

12.12.2024

Erweiterung und Instandsetzung Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt

Teil D:

Teilobjekte Nebenanlagen (TO13, 16 und weitere Betroffenheiten)
Unterlage 5.2 – Standsicherheits- und statische Nachweise
Massivbau

Entwurfs- und Genehmigungsplanung



Schöpfwerk Henschleben II mit Mahlbusen

Ingenieurgesellschaft HRB Straußfurt
c/o Tractebel Hydroprojekt GmbH
Rießnerstraße 18
99427 Weimar

TRACTEBEL


 **INROS LACKNER**

Ingenieurgemeinschaft HRB Straußfurt

c/o Tractebel Hydroprojekt GmbH
Rießnerstraße 18 | 99427 Weimar
Tel: +49 3643 746-400 | Fax: +49 3643 746-405
hydroprojekt-DE@tractebel.engie.com
www.hydroprojekt.de

Unterschriftenblatt

Projekt **Erweiterung und Instandsetzung HRB Straußfurt**
Teil D:
Teilobjekte Nebenanlagen (TO13, 16 und weitere Betroffenenheiten)
Unterlage 5.2 – Standsicherheits- und statische Nachweise, Massivbau

Projektnummer 100 3492 (Tractebel Hydroprojekt GmbH)
2022-0617 (Inros Lackner SE)

Auftraggeber **Thüringer Fernwasserversorgung**
Anstalt des öffentlichen Rechts
Haarbergstr. 37
99097 Erfurt
Freigabe:


i. V. Dr. Michael Sabrowski
Leiter Stauanlagenmanagement
Erfurt, den 12.12.2024


i. V. Detlef Hogh
Projektingenieur

Auftragnehmer **Ingenieurgemeinschaft HRB Straußfurt**
c/o Tractebel Hydroprojekt GmbH
Rießnerstraße 18
99427 Weimar

Projektleitung Dipl.-Ing. Lars Schaarschmidt

Fachliche Qualitätssicherung Dipl.-Ing. Holger Rosenkranz

Bearbeitung Dipl.-Ing. Lars Schaarschmidt
Dipl.-Ing. Albrecht Köhler
Dipl.-Ing. Fabius Volmer
Dipl.-Ing. Marco Sommerwerk
Dipl.-Ing. Olaf Schneider

Weimar, 12.12.2024

Ingenieurgemeinschaft HRB Straußfurt


Lars Schaarschmidt
Projektleiter


Marco Sommerwerk
Projektingenieur

Stand sicherheits- und statische Nachweise, Massivbau

INHALTSVERZEICHNIS

1	Vorhabenträger	1
2	Vorbemerkungen	2
3	Objektbeschreibung	2
3.1	Durchlassbauwerk	2
3.2	Schöpfwerk	4
4	Berechnungsgrundlagen	7
4.1	Stauziele	7
4.2	Baugrund	7
4.2.1	Bodenschichtung	7
4.2.2	Bodenkennwerte	9
4.3	Baustoffkennwerte	10
4.4	Einwirkungen	10
4.4.1	Eigengewicht	10
4.4.1.1	Beton	10
4.4.1.2	Baustahl	10
4.4.1.3	Wasser	10
4.4.2	Verkehrslasten	10
4.4.3	Erddruck	11
5	Baugrube Schöpfwerk	12
5.1	Vorbemerkungen	12
5.2	Berechnungsgrundlagen	12
5.3	Wasserhaltung der Baugrube	13
5.4	Nachweise	13
6	Nachweise Durchlassbauwerk	14
6.1	Äußere Standsicherheit	14
6.2	Bemessung	14
7	Nachweise Schöpfwerk	15

7.1	Auftriebssicherheit	15
7.2	Gleitsicherheit	16
7.3	Kippsicherheit	16
7.4	Grundbruchsicherheit	16
7.5	Stahlbetonbemessung	16
7.5.1	Vorbemerkungen	16
7.5.2	Mindestbewehrung	16
7.6	Bemessung	21
7.6.1	Rückwand Betriebsraum	21
7.6.2	Rückwand Pumpenraum	28
7.6.3	Sohle/Decke Pumpenraum	37
7.6.4	Decke Betriebsraum	46
7.7	Ergebnisse	55
7.8	Auslaufbauwerk	56
7.8.1	Äußere Standsicherheit	56
7.8.2	Bemessung	57

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Durchlassbauwerk	3
Abbildung 2:	Schöpfwerk, Querschnitt	4
Abbildung 3:	Schöpfwerk, Längsschnitt	5
Abbildung 4:	Schöpfwerk, Draufsicht	5
Abbildung 5:	Schöpfwerk, Auslaufbauwerk	6
Abbildung 6:	Baugrundaufschlüsse, Lageplan [37]	7
Abbildung 7:	Baugrundsichtung, Durchlassbauwerk [37]	8
Abbildung 8:	Baugrundsichtung, Schöpfwerk [37]	8
Abbildung 9:	Verdichtungserddruck	11
Abbildung 10:	für die Baugrube maßgebender Baugrundaufschluss	12
Abbildung 11:	Erddruck auf Rückwand Betriebsraum	21
Abbildung 12:	Erddruck auf Rückwand Pumpenraum	28
Abbildung 13:	Bodenaufrost hinter seitlichen Flügelwänden	56

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Bodenkennwerte [37]	9
Tabelle 2:	Zusammenstellung der Grundbewehrung	55

QUELLENVERZEICHNIS

Technische Richtlinien (Normen und Vorschriften)

- [1] DIN 19700-10: Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, Juli 2004
- [2] DIN 19700-11: Stauanlagen – Teil 11: Talsperren, Juli 2004
- [3] DIN 19700-12: Stauanlagen – Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken, Juli 2004
- [4] DIN 19702: Massivbauwerke im Wasserbau, 2013
- [5] DIN 19704: Stahlwasserbauten – Teil 1: Berechnungsgrundlagen, 2014
- [6] DIN 19704: Stahlwasserbauten – Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung, 2014
- [7] DIN 19712: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Januar 2013
- [8] DIN EN 1990: 2010-12 - Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [9] DIN EN 1991: 2010-12 -Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, inkl. Nationalem Anhang NA:2010-12
- [10] DIN EN 1992: 2011-01 - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken inkl. Änderung A1:2013-09 und Nationalem Anhang NA: 2013-04
- [11] DIN EN 1993: 2010-12 - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten inkl. Änderung A1:2013-01 und Nationalem Anhang NA:2010-12
- [12] DIN EN 1997-1:2014-03 - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik inkl. NA:2010-12
- [13] DIN 1054:2010-12 - Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1 inkl. A1:2012-08
- [14] ZTV-ING - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke; Bundesanstalt für Straßenwesen
- [15] ZTV-W LB 215:2012-05 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton
- [16] ZTV-W LB 219:2017-06 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau für die Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken
- [17] EAU - Empfehlungen des Ausschuss für Ufereinfassungen; 2020
- [18] EAB - Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“; 6. Auflage
- [19] DWA-Merkblatt 514: Bauwerksüberwachung an Talsperren, Juli 2011
- [20] DWA-Merkblatt 522: Kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken, Mai 2015

