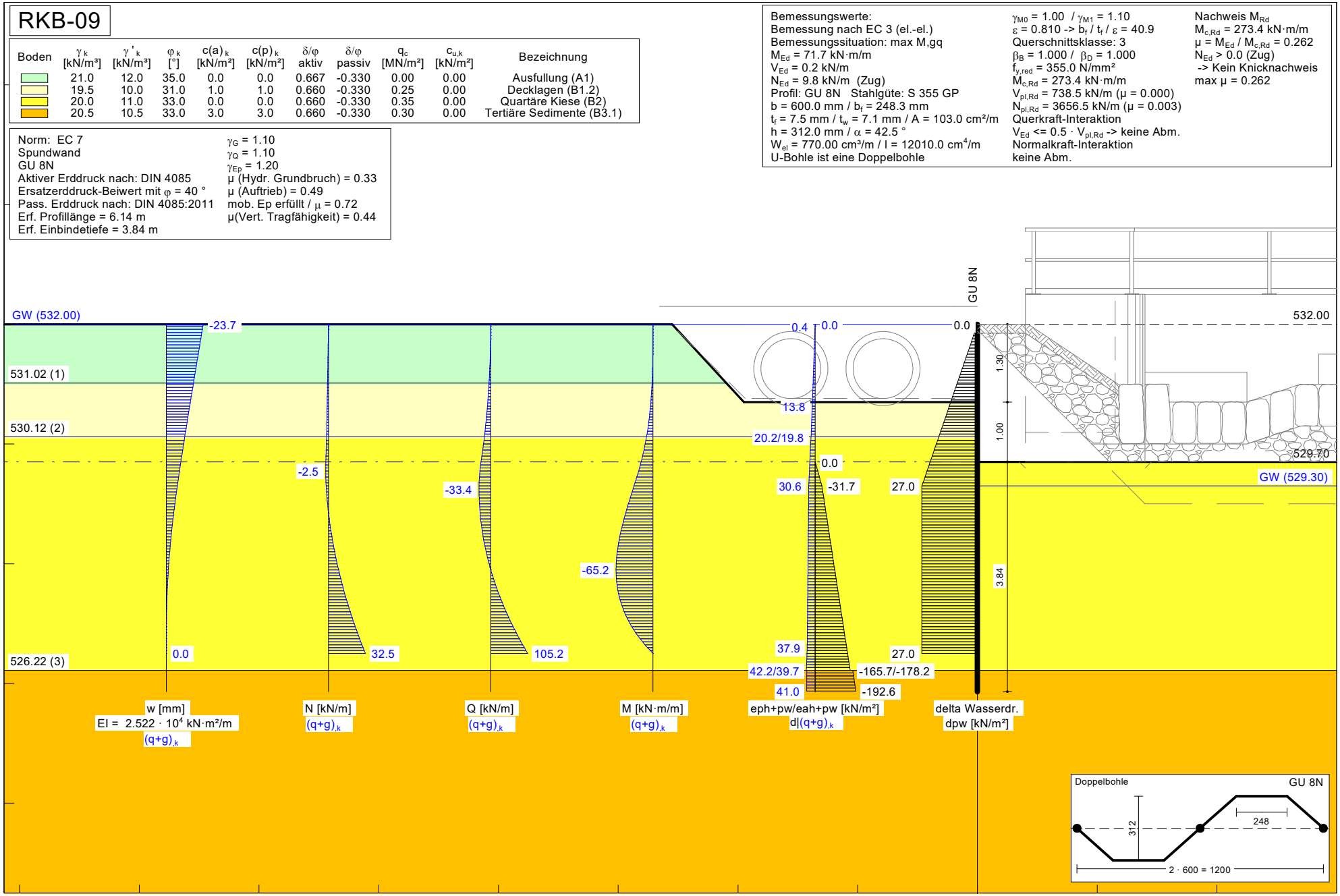
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 6.14 m
Erf. Einbindetiefe = 3.84 m

γ_G = 1.10
γ_Q = 1.10
γ_{Ep} = 1.20
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.33
μ (Auftrieb) = 0.49
mob. Ep erfüllt / μ = 0.72
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.44

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: max M,gq
M_{Ed} = 71.7 kN·m/m
V_{Ed} = 0.2 kN/m
N_{Ed} = 9.8 kN/m (Zug)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.000)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.003)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
μ = M_{Ed} / $M_{c,Rd}$ = 0.262
N_{Ed} > 0.0 (Zug)
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.262



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Linke Seite (Endzustand) - Standsicherheit BS-A2 (Kronenstau)

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.667	-0.500	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.660	-0.500	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.660	-0.500	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.660	-0.500	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

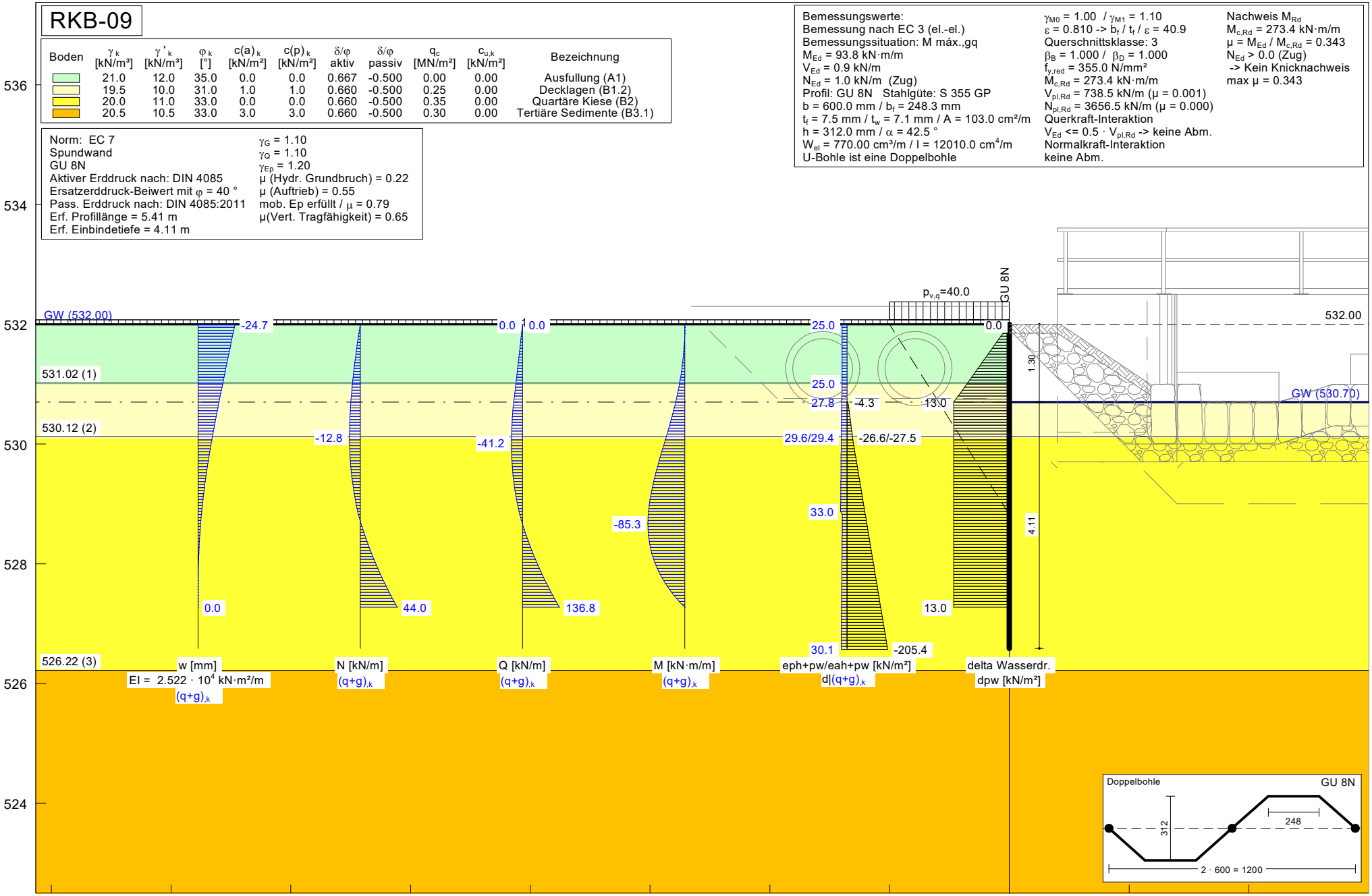
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 5.41 m
Erf. Einbindetiefe = 4.11 m

γ_G = 1.10
γ_Q = 1.10
γ_{Ep} = 1.20
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.22
μ (Auftrieb) = 0.55
mob. Ep erfüllt / μ = 0.79
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.65

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: M máx.,gq
M_{Ed} = 93.8 kN·m/m
V_{Ed} = 0.9 kN/m
N_{Ed} = 1.0 kN/m (Zug)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.001)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.000)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$\mu = M_{Ed} / M_{c,Rd}$ = 0.343
N_{Ed} > 0.0 (Zug)
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.343



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Standsicherheit BS-T1 (Bauzeit) - recht Seite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.667	-0.500	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.660	-0.500	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.660	-0.500	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.660	-0.500	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

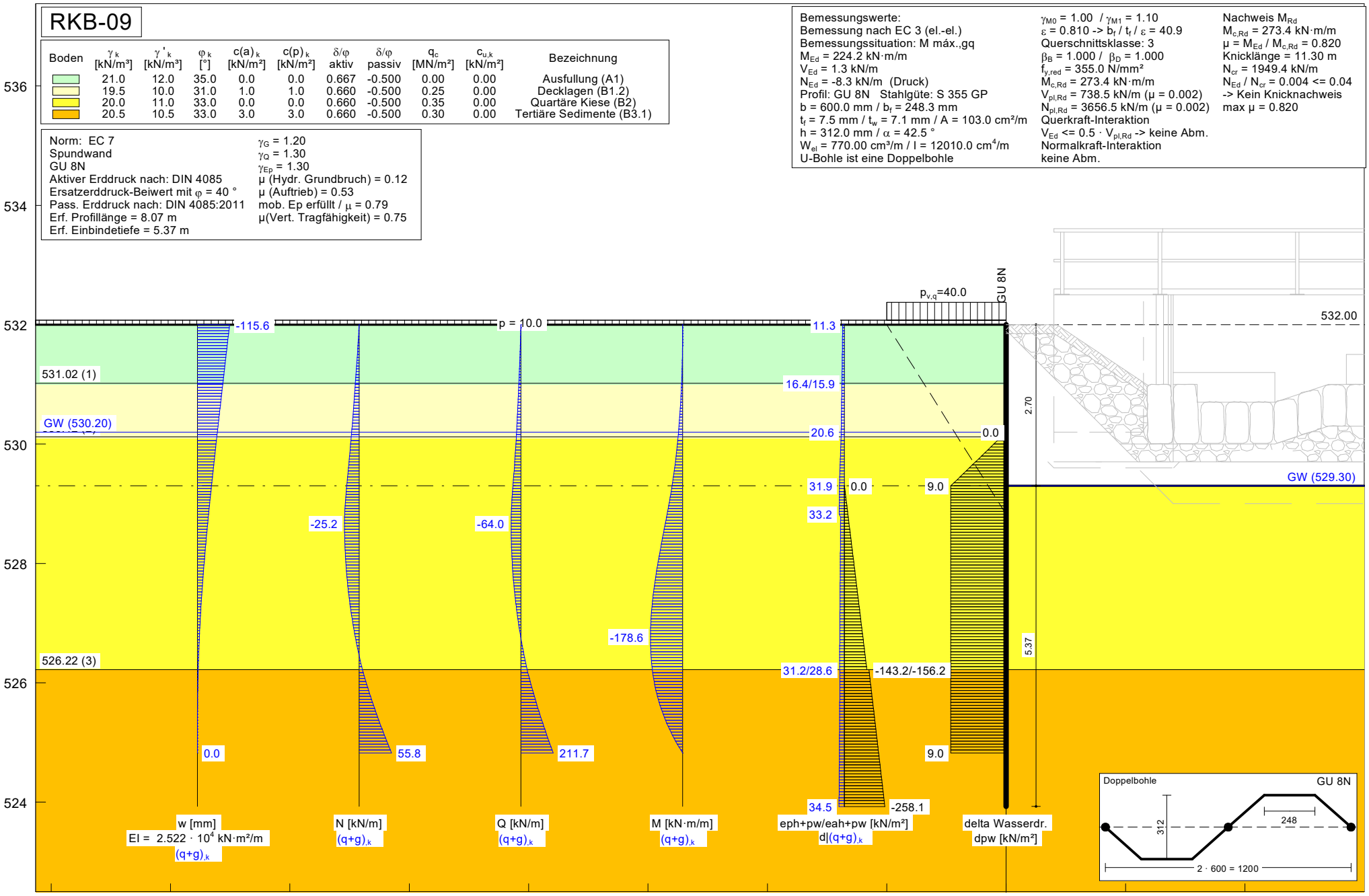
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 8.07 m
Erf. Einbindetiefe = 5.37 m

γ_G = 1.20
γ_Q = 1.30
γ_{Ep} = 1.30
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.12
μ (Auftrieb) = 0.53
mob. Ep erfüllt / μ = 0.79
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.75

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: M máx.,gq
M_{Ed} = 224.2 kN·m/m
V_{Ed} = 1.3 kN/m
N_{Ed} = -8.3 kN/m (Druck)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.002)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.002)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
μ = M_{Ed} / $M_{c,Rd}$ = 0.820
Knicklänge = 11.30 m
N_{cr} = 1949.4 kN/m
N_{Ed} / N_{cr} = 0.004 <= 0.04
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.820



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Standsicherheit BS-A1 (Kronenstau während der BZ) - recht Seite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.667	-0.330	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.660	-0.330	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.660	-0.330	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.660	-0.330	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

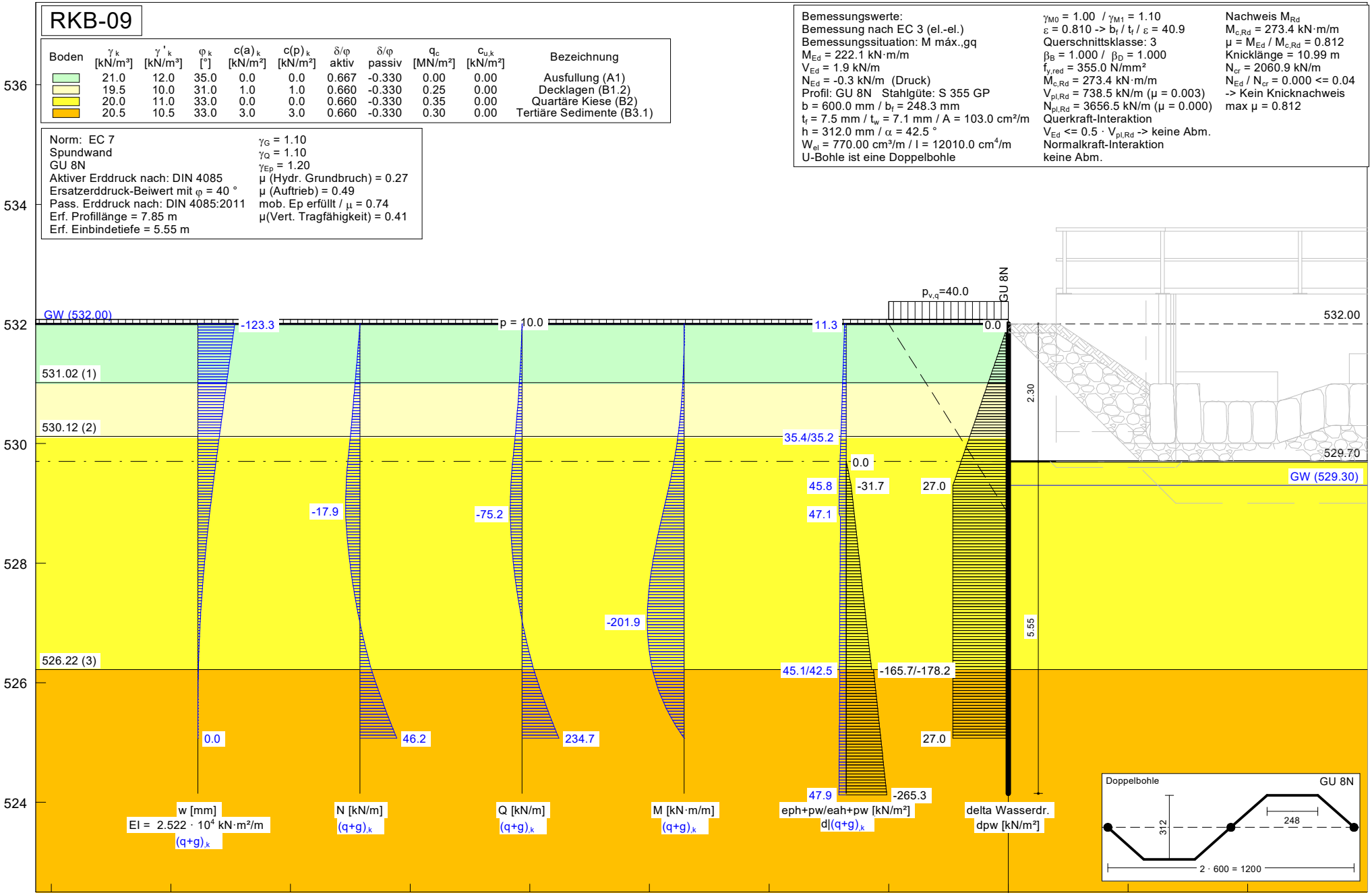
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 7.85 m
Erf. Einbindetiefe = 5.55 m

γ_G = 1.10
γ_Q = 1.10
γ_{Ep} = 1.20
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.27
μ (Auftrieb) = 0.49
mob. Ep erfüllt / μ = 0.74
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.41

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: M máx.,gq
M_{Ed} = 222.1 kN·m/m
V_{Ed} = 1.9 kN/m
N_{Ed} = -0.3 kN/m (Druck)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.003)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.000)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
μ = M_{Ed} / $M_{c,Rd}$ = 0.812
Knicklänge = 10.99 m
N_{cr} = 2060.9 kN/m
N_{Ed} / N_{cr} = 0.000 <= 0.04
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.812



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Standsicherheit BS-T1 (Bauzeit) / Süd- und Nordseite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.667	-0.500	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.660	-0.500	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.660	-0.500	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.660	-0.500	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

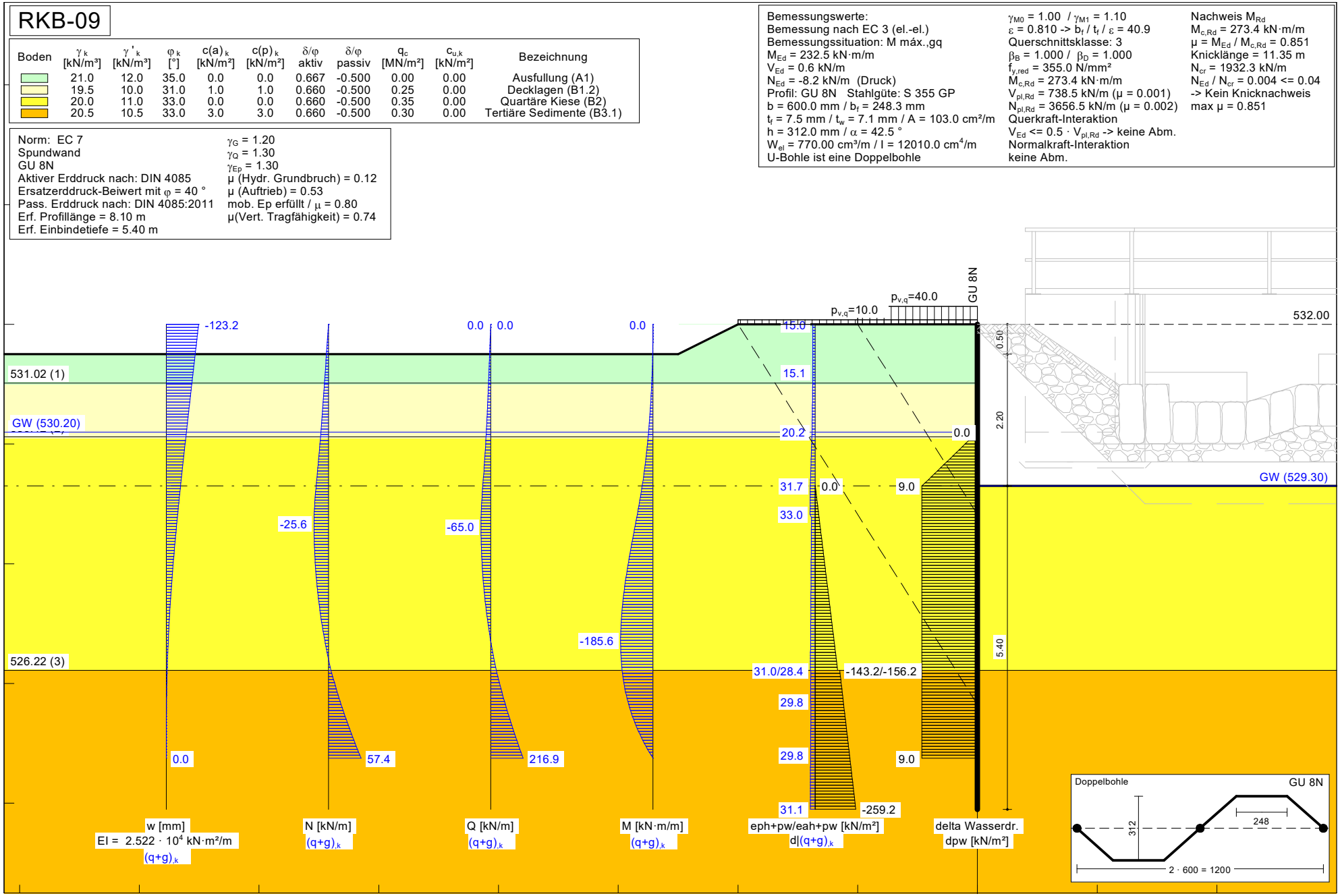
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 8.10 m
Erf. Einbindetiefe = 5.40 m

γ_G = 1.20
γ_Q = 1.30
γ_{Ep} = 1.30
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.12
μ (Auftrieb) = 0.53
mob. Ep erfüllt / μ = 0.80
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.74

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: M máx.,gq
M_{Ed} = 232.5 kN·m/m
V_{Ed} = 0.6 kN/m
N_{Ed} = -8.2 kN/m (Druck)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.001)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.002)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
μ = M_{Ed} / $M_{c,Rd}$ = 0.851
Knicklänge = 11.35 m
N_{cr} = 1932.3 kN/m
N_{Ed} / N_{cr} = 0.004 <= 0.04
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.851



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Standsicherheit BS-A1 (KS während der BZ) / Süd- und Nordseite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

RKB-09

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	q_c [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	21.0	12.0	35.0	0.0	0.0	0.667	-0.400	0.00	0.00	Ausfullung (A1)
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.660	-0.400	0.25	0.00	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.660	-0.400	0.35	0.00	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	3.0	3.0	0.660	-0.400	0.30	0.00	Tertiäre Sedimente (B3.1)

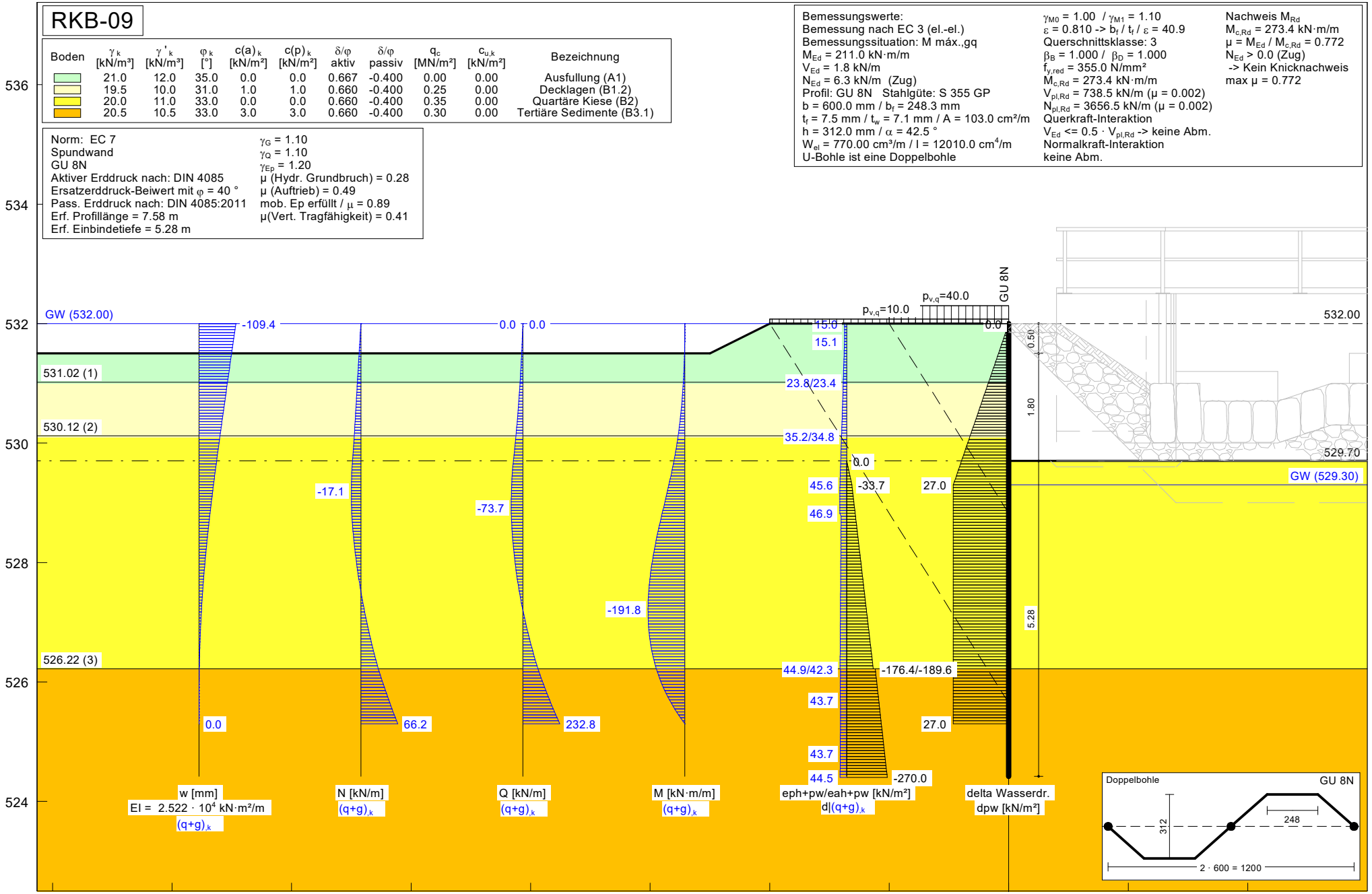
Norm: EC 7
Spundwand
GU 8N
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2011
Erf. Profillänge = 7.58 m
Erf. Einbindetiefe = 5.28 m

γ_G = 1.10
γ_Q = 1.10
γ_{Ep} = 1.20
μ (Hydr. Grundbruch) = 0.28
μ (Auftrieb) = 0.49
mob. Ep erfüllt / μ = 0.89
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.41

Bemessungswerte:
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)
Bemessungssituation: M máx.,gq
M_{Ed} = 211.0 kN·m/m
V_{Ed} = 1.8 kN/m
N_{Ed} = 6.3 kN/m (Zug)
Profil: GU 8N Stahlgüte: S 355 GP
b = 600.0 mm / b_f = 248.3 mm
t_f = 7.5 mm / t_w = 7.1 mm / A = 103.0 cm²/m
h = 312.0 mm / α = 42.5 °
W_{el} = 770.00 cm³/m / I = 12010.0 cm⁴/m
U-Bohle ist eine Doppelbohle

γ_{M0} = 1.00 / γ_{M1} = 1.10
ε = 0.810 -> b_f / t_f / ε = 40.9
Querschnittsklasse: 3
β_B = 1.000 / β_D = 1.000
$f_{y,red}$ = 355.0 N/mm²
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
$V_{pl,Rd}$ = 738.5 kN/m (μ = 0.002)
$N_{pl,Rd}$ = 3656.5 kN/m (μ = 0.002)
Querkraft-Interaktion
V_{Ed} <= 0.5 · $V_{pl,Rd}$ -> keine Abm.
Normalkraft-Interaktion
keine Abm.

