

Projekt 2527.01

Hochwasserschutz Nittenau

Freistaat Bayern, vertreten durch das
Wasserwirtschaftsamt Weiden

Statische Berechnung Nr. 2527.01_3_08_00

Objekt 7

Siel II



REGIERUNGSBAUMEISTER
SCHLEGEL

Bauherr:

Freistaat Bayern, vertreten durch das
WWA Weiden
Am Langen Steg 5
92637 Weiden i. d. OPf.

Tragwerksplaner:

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG
Guntherstraße 29
80639 München

München, den 30.05.2017

ppa. R. Wach
(Projektleiter)

i.A. A. Rubil
(Projektingenieurin)

Indextabelle:

Rev.	Datum	Art der Änderung
01		
02		
03		
04		
05		

Inhaltsverzeichnis Standsicherheitsberechnung

1	Vorbemerkungen	1
1.1	Veranlassung / Klären der Aufgabenstellung	2
1.2	Bauteile / Bezeichnungen	2
1.2.1	Siel II	2
1.3	Verwendete Normen und Unterlagen	4
1.4	Randbedingungen der Planungen	5
1.5	Grundwasserstände	5
1.6	Geotechnische Gutachten / Bodenschichtung	5
1.7	Gründung / Bettung	8
2	Nachweise	9
3	Bauteileigenschaften	10
3.1	Baustoffe / Expositionsclassen (allgemein)	10
3.2	Rissbreitenbeschränkung (allgemein)	11
4	Rissbreitenbemessung	13
4.1	Siel II (Objekt 7)	13
4.1.1	Bodenplatte (d = 60 cm)	13
4.1.2	Außenwände (d = 70 cm)	13
4.1.3	Innenwand (d = 120 cm)	14
4.1.4	Tauchwände (d = 30 cm)	14
4.1.5	Außenwand an der Seite (d = 60 cm)	15
4.1.6	Decke (d = 50 cm)	15
4.1.7	Steg (d = 30 cm)	16
4.2	Zusammenfassung der verwendeten Betonsorten	16
5	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen	17
6	Einwirkungen / Lastfälle	20

6.1	Einwirkungen	20
6.1.1	Lastfall 1: Eigengewicht	20
6.1.2	Lastfall 2: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide offener Zustand, Reserveverschlüsse beide offener Zustand	20
6.1.3	Lastfall 3: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide offener Zustand, Reserveverschlüsse beide geschlossener Zustand	20
6.1.4	Lastfall 4: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide geschlossener Zustand, Reserveverschlüsse beide offener Zustand	21
6.1.5	Lastfall 5: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschluss rechts geschlossener Zustand, Reserveverschluss links geschlossener Zustand	21
6.1.6	Lastfall 6: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschluss links geschlossener Zustand, Reserveverschluss rechts geschlossener Zustand	22
6.1.7	Lastfall 7: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide geschlossener Zustand, Reserveverschlüsse beide geschlossener Zustand	22
6.1.8	Lastfall 8: Erdruchdruck mit anstehendem Wasser auf Höhe des Stauziels	23
6.1.9	Lastfälle 9 - 14: Erdruchdruck mit anstehendem Wasser auf Höhe des HW100 + 15%	24
6.1.10	Lastfall 15: Aufschüttung Sohlsubstrat	25
6.1.11	Lastfall 16: Nutzlast Bodenplatte	25
6.1.12	Lastfall 17: Nutzlast Decke und Steg	25
6.1.13	Lastfall 18: Schneelast Decke und Steg	25
6.1.14	Lastfälle 19 - 25: Verkehrslast auf Brücke	26
6.1.15	Lastfälle 26 und 27: Temperaturänderung ΔT_M bei Wasserstand Stauziel	27
6.1.16	Lastfälle 28 und 29: Temperaturgradient ΔT_G bei Wasserstand Stauziel	27
6.1.17	Erdbeben	28
6.2	Bemessungssituationen / Teilsicherheitsbeiwerte	28
6.3	Lastfallkombinationen	28
7	Bauzustand	29
7.1	Bemessung im Bauzustand	29
7.2	Baugruben	29
8	Hinweise für die weitere Planung und die Bauausführung	30
8.1	Bodenaustausch	30
9	Zusammenfassung / Bewehrung der Bauteile	31
10	Anlagenverzeichnis	32
10.1	Anlage 1: Ergebnisausdruck Infograph	32
10.2	Anlage 2: Rissbreitenbemessung	61

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Übersichtslageplan der Hochwasserschutzmaßnahme Nittenau [P1].....	1
Bild 2:	Schnitt A - A.....	2
Bild 3:	Schnitt B - B.....	3
Bild 4:	Schnitt C - C.....	3
Bild 5:	RKS 6 und DPH 7	7
Bild 6:	RKS 5 und DPH 6	7
Bild 7:	Auszug aus DBV-Merkblatt „Rissbildung“ (Entwurf)	12
Bild 8:	Positionen für Auftriebsberechnung, Schnitt A-A.....	17
Bild 9:	Positionen für Auftriebsberechnung, Schnitt B-B.....	18
Bild 10:	Positionen für Auftriebsberechnung, Schnitt C-C.....	18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bauwerksabmessungen	2
Tabelle 2:	Bodenschichten gemäß Bodengutachten	6
Tabelle 3:	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen	19
Tabelle 4:	Bewehrungsgehalt „Siel II“	31

1 Vorbemerkungen

Der Freistaat Bayern, vertreten durch das Wasserwirtschaftsamt Weiden, führt im Stadtgebiet Nittenau am Regen eine Hochwasserschutzmaßnahme über eine Gesamtlänge von ca. 2,3 km durch. Die vorliegende statische Berechnung beschränkt sich lediglich auf die Standsicherheit des geplanten Siels II.

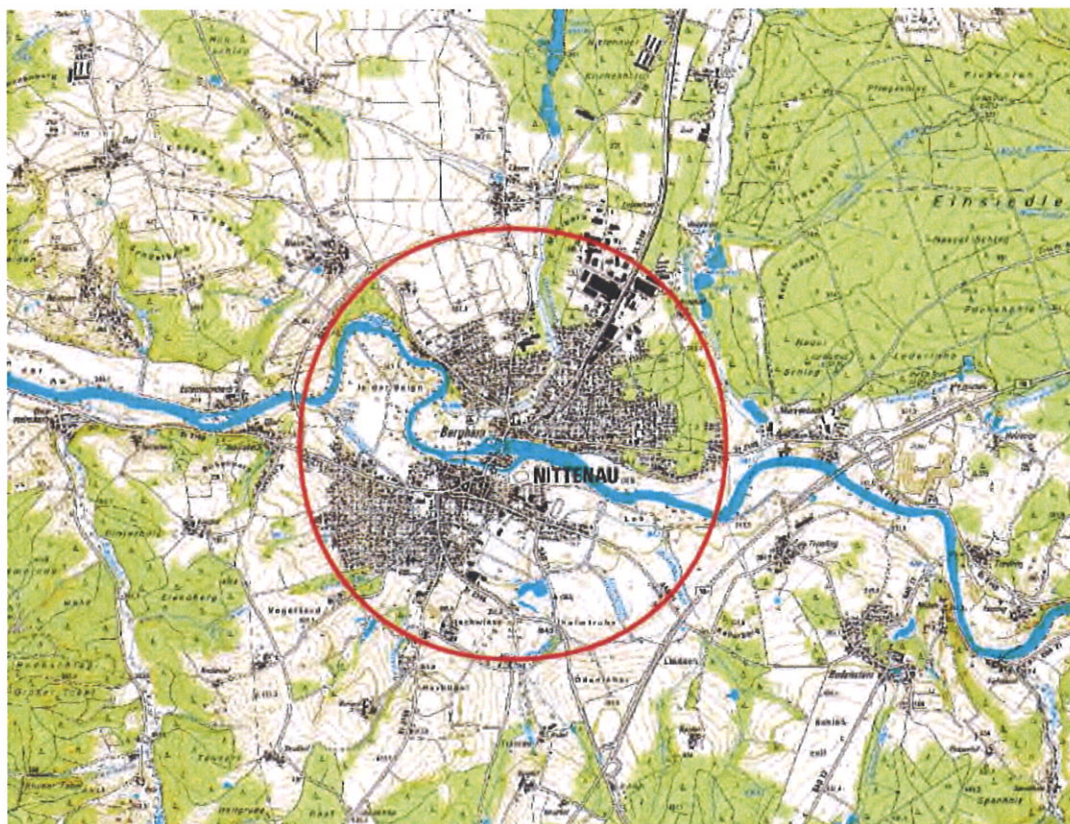


Bild 1: Übersichtslageplan der Hochwasserschutzmaßnahme Nittenau [P1]

1.1 Veranlassung / Klären der Aufgabenstellung

Im Zuge der Hochwasserschutzmaßnahme in Nittenau werden zwei Sielbauwerke, zwei Schöpfwerke, drei Hochwasserschutzmauern, drei Hochwasserdeiche und ein Wehr vorgesehen.

Die vorliegende statische Berechnung behandelt die Stahlbetonbauteile des „Siel II“. Im Einzelnen sind folgende Maßnahmen geplant:

Bauteil	Umbau / Neubau	Abmessungen
Siel II (Objekt 8)	Neubau	ca. 15,00 x 13,60 x 7,24 m

Tabelle 1: Bauwerksabmessungen

1.2 Bauteile / Bezeichnungen

1.2.1 Siel II

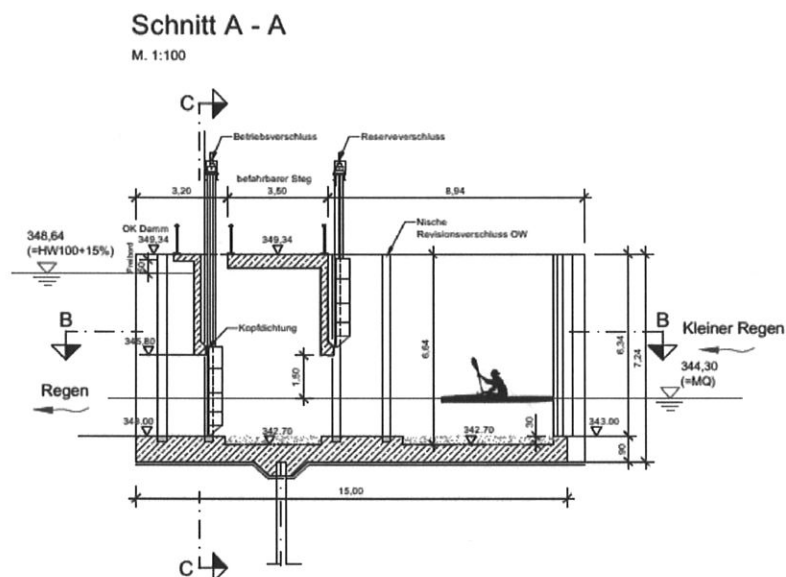


Bild 2: Schnitt A-A

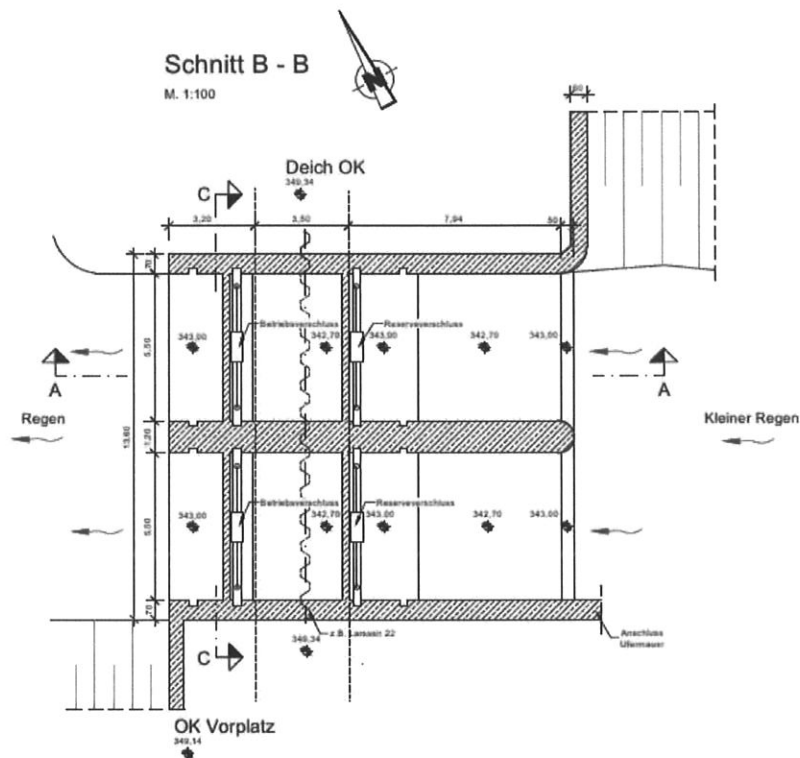


Bild 3: Schnitt B-B

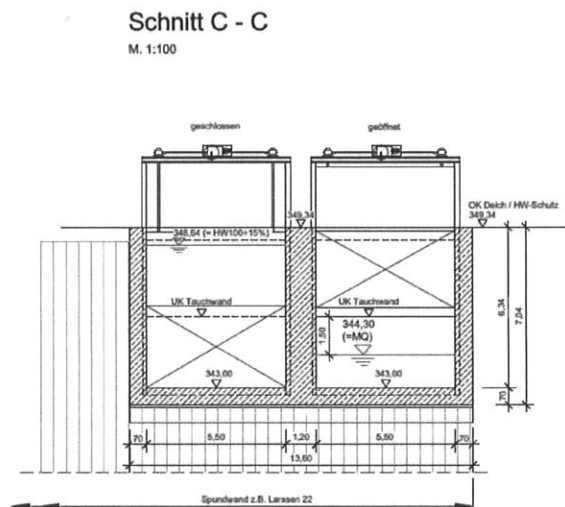


Bild 4: Schnitt C-C

1.3 Verwendete Normen und Unterlagen

Grundlage der Bearbeitung sind die folgenden Normen und Unterlagen in der jeweils aktuell gültigen Fassung:

- [1] DIN EN 1990, Grundlagen der Tragwerksplanung inkl. Nationalem Anhang
- [2] DIN EN 1991 (alle Teile), Einwirkungen auf Tragwerke inkl. Nationalem Anhang
- [3] DIN EN 1992-1-1, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken inkl. Nationalem Anhang
- [4] DIN EN 1996-1, Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten inkl. Nationalem Anhang
- [5] DIN EN 1997-1, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik inkl. Nationalem Anhang
- [6] DIN EN 1998 (alle Teile), Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben inkl. Nationaler Anhänge
- [7] DIN EN 206-1; Beton Teil 1; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Konformität
- [8] DIN EN 13670; Ausführungen von Tragwerken aus Beton
- [9] DIN 1045-2,3,4; Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
- [10] DIN 4123; Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude
- [11] DIN 4124; Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten
- [12] Bautabellen für Ingenieure, Schneider, 22. Auflage, 2016
- [13] Betonbauwerke in Abwasseranlagen, Schriftenreihe der Bauberatung Zement, 2011
- [14] DVGW Arbeitsblatt W 300 (alle Teile), Trinkwasserbehälter, November 2013
- [15] WU-Richtlinie des DAfStb, Ausgabe November 2003 + Berichtigung März 2006
- [16] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215), BAW, Karlsruhe, Ausgabe 2012

Verwendete Planunterlagen:

- [P1] Hochwasserschutz Nittenau, Übersichtslageplan, Vorentwurf, Wasserwirtschaftsamt Weiden, Weiden, 10.01.2013.
- [P2] Hochwasserschutz Nittenau, Gesamtlageplan, Entwurf, Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, München, 15.02.2017.
- [P3] Hochwasserschutz Nittenau, Siel II und Schöpfwerk I mit HWS-Mauer, Lageplan, Entwurf, Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, München, 15.02.2017.
- [P4] Hochwasserschutz Nittenau, Bauwerksplan Siel II, Grundriss und Schnitte, Entwurf, Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, München, 22.02.2017.

Weitergehende Vorschriften und Richtlinien werden bei Bedarf (z. B. DBV-Merkblätter für Sichtbeton, Abstandhalter, Schalung) herangezogen.

Sollten im Verlauf der Bearbeitung neuere Ausgaben der Normen bauaufsichtlich eingeführt werden, werden immer die aktuellen Normen als Grundlage der Tragwerksplanung verwendet.

1.4 Randbedingungen der Planungen

Die nachfolgend aufgeführten Randbedingungen waren Grundlage der vorliegenden Entwurfsplanung:

- Die angestrebte Nutzungsdauer der Bauwerke beträgt 100 Jahre
- Zur Verringerung von Rissen infolge von Hydratationswärme sollte nach Möglichkeit Beton mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung verwendet werden (Zement NW)
Eine Vorgabe des Faktors $r < 0,30$ ist nicht vorgesehen, um daraus resultierende lange Ausschulfristen zu vermeiden.
- Alle Bauteile, die mit Wasser oder Abwasser in Berührung kommen, werden nach der WU-Richtlinie des DAfStb bemessen.
- Die Festlegung der Bemessung auf frühen oder späten Zwang erfolgt jeweils für die Bauteile in Abhängigkeit von den Bauteilabmessungen.
- Das vorhandene Grundwasser weist einen hohen Kohlesäuregehalt auf, der einem chemischen Angriff von XA1 und an XA2 angrenzend entspricht. In der Baugrunduntersuchung wird empfohlen das Grundwasser der Expositionsklasse XA2 zuzuordnen.

1.5 Grundwasserstände

Als Stauziel ist für das Siel II ein Wasserstand von 344,30 m ü NN vorgesehen. Der Bemessungswasserstand wird auf ein HW100 + 15% festgelegt und liegt bei:

HW100 + 15%: + 348,64 m ü. NN

1.6 Geotechnische Gutachten / Bodenschichtung

Folgendes Gutachten lag vor:

[G1] Baugrunduntersuchung, Nittenau, Hochwasserfreilegung, Piewak & Partner GmbH, Bayreuth, 31.07.2015.

[G2] Piewak & Partner GmbH, HWS Nittenau, E-Mail an Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, gesendet am 10.05.2017.

Die Bodenschichtung gemäß dem Gutachten kann nachfolgender Tabelle entnommen werden.

	bindige Deckschichten	gemischt- körnige Deckschichten	grobkörnige Böden	Fels verwittert
Schicht-Nr.	3	4	5	6
Bodenart nach DIN 4022	U, t, s, g, (org) / T, u, s, g	S, u, t, g' / G, s, u, t	S, g / G, s, (u')	-
Bodengruppe nach DIN 18196	TM/ UL, TL / (OU / HZ)	SU, GU, GT, ST / SU*	SW, SE / GE, GW	-
Bodenklassen nach DIN 18300	4 / 4 / 4 / 2	3 / 4	3	6 (7)
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 94	F3	F2 / F3	F1	F2 (F3)
Verdichtbarkeitsklasse nach ZTVA-StB 97	V3 / V3 / - / -	V1 / V2	V1	-
Konsistenz	überwiegend weich-steif	(weich, steif)	-	mürb - sehr mürb z.T. hart
Plastizität	leicht / mittel	-	-	-
Lagerungsdichte	-	überwiegend locker- mittel- dicht	überwiegend mitteldicht	-
Wichte [kN/m³] nach DIN 1055, erdfeucht	19-19,5 / 20- 20,5 / 14-17 / 11-13	18-20 / 20-20,5	17-19 / 18-20	22-23
Wichte [kN/m³] unter Auftrieb nach DIN 1055	9-9,5 / 10-10,5 / 4-7 / 1-3	10-12 / 10-10,5	7-9 / 8-10	12-13
Reibungswinkel nach DIN 1055	22,5 / 27,5 / 15/15	32,5-35 / 27,5	30-35	45**
Kohäsion c' [kN/m²] nach DIN 1055	0-5 / 0-2 / 0 / 0	0	-	**
Wasserdurchlässig- keitswert k_f [m/s]	10 ⁻⁸ -10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁷	5 x 10 ⁻³ -10 ⁻⁴	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁹ bei starker Klüf- tigkeit > 10 ⁻⁴
Steifemodul E_s [MN/m²]	3-5 (1)	30-100 / 5-10	40-100	50-500

Tabelle 2: Bodenschichten gemäß Bodengutachten

Das Siel II ist im Westen am Ende des Kleinen Regens an der Angerinsel geplant. Hier wurden die Rammkernsondierungen RKS 5 und RKS 6 sowie die Schweren Rammsondierungen DPH 6 und DPH 7 durchgeführt.

RKS 6 und DPH 7 befinden sich im Nordosten des Siels, RKS 5 und DPH 6 liegt südwestlich davon.

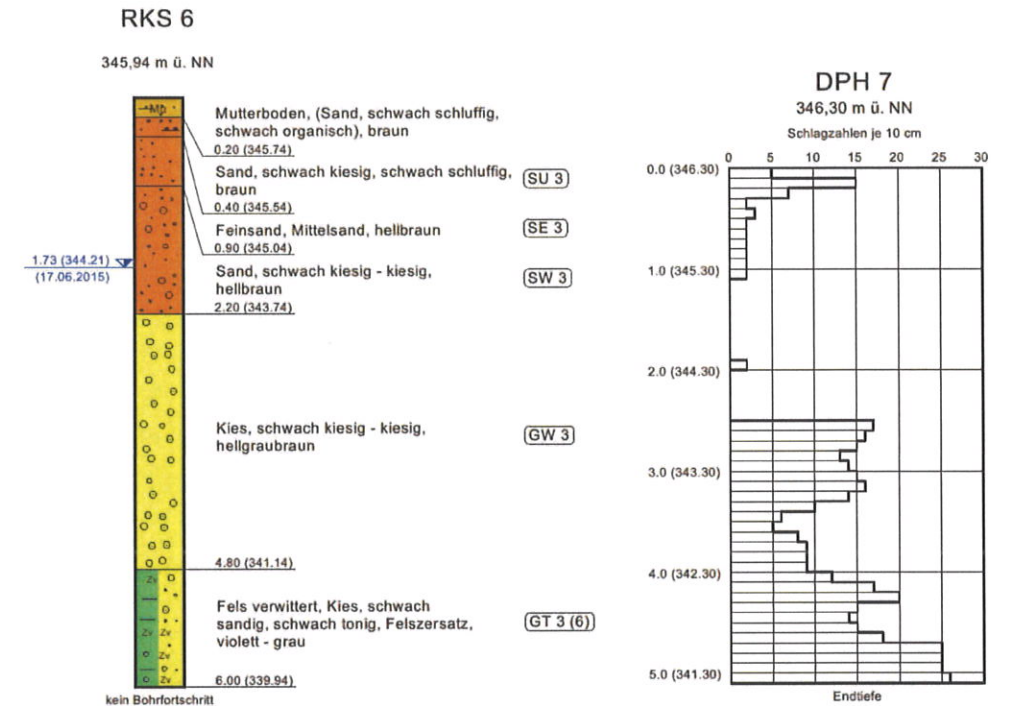


Bild 5: RKS 6 und DPH 7

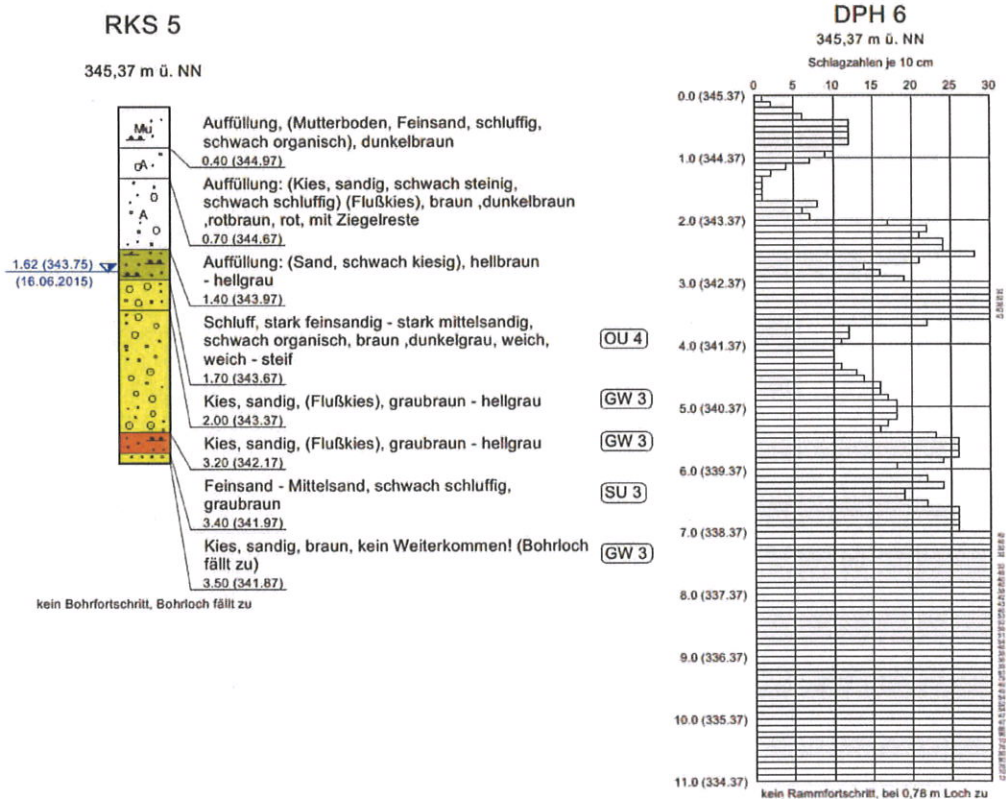


Bild 6: RKS 5 und DPH 6

1.7 Gründung / Bettung

Gegründet wird mittels elastisch gebetteter Bodenplatte. Die statische Beanspruchung der Bodenplatte hängt maßgeblich von den Bettungseigenschaften des Baugrundes ab.