- [21] DWA-Merkblatt 542: Nachweiskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten für Staudämme und Staumauern, Juli 2017
- [22] DVWK (1991): Merkblatt zur Wasserwirtschaft - Mess- und Kontrolleinrichtungen zur Überprüfung der Standsicherheit von Staumauern und Staudämmen, Heft 222/1991
- [23] Merkblatt „Rissbreitenbegrenzung für frühen Zwang in massiven Wasserbauwerken“ (MFZ); Bundesanstalt für Wasserbau; 2011
- [24] Wissensspeicher Geotechnik; Rütz, Witt, u.a.; 18. Auflage
- [25] Wendehorst - Bautechnische Zahlentafeln; 36. Auflage
- [26] Betontechnische Daten; Heidelberger Cement; 2017
- [27] Weiße Wannen - einfach und sicher; Lohmeyer/Ebeling; 10. Auflage

Projektunterlagen

- [28] m4 Ingenieure GmbH: Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt, Sicherheitsbericht zur vertieften Überprüfung, 03. Februar 2021
- [29] m4 Ingenieure GmbH: HRB Straußfurt – Vergrößerung des Hochwasserrückhalterums, 30. Juni 2020
- [30] m4 Ingenieure GmbH: Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt, Vertiefte Überprüfung, Teil A-4: Absperrbauwerk und Untergrund, Geotechnische Untersuchungen, Teilbericht 2: Nebendämme, August 2016
- [31] m4 Ingenieure GmbH: Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt, Vertiefte Überprüfung, Teil B-1: Hochwasserentlastungsanlage, Grundlagen HWE, April 2018
- [32] Tractebel Hydroprojekt GmbH: HRB Straußfurt – Herstellung der Hochwassersicherheit des Schutzdamms Henschleben und Instandsetzung und Herstellung der Überströmbarkeit des Nebendamms, Ausführungs- und Ausschreibungsunterlage, 12. August 2022
- [33] Ingenieurgemeinschaft HRB Straußfurt, c/o Tractebel Hydroprojekt GmbH: Erweiterung und Instandsetzung Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt – Geotechnisches Erkundungskonzept und Erkundungsprogramm, 13. Februar 2023
- [34] Thüringer Fernwasserversorgung (TFW) und Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN): Aktenvermerk zur Erhöhung des Hochwasserrückhaltebeckens Straußfurt im Zusammenhang mit den Hochwasserschutzprojekten Unstrutau und Geraaue, 03. November 2021
- [35] Ingenieurgemeinschaft HRB Straußfurt, c/o Tractebel Hydroprojekt GmbH: Erweiterung und Instandsetzung Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt – Bauzustandsbewertung Massivbau, 28. Juni 2023
- [36] Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt (030) – ingenieurgeologisch/seismologische Vorbewertung über die Notwendigkeit eines seismologischen Gutachtens am Standort des HRB Straußfurt des Referates 82 des TLUBN, TLUBN, 13. August 2020
- [37] Baugrunderkundung HRB Straußfurt, Geotechnischer Bericht, Geotechnische Erkundung 2023, GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH, 26.01.2024

[38] Ingenieurgemeinschaft HRB Straußfurt, c/o Tractebel Hydroprojekt GmbH: Erweiterung und Instandsetzung Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt – TO 17 Schutzdamm Straußfurt, Anlage 5, Freibordberechnung, 05. Dezember 2023

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Bezeichnung
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HWSK	Hochwasserschutzkonzept
TFW	Thüringer Fernwasserversorgung

1 Vorhabenträger

Vorhabenträger ist die

Thüringer Fernwasserversorgung (TFW)
Anstalt des öffentlichen Rechts
Haarbergstraße 37
99097 Erfurt

Der Planverfasser des Vorhabens ist die

Ingenieurgemeinschaft HRB Straußfurt
c/o Tractebel Hydroprojekt GmbH
Rießnerstraße 18
99427 Weimar

2 Vorbemerkungen

Das Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Straußfurt ist ein wesentlicher Bestandteil des funktionalen Hochwasserschutzes für die Gebiete an der mittleren und unteren Unstrut sowie an der Gera.

Die Erweiterung des HRB Straußfurt ist ein Hauptbaustein des Hochwasserschutzkonzeptes (HWSK) Unstrut. Mit dem Vorhaben ist geplant, das **Stauziel des HRB Straußfurt um 1,0 m zu erhöhen**. Somit wird der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum um ca. 10 Mio. m³ erweitert. Das bedeutet, dass alle relevanten Bauwerke in ihrer Höhe baulich angepasst sowie neue Dammbauwerke, errichtet werden müssen.

Ziel des Vorhabens ist es weiterhin, die notwendigen Anlagenobjekte des HRB Straußfurt so instand zu setzen, dass seine regelwerkskonforme Nutzungsdauer insgesamt für weitere 50 Jahre gegeben ist. Das derzeitige Betriebsregime des HRB wird beibehalten. Im Zuge der Stauzielerhöhung ist auch der Neubau eines Schöpfwerkes und eines Durchlassbauwerkes bei Schwerstedt geplant.

Der vorliegende Bericht ist die Entwurfsstatik für das Teilobjekt

TO 16 – Schöpfwerk und Durchlassbauwerk Schwerstedt

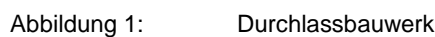
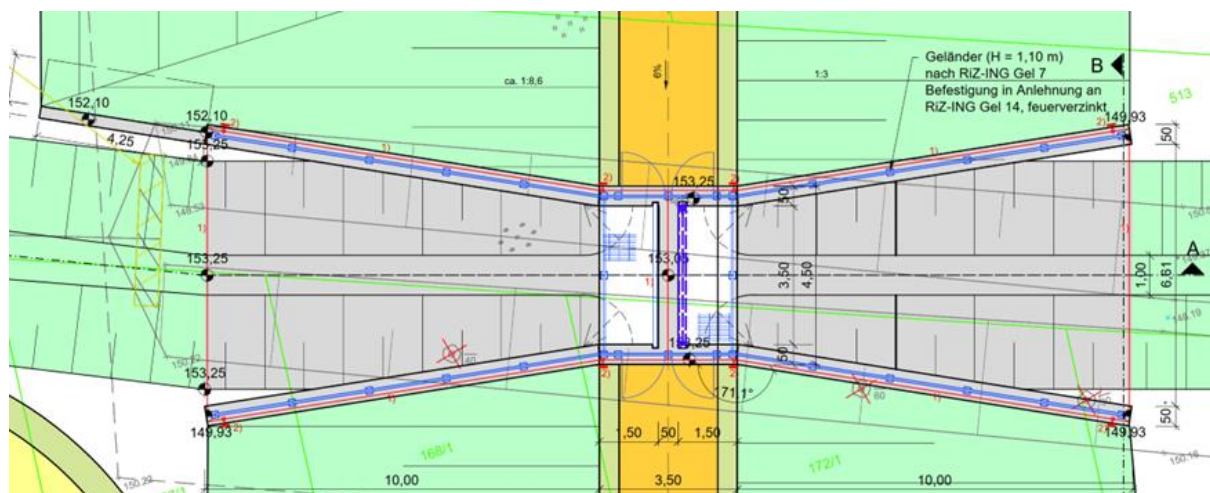
3 Objektbeschreibung

3.1 Durchlassbauwerk

Im Regelfall (außerhalb Hochwasser) wird das Gewässer (Öde; Mittelgraben) mit einem neuen Durchlassbauwerk durch den Schutzdamm geführt.

Das Durchlassbauwerk wird als oben offener biegesteifer Halbrahmen in Stahlbetonbauweise errichtet. In der Bauwerksmitte (= Dammkrone) ist eine Stauwand mit Gleitschütz angeordnet. Das Schütz wird im Hochwasserfall geschlossen und das zufließende Wasser über das Schöpfwerk durch den Schutzdamm abgepumpt.