Nachweis M_{Rd}
$M_{c,Rd}$ = 273.4 kN·m/m
μ = M_{Ed} / $M_{c,Rd}$ = 0.772
N_{Ed} > 0.0 (Zug)
-> Kein Knicknachweis
max μ = 0.772



5 SPUNDWAND SINGOLD

Pos. 5 Wassermenge

ΔZ =	1,5	m	*WSP-unterschied zwischen Luft- und Erdseite*
Zb =	529,3	müNN	*Wasserhöhe in der Baugrube*

Auf der Luftseite des Verbaus berechnete Wasseraustritte:

UK Spundwand:		523,7	müNN	(Recht-, Nord- und Sudseite)
RKB-09	→	4,28E-04	m^3/s.m	
RKB-11	→	3,98E-04	m^3/s.m	
UK Spundwand:		525,0	müNN	(linke Seite)
RKB-09	→	5,96E-04	m^3/s.m	
RKB-11	→	5,28E-04	m^3/s.m	

* Die Wassermenge wird mit dem Programm GGU-SSFlow2D berechnet.
* Sickerwasser durch die Spundwandschlösser wird vernachlässigt.
* Die Werte von „n_{eff}“ (Entwässerbare Porosität) wurden aus „Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Karl Josef Witt, Ernst & Sohn“ übernommen.

490 Bernhard Odenwald, Uwe Hekel und Henning Thormann

Tabelle 2. Gesamtporositäten und entwässerbare Porositäten (nach [4])

Lockergesteinsart	Porosität n [–]	Entwässerbare Porosität n_e [–]
Sandiger Kies	0,25–0,35	0,20–0,25
Kiesiger Sand	0,28–0,35	0,15–0,20
Mittlerer Sand	0,30–0,38	0,10–0,15
Schluffiger Sand	0,33–0,40	0,08–0,12
Sandiger Schluff	0,35–0,45	0,05–0,10
Toniger Schluff	0,40–0,55	0,03–0,08
Schluffiger Ton	0,45–0,65	0,02–0,05

Steiggeschwindigkeit in der Baugrube bei Ausfall der Wasserhaltung:

Spundwandlänge	L_{spw} (523,70müNN) =	37,50	m
	L_{spw} (525,00müNN) =	12,50	m
Ausgrabungsfläche	F_{AG} =	153,76	m^2
Wassermenge	$wm_{523,70}$ =	4,28E-04	m^3/s.m
	$wm_{525,00}$ =	5,96E-04	m^3/s.m
Steiggeschwindigkeit		**0,92**	cm/m
		55,02	cm/h

Im Falle einer Pumpstörung kann die Baugrube mit ausreichender Zeit evakuiert werden.

Sickerwasserandrang in der Baugrube:

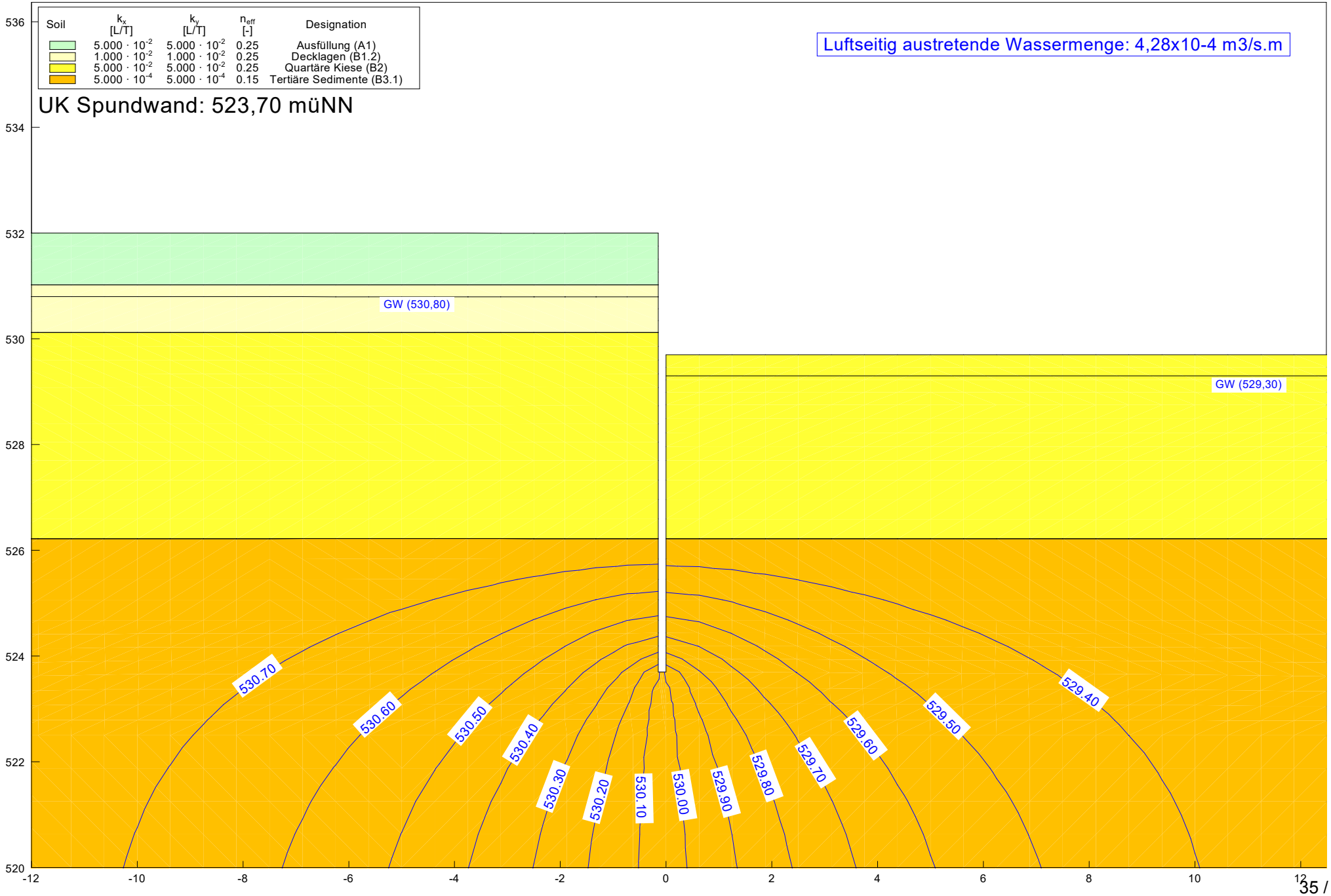
Wassermenge, die in die Baugrube eindringt

Wm =	**1,41**	m^3/min
	1410	lt/min

Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Potential und Wassermenge (RKB 09)

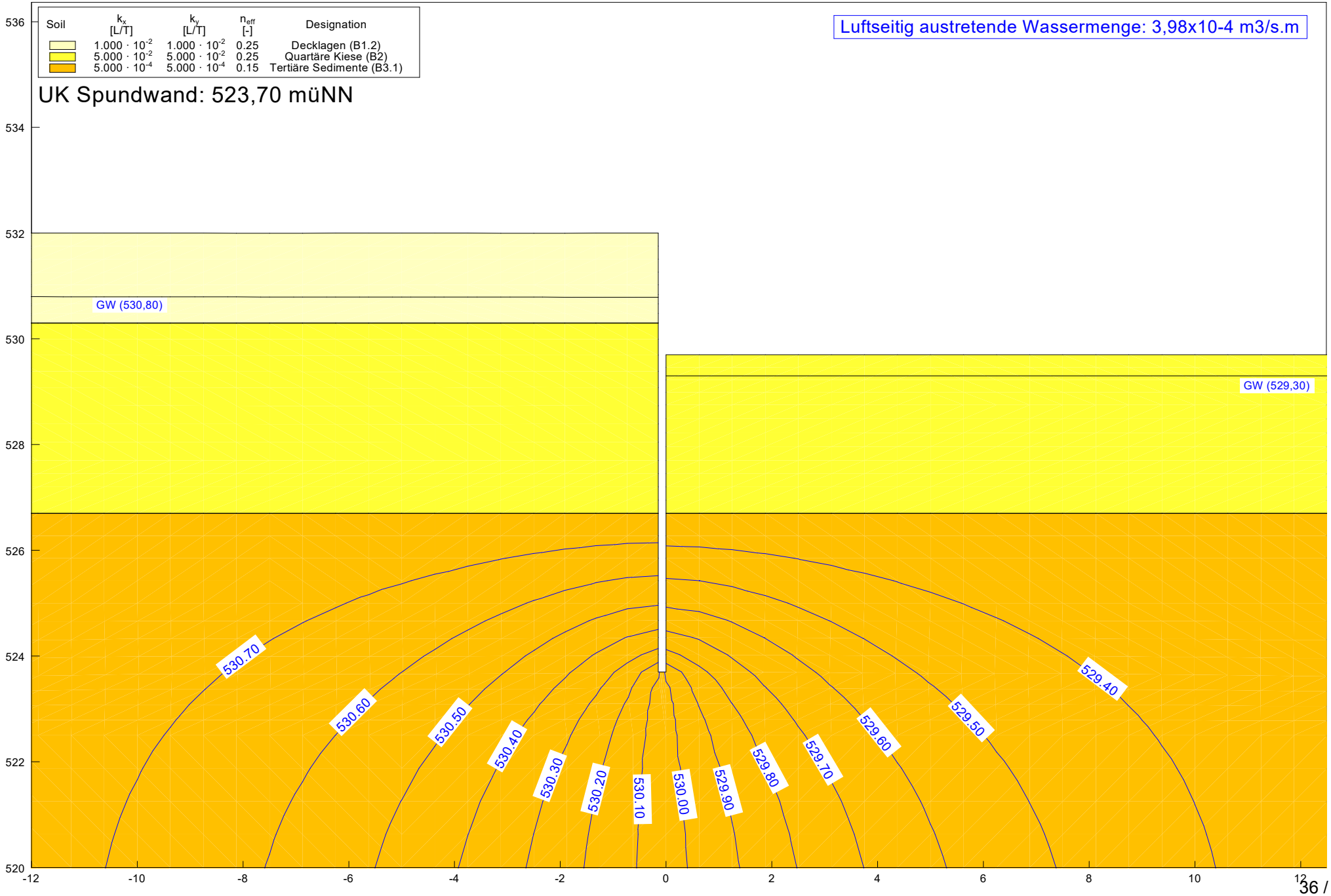
KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Potential und Wassermenge (RKB 11)

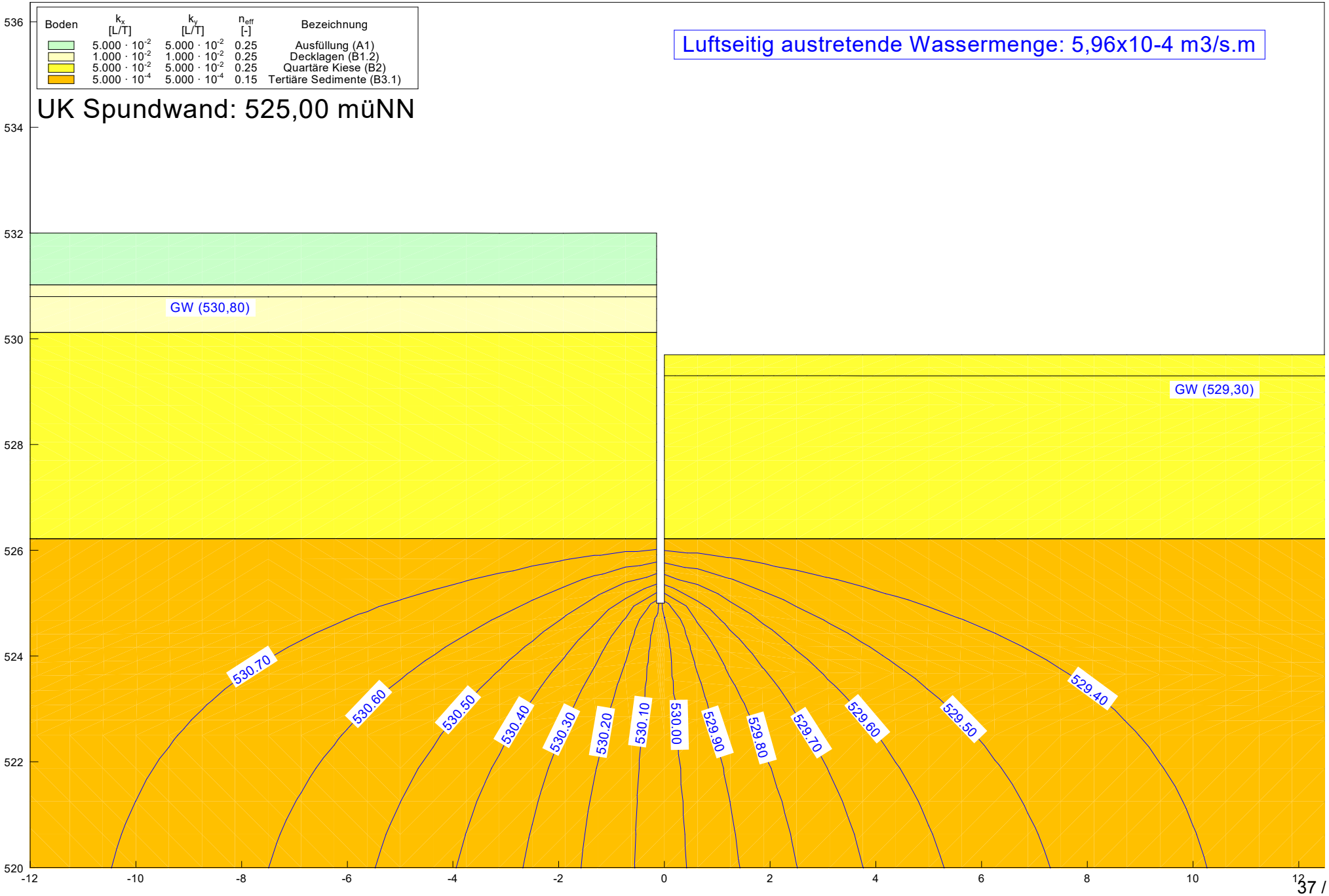
KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



Singold - Drosselbauwerk

Verbau mit Spundwand - Potential und Wassermenge (RKB 09) - Nur linke Seite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



Singold - Drosselbauwerk

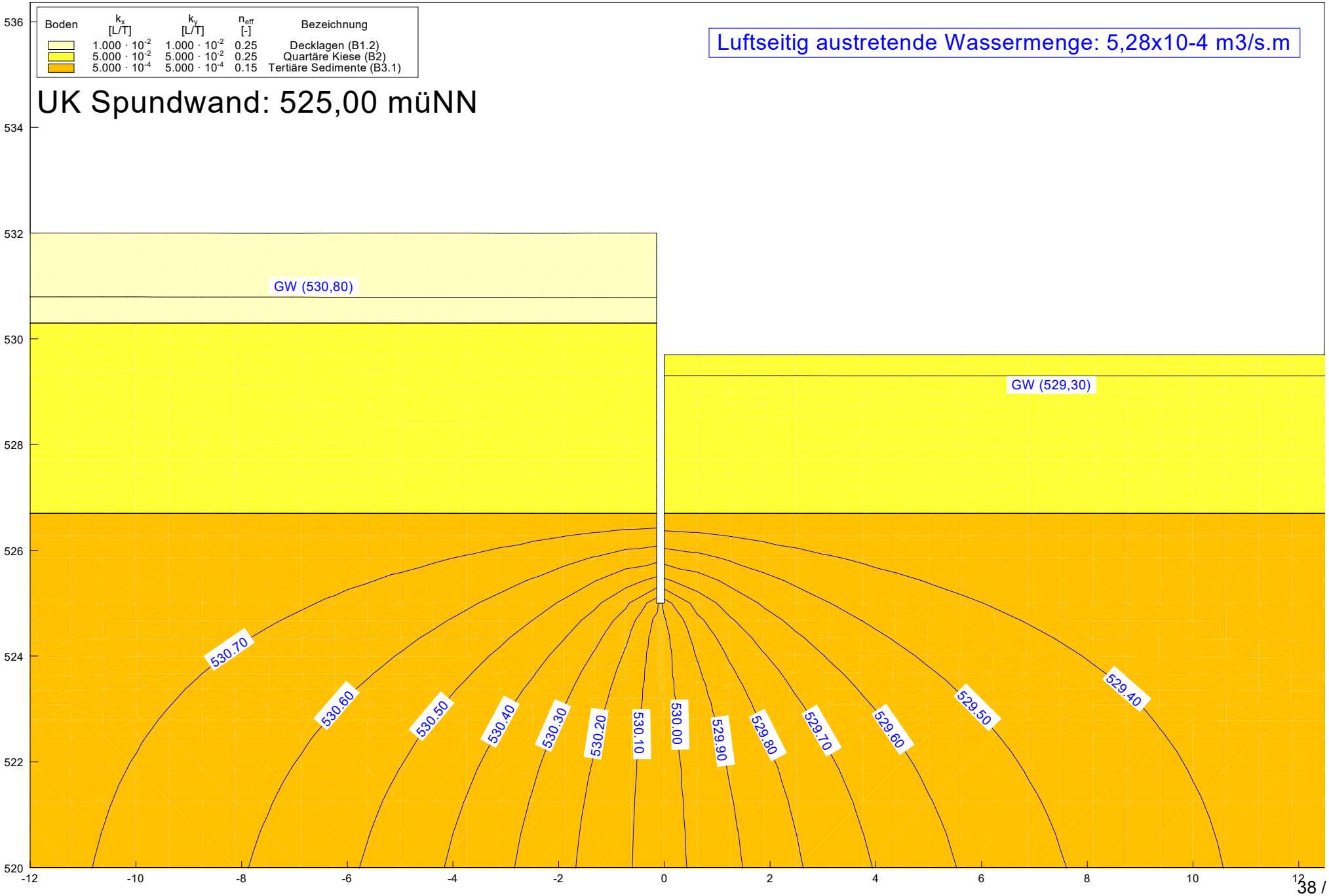
Verbau mit Spundwand - Potential und Wassermenge (RKB 11) - Nur linke Seite

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.25	Decklagen (B1.2)
	$5.000 \cdot 10^{-2}$	$5.000 \cdot 10^{-2}$	0.25	Quartäre Kiese (B2)
	$5.000 \cdot 10^{-4}$	$5.000 \cdot 10^{-4}$	0.15	Tertiäre Sedimente (B3.1)

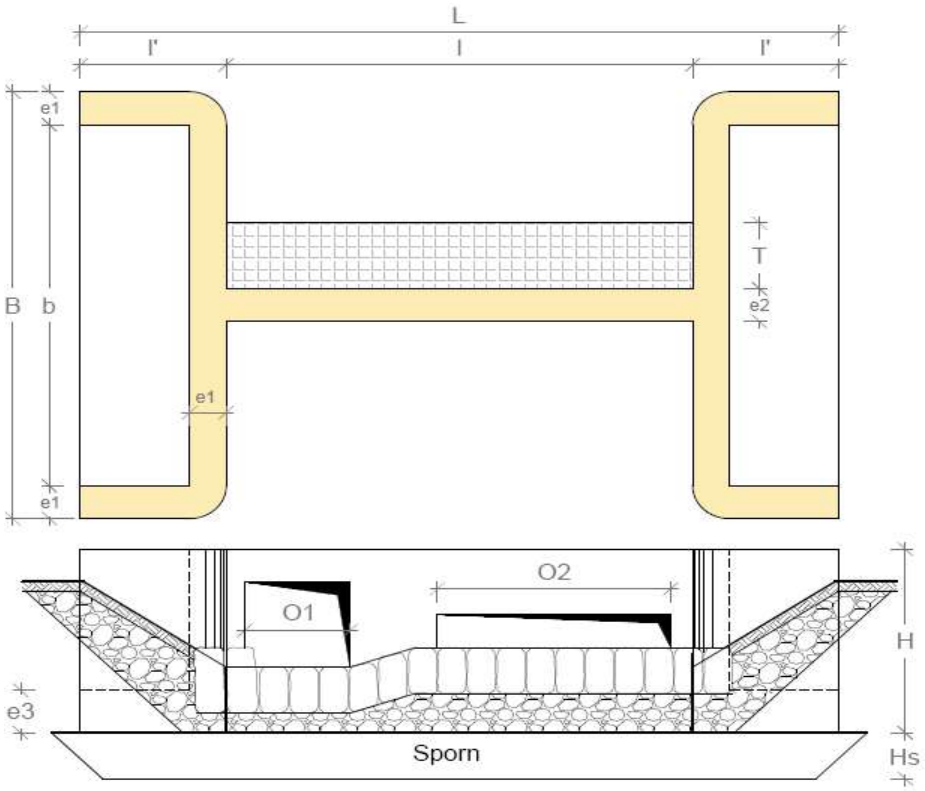
Luftseitig austretende Wassermenge: 5,28x10-4 m3/s.m

UK Spundwand: 525,00 müNN

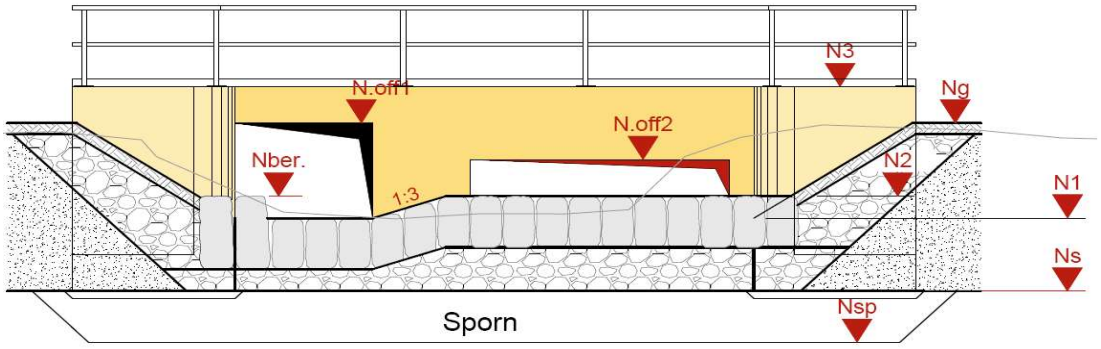


6. DROSSELBAUWERK

Pos. 1 Geometrie



L =	10,40 m	H =	2,80 m	
l =	6,40 m	Hs =	0,70 m	
l´=	2,00 m	O1 =	1,70 m	
B =	6,50 m	O2 =	3,20 m	
b =	5,50 m	Bs =	2,00 m	*Spornbreite Oben*
e1, e2 =	0,50 m	bs =	1,00 m	*Spornbreite Unten*
T =	1,00 m			
e3 =	0,65 m	$L_{geländer}$ =	25,4 m	



N1 =	530,70 müNN	Nber. =	531,00 müNN
N2 =	531,00 müNN	N.off1 =	532,00 müNN
N3 =	532,50 müNN	N.off2 =	531,50 müNN
Ng =	532,00 müNN		
Ns =	529,70 müNN		
Nsp =	529,00 müNN		

Kubatur:

Beton

$$Sohle = 2\,.B\,.l'.e3$$

$$Flügelwände = 2\,x\,(b + 2.l')\,.e1\,.(H - e3)$$

$$Mittelwand = e2\,.\left[H.l\; - O_1.\left(N_{off1} - N1\right) - O2.\left(N_{off2} - N2\right)\right]$$

$$Sporn = L\,.Hs\,.\frac{Bs + bs}{2}$$

Sohle =	16,90 m³
Flügelwände =	20,42 m³
Mittelwand =	12,65 m³
Sporn =	10,92 m³
Summe =	**60,90 m³**

Hinterfüllung

$$Hinterfüllung = 2\,.b\,.(l' - e1)\,.(N3 - Ns - e3)$$

Hinterfüllung =	35,47 m³

Fundamentfläche:

$$Fläche = 2 \times B \times l' + l \times bs$$

Fläche =	32,40 m²

Pos. 2 Bemessungswasserstände:

Der Bemessungswasserstand der Singold wird wie folgt angegeben:

HQ_{100+15} = 531,84 müNN

*„wird auf der sicheren Seite mit **532,00 müNN** angenommen“*

Z_s =	**532,00 müNN**	*Bemessungswasserstand*
Z_k =	**532,50 müNN**	*Außergewöhnlicher Bemessungswasserstand*
Z_t =	**530,70 müNN**	*Minimaler Wasserspiegel in der Singold*

Pos. 3 Einwirkungen

Die Berechnung der Standsicherheiten erfolgt nach dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte.