Das Bettungsmodul berechnet sich 9,7 bis 12,8 MN/m³. Es wird daher $k_s = 9,7 \text{ MN/m}^3$ gewählt.

2 Nachweise

Für die Bemessung der Bauwerke werden die Nachweise der Standsicherheit, der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit (z.B. Mindestbewehrung aus der Rissbreitenbeschränkung und Durchstanznachweis) geführt.

Der Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen gemäß DIN EN 1997 wurde mit einem Wasserspiegel in der Höhe des HW 100 + 15% geführt.

Ein Nachweis gegen Ermüdung der Bauteile (Beton, Betonstahl) wird nicht geführt, da die Anzahl der zu erwartenden Lastspiele in den Bauteilen im Laufe der Lebensdauer so gering ist, dass keine Reduzierung der zulässigen Materialkennwerte erforderlich wird.

Zudem sind die vorliegenden Lasten keine „dynamischen“ Lasten im eigentlichen Sinn der Norm (z. B. Verkehrslasten auf Brücken, dynamische Maschinenlasten), sondern „vorwiegend ruhende“ Lasten, die langsam aufgebracht werden.

3 Bauteileigenschaften

3.1 Baustoffe / Expositionsklassen (allgemein)

Betongüte der Sauberkeitsschicht: C12/15 Expositionsklassen: X0, WF

Falls eine Gleitfolie unter der Bodenplatte vorgesehen ist, muss ein höherer Zementgehalt (und somit eine höhere Betongüte) verwendet werden, damit eine ausreichend glatte Oberfläche hergestellt werden kann.

Mindestbetondeckung gemäß DIN EN 1992-1-1/NA (Anforderungsklasse S3):

für XC1:	$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 20 \text{ mm}$
für XC2, XC3:	$c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 35 \text{ mm}$
für XC4:	$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 40 \text{ mm}$
für XD1/XS1:	$c_{min,dur} = 30 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 10 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 55 \text{ mm}$
für XD2/XS2:	$c_{min,dur} = 35 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 5 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 55 \text{ mm}$
für XD3/XS3:	$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 55 \text{ mm}$

Bei einer geforderten Nutzungsdauer von 100 Jahren ist gemäß DIN EN 1992-1-1 die Anforderungsklasse um 2 Klassen zu erhöhen, darf jedoch bei plattenförmigen Bauteilen wieder um 1 Klasse vermindert werden.

Daraus resultiert im vorliegenden Fall die Anforderungsklasse S4.

Tabelle 4.3N — Empfohlene Modifikation der Anforderungsklasse

Kriterium	Anforderungsklasse						
	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3/XS2/XS3
Nutzungsdauer von 100 Jahren	erhöhe Klasse um 2	erhöhe Klasse um 2	erhöhe Klasse um 2	erhöhe Klasse um 2	erhöhe Klasse um 2	erhöhe Klasse um 2	erhöhe Klasse um 2
Druckfestigkeitsklasse ^{1) 2)}	$\geq C30/37$ vermindere Klasse um 1	$\geq C30/37$ vermindere Klasse um 1	$\geq C35/45$ vermindere Klasse um 1	$\geq C40/50$ vermindere Klasse um 1	$\geq C40/50$ vermindere Klasse um 1	$\geq C40/50$ vermindere Klasse um 1	$\geq C45/55$ vermindere Klasse um 1
Plattenförmiges Bauteil (Lage der Bewehrung wird durch die Bauarbeiten nicht beeinträchtigt)	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1
Besondere Qualitätskontrolle nachgewiesen	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1	vermindere Klasse um 1

Mindestbetondeckung gemäß DIN EN 1992-1-1/NA (Anforderungsklasse S4):

für XC1:	$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 25 \text{ mm}$
für XC2, XC3:	$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 40 \text{ mm}$
für XC4:	$c_{min,dur} = 30 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 45 \text{ mm}$
für XD1/XS1:	$c_{min,dur} = 35 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 10 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 60 \text{ mm}$
für XD2/XS2:	$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 5 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 60 \text{ mm}$
für XD3/XS3:	$c_{min,dur} = 45 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$,	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$,	$c_{nom} = 60 \text{ mm}$

Gewählt: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 45 + 15 = 60 \text{ mm}$

Mindestbetondeckung gemäß ZTV-W LB 215, Teil 1, 4.4:

$$c_{min,dur} = 50 \text{ mm}, \quad \Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}, \quad c_{nom} = 60 \text{ mm}$$

Gewählt: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$

Vorgesehener Betonstahl: B 500 B

3.2 Rissbreitenbeschränkung (allgemein)

- aus WU-Richtlinie (Beanspruchungsklasse 1 = Druckwasser, Nutzungsklasse B = Feuchstellen sind zulässig) unter Zwang:
 $w_k = 0,10 \text{ mm}$ gemäß WU-Richtlinie mit $h_w/h_b \leq 25$
 $w_k = 0,15 \text{ mm}$ gemäß WU-Richtlinie mit $h_w/h_b \leq 15$
 $w_k = 0,20 \text{ mm}$ gemäß WU-Richtlinie mit $h_w/h_b \leq 10$
- aus WU-Richtlinie (Beanspruchungsklasse 2 = Sickerwasser) unter Zwang:
 $w_k = 0,20 \text{ mm}$
- Unterscheidung der Nachweise unter Zwang in Nachweise unter frühem / spätem Zwang:
Früher Zwang in horizontaler Richtung bei Bauteilen mit Abmessungen $\sim < 10 \text{ m}$;
Später Zwang in horizontaler Richtung bei Bauteilen mit Abmessungen $\sim > 10 \text{ m}$;
Früher Zwang in vertikaler Richtung bei Bauteilen mit allen Abmessungen

Eine entsprechende sorgfältige Nachbehandlung des Betons zur Reduzierung von Rissen ist generell erforderlich.

Die vorgeschlagene Bewehrung wird mit einem Abstand von 12,5 cm gewählt, um in horizontalen Bauteilen auch im Bereich von Bewehrungsstößen einen ausreichenden Abstand für den Frischbeton und für schmale Rüttelflaschen zwischen den Bewehrungsstäben zu belassen.
In Ausnahmefällen kann der Abstand der Bewehrungsseisen von dieser Regelung abweichen.

Der Beiwert $k_{c,t}$ wurde in der Entwurfsstatik entsprechend der Bauteildicke gewählt:

DBV-AHA_0040

DBV-Merkblatt „Rissbildung“ Entwurf 01.02.2016 (Rev. 12)

Tabelle 7. Empfohlene Anhaltswerte der Betonzugfestigkeit bei Zwang aus Abfließen der Hydrationswärme
Table 7. Recommended calculation values of concrete tensile strength at restraint due to drain of heat of hydration

1	Festigkeitsentwicklung des Betons	2	3	4	5
		Bauteildicke h			
		$\leq 0,30$ m	$\leq 0,80$ m	$\leq 2,0$ m	$> 2,0$ m
1	langsam ($r < 0,30$) ^{1) 2)}	– ³⁾	$0,60f_{ctm}$	$0,70f_{ctm}$ ⁴⁾	$0,80f_{ctm}$ ⁴⁾
2	mittel ($r < 0,50$) ¹⁾	$0,65f_{ctm}$	$0,75f_{ctm}$	$0,85f_{ctm}$	$0,95f_{ctm}$
3	schnell ($r \geq 0,50$) ¹⁾	$0,80f_{ctm}$	$0,90f_{ctm}$	$1,0f_{ctm}$	$1,00f_{ctm}$

¹⁾ Die Festigkeitsentwicklung des Betons wird durch das Verhältnis $r = f_{cm}(2\text{ d}) / f_{cm}(28\text{ d})$ beschrieben, das bei der Eignungsprüfung oder auf der Grundlage eines bekannten Verhältnisses von Beton vergleichbarer Zusammensetzung (d. h. gleicher Zement, gleicher w/z-Wert) ermittelt wurde.
Wird bei besonderen Anwendungen die Druckfestigkeit zu einem späteren Zeitpunkt $t > 28$ Tage bestimmt, ist das Verhältnis der mittleren Druckfestigkeit nach 2 Tagen $f_{cm}(2\text{ d})$ zur mittleren Druckfestigkeit zum Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit $f_{cm}(t)$ zu ermitteln oder es ist vom Betonhersteller eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C zwischen 2 Tagen und dem Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit anzugeben.

²⁾ Bei Festigkeitsklassen $\geq C30/37$ ist es in der Regel nicht möglich, das Festigkeitsverhältnis $r \leq 0,30$ bezogen auf 28 Tage zu begrenzen. In diesen Fällen ist es erforderlich, den Zeitpunkt des Nachweises der Festigkeitsklasse auf einen späteren Zeitpunkt (z. B. 56 Tage) zu vereinbaren.

³⁾ Die Auslegung der Bewehrung bei dünnen Bauteilen auf eine langsame Festigkeitsentwicklung ist nicht sinnvoll. Es sollte grundsätzlich mindestens eine mittlere Festigkeitsentwicklung angenommen werden.

⁴⁾ Der empfohlene Anhaltswert für massige Bauteile ist erst bei der Verwendung von langsam erhärtenden Betonen mit einem Prüfpfader von 91 Tagen zu erwarten.

Bild 7: Auszug aus DBV-Merkblatt „Rissbildung“ (Entwurf)

4 Rissbreitenbemessung

4.1 Siel II (Objekt 7)

4.1.1 Bodenplatte (d = 60 cm)

Bauteilabmessung: ca. 15,00 * 13,60 m

Expositionsklassen: XC2, XF3, XA2, WF, WU

Betongüte: C35/45, Betondeckung: 60 mm

Maximaler Wasserstand = ca. 348,64 m ü. NN

Unterkante der Sohle: 342,10 m ü. NN $\Rightarrow h_w = 6,54 \text{ m} \Rightarrow h_w / h_b = 6,54 / 0,60 = 10,9$

Zulässige Rissbreite: $w_k = 0,15 \text{ mm}$

In Längs- und Querrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, \text{erforderlich}}$ [cm ² /m]	$A_{s, \text{gewählt}}$
0,15 mm	60 cm	später Zwang	1,0	39,2	Ø 25 / 12,5 = 39,28 cm ² /m

In den hochbelasteten Bereichen werden gemäß Ergebnisgrafik Zulageeisen vorgesehen.

Geschätzter Bewehrungsgehalt: 290 kg/m³

4.1.2 Außenwände (d = 70 cm)

Maximale Bauteilabmessung: ca. 15,64 * 6,64 m

Expositionsklassen: XC4, XF3, XA2, WF, WU

Betongüte: C35/45, Betondeckung: 60 mm

Maximaler Wasserstand = ca. 348,64 m ü. NN

Unterkante der Außenwände: 342,70 m ü. NN $\Rightarrow h_w = 5,94 \text{ m} \Rightarrow h_w / h_b = 5,94 / 0,70 = 8,49$

Zulässige Rissbreite: $w_k = 0,20 \text{ mm}$

In Horizontalrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, \text{erforderlich}}$ [cm ² /m]	$A_{s, \text{gewählt}}$
0,20 mm	70 cm	später Zwang	1,0	35,8	Ø 25 / 12,5 = 39,28 cm ² /m

In Vertikalrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, erforderlich}$ [cm ² /m]	$A_{s, gewählt}$
0,20 mm	70 cm	früher Zwang	0,73	29,3	Ø D16 / 12,5 = 32,16 cm ² /m

In den hochbelasteten Bereichen werden gemäß Ergebnisgrafik Zulageeisen vorgesehen.

Geschätzter Bewehrungsgehalt: 230 kg/m³

4.1.3 Innenwand (d = 120 cm)

Maximale Bauteilabmessung: ca. 15,14 * 6,64 m

Expositionsklassen: XC4, XF3, XA2, WF, WU

Betongüte: C35/45, Betondeckung: 60 mm

Maximaler Wasserstand = ca. 348,64 m ü. NN

Unterkante der Außenwände: 342,70 m ü. NN => $h_w = 5,94 \text{ m} \Rightarrow h_w / h_b = 5,94 / 1,20 = 4,95$

Zulässige Rissbreite: $w_k = 0,20 \text{ mm}$

In Horizontalrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, erforderlich}$ [cm ² /m]	$A_{s, gewählt}$
0,20 mm	120 cm	später Zwang	1,0	44,01	Ø 28 / 12,5 = 49,28 cm ² /m

In Vertikalrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, erforderlich}$ [cm ² /m]	$A_{s, gewählt}$
0,20 mm	120 cm	früher Zwang	0,79	39,91	Ø 25 / 12,5 = 39,28 cm ² /m

In den hochbelasteten Bereichen werden gemäß Ergebnisgrafik Zulageeisen vorgesehen.

Geschätzter Bewehrungsgehalt: 170 kg/m³

4.1.4 Tauchwände (d = 30 cm)

Maximale Bauteilabmessung: ca. 5,50 * 3,04 m

Expositionsklassen: XC4, XF3, XA2, WF, WU

Betongüte: C35/45, Betondeckung: 60 mm

Maximaler Wasserstand = ca. 348,64 m ü. NN

Unterkante der Außenwände: 345,80 m ü. NN $\Rightarrow h_w = 2,84 \text{ m} \Rightarrow h_w / h_b = 2,84 / 0,30 = 9,47$

Zulässige Rissbreite: $w_k = 0,20 \text{ mm}$

In Horizontal- und Vertikalrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, \text{erforderlich}}$ [cm ² /m]	$A_{s, \text{gewählt}}$
0,20 mm	30 cm	früher Zwang	0,65	14,1	$\emptyset 16 / 12,5 = 16,08 \text{ cm}^2/\text{m}$

In den hochbelasteten Bereichen werden gemäß Ergebnisgrafik Zulageeisen vorgesehen.

Geschätzter Bewehrungsgehalt: 240 kg/m³

4.1.5 Außenwand an der Seite (d = 60 cm)

Maximale Bauteilabmessung: ca. 5,30 * 7,24 m

Expositionsklassen: XC4, XF3, XA2, WF, WU

Betongüte: C35/45, Betondeckung: 60 mm

Maximaler Wasserstand = ca. 348,64 m ü. NN

Unterkante der Außenwände: 342,10 m ü. NN $\Rightarrow h_w = 6,54 \text{ m} \Rightarrow h_w / h_b = 6,54 / 0,60 = 10,9$

Zulässige Rissbreite: $w_k = 0,15 \text{ mm}$

In Horizontal- und Vertikalrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, \text{erforderlich}}$ [cm ² /m]	$A_{s, \text{gewählt}}$
0,15 mm	60 cm	früher Zwang	0,71	31,7	$\emptyset D16 / 12,5 = 32,16 \text{ cm}^2/\text{m}$

In den hochbelasteten Bereichen werden gemäß Ergebnisgrafik Zulageeisen vorgesehen.

Geschätzter Bewehrungsgehalt: 240 kg/m³

4.1.6 Decke (d = 50 cm)

Bauteilabmessung: ca. 13,60 * 3,50 m

Expositionsklassen: XC3, XF2, XD1, XA2, WA, WU

Betongüte: C35/45, Betondeckung: 60 mm

Maximaler Wasserstand = ca. 348,64 m ü. NN

Unterkante der Decke: 348,84 m ü. NN $\Rightarrow h_w = 0,00 \text{ m}$

Zulässige Rissbreite: $w_k = 0,20 \text{ mm}$

In Längsrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, erforderlich}$ [cm ² /m]	$A_{s, gewählt}$
0,20 mm	50 cm	später Zwang	1,0	29,8	Ø D16 / 12,5 = 32,16 cm ² /m

In Querrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, erforderlich}$ [cm ² /m]	$A_{s, gewählt}$
0,20 mm	50 cm	früher Zwang	0,69	23,1	Ø D14 / 12,5 = 24,64 cm ² /m

In den hochbelasteten Bereichen werden gemäß Ergebnisgrafik Zulageeisen vorgesehen.

Geschätzter Bewehrungsgehalt: 250 kg/m³

4.1.7 Steg (d = 30 cm)

Bauteilabmessung: ca. 13,60 * 0,95 m

Expositionsklassen: XC3, XF2, XD1, XA2, WA, WU

Betongüte: C35/45, Betondeckung: 60 mm

Maximaler Wasserstand = ca. 348,64 m ü. NN

Unterkante der Decke: 348,84 m ü. NN => $h_w = 0,00$ m

Zulässige Rissbreite: $w_k = 0,20$ mm

In Längsrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, erforderlich}$ [cm ² /m]	$A_{s, gewählt}$
0,20 mm	30 cm	später Zwang	1,0	19,6	Ø 20 / 12,5 = 25,12 cm ² /m

In Querrichtung:

Rissbreite [mm]	Bauteildicke [cm]	früher / später Zwang	$K_{c,t}$ [-]	$A_{s, erforderlich}$ [cm ² /m]	$A_{s, gewählt}$
0,20 mm	30 cm	früher Zwang	0,65	14,1	Ø 16 / 12,5 = 16,08 cm ² /m

In den hochbelasteten Bereichen werden gemäß Ergebnisgrafik Zulageeisen vorgesehen.

Geschätzter Bewehrungsgehalt: 310 kg/m³

4.2 Zusammenfassung der verwendeten Betonsorten

Es wurden noch keine Betonsorten gewählt.

5 Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen

Der Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen ist in dem Fall maßgebend, wenn der Wasserspiegel auf Höhe des HW100 + 15% (348,64 m ü. NN) ansteht, die Betriebs- und Revisionsverschlüsse geschlossen sind und im Innenraum des Siels kein Wasser ansteht.

Die Teilsicherheitsbeiwerte sind Tabelle A 2.1 der DIN 1054:2010 zu entnehmen und lauten:

$$g_{Q,dst} = 1,05, \quad g_{G,slb} = 0,95$$

Die Positionen des Bauwerkes werden in den folgenden Skizzen dargestellt.

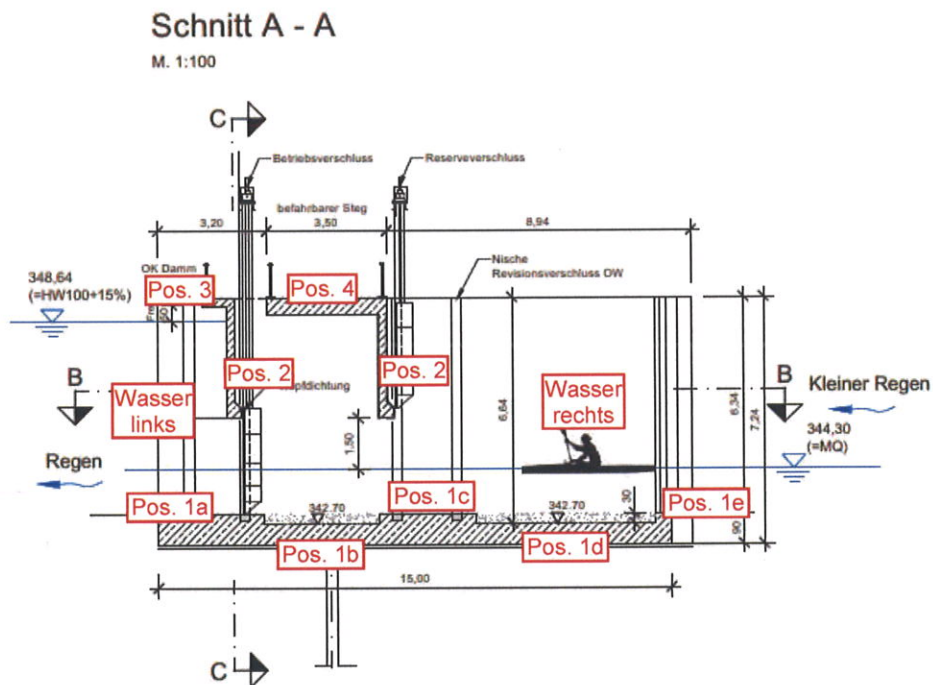


Bild 8: Positionen für Auftriebsberechnung, Schnitt A-A

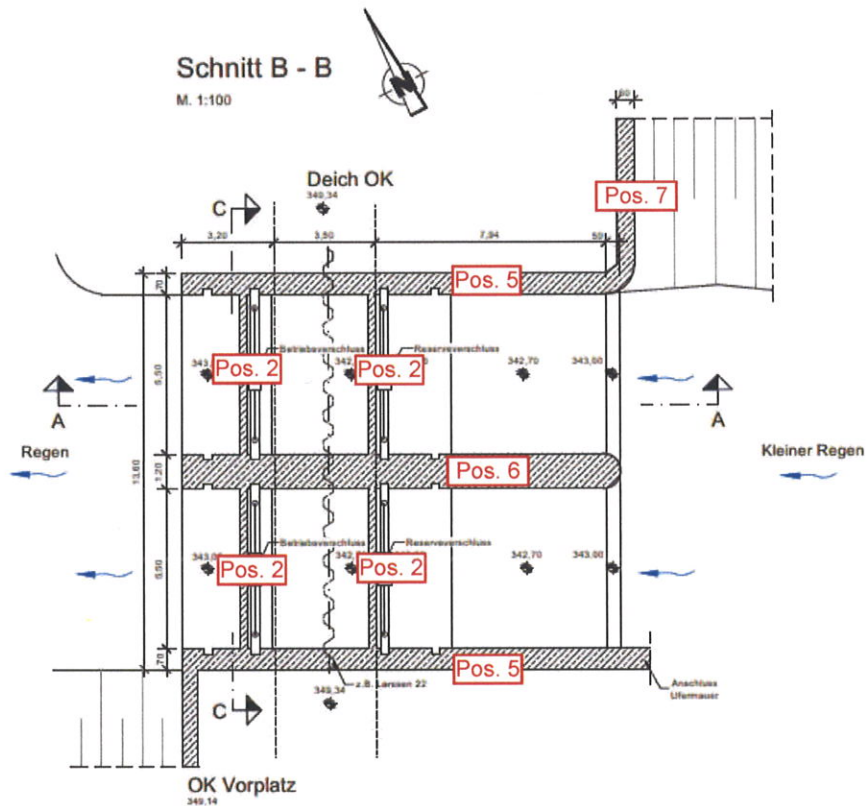


Bild 9: Positionen für Auftriebsberechnung, Schnitt B-B

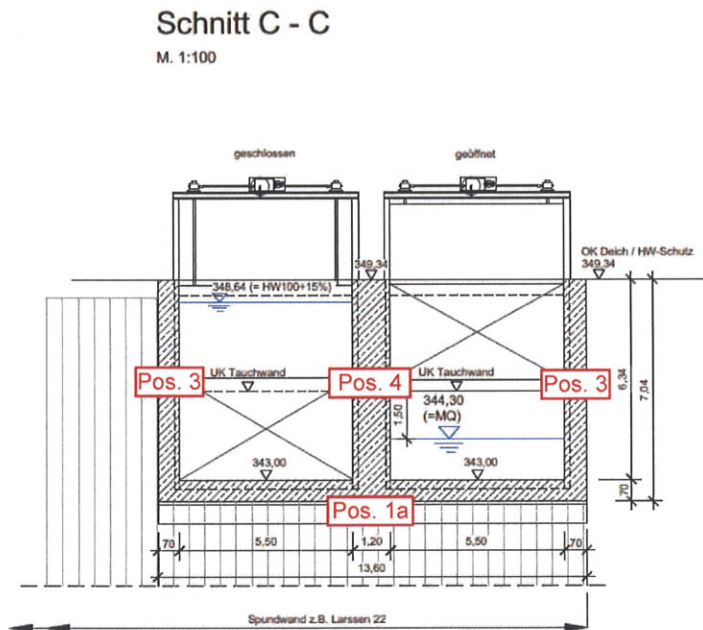


Bild 10: Positionen für Auftriebsberechnung, Schnitt C-C

Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen											
$A_k \cdot \gamma_{0,dst} + Q_k \cdot \gamma_{0,dst} \leq G_k \cdot \gamma_{0,stb} + F_{s,k} \cdot \gamma_{0,stb}$											
Rote Werte müssen eingegeben werden, schwarze Werte werden berechnet!											
Geländeoberkante		349,34	müNN								
Max. Grundwasserstand		348,64	müNN								
Es wurde keine Wasserfüllung innerhalb des Bauwerks für den Nachweis berücksichtigt											
Gewichtskraft:							Auftriebskraft:				
	Anzahl	Länge	Breite	Höhe	Wichte	Gewicht	Fläche	Höhen- kote	Auftrieb (-1), Auflast (+1)	Δh	Auftriebs- kraft
Pos. 1a:	1	3,10	13,60	0,90	24,00	910,7	42,16	343,00	-1	5,64	-2377,8
Pos. 1b:	1	3,35	13,60	0,60	24,00	656,1	45,56	342,70	-1	5,94	-2706,3
Pos. 1c:	1	2,85	13,60	0,90	24,00	837,2	38,76	343,00	-1	5,64	-2186,1
Pos. 1d:	1	5,20	13,60	0,60	24,00	1018,4	70,72	342,70	-1	5,94	-4200,8
Pos. 1e:	1	0,50	13,60	0,90	24,00	146,9	6,80	343,00	-1	5,64	-383,5
Pos. 2:	4	5,50	0,30	3,04	24,00	481,5	1,65				
Pos. 3:	2	5,50	0,95	0,30	24,00	75,2	5,23				
Pos. 4:	2	5,50	3,50	0,50	24,00	462,0	19,25				
Pos. 5:	2	15,64	0,70	6,34	24,00	3331,7	10,95				
Pos. 6:	1	15,14	1,20	6,34	24,00	2764,4	18,17				
Pos. 7:	1	5,30	0,60	7,24	24,00	552,6	3,18				
Wasser links:	2	2,25	5,50	5,64	10,00	1395,9	12,38				
Wasser rechts:	2	8,44	5,50	5,64	10,00	2618,1	46,42				
Summe Gk:						15250,6	Summe Ak:				-11854,4
Eigengewicht Beton (24 kN/m³)											
Gk=						15250,6 kN	Auftriebskraft Ak=				11854,4 kN
gamma(stb)=						0,95	gamma(dst)=				1,05
Gk * gamma(stb) =						14488,1 kN	Ak * gamma(dst) =				12447,2 kN
Ak * gamma(dst) =		12447,2	kN								
Summe Gk * gamma(stb) =		14488,1	kN								
"Ausnutzungsgrad" < 1,0?		0,859									
[Ak * gamma(dst) / Gk * gamma(stb)]											

Tabelle 3: Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen

Der Nachweis ist damit für das Bauwerk erfüllt.