Die Konstruktion mit den wichtigsten Maßen ist Abbildung 1 zu entnehmen.



3.2 Schöpfwerk

Durch den geplanten höheren Einstau des Rückhaltebeckens ist der Schutz der Ortslage Schwerstedt durch einen Schutzdamm erforderlich. Um im Hochwasserfall den Abfluss der Öde und des Mittelgrabens weiterhin zu gewährleisten, ist der Neubau eines Schöpfwerkes erforderlich.

Das Schöpferwerk besteht luftseitig des Schutzdammes aus dem Pumpenraum mit aufgesetztem Betriebsraum. Es werden drei Pumpleitungen DN 900 durch den Damm geführt, die wasserseitig (Hochwasserschutzraum 2) in ein Auslaufbauwerk ausblasen, siehe folgende Abbildungen.

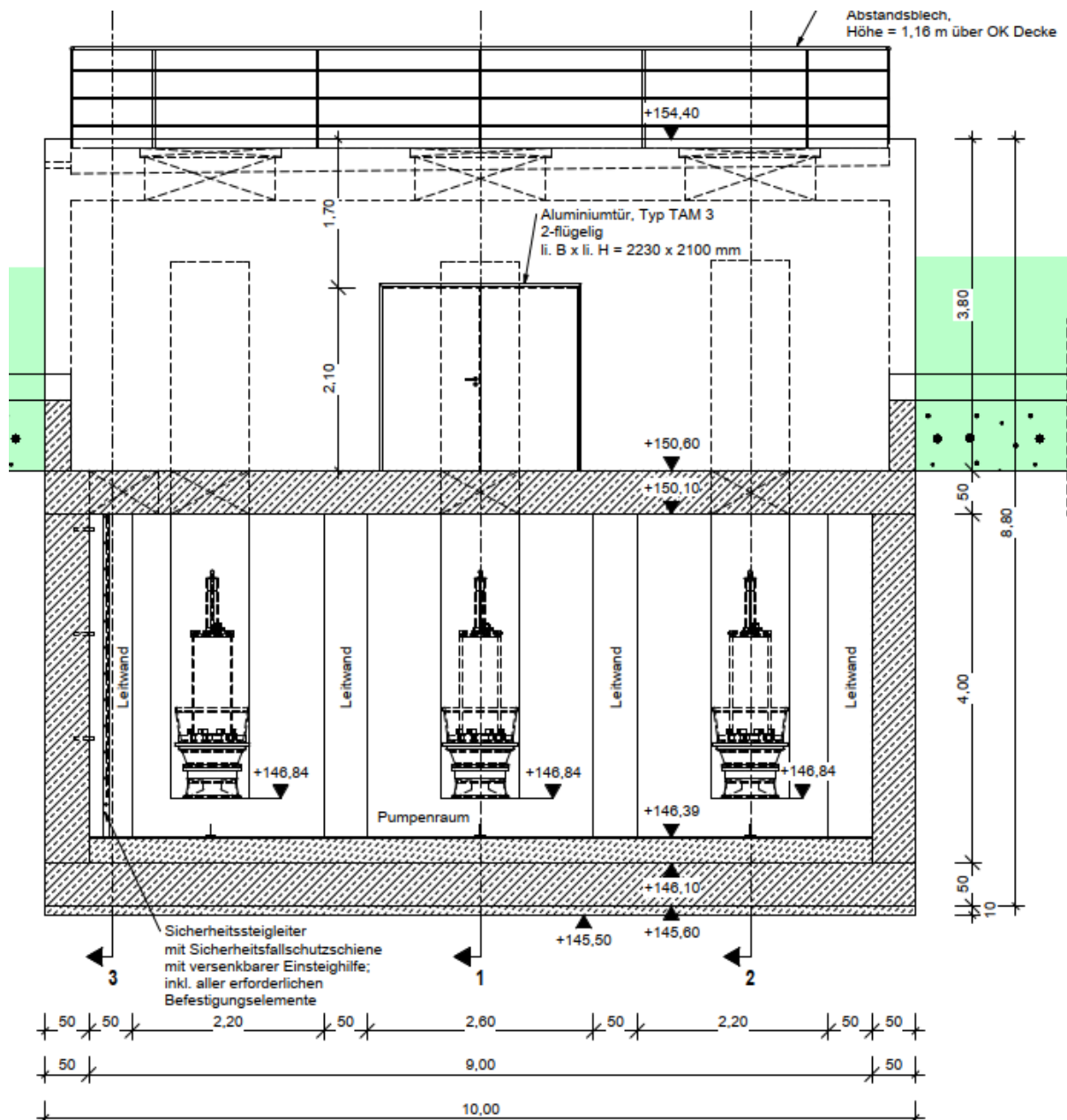
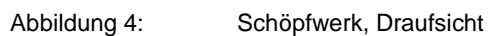
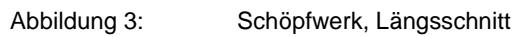