A. Ständige Lasten:

I. Eigengewicht:

Stahlbeton: γ_b = 24,00 kN/m³

Hinterfüllung: γ_H = 19,50 kN/m³

γ_H‘= 10,00 kN/m³

II. Erddruck + Verdichtungserddruck:

Erddruck Bemessung nach DIN 4085.

In den Bereichen, in denen eine Hinterfüllung eingebaut wird, ist der Verdichtungserddruck nach DIN 4085-2017-08 anzusetzen. Die Wände werden als nachgiebig berücksichtigt (Aktiver Erddruck). Es gilt als Intensive Verdichtung.

e_{vh} = 25,00 kN/m²

z_a = 2,00 m

Für die Berechnungen wurden die OW- und UW-Bodenniveaus als identisch angenommen. Das heißt, der Erddruck ist ausgeglichen. Eine einseitige Hinterfüllung ist bauzeitlich auszuschließen.

III. Wasserdruck:

Wassergewicht: γ_W = 10,00 kN/m³

IV. Sohlwasserdruck:

Wassergewicht: γ_W = 10,00 kN/m³

B. Veränderliche Lasten:

I. Verkehrlasten

Endzustand, SWL 30 (DIN 1072)

$p = 16{,}66\ kN/m^2$

II. Vertikale Nutzlasten

Bediensteg

$P_{p1} = 5{,}00\ kN/m^2$

Personenlasten

$P_{p2,v} = 1{,}00\ kN/m$

III. Horizontale Nutzlasten

Personenlasten (Geländer)

$P_{p2,h} = 0{,}50\ kN/m$

IV. Eisstoß und Eisdruck (im Binnenbereich) nach EAU 2004 (5.16)

Für Gewässer im Binnenbereich bei zu erwartenden Eisdicken von h = 0,30 m, mäßigen Temperaturen bzw. den stündlichen zu erwartenden Temperaturveränderungen ein maximaler Eisdruck von 200 kN/m² für die Bemessung von Bauwerken empfohlen.

$\sigma_{Eis} = 200\ kN/m^2$

$h_{Eis} = 0{,}30m$

V. Temperatur

Es gibt keine massigen Bauteile (Dicke > 0,8m), deshalb ist BAW-MFZ nicht anwendbar. Siehe 4.2.10 DIN 19702. Es ist keine Analyse von Temperaturänderungen erforderlich.

Die Auswirkungen von Verformungen durch Temperatur, Kriechen und Schwinden werden nur für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen. Diese Auswirkungen sind im Allgemeinen ausreichend berücksichtigt mit Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite.

Aufgrund der Bauteilgeometrien wird auf die Anordnung von Bewegungsfugen verzichtet.

VI. Windlasten, Wellen, Schnee:

Diese Belastungen sind vernachlässigbar

VII. Antrieblasten:

Diese Belastungen sind vernachlässigbar

C. <u>Außergewöhnliche Lasten:</u>

I. Schiffanprall und Treibgutanprall:

Diese Belastungen werden nicht berücksichtigt.

II. Erdbeben

Die Baustelle befindet sich außerhalb der Erdbebenzonen nach Bild 2 (DIN 4149). Der Grad der Erdbebengefährdung außerhalb der Erdbebenzonen 1 bis 3 ist als so gering einzuschätzen, dass diese Norm dort nicht angewendet werden muss.

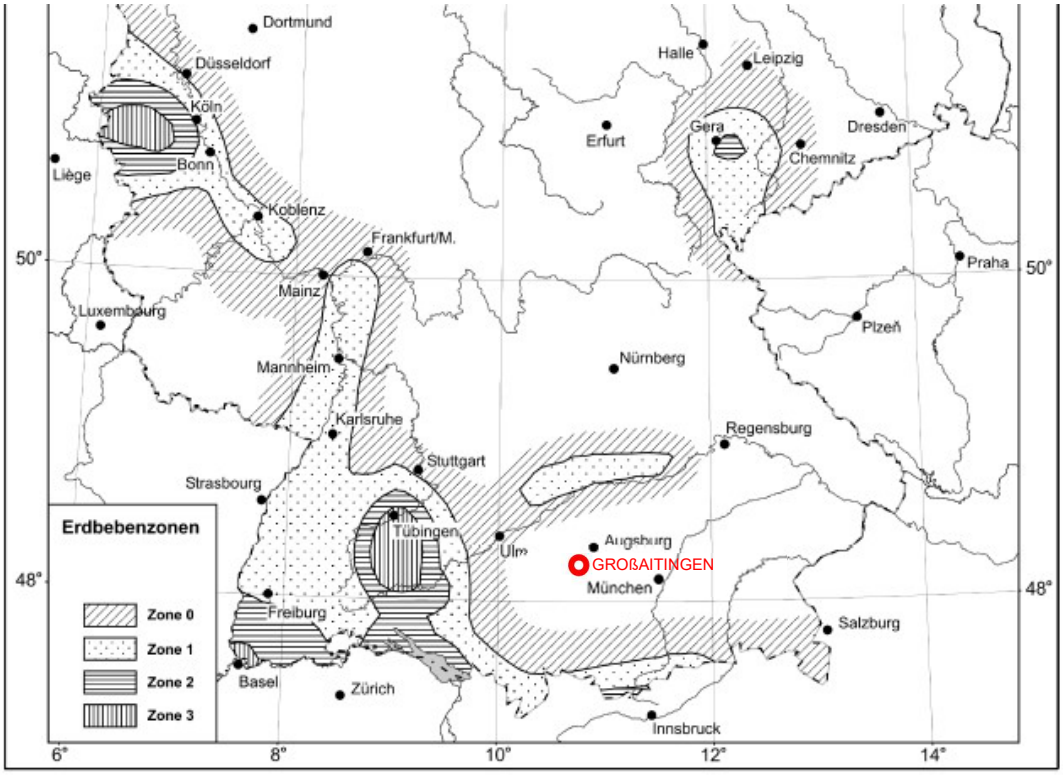


Bild 2 — Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

6 DROSSELBAUWERK

Pos. 3 Einwirkungen

A. Ständige Lasten

A.I Eigengewicht

$\gamma_{stahleton}$ =	24,00	kN/m³
Betonvolumen V1 =	60,90	m³
	1461,60	kN

$\gamma'_{hinterfüllung}$ =	19,50	kN/m³
Hinterfüllungsvolumen V2 =	35,47	m³
	691,76	kN

A.II Erddruck + Verdichtungserddruck

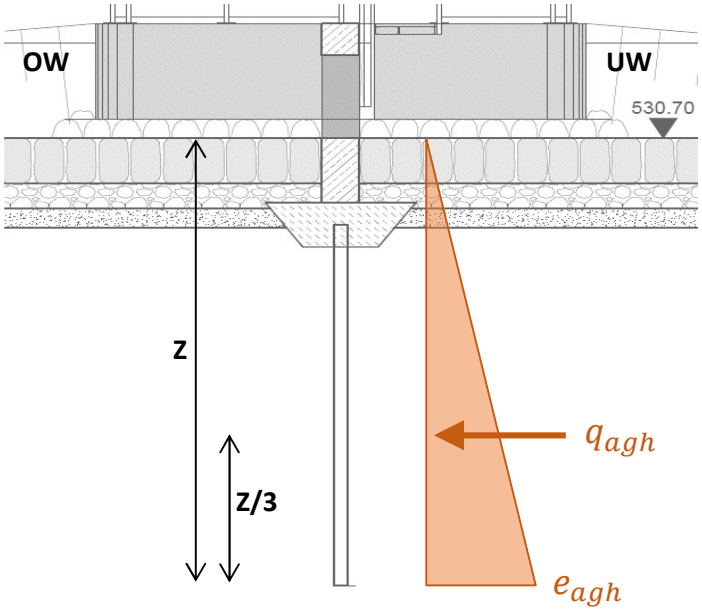
A.II-I

Auf die Flügelwände Siehe Anlage

A.II-II

Als Widerstand gegen Gleiten (Sporn und Spundwand)

Wenn hohe horizontale Kräfte auf das Bauwerk einwirken (z.B. Wasserdruck oder Eisdruck), wirkt zusätzlich zur Reibung der Sohle am Boden der Erddruck als Reaktion (auf der Passivseite) auf diese
Auf der sicheren Seite wird der Erddruck als aktiver Erddruck berechnet.



γ'_{boden} =	10,00	kN/m³
φ =	33	°
z =	7,00	m
K_{agh} =	0,25	

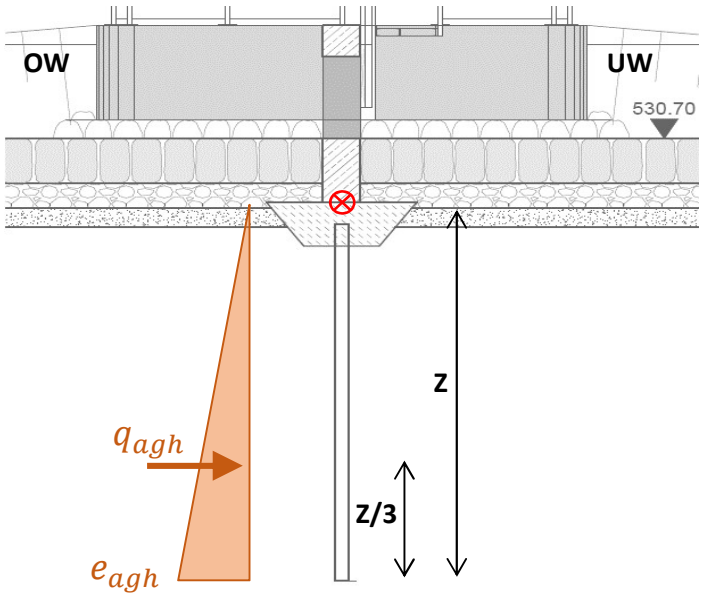
Im Sonderfall $\alpha = \beta = \delta_a = 0$ ist

$$K_{agh} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = \tan^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$$

e_{agh} =	17,32	kN/m²	$e_{agh} = K_{agh} \,.\, z \,.\, \gamma$
q_{agh} =	60,62	kN/m	$q_{agh} = 1/2 \,.\, e_{agh} \,.\, z$
E_{agh} =	630,44	kN	$E_{agh} = e_{agh} \,.\, L$

A.II-III

Als Widerstand gegen Kippen (Sporn und Spundwand)



γ'_{boden} =	10,00	kN/m³
φ =	33	°
z =	6,00	m

Aktiver Erddruck:

K_{agh} = 0,25

Im Sonderfall $\alpha = \beta = \delta_a = 0$ ist

$$K_{agh} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = \tan^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$$

e_{agh} =	14,85	kN/m²	$e_{agh} = K_{agh} \,.\, z \,.\, \gamma$
q_{agh} =	44,54	kN/m	$q_{agh} = 1/2 \,.\, e_{agh} \,.\, z$
E_{agh} =	463,18	kN	$E_{agh} = e_{agh} \,.\, L$

Passiver Erddruck:

K_{pgh} = 1,15

$$K_{pgh} = K_{pg} = \tan^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$$

e_{pgh} =	69,13	kN/m²	$e_{pgh} = K_{pgh} \,.\, z \,.\, \gamma$
q_{pgh} =	207,39	kN/m	$q_{pgh} = 1/2 \,.\, e_{pgh} \,.\, z$
E_{pgh} =	2156,80	kN	$E_{pgh} = e_{pgh} \,.\, L$

A.III Wasserdruck

A.III-I

GW_{ow} =	532,00	müNN	
γ_{wasser} =	10,00	kN/m³	
GW_{uw} =	530,70	müNN	
ΔGW =	1,30	m	
L =	10,40	m	*Länge des Bauwerks*
	87,88	kN	$= 1/2 \,.\, \Delta GW^2 \,.\, \gamma_{wasser} \,.\, L$

A.III-II

GW_{ow} =	532,50	müNN	
γ_{wasser} =	10,00	kN/m³	
GW_{uw} =	530,70	müNN	
ΔGW =	1,80	m	
L =	10,40	m	*Länge des Bauwerks*
	168,48	kN	$= 1/2 \,.\, \Delta GW^2 \,.\, \gamma_{wasser} \,.\, L$

A.IV Sohlwasserdruck

A.IV-I WS = 532,00 müNN

Sohlwasserdruck Oberwasser				*roter Bereich in der Skizze*
Flache	F_{rot} =	11,00	m²	$F_{rot} = (B - b_s).\, l'$
Sohlwasserdruck	Wo =	22,50	kN/m²	*siehe "Auftrieb"*
		247,50	kN	$= Wo\,.F_{rot}$

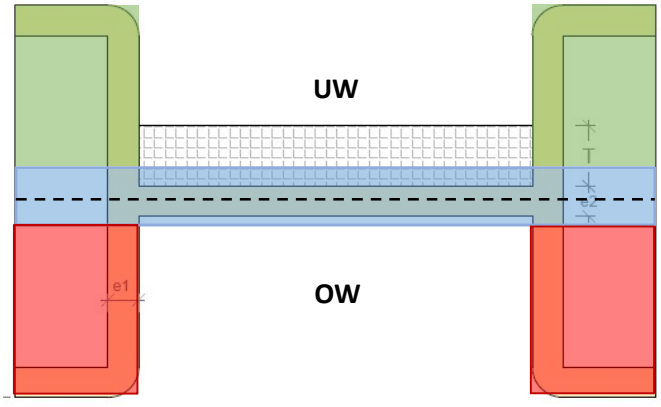
es wird eine rechteckige Kraftverteilung betrachtet

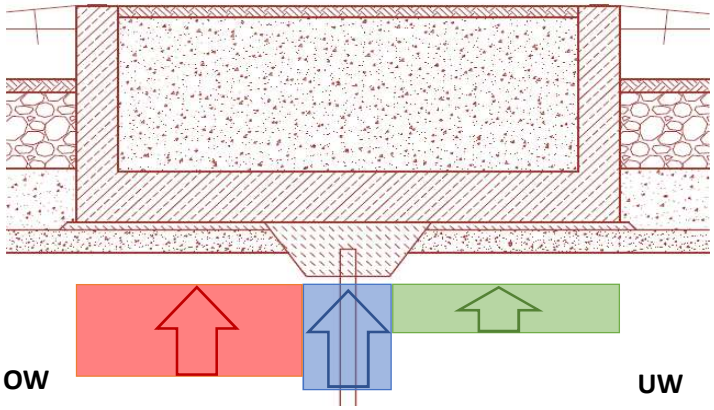
Sohlwasserdruck Unterwasser				*grüner Bereich in der Skizze*
Flache	$F_{grün}$ =	11,00	m²	$F_{grün} = (B - b_s).\, l'$
Sohlwasserdruck	Wo =	10,50	kN/m²	*siehe "Auftrieb"*
		115,50	kN	$= Wo\,.F_{grün}$

es wird eine rechteckige Kraftverteilung betrachtet

Sohlwasserdruck (Sporn)				*blauer Bereich in der Skizze*
Flache	F_{blau} =	6,40	m²	$F_{blau} = b_s\,.\,l$
Sohlwasserdruck	Wo =	24,00	kN/m²	*siehe "Auftrieb"*
		153,60	kN	$= Wo\,.F_{blau}$

es wird eine rechteckige Kraftverteilung betrachtet





A.IV-II WS = 532,50 müNN

Sohlwasserdruck Oberwasser				*roter Bereich in der Skizze*
Flache	F_{rot} =	11,00	m²	$F_{rot} = (B - b_s).\, l'$
Sohlwasserdruck	Wo =	27,50	kN/m²	*siehe "Auftrieb"*
		302,50	kN	$= Wo\,.F_{rot}$

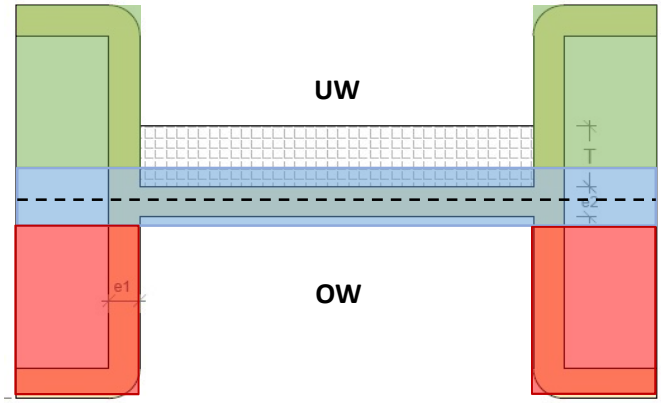
es wird eine rechteckige Kraftverteilung betrachtet

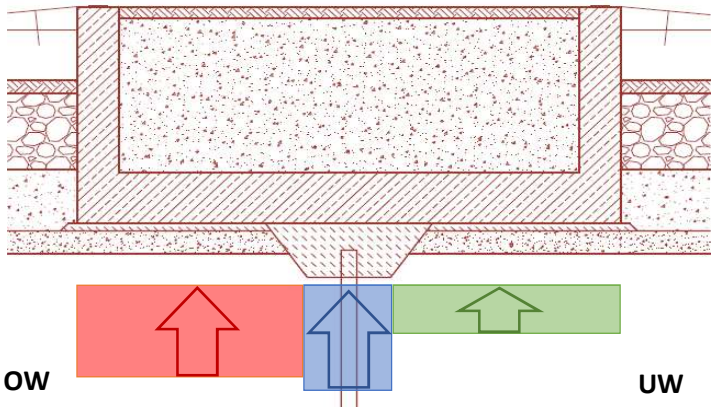
Sohlwasserdruck Unterwasser				*grüner Bereich in der Skizze*
Flache	$F_{grün}$ =	11,00	m²	$F_{grün} = (B - b_s).\, l'$
Sohlwasserdruck	Wo =	10,50	kN/m²	*siehe "Auftrieb"*
		115,50	kN	$= Wo\,.F_{grün}$

es wird eine rechteckige Kraftverteilung betrachtet

Sohlwasserdruck (Sporn)				*blauer Bereich in der Skizze*
Flache	F_{blau} =	6,40	m²	$F_{blau} = b_s\,.\,l$
Sohlwasserdruck	Wo =	26,00	kN/m²	*siehe "Auftrieb"*
		166,40	kN	$= Wo\,.F_{blau}$

es wird eine rechteckige Kraftverteilung betrachtet





B. Veränderliche Lasten:

B.I Verkehrlasten

auf der Hinterfüllung

p_v =	16,66	kN/m²	
Flache =	22,00	m²	= 2 x b x (l'-e)
	366,52	kN	

B.II Vertikale Nutzlasten

B.II-I Bediensteg

p_{p1} =	5,00	kN/m²	
T =	1,00	m	*Breite des Bedienstegs*
q_{p1} =	5,00	kN/m	
l =	6,40	m	*Länge des Bedienstegs*
P_{p1} =	32,00	kN	

B.II-II Personenlasten

$p_{p2,V}$ =	1,00	kN/m	
$L_{geländer}$ =	25,40	m	
$P_{p2,v}$ =	25,40	kN/m	

Diese Belastung wird an der Wandoberkante berücksichtigt.

B.III Horizontale Nutzlasten

Personenlasten (Geländer)

$p_{p2,h}$ =	0,50	kN/m	

B.IV Eisstoß und Eisdruck

σ_{Eis} =	200,00	kN/m²	
h_{Eis} =	0,30	m	
q_{Eis} =	60,00	kN/m	$q_{Eis} = \sigma_{Eis} \cdot h_{Eis}$
K_{Eis} =	624,00	kN	$K_{Eis} = q_{Eis} \cdot L$

Pos. 4 Teilsicherheitsbeiwerte

Für die Stahlbetonbemessung (innere Standsicherheit) gelten die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 19702:2013-02.

Kombinationsbeiwerte $\Psi_{i,i}$ zur Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit von gleichzeitig auftretenden veränderlichen Einwirkungen dürfen in allen Bemessungssituationen im Allgemeinen zu 1,0 gesetzt werden.

Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf Tragwerke im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Versagen des Tragwerks)

Einwirkungen	Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessungssituation		
	Ständig	Vorübergehend	Außergewöhnlich bzw. Erdbeben
Ständige Einwirkung			
ungünstig	1,35	1,2	1,0
günstig	1,0	1,0	1,0
Veränderliche Einwirkung			
ungünstig	1,5	1,3	1,0
Wasserdruck, günstig	0,8	0,9	1,0
Sonstige, günstig	0	0	0
Außergewöhnliche Einwirkung			
ungünstig	–	–	1,0

Für den Nachweis der äußeren Standsicherheit sind die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN EN 1997 (EC 7) und DIN 1054 zu entnehmen.

Teilsicherheitsbeiwerte γ_F [1] bzw. γ_E [2] für Einwirkungen und Beanspruchungen

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Destabilisierende ständige Einwirkungen[a]	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	**1,45**	**1,45**	**1,25**
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	**1,90**	**1,90**	**1,45**
EQU: Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit				
Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,05	1,00
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,90	0,90	0,95
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,25	1,00
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein[a]	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen[b]	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruhedruck	$\gamma_{G,E0}$	1,20	1,10	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10
Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Ständige Einwirkungen[a]	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit γ_G = 1,00 für ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen γ_Q = 1,00 für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				

[a] einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck.
[b] nur im Sonderfall nach 7.6.3.1 A (2).

Art	Einwirkung	Nr.	Bemessungssituationen & Teilsicherheitsbeiwerte		
			BS-P1	BS-T1	BS-A1
Ständige	Eigengewicht	A.I	x	x	x
	Erddruck+Verdichtungs.	A.II	x	x	x
	Wasserdruck	A.III			
	532,0 müNN	A.III-I	x	x	
	532,5 müNN	A.III-II			x
	Sohlwasserdruck	A.IV			
	532,0 müNN	A.IV-I	x	x	
	532,5 müNN	A.IV-II			x
Veränderl.	Verkehrlasten	B.I	x	x	x
	Vertikale Nutzlasten	B.II	x	x	x
	Horizontale Nutzlasten	B.III	x		
	Eisdruck	B.IV		x	
Außer.					

6.1 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

Pos. 1 Sicherheit gegen Auftrieb

a) Teilsicherheitsbeiwerte im Grenzzustand UPL:

Formel-zeichen	Bemessungssituation		
	BS-P	BS-T	BS-A
$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
$\gamma_{G,stb}$	0,90	0,90	0,95
$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
$\gamma_{Q,stb}$	0,00	0,00	0,00

b) Nachweis: $$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} + T_k \cdot \gamma_{G,stb}$$

$G_{dst,k}$ charakteristischer Wert ständiger destabilisierender vertikaler Einwirkungen
$\gamma_{G,dst}$ Teilsicherheitsbeiwert für ständige destabilisierende Einwirkungen im Grenzzustand UPL nach Tabelle A 2.1
$Q_{dst,r}$ charakteristischer bzw. repräsentativer Wert veränderlicher destabilisierender vertikaler Einwirkungen
$\gamma_{Q,dst}$ Teilsicherheitsbeiwert für destabilisierende veränderliche Einwirkungen im Grenzzustand UPL nach Tabelle A 2.1
$G_{stb,k}$ unterer charakteristischer Wert stabilisierender ständiger vertikaler Einwirkungen des Bauwerks
$\gamma_{G,stb}$ Teilsicherheitsbeiwert für stabilisierende ständige Einwirkungen im Grenzzustand UPL nach Tabelle A 2.1
T_k zusätzlich als stabilisierende Einwirkung angesetzte charakteristische Scherkraft

Auf der sicheren Seite liegend wird der stabilisierende Anteil aus Scherkraft T_k vernachlässigt.
Als ständige stabilisierende vertikale Einwirkung wird nur das Eigengewicht der Betonkonstruktion angesetzt.
Der Wasserdruck unter der Bodenplatte wird aus der Potentiallinienberechnung (aus GGU-Program) abgelesen und als ständig destabilisierende Wirkung verwendet.

Eigengewicht nur Beton = 1461,60
UK Sohle = 529,70 müNN
Sohlefläche = 20,00 m2
UK Sporn = 529,00 müNN
Spornfläche = 15,60 m2

Sicker-linie	BS	Potential an UK Sohle		Potential an UK Sporn		destabilisierend $G_{dst,k}$ Sohle	destabilisierend $G_{dst,k}$ Sporn	destabilisierend $\gamma_{G,dst}$	stabilisierend $G_{stb,k}$	stabilisierend $\gamma_{G,stb}$	η
		OW [m]	UW [m]	OW [m]	UW [m]	[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[-]	[-]
P.1	BS-P	531,95	530,75	531,95	530,75	330,0	366,6	1,05	1461,6	0,95	**0,53**
A.1	BS-A	532,25	531,00	532,45	530,75	385,0	405,6	1,00	1461,6	0,95	**0,57**

→ **Die Sicherheit gegen Auftrieb nach DIN 19700 - 11 und DIN 1054 ist in allen untersuchten EK nachgewiesen!**

Sickerlinie	BS	Sohle (Schnitt "C") Potential an UK Sohle		Sohle (Schnitt "C") Sohlwasserdruck W_0 (k)		Sporn (Schnitt "A" und "B") Poten. an UK Sporn	Sporn (Schnitt "A" und "B") Sohlwasserdruck W_0 (k)
		OW [m]	UW [m]	OW [kN/m²]	UW [kN/m²]	Mitte [m]	Mitte [kN/m²]
P.1	BS-P	531,95	530,75	22,5	10,5	531,40	24,0
A.1	BS-A	532,45	530,75	27,5	10,5	531,60	26,0

6.1 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

Pos. 2 Gleitsicherheit

$$\mu_{Gleit} = \frac{H_d}{(V_k \times \tan \varphi_K)/\gamma_{gleit}} \leq 1$$

H_d = Bemessungswert der Horizontallast (mit Teilsicherheitsbeiwerte)

V_k = Charakteristischer Wert der Vertikallast (ohne Teilsicherheitsbeiwerte)

γ_{gleit} = Teilsicherheitsbeiwerte fur Widerstände. DIN 1054: 2010 (Tabelle A 2.3)

φ_K = Reibungswinkel der Boden (ohne Teilsicherheitsbeiwerte)

Widerstand	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Bodenwiderstände				
— Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,e}$, $\gamma_{R,v}$	1,40	1,30	1,20
— Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10	1,10
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen				
— Fußwiderstand	γ_b	1,10	1,10	1,10
— Mantelwiderstand (Druck)	γ_s	1,10	1,10	1,10
— Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10	1,10	1,10
— Mantelwiderstand (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten				
— Druckpfähle	γ_b, γ_s, γ_t	1,40	1,40	1,40
— Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50
Herausziehwiderstände				
— Boden- bzw. Felsnägel	γ_a	1,40	1,30	1,20
— Verpresskörper von Verpressankern	γ_a	1,10	1,10	1,10
— Flexible Bewehrungselemente	γ_a	1,40	1,30	1,20
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Scherfestigkeit				
— Siehe Tabelle A 2.2				
Herausziehwiderstände				
— Siehe STR und GEO-2				

Horizontallasten:

Art	Einwirkungen	Nr.	Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte*		
			BS-P1	BS-T1	BS-A1
Ständ.	Erddruck (günstig)	A.II-II		1,00	
	Wasserdruck	A.III			
	532,0 müNN	A.III-I	1,35	1,20	
	532,5 müNN	A.III-II			1,00
Verän.	Eisdruck	B.IV		1,30	
Außer.					