6 Einwirkungen / Lastfälle

6.1 Einwirkungen

Die Einwirkungen werden bauwerksbezogen aufgestellt. Es werden alle ständigen, veränderlichen, seltenen und außergewöhnlichen Einwirkungen im Bau-, End- und Betriebszustand berücksichtigt.

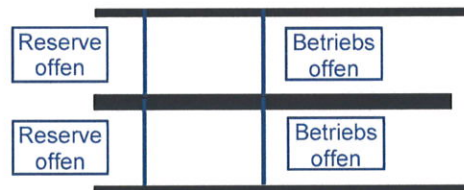
6.1.1 Lastfall 1: Eigengewicht

Das Eigengewicht wird programmintern ermittelt und als ständige Last (Lastfall 01) angesetzt.

Stahlbetonkonstruktion: $\gamma_{\text{Beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$

6.1.2 Lastfall 2: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide offener Zustand, Reserveverschlüsse beide offener Zustand

Das Eigengewicht eines Betriebs- oder Reserveverschluss wird mit 7 t angegeben.



Belastung auf das Bauwerk:

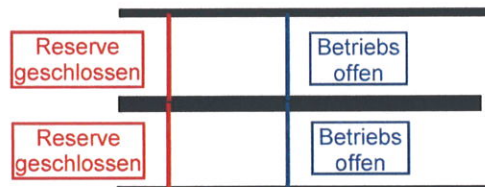
Die Lasten werden auf der sicheren Seite liegend auf das Bauwerk angesetzt.

Vertikale Lasten:

Auf Gelenk: 70 kN → 35,0 kN/Seite

6.1.3 Lastfall 3: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide offener Zustand, Reserveverschlüsse beide geschlossener Zustand

Das Eigengewicht eines Betriebs- oder Reserveverschluss wird mit 7 t angegeben.



Belastung auf das Bauwerk:

Die Lasten werden auf der sicheren Seite liegend auf das Bauwerk angesetzt.

Vertikale Lasten:

Auf Gelenk: 70 kN → 35,0 kN/Seite
Auf Aufkantung Bodenplatte: 60 kN → $60 \text{ kN} / 5,5 \text{ m} = 11,0 \text{ kN/m}$

6.1.4 Lastfall 4: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide geschlossener Zustand, Reserveverschlüsse beide offener Zustand

Das Eigengewicht eines Betriebs- oder Reserveverschluss wird mit 7 t angegeben.



Belastung auf das Bauwerk:

Die Lasten werden auf der sicheren Seite liegend auf das Bauwerk angesetzt.

Vertikale Lasten:

Auf Gelenk: 70 kN → 35,0 kN/Seite
Auf Aufkantung Bodenplatte: 60 kN → $60 \text{ kN} / 5,5 \text{ m} = 11,0 \text{ kN/m}$

6.1.5 Lastfall 5: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschluss rechts geschlossener Zustand, Reserveverschluss links geschlossener Zustand

Das Eigengewicht eines Betriebs- oder Reserveverschluss wird mit 7 t angegeben.



Belastung auf das Bauwerk:

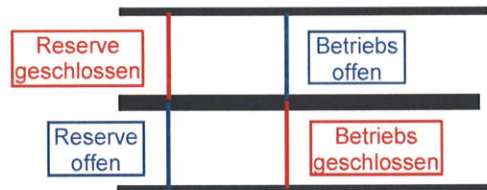
Die Lasten werden auf der sicheren Seite liegend auf das Bauwerk angesetzt.

Vertikale Lasten:

Auf Gelenk: 70 kN → 35,0 kN/Seite
Auf Aufkantung Bodenplatte: 60 kN → $60 \text{ kN} / 5,5 \text{ m} = 11,0 \text{ kN/m}$

6.1.6 Lastfall 6: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschluss links geschlossener Zustand, Reserveverschluss rechts geschlossener Zustand

Das Eigengewicht eines Betriebs- oder Reserveverschluss wird mit 7 t angegeben.



Belastung auf das Bauwerk:

Die Lasten werden auf der sicheren Seite liegend auf das Bauwerk angesetzt.

Vertikale Lasten:

Auf Gelenk: 70 kN → 35,0 kN/Seite

Auf Aufkantung Bodenplatte: 60 kN → $60 \text{ kN} / 5,5 \text{ m} = 11,0 \text{ kN/m}$

6.1.7 Lastfall 7: Eigengewicht der Betriebs- und Reserveverschlüsse, Betriebsverschlüsse beide geschlossener Zustand, Reserveverschlüsse beide geschlossener Zustand

Das Eigengewicht eines Betriebs- oder Reserveverschluss wird mit 7 t angegeben.



Belastung auf das Bauwerk:

Die Lasten werden auf der sicheren Seite liegend auf das Bauwerk angesetzt.

Vertikale Lasten:

Auf Aufkantung Bodenplatte: 60 kN → $60 \text{ kN} / 5,5 \text{ m} = 11,0 \text{ kN/m}$

6.1.8 Lastfall 8: Erdruchdruck mit anstehendem Wasser auf Höhe des Stauziels

Randbedingungen:

Geländeoberkante:	349,34 m ü. NN
Bemessungswasserstand:	344,30 m ü. NN
Oberkante Bodenplatte:	342,70 m ü. NN
Systemlinie Bodenplatte:	342,40 m ü. NN
Unterkante Bodenplatte:	342,10 m ü. NN

Es wird von einer Verfüllung mit dem folgenden Bodenmaterial ausgegangen:

-	Wichte:	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
-	Wichte unter Auftrieb:	$\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$
-	Wichte Wasser:	$\gamma_{\text{Wasser}} = 10 \text{ kN/m}^3$
-	Reibungswinkel:	$\phi' = 35^\circ$
-	Kohäsion:	$c = 0$

Wasserdruck an der Unterseite der Bodenplatte:

$$\Delta h = 344,30 - 342,10 = 2,20 \text{ m}$$

$$\sigma_v = \Delta h * \gamma_{\text{Wasser}} = 2,2 * 10 = \underline{22,00 \text{ kN/m}^2}$$

Erd- und Wasserdruck auf Außenwände:

Erddruck:

$$\Delta h_1 = 349,34 - 344,30 = 5,04 \text{ m}$$

$$\sigma_{v1} = \Delta h_1 * \gamma = 5,04 * 21 = 105,84 \text{ kN/m}^2$$

Mit einem Seitendruckbeiwert von $k_0 = 1 - \sin \phi = 0,43$ ergibt sich daraus ein horizontaler Erddruck von:

$$e_{ohy1} = \sigma_{v1} * k_0 = 105,84 * 0,43 = 45,51 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta h_2 = 344,30 - 342,10 = 2,20 \text{ m}$$

$$\sigma_{v2} = \Delta h_2 * \gamma' = 2,2 * 10 = 22,0 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ohy2} = e_{ohy1} + \sigma_{v2} * k_0 = 45,51 + 22,0 * 0,43 = 54,97 \text{ kN/m}^2$$

Wasserdruck:

$$h_{w1} = 344,30 - 342,10 = 2,20 \text{ m}$$

$$w_1 = h_{w1} * \gamma_{\text{Wasser}} = 2,2 * 10 = 22,00 \text{ kN/m}^2$$

Wasserdruck innen:

$$h_{w2} = 344,30 - 342,70 = 1,60 \text{ m}$$

$$w_2 = h_{w2} * \gamma_{\text{Wasser}} = 1,6 * 10 = 16,00 \text{ kN/m}^2$$

6.1.9 Lastfälle 9 - 14: Erdruchedruck mit anstehendem Wasser auf Höhe des HW100 + 15%

Im Hochwasserfall wird der Durchfluss durch das Siel mittels der Betriebs- oder Reserveverschlüsse unterbunden. Im Lastfall 9 ist der Betriebsverschluss geschlossen und mit dem vollen Wasserdruck beansprucht und der Reserveverschluss geöffnet. Im Lastfall 10 wird der Betriebsverschluss rechts geschlossen und der Reserveverschluss links geschlossen. Im Lastfall 11 wird der Betriebsverschluss links geschlossen und der Reserveverschluss rechts geschlossen. Im Lastfall 12 werden beide Betriebs- und Reserveverschlüsse geschlossen. Im Lastfall 13 werden beide Reserveverschlüsse geschlossen. Im Lastfall 14 werden beide Betriebsverschlüsse geschlossen und mit dem vollen Wasserdruck beidseitig beansprucht.

Randbedingungen:

Geländeoberkante:	349,34 m ü. NN
Bemessungswasserstand:	348,64 m ü. NN
Oberkante Bodenplatte:	342,70 m ü. NN
Systemlinie Bodenplatte:	342,40 m ü. NN
Unterkante Bodenplatte:	342,10 m ü. NN

Es wird von einer Verfüllung mit dem folgenden Bodenmaterial ausgegangen:

-	Wichte:	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
-	Wichte unter Auftrieb:	$\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$
-	Wichte Wasser:	$\gamma_{\text{Wasser}} = 10 \text{ kN/m}^3$
-	Reibungswinkel:	$\phi' = 35^\circ$
-	Kohäsion:	$c = 0$

Wasserdruck an der Unterseite der Bodenplatte:

$$\Delta h = 348,64 - 342,10 = 6,54 \text{ m}$$

$$\sigma_v = \Delta h * \gamma_{\text{Wasser}} = 6,54 * 10 = \underline{65,40 \text{ kN/m}^2}$$

Erd- und Wasserdruck auf Außenwände:

Erddruck:

$$\Delta h_1 = 349,34 - 348,64 = 0,70 \text{ m}$$

$$\sigma_{v1} = \Delta h_1 * \gamma = 0,70 * 21 = 14,7 \text{ kN/m}^2$$

Mit einem Seitendruckbeiwert von $k_0 = 1 - \sin \phi = 0,43$ ergibt sich daraus ein horizontaler Erddruck von:

$$e_{ohy1} = \sigma_{v1} * k_0 = 14,7 * 0,43 = 6,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta h_2 = 348,64 - 342,10 = 6,54 \text{ m}$$

$$\sigma_{v2} = \Delta h_2 * \gamma' = 6,54 * 10 = 65,40 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ohy2} = e_{ohy1} + \sigma_{v2} * k_0 = 6,32 + 65,4 * 0,43 = 34,44 \text{ kN/m}^2$$

Wasserdruck:

$$h_{w1} = 348,64 - 342,10 = 6,54 \text{ m}$$

$$w_1 = h_{w1} \cdot \gamma_{\text{Wasser}} = 6,54 \cdot 10 = 65,40 \text{ kN/m}^2$$

Wasserdruck innen:

$$h_{w2} = 348,64 - 342,70 = 5,94 \text{ m}$$

$$w_2 = h_{w2} \cdot \gamma_{\text{Wasser}} = 5,94 \cdot 10 = 59,40 \text{ kN/m}^2$$

Wasserdruck auf Tauchwand und Betriebs- oder Reserveverschluss:

$$h_{w3} = 348,64 - 343,00 = 5,64 \text{ m}$$

$$w_{\text{horizontal, max}} = w_{\text{vertikal, max}} = h_{w3} \cdot \gamma_{\text{Wasser}} = 5,64 \cdot 10 = 56,40 \text{ kN/m}^2$$

6.1.10 Lastfall 15: Aufschüttung Sohlsubstrat

Der Bereich zwischen den Aufkantungen der Bodenplatte wird mit einem Sohlsubstrat verfüllt.

Annahme Sohlsubstrat (auf der Sicherheitsseite ohne Auftrieb): $\gamma_{\text{Substrat}} = 18 \text{ kN/m}^3$

$$q_{\text{Substrat}} = 18 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m} = 5,4 \text{ kN/m}^2$$

6.1.11 Lastfall 16: Nutzlast Bodenplatte

$$q_{k1} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

6.1.12 Lastfall 17: Nutzlast Decke und Steg

$$\text{Nutzlast Decke: } q_{k2} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Nutzlast Balken: } q_{k3} = 10,0 \text{ kN/m}^2$$

6.1.13 Lastfall 18: Schneelast Decke und Steg

Geländehöhe über Meeresniveau: ca. 350 m

Schneelastzone 2:

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot [(350+140) / 760]^2 \geq 0,85$$

$$s_k = 1,04 \text{ kN/m}^2$$

6.1.14 Lastfälle 19 - 25: Verkehrslast auf Brücke

Es wird für den Fall eines überquerenden Schwerlastwagens die Verkehrslast eines SLW 60 auf die Decke des Bauwerks angesetzt. Dabei wird in die Lastfälle gleichmäßige Flächenlast, Radlasten in Brückenmitte und Radlasten am Brückenrand unterschieden.

Lastfall 19, Gleichmäßige Ersatzflächenlast über die ganze Brücke:

$$p_v = \underline{33,33 \text{ kN/m}^2}$$

Lastfall 20, Radlasten am Brückenrand – links am Anfang:

$$Q_{k1} = 6 \times 100 \text{ kN}$$

Lastfall 21, Radlasten am Brückenrand – links am Ende:

$$Q_{k1} = 6 \times 100 \text{ kN}$$

Lastfall 22, Radlasten am Brückenrand – links in der Mitte:

$$Q_{k1} = 6 \times 100 \text{ kN}$$

Lastfall 23, Radlasten in Brückenmitte:

$$Q_{k1} = 6 \times 100 \text{ kN}$$

Lastfall 24, Gleichmäßige Ersatzflächenlast - rechts:

$$p_v = \underline{33,33 \text{ kN/m}^2}$$

Lastfall 25, Gleichmäßige Ersatzflächenlast - links:

$$p_v = \underline{33,33 \text{ kN/m}^2}$$

6.1.15 Lastfälle 26 und 27: Temperaturänderung ΔT_M bei Wasserstand Stauziel

Da es sich bei dem vorliegenden Becken um ein offenes Becken handelt, müssen die Temperatureinwirkungen auf das Bauwerk berücksichtigt werden. In Anlehnung an das DVGW Merkblatt W 300 werden folgende Temperaturlasten angenommen:

Temperaturänderung ΔT_M der Bauteilmittelfläche: $\Delta T_{M,Sommer} = 15 \text{ K}$
 $\Delta T_{M,Winter} = -15 \text{ K}$

Die Temperaturänderung wird auf alle frei liegenden Bauteile angesetzt. Auf den angrenzenden Elementen wird die Temperatureinwirkung stufenweise reduziert, um einen moderateren Spannungsverlauf zu erhalten.

Bei einem Wasserstand auf Höhe des Stauziels (Wasserspiegel bei 344,30 m ü. NN) wird die Temperaturänderung nur auf den Bauteilen angesetzt, die aus dem Gelände bzw. aus der Wasseroberfläche herausragen.

6.1.16 Lastfälle 28 und 29: Temperaturgradient ΔT_G bei Wasserstand Stauziel

In Anlehnung an das DVGW Merkblatt W 300 werden folgende Temperaturlasten angenommen:

Temperaturgradient ΔT_G linear über die Bauteildicke: $\Delta T_{G,Sommer} = +30 \text{ K}$
 $\Delta T_{G,Winter} = -30 \text{ K}$

Wärmeübergang innen:	$1/\alpha_i =$	0,04
Beton:	$d/2,1 = 0,70 / 2,1 =$	0,33
Wärmeübergang außen:	$1/\alpha_a =$	<u>0,04</u>
Summe:		<u>0,41</u>

=> $\Delta T_{G,Beton} = 0,33 / 0,41 * 30 \text{ K} = 0,81 * 30 \text{ K} = 24,3 \text{ K}$ (=> Lastfaktor für Eingabe = 0,81)

Der Temperaturgradient wird je nach Lage des Bauteils unterschiedlich angesetzt:
Von allen Seiten frei liegende oder beidseitig mit Wasser benetzte Bauteile erhalten keinen Temperaturgradienten. Einseitig angeschüttete Bauteile werden mit dem vollen Temperaturgradienten belastet. Auf den angrenzenden Elementen wird die Temperatureinwirkung wie im vorhergehenden Lastfall stufenweise reduziert, um einen moderateren Spannungsverlauf zu erhalten.

6.1.17 Erdbeben

Das Bauwerk befindet sich gemäß Erdbebenkarte der DIN EN 1998 in der Erdbebenzone 0.
Eine Bemessung auf Erdbebenlasten ist daher nicht erforderlich.

6.2 Bemessungssituationen / Teilsicherheitsbeiwerte

Die Bemessungssituationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte wurden programmintern angesetzt.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgt die Bemessung für alle aufgeführten Lastfallkombinationen.

6.3 Lastfallkombinationen

Die Lastfallkombinationen werden programmintern zusammengestellt und berechnet.

Der Teilsicherheitsbeiwert für ständigen und veränderlichen Wasserdruck wird gemäß DIN 1054:2010-12 (Tabelle A 2.1) mit $\gamma_G = 1,35$ (LF 1) angesetzt.

Der Teilsicherheitsbeiwert der Temperatureinwirkung wird nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI zu 2.3.1.2 (3) auf $\gamma_{Q,T} = 1,0$ gesetzt.

7 Bauzustand

7.1 Bemessung im Bauzustand

Für die Herstellung des Siel II sind keine besonderen Bauzustände zu bemessen.

7.2 Baugruben

Die Berechnung der Baugruben erfolgt in einem eigenen statischen Bericht.

8 Hinweise für die weitere Planung und die Bauausführung

8.1 Bodenaustausch

Der Bodengutachter empfiehlt in seiner E-Mail vom 10.5.2017 eine Schottertragschicht von etwa 0,3 m Mächtigkeit für die ausreichend tragfähigen Böden. Beim Einbau einer Schottertragschicht ist das Grundwasser bis 50 cm unter die Sohle abzusenken.

9 Zusammenfassung / Bewehrung der Bauteile

Die aufnehmbare Bemessungsquerkraft ohne Schubbewehrung wurde in mehreren Elementen der Anlage überschritten. Diese Elemente liegen jedoch in Bereichen, die für die Bemessung nicht maßgebend sind (Verschneidungsbereich zwischen Wand und Decke bzw. unmittelbar neben Öffnungen).

Bauteil	Bauteildicke	Bew.gehalt
Bodenplatte	d=60 cm	290 kg/m ³
Bodenplatte	d=90 cm	200 kg/m ³
Innenwand	d=120 cm	170 kg/m ³
Außenwände	d=70 cm	230 kg/m ³
Außenwand an der Seite	d=60 cm	240 kg/m ³
Decke	d=50 cm	250 kg/m ³
Steg	d=30 cm	310 kg/m ³
Tauchwände	d=30 cm	240 kg/m ³

Tabelle 4: Bewehrungsgehalt „Siel II“

10 Anlagenverzeichnis

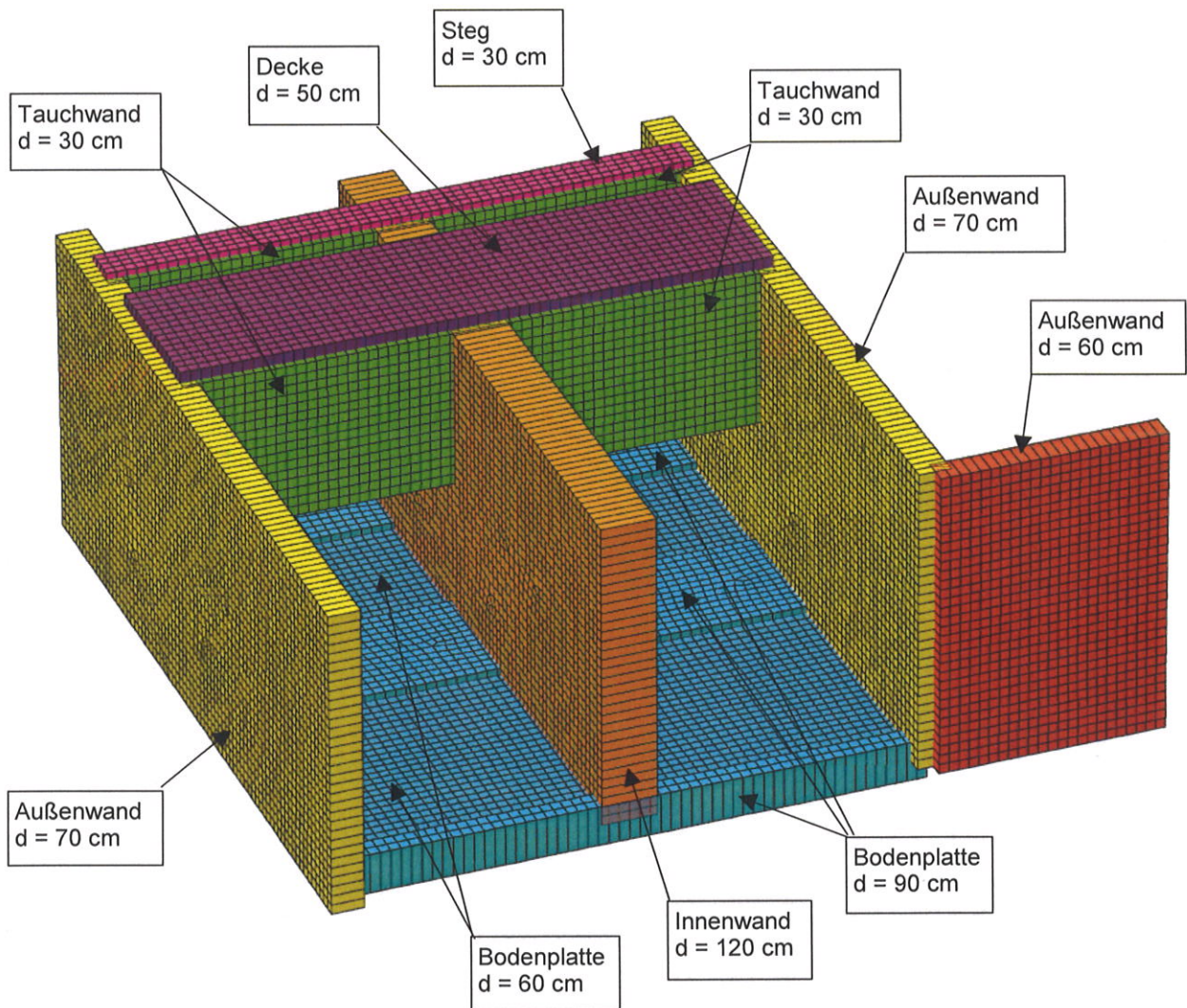
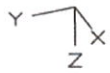
10.1 Anlage 1: Ergebnisausdruck Infograph

(mit gesondertem Inhaltsverzeichnis)

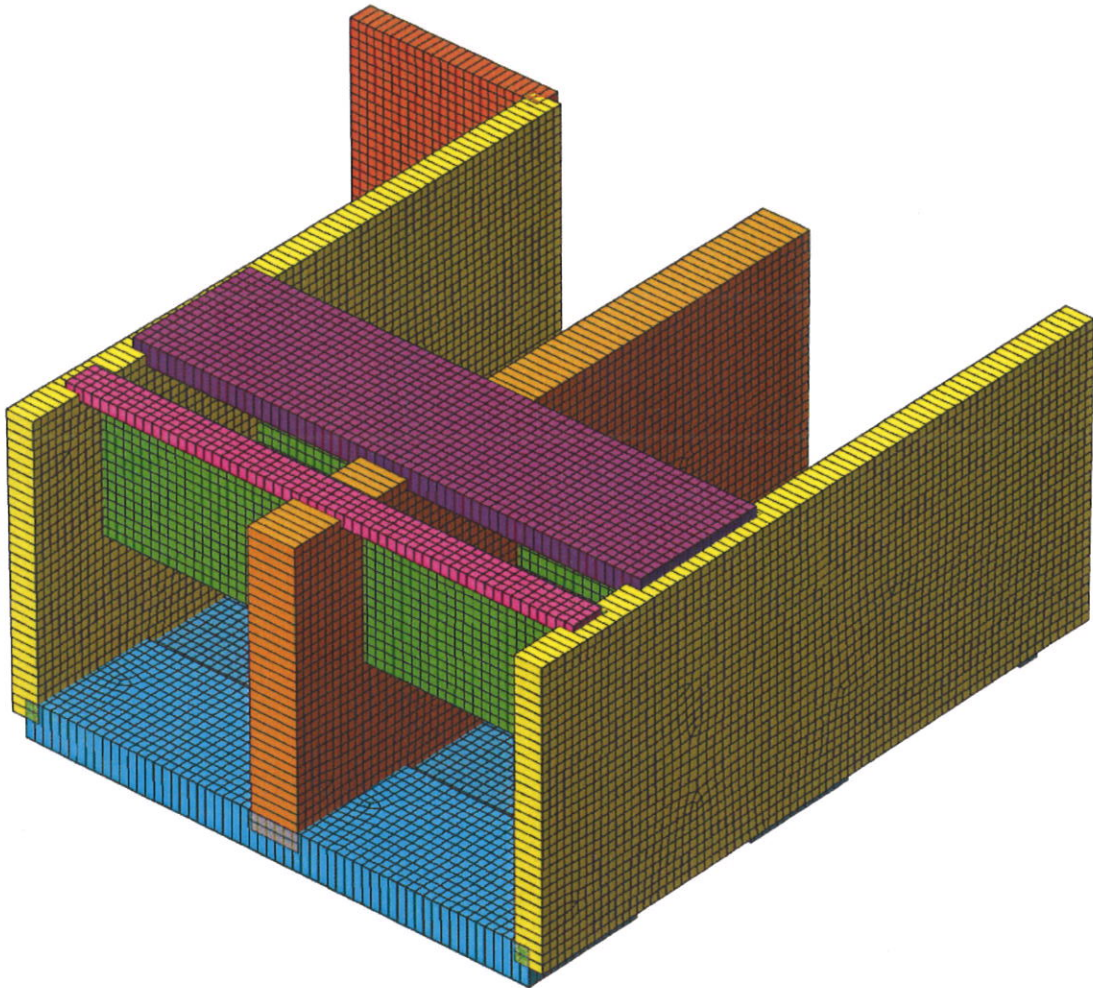
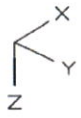
INHALT