Abbildung 2: Schöpfwerk, Querschnitt



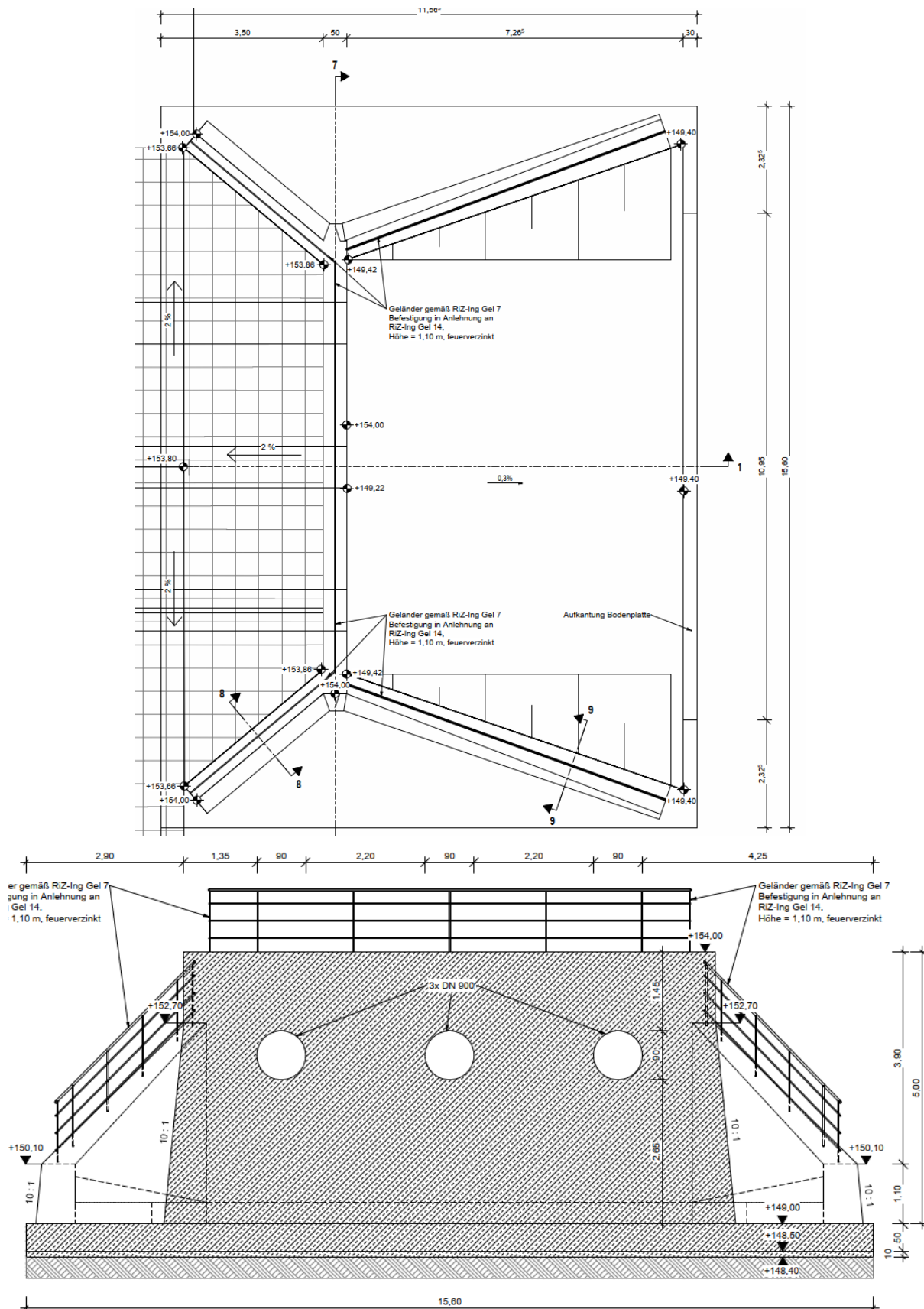


Abbildung 5: Schöpfwerk, Auslaufbauwerk

4 Berechnungsgrundlagen

4.1 Stauziele

Mit der geplanten Erweiterung des HRB Straußfurt gelten folgende Stauziele als Bemessungsgröße für die Planung:

Absenkziel (Pegelnulldpunkt)	$Z_A = 144,81 \text{ m NHN (2016)} = 144,84 \text{ m NN (lokal)}$
Betriebsstauziel (Teildauerstau)	$Z_S = 148,02 \text{ m NHN (2016)} = 148,05 \text{ m NN (lokal)}$
Vollstau	$Z_V = 150,81 \text{ m NHN (2016)} = 150,84 \text{ m NN (lokal)}$
Hochwasserstauziel	$Z_H = 151,85 \text{ m NHN (2016)} = 151,88 \text{ m NN (lokal)}$
max. Wasserstand luftseitig:	$Z_{ls} = 149,90 \text{ m NHN (2016)} = 151,88 \text{ m NN (lokal)}$

4.2 Baugrund

4.2.1 Bodenschichtung

Die Bodenkennwerte und Baugrundsichtung werden dem Baugrundgutachten [37] entnommen und nachfolgend auszugsweise zusammengefasst.

- Nach Ergebnissen der direkten Aufschlüsse besteht der Untergrund im Bereich der geplanten Dammaufstandsfläche aus leicht- bis mittelplastischen Auelehm (**Schicht 4a**) mit überwiegend steifer Konsistenz, die vor Wasser und Frost zu schützen ist.
- Das Durchlassbauwerk in offener Bauweise gründet in etwa bei 147,30 m NHN_{16} und liegt damit ca. 3,00 m unter Geländeoberkante. In diesem Bereich ist mit grob-gemischtkörnigen Sanden (**Schicht 5**) bzw. weichen bis steifen Auelehmen (**Schicht 4a**) zu rechnen.
- Das geplante Schöpfwerk gründet bei ca. 146,00 m NHN_{16} im Bereich der Kiese, Auelehme und des Festgesteinzersatzes (**Schicht 5, 4a, 6**).
- Für den Bau der Bauwerke sind auf Grund der Baugrundverhältnisse Verbaumaßnahmen erforderlich. Mit dem Anschnitt der wassergesättigten Sande und Kiese bzw. des Festgesteinzersatzes innerhalb der möglichen Baugruben, sind Wasserhaltungen erforderlich.



Abbildung 6: Baugrundaufschlüsse, Lageplan [37]

Damit ergeben sich folgende Baugrundprofile

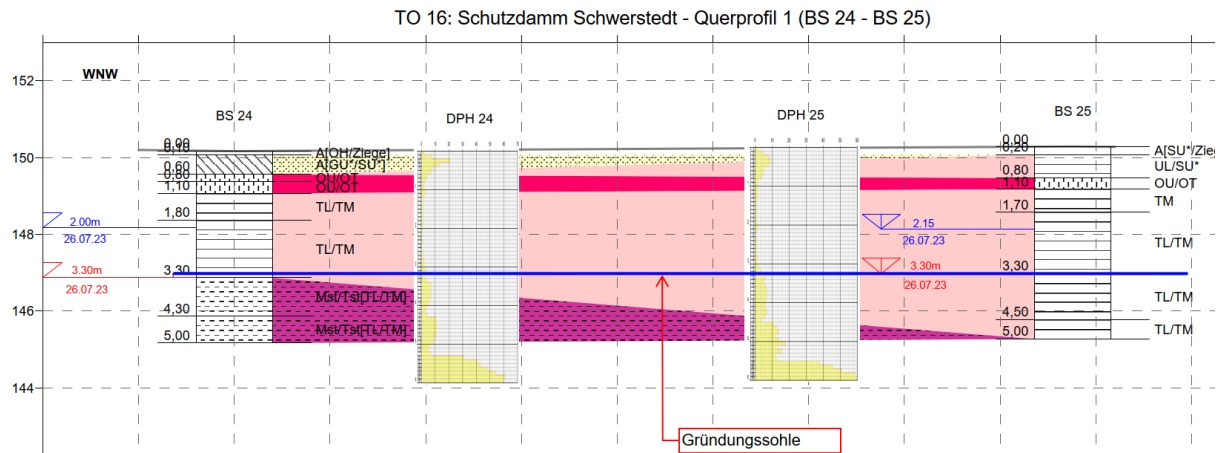


Abbildung 7: Baugrundsichtung, Durchlassbauwerk [37]

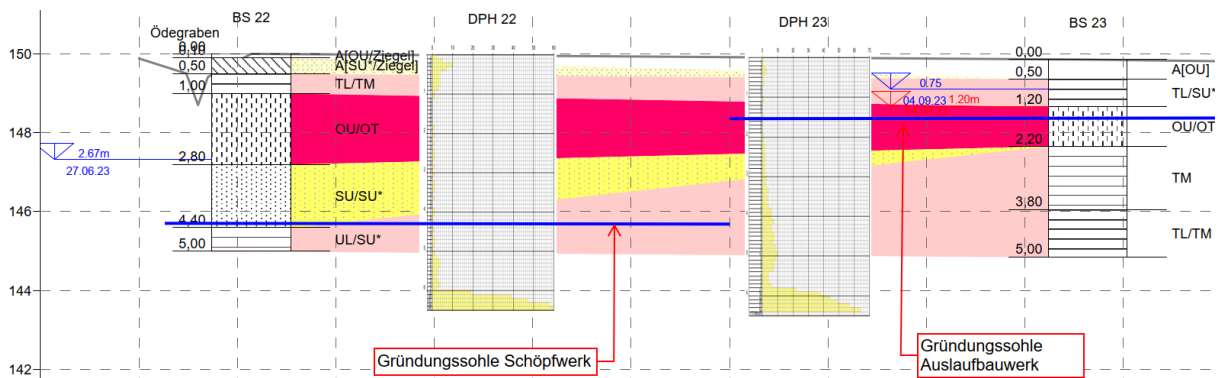


Abbildung 8: Baugrundsichtung, Schöpfwerk [37]

Für beide baugrundschnitte gilt folgende Legende [37]:

- S 5 - pleistozäne Unstrutschotter, grob-/ gemischtkörnig - SW-SU*/ST*, GW-GU*/GT*
- S 4a - Auelehm - leicht-/ mittelplastisch - UL/TL,UM/TM
- S 4b - Auelehm - ausgeprägt plastisch - UA/TA
- S 4c - Auelehm - mittel-/ ausgeprägt plastisch, organisch - OU/OT
- S 6 - Keupermergel/ Zersatz - feinkörnige Matrix - Mst/Tst(SU*/ST*-UM/TM)



4.2.2 Bodenkennwerte

Die Bodenkennwerte werden dem Baugrundgutachten entnommen.