**Teilsicherheitsbeiwerte im Grenzzustand STR und GEO-2 nach DIN 1054:2010 (Tabelle A 2.1)*

6.1 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

Pos. 2 Gleitsicherheit

Vertikallasten:

Art	Einwirkungen	Nr.	Bemessungssituationen		
			BS-P1	BS-T1	BS-A1
Ständ.	Eigengewicht	A.I	x	x	x
	Sohlwasserdruck	A.IV			
	532,0 müNN	A.IV-I	x	x	
	532,5 müNN	A.IV-II			x

Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen werden nicht berücksichtigt

Annahmen:

- Reibungswinkel φ = 33 °
- Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände γ_{gleit} = 1,1

BS	Beschreibung	Nr	Hor. [kN]	Ver. [kN]	γ	Hd [kN]	Vk [kN]
BS-P1	Wasserdruck	A.III-I	87,88		1,35	118,64	
	Betongewicht	A.I		1461,60	-		1461,60
	Hinterfüllung	A.I		691,76	-		691,76
	SWD-OW	A.IV-I		-247,50	-		-247,50
	SWD-UW	A.IV-I		-115,50	-		-115,50
	SWD-Sporn	A.IV-I		-153,60	-		-153,60
					Σ =	118,64	1636,76
					μ_{gleit} =	**0,123**	
BS-T1	Erddruck (günstig)	A.II-II	-630,44		1,00	-630,44	
	Wasserdruck	A.III-I	87,88		1,20	105,46	
	Eisdruck	B.IV	624,00		1,30	811,20	
	Betongewicht	A.I		1461,60	-		1461,60
	Hinterfüllung	A.I		691,76	-		691,76
	SWD-OW	A.IV-I		-247,50	-		-247,50
	SWD-UW	A.IV-I		-115,50	-		-115,50
	SWD-Sporn	A.IV-I		-153,60	-		-153,60
					Σ =	286,22	1636,76
					μ_{gleit} =	**0,296**	
BS-A1	Wasserdruck	A.III-II	168,48		1,00	168,48	
	Betongewicht	A.I		1461,60	-		1461,60
	Hinterfüllung	A.I		691,76	-		691,76
	SWD-OW	A.IV-I		-247,50	-		-247,50
	SWD-UW	A.IV-I		-115,50	-		-115,50
	SWD-Sporn	A.IV-I		-153,60	-		-153,60
					Σ =	168,48	1636,76
					μ_{gleit} =	**0,174**	

μ_{gleit} **< 1,00** ***Nachweis Erfüllt***

6.1 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

Pos. 3 Nachweis gegen Kippen (EQU)

$$\mu_{EQU} = \frac{\gamma_{G,dst} \times M_{G,dst} + \gamma_{Q,dst} \times M_{Q,dst}}{\gamma_{G,stb} \times M_{G,stb} + \gamma_{Q,stb} \times M_{Q,stb}} \leq 1$$

$M_{G,dst}$ = Destabilisierende Momente (aus ständige Einwirkungen)

$M_{Q,dst}$ = Destabilisierende Momente (aus veränderliche Einwirkungen)

M_{stb} = Stabilisierende Momente (aus Ständige Einwirkungen)

γ = Teilsicherheitsbeiwerte. Din 1054: 2015 (Tabelle A2.1)

Formel-zeichen	Bemessungssituation		
	BS-P	BS-T	BS-A
$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
$\gamma_{Q,stb}$	0,00	0,00	0,00

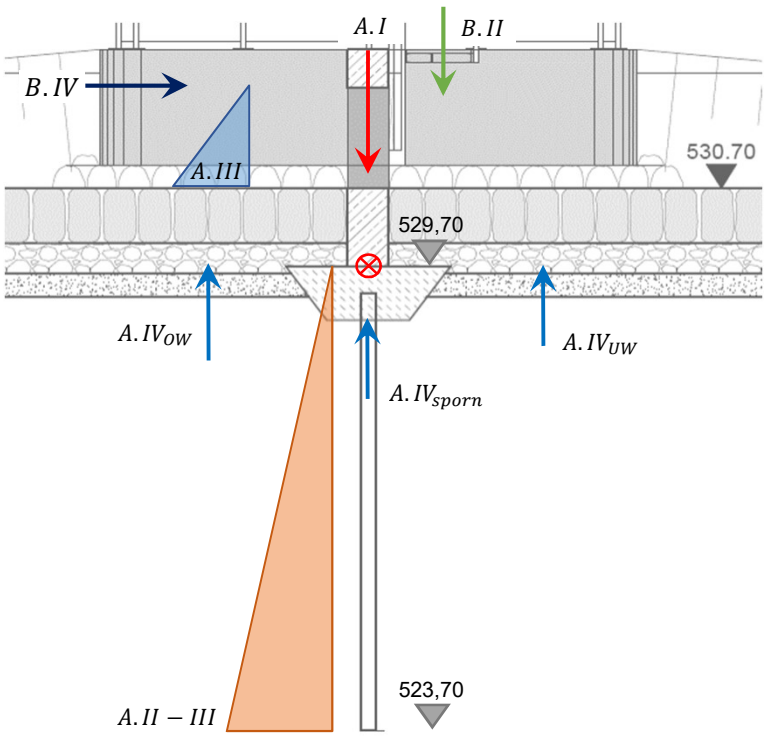
Vertikallasten: *Siehe "6. Pos 3 - Einwirkungen" und die Skizze unten*

Art	Einwirkungen	Nr.	Hebel [m]		
			BS-P1	BS-T1	BS-A1
Ständ.	Eigengewicht	A.I	0,00	0,00	0,00
	Sohlwasserdruck	A.IV			
	532,0 müNN	A.IV-I_{ow}	1,13	1,13	
		A.IV-I_{uw}	1,13	1,13	
		A.IV-I_{sporn}	0,00	0,00	
	532,5 müNN	A.IV-II_{ow}			1,13
		A.IV-II_{uw}			1,13
		A.IV-II_{sporn}			0,00
Verän.	Nutzlasten - Bediensteg	B.II	0,75	0,75	

Horizontallasten: *Siehe "6. Pos 3 - Einwirkungen" und die Skizze unten*

Art	Einwirkungen	Nr.	Hebel [m]		
			BS-P1	BS-T1	BS-A1
Ständ.	Erddruck (Erdwiderstand)	A.II-III	3,96	3,96	3,96
	Wasserdruck	A.III			
	532,0 müNN	A.III-I	1,43	1,43	
	532,5 müNN	A.III-II			1,60
Verän.	Eisdruck	B.IV		2,30	
Außer.					

Lastenskizze:



BS	Beschreibung	Nr	Lasten [kN]	Hebel [m]	γ	$M_{dst\ (d)}$ [kN.m]	$M_{stb\ (d)}$ [kN]
BS-P1	Wasserdruck	A.III-I	87,88	1,43	1,05	131,95	
	SWD-OW	A.IV-I_{ow}	247,50	1,13	1,05	292,36	
	SWD-UW	A.IV-I_{uw}	115,50	1,13	0,95		123,44
	Nutzlasten-Bediensteg	B.II	32,00	0,75	1,50	36,00	
	Erddruck (Erdwiderstand)*	A.II-III	463,18	3,96	0,95		1742,49
					Σ =	460,31	1865,93
	Erddruck = Aktiver Erddruck				μ_{EQU} =	**0,247**	
BS-T1	Wasserdruck	A.III-I	87,88	1,43	1,05	131,95	
	SWD-OW	A.IV-I_{ow}	247,50	1,13	1,05	292,36	
	SWD-UW	A.IV-I_{uw}	115,50	1,13	0,95		123,44
	Nutzlasten-Bediensteg	B.II	32,00	0,75	1,30	31,20	
	Eisdruck	B.IV	624,00	2,30	1,30	1865,76	
	Erddruck (Erdwiderstand)*	A.II-III	926,36	3,96	0,95		3484,97
					Σ =	2321,27	3608,41
	Erddruck = 2 x E_{ah} = 0,42 x E_{ph}				μ_{EQU} =	**0,643**	
BS-A1	Wasserdruck	A.III-II	168,48	1,60	1,00	269,57	
	SWD-OW	A.IV-II_{ow}	302,50	1,13	1,00	341,83	
	SWD-UW	A.IV-II_{uw}	115,50	1,13	0,95		123,99
	Erddruck (Erdwiderstand)*	A.II-III	463,18	3,96	0,95		1742,49
					Σ =	611,39	1866,47
	Erddruck = Aktiver Erddruck				**e [m] =**	**0,328**	

μ_{gleit} **< 1,00** ***Nachweis Erfüllt***

6.1 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

Pos. 4 Sicherheit gegen Hydraulischen Grundbruch

a) Teilsicherheitsbeiwerte im Grenzzustand HYD:

		BS-P	BS-T	BS-A
Strömungskraft bei günstigem Untergrund:	γ_H	1,45	1,45	1,25
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,90	1,90	1,45
günstige ständige Einwirkungen:	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95

Wichte Wasser: γ_w = 10,00 kN/m³

b) Nachweis:

$$S'_k \cdot \gamma_H \leq G'_k \cdot \gamma_{G,stb}$$

S'_k : charakteristische Strömungskraft auf den durchströmten Bodenkörper
G'_k : charakteristische Eigenlast des durchströmten Bodenkörpers
i : hydraulischer Gradient (aus GGU-SSFLOW2D; Lage siehe Systemdarstellungen)

Schnitt	LF	i_y [-]	S'_k [kN/m³]	S'_k x γ_h [kN/m³]	G'_k [kN/m³]	G'_k x $\gamma_{G,stb}$ [kN/m³]	S'_d/G'_d ≤ 1,0 [-]
C**	BS-P1	0,050	0,50	0,95	9,00	8,55	**0,11**
A und B*	BS-P1	0,250	2,50	4,75	9,00	8,55	**0,56**
C**	BS-A1	0,100	1,00	0,69	9,00	8,55	**0,08**
A und B*	BS-A1	0,350	3,50	2,41	9,00	8,55	**0,28**

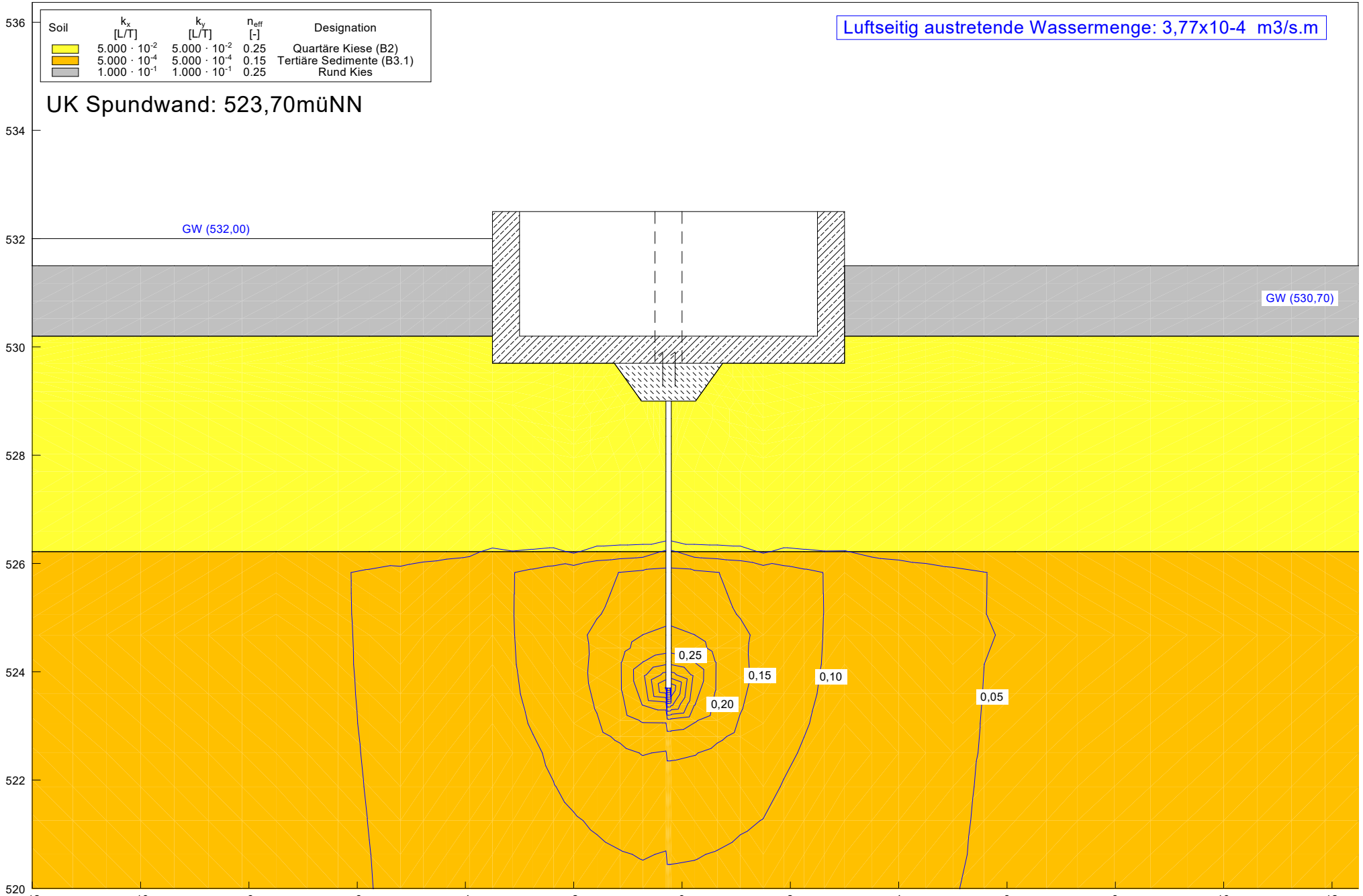
→ **Die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nach DIN 19700 - 11 und DIN 1054 ist in allen untersuchten EK nachgewiesen!**

* Der Gradient wird auf der Unterseite des Grundbruchkörpers betrachtet. Es wird ein Durchschnittswert genommen.
Der Grundbruchkörper nach Terzaghi-Peck ist D x D/2. D ist die Wandtiefe
** Der Gradient wird auf der Unterwasserseite des Bauwerks betrachtet

Singold - Drosselbauwerk

Schnitt "C" - Gradienten und Wassermenge (RKB 09) BS-P1

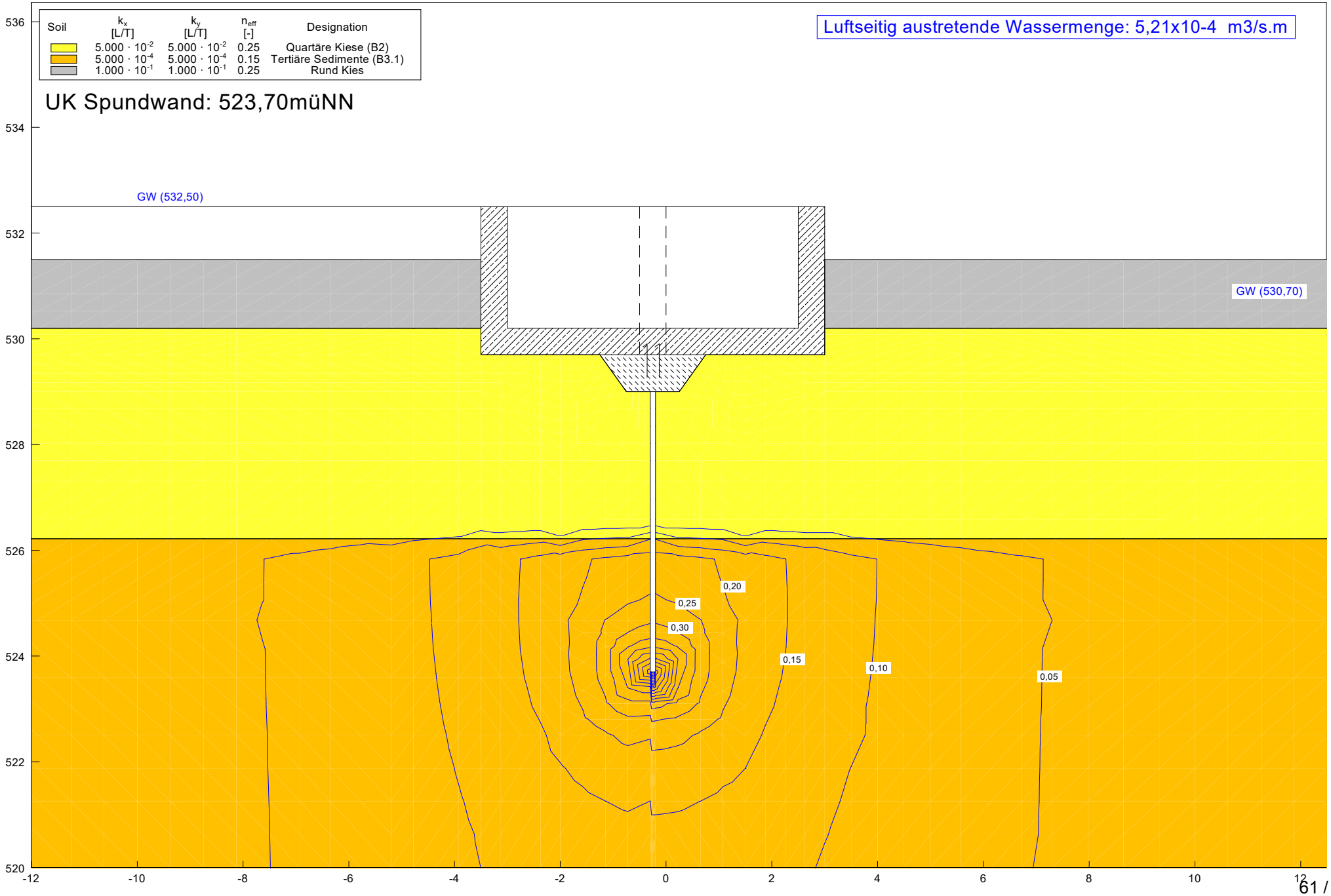
KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



Singold - Drosselbauwerk

Schnitt "C" - Gradienten und Wassermenge (RKB 09) BS-A1 Kronenstau

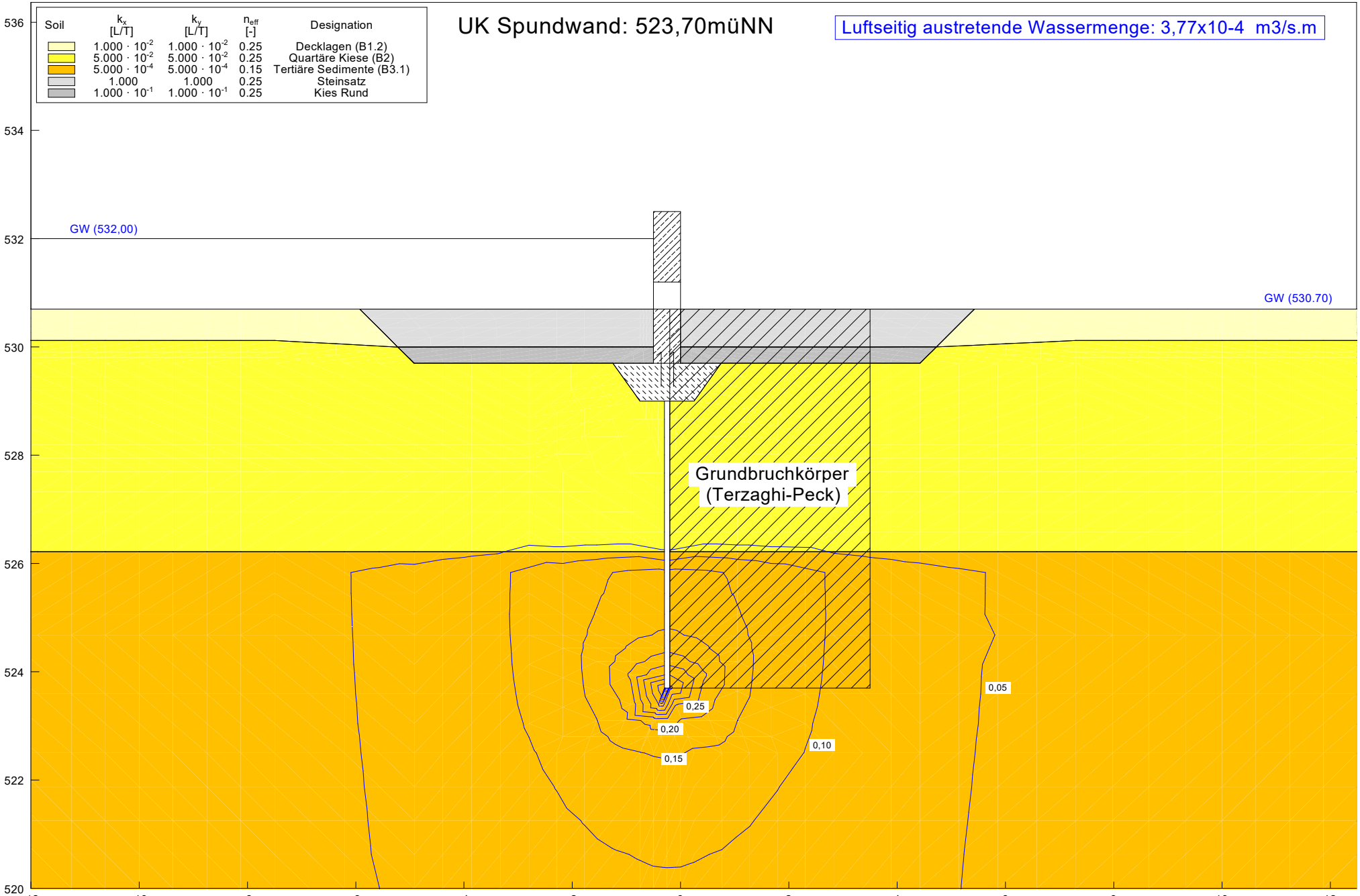
KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



Singold - Drosselbauwerk

Schnit "A" und "B" - **Gradienten und Wassermenge (RKB 09) BS-P1**

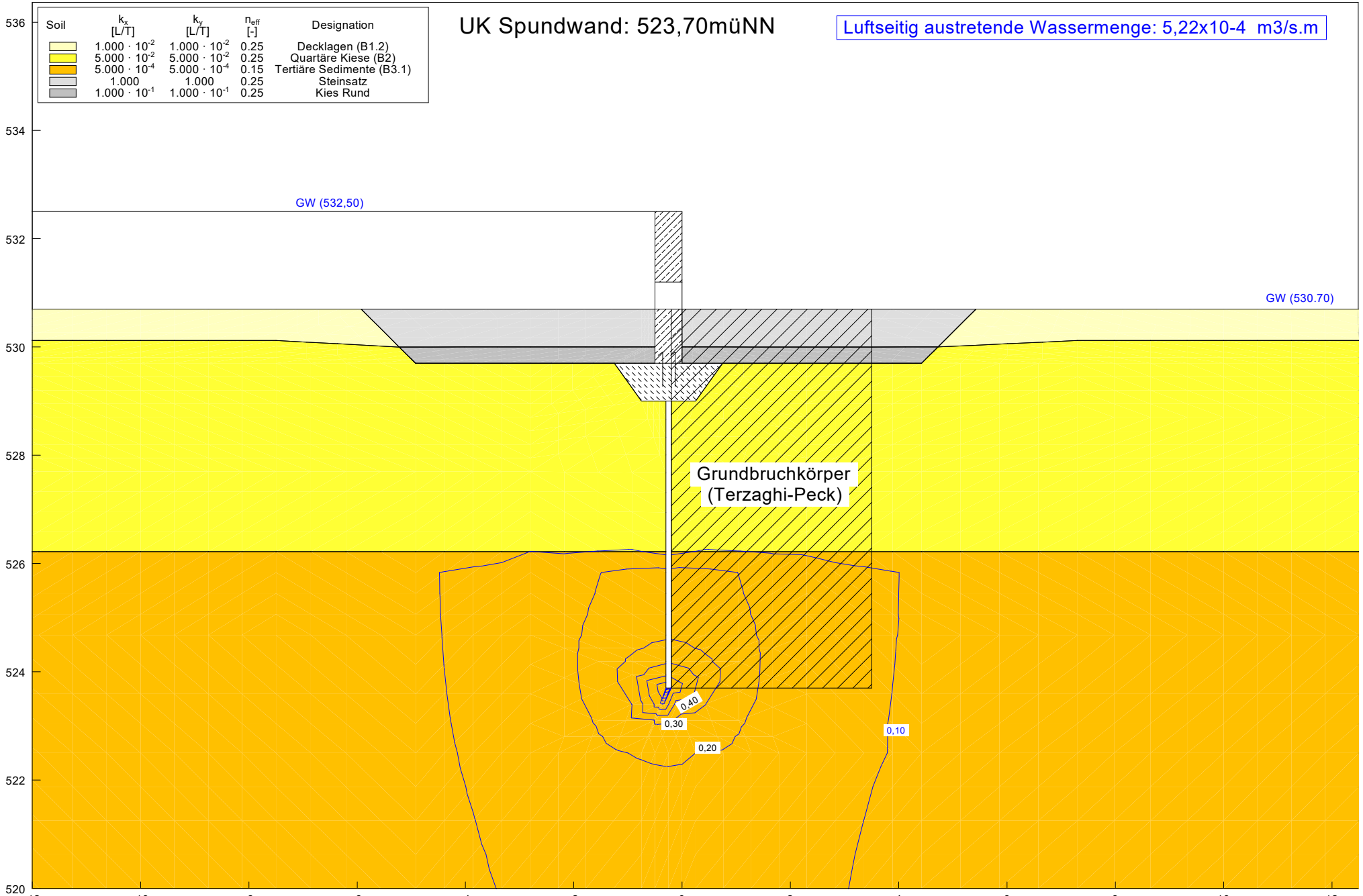
KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



Singold - Drosselbauwerk

Schnit "A" und "B" - Gradienten und Wassermenge (RKB 09) BS-A1

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



6.2 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

Pos. 5 Wassermenge

Beurteilung der Durchsickerung

Auf der Luftseite des Bauwerks berechnete Wasseraustritte:

Mittelbereich (Schnitt A und B)

$Wm_{(532müNN)}$ = 3,77E-04 $m^3/s.m$

$Wm_{(532,5müNN)}$ = 5,22E-04 $m^3/s.m$ *Kronenstau*

Seitenbereich (Schnitt C)

$Wm_{(532müNN)}$ = 3,70E-04 $m^3/s.m$

$Wm_{(532,5müNN)}$ = 5,21E-04 $m^3/s.m$ *Kronenstau*

* Die Wassermenge wird mit dem Programm GGU-SSFlow2D berechnet.
* Die Werte von „n_{eff}“ (Entwässerbare Porosität) wurden aus „Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Karl Josef Witt, Ernst & Sohn“ übernommen.