Inhalt	33
System	
Siel 2	34
Siel 2	35
Lasten	
LF 1: Belastung, Eigengewicht Stahlbetonbauwerk	36
LF 2: Belastung, Betriebsverschlüsse offen, Reserveverschlüsse offen	37
LF 3: Belastung, Betriebsverschlüsse offen, Reserveverschlüsse geschlossen	37
LF 4: Belastung, Betriebsverschlüsse geschlossen, Reserveverschlüsse offen	38
LF 5: Belastung, Betriebsverschluss rechts geschlossen, Reserveverschluss links geschlossen	38
LF 6: Belastung, Betriebsverschluss links geschlossen, Reserveverschluss rechts geschlossen	39
LF 7: Belastung, Betriebsverschlüsse geschlossen, Reserveverschlüsse geschlossen	39
LF 8: Belastung, Erddruck und Wasser bis 344,30m	40
LF 9: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Betriebsverschlüsse geschlossen	41
LF 10: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Betriebsverschluss rechts geschlossen	42
LF 11: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Betriebsverschluss links geschlossen	43
LF 12: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Betriebs- und Reserveverschlüsse geschlossen	44
LF 13: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Reserveverschlüsse geschlossen	45
LF 14: Belastung, Erddruck und Wasser bis 348,64m, Betriebsverschlüsse geschlossen	46
LF 15: Belastung, Aufschüttung Sohlsubstrat	47
LF 16: Belastung, Nutzlast Bodenplatte	47
LF 17: Belastung, Nutzlast Decke und Steg	48
LF 18: Belastung, Schneelast Decke und Steg	48
LF 19: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Flächenlast über die ganze Brücke	49
LF 20: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten links am Anfang	50
LF 21: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten links am Ende	50
LF 22: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten links in der Mitte	51
LF 23: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten in Brückenmitte	51
LF 24: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Flächenlast rechts	52
LF 25: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Flächenlast links	52
LF 26: Belastung, dTM Stauziel (Sommer)	53
LF 27: Belastung, dTM Stauziel (Winter)	53
LF 28: Belastung, dTG Stauziel (Sommer)	54
LF 29: Belastung, dTG Stauziel (Winter)	54
Bewehrung	
Biegebewehrung asx 1. Lage; Maximum DIN EN 1992-1-1	55
Biegebewehrung asx 2. Lage; Maximum DIN EN 1992-1-1	56
Biegebewehrung asy 1. Lage; Maximum DIN EN 1992-1-1	57
Biegebewehrung asy 2. Lage; Maximum DIN EN 1992-1-1	58
Bodenpressung	
Bodenpressungen Sigma.z min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1	59
Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1	59
Bodenpressungen Sigma.z max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1	60
Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1	60

System

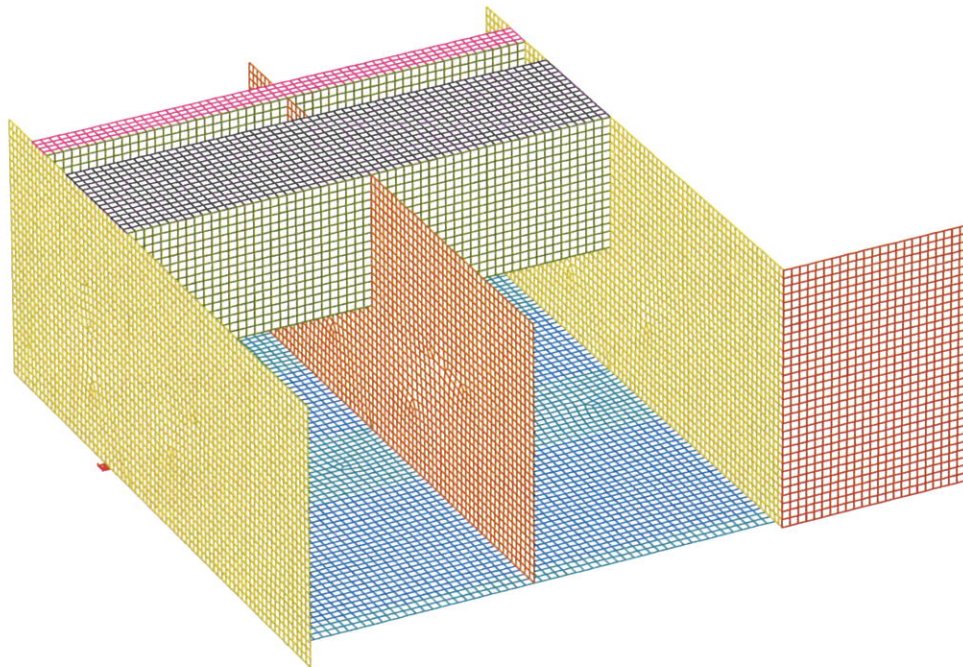


System



Lasten

EIGENLAST



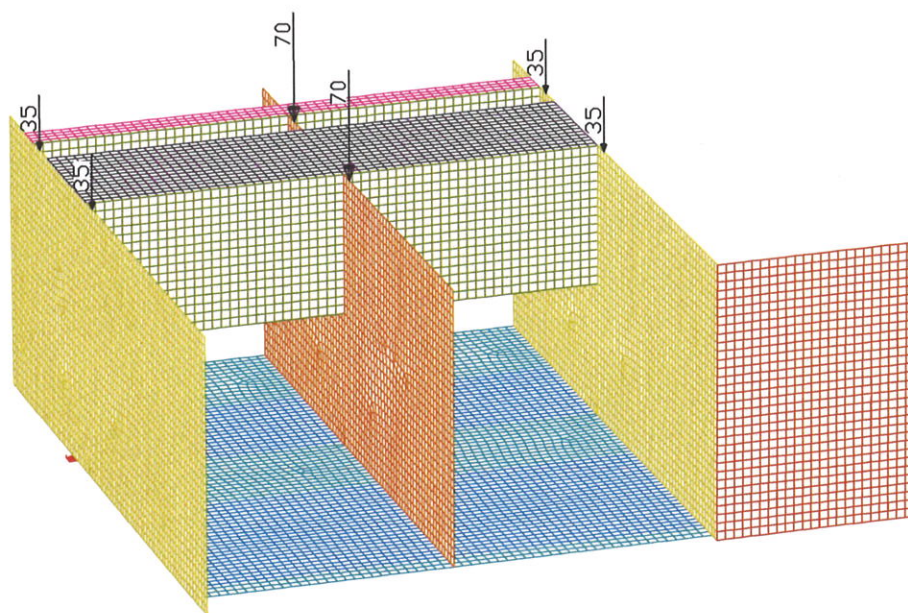
LF 1: Belastung, Eigengewicht Stahlbetonbauwerk

Objekt 7_Siel II

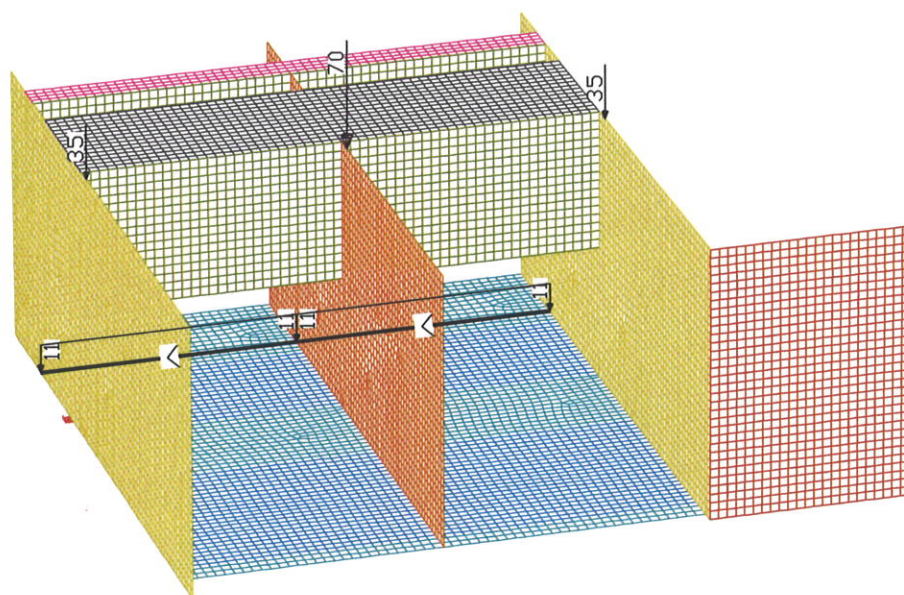
M = 1:170

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten

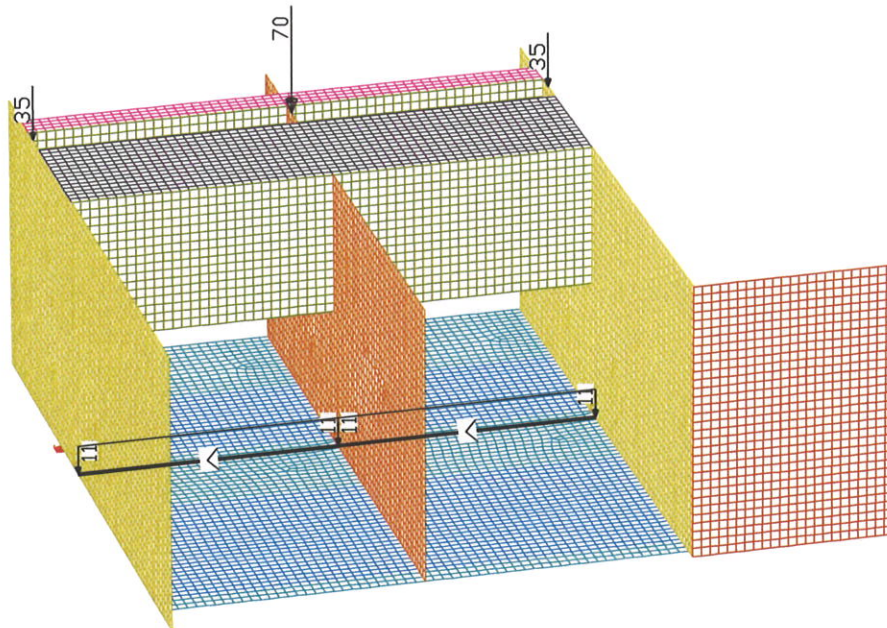


LF 2: Belastung, Betriebsverschlüsse offen, Reserveverschlüsse offen

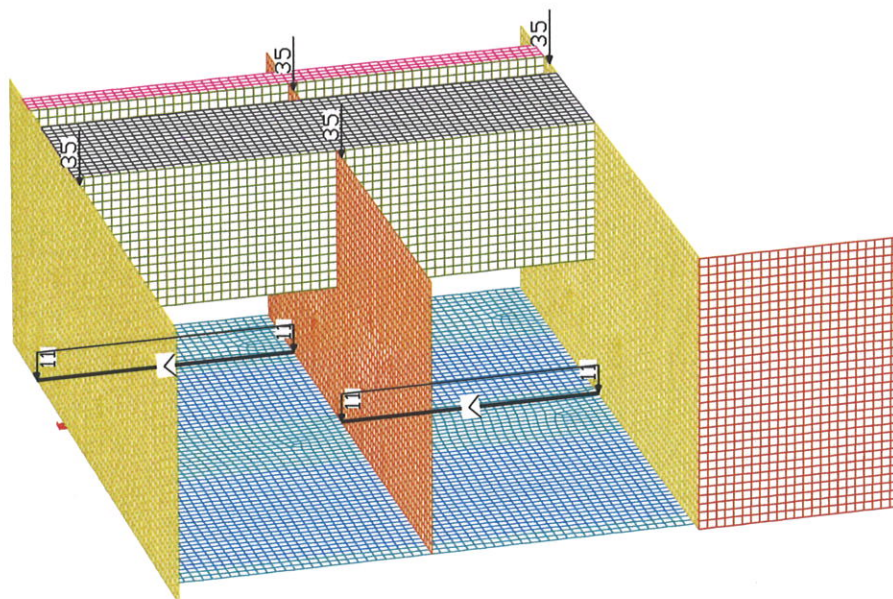


LF 3: Belastung, Betriebsverschlüsse offen, Reserveverschlüsse geschlossen

Lasten

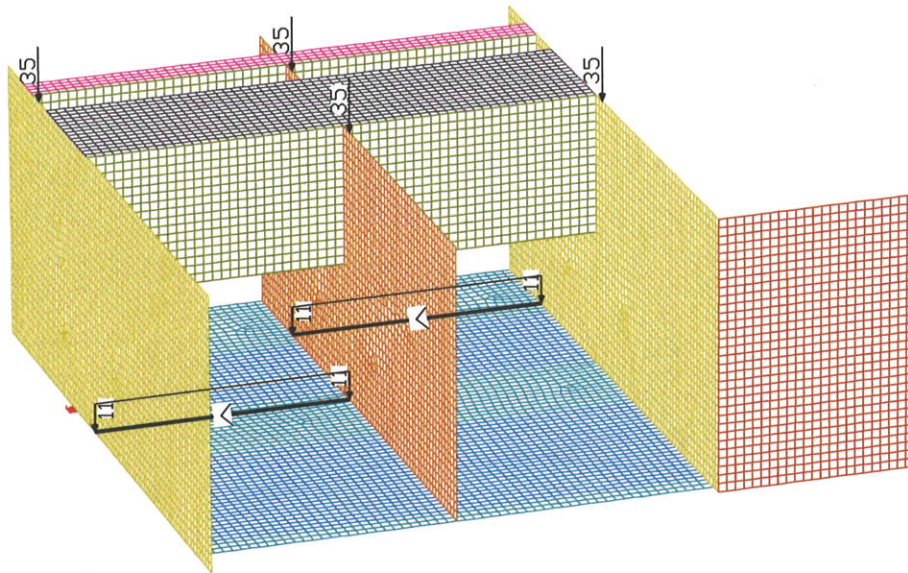


LF 4: Belastung, Betriebsverschlüsse geschlossen, Reserveverschlüsse offen

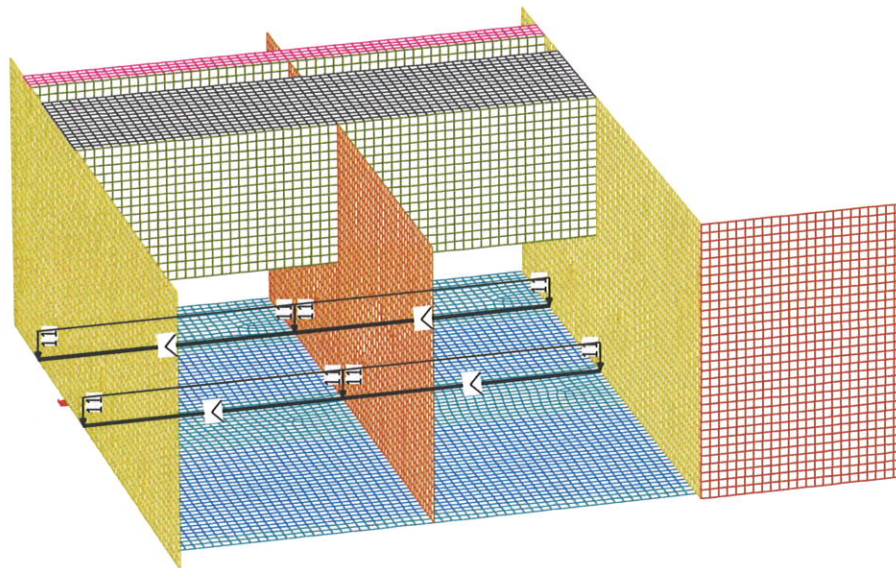


LF 5: Belastung, Betriebsverschluss rechts geschlossen, Reserveverschluss links geschlossen

Lasten

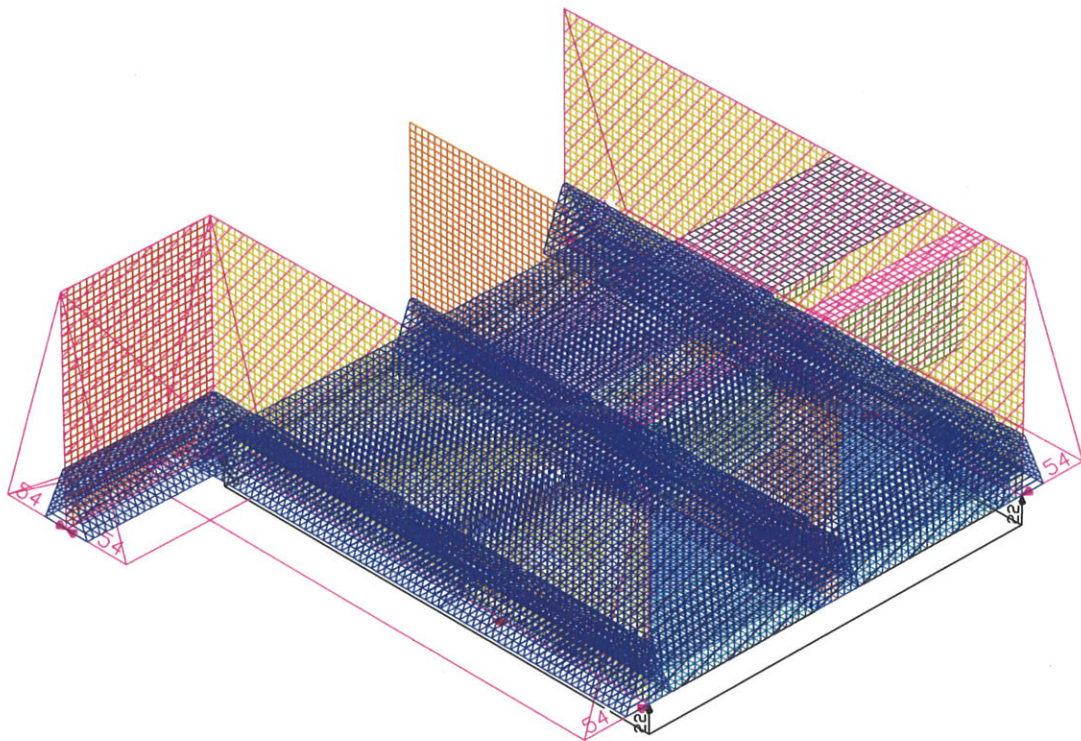
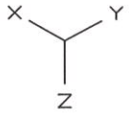


LF 6: Belastung, Betriebsverschluss links geschlossen, Reserveverschluss rechts geschlossen



LF 7: Belastung, Betriebsverschlüsse geschlossen, Reserveverschlüsse geschlossen

Lasten



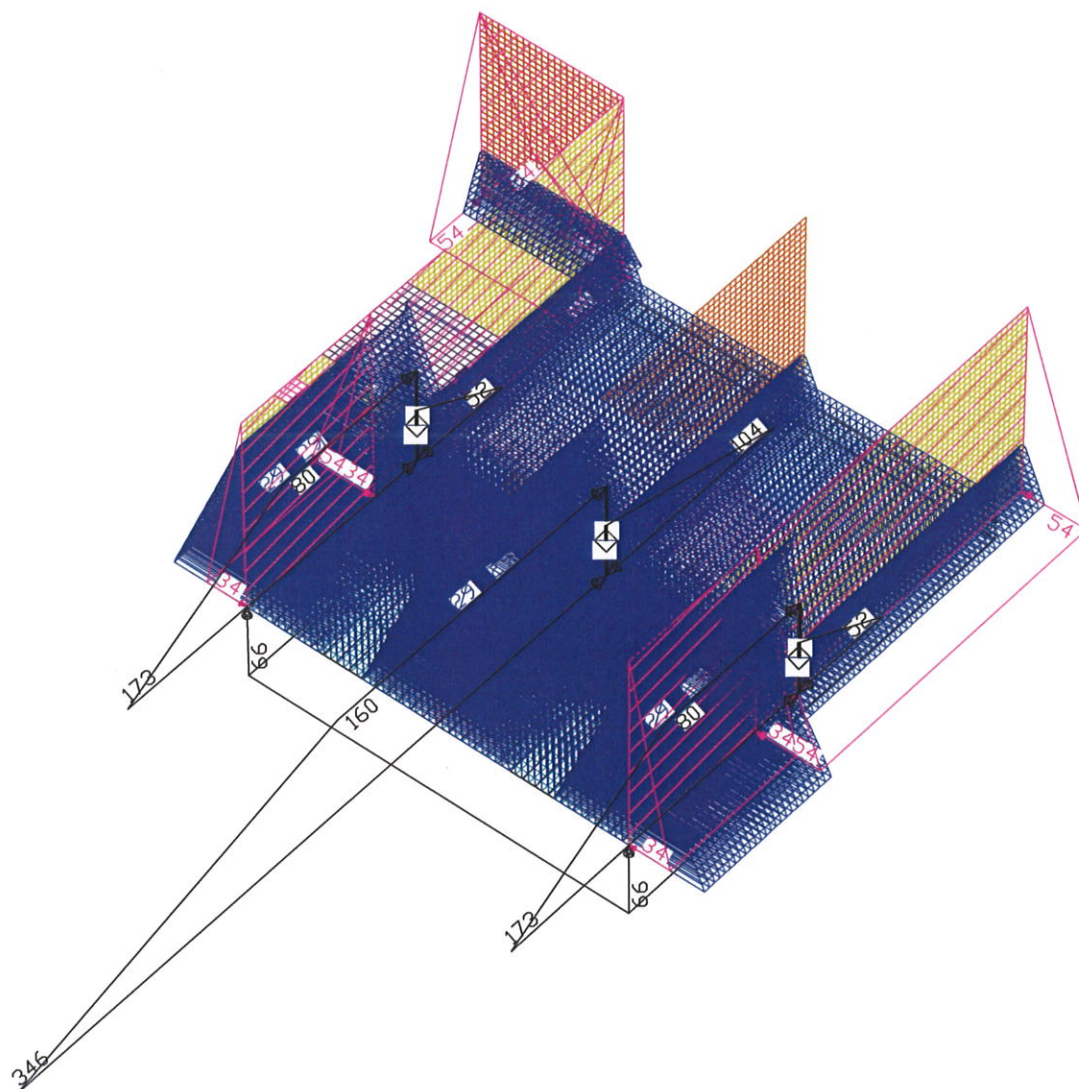
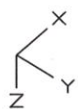
LF 8: Belastung, Erddruck und Wasser bis 344,30m

Objekt 7_Siel II

M = 1: 175

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten



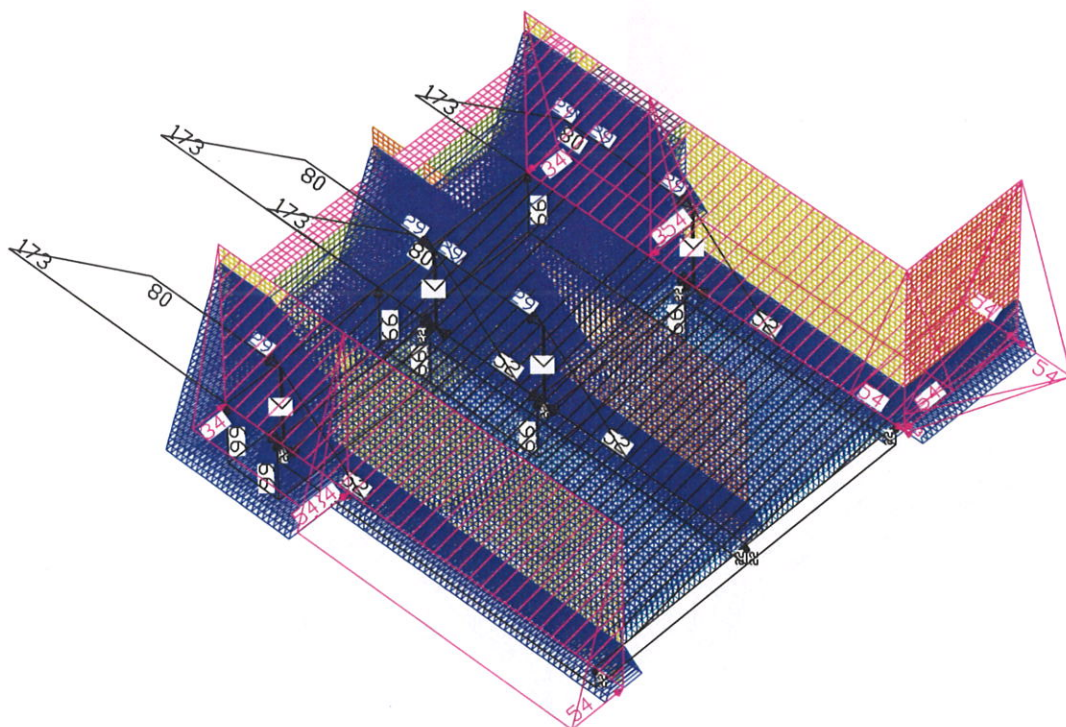
LF 9: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Betriebsverschlüsse geschlossen