Tabelle 1: Bodenkennwerte [37]

Bodengruppe DIN 18196 Lagerungs- dichte / Konsis- tenz	Wichte γ	Wichte unter Auftrieb γ'	Reibungs- winkel φ'	Kohäsion c'	Boden- klasse (alt) DIN 18300	Emp- findlich- keit ge- gen Frost ZTVE	Empfind- lichkeit gegen Wasser	Durchlässig- keitsbeiwert k_f	Steife- modul E_s
	[kN/m³]	[kN/m³]	[°]	[kN/m²]				[m/s]	[MN/m²]
Schicht 4 Auelehme (un- differenziert)	19,5 TWB A:19,5 TWB B:19,0 TWB C:18,5	10,0 TWB A:10,0 TWB B:9,5 TWB C:9,0	24,0 TWB A:24,0 TWB B:21,0 TWB C:17,0	15,0 TWB A:15,0 TWB B:7,5 TWB C:0	4	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-10}$ TWB A: $1 \cdot 10^{-10}$ TWB B: $5 \cdot 10^{-10} / 5 \cdot 10^{-11}$ TWB C: $1 \cdot 10^{-9} / 1 \cdot 10^{-11}$	5
Schicht 4a Auelehme (leicht- mittel- plastisch) steif-halbfest TL/TM, UL/UM	19,5 TWB A:19,5 TWB B:19,0 TWB C:18,5	10,0 TWB A:10,0 TWB B:9,5 TWB C:9,0	27,5 TWB A:27,5 TWB B:25,0 TWB C:22,5	5,0 TWB A:5,0 TWB B:2,5 TWB C:0,0	4	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-10}$ TWB A: $1 \cdot 10^{-10}$ TWB B: $5 \cdot 10^{-10} / 5 \cdot 10^{-11}$ TWB C: $1 \cdot 10^{-9} / 1 \cdot 10^{-11}$	20
Schicht 4b Auelehme (ausgeprägt plastisch) steif-halbfest UA/TA	19,5 TWB A:19,5 TWB B:19,0 TWB C:18,5	9,5 TWB A:9,5 TWB B:9,0 TWB C:8,5	22,5 TWB A:22,5 TWB B:21,0 TWB C:17,0	15,0 TWB A:15,0 TWB B:10,0 TWB C:5,0	5	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-10}$ TWB A: $1 \cdot 10^{-10}$ TWB B: $5 \cdot 10^{-10} / 5 \cdot 10^{-11}$ TWB C: $1 \cdot 10^{-9} / 1 \cdot 10^{-11}$	10
Schicht 4c Auelehme (ausgeprägt plastisch/ stark orga- nisch) steif-halbfest	17,0 TWB A:17,0 TWB B:16,5 TWB C:16,0	7,0 TWB A:7,0 TWB B:6,5 TWB C:6,0	20,0 TWB A:20,0 TWB B:17,5 TWB C:15,0	10,0 TWB A:10,0 TWB B:5,0 TWB C:0	3(4/5)	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-10}$ TWB A: $1 \cdot 10^{-10}$ TWB B: $5 \cdot 10^{-10} / 5 \cdot 10^{-11}$ TWB C: $1 \cdot 10^{-9} / 1 \cdot 10^{-11}$	10
Schicht 5 Kiessande (Unstrutscho- ter) grob-/ gemischtkör- nig (SW-SU*/ST- ST*, GW- GU*/GT-GT*), mitteldicht- dicht	21,0 TWB A:21,0 TWB B:20,0 TWB C:19,0	12,0 TWB A:12,0 TWB B:11,5 TWB C:11,0	35,0 TWB A:35,0 TWB B:32,5 TWB C:30,0	2,0 TWB A:2,0 TWB B:0,5 TWB C:0	3/4	F1/F3	gering - hoch	$1 \cdot 10^{-5}$ TWB A: $1 \cdot 10^{-5}$ TWB B: $5 \cdot 10^{-5} / 5 \cdot 10^{-6}$ TWB C: $1 \cdot 10^{-4} / 1 \cdot 10^{-6}$	100
Schicht 6 Keuper mit Felszersatz Mst/Tst(SU*/ST *-UM/TM)	20,0 TWB A:20,0 TWB B:19,0 TWB C:18,0	11,0 TWB A:11,0 TWB B:10,5 TWB C:10,0	25,0 TWB A:25,0 TWB B:22,5 TWB C:20,0	10,0 TWB A:10,0 TWB B:5,0 TWB C:0,0	5/6	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-7}$ TWB A: $1 \cdot 10^{-7}$ TWB B: $5 \cdot 10^{-7} / 5 \cdot 10^{-9}$ TWB C: $1 \cdot 10^{-7} / 1 \cdot 10^{-9}$	25

Für den Stützkörper Damm werden die Kennwerte aus der Dammstatik übernommen (TWB A).

Bezeichnung der Schichten	Wichte des feuchten Bodens γ [kN/m³]		Wichte des Bodens [kN/m³] unter Auftrieb γ'		Reibungswinkel φ [°]		Kohäsion c [kN/m²]		Durchlässigkeit (Mittelwerte) [m/s]		Poren- zahl n_{eff}	Speicher- koeffz. s_0 [1/m]	Steifemodul E_s [MN/m²]
Tragwiderstands- bedingung	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A-C	A-C	A/C
Dammbaustoffe Bestand TO12 bzw. neu													
0b) Wegbefestigung Bestand	20,0	19,0	12,0	11,0	35,0	33,0	0	0	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,15	$2 \cdot 10^{-4}$	100
1) ws Dichtung	19,0	19,0	11,0	11,0	28,0	15,0	11	20	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0,10	$1 \cdot 10^{-3}$	9
1a) Schotter/Elliptekies	24,2	24,2	14,2	14,2	34,0	34,0	0	0	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	0,20	$2 \cdot 10^{-4}$	40
2) Stützkörper Bestand	20,0	19,0	11,0	10,0	30,0	25,0	5	0	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0,20	$2 \cdot 10^{-4}$	25

4.3 Baustoffkennwerte

Die Expositionsklassen werden gemäß DIN EN 1992-1-1 Tabelle 4.1 festgelegt.

Wände/Pfeiler (WWZ)	C30/37 XC4, XF3, XA1, WF, $e_w < 30 \text{ mm}$, $r < 0,3$ $c_{\text{nom}} = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$ (DIN 19702) $w_k = 0,25 \text{ mm}$
Sohle/Wände/Pfeiler	C25/30 XC4, XF1, XA1, WF, $e_w < 30 \text{ mm}$, $r < 0,3$ $c_{\text{nom}} = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$ (DIN 19702) $w_k = 0,25 \text{ mm}$

Hinweise:

- Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgt im Alter von 56 Tagen.
- Für die Festlegung der Expositionsklassen/Betongüte wird davon ausgegangen, dass im Bauwerksbereich kein Chlorideintrag (z. B. aus Streusalz) erfolgt.