490 Bernhard Odenwald, Uwe Hekel und Henning Thormann

Tabelle 2. Gesamtporositäten und entwässerbare Porositäten (nach [4])

Lockergesteinsart	Porosität n [–]	Entwässerbare Porosität n_e [–]
Sandiger Kies	0,25 – 0,35	0,20–0,25
Kiesiger Sand	0,28–0,35	0,15–0,20
Mittlerer Sand	0,30–0,38	0,10–0,15
Schluffiger Sand	0,33–0,40	0,08–0,12
Sandiger Schluff	0,35–0,45	0,05–0,10
Toniger Schluff	0,40–0,55	0,03–0,08
Schluffiger Ton	0,45–0,65	0,02–0,05

für die kritischste Situation

$Wm_{(532,5müNN)}$ = 5,22E-04 $m^3/s.m$ Mittelbereich (Schnitt A und B)

$Wm_{(532,5müNN)}$ = 5,21E-04 $m^3/s.m$ Seitenbereich (Schnitt C)

Gesamter Sickerwasseranfall durch den Abschnitt

WM_{ABC} = 5,43E-03 m^3/s

Obwohl die Sickerwassermenge sehr gering ist, ist es dennoch erforderlich, das hydraulische Gefälle zu begrenzen, um den Transport von Material (Feinpartikeln) zu vermeiden. In diesem Fall ist dieser letzte Aspekt maßgebend für die Bestimmung der Tiefe der Spundwand (als Sickerwand). Siehe 6.1. Pos 7 "Materialtransport"

6.2 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

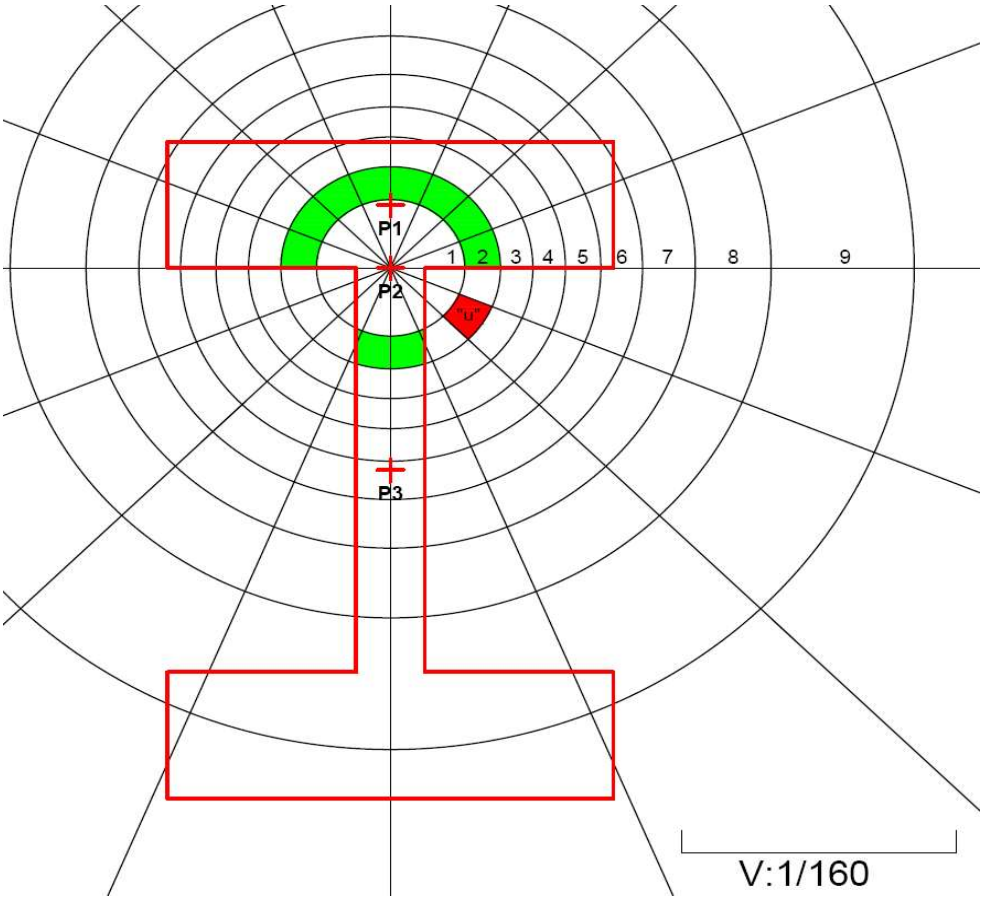
Pos. 6 Setzungen

Spannungsverteilung

Um die Spannung in der Bodenmasse in der Tiefe "z" zu bestimmen, wird die Methode von Newmark verwendet.

Referenzen:

Roter Umriss	→ Grundungsform
u	→ Einheitsfläche pro Ring
Grünfläche (F)	→ Fläche pro ring unter dem Fundament (z.b. ring n° 2)
V	→ Einflußwert
P1, P2, P3	→ Analysepunkte (Punkte 2)
N	→ Anzahl der Quadrilongs



Newmark-Diagramme (für jeden Punkt und seine jeweilige Tiefe) sind in der Anlage 1 zusammengestellt.

Eine Zusammenfassung der aus den Diagrammen erhaltenen Werte ist nachfolgend dargestellt.

PUNKT 1			
Tief [m]:	***1,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	0,229	0,014	16,0
2	0,274	0,017	16,0
3	0,341	0,021	16,0
4	0,432	0,027	16,0
5	0,568	0,036	16,0
6	0,805	0,050	16,0
7	1,150	0,077	15,0
8	1,577	0,136	11,6
9	2,770	0,337	8,2
		Summe =	**130,9**
Tief [m]:	***2,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	0,915	0,057	16,0
2	1,094	0,068	16,0
3	1,348	0,085	15,8
4	1,282	0,108	11,9
5	1,414	0,142	10,0
6	1,612	0,201	8,0
7	1,995	0,306	6,5
8	2,840	0,543	5,2
9	3,190	1,348	2,4
		Summe =	**91,8**
Tief [m]:	***3,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	2,059	0,129	16,0
2	2,462	0,154	16,0
3	1,348	0,192	7,0
4	1,282	0,243	5,3
5	1,414	0,320	4,4
6	1,612	0,453	3,6
7	1,995	0,689	2,9
8	2,840	1,222	2,3
9	3,190	3,033	1,1
		Summe =	**58,6**
Tief [m]:	***4,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	3,62	0,229	15,8
2	2,91	0,274	10,6
3	2,48	0,341	7,3
4	2,45	0,432	5,7
5	2,63	0,568	4,6
6	1,58	0,805	2,0
7	0,77	1,224	0,6
8	1,11	2,173	0,5
9	2,44	5,392	0,5
		Summe =	**47,6**

PUNKT 1			
Tief [m]:	***5,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	5,170	0,358	14,5
2	3,450	0,428	8,1
3	3,040	0,533	5,7
4	3,030	0,675	4,5
5	1,120	0,888	1,3
6	0,760	1,258	0,6
7	0,960	1,913	0,5
8	1,390	3,395	0,4
9	12,850	8,425	1,5
		Summe =	**37,0**
Tief [m]:	***6,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	6,220	0,515	12,1
2	4,060	0,616	6,6
3	3,610	0,767	4,7
4	1,500	0,972	1,5
5	0,770	1,278	0,6
6	0,910	1,811	0,5
7	1,150	2,754	0,4
8	5,260	4,889	1,1
9	8,400	12,132	0,7
		Summe =	**28,2**
Tief [m]:	***8,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	9,05	0,915	9,9
2	5,31	1,094	4,9
3	1,36	1,363	1,0
4	0,95	1,728	0,5
5	1,03	2,272	0,5
6	1,22	3,219	0,4
7	8,36	4,896	1,7
8	4,7	8,691	0,5
9	0	21,568	0,0
		Summe =	**19,4**
Tief [m]:	***10,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	11,440	1,430	8,0
2	3,760	1,710	2,2
3	1,180	2,130	0,6
4	1,190	2,700	0,4
5	1,720	3,550	0,5
6	9,610	5,030	1,9
7	2,700	7,650	0,4
8	0,000	13,580	0,0
9	0,000	33,700	0,0
		Summe =	**13,9**

PUNKT 2			
Tief [m]:	***1,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	0,229	0,014	16,0
2	0,274	0,017	16,0
3	0,340	0,021	16,0
4	0,361	0,027	13,4
5	0,428	0,036	12,1
6	0,565	0,050	11,2
7	0,813	0,077	10,6
8	1,372	0,136	10,1
9	3,226	0,337	9,6
		Summe =	**114,9**
Tief [m]:	***2,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	0,915	0,057	16,0
2	0,844	0,068	12,3
3	0,930	0,085	10,9
4	1,100	0,108	10,2
5	1,400	0,142	9,9
6	1,920	0,201	9,5
7	2,550	0,306	8,3
8	3,140	0,543	5,8
9	4,000	1,348	3,0
		Summe =	**85,9**
Tief [m]:	***3,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	1,680	0,129	13,1
2	1,640	0,154	10,7
3	1,890	0,192	9,9
4	2,300	0,243	9,5
5	2,490	0,320	7,8
6	2,570	0,453	5,7
7	3,010	0,689	4,4
8	1,440	1,222	1,2
9	1,560	3,033	0,5
		Summe =	**62,6**
Tief [m]:	***4,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	4,33	0,229	18,9
2	2,72	0,274	9,9
3	3,15	0,341	9,2
4	2,8	0,432	6,5
5	2,82	0,568	5,0
6	2,24	0,805	2,8
7	0,82	1,224	0,7
8	1,11	2,173	0,5
9	7,32	5,392	1,4
		Summe =	**54,9**

PUNKT 2			
Tief [m]:	***5,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	3,980	0,358	11,1
2	4,080	0,428	9,5
3	3,520	0,533	6,6
4	3,230	0,675	4,8
5	1,800	0,888	2,0
6	0,760	1,258	0,6
7	0,960	1,913	0,5
8	2,780	3,395	0,8
9	11,080	8,425	1,3
		Summe =	**37,3**
Tief [m]:	***6,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	5,520	0,515	10,7
2	4,990	0,616	8,1
3	3,890	0,767	5,1
4	2,210	0,972	2,3
5	0,780	1,278	0,6
6	0,910	1,811	0,5
7	1,540	2,754	0,6
8	10,440	4,889	2,1
9	1,900	12,132	0,2
		Summe =	**30,1**
Tief [m]:	***8,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	9,09	0,915	9,9
2	5,8	1,094	5,3
3	2,04	1,363	1,5
4	0,95	1,728	0,5
5	1,03	2,272	0,5
6	4,81	3,219	1,5
7	8,42	4,896	1,7
8	0	8,691	0,0
9	0	21,568	0,0
		Summe =	**20,9**
Tief [m]:	***10,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	12,190	1,430	8,5
2	4,580	1,710	2,7
3	1,180	2,130	0,6
4	1,190	2,700	0,4
5	6,690	3,550	1,9
6	6,350	5,030	1,3
7	0,000	7,650	0,0
8	0,000	13,580	0,0
9	0,000	33,700	0,0
		Summe =	**15,3**

PUNKT 3			
Tief [m]:	***1,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	0,229	0,014	16,0
2	0,274	0,017	16,0
3	0,334	0,021	15,7
4	0,289	0,027	10,7
5	0,288	0,036	8,1
6	0,326	0,050	6,5
7	0,402	0,077	5,3
8	0,570	0,136	4,2
9	1,059	0,337	3,1
		Summe =	**85,6**
Tief [m]:	***2,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	0,894	0,057	15,6
2	0,595	0,068	8,7
3	0,500	0,085	5,9
4	0,493	0,108	4,6
5	0,527	0,142	3,7
6	0,617	0,201	3,1
7	0,776	0,306	2,5
8	1,116	0,543	2,1
9	3,836	1,348	2,8
		Summe =	**49,0**
Tief [m]:	***3,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	1,303	0,129	10,1
2	0,818	0,154	5,3
3	0,725	0,192	3,8
4	0,724	0,243	3,0
5	0,782	0,320	2,4
6	0,918	0,453	2,0
7	1,243	0,689	1,8
8	6,670	1,222	5,5
9	18,230	3,033	6,0
		Summe =	**39,9**
Tief [m]:	***4,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	1,873	0,229	8,2
2	1,067	0,274	3,9
3	0,956	0,341	2,8
4	0,96	0,432	2,2
5	1,038	0,568	1,8
6	2,6	0,805	3,2
7	8,203	1,224	6,7
8	13,84	2,173	6,4
9	1,62	5,392	0,3
		Summe =	**35,5**

PUNKT 3			
Tief [m]:	***5,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	2,290	0,358	6,4
2	1,320	0,428	3,1
3	1,189	0,533	2,2
4	1,196	0,675	1,8
5	3,654	0,888	4,1
6	9,016	1,258	7,2
7	11,740	1,913	6,1
8	1,610	3,395	0,5
9	0,000	8,425	0,0
		Summe =	**31,4**
Tief [m]:	***6,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	2,840	0,515	5,5
2	1,580	0,616	2,6
3	1,424	0,767	1,9
4	3,738	0,972	3,8
5	9,173	1,278	7,2
6	11,390	1,811	6,3
7	1,827	2,754	0,7
8	0,000	4,889	0,0
9	0,000	12,132	0,0
		Summe =	**27,9**
Tief [m]:	***8,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	5,764	0,915	6,3
2	2,093	1,094	1,9
3	6,823	1,363	5,0
4	13,03	1,728	7,5
5	6,167	2,272	2,7
6	0	3,219	0,0
7	0	4,896	0,0
8	0	8,691	0,0
9	0	21,568	0,0
		Summe =	**23,5**
Tief [m]:	***10,00***		
Ring n°	F	u	N = F/u
1	11,190	1,430	7,8
2	6,263	1,710	3,7
3	15,778	2,130	7,4
4	4,985	2,700	1,8
5	0,000	3,550	0,0
6	0,000	5,030	0,0
7	0,000	7,650	0,0
8	0,000	13,580	0,0
9	0,000	33,700	0,0
		Summe =	**20,7**

6.2 DROSSELBAUWERK - ÄUßERE STANDSICHERHEIT

Pos. 6 Setzungen

Ständige Lasten (A.I)

Eigengewicht nur Beton =	1461,60	kN
Hinterfüllung =	691,76	kN
G_k =	2153,36	kN

Veränderliche Lasten

Verkehrlasten (B.I) =	366,52	kN
Bediensteg (B.II-I) =	32,00	kN
Personenlasten (B.II-II) =	25,40	kN
Q_k =	423,92	kN

$\sigma_{R,d}$ =	280,00	kN/m2	*Siehe 4.3. Baugrund*
Fundamentfläche =	**32,40**	m^2	
(G_k+Q_k)/Fäche = q =	**79,55**	**kN/m²**	< $\sigma_{R,d}$

Nachweis Erfüllt

Newmarks Methode

$$\sigma_z = \Delta\sigma \times q = V \times N \times q$$

$$V = 1/160 = 0{,}00625$$

Setzungstheorie *für den elastisch-isotropen Halbraum*

$$\Delta s = \frac{\sigma_{zm} \cdot s}{Es}$$

q [kN/m²] =	**79,55**	**PUNKT 1**					
z [m]	Newmark "N"	V	Δσ	σ_z [kN/m²]	σ_{zm} [kN/m²]	Es [MN/m²]	Δs [cm]
0,00		0,00625	1,00	79,55		40	
1,00	131	0,00625	0,82	65,13	72,34	40	0,18
2,00	92	0,00625	0,58	45,74	55,43	40	0,14
3,00	59	0,00625	0,37	29,33	37,54	40	0,09
4,00	48	0,00625	0,30	23,86	26,60	40	0,07
5,00	37	0,00625	0,23	18,39	21,13	40	0,05
6,00	28	0,00625	0,18	13,92	16,16	40	0,04
8,00	19	0,00625	0,12	9,45	11,68	40	0,06
10,00	14	0,00625	0,09	6,96	8,20	40	0,04
						Σ [cm]=	**0,67**

q [kN/m²] =	79,55	PUNKT 2					
z [m]	Newmark N	V	Δσ	σ_z [kN/m²]	σ_{zm} [kN/m²]	Es [MN/m²]	Δs [cm]
0,00		0,00625	1,00	79,55		40	
1,00	115	0,00625	0,72	57,17	68,36	40	0,17
2,00	86	0,00625	0,54	42,76	49,96	40	0,12
3,00	63	0,00625	0,39	31,32	37,04	40	0,09
4,00	55	0,00625	0,34	27,34	29,33	40	0,07
5,00	37	0,00625	0,23	18,39	22,87	40	0,06
6,00	30	0,00625	0,19	14,91	16,65	40	0,04
8,00	21	0,00625	0,13	10,44	12,68	40	0,06
10,00	15	0,00625	0,09	7,46	8,95	40	0,04
						Σ [cm]=	**0,67**

q [kN/m²] =	79,55	PUNKT 3					
z [m]	Newmark N	V	Δσ	σ_z [kN/m²]	σ_{zm} [kN/m²]	Es [MN/m²]	Δs [cm]
0,00		0,00625	1,00	79,55		40	
1,00	86	0,00625	0,54	42,76	61,15	40	0,15
2,00	49	0,00625	0,31	24,36	33,56	40	0,08
3,00	40	0,00625	0,25	19,89	22,12	40	0,06
4,00	36	0,00625	0,23	17,90	18,89	40	0,05
5,00	31	0,00625	0,19	15,41	16,65	40	0,04
6,00	28	0,00625	0,18	13,92	14,67	40	0,04
8,00	24	0,00625	0,15	11,93	12,93	40	0,06
10,00	21	0,00625	0,13	10,44	11,19	40	0,06
						Σ [cm]=	**0,54**

Die zu erwartenden Setzungen werden als akzeptabel angesehen

Pos. 7 **Materialtransport** nach BAWMerklblatt: Materialtransport im Boden (MMB), 2013

Der Materialtransport kann erfolgen durch:

- Suffosion
- Erosion: Äußere Erosion, Innere Erosion, Kontakterosion und Fugenerosion

In diesem Absatz werden ausschließlich Verfahren zum Nachweis der Sicherheit gegen Suffosion und Kontakterosion sowie gegen Fugenerosion behandelt.

Der Nachweis gegen äußere Erosion an der Oberfläche eines Bodenkörpers durch eine äußere Strömungsbeanspruchung erfolgt auf Grundlage von hydraulischen Berechnungen und wird hier nicht betrachtet. Da die Vorgänge bei innerer Erosion rechnerisch nicht erfasst werden können, existieren hier für keine Nachweisverfahren. Möglichen schädlichen Auswirkungen muss konstruktiv begegnet werden.
Der Nachweis erfolgt zunächst nach geometrischen Kriterien und bei Bedarf erfolgt ein Nachweis nach hydraulischen Kriterien.

Suffosion RKB 11 (3,00 - 3,50m) "Quartäre Kiese (B2)"

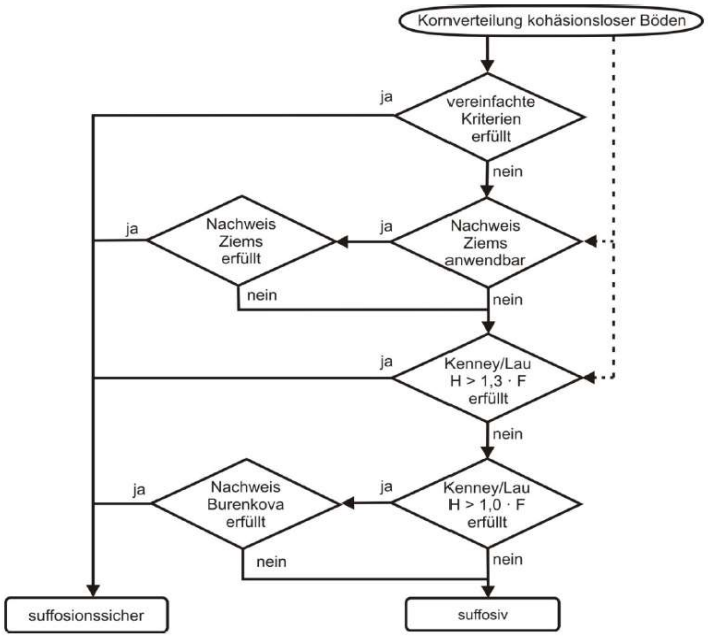


Bild 6: Empfohlener Ablauf für den Nachweis der Suffosionssicherheit

Vereinfachte Kriterien:

- Ungleichförmigkeitszahl CU < 8

d_{60} = 13,47 mm

d_{10} = 0,24 mm

Cu = **57,31 > 8** ***Nicht Erfüllt***

Ziems:

d_3 = 0,08 mm
Fs = 0,40 siehe 4.2.3.1 material transport im Boden MMB
d_{17} = 0,80 mm
e = 0,35 Porenzahl
dk = 0,25

$$\frac{d_{min}}{F_s . d_k} \geq 1{,}5 \qquad d_k = 0{,}455 . \sqrt[6]{C_u} . e . d_{17}$$

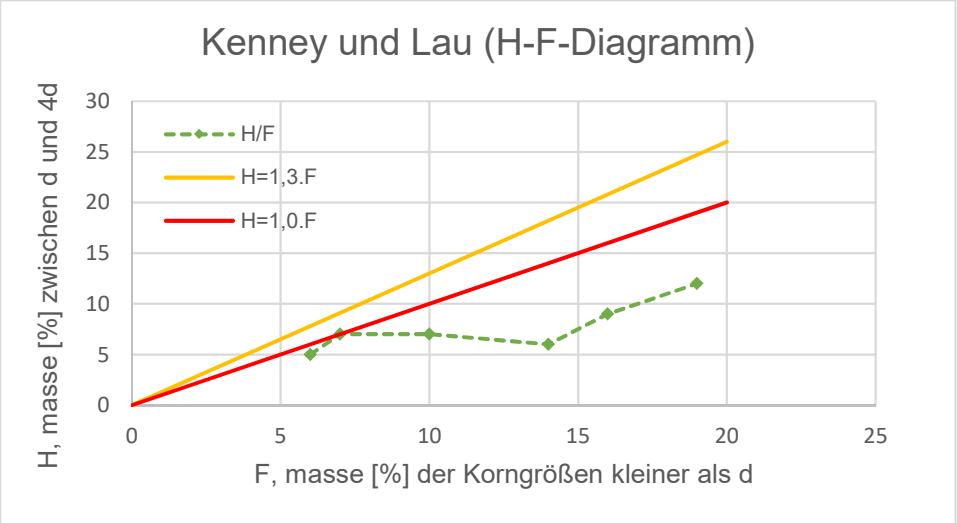
0,80 < 1,5 ***Nicht Erfüllt***

Kenney und Lau:

d_{60} / d_{10} = 57,31 > 3

Die 20% Feinsten werden betrachtet

d [mm]	*4.d [mm]*	*F [%]*	*H+F [%]*	*H [%]*
0,07	0,28	6	*11*	5
0,10	0,40	7	*14*	7
0,20	0,80	10	*17*	7
0,40	1,60	14	*20*	6
0,60	2,40	16	*25*	9
1,00	4,00	19	*31*	12



H < 1,0.F → ***Der Boden ist nicht suffosionssicher***

Das geometrische Kriterium ist nicht erfüllt, muss ein Nachweis mit hydraulischen Kriterien erfolgen. Siehe "Hydraulisches Kriterium"

Pos. 7 **Materialtransport** nach BAWMerklblatt: Materialtransport im Boden (MMB), 2013

Der Materialtransport kann erfolgen durch:

- Suffosion
- Erosion: Äußere Erosion, Innere Erosion, Kontakterosion und Fugenerosion

In diesem Absatz werden ausschließlich Verfahren zum Nachweis der Sicherheit gegen Suffosion und Kontakterosion sowie gegen Fugenerosion behandelt.

Der Nachweis gegen äußere Erosion an der Oberfläche eines Bodenkörpers durch eine äußere Strömungsbeanspruchung erfolgt auf Grundlage von hydraulischen Berechnungen und wird hier nicht betrachtet. Da die Vorgänge bei innerer Erosion rechnerisch nicht erfasst werden können, existieren hier für keine Nachweisverfahren. Möglichen schädlichen Auswirkungen muss konstruktiv begegnet werden.
Der Nachweis erfolgt zunächst nach geometrischen Kriterien und bei Bedarf erfolgt ein Nachweis nach hydraulischen Kriterien.