Objekt 7_Siel II

M = 1:185

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten



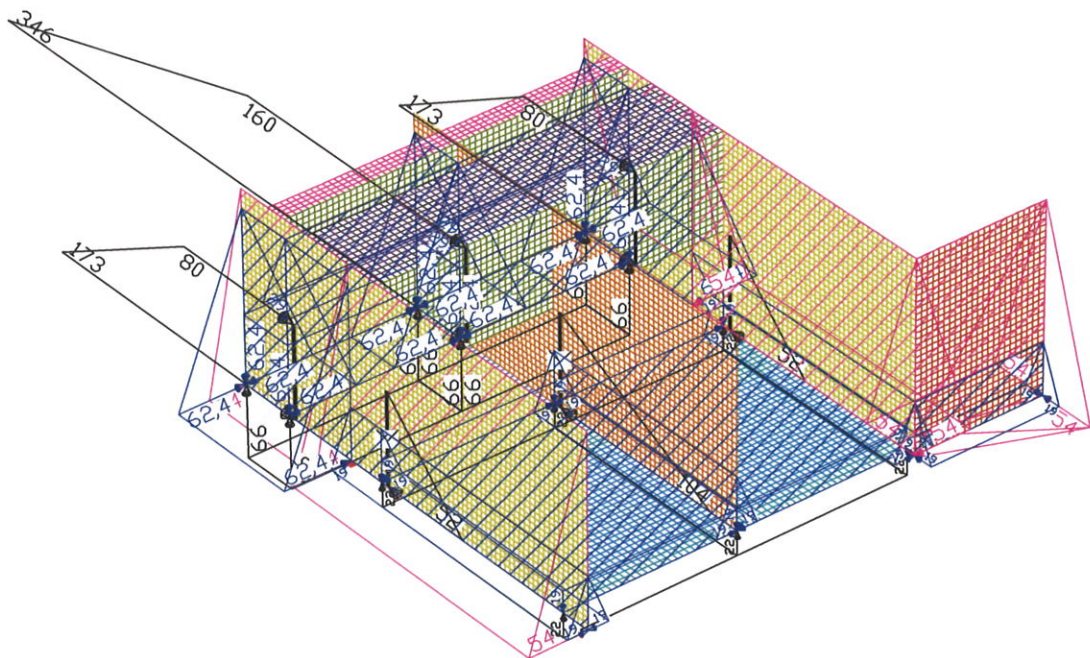
LF 10: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Betriebsverschluss rechts geschlossen

Objekt 7_Siel II

M = 1:210

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten



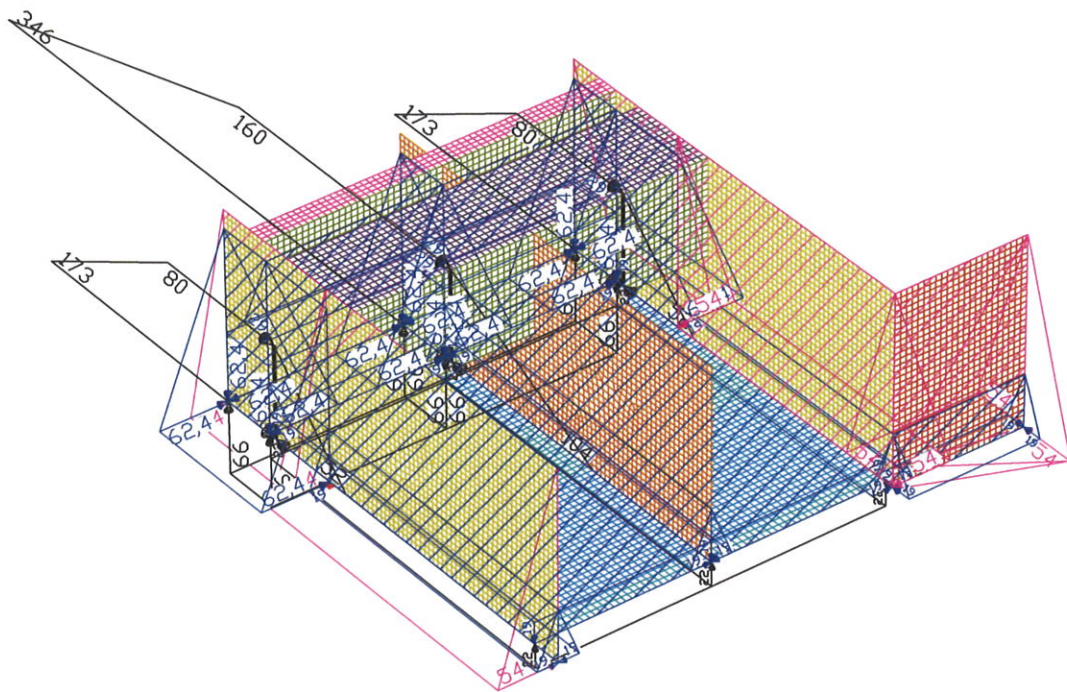
LF 12: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Betriebs- und Reserveverschlüsse geschlossen

Objekt 7_Siel II

M = 1:210

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten



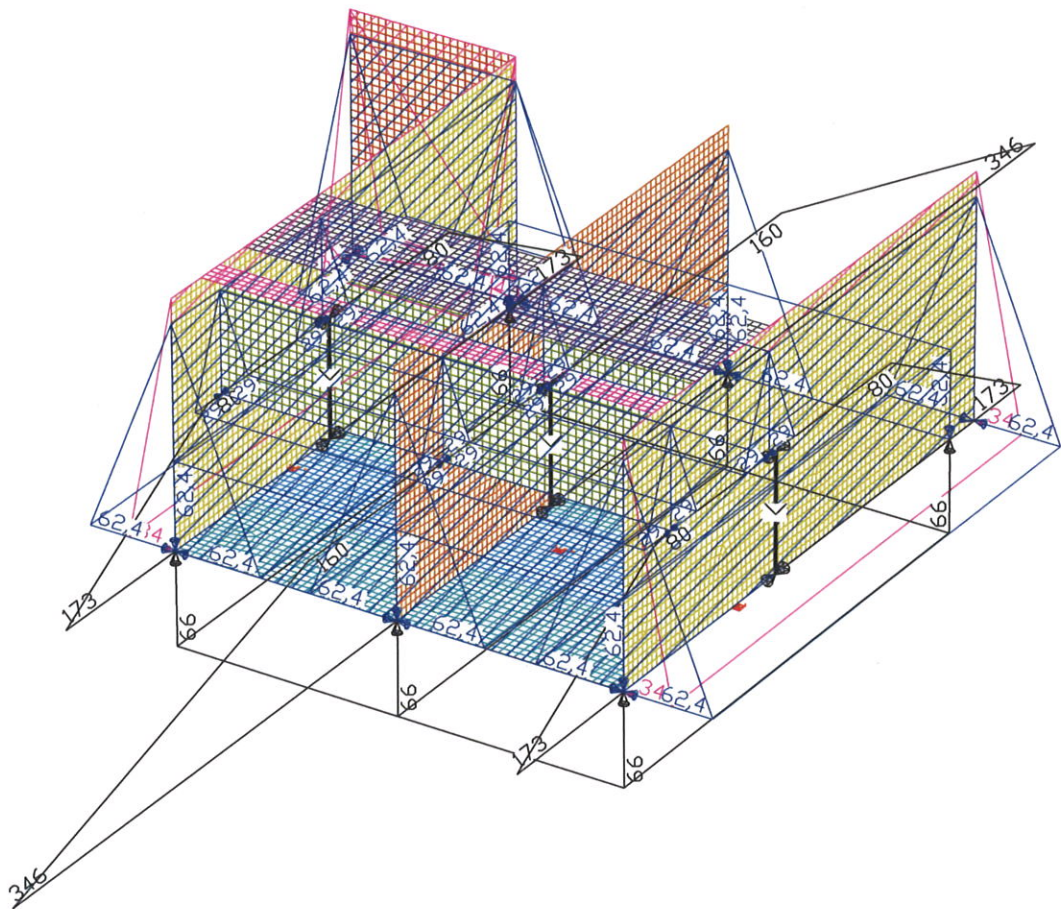
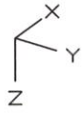
LF 13: Belastung, Erddruck und Wasser bei 348,64/344,30m, Reserveverschlüsse geschlossen

Objekt 7_Siel II

M = 1:210

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten



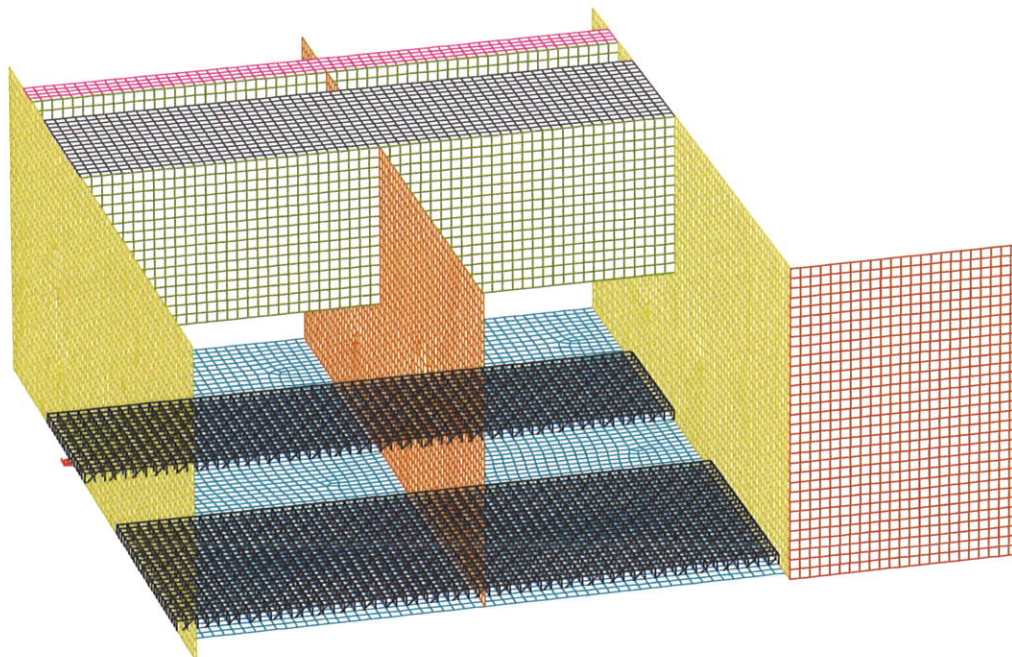
LF 14: Belastung, Erddruck und Wasser bis 348,64m, Betriebsverschlüsse geschlossen

Objekt 7_Siel II

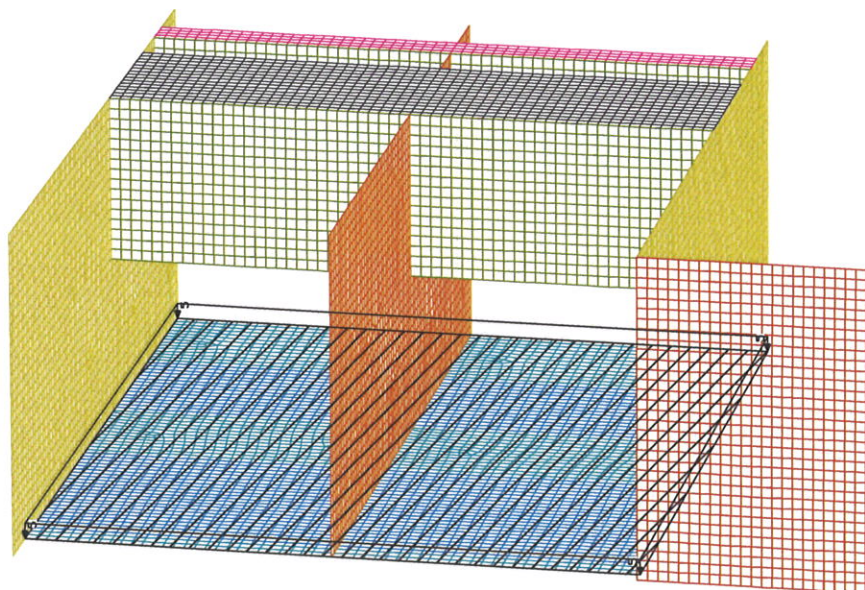
M = 1:175

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten

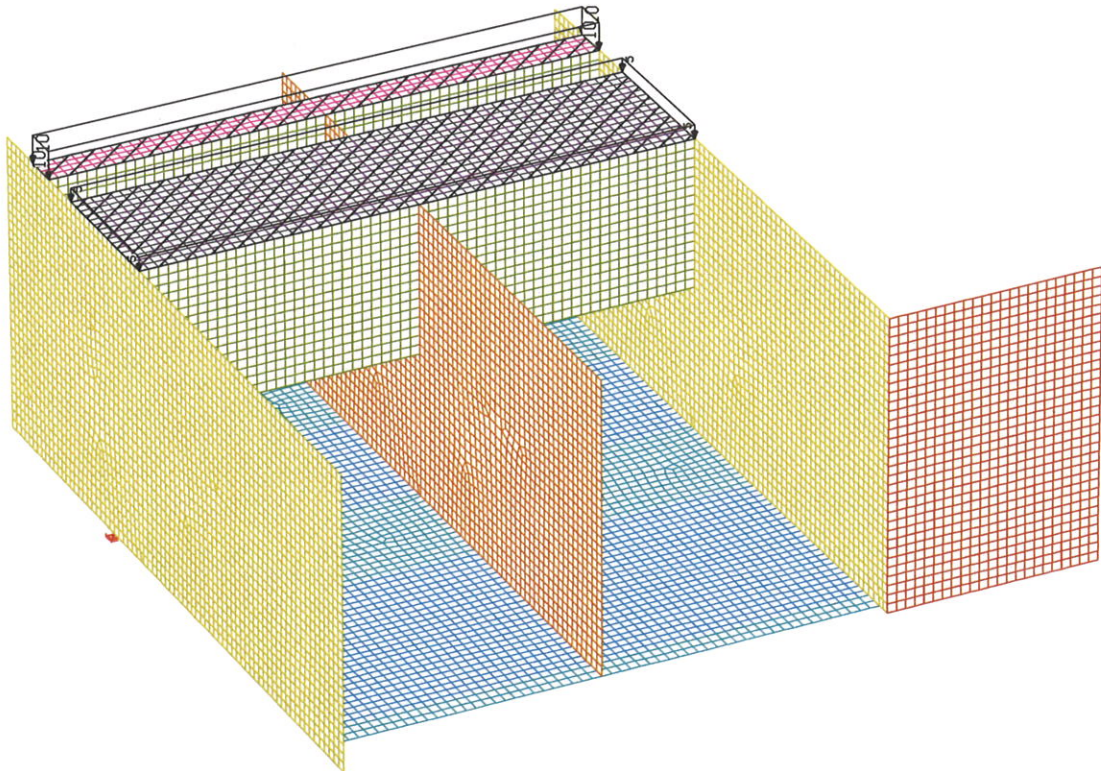


LF 15: Belastung, Aufschüttung Sohlssubstrat

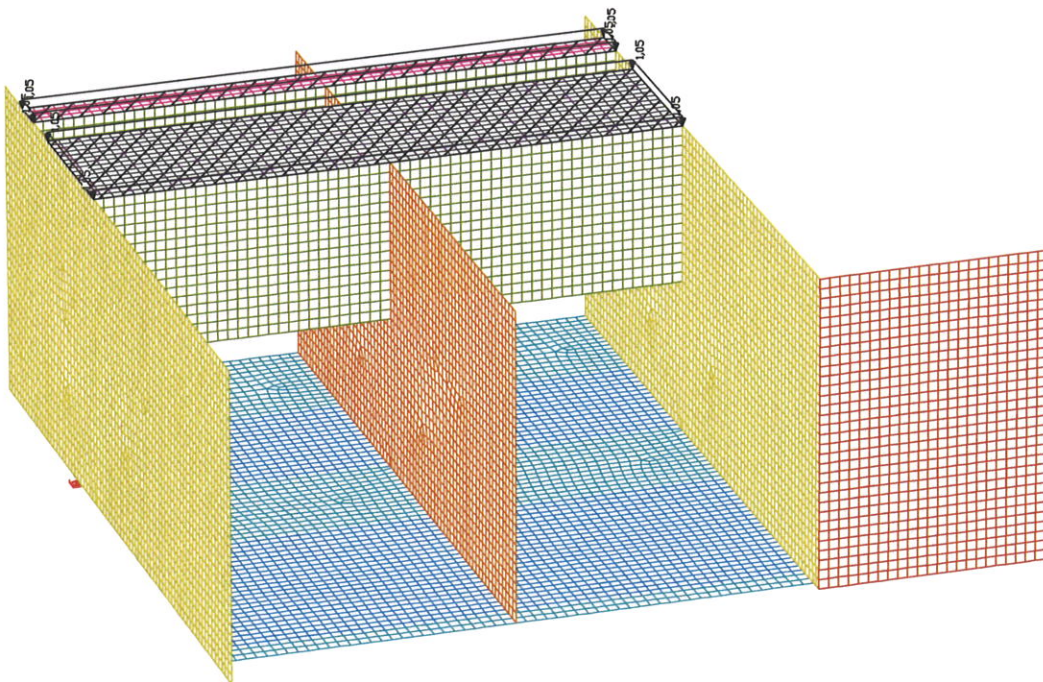


LF 16: Belastung, Nutzlast Bodenplatte

Lasten

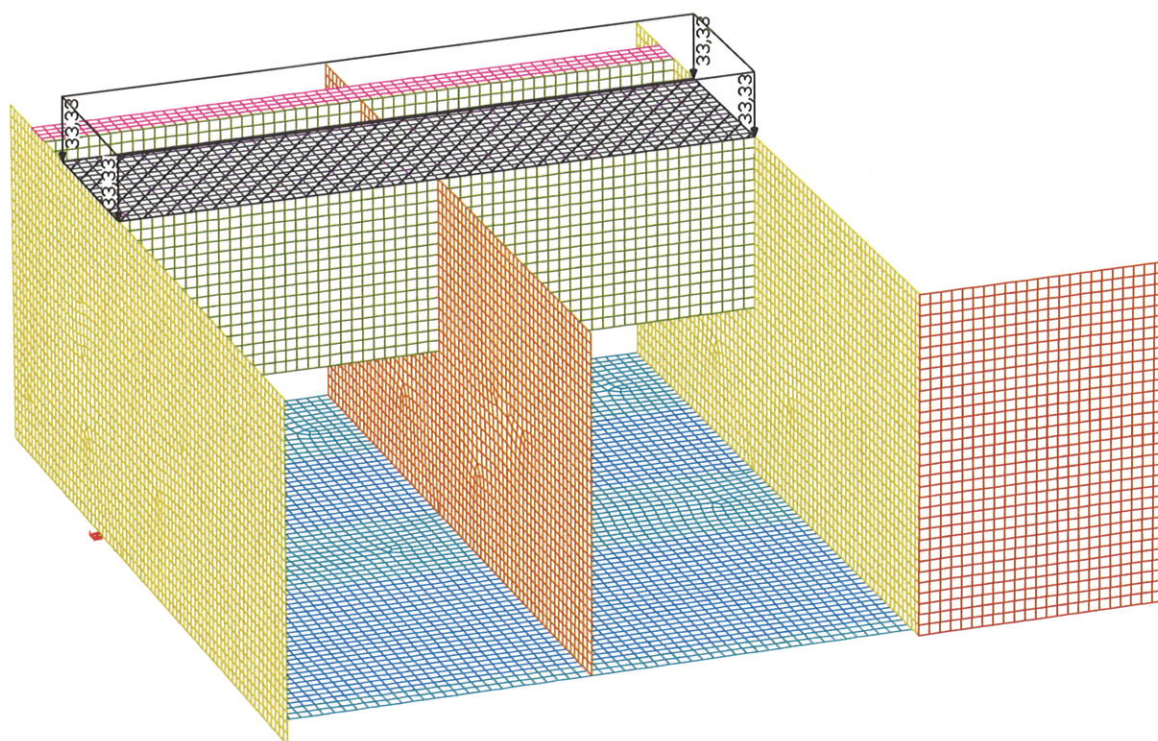
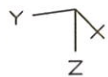


LF 17: Belastung, Nutzlast Decke und Steg



LF 18: Belastung, Schneelast Decke und Steg

Lasten



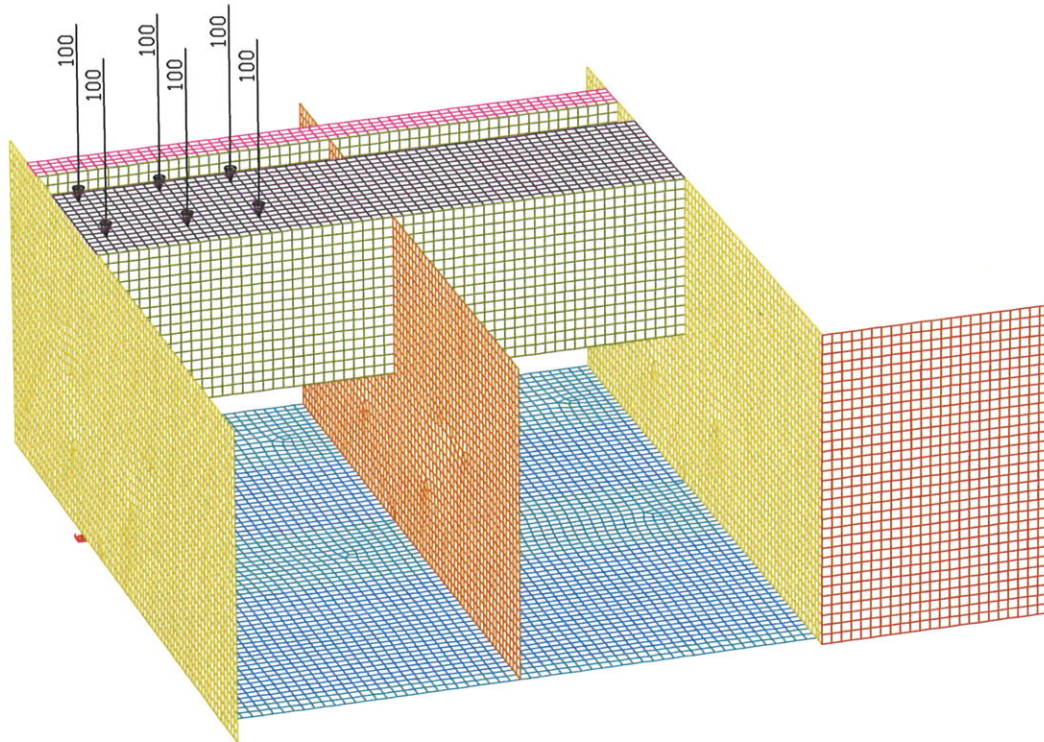
LF 19: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Flächenlast über die ganze Brücke

Objekt 7_Siel II

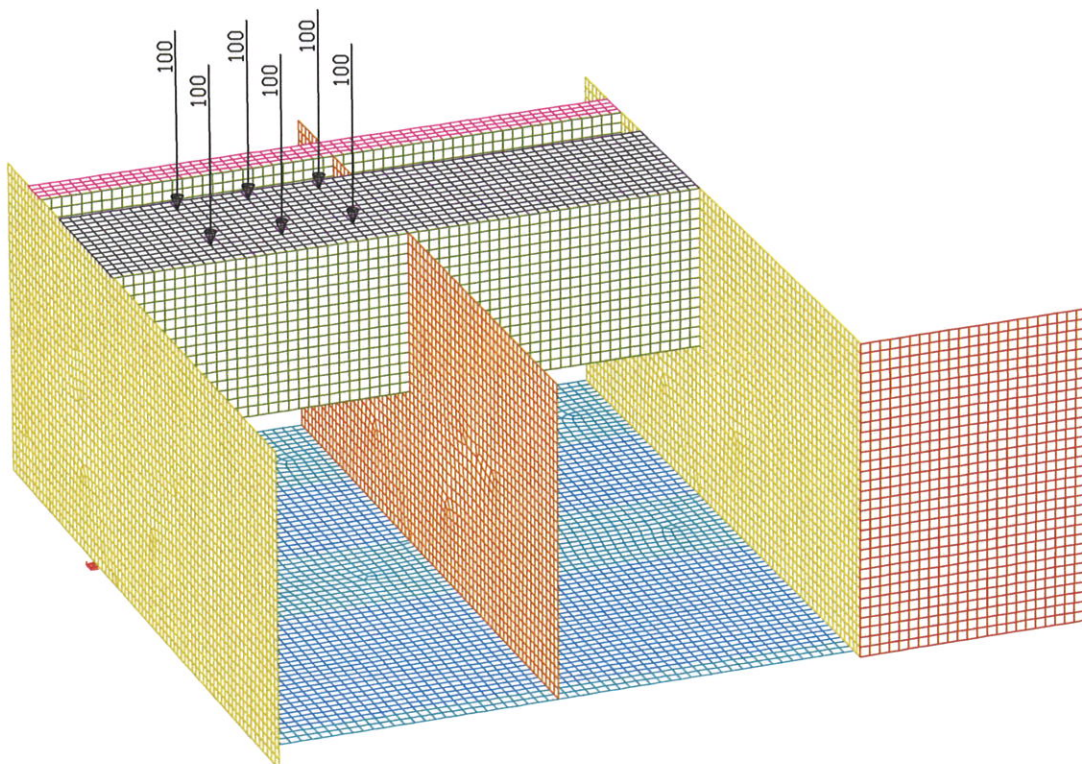
M = 1:135

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, Guntherstr. 29, 80639 München