4.4 Einwirkungen

4.4.1 Eigengewicht

4.4.1.1 Beton

Stahlbeton allgemein $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

unbewehrter Beton $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

Bei Beton unter Auftrieb sind die Werte um 1 kN/m^3 abzumindern.

4.4.1.2 Baustahl

Stahl $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

4.4.1.3 Wasser

Wasser $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$

Wasserstände gemäß Kapitel 4.1.

4.4.2 Verkehrslasten

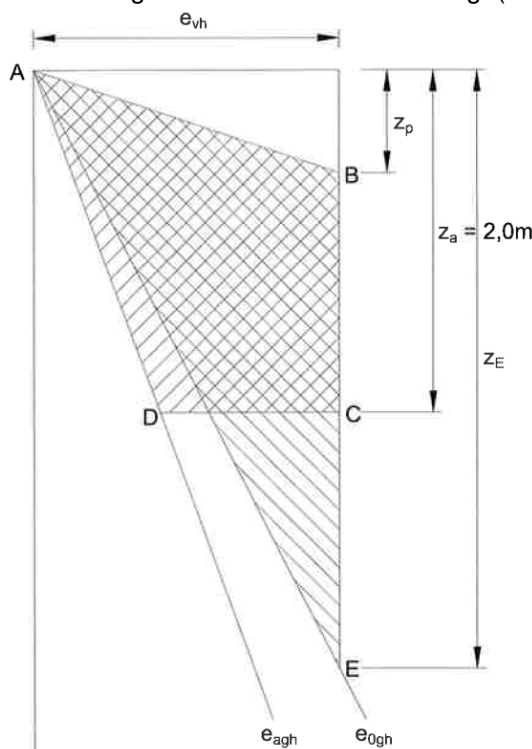
Das Durchlassbauwerk kann mit PKW befahren werden. Hier wird eine gleichmäßig verteilte Flächenlast $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ angesetzt.

Die Decken über dem Betriebsraum und dem Pumpenraum werden für 10 kN/m^2 bemessen.

4.4.3 Erddruck

Der wirksame Erddruck wird bauteilbezogen ermittelt:

- Für den Nachweis der Standsicherheit wird der erhöhte aktive Erddruck (50 % Anteil Erdruehdruck) angesetzt, um die Verformungen zu begrenzen und Schäden an Dichtungselementen (z. B. Fugenbänder) und angrenzenden Bauwerken zu verhindern.
- Bauteile, welche sich zwangsweise aus den geometrischen Randbedingungen nicht bewegen können, sind für ggf. erforderliche Lastweiterleitungen auch im Nachweis der Standsicherheit auf Erdruehdruck zu berechnen.
- Die Bemessung der Bauteile (Spannungsnachweise bzw. Ermittlung der erforderlichen Bewehrung) erfolgt mit nicht umgelagertem Erdruehdruck.
- Verdichtungserddruck wird berücksichtigt (Dammaufschüttung mit intensiver Verdichtung).



Nachgiebigkeit der Wand	Breite des zu verfüllenden Raums B	
	B ≤ 1,00 m	B ≥ 2,50 m
nachgiebig (E _a)	e _{vh} = 25 kN/m ² z _a = 2,00 m	
unnachgiebig (E ₀)	e _{vh} = 40 kN/m ²	e _{vh} = 25 kN/m ²
	für Zwischenwerte von B darf geradlinig interpoliert werden	

$$z_p = \frac{e_{vh}}{\gamma \cdot K_{pgh} (\delta_p = 0)}$$

$$z_E = \frac{e_{vh}}{\gamma \cdot K_{0gh}}$$

Verdichtungserddruck wird berücksichtigt, wenn der Erddruck, einschl. infolge Verkehr $e < 25 \text{ kN/m}^2$ ist. Dies ist auf den Böschungen der Fall. Im Bereich der Dammkrone überwiegt der Erddruck infolge Last auf Hinterfüllung.

Abbildung 9: Verdichtungserddruck

Verkehrslasten

- Last auf Hinterfüllung infolge Lastmodell LM 1

$$Q_k = (2 \cdot 300) / (3,00 \cdot 5,00) = 40 \text{ kN/m}^2 \text{ (auf 5 m Länge)}$$

$$q_k = 12 \text{ kN/m}^2 \text{ (Grundlast)}$$

Die Last auf die Hinterfüllung wird nur im Bereich der Dammkrone auf 5 m Breite berücksichtigt. Auf eine Abminderung des Erddruckes infolge Lastausbreitung nach unten wird auf der sicheren Seite verzichtet.

5 Baugrube Schöpfwerk

5.1 Vorbemerkungen

Für den Tiefbau (Pumpenraum) des Schöpfwerkes ist eine Baugrube erforderlich. Diese wird als geböschte Baugrube mit lokaler Grundwasserabsenkung ausgeführt.

5.2 Berechnungsgrundlagen

Die geböschte Baugrube ist mit einer Böschungshöhe $h = 4,5 \text{ m}$ geplant. Die DIN 4124 fordert ab einer Böschungshöhe von $> 5 \text{ m}$ einen Standsicherheitsnachweis. Da es sich hier um bodenmechanisch z.T. „schwierige“ Böden handelt, wird der Standsicherheitsnachweis gemäß Anhang 1 geführt. Geplant wird mit einer Böschungsneigung von $\beta = 30^\circ$. Es wird eine Verkehrslast eines „SLW 30“ ($q_k = 16,67 \text{ kN/m}^2$) angesetzt.

Der geotechnische Bericht zum HRB Straußfurt von GGL Leipzig vom Januar 2024 [37] enthält erdstatische Kennwerte, die primär auf den Hauptdamm TO 12 fokussieren. Maßgebend für diese Baugrube ist der Baugrundaufschluss BS22 mit zugehöriger DPH. Dementsprechend wurde vom Verfasser bei den Kennwerten „nachgeschärft“:

- Für die gemischtkörnige Auffüllung Schicht 3b wurde der Reibungswinkel von $j = 32^\circ$ auf 30° reduziert;
- Für den organischen Auelehm Schicht 4c wurde die Kohäsion von $c = 10 \text{ kN/m}^2$ auf 5 kN/m^2 reduziert;
- Für den Aquifer (Sand stark schluffig, schwach tonig) wurde der Reibungswinkel von $\varphi = 35^\circ$ auf 30° reduziert, da dieser zum „Unstrutschotter“ Schicht 5 nicht genau passt.

Nachstehend das maßgebende Bohrprofil der BS 22 mit detaillierter Bodenansprache:

Ansatzhöhe: +149,99 m NHN

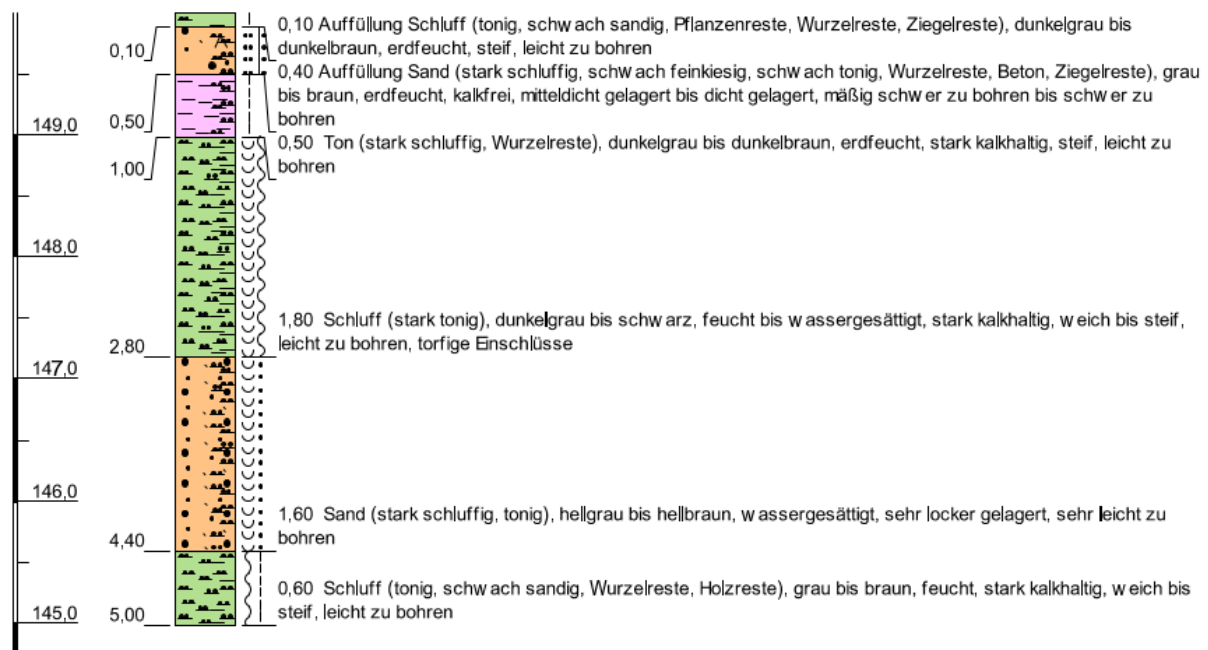


Abbildung 10: für die Baugrube maßgebender Baugrundaufschluss

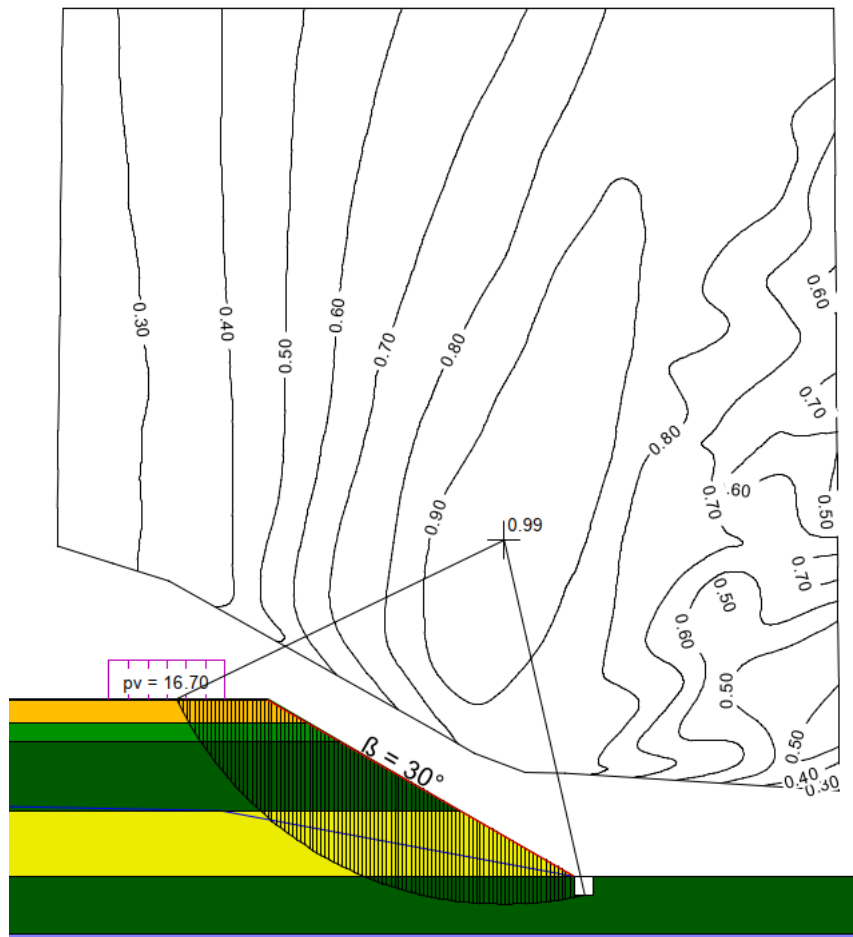
5.3 Wasserhaltung der Baugrube

Für den Aquifer Unstrutschotter ist im geotechnischen Bericht [37] eine Durchlässigkeit von $k = 1\text{E-}05$ m/s definiert. Das ergibt – mit der Mehrbrunnenformel nach FORCHHEIMER bei angenommen 8 Brunnen – überschlägig berechnet eine zu pumpende Wassermenge von $Q = 0,2$ l/s. Tatsächlich dürfte dieser Wert eher niedriger ausfallen, da die Durchlässigkeit eher bei $k = 1\text{E-}06$ m/s liegt.

Da der Aquifer bindig ist, ist eine geschlossene Wasserhaltung mit herkömmlichen Filterbrunnen kaum bis nicht geeignet. Hier ist das Vakuumverfahren mit aller 2 m anzuordnenden Filterlanzen DN=80 mm / Endtiefe ca. 2 m unter Baugrubensohle zu empfehlen. Die Wasserhaltung ist vorausseilend zu installieren und zu betreiben, um die Baugrube dann im Schutz der Wasserhaltung auszuheben.

5.4 Nachweise

Die Nachweise der Böschungsbruchsicherheit erfolgen mit dem Programm ggu stability, siehe Anlage 3.



Die Standsicherheit der Baugrubenböschung ist für die vorgesehene Böschungsneigung von 30° gewährleistet.

6 Nachweise Durchlassbauwerk

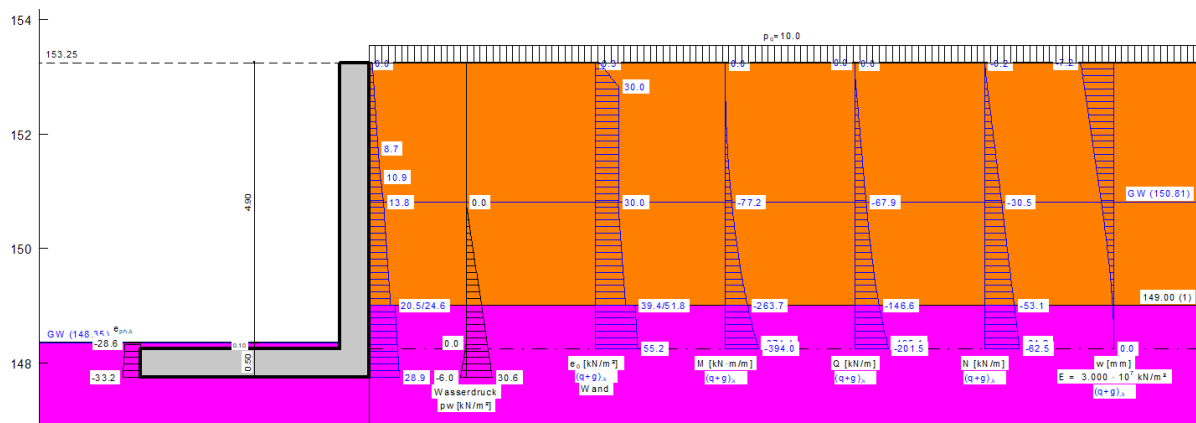
6.1 Äußere Standsicherheit

Die Nachweise der äußeren Standsicherheit (Gleiten, Kippen, Grundbruch, Auftrieb) sind für das beidseitig eingeschüttete Bauwerk offensichtlich erfüllt. → ohne weiteren Nachweis

6.2 Bemessung

Die Bemessung erfolgt für ein vereinfachtes Ersatzsystem am Modell einer Winkelstützwand. Die aussteifende Wirkung der Stauwand wird auf der sicheren Seite nicht berücksichtigt.