Suffosion RKB 10 (5,90 - 6,00m) "Tertiäre Sedimente (B3.1)"

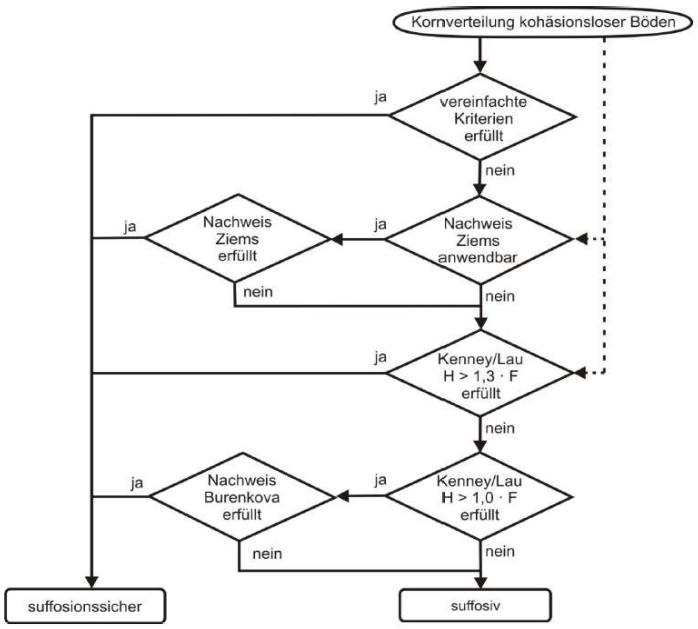


Bild 6: Empfohlener Ablauf für den Nachweis der Suffosionssicherheit

Vereinfachte Kriterien:

- Ungleichförmigkeitszahl CU < 8

d_{60} = 0,248 mm
d_{10} = 0,021 mm
Cu = **11,81 > 8** ***Nicht Erfüllt***

Ziems:

d_3 = 0,004 mm

Fs = 0,40 *siehe 4.2.3.1 Material Transport im Boden MMB*

d_{17} = 0,07 mm

e = 0,45 *Porenzahl*

dk = 0,02

$$\frac{d_{min}}{F_s . d_k} \geq 1{,}5 \qquad d_k = 0{,}455 . \sqrt[6]{C_u} . e . d_{17}$$

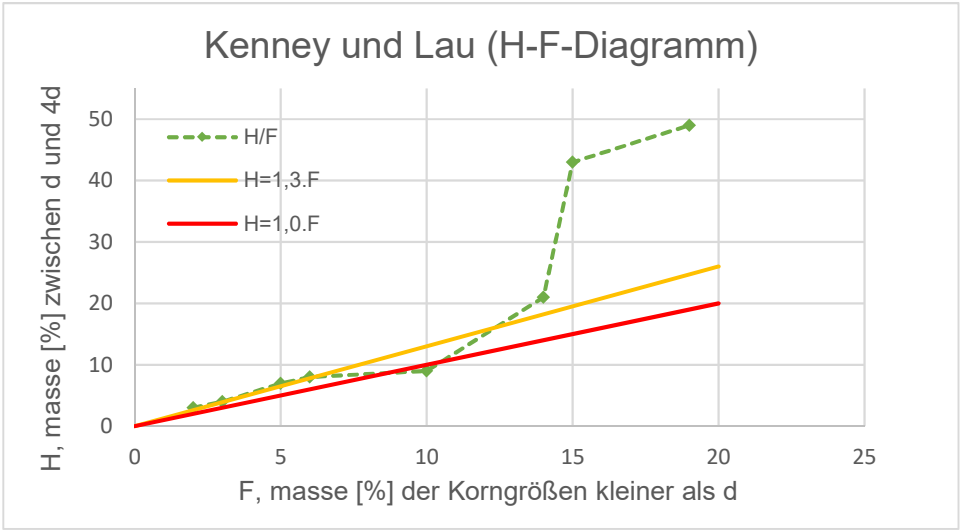
0,46 < 1,5 ***Nicht Erfüllt***

Kenney und Lau:

d_{60} / d_{10} = 11,81 > 3

Die 20% Feinsten werden betrachtet

d [mm]	*4.d [mm]*	*F [%]*	*H+F [%]*	*H [%]*
0,002	0,008	2	*5*	3
0,004	0,016	3	*7*	4
0,008	0,032	5	*12*	7
0,010	0,040	6	*14*	8
0,020	0,080	10	*19*	9
0,040	0,160	14	*35*	21
0,060	0,240	15	*58*	43
0,080	0,320	19	*68*	49



H < 1,0.F → ***Der Boden ist nicht suffosionssicher***

Das geometrische Kriterium ist nicht erfüllt, muss ein Nachweis mit hydraulischen Kriterien erfolgen. Siehe "Hydraulisches Kriterium"

2- ***Erosion***

Kontakterosion *nach MMB 2013*

Für den Nachweis gegen Kontakterosion existiert eine Vielzahl empirisch gewonnener Kriterien (DWA- M 507-1, 2011).
Zum Nachweis der geometrischen Sicherheit gegen Kontakterosion werden die Verfahren von

* Terzaghi
* Cistin und Ziems
* Lafleur
* Myogahara

empfohlen. Die Grundlagen, die Anwendungsgrenzen und die Nachweisführungen werden nachfolgend beschrieben.

Verfahren	$C_{U,F}$	$C_{U,B}$	Filter	Boden	hydraulischer Gradient i
Terzaghi	< 2	< 2	enggestufte Sande	enggestufte Sande	< 8
Cistin und Ziems	≤ 18	≤ 20	d ≤ 100 mm	-	≤ 9
Lafleur	< 27	-	sandiger Kies 0,06 < d < 50 mm d_{15} > 0,2 mm	kohäsionslose Böden d < 50 mm	≤ 8
Myogahara	-	-	GW, GE oder gröber		

Annahmen:

- Basis Boden (index "B") :
  RKB 10 (5,90 - 6,00m) "Tertiäre Sedimente (B3.1)"
- Filter Boden (Index "F") :
  RKB 11 (3,00 - 3,50m) "Quartäre Kiese (B2)"

Kriterium Terzaghi:

Cu_B = 11,81 > 2
Cu_F = 57,31 > 2

→ Anwendungsgrenzen für das geometrische Kriterium nach Terzaghi sind nicht erfüllt

Kriterium Cistin und Ziems:

Cu_B = 11,81 < 20
Cu_F = 57,31 > 18

→ Anwendungsgrenzen für das geometrische Kriterium nach Cistin und Ziems sind nicht erfüllt

Kriterium Lafleur:

Cu_B = 11,81
Cu_F = 57,31 > 27

→ Anwendungsgrenzen für das geometrische Kriterium nach Lafleur sind nicht erfüllt

Ein geometrischer Nachweis gegen Kontaktrosion ist mit diesen verfahren nicht möglich, muss ein Nachweis mit hydraulischen Kriterien erfolgen. Siehe "Hydraulisches Kriterium"

Fugenerosion

Die Fugenerosionssicherheit gilt als abgedeckt durch Nachweise von:

- Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch nach DIN 1054:2055-1 (siehe 6.1. Pos. 4)
- Kontrollgradienten nach Chugaev (siehe Materialtransport-Hydraulisches Kriterium)

Pos. 7 Materialtransport

Hydraulisches Kriterium Kontrollgradienten nach Chugaev (DWA M507-1)

Im Untergrund ist die Einhaltung des hydraulische Kreiteriums für Suffusion und Kontakterosion ausreichend. Auf der sicheren Seite liegend wird die max. Fließgeschwindigkeit in einem Bodenkörper sowie der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{H,krit}$=1,5 für Suffusion für beide Nachweise verwendet.

Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte zum Materialtransport (Tabelle 6; DIN 19712:2013-01)

Hydraulisches Kriterium	Teilsicherheitsbeiwerte			
	Einwirkungen $\gamma_{H,vorh}$			Widerstände $\gamma_{H,krit}$
	BS-P	BS-T	BS-A	
Kontakterosion	1,35	1,2	1,1	1,1
Suffosion	1,35	1,2	1,1	1,5
Erosionsgrundbruch	1,35	1,2	1,1	1,1

Tabelle 7: Kritischer Kontrollgradient i_{krit} nach CHUGAEV (DAVIDENKOFF 1970)

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

gewählt: i_{krit} = 0,175 *für Tertiäre Sedimente (B3.1)*

i_{krit} = 0,250 *für Quartäre Kiese (B2)*

Nachweis:

$$i_{vorh,k} \times \gamma_{H,vorh} \leq i_{krit,k}/\gamma_{H,krit}$$

$$i_{vorh,d} \leq i_{krit,d}$$

Hydraulische Gradienten werden wie folgt genommen:

1- Die Werte werden im kritischsten Abschnitt (Abschnitt "A") genommen, wo die höchsten hydraulischen Gradienten auftreten.
2- Für Tertiäre Sedimente (B3.1) wird ein gemittelte Gradient an der Grenze zwischen den Schichten auf der Unterwasserseite genommen (Mittelwert, siehe auf den folgenden Seiten mit einer roten Linie markiert).

Pos. 7 Materialtransport

Hydraulisches Kriterium Kontrollgradienten nach Chugaev (DWA M507-1)

Bodenbezeichnung	Lastfall	$i_{vorh,k}$	$i_{krit,k}$	$i_{vor,d}$	$i_{krit,d}$	
Tertiäre Sedimente (B3.1)	BS-P1	0,07	0,175	0,095	0,117	*Nachweis erfüllt*
	BS-A1	0,09	0,175	0,099	0,117	*Nachweis erfüllt*
Quartäre Kiese (B2)	BS-P1	≤ 0,05	0,250	≤ 0,068	0,167	*Nachweis erfüllt*
	BS-A1	≤ 0,09	0,250	≤ 0,099	0,167	*Nachweis erfüllt*

- Bei diesem Projekt ist das hydraulische Gradient zur Begrenzung des Materialtransports maßgebend für die Bestimmung der Tiefe der Spundwand (als Sickerwand)
- Das Ziel besteht darin, das hydraulische Gradient zu begrenzen, um den Transport von Feinstoffen (Tertiäre Sedimente B3.1) in die angrenzende Schicht (Quartiäre Kiese B2) zu vermeiden.
- Eine geringere Spundwandtiefe bedeutet ein größeres Gradienten und damit ein höheres Risiko für den Transport von Feinmaterial.

Hinweis:

* In einem begrenzten Bereich am Fußpunkt der Spundwand auftretende Überschreitungen des kritischen Gradienten halten wir für unkritisch.
* Wir weisen auf den Stichprobencharakters der Baugrunderkundung hin.
  Im Rahmen der Bauwerksüberwachung sind sandende Auswurftrichter, die als sicheres Zeichen von kritischen Erosionsprozessen gelten, zu erfassen und ggf. Sofortmaßnahmen zur Abwehr von möglichen fortschreitenden Erosionsprozessen einzuleiten.
* Die Nichterfüllung des Erosionsgrundbruch-Nachweises ist als nicht kritisch anzusehen, wenn die Bodenkörner nicht austreten können.

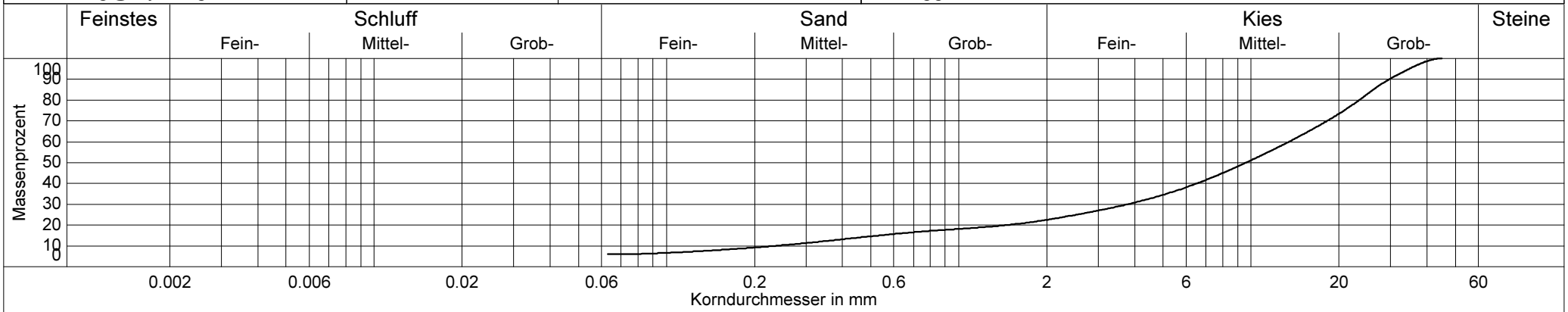
Crystal Geotechnik GmbH
Beratende Ingenieure und Geologen
Hofstattstraße 28, 86919 Utting
Tel. 08806/95894-0 Fax: -44
Mail: utting@crystal-geotechnik.de

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-19909-01-00

Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	HWS Großaitingen, Gew II, Singold - Überleitung
Projektnr.:	B 201615
Datum:	08.12.2020
Anlage:	5.27
Auftraggeber:	WWA Donauwörth



gemäß formeller Auslegung der DIN, Probenmenge zu gering

Probenbezeichnung	——— B201615-RKB11-3,50m
Entnahmestelle	RKB 11
Entnahmetiefe	3,00 - 3,50 m
Bodenart	G,s,u'
Bodengruppe	GU
KornfraktionenT/U/S/G	0.0/6.0/16.6/77.5 %
Ungleichförmigkeitsgrad	57.2
Krümmungszahl	4.5
Anteil < 0.063 mm	6.0 %
d10 / d60	0.235/13.467 mm
kf nach Hazen	- (Cu > 5)
kf nach Beyer	- (Cu > 30)
kf nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf nach Seiler	1.5E-02 m/s
kf nach USBR	- (d10 > 0.02)
d25	2.535 mm
Korndichte geschätzt:	2,7 g/cm³
Frostempfindlichkeitsklasse	F2

DC

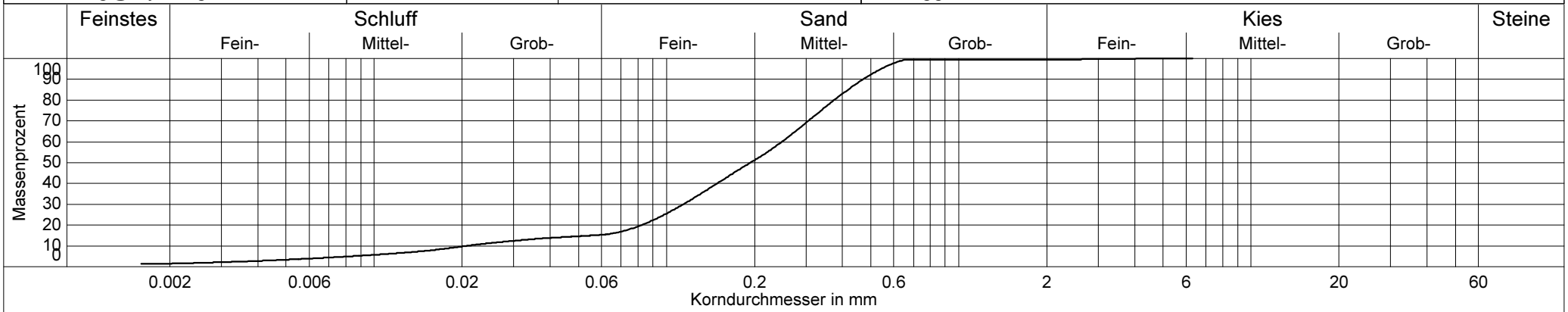
Crystal Geotechnik GmbH
Beratende Ingenieure und Geologen
Hofstattstraße 28, 86919 Utting
Tel. 08806/95894-0 Fax: -44
Mail: utting@crystal-geotechnik.de

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-19909-01-00

Kornverteilung

DIN EN ISO 17892-4

Projekt:	HWS Großaitingen, Gew II, Singold - Überleitung
Projektnr.:	B 201615
Datum:	08.12.2020
Anlage:	5.25
Auftraggeber:	WWA Donauwörth



Schlämme ausgeflockt!

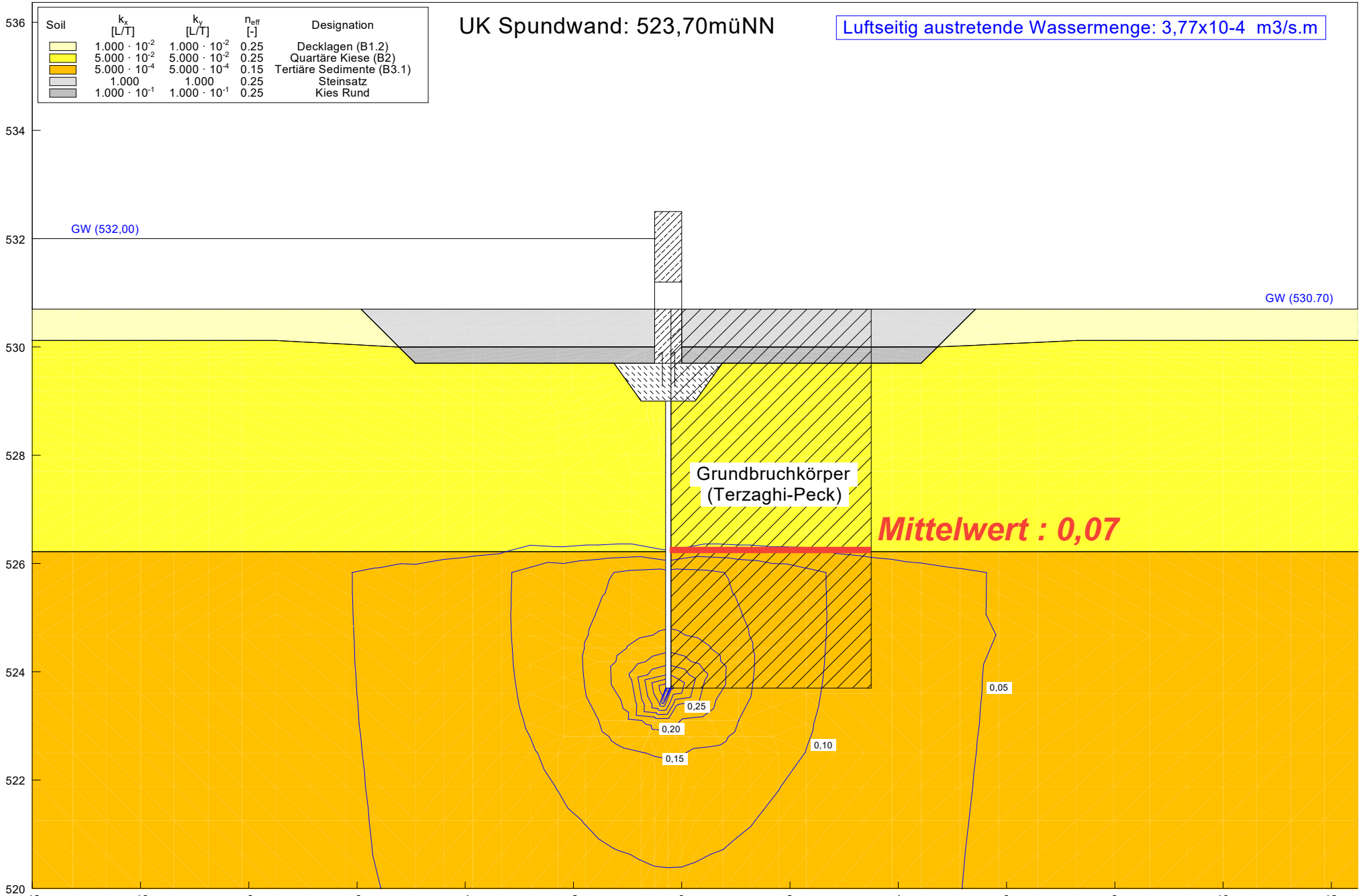
Probenbezeichnung	——— B201615-RKB10-6,00m
Entnahmestelle	RKB 10
Entnahmetiefe	5,90 - 6,00 m
Bodenart	S,$\overline{u}$
Bodengruppe	S$\overline{U}$
KornfraktionenT/U/S/G	1.5/14.2/83.8/0.6 %
Ungleichförmigkeitsgrad	12.0
Krümmungszahl	2.5
Anteil < 0.063 mm	15.7 %
d10 / d60	0.021/0.248 mm
kf nach Hazen	- (Cu > 5)
kf nach Beyer	4.4E-06 m/s
kf nach Kaubisch	4.5E-06 m/s
kf nach Seiler	4.0E-06 m/s
kf nach USBR	- (d10 > 0.02)
d25	0.098 mm
Korndichte geschätzt:	2,7 g/cm³
Frostempfindlichkeitsklasse	F3

DC

Singold - Drosselbauwerk

Schnit "A" und "B" - **Gradienten und Wassermenge (RKB 09) BS-P1**

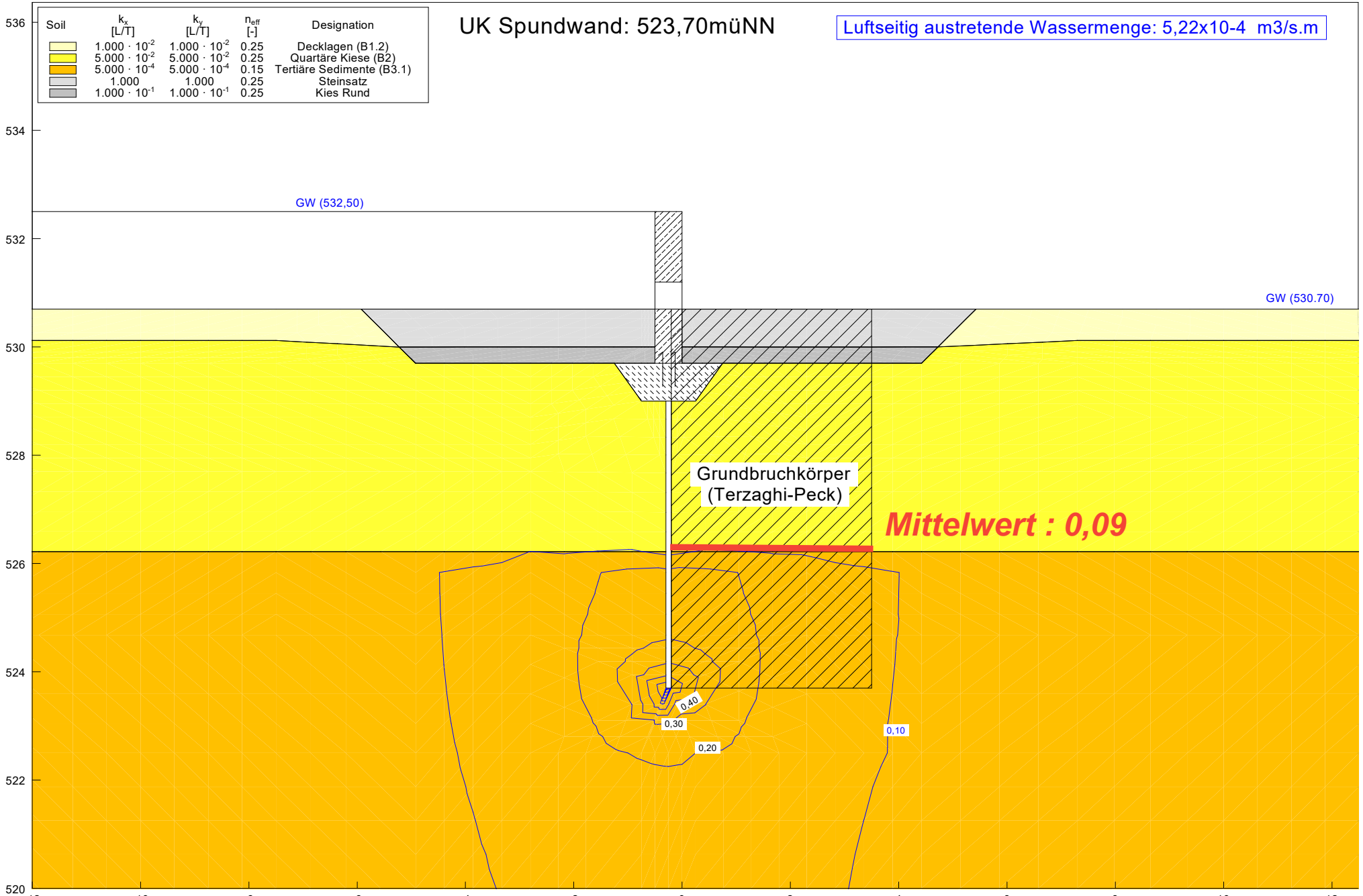
KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



Singold - Drosselbauwerk

Schnit "A" und "B" - Gradienten und Wassermenge (RKB 09) BS-A1

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt



6.2 DROSSELBAUWERK - INNERE STANDSICHERHEIT

Pos.1 Stauwand

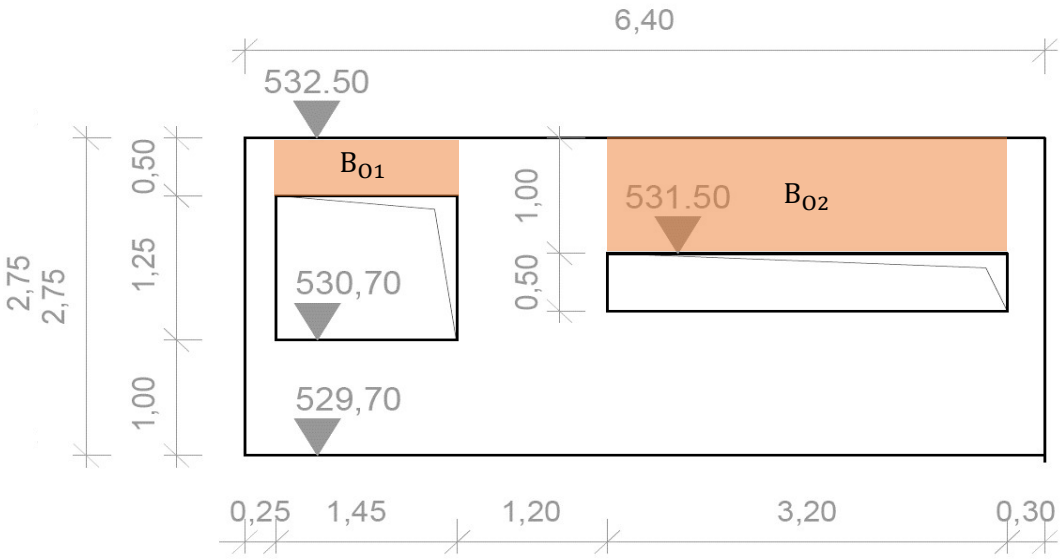
Die Stauwand wird in drei getrennten Teilen analysiert und anschließend wird die erhaltene Bewehrung zusammengefügt.

Teil n°1= Die Mauer wird als Platte mit Öffnungen analysiert. Es werden nur horizontale Einwirkungen berücksichtigt.