Lasten

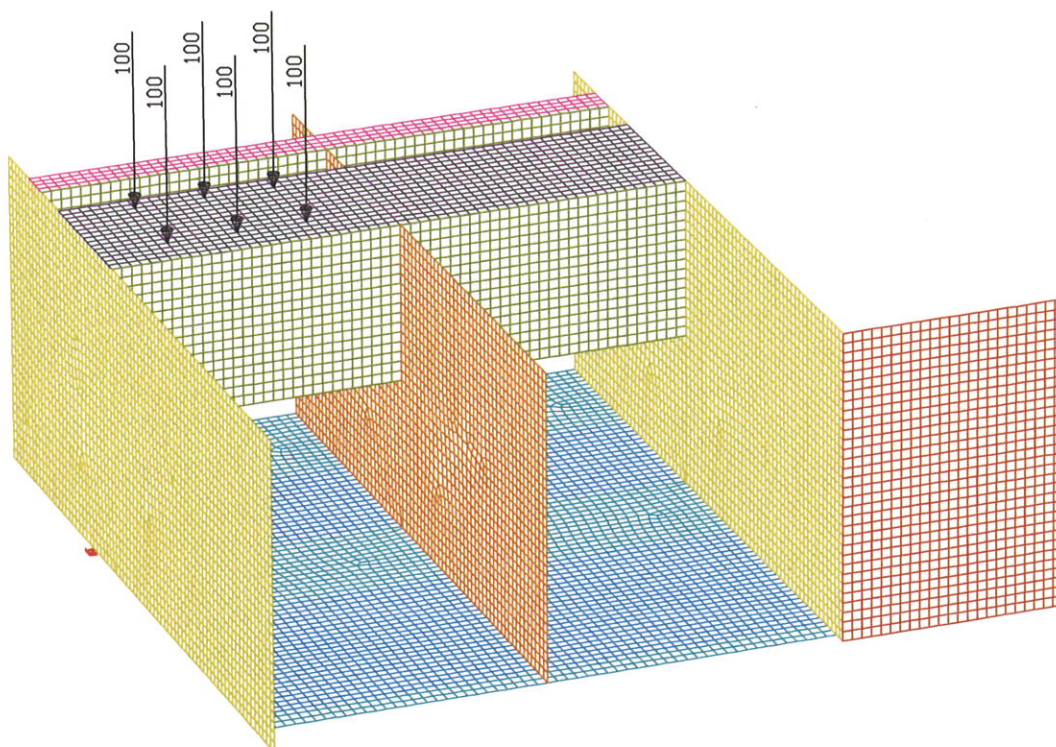


LF 20: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten links am Anfang

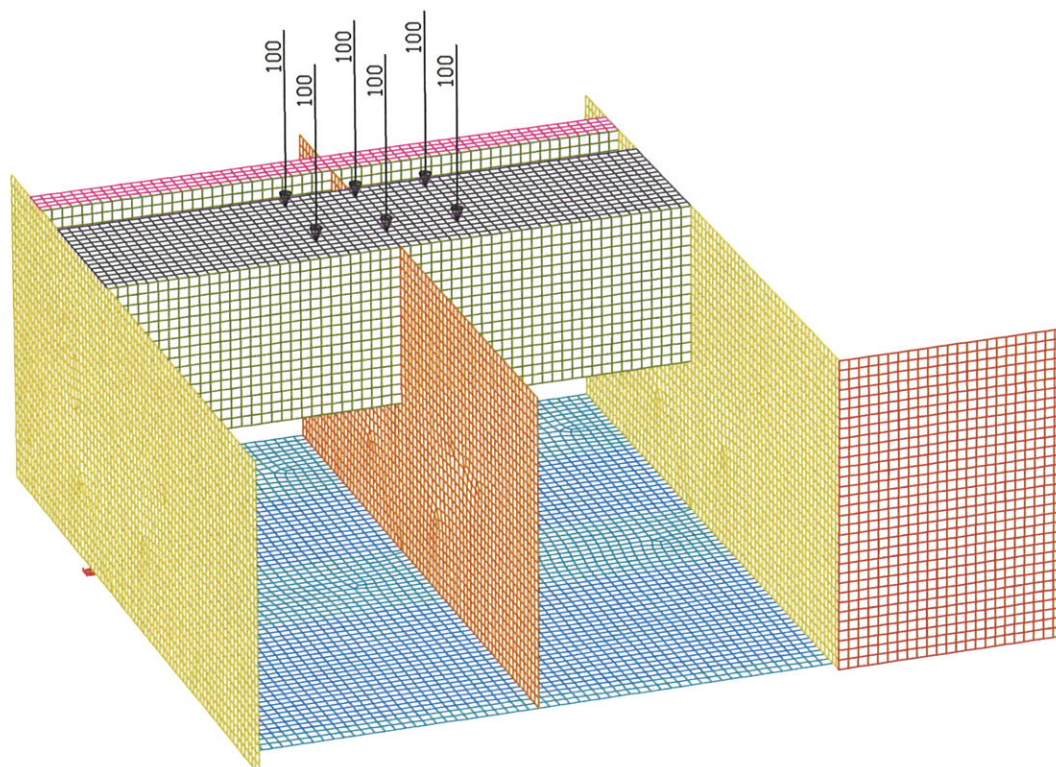


LF 21: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten links am Ende

Lasten

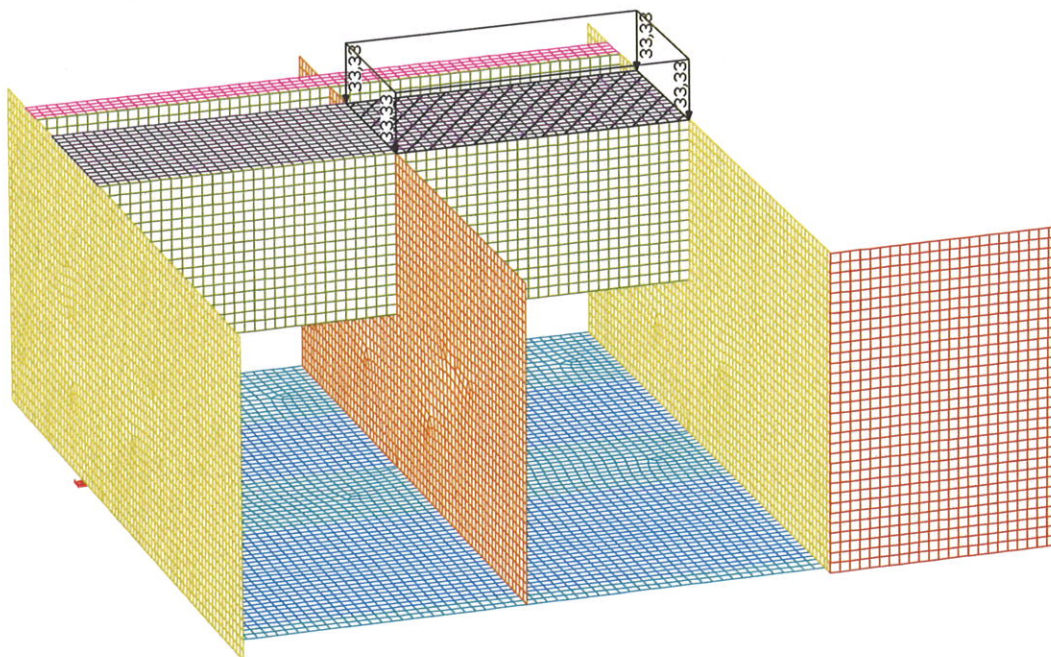


LF 22: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten links in der Mitte

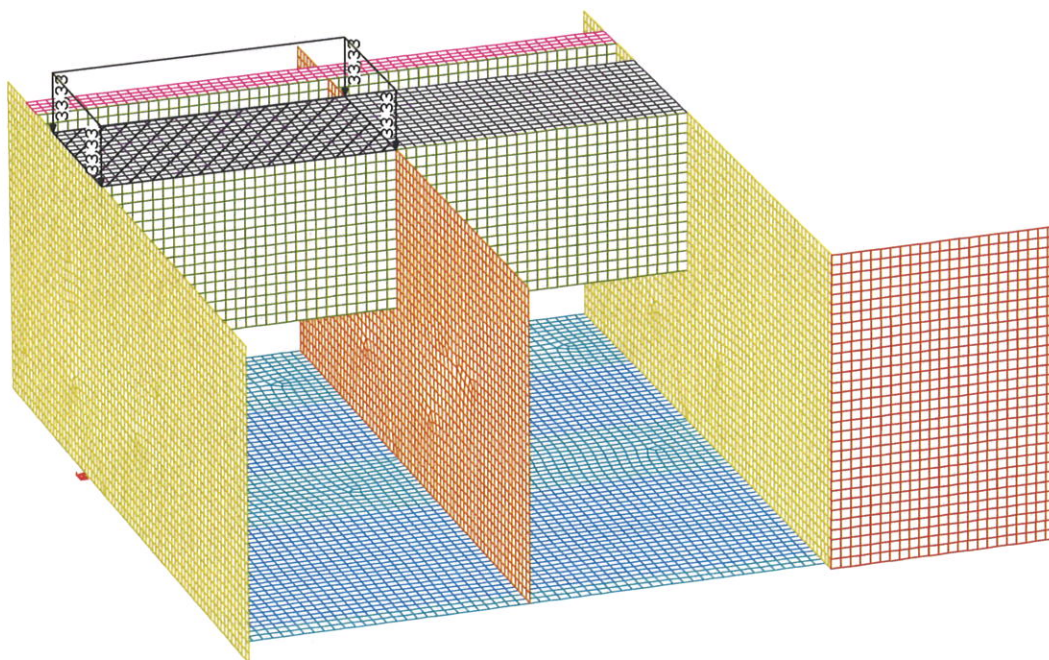


LF 23: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Radlasten in Brückenmitte

Lasten

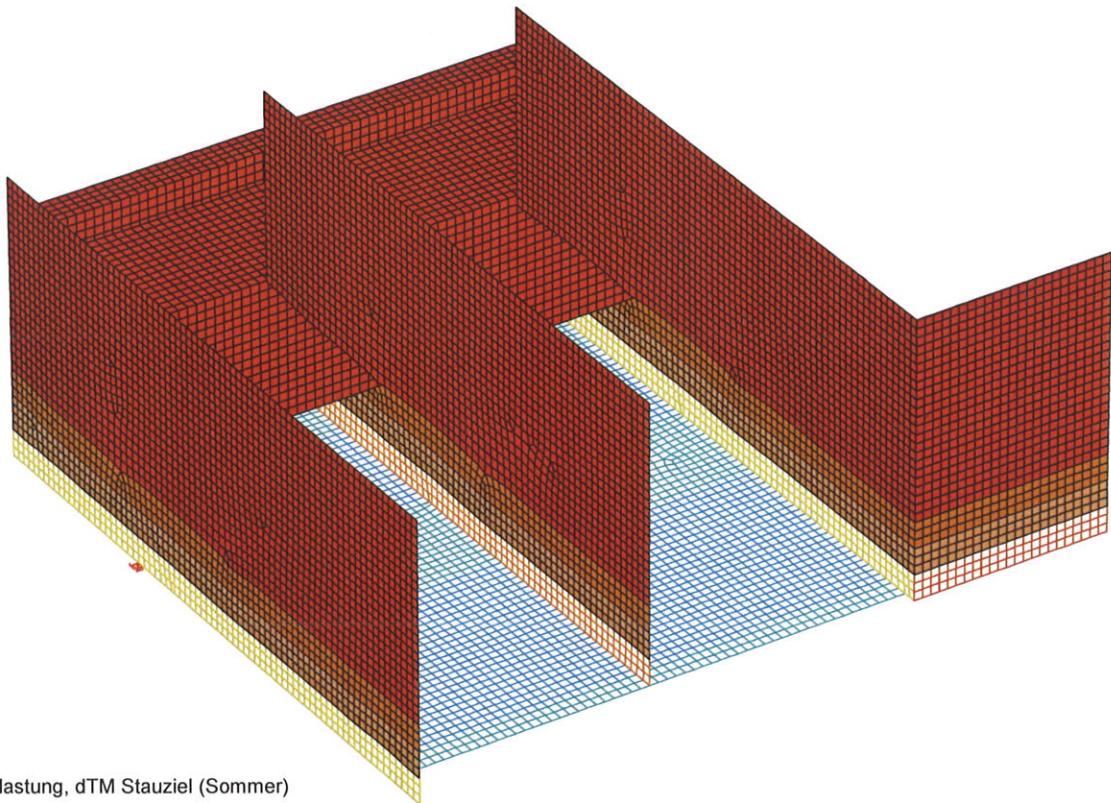


LF 24: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Flächenlast rechts



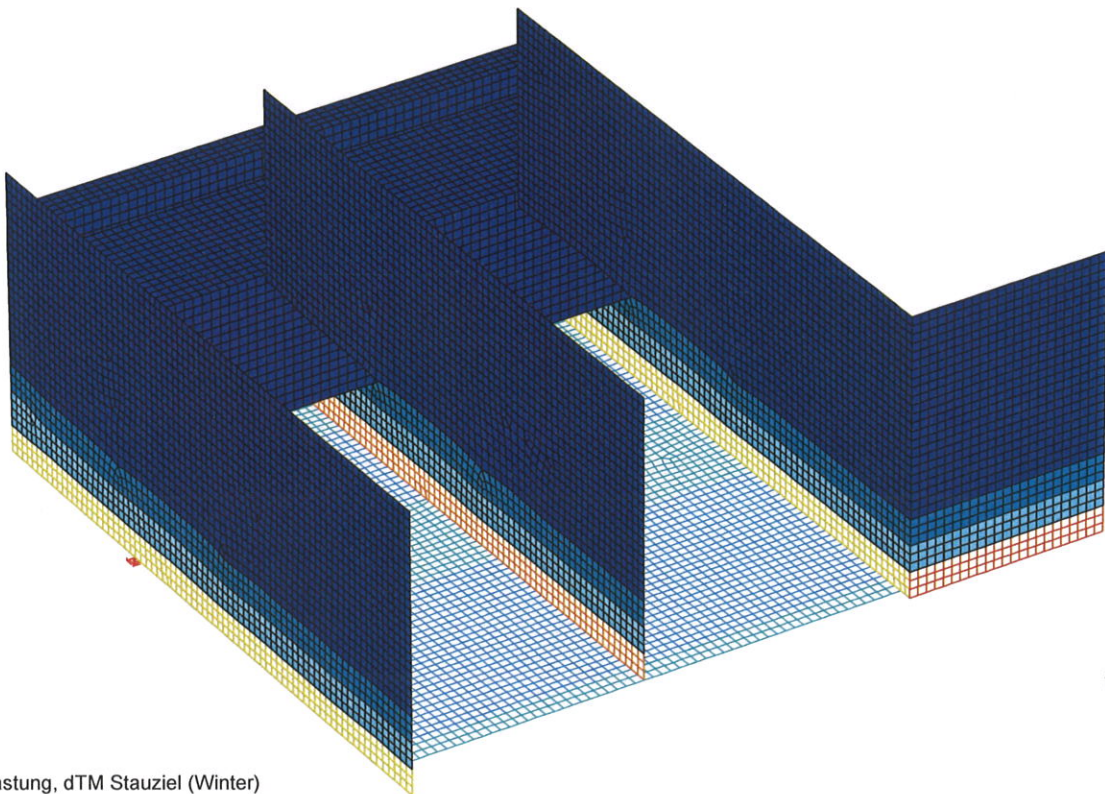
LF 25: Belastung, Verkehrslast Brücke, SLW 60, Flächenlast links

Lasten



LF 26: Belastung, dTM Stauziel (Sommer)

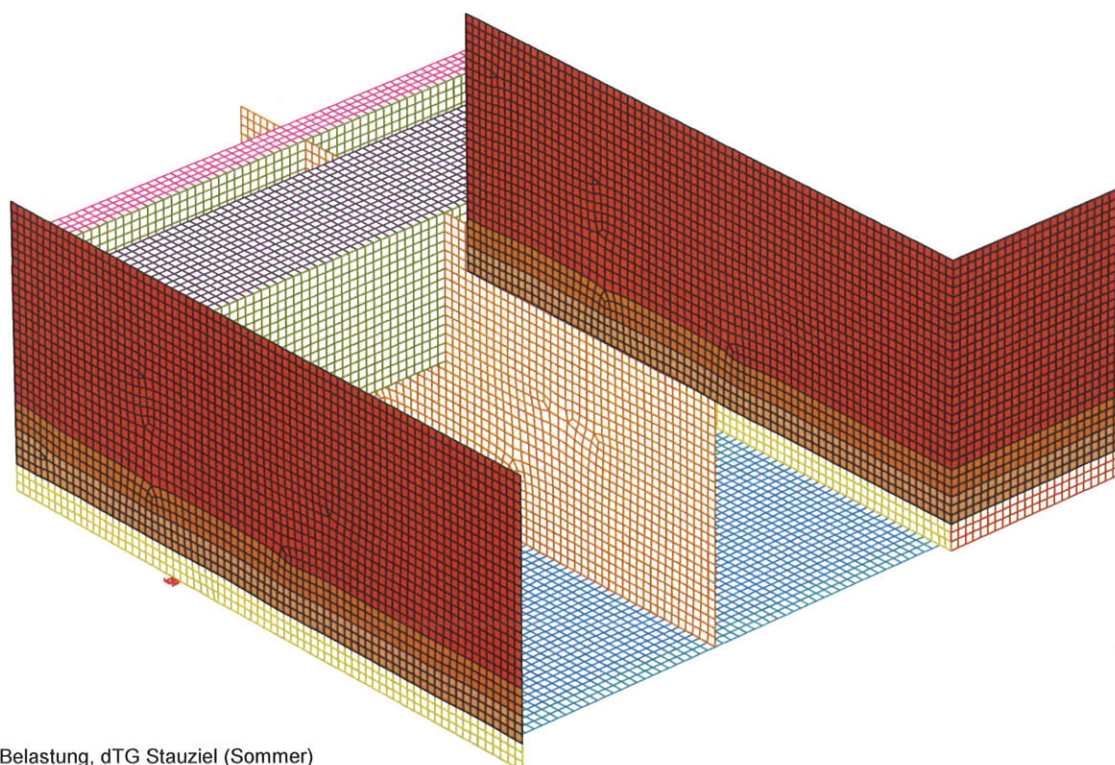
LF 26: Belastung, dTM Stauziel (Sommer)



LF 27: Belastung, dTM Stauziel (Winter)

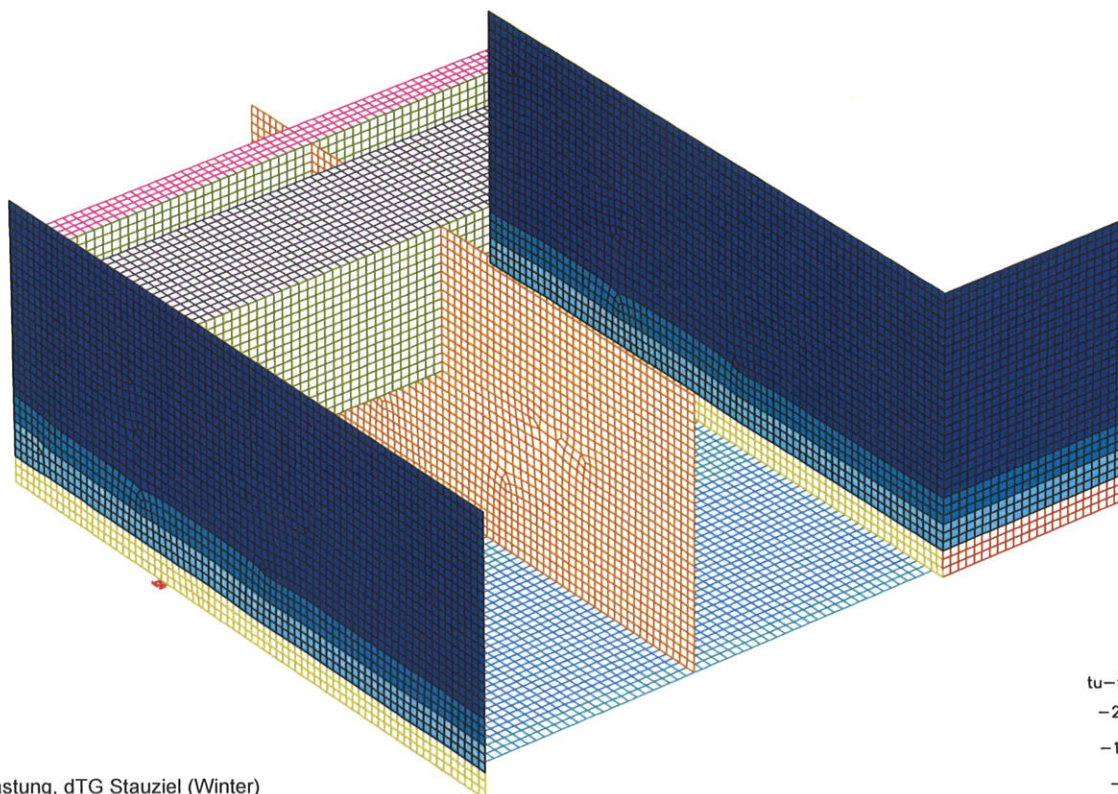
LF 27: Belastung, dTM Stauziel (Winter)

Lasten



LF 28: Belastung, dTG Stauziel (Sommer)

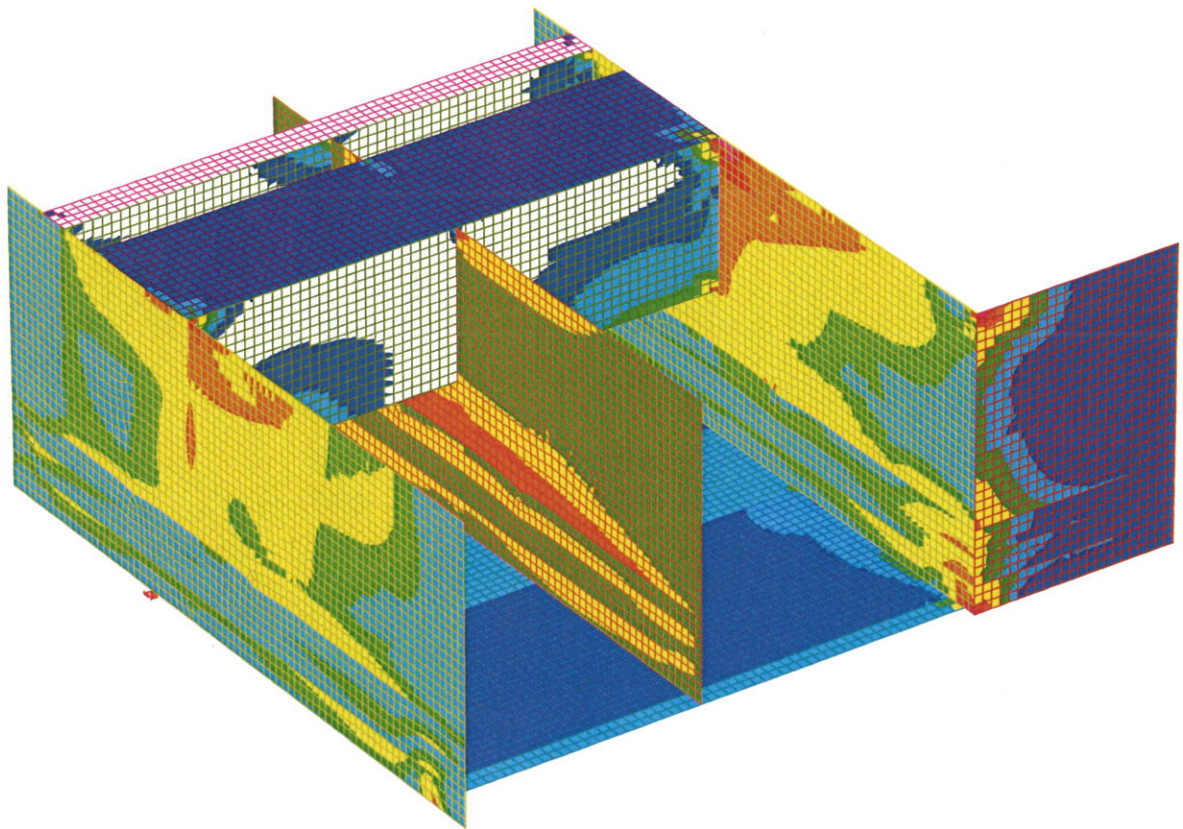
LF 28: Belastung, dTG Stauziel (Sommer)



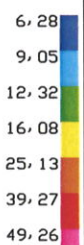
LF 29: Belastung, dTG Stauziel (Winter)

LF 29: Belastung, dTG Stauziel (Winter)

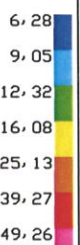
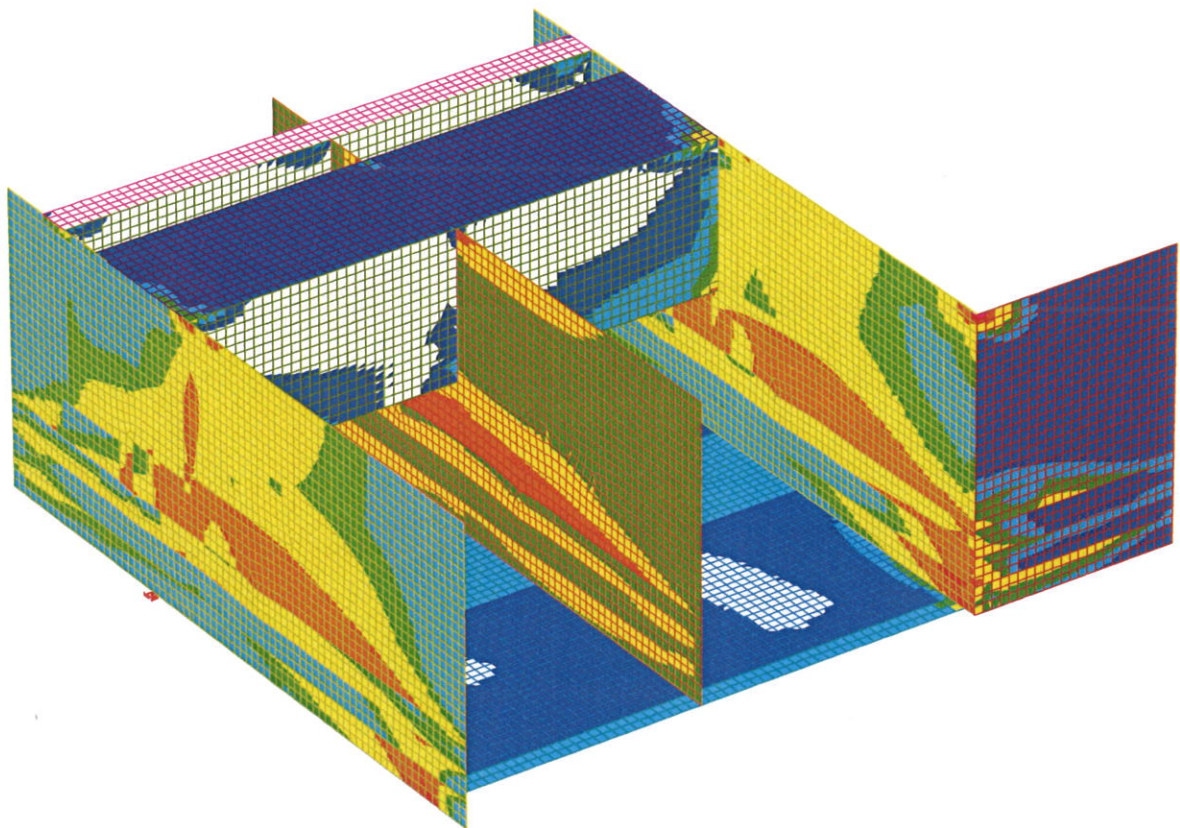
Bewehrung



LFK DIN1992.MAX: Maximum DIN EN 1992-1-1
Biegebewehrung asx 1. Lage [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/77,56 [cm²/m]
Berechnung in den Elementknoten, Gesamtgew. aus Bemessung: 24,4 t



Bewehrung

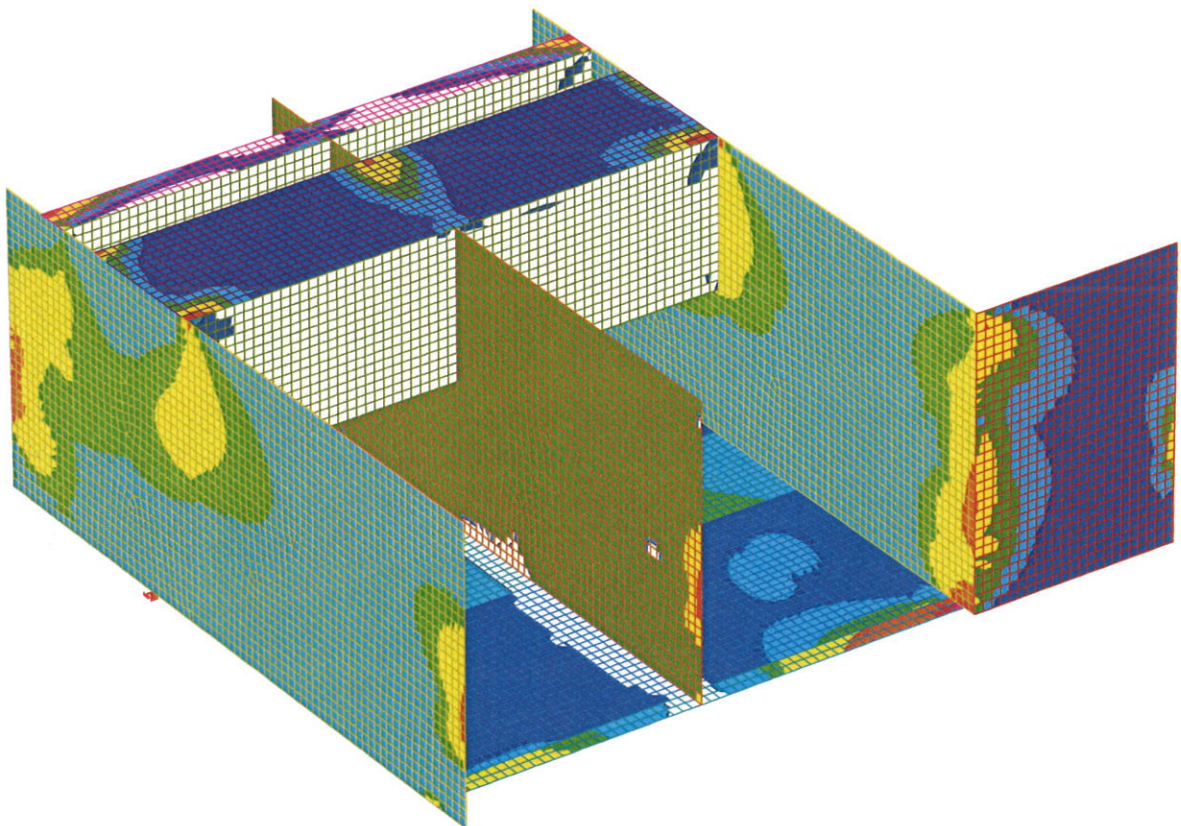


LFK DIN1992.MAX: Maximum DIN EN 1992-1-1
Biegebewehrung asx 2. Lage [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/66,11 [cm²/m]
Berechnung in den Elementknoten, Gesamtgew. aus Bemessung: 24,4 t

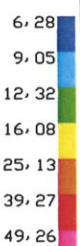
Objekt 7_Siel II

M = 1:145

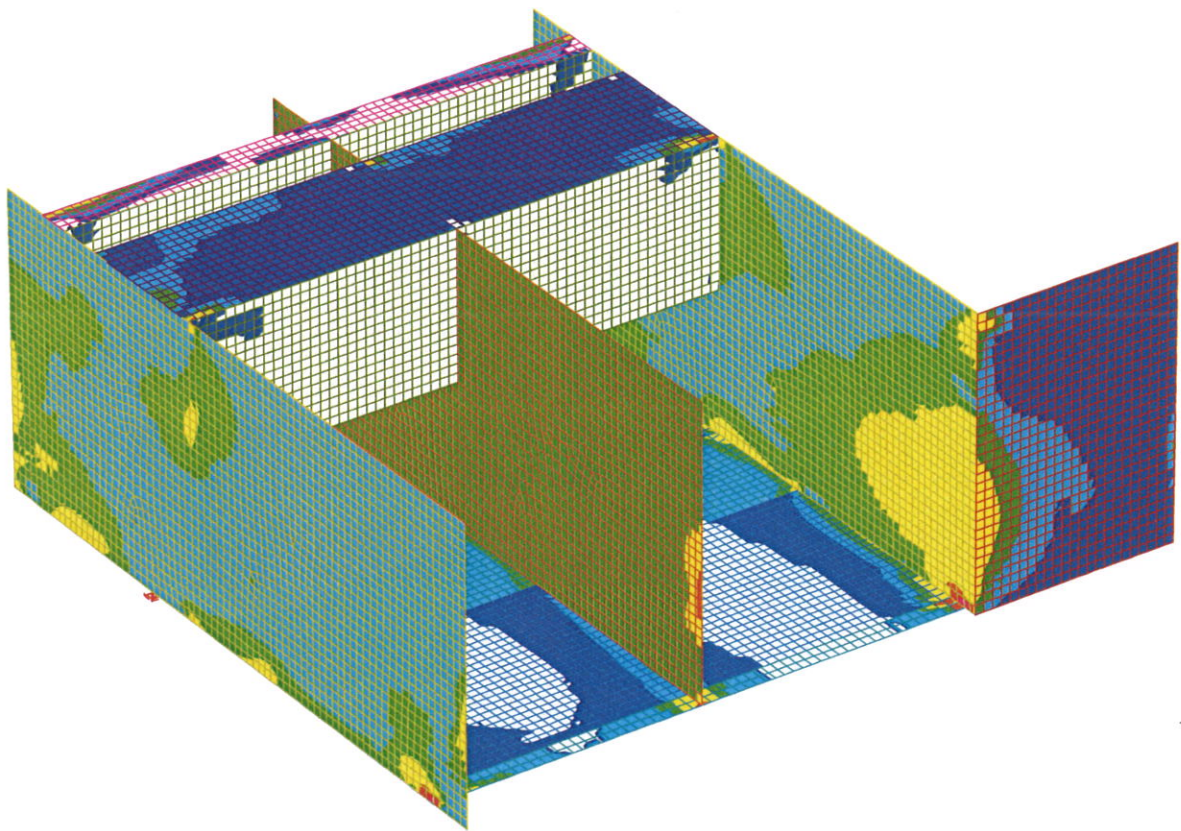
Bewehrung



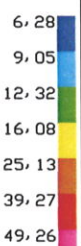
LFK DIN1992.MAX: Maximum DIN EN 1992-1-1
Biegebewehrung asy 1. Lage [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/103,21 [cm²/m]
Berechnung in den Elementknoten, Gesamtgew. aus Bemessung: 24,4 t



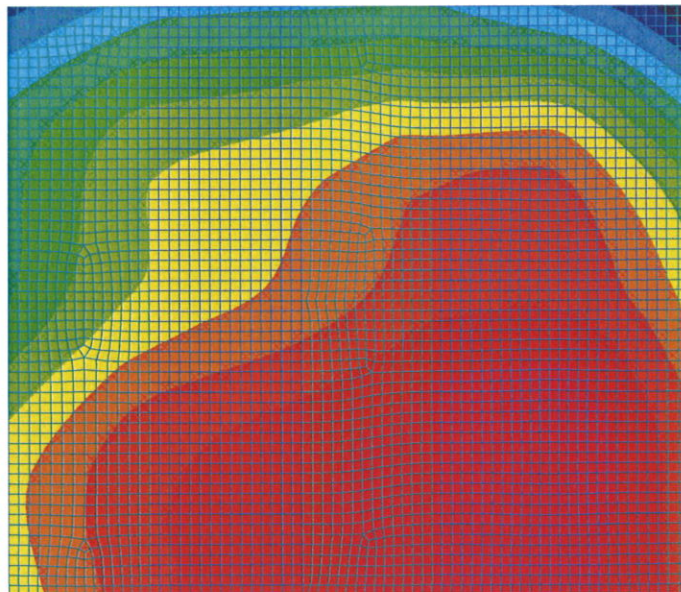
Bewehrung



LFK DIN1992.MAX: Maximum DIN EN 1992-1-1
Biegebewehrung asy 2. Lage [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/107,11 [cm²/m]
Berechnung in den Elementknoten, Gesamtgew. aus Bemessung: 24,4 t



Bodenpressung



-1,09e+02
 -1,06e+02
 -1,03e+02
 -1,00e+02
 -9,74e+01
 -9,45e+01
 -9,16e+01
 -8,86e+01
 -8,57e+01
 -8,28e+01
 -7,99e+01
 -7,70e+01
 -7,40e+01

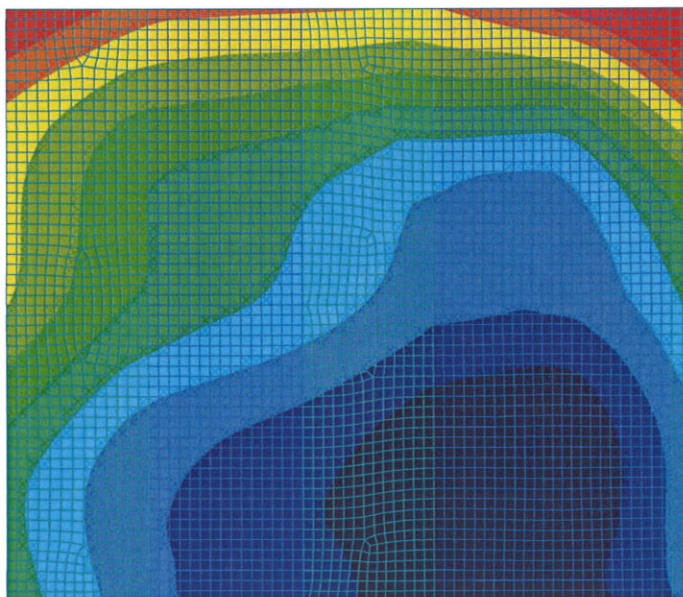
LFK DIN1992.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

Bodenpressungen min $\sigma_{\text{a.z}}$ [kN/m²]

Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -109,08/-74,03 [kN/m²]

LF 1: Belastung, Eigengewicht Stahlbetonbauwerk

Bodenpressungen $\sigma_{\text{a.z}}$ min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1



7,63e+00
 7,93e+00
 8,23e+00
 8,54e+00
 8,84e+00
 9,14e+00
 9,44e+00
 9,74e+00
 1,00e+01
 1,03e+01
 1,06e+01
 1,09e+01
 1,12e+01

LFK DIN1992.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

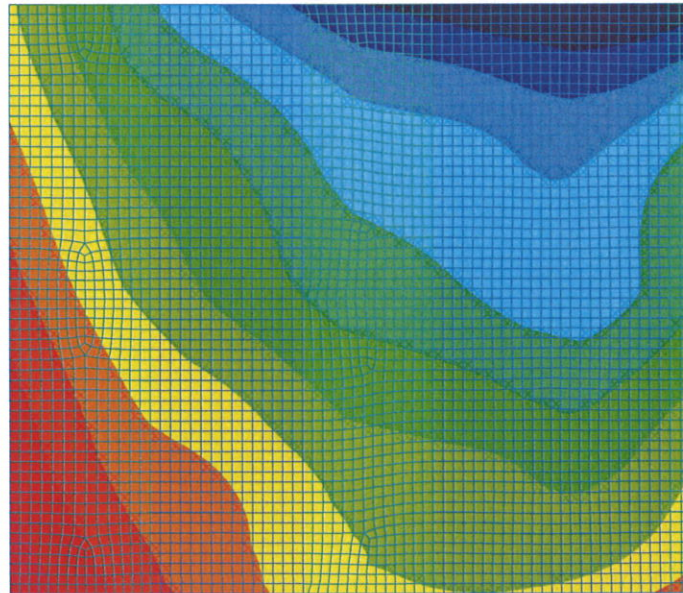
Deformationen max u_z [mm]

Wertebereich (Teilsystem, min/max): 7,63/11,25 [mm]

LF 1: Belastung, Eigengewicht Stahlbetonbauwerk

Deformationen u_z max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

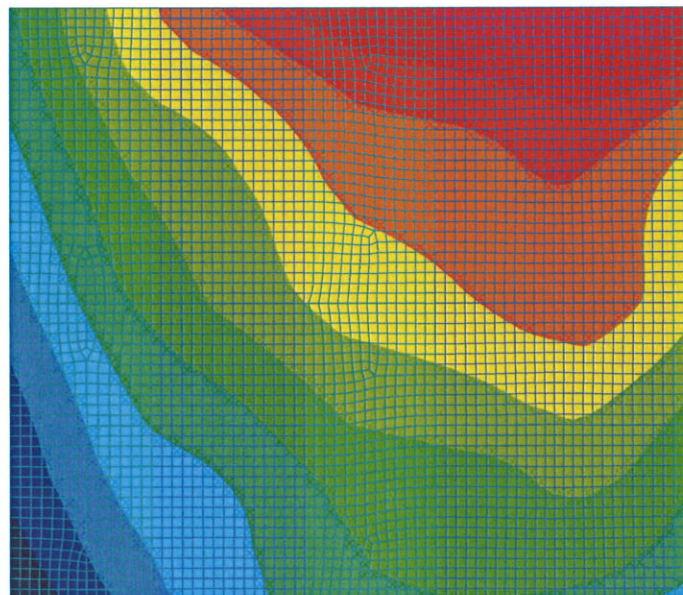
Bodenpressung



-7,63e+01
 -7,30e+01
 -6,96e+01
 -6,63e+01
 -6,30e+01
 -5,96e+01
 -5,63e+01
 -5,29e+01
 -4,96e+01
 -4,63e+01
 -4,29e+01
 -3,96e+01
 -3,63e+01

LFK DIN1992.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1
 Bodenpressungen max Sigma.z [kN/m²]
 Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -76,30/-36,26 [kN/m²]
 LF 1: Belastung, Eigengewicht Stahlbetonbauwerk

Bodenpressungen Sigma.z max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1



3,74e+00
 4,08e+00
 4,43e+00
 4,77e+00
 5,11e+00
 5,46e+00
 5,80e+00
 6,15e+00
 6,49e+00
 6,83e+00
 7,18e+00
 7,52e+00
 7,87e+00

LFK DIN1992.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1
 Deformationen min uz [mm]
 Wertebereich (Teilsystem, min/max): 3,74/7,87 [mm]
 LF 1: Belastung, Eigengewicht Stahlbetonbauwerk

Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

10.2 Anlage 2: Rissbreitenbemessung

- 2.1- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=60$ cm, $w_k=0,15$ mm, später Zwang
- 2.2- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=70$ cm, $w_k=0,20$ mm, früher Zwang
- 2.3- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=70$ cm, $w_k=0,20$ mm, später Zwang
- 2.4- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=120$ cm, $w_k=0,20$ mm, früher Zwang
- 2.5- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=120$ cm, $w_k=0,20$ mm, später Zwang
- 2.6- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=30$ cm, $w_k=0,20$ mm, früher Zwang
- 2.7- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=60$ cm, $w_k=0,15$ mm, früher Zwang
- 2.8- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=50$ cm, $w_k=0,20$ mm, früher Zwang
- 2.9- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=50$ cm, $w_k=0,20$ mm, später Zwang
- 2.10- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=30$ cm, $w_k=0,20$ mm, früher Zwang
- 2.11- Rissbreitenbemessung C35/45, $d=30$ cm, $w_k=0,20$ mm, später Zwang

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite $w_k = 0,15 \text{ mm}$
 Bauteildicke $h = 60 \text{ cm}$
 Betondeckung $c_{nom} = 6,0 \text{ cm}$
 Betongte $C35/45$ -
 Langsam erhärtender Beton? **Nein** -
 Stabdurchmesser $B_{gel} d_{sh} = 16 \text{ mm}$
 Stabdurchmesser Längsbew. $d_{sl} = 25 \text{ mm}$
 Stahlspannung $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
 $k_{ct} = 1,00$ -
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$
 $k_c = 1,0$ -
 $k = 0,62$ -
 $f_{ct,eff} = 3,2 \text{ N/mm}^2$
 $A_{ct} = 0,3 \text{ m}^2$
 Statische Nutzhöhe $d = 51,15 \text{ cm}$
 Abstand der Längsbew. $d_1 = 8,85 \text{ cm}$
 $\phi s^*(1) = 43,1 \text{ mm}$
 $\phi s^*(2) = 22,7 \text{ mm}$
 $\phi s^* = 22,7 \text{ mm}$
 $\sigma_s = 152 \text{ N/mm}^2$
 $h/d_1 = 6,8$ -
 $h_{c,eff}/d_1 = 2,68$ -
 $h_{c,eff} = 23,7 \text{ cm}$
 $As(1) = 39,2 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $As(2.1) = 50,0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $As(2.2) = 11,9 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $As(2) = 50,0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Reduktionsfaktor = 1,00 -

$A_{s,erforderlich} = 39,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zugehörige Tabellen:

f_{ctm}	$k_{ct} < 1$	$k_{ct} = 1$		k_{ct}
C20/25	2,2	3,0	N/mm ²	0,65
C25/30	2,6	3,0	N/mm ²	0,66
C30/37	2,9	3,0	N/mm ²	0,67
C35/45	3,2	3,2	N/mm ²	0,68
C40/50	3,5	3,5	N/mm ²	0,69
C45/55	3,8	3,8	N/mm ²	0,70
C50/60	4,1	4,1	N/mm ²	0,71
C55/67	4,2	4,2	N/mm ²	0,72
C60/75	4,4	4,4	N/mm ²	0,73
C70/85	4,6	4,6	N/mm ²	0,74
				0,75
				0,77
				0,79
				0,80
				0,82
				0,84
				0,85

$As(1) = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} / \sigma_s$ (Trennriss f r d nne Bauteile)
 $As(2.1) = f_{ct,eff} * A_{c,eff} / \sigma_s$ (Sekundärriss)
 $As(2.2) = k * f_{ct,eff} * A_{ct} / f_{yk}$ (Primärriss)
 $As(2) = \text{Maximum}(As(2.1); As(2.2))$
 Faktor = 0,85 bei langsam erhärtendem Beton ($r < 0,30$)
 gemäß NCI Zu 7.3.2 (Na.6)

$A_{s,erforderlich} = \text{Minimum}(As(1); As(2))$

4,91

$\emptyset \quad 25 \quad / \quad 12,5$

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite w_k =	0,2 mm
Bauteildicke h =	70 cm
Betondeckung c_{nom} =	6,0 cm
Betong te	C35/45 -
Langsam erhärtender Beton?	Nein -
Stabdurchmesser B gel d_{sh} =	16 mm
Stabdurchmesser Längsbew. d_{sl} =	23 mm
Stahlspannung f_{yk} =	500 N/mm ²
k_{ct} =	0,73 -
f_{ctm} =	3,2 N/mm ²
k_c =	1,0 -
k =	0,56 -
$f_{ct,eff}$ =	2,3 N/mm ²
A_{ct} =	0,35 m ²
Statische Nutzhöhe d =	61,25 cm
Abstand der Längsbew. d_1 =	8,75 cm
$\phi_s^*(1)$ =	51,0 mm
$\phi_s^*(2)$ =	28,6 mm
ϕ_s^* =	28,6 mm
ϕ_s =	156 N/mm ²
h / d_1 =	8,0 -
$h_{c,eff} / d_1$ =	2,80 -
$h_{c,eff}$ =	24,5 cm
$As(1)$ =	29,3 cm ² /m
$As(2.1)$ =	36,7 cm ² /m
$As(2.2)$ =	9,2 cm ² /m
$As(2)$ =	36,7 cm ² /m
Reduktionsfaktor =	1,00 -
$A_{s,erforderlich}$ =	29,3 cm ² /m

Zugehörige Tabellen:				
"Ja" f r < 0,30, sonst "Nein"	f_{ctm}	$k_{ct} < 1$	$k_{ct} = 1$	
	C20/25	2,2	3,0	N/mm ²
	C25/30	2,6	3,0	N/mm ²
	C30/37	2,9	3,0	N/mm ²
	C35/45	3,2	3,2	N/mm ²
	C40/50	3,5	3,5	N/mm ²
	C45/55	3,8	3,8	N/mm ²
	C50/60	4,1	4,1	N/mm ²
	C55/67	4,2	4,2	N/mm ²
	C60/75	4,4	4,4	N/mm ²
	C70/85	4,6	4,6	N/mm ²
				mittel:
				30 cm
				35 cm
				40 cm
				45 cm
				50 cm
				55 cm
				60 cm
				65 cm
				70 cm
				75 cm
				80 cm
				100 cm
				120 cm
				140 cm
				160 cm
				180 cm
				200 cm
				0,85

$k_{ct} = 0,65 - 1,0 \cdot f_r$ für hohen Zwang, $k_{ct} = 1,0$ für r späten Zwang	
aus Tabelle rechts	
$k_c = 1,0$ für zentrischen Zwang	
$k = 0,8$ für $d = 30 \text{ cm}$	
$k = 0,5$ für $d = 80 \text{ cm}$, dazwischen wird interpoliert	
$f_{ct,eff} = k_{ct} \cdot f_{ctm}$, aber für $k_c = 1,0$ ist $f_{ct,eff} \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$	
A_{ct} = halbe Bauteilfläche	
$d = h - c_{nom} - d_{sh} - d_{s1}/2$	
$d_1 = h - d$	
$\phi s^*(1) = d_{s1} \cdot 8 \cdot (h-d) / (k_c \cdot k \cdot h_{ct}) \cdot 2,9 / f_{ct,eff}$	
$\phi s^*(2) = d_{s1} \cdot 2,9 / f_{ct,eff}$	
ϕs^* = Minimum ($\phi s^*(1); \phi s^*(2)$)	
$\sigma_s = \text{WURZEL}(w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / \phi s^*)$ (aus Tabelle 7.2DE)	
$h_{ct,eff} / d_1 = 2,5$ für $r/h/d_1 = 5$	
$h_{ct,eff} / d_1 = 5,0$ für $r/h/d_1 = 30$, dazwischen wird interpoliert	
$h_{ct,eff} = h_{ct,eff} / d_1 \cdot d_1$	
$A_s(1) = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$ (Trennriss für reine Bauteile)	
$A_s(2.1) = f_{ct,eff} \cdot A_{ct,eff} / \sigma_s$ (Sekundärriss)	
$A_s(2.2) = k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$ (Primärriss)	
$A_s(2) = \text{Maximum}(A_s(2.1); A_s(2.2))$	
Faktor = 0,85 bei langsam erhärtendem Beton ($r < 0,30$)	
gemäß NCI zu 7.3.2 (Na.6)	
$A_{s,erforderlich} = \text{Minimum}(A_s(1); A_s(2))$	

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite w_k =	0,2 mm
Bauteildicke h =	70 cm
Betondeckung c_{nom} =	6,0 cm
Betongüte	C35/45
Langsam erhärtender Beton?	Nein
Stabdurchmesser B_{gel} d_{sh} =	16 mm
Stabdurchmesser Längsbew. d_{sl} =	25 mm
Stahlspannung f_{yk} =	500 N/mm ²
k_{ct} =	1,00
f_{ctm} =	3,2 N/mm ²
k_c =	1,0
k =	0,56
$f_{ct,eff}$ =	3,2 N/mm ²
A_{ct} =	0,35 m ²
Statische Nutzhöhe d =	61,15 cm
Abstand der Längsbew. d_1 =	8,85 cm
$\sigma_s^*(1)$ =	40,9 mm
$\sigma_s^*(2)$ =	22,7 mm
σ_s^* =	22,7 mm
σ_s =	175 N/mm ²
h/d_1 =	7,9
$h_{c,eff}/d_1$ =	2,79
$h_{c,eff}$ =	24,7 cm
$As(1)$ =	35,8 cm ² /m
$As(2.1)$ =	45,1 cm ² /m
$As(2.2)$ =	12,5 cm ² /m
$As(2)$ =	45,1 cm ² /m
Reduktionsfaktor =	1,00
$A_{s,erforderlich}$ =	35,8 cm ² /m

Zugehörige Tabellen:	f_{ctm}	$k_{ct} < 1$	$k_{ct} = 1$	
	C20/25	2,2	3,0	N/mm ²
	C25/30	2,6	3,0	N/mm ²
	C30/37	2,9	3,0	N/mm ²
	C35/45	3,2	3,2	N/mm ²
	C40/50	3,5	3,5	N/mm ²
	C45/55	3,8	3,8	N/mm ²
	C50/60	4,1	4,1	N/mm ²
	C55/67	4,2	4,2	N/mm ²
	C60/75	4,4	4,4	N/mm ²
	C70/85	4,6	4,6	N/mm ²
				mittel:
				30 cm
				35 cm
				40 cm
				45 cm
				50 cm
				55 cm
				60 cm
				65 cm
				70 cm
				75 cm
				80 cm
				100 cm
				120 cm
				140 cm
				160 cm
				180 cm
				200 cm
	8	0,503	cm ²	
	10	0,785	cm ²	
	12	1,13	cm ²	
	14	1,54	cm ²	
	16	2,01	cm ²	
	17	2,26	cm ²	
	20	3,14	cm ²	
	23	4,02	cm ²	
	25	4,91	cm ²	
	28	6,16	cm ²	
	12D =			
	16D =			

$As(1) = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$ (Trennriss f r d nne Bauteile)
 $As(2.1) = f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s$ (Sekundärriss)
 $As(2.2) = k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$ (Primärriss)
 $As(2) = \text{Maximum}(As(2.1); As(2.2))$
 Faktor = 0,85 bei langsam erhärtendem Beton ($r < 0,30$)
 gemäß NCI Zu 7.3.2 (Na.6)

$A_{s,erforderlich} = \text{Minimum}(As(1); As(2))$

4,91

Ø 25 / 13,7

Ermittlung der Rissebewehrung gemäß BAW-Merkblatt für massive Bauteile (> 0,8 m)

(Anwendung im Rahmen der ZTV-W LB 215)

(rote Werte müssen eingegeben werden, blaue Werte sind Zwischenergebnisse, gelb unterlegt sind Endergebnisse)

Bemessung einer Bodenplatte auf Biegezwang

Bauteilhöhe h: **1,2 m**
 Bauteilbreite b: **1,0 m**
 Randabstand der Bewehrung d1: **80 mm**
 Durchmesser der Bewehrung ds: **25 mm**
 zulässige rechnerische Rissbreite w(k): **0,2 mm**
 E-Modul der Bewehrung: **200000 N/mm²**
 Betonwichte gamma: **25 kN/m³**
 Betongüte: **C35/45 -**
 f(ctm) (aus Tabelle) = **3,2 N/mm²**
 E(ctm) (aus Tabelle) = **34 N/mm²**
 Betonage im Winter (siehe Randbedingungen!) ? **nein**

Beton	f(ctm)	E(ctm)
C16/20	1,9	29
C20/25	2,2	30
C25/30	2,6	31
C30/37	2,9	33
C35/45	3,2	34
C40/50	3,5	35

("Tabelle 1" aus BAW-Merkblatt)

Ein Winterszenario ist dann gegeben, wenn die Frischbetontemperatur 15 °C und die Umgebungstemperatur während der gesamten Hydrationsphase 10 °C nicht übersteigen.