Teil n°2 (B_{o1}) = Der Mauerabschnitt oberhalb der Öffnung 1 wird als Balken analysiert. Es werden nur vertikale Kräfte berücksichtigt

Teil n°3 (B_{o2}) = Der Mauerabschnitt oberhalb der Öffnung 2 wird als Balken analysiert. Es werden nur vertikale Kräfte berücksichtigt

* Geometrie:



Auflager: Konservativ wird davon ausgegangen, dass die untere Seite der Wand keine Unterstützung gegen Moment bietet.
In den Öffnungen wird der Wasserdruck wie in der Skizze dargestellt zu den Seiten übertragen

Art	Einwirkungen	Nr.	Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte*		
			BS-P1	BS-T1	BS-A1
Ständ.	Wasserdruck	A.III			
	532,0 müNN	A.III-I	1,35	1,20	
	532,5 müNN	A.III-II			1,00
Verän.	Nutzlasten - Bediensteg	B.II	1,50		
	Eisdruck	B.IV		1,30	
Außer.					

Teil n°1: Bemessung als Platte *mit Harzer Statik Programm*

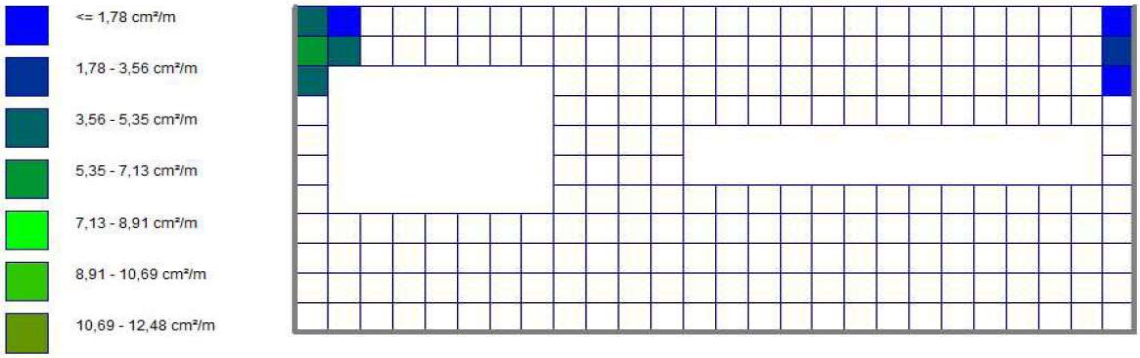
* Bemessungsschnittgrößen Siehe Anlage 2

* Bewehrung *Siehe 4.2. Mindestbewehrung*
erf A s,Riss = 12,26 cm^2/m auf jeder Seite
mit (wk=0,25 und d=12mm)

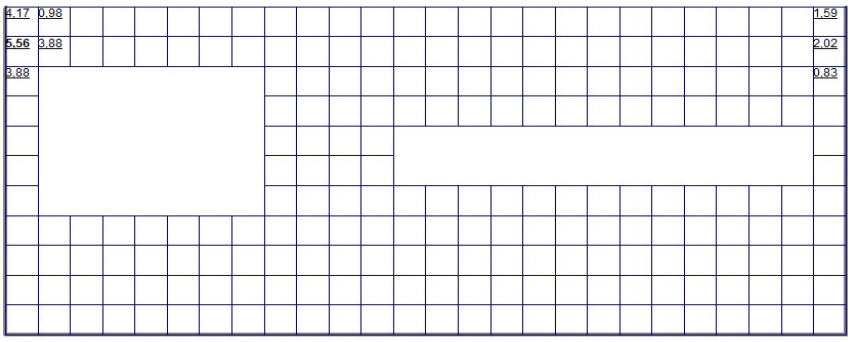
Bewehrung a sx (OW-Seite)

Grundbewehrung $a_{sx,0}$= 12,26 cm^2/m

max. $a_{sx,0}$= 5,56 cm^2/m *(Grundbewehrung abgezogen)*



Raster = 25x25cm



Bewehrung a sy (OW-Seite) nur Grundbewehrung ist erforderlich

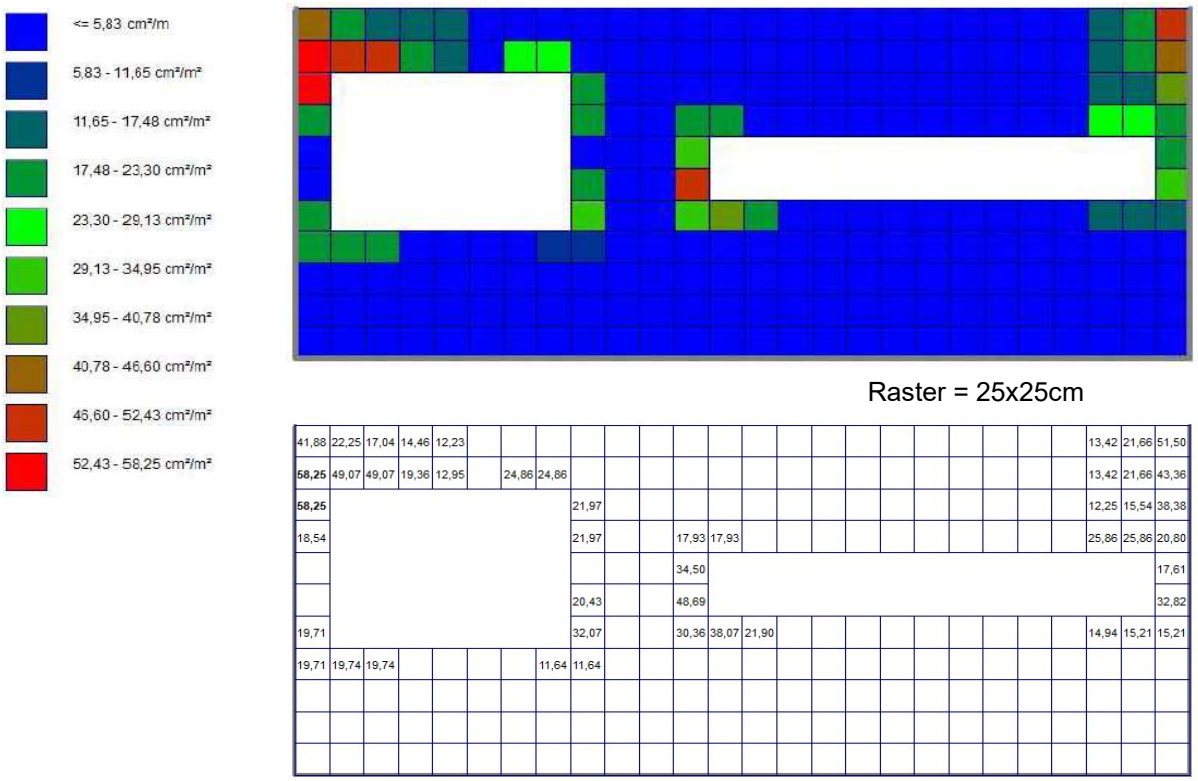
Grundbewehrung $a_{sy,0}$= 12,26 cm^2/m

Bewehrung a sx und a sy (UW-Seite) nur Grundbewehrung ist erforderlich

Grundbewehrung $a_{sy,0}$= $a_{sx,0}$= 12,26 cm^2/m

Querkraftbewehrung a_{sq}

max. a_{sq}= 58,25 cm^2/m^2



Raster = 25x25cm

41,88	22,25	17,04	14,46	12,23																		13,42	21,66	51,50
58,25	49,07	49,07	19,36	12,95		24,86	24,86															13,42	21,66	43,36
58,25								21,97														12,25	15,54	38,38
18,54								21,97			17,93	17,93										25,86	25,86	20,80
											34,50													17,61
								20,43			48,69													32,82
19,71								32,07			30,36	38,07	21,90									14,94	15,21	15,21
19,71	19,74	19,74					11,64	11,64																

Teil n°2 (B_{o1}) = Bemessungs als Balken

Annahmen:

* Geometrie *Balkenbreite* b = 0,50 m
Balkenhöhe h = 0,50 m
Balkenlänge L = 1,45 m

* Randbedingungen: eingespannt

* Teilsicherheitsbeiwerte γ_q= 1,50 γ_g= 1,35

* Eigengewicht γ_{beton}=24kN/m^3 g_{balken} = 6,00 kN/m

* Nutzlasten (B.II):

Bediensteg (Vertikallasten) q_{p1} = 5,00 kN/m

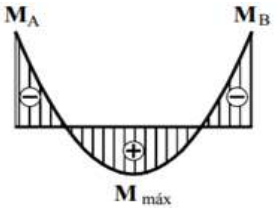
Bediensteg (Torsion)

Breite des Bedienstegs T = 1,00 m
Hauptmauerdicke e2 = 0,50 m

Mt_{p1} = 3,75 kN.m

$$Mt_{p1} = q_{p1} \times \frac{T + e2}{2}$$

Bemessungsschnittgrößen:



$$M_A = M_B = -\frac{qL^2}{12} \qquad M_{máx} = \frac{qL^2}{24}$$

zur Vereinfachung wird übernommen:

$$M_d = \gamma_q \cdot \frac{q_{p1} \times L^2}{12} + \gamma_g \cdot \frac{g_{balken} \times L^2}{12}$$

$$Mt_d = \gamma_q \cdot \frac{Mt_{p1} \times L}{2} \qquad V_d = \gamma_q \cdot \frac{q_{p1} \times L}{2} + \gamma_g \cdot \frac{g_{balken} \times L}{2}$$

M_d =	2,73	kN.m
Mt_d =	4,08	kN.m
V_d =	11,31	kN

Bewehrung: *mit Harzer Statik Programm*

erf A_s =	0,14	cm^2	
min A_s =	2,83	cm^2	
erf as,w =	*0,77*	cm^2/m	
min as,w =	*4,16*	cm^2/m	*aus Vd + Mtd*
erf $A_{s,l}$ =	*0,54*	cm^2	

(aus Torsion, auf Umfang zu verteilen)

Teil n°3 (B_{o2}) = Bemessungs als Balken

Annahmen:

* Geometrie — *Balkenbreite* b = 0,50 m; *Balkenhöhe* h = 1,00 m; *Balkenlänge* L = 3,20 m
* Randbedingungen: eingespannt
* Teilsicherheitsbeiwerte γ_q= 1,50 γ_g= 1,35
* Eigengewicht γ_{beton}=24kN/m^3 g_{balken} = 12,00 kN/m
* Nutzlasten (B.II):

Biensteg (Vertikallasten) q_{p1} = 5,00 kN/m

Biensteg (Torsion)

Breite des Bedienstegs T = 1,00 m

Hauptmauerdicke e2 = 0,50 m

Mt_{p1} = 3,75 kN.m

$$Mt_{p1} = q_{p1} \times \frac{T + e2}{2}$$

Bemessungsschnittgrößen:

M_d =	20,22	kN.m
Mt_d =	9,00	kN.m
V_d =	37,92	kN

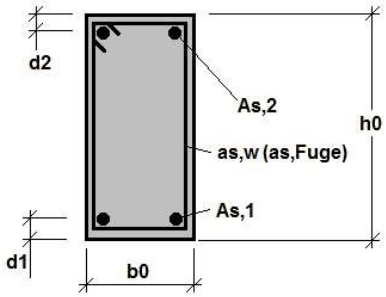
Bewehrung: *mit Harzer Statik Programm*

erf A_s =	0,48	cm^2	
min A_s =	5,20	cm^2	
erf as,w =	*0,7*	cm^2/m	
min as,w =	*4,16*	cm^2/m	*aus Vd + Mtd*
erf $A_{s,l}$ =	*0,83*	cm^2	

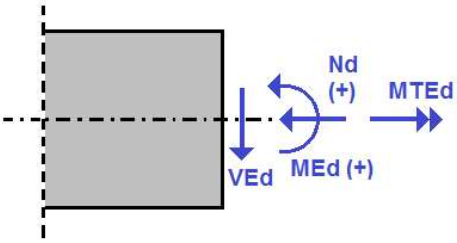
(aus Torsion, auf Umfang zu verteilen)

Position: Stauwand - Bemessungs als Balken (Teil 2 - B01)

Stahlbetonbemessung nach EC2 + NA Deutschland



Beton: C25/30
Betonstahl: B500 (A,B)
Höhe h0 = 50,0 cm
Breite b0 = 50,0 cm
d1 = 7,5 cm; c,vl,unten = 6,0 cm
d2 = 7,5 cm; c,vl,oben = 6,0 cm
Berechnung als Balken (Rechteck)



NEd = 0,000 kN
MEd = 2,730 kNm
VEd = 11,310 kN (vorh.As = 2,00 cm²) --> für Nachweis Querkraft
MTEd = 4,080 kNm

Bemessung: (normale Bemessungssituation)

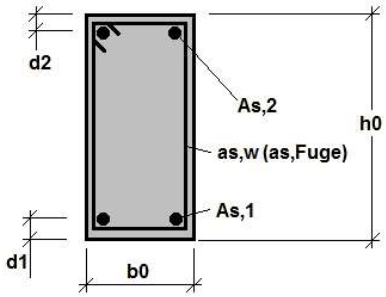
Bemessung Längskraft/Biegung:
erf.As,1 = 0,14 cm² (min.As = 2,83 cm²)
erf.As,2 = 0,00 cm²
x/d = 0,014
vorh. Bewehrungsgehalt Mue = 0,0 %
Bemessung für Zug- bzw. Druckkraft mit großer Ausmitte (Biegung mit kd-Verfahren)!

Bemessung Torsion (Längsbewehrung):
erf.As,l = 0,54 cm² (aus Torsion, längs auf Umfang zu verteilen)

Bemessung Querkraft/Torsion:
erf.asw = 0,77 cm²/m (min.asw = 4,16 cm²/m) --> aus Querkraft + Torsion
Interaktion Querkraft/Torsion, Ausnutzung = 0,00 <= 1,00
VRd,c = 81,41 kN (VRd,c,min wird berücksichtigt)
VRd,max = 889,84 kN
Theta = 45,0 ° (manuelle Vorgabe)
Cot(Theta) = 1,0
Theta = 45° (Torsion)
MTRd,max = 123,00 kNm
erf.asw = 0,38 cm²/m (nur aus Torsion je Seite)

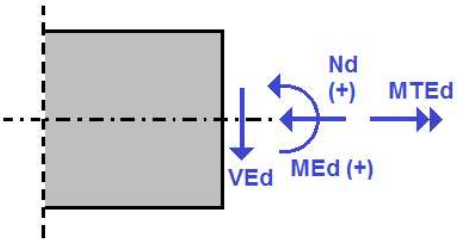
Position: Stauwand - Bemessungs als Balken (Teil 3 - B02)

Stahlbetonbemessung nach EC2 + NA Deutschland



Beton: C25/30
Betonstahl: B500 (A,B)
Höhe h0 = 100,0 cm
Breite b0 = 50,0 cm
d1 = 7,5 cm; c,vl,unten = 6,0 cm
d2 = 7,5 cm; c,vl,oben = 6,0 cm
Berechnung als Balken (Rechteck)

NEd = 0,000 kN
MEd = 20,220 kNm
VEd = 37,920 kN (vorh.As = 2,00 cm²) --> für Nachweis Querkraft
MTEd = 9,000 kNm



Bemessung: (normale Bemessungssituation)

Bemessung Längskraft/Biegung:
erf.As,1 = 0,48 cm² (min.As = 5,20 cm²)
erf.As,2 = 0,00 cm²
x/d = 0,019

vorh. Bewehrungsgehalt Mue = 0,0 %

Bemessung für Zug- bzw. Druckkraft mit großer Ausmitte (Biegung mit kd-Verfahren)!

Bemessung Torsion (Längsbewehrung):
erf.As,l = 0,83 cm² (aus Torsion, längs auf Umfang zu verteilen)

Bemessung Querkraft/Torsion:
erf.asw = 0,70 cm²/m (min.asw = 4,16 cm²/m) --> aus Querkraft + Torsion
Interaktion Querkraft/Torsion, Ausnutzung = 0,00 <= 1,00

VRd,c = 102,51 kN (VRd,c,min wird berücksichtigt)
VRd,max = 2211,33 kN
Theta = 45,0 ° (manuelle Vorgabe)
Cot(Theta) = 1,0
Theta = 45° (Torsion)
MTRd,max = 298,71 kNm
erf.asw = 0,35 cm²/m (nur aus Torsion je Seite)

Pos. 2 Flügelwände:

Als Ausgangspunkt für die Analyse wird die Flügelwände als eine einfache Winkelstutzmauer angenommen. Falls erforderlich, wird die Stauwand als Stützelement betrachtet.

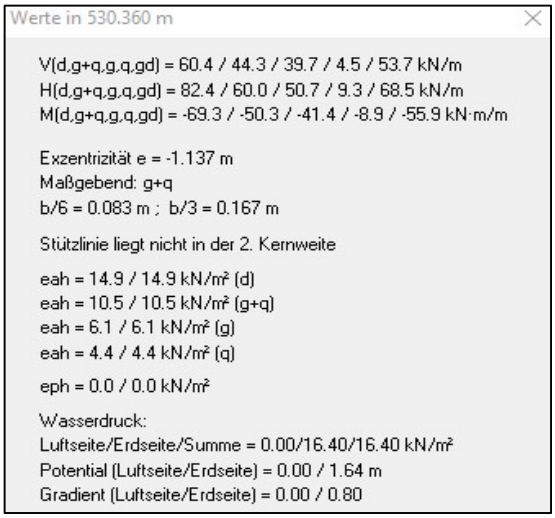
Geometrie

höhe = 2,15 m
dicke = 0,50 m = *Mindestwandstärke*

Einwirkungen

Art	Einwirkungen	Nr.
Ständ.	Eigengewicht	A.I
	Erddruck+Verdichtungserddruck	A.II
	Wasserdruck	
	532,0 müNN	A.III-I
Verän.	Verkehrlasten	B.I
	Vertikale Nutzlasten (Personenlasten)	B.II-II
	Horizontale Nutzlasten (Geländer)	B.III
Außer.		

Bemessungsschnittgrößen "aus GGU-Program"



M (d) = 69,30 kN.m/m
H (d) = 82,40 kN/m
N (d) = 60,40 kN/m

Bewehrung: *mit Harzer Statik Programm*

erf A_s = 3,56 cm^2/m
min A_s = 5,55 cm^2/m
erf $A_{s,Riss}$ = 12,26 cm^2/m *Siehe 4.2. Mindestbewehrung*
erf as,w = nicht erforderlich

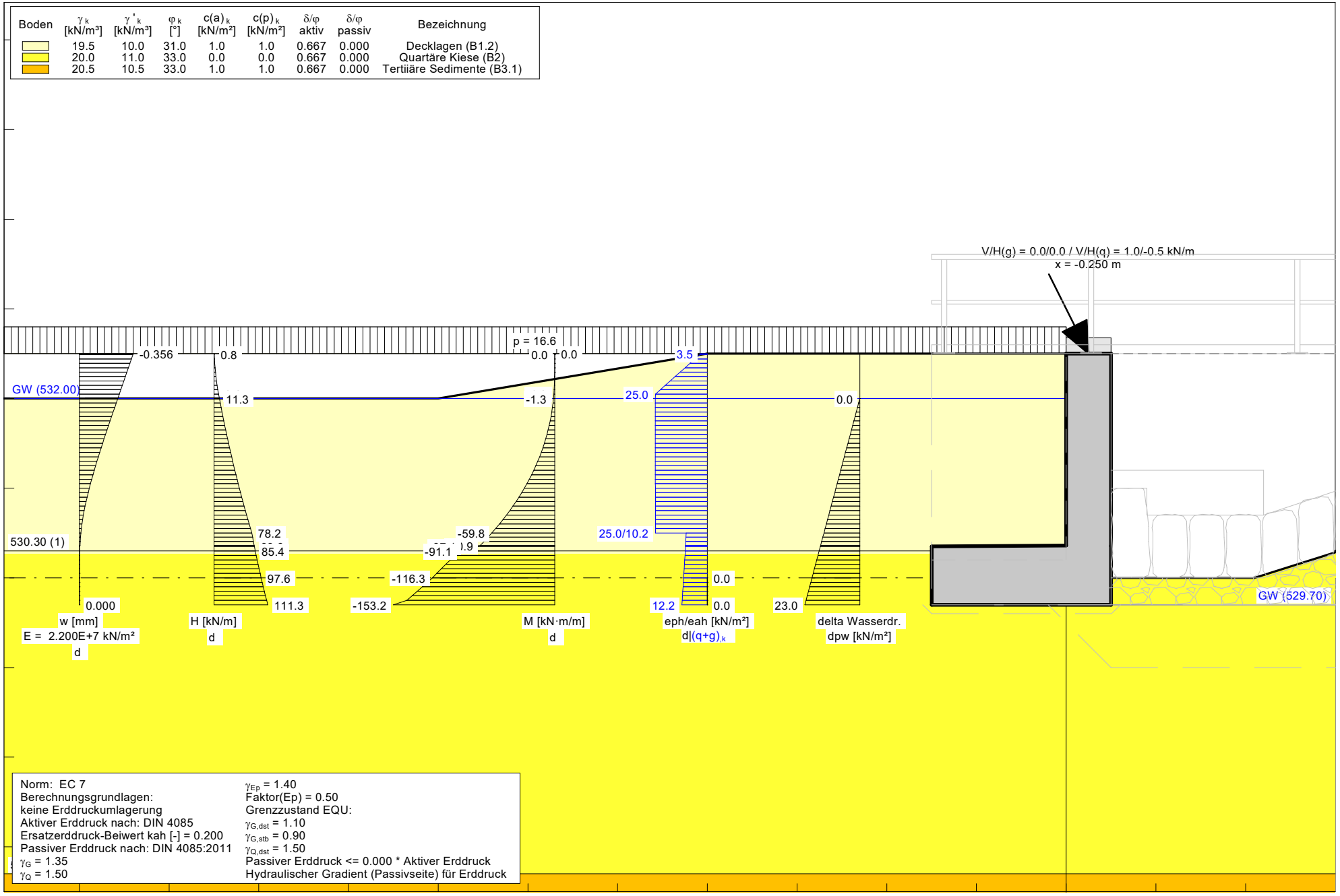
Mit den anfänglichen Annahmen ist die erforderliche Bewehrung geringer als die Mindestbewehrung und die Verformungen sind zulässig, so dass sich eine komplexe Analyse erübrigt.

Singold - Drosselbauwerk

Flügelwände - Bemessungsschnittgröße. BS-P

KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH
Beratende Ingenieure Leipzig, Nürnberg, Erfurt

Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$c(p)_k$ [kN/m²]	δ/φ aktiv	δ/φ passiv	Bezeichnung
	19.5	10.0	31.0	1.0	1.0	0.667	0.000	Decklagen (B1.2)
	20.0	11.0	33.0	0.0	0.0	0.667	0.000	Quartäre Kiese (B2)
	20.5	10.5	33.0	1.0	1.0	0.667	0.000	Tertiäre Sedimente (B3.1)

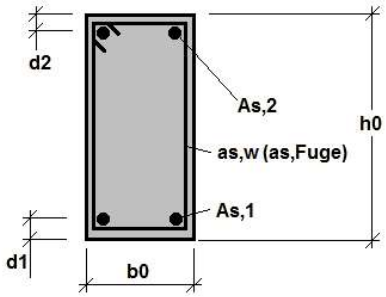


Norm: EC 7
Berechnungsgrundlagen:
keine Erddruckumlagerung
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert kah [-] = 0.200
Passiver Erddruck nach: DIN 4085:2011
γ_G = 1.35
γ_Q = 1.50

γ_{Ep} = 1.40
Faktor(Ep) = 0.50
Grenzzustand EQU:
$\gamma_{G,dst}$ = 1.10
$\gamma_{G,stb}$ = 0.90
$\gamma_{Q,dst}$ = 1.50
Passiver Erddruck <= 0.000 * Aktiver Erddruck
Hydraulischer Gradient (Passivseite) für Erddruck

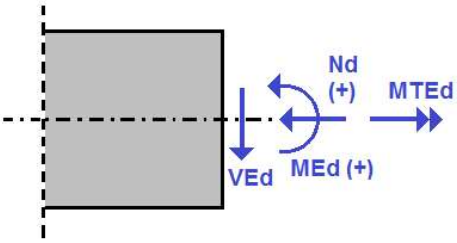
Position: 2 Drosselbauwerk - Flügelwände (50cm)

Stahlbetonbemessung nach EC2 + NA Deutschland



Beton: C25/30
Betonstahl: B500 (A,B)
Höhe h0 = 50,0 cm
Breite b0 = 100,0 cm
d1 = 6,6 cm; c,vl,unten = 6,0 cm
d2 = 6,6 cm; c,vl,oben = 6,0 cm
Berechnung als Platte

NEd = 0,000 kN
MEd = 69,300 kNm
VEd = 82,400 kN (vorh.As = 2,00 cm²) --> für Nachweis Querkraft



Bemessung: (normale Bemessungssituation)

Bemessung Längskraft/Biegung:
erf.As,1 = 3,56 cm² (min.As = 5,54 cm²)
erf.As,2 = 0,00 cm²
x/d = 0,051

vorh. Bewehrungsgehalt Mue = 0,1 %

Bemessung für Zug- bzw. Druckkraft mit großer Ausmitte (Biegung mit kd-Verfahren)!

Bemessung Querkraft:
Keine Querkraftbewehrung erforderlich

VRd,c = 165,21 kN (VRd,c,min wird berücksichtigt)
VRd,max = 1827,50 kN
Theta = 45,0 ° (manuelle Vorgabe)
Cot(Theta) = 1,0

Pos.3 Sohle: *mit Harzer Statik Programm*

Um den aufwendigen und komplizierten Einbau einer Querkraftbewehrung in der Sohle zu vermeiden. Es wurde festgelegt, die Dicke der Betonsohle zu erhöhen.
Bei geringeren Sohlendicken als unten angegeben ist eine Querkraftbewehrung erforderlich.

Geometrie

Lange = 6,50 m
Breite = 2,00 m
dicke = 0,65 m

Einwirkungen

Art	Einwirkungen	Nr.	γ	Lasten$_{(k)}$ [kN]	Lasten$_{(d)}$ [kN]
Ständ.	Eigengewicht	A.I	1,35	2153,36	2907,04
Verän.	Verkehrlasten	B.I	1,50	366,52	549,78
	Vertikale Nutzlasten (Personenlasten)	B.II-II	1,50	25,40	38,10
	Vertikale Nutzlasten (Bediensteg)	B.II-II	1,50	32,00	48,00
Außer.					