Wird die Reduktion der adiabatischen Temperaturerhöhung k_{JZ}^M genutzt, ist darauf zu achten, dass das gesamte Bauwerk während winterlicher Temperaturen zu errichten ist.

Temperaturerhöhung im Bauteilkern gemäß Zementmerkbblatt B11:

Zementmenge im Beton: **300 kg/m³**
 Hydrationswärme des Betons (gemäß Tabelle aus B11): **325 kJ/kg**
 Spezifische Wärmekapazität des Betons c(B): **1,0 kJ/(kg·K)**
 Frischbetonrohddichte roh(B): **2350 kg/m³**

Tafel 1: Richtwerte für die Hydrationswärme deutscher Zemente bestimmt mit dem Lösungskalorimeter nach DIN EN 196-8 (isothermische Lagerung, 20 °C)

Zementfestigkeitsklasse	Hydrationswärme nach Tagen [kJ/kg]			
	1	3	7	28
32,5 N	60...175	125...250	150...300	200...375
32,5 R/42,5 N	125...200	200...335	275...375	300...425
42,5 R/52,5 N/52,5 R	200...275	300...350	325...375	375...425

deltaT(adiab,7d) = **41,5 K**

$$\Delta T_{\text{adiab}} = \frac{z \cdot H_{\text{net}}}{c_B \cdot \rho_B}$$

Rissabstand in plattenartigen Bauteilen l(cr,Pl) = **7,16 m**

$$l_{\text{cr,Pl}} = \sqrt{\frac{f_{\text{ctm}} \cdot h}{3 \cdot \gamma}}$$

Dimensionierung der oberen Bewehrung:

k(0,M) = 0,07 + h * 0,1 = **0,19 -**
 k(0,M) <= 0,37 ! **0,37 -**
 k(0,M) = **0,19 -**
 k(FK,M) (aus Tabelle) = **1,1**
 k(JZ,M) (aus Tabelle) = **1,0**

Beton	k(FK,M)
C16/20	1
C20/25	1
C25/30	1,05
C30/37	1,1
C35/45	1,1
C40/50	1,1

Äquivalente Temperaturdifferenz bei Biegezwang deltaT(Mi):

deltaT(Mi) = k(0,M)*k(FK,M)*k(JZ,M)*deltaT(adiab,7d) = **8,7 K**

$$\Delta T_{M1} = k_0^M \cdot k_{FK}^M \cdot k_{JZ}^M \cdot \Delta T_{\text{adiab,7d}}$$

Betonage	k(JZ,M)
im Winter?	
ja	0,6
nein	1,0

(Tabellen aus den Vorgaben des BAW-Merkblatts)

Anzahl der erforderlichen Sekundärrisse n:

n >= 0,044 * deltaT(M) * l(cr,Pl) - 1,1 = **1,6 -**

Erforderliche Bewehrung:

a(s,erf) = **39,91 cm²** (bezogen auf Bauteilbreite!)

$$a_{s,erf} = \sqrt{\frac{d_s \cdot d_1^2 \cdot b^2 \cdot f_{ctm}}{w^p \cdot E_s}} \cdot (0,69 + 0,34 \cdot n)$$

Die untere Bewehrung ist nur abhängig von der Betonfestigkeitsklasse:

min a_{s,unten} = Ø 25/20 mit 24,54 cm²/m für C 20/25 und C 25/30
 min a_{s,unten} = Ø 28/20 mit 30,79 cm²/m für C 30/37.

Ermittlung der Rissbewehrung gemäß BAW-Merkblatt für massive Bauteile(> 0,8 m)

(Anwendung im Rahmen der ZTV-W LB 215)

(rote Werte müssen eingegeben werden, blaue Werte sind Zwischenergebnisse, gelb unterlegt sind Endergebnisse)

Bemessung einer Bodenplatte auf Biegezwang

Bauteilhöhe h: 1,2 m
 Bauteilbreite b: 1,0 m
 Randabstand der Bewehrung d1: 80 mm
 Durchmesser der Bewehrung ds: 28 mm
 zulässige rechnerische Rissbreite w(k): 0,2 mm
 E-Modul der Bewehrung: 200000 N/mm²
 Betonwichte gamma: 25 kN/m³
 Betongüte: C35/45 -
 f(ctm) (aus Tabelle) = 3,2 N/mm²
 E(ctm) (aus Tabelle) = 34 N/mm²
 Betonage im Winter (siehe Randbedingungen!) ? nein

Beton	f(ctm)	E(ctm)
C16/20	1,9	29
C20/25	2,2	30
C25/30	2,6	31
C30/37	2,9	33
C35/45	3,2	34
C40/50	3,5	35

("Tabelle 1" aus BAW-Merkblatt)

Ein Winterszenario ist dann gegeben, wenn die Frischbetontemperatur 15 °C und die Umgebungstemperatur während der gesamten Hydrationsphase 10 °C nicht übersteigen.

Wird die Reduktion der adiabatischen Temperaturerhöhung k_{JZ}^M genutzt, ist darauf zu achten, dass das gesamte Bauwerk während winterlicher Temperaturen zu errichten ist.

Temperaturerhöhung im Bauteilkern gemäß Zementmerkblatt B11:

Zementmenge im Beton: 300 kg/m³
 Hydrationswärme des Betons (gemäß Tabelle aus B11): 362,5 kJ/kg
 Spezifische Wärmekapazität des Betons c(B): 1,0 kJ/(kg·K)
 Frischbetonrohddichte roh(B): 2350 kg/m³

Tafel 1: Richtwerte für die Hydrationswärme deutscher Zemente bestimmt mit dem Lösungskalorimeter nach DIN EN 196-8 (isothermische Lagerung, 20 °C)

Zementfestigkeitsklasse	Hydrationswärme nach Tagen [kJ/kg]	1	3	7	28
32,5 N	60...175	125...250	150...300	200...375	
32,5 R/42,5 N	125...200	200...335	275...375	300...425	
42,5 R/52,5 N/52,5 R	200...275	300...350	325...375	375...425	

deltaT(adiab,7d) = 46,3 K

$$\Delta T_{\text{adiab}} = \frac{z \cdot H_{\text{ad}}}{c_B \cdot \rho_B}$$

Rissabstand in plattenartigen Bauteilen l(cr,Pl) = 7,16 m

$$l_{\text{cr,Pl}} = \sqrt{\frac{f_{\text{ctm}} \cdot h}{3 \cdot \gamma}}$$

Dimensionierung der oberen Bewehrung:

k(0,M) = 0,07 + h * 0,1 = 0,19 -
 k(0,M) ≤ 0,37 ! 0,37 -
 k(0,M) = 0,19 -
 k(FK,M) (aus Tabelle) = 1,1
 k(JZ,M) (aus Tabelle) = 1,0

Beton	k(FK,M)
C16/20	1
C20/25	1
C25/30	1,05
C30/37	1,1
C35/45	1,1
C40/50	1,1

Äquivalente Temperaturdifferenz bei Biegezwang deltaT(Mi):

deltaT(Mi) = k(0,M)*k(FK,M)*k(JZ,M)*deltaT(adiab,7d) = 9,7 K

$$\Delta T_{M1} = k_0^M \cdot k_{FK}^M \cdot k_{JZ}^M \cdot \Delta T_{\text{adiab,7d}}$$

Betonage	k(JZ,M)
im Winter?	
ja	0,6
nein	1,0

(Tabellen aus den Vorgaben des BAW-Merkblatts)

Anzahl der erforderlichen Sekundärrisse n:

n ≥ 0,044 * deltaT(M) * l(cr,Pl) - 1,1 = 1,9 -

Erforderliche Bewehrung:

a(s,erf) = 44,01 cm²

(bezogen auf Bauteilbreite!)

$$a_{s,erf} = \sqrt{\frac{d_s \cdot d_1^2 \cdot b^2 \cdot f_{ctm}}{w^p \cdot E_s}} \cdot (0,69 + 0,34 \cdot n)$$

Die untere Bewehrung ist nur abhängig von der Betonfestigkeitsklasse:

min a_{s,unten} = Ø 25/20 mit 24,54 cm²/m für C 20/25 und C 25/30
 min a_{s,unten} = Ø 28/20 mit 30,79 cm²/m für C 30/37.

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite $w_k = 0,2 \text{ mm}$
 Bauteildicke $h = 30 \text{ cm}$
 Betondeckung $c_{nom} = 6,0 \text{ cm}$
 Beton te **C35/45** -
 Langsam erhärtender Beton? **Nein** -
 Stabdurchmesser $B_{gel} d_{sh} = 10 \text{ mm}$
 Stabdurchmesser Längsbew. $d_{sl} = 16 \text{ mm}$
 Stahlspannung $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
 $k_{ct} = 0,65$ -
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$
 $k_c = 1,0$ -
 $k = 0,80$ -
 $f_{ct,eff} = 2,1 \text{ N/mm}^2$
 $A_{ct} = 0,15 \text{ m}^2$
 Statische Nutzhöhe $d = 22,2 \text{ cm}$
 Abstand der Längsbew. $d_1 = 7,8 \text{ cm}$
 $\phi s^*(1) = 58,0 \text{ mm}$
 $\phi s^*(2) = 22,3 \text{ mm}$
 $\phi s^* = 22,3 \text{ mm}$
 $\sigma_s = 177 \text{ N/mm}^2$
 $h/d_1 = 3,8$ -
 $h_{c,eff}/d_1 = 2,50$ -
 $h_{c,eff} = 19,5 \text{ cm}$
 $As(1) = 14,1 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $As(2.1) = 23,0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $As(2.2) = 5,0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $As(2) = 23,0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Reduktionsfaktor = 1,00 -

$A_{s,erforderlich} = 14,1 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zugehörige Tabellen:

f_{ctm}	$k_{ct} < 1$	$k_{ct} = 1$	k_{ct}
C20/25	2,2	3,0	N/mm ²
C25/30	2,6	3,0	N/mm ²
C30/37	2,9	3,0	N/mm ²
C35/45	3,2	3,2	N/mm ²
C40/50	3,5	3,5	N/mm ²
C45/55	3,8	3,8	N/mm ²
C50/60	4,1	4,1	N/mm ²
C55/67	4,2	4,2	N/mm ²
C60/75	4,4	4,4	N/mm ²
C70/85	4,6	4,6	N/mm ²

mittel: k_{ct}

8	0,503 cm ²	30 cm	0,65
10	0,785 cm ²	35 cm	0,66
12	1,13 cm ²	40 cm	0,67
14	1,54 cm ²	45 cm	0,68
16	2,01 cm ²	50 cm	0,69
17	2,26 cm ²	55 cm	0,70
20	3,14 cm ²	60 cm	0,71
23	4,02 cm ²	65 cm	0,72
25	4,91 cm ²	70 cm	0,73
28	6,16 cm ²	75 cm	0,74
		80 cm	0,75
		100 cm	0,77
		120 cm	0,79
		140 cm	0,80
		160 cm	0,82
		180 cm	0,84
		200 cm	0,85

2,01

ϕ 16 / 14,2

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite w_k =	0,15 mm
Bauteildicke h =	60 cm
Betondeckung c_{nom} =	6,0 cm
Betongüte	C35/45
Langsam erhärtender Beton?	Nein
Stabdurchmesser B_{gel}	16 mm
Stabdurchmesser Längsbew. d_{sl} =	23 mm
Stahlspannung f_{yk} =	500 N/mm ²
k_{ct} =	0,71
f_{ctm} =	3,2 N/mm ²
k_c =	1,0
k =	0,62
$f_{ct,eff}$ =	2,3 N/mm ²
A_{ct} =	0,3 m ²
Statische Nutzhöhe d =	51,25 cm
Abstand der Längsbew. d_1 =	8,75 cm
$\sigma_s^*(1)$ =	55,2 mm
$\sigma_s^*(2)$ =	29,4 mm
σ_s^* =	29,4 mm
σ_s =	133 N/mm ²
h/d_1 =	6,9
$h_{c,eff}/d_1$ =	2,69
$h_{c,eff}$ =	23,5 cm
$As(1)$ =	31,7 cm ² /m
$As(2.1)$ =	40,0 cm ² /m
$As(2.2)$ =	8,5 cm ² /m
$As(2)$ =	40,0 cm ² /m
Reduktionsfaktor =	1,00
$A_{s,erforderlich}$ =	31,7 cm ² /m

Zugehörige Tabellen:			
f_{ctm}	$k_{ct} < 1$	$k_{ct} = 1$	
C20/25	2,2	3,0	N/mm ²
C25/30	2,6	3,0	N/mm ²
C30/37	2,9	3,0	N/mm ²
C35/45	3,2	3,2	N/mm ²
C40/50	3,5	3,5	N/mm ²
C45/55	3,8	3,8	N/mm ²
C50/60	4,1	4,1	N/mm ²
C55/67	4,2	4,2	N/mm ²
C60/75	4,4	4,4	N/mm ²
C70/85	4,6	4,6	N/mm ²
mittel:			k_{ct}
			30 cm 0,65
			35 cm 0,66
			40 cm 0,67
			45 cm 0,68
			50 cm 0,69
			55 cm 0,70
			60 cm 0,71
			65 cm 0,72
			70 cm 0,73
			75 cm 0,74
			80 cm 0,75
			100 cm 0,77
			120 cm 0,79
			140 cm 0,80
			160 cm 0,82
			180 cm 0,84
			200 cm 0,85
8	0,503	cm ²	
10	0,785	cm ²	
12	1,13	cm ²	
14	1,54	cm ²	
16	2,01	cm ²	
17	2,26	cm ²	
20	3,14	cm ²	
23	4,02	cm ²	
25	4,91	cm ²	
28	6,16	cm ²	
12D =			
16D =			

4,02

Ø 23 / 12,7

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite $w_k = 0,2 \text{ mm}$
 Bauteildicke $h = 50 \text{ cm}$
 Betondeckung $c_{nom} = 6,0 \text{ cm}$
 Betongüte $C35/45$
 Langsam erhärtender Beton? **Nein**
 Stabdurchmesser B_{gel} $d_{sh} = 16 \text{ mm}$
 Stabdurchmesser Längsbew. $d_{sl} = 23 \text{ mm}$
 Stahlspannung $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
 $k_{c,t} = 1,00$
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$
 $k_c = 1,0$
 $k = 0,68$
 $f_{ct,eff} = 3,2 \text{ N/mm}^2$
 $A_{ct} = 0,25 \text{ m}^2$
 Statische Nutzhöhe $d = 41,25 \text{ cm}$
 Abstand der Längsbew. $d_1 = 8,75 \text{ cm}$
 $\phi s^*(1) = 42,9 \text{ mm}$
 $\phi s^*(2) = 20,8 \text{ mm}$
 $\phi s^* = 20,8 \text{ mm}$
 $\sigma_s = 183 \text{ N/mm}^2$
 $h/d_1 = 5,7$
 $h_{c,eff}/d_1 = 2,57$
 $h_{c,eff} = 22,5 \text{ cm}$
 $A_s(1) = 29,8 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $A_s(2.1) = 39,4 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $A_s(2.2) = 10,9 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $A_s(2) = 39,4 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Reduktionsfaktor = 1,00

$A_{s,erforderlich} = 29,8 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zugehörige Tabellen:

f_{ctm}	$k_{c,t} < 1$	$k_{c,t} = 1$
C20/25	2,2	3,0
C25/30	2,6	3,0
C30/37	2,9	3,0
C35/45	3,2	3,2
C40/50	3,5	3,5
C45/55	3,8	3,8
C50/60	4,1	4,1
C55/67	4,2	4,2
C60/75	4,4	4,4
C70/85	4,6	4,6

mittel: $k_{c,t}$

30 cm	0,65
35 cm	0,66
40 cm	0,67
45 cm	0,68
50 cm	0,69
55 cm	0,70
60 cm	0,71
65 cm	0,72
70 cm	0,73
75 cm	0,74
80 cm	0,75
100 cm	0,77
120 cm	0,79
140 cm	0,80
160 cm	0,82
180 cm	0,84
200 cm	0,85

4,02

ϕ 23 / 13,5

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite w_k	0,2 mm
Bauteildicke h	30 cm
Betondeckung c_{nom}	6,0 cm
Betong te	C35/45 -
Langsam erhärtender Beton?	Nein -
Stabdurchmesser B gel d_{sh}	16 mm
Stabdurchmesser Längsbew. d_{sl}	16 mm
Stahlspannung f_{yk}	500 N/mm ²
$k_{c,1t}$	0,65 -
f_{ctm}	3,2 N/mm ²
k_c	1,0 -
k	0,80 -
$f_{ct,eff}$	2,1 N/mm ²
A_{ct}	0,15 m ²
Statische Nutzhöhe d	21,6 cm
Abstand der Längsbew. d_1	8,4 cm
$\phi_s^*(1) =$	62,5 mm
$\phi_s^*(2) =$	22,3 mm
$\phi_s^* =$	22,3 mm
σ_s	177 N/mm ²
$h / d_1 =$	3,6 -
$h_{c,eff} / d_1 =$	2,50 -
$h_{c,eff} =$	21 cm

As(1)=	14,1 cm ² /m	As(1) = k _c * k * f _{ct,eff} * A _{ct} / σ _s	(Trennriss f r d nne Bauteile)
As(2.1)=	24,7 cm ² /m	As(2.1) = f _{ct,eff} * A _{c,eff} / σ _s	(Sekundärriss)
As(2.2)=	5,0 cm ² /m	As(2.2) = k * f _{ct,eff} * A _{ct} / f _{yk}	(Primärriss)
As(2)=	24,7 cm ² /m	As(2)=Maximum (As(2.1);As(2.2))	
Reduktionsfaktor =	1,00 -	Faktor = 0,85 bei langsam erhöhendem Beton (r<0,30)	
		gemäß NCI Zu 7.3.2 (Na.6)	

$A_{s,erforderlich} = \text{Minimum (As(1); As(2))}$

Faktor = 0,85 bei langsam erhärtendem Beton ($r < 0,30$)

Zugehörige Tabellen:		
f_{ctm}	$k_{c,t} < 1$	$k_{c,t} = 1$
C20/25	2,2	3,0
C25/30	2,6	3,0
C30/37	2,9	3,0
C35/45	3,2	3,2
C40/50	3,5	3,5
C45/55	3,8	3,8
C50/60	4,1	4,1
C55/67	4,2	4,2
C60/75	4,4	4,4
C70/85	4,6	4,6
8	0,503	cm ²
10	0,785	cm ²
12	1,13	cm ²
14	1,54	cm ²
16	2,01	cm ²
17	2,26	cm ²
20	3,14	cm ²
23	4,02	cm ²
25	4,91	cm ²
28	6,16	cm ²

Rote Werte müssen eingegeben werden, alle weiteren Werte werden berechnet!

Geforderte Rissbreite $w_k = 0,2 \text{ mm}$
 Bauteildicke $h = 30 \text{ cm}$
 Betondeckung $c_{nom} = 6,0 \text{ cm}$
 Betongte **C35/45** -
 Langsam erhärtender Beton? **Nein** -
 Stabdurchmesser $B_{gel} d_{st} = 16 \text{ mm}$
 Stabdurchmesser Längsbew. $d_{sl} = 20 \text{ mm}$
 Stahlspannung $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

$k_{ct} = 1,00$ -
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$

$k_c = 1,0$ -
 $k = 0,80$ -

$f_{ct,eff} = 3,2 \text{ N/mm}^2$
 $A_{ct} = 0,15 \text{ m}^2$

Statische Nutzhöhe $d = 21,4 \text{ cm}$

Abstand der Längsbew. $d_1 = 8,6 \text{ cm}$

$\sigma_s^*(1) = 52,0 \text{ mm}$

$\sigma_s^*(2) = 18,1 \text{ mm}$

$\sigma_s^* = 18,1 \text{ mm}$

$\sigma_s = 196 \text{ N/mm}^2$

$h/d_1 = 3,5$ -

$h_{c,eff}/d_1 = 2,50$ -

$h_{c,eff} = 21,5 \text{ cm}$

$As(1) = 19,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

$As(2.1) = 35,1 \text{ cm}^2/\text{m}$

$As(2.2) = 7,7 \text{ cm}^2/\text{m}$

$As(2) = 35,1 \text{ cm}^2/\text{m}$

Reduktionsfaktor = 1,00 -

$A_{s,erforderlich} = 19,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zugehörige Tabellen:

f_{ctm}	$k_{ct} < 1$	$k_{ct} = 1$		k_{ct}
C20/25	2,2	3,0	N/mm ²	mittel: 30 cm
C25/30	2,6	3,0	N/mm ²	35 cm
C30/37	2,9	3,0	N/mm ²	40 cm
C35/45	3,2	3,2	N/mm ²	45 cm
C40/50	3,5	3,5	N/mm ²	50 cm
C45/55	3,8	3,8	N/mm ²	55 cm
C50/60	4,1	4,1	N/mm ²	60 cm
C55/67	4,2	4,2	N/mm ²	65 cm
C60/75	4,4	4,4	N/mm ²	70 cm
C70/85	4,6	4,6	N/mm ²	75 cm

$f_{ct,eff} = k_{ct} \cdot f_{ctm}$, aber $f_{ct,eff} \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$

A_{ct} = halbe Bauteilfläche

$d = h - c_{nom} - d_{st} - d_{sl}/2 =$

$d_1 = h - d =$

$\sigma_s^*(1) = d_{st} \cdot 8 \cdot (h-d) / (k_c \cdot k \cdot h_{ct}) \cdot 2,9 / f_{ct,eff}$

$\sigma_s^*(2) = d_{sl} \cdot 2,9 / f_{ct,eff}$

$\sigma_s^* = \text{Minimum}(\sigma_s^*(1); \sigma_s^*(2))$

$\sigma_s = \text{WURZEL}(w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / \sigma_s^*)$ (aus Tabelle 7.2DE)

$h_{c,eff}/d_1 = 2,5$ $f_{r,h}/d_1 = 5$

$h_{c,eff}/d_1 = 5,0$ $f_{r,h}/d_1 = 30$, dazwischen wird interpoliert

$h_{c,eff} = h_{c,eff}/d_1 \cdot d_1$

$As(1) = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$ (Trennriss für innere Bauteile)

$As(2.1) = f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s$ (Sekundärriss)

$As(2.2) = k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$ (Primärriss)

$As(2) = \text{Maximum}(As(2.1); As(2.2))$

Faktor = 0,85 bei langsam erhärtendem Beton ($r < 0,30$)

gemäß NCI Zu 7.3.2 (Na.6)

$A_{s,erforderlich} = \text{Minimum}(As(1); As(2))$

3.14

$\emptyset \quad 20 \quad / \quad 16,0$