ΣG_k = 2153,36
ΣQ_k = 423,92
Fläche [m^2] = 32,40
Flachenlast G_k [kN/m^2] = 66,46
Flachenlast Q_k [kN/m^2] = 13,08

Bemessungsschnittgrößen Siehe Anlage 3

Mindestbewehrung (Mindestbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung)

erf A $_{s,Riss}$ = 13,83 cm^2/m auf jeder Seite
mit (wk=0,25 und d=12mm)

Bewehrung a $_{sy,o}$ und a $_{sx,o}$ (Oben) nur Grundbewehrung
Grundbewehrung

$a_{sy,o}$ = $a_{sx,o}$ = 13,83 cm^2/m

Erfoderlich as [cm^2/m] max as = 7,11 < 13,83 cm^2/m

6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11

$\frac{erf.a_{sx,o}}{erf.a_{sy,o}}$

Bewehrung $a_{sy,u}$ und $a_{sx,u}$ (Unten) nur Grundbewehrung

Grundbewehrung

$a_{sy,u} = a_{sx,u} =$ 13,83 cm^2/m

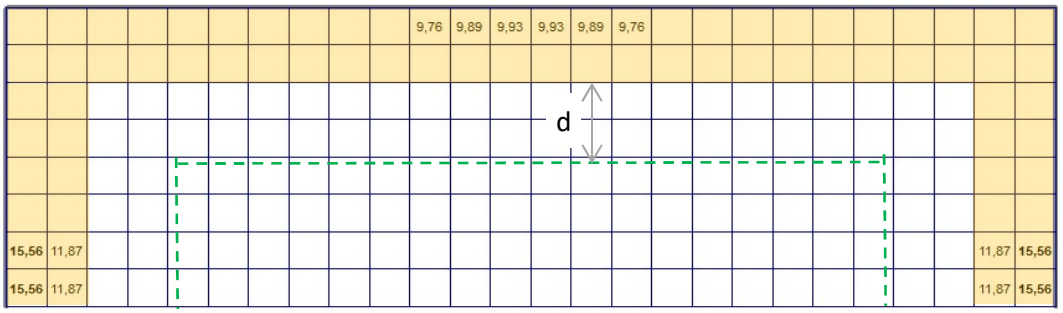
Erfoderlich as [cm^2/m] max as = 7,51 < 13,83 cm^2/m

6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11
7,51 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	6,96 7,11	7,51 7,11

$$\frac{erf.a_{sx,u}}{erf.a_{sy,u}}$$

Querkraftbewehrung *(gelbe Zonen = Flügelwandprojektion)*

erf as,w = nicht erforderlich



Raster = 25x25cm

6.2 DROSSELBAUWERK - INNERE STANDSICHERHEIT

Pos.4 Begrenzung der Verformungen

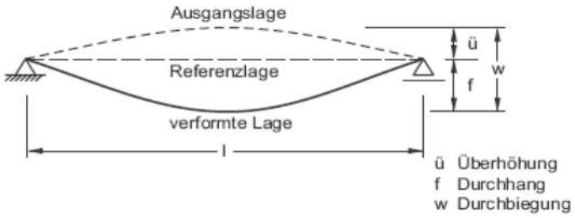
Grenzwerte für die Durchbiegung nach DIN EN 1992-1-1 (7.4.1)

Verformungen, die angrenzende Bauteile des Tragwerks beschädigen könnten, sind in der Regel zu begrenzen. Für die Durchbiegung unter quasi-ständiger Einwirkungskombination nach Einbau dieser Bauteile darf als Richtwert für die Begrenzung 1/500 der Stützweite angenommen werden.

Durchbiegung w ≤ l /500

Durchhang f ≤ l/ 250

Die Nachweise sind für die quasi-ständige Belastung zu führen. Bei Kragträgern ist 2,5l anzusetzen, also Durchhang f <= l/100.



Begrenzung der Biegeschlankheit

Der Nachweis der Begrenzung der Verformungen nach EC2-1-1 darf vereinfacht durch eine Begrenzung der Biegeschlankheit geführt werden. Über diesen Nachweis lässt sich die erforderliche Mindestdeckendicke abschätzen.

$$\frac{l}{d} \le \underbrace{K.\left[11 + 1{,}5\sqrt{f_{ck}}.\frac{\rho_0}{\rho} + 3{,}2\sqrt{f_{ck}}.\left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2}\right]}_{max_0} \le (l/d)_{max} \quad wenn\ \rho \le \rho_0$$

$$\frac{l}{d} \le K.\left[11 + 1{,}5\sqrt{f_{ck}}.\frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}.\left(\frac{\rho'}{\rho_0}\right)^{1/2}\right] \le (l/d)_{max} \quad wenn\ \rho > \rho_0$$

$$(l/d)_{max} \le K.35 \quad oder \quad \le K^2.150/l$$

Die obenstehenden Gleichungen werden mit $310/\sigma_s$ multipliziert (die Mindestwerte $(l/d)_{max}$ sin davon unberührt).

$$310/\sigma_s = 500/(f_{yk}.A_{s,req}/A_{s,prov}) = A_{s,prov}/A_{s,req}$$

σ_s	Stahlzugspannung in Feldmitte (am Einspannquerschnitt eines Kragträgers) unter der Bemessungslast im GZG;
$A_{s,prov}$	vorhandene Querschnittsfläche der Zugbewehrung im vorgegebenen Querschnitt;
$A_{s,req}$	erforderliche Querschnittsfläche der Zugbewehrung im vorgegebenen Querschnitt im GZT.

Annahmen =

	beton =	C25/30		
Charakteristische Druckfestigkeit	f_{ck} =	25	N/mm²	
Referenzbewehrungsgrad	ρ_0 =	0,01	$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}}$	

$$(l/d)_{max} \leq K.35 \quad oder \quad \leq K^2.150/l$$

max_1 max_2

Pos.4.1 Stauwand:

Begrenzung der Biegeschlankheit

Stützweite	l =	6,40	m		
Statische höhe	d =	44,00	cm		
	breite =	100,00	cm		
	$A_{s,prov}$ =	12,26	cm²/m		
	$A_{s,req}$ =	5,54	cm²/m		
Erforderliche Zugbewehrungsgrad	ρ =	0,0028			ρ < ρ_0
Erforderliche Druckbewehrungsgrad	ρ' =	0,0028			
Beiwert	K =	1,50			
	max_0 =	118,8			
	max_1 =	52,5			
	max_2 =	53			
	l/d =	***14,5***	<	52,5	
		Nachweis Erfüllt			

Grenzwerte für die Durchbiegung *aus Harzer Statik Programm*

	l/500 =	1,28	cm	
	$w_{elastisch}$ =	**0,088**	**cm**	*siehe Anlage 2*
		Nachweis Erfüllt		

Hinweis: Es werden nur die elastischen Anteile der Verformungen berechnet.

Pos.4.2 Flügelwand

Begrenzung der Biegeschlankheit

Stützweite	l_k =	2,15	m		
Statische höhe	d =	44,00	cm		
	breite =	100,00	cm		
	$A_{s,prov}$ =	12,26	cm^2/m		
	$A_{s,req}$ =	3,56	cm^2/m		
Erforderliche Zugbewehrungsgrad	ρ =	0,0028			$\rho < \rho_0$
Erforderliche Druckbewehrungsgrad	ρ' =	0,0028			
Beiwert	K =	0,40			
	max_0 =	932,4			
	max_1 =	14,0			
	max_2 =	11,2			
	l/d =	***4,9***	<	11,2	
		Nachweis Erfüllt			

Grenzwerte für die Durchbiegung *aus GGU-Programm*

$l = 2{,}5.l_k$ (kragarm)	l/500 =	2,15	cm	
	$w_{elastisch}$ =	**0,0356**	**cm**	*aus Programm*
		Nachweis Erfüllt		

Hinweis: Es werden nur die elastischen Anteile der Verformungen berechnet.

6.2 DROSSELBAUWERK - INNERE STANDSICHERHEIT

Pos. 5 Kopfbalken/Sporn

* Geometrie: *Siehe "6. Pos 1 - Geometrie"*

L =	10,40	m	
Bs =	2,00	m	
bs =	1,00	m	
h =	0,70	m	
Spornfläche =	15,60	m^2	*: 10,40 x (2,00 + 1,00)/2*
Bauwerkfläche =	32,40	m^2	
Faktor =	0,48		*: 15,60 / 32,40*

* Einwirkungen im Bauwerk

Hg_k =	87,88	kN	→ *Siehe "6.1. Pos 2 - Gleitsicherheit"*
Hq_k =	624,00	kN	→ *Siehe "6.1. Pos 2 - Gleitsicherheit"*
Vg_k =	2153,36	kN	→ *Siehe "6.2. Pos 6 - Setzungen"*
Vq_k =	423,92	kN	→ *Siehe "6.2. Pos 6 - Setzungen"*

* Einwirkungen im Kopfbalken/Sporn

Hg'_k =	8,45	kN/m	*: 87,88 / 10,40*
Hq'_k =	60,00	kN/m	*: 624,00 / 10,40*
Vg'_k =	99,69	kN/m	*: (0,48 x 2156,36) / 10,40*
Vq'_k =	19,63	kN/m	*: (0,48 x 423,92) / 10,40*

Analysis of the knife edge bearing System ArcelorMittal according to the general design approval No. Z-15.6-235

Project

Project number	60296
Project name	Singold Drosselbauwerk - Großaitingen

Client

Client	
Address	
Phone	
Fax	
E-mail	

Contractor

Contractor	
Address	
Phone	
Fax	
E-mail	

Date

Created	6/15/2023

Legend

System

b	width of the reinforced concrete beam
h	height of the reinforced concrete beam
L_E	Embedment depth of the sheet piling profile in the reinforced concrete beam
f_{ck}	characteristic concrete compressive strength
c_{nom}	nominal value of the concrete cover

Section properties of the sheet piling profile (from data base; annex 2 of the general design approval)

B	dimension of the sheet piling profile element in the longitudinal direction of the beam
h_P	dimension of the sheet piling profile element in the transverse direction of the beam
t_F	flange thickness
t_W	web thickness
A	cross-section area
W	section modulus
$F_{Rd,m}$, $M_{Rd,S}$, $M_{Rd,K}$	resistance values of the sheet piling profile

Load data

G	dead load of the concrete beam
F_g	permanent vertical load
F_q	vertical live load
$F_{q,NR}$	non-static load
e_x	eccentricity of the load in horizontal direction
H_g	permanent horizontal load
H_q	horizontal live load
e_y	eccentricity of the load in vertical direction
Ψ_0, ψ_1, ψ_2	combination coefficients for live loads according to DIN 1055-100

Analysis

F_d	decisive vertical design load
H_d	decisive horizontal design load
M_d	decisive design moment
$F_{Rd,m}$, H_{Rd}, $M_{Rd}(F_d)$	possibly modified resistance values for the verification of load-bearing capacity
$F_{d,frequ}$	decisive design load for the fatigue verification
$F_{Rd,m,fat}$	decisive resistance for the fatigue verification in case of non-static loads depending on $F_{d,frequ}$
$M_{d,frequ}(F_{d,frequ})$	decisive design moment for the fatigue verification in case of non-static loads depending on $F_{d,frequ}$
$M_{Rd,fat}(F_{d,frequ})$	decisive section modulus for the fatigue verification in case of non-static loads depending on $F_{d,frequ}$
F_d*, M_d*	reference design values (chapter 3.1.3 of the general design approval)

System data

Sheet piling profile

Sheet piling profile	
Profile Type	GU
Profile	GU 8N

Section properties

Section properties	
B [mm]	600
h_P [mm]	312
A [cm²/m]	103.1
t_F [mm]	7.5
t_W [mm]	7.1
W [cm³/m]	770

Design properties

Without regard of the conversion factors according to annex 1 of the general design approval

Design properties	
$F_{Rd,m}$ [kN/m]	1227.0
$M_{RD,S}$ [kNm/m]	45.8
$M_{RD,K}$ [kNm/m]	26.6
$H_{RD,K}$ [kN/m]	222.0
k_{LF} [cm²/(MN/m)]	5.05
k_{QF} [(cm²/m)/(MN/m)]	9.72
k_{QH} [(cm²/m)/(kN/m)]	0.023
k_{QM} [(cm²/m)/(kNm/m)]	0.101
k_{QK} [(cm²/m)/(kNm/m)]	0.230
k_{BH} [(cm²/m)/(kN/m)]	0.013
k_{BM} [(cm²/m)/(kNm/m)]	0.275

Design properties (modified)

With regard of the conversion factors according to annex 1 of the general design approval

Design properties (modified)	
$F_{Rd,m}$ [kN/m]	1022.5
$M_{RD,S}$ [kNm/m]	38.2
$M_{RD,K}$ [kNm/m]	26.7
$H_{RD,K}$ [kN/m]	196.6
k_{LF} [cm²/(MN/m)]	5.05
k_{QF} [(cm²/m)/(MN/m)]	9.72
k_{QH} [(cm²/m)/(kN/m)]	0.023
k_{QM} [(cm²/m)/(kNm/m)]	0.101
k_{QK} [(cm²/m)/(kNm/m)]	0.203
k_{BH} [(cm²/m)/(kN/m)]	0.013
k_{BM} [(cm²/m)/(kNm/m)]	0.272

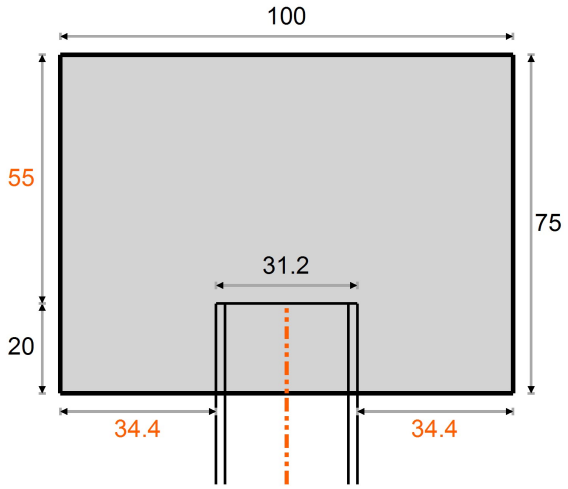
System data

System data	
System	with fixed console
b [cm]	100
h [cm]	75
L_E [cm]	20

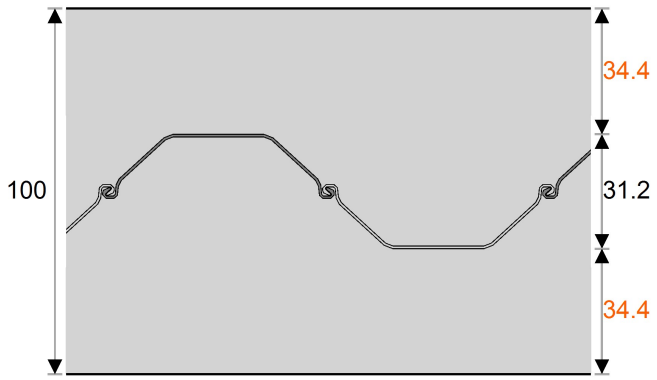
Concrete

Concrete	
Concrete strength	C25/30
f_{ck} [N/mm²]	25
Concrete cover c_{nom} [mm]	60
Exposure class	

Cross section



Top view



Loads

Permanent loads

Permanent vertical loads

Loads	G kN/m	e_x cm
DL	18.8	0
	99.7	0

The dead load of the concrete beam is automatically considered (with γ = 25 kN/m³).

Permanent horizontal loads

Loads	G kN/m	e_y cm
	8.5	0

Live loads

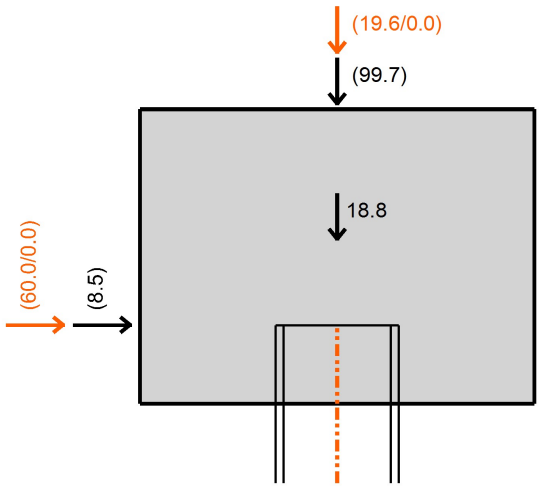
Vertical live loads

Loads	Q kN/m	Q NR kN/m	e_x cm	ψ0	ψ1	ψ2
	19.6	0.0	0	0.0	0.0	0.0

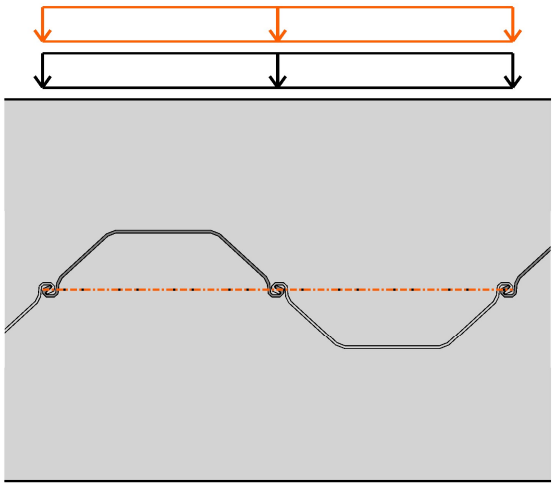
Horizontal live loads

Loads	Q kN/m	e_y cm	ψ0	ψ1	ψ2
	60.0	0	1.0	1.0	1.0

Cross section



Top view



Analysis

The design properties of the profiles are modified according to annex 1 of the general design approval. The modified values are used for the calculation of the other resistance values:

$F_{Rd,m}$ = 1022.5 kN/m
$M_{Rd,S}$ = 38.2 kNm/m
$M_{Rd,K}$ = 26.7 kNm/m
$H_{RD,K}$ = 196.6 kN/m

Verification of load bearing capacity (according to chapter 3.2.1 of the general design approval)

F_d = 189.3 kN/m (0012 1.35 * DL + 1.35 * + 1.0 * + 1.5 *)
$F_{Rd,m}$ = 1022.5 kN/m
H_d = 101.4 kN/m (0021 1.0 * DL + 1.0 * + 1.35 * + 1.5 * 1.00 *)
$H_{RD,K}$ = 196.6 kN/m

LC	F_d kN/m	M_d kNm/m	$M_{Rd,K}(F_d)$ kNm/m	$M_{Rd,S}(F_d)$ kNm/m	$M_{Rd}(F_d)$ kNm/m	M_d / $M_{Rd}(F_d)$
0001	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	**0.00**
0002	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0003	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0004	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0005	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0006	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0007	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0008	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0009	147.9	0.0	22.8	11.0	33.9	0.00
0010	154.4	0.0	22.7	11.5	34.2	0.00
0011	182.8	0.0	21.9	13.6	35.6	0.00
0012	189.3	0.0	21.8	14.1	35.9	0.00
0013	147.9	0.0	22.8	11.0	33.9	0.00
0014	154.4	0.0	22.7	11.5	34.2	0.00
0015	182.8	0.0	21.9	13.6	35.6	0.00
0016	189.3	0.0	21.8	14.1	35.9	0.00
0017	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0018	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0019	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0020	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0021	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0022	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0023	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0024	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0025	147.9	0.0	22.8	11.0	33.9	0.00
0026	154.4	0.0	22.7	11.5	34.2	0.00
0027	182.8	0.0	21.9	13.6	35.6	0.00
0028	189.3	0.0	21.8	14.1	35.9	0.00
0029	147.9	0.0	22.8	11.0	33.9	0.00
0030	154.4	0.0	22.7	11.5	34.2	0.00
0031	182.8	0.0	21.9	13.6	35.6	0.00
0032	189.3	0.0	21.8	14.1	35.9	0.00
0033	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0034	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0035	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0036	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0037	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0038	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0039	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0040	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0041	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0042	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0043	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0044	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0045	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00

0045	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0046	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0047	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0048	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0049	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0050	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0051	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0052	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0053	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0054	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0055	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0056	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0057	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0058	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0059	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0060	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00
0061	118.4	0.0	23.6	8.8	32.4	0.00
0062	125.0	0.0	23.4	9.3	32.8	0.00
0063	153.3	0.0	22.7	11.4	34.1	0.00
0064	159.9	0.0	22.5	11.9	34.5	0.00

Analysis results

Verification of load bearing capacity

$F_d \leq F_{Rd,m}$

189.34 ≤ 1022.50

$H_d \leq H_{Rd,K}$

101.41 ≤ 196.59

$M_d \leq M_{Rd}\ (F_d)$

0.00 ≤ 32.45

Fatigue verification

$F_{d,freq} \leq F_{Rd,m,fat}$

Analysis is not required

$M_{d,freq}\ (F_{d,freq}) \leq M_{Rd,fat}\ (F_{d,freq})$

Analysis is not required

Reinforcement

Main reinforcement

Required stirrup reinforcement Pos. 1 [cm²/m] (according to chapter 3.3.3.2 of the general design approval)

Minimum reinforcement Ø 10mm, s = 15cm equates to 5.24 cm²/m single-shear

Required splitting tensile reinforcement transverse Pos. 2 [cm²/m] (according to chapter 3.3.3.3 of the general design approval)

Minimum reinforcement Ø 10mm, s = 15cm equates to 5.24 cm²/m

Required splitting tensile reinforcement longitudinal Pos. 3 [cm²] (according to chapter 3.3.3.4 of the general design approval)

Minimum reinforcement 3 Ø 10mm equates to 2.36 cm²

Nominal reinforcement

Required longitudinal reinforcement Pos. 4 (according to chapter 3.3.3.5 of the general design approval)

Minimum reinforcement Ø 10mm, s ≤ 15cm, minimum 3 bars at each side of the beam and 5 bars at the upper side of the beam

Required console reinforcement longitudinal Pos. 5 (according to chapter 3.3.3.6 of the general design approval)

Minimum reinforcement 2 x Ø 10mm per console side

Note

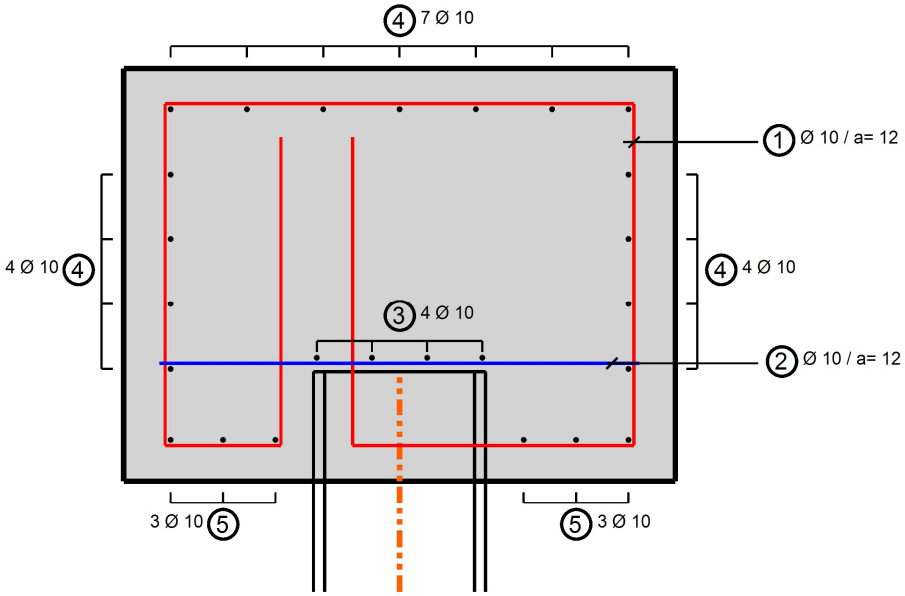
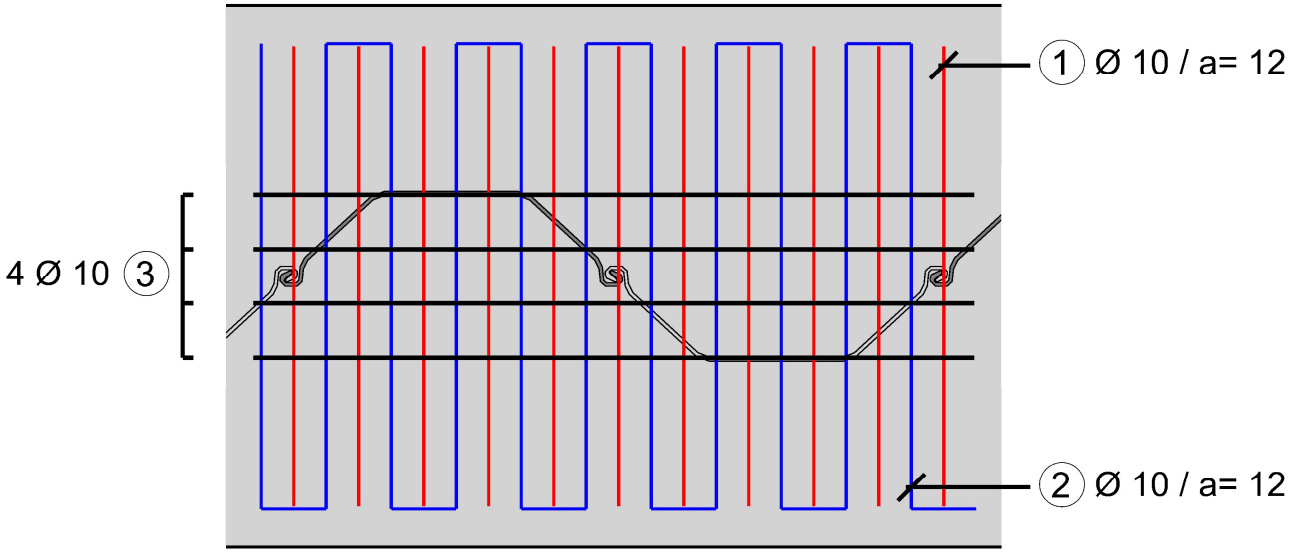
The specifications according to the general design approval no. Z-15.6-235 of 11/10/2017 have to be noticed.

Reinforcement selection

	required reinforcement	selected reinforcement	selected [cm²/m], [cm²]	[kg/m]
Pos. 1 [cm²/m]	5.24	Ø10/12	6.54	20.2
Pos. 2 [cm²/m]	5.24	Ø10/12	6.54	5.1
Pos. 3 [cm²]	2.36	4 Ø 10	3.14	2.5
Pos. 4 [cm²]	nominal	15 Ø 10	11.78	9.2
Pos. 5 [cm²]	nominal	6 Ø 10	4.71	3.7

Note: In the calculation of the masses of the longitudinal reinforcement positions, an allowance for the overlapping areas is not included.

Reinforcement cross section



Reinforcement top view