Die Berechnung erfolgt mit dem Programm GGU-Cantilever und ist Anlage 1 zu entnehmen.



Erforderliche Bewehrung:

- Wand: erf. $a_s = 27,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ → gew.: Ø 25 -15 mit vorh. $a_s = 32,7 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Sohle: erf. $a_s = 27,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ → gew.: Ø 25 -15 mit vorh. $a_s = 32,7 \text{ cm}^2/\text{m}$

Die Bewehrung kann eingebaut werden. Die Bauteilgeometrie ist mit Wand- und Sohldicke $h = 0,5 \text{ m}$ ausreichend dimensioniert. Optimierung erfolgt im Zuge der Ausführungsstatik.

7 Nachweise Schöpfwerk

7.1 Auftriebssicherheit

Der Nachweis der Auftriebssicherheit erfolgt für das Bauwerk mit dem höchsten luftseitigem Bemessungswasserstand $Z_{ls} = 149,90$ m NHN. Ausbaulasten (z.B. Pumpeneigengewicht oder Wasser im Pumpenraum) werden nicht berücksichtigt.

Wasser:	Grundfläche A_{unten} :	= $9,0 \cdot 10,0$		
		= 90,00 m ²		
	Grundfläche A_{oben} :	= $2,0 \cdot 10,0$		
		= 20,00 m ²		
OK Wasser		149,90 m NHN		
UK Sohle	UK _{Sohle, unten} :	145,6 m NHN		
	UK _{Sohle, oben} :	148,3 m NHN		
Auftrieb:	ΔH [m]	F [m ²]	A_k [kN]	
	4,30	90,00	3870,00	
	1,60	20,00	640,00	
	Summe:		4510,00	
g_{Beton}		24 kN/m ³		
$g_{\text{Gefällebeton}}$		23 kN/m ³		
g_{Wasser}		10 kN/m ³		
g_{Boden}		20 kN/m ³		
g'_{Boden}		10 kN/m ³		
H-Wasser =	4,30 m			
Bodenauflast	0,00 m	auf Decke		
Bauteil			Volumen [m ³]	Gewicht [kN]
Sohle	$9,00 \cdot 10,00 \cdot 0,50 =$		45,00	1080,00
Decke	$(9,0 \cdot 10,00 - 3 \cdot \pi/4 \cdot 0,9^2) \cdot 0,50 =$		44,05	1057,10
2 Seitenwände außen	$2 \cdot 9,00 \cdot 4,00 \cdot 0,50 =$		36,00	864,00
Rückwand	$9,00 \cdot 4,00 \cdot 1,10 =$		39,60	950,40
Einlaufwand	$(9,00 \cdot 4,00 - 2 \cdot 4,30 \cdot 0,9) \cdot 0,50 =$		14,13	339,12
4 Pumpenleitwände	$4 \cdot 1,85 \cdot 4,00 \cdot 0,50 =$		14,80	355,20
Einlauf Vorbau Sohle	$2,00 \cdot 10,00 \cdot 0,50 =$		10,00	240,00
Einlauf Vorbau Wände	$2 \cdot 2,00 \cdot 1,30 \cdot 0,50 + 2,00 \cdot 1,30 \cdot 0,40 =$		3,64	87,36
Hochbau Decke	$(4,00 \cdot 9,40 - 3 \cdot 2,20 \cdot 1,50) \cdot 0,35 =$		9,70	232,68
Hochbau 2 Seitenwände	$2 \cdot 4,60 \cdot 3,80 \cdot 0,30 =$		10,49	251,71
Hochbau Rückwand	$(9,40 \cdot 3,80 - 3 \cdot \pi/4 \cdot 0,9^2) \cdot 0,30 =$		10,14	243,44
Hochbau Eingangswand	$(9,40 \cdot 3,80 - 2,3 \cdot 2,2) \cdot 0,30 =$		9,20	220,75
		Summe	246,74	5921,76
$G_{k, \text{stb}}$ =	5921,76 kN			
A_k =	4510,00 kN			
Auftriebsnachweis:	$A_k \cdot \gamma_{G, \text{dst}} + Q_k \cdot \gamma_{Q, \text{dst}} \leq G_{k, \text{stb}} \cdot \gamma_{G, \text{stb}}$			
$\gamma_{G, \text{dst}}$ =	1,05			
$\gamma_{G, \text{stb}}$ =	0,95			
Nachweis	4735,50	≤	5625,68	$\eta = 84\%$

7.2 Gleitsicherheit

Nicht relevant für das allseitig eingeschüttete Schöpfwerk.

7.3 Kippsicherheit

Nicht relevant für das allseitig eingeschüttete Schöpfwerk.

7.4 Grundbruchsicherheit

Nicht relevant für das allseitig eingeschüttete Schöpfwerk.

7.5 Stahlbetonbemessung

7.5.1 Vorbemerkungen

Im Rahmen der Entwurfsstatik erfolgt die Bemessung an vereinfachten Ersatzmodellen.

7.5.2 Mindestbewehrung

Die Mindestbewehrung wird in Abhängigkeit von der Bauteildicke für Zwang aus abfließender Hydrationswärme ermittelt.

Die so ermittelte Bewehrung wird als Grundbewehrung in den einzelnen Bauteilen vorgegeben.

Zur Berücksichtigung von nicht auszuschließenden Überfestigkeiten erfolgt die Festlegung der Mindestbewehrung für einen Beton C30/37.

Für $h = 0,30 \text{ m}$

Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung aus Zwang bei voller Verformungsbehinderung

1. Vorgabedaten

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37	f_{ck}	30,00 N/mm ²
		f_{ctm}	2,90 N/mm ²
Beiwert $k_{zt} = f_{ct,eff}/f_{ctm}$	0,50 (Normalzement)	$f_{ct,eff}$	1,45 N/mm ²
Rissbreite w_k	0,25 mm		
Bewehrung, Stab d_s	Ø 14 mm	Bew.-Durchm. d_s	14 mm
Randabstand d_1 der Rissbewehrung			
<input checked="" type="radio"/> aus c_{nom} und d_s ermitteln (einlagige Bewehrung):		Überdeckung c_{nom}	6,0 cm
<input type="radio"/> Randabstand d_1 nach Benutzervorgabe:		Randabstand d_1	3,0 cm
Randabstand d_1	6,7 cm		
Bauteildicke h	30 cm	Nutzhöhe d	23,3 cm
Breite d. Zugzone b_t	100 cm		
Beiwert k	0,80		
<input checked="" type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> äußerer Zwang, $k=1$	0,80 0,80 0,80	(lineare Interpolation gemäß EC2-1-1)	
		(parabolische Interpolation, vgl. [Meyer-07])	
Beiwert k_c	1,00	Hinweis:	Die ermittelte Bewehrung gilt je Seite
<input checked="" type="radio"/> zentrischer Zwang <input type="radio"/> Biegezwang			
$h_{c,ef}$	0,150 m	(pro Seite)	$= \min\{2,5 \cdot d_1; h/2\}$ (Bild 7.1)

2. Berechnung nach EC2-1-1 (2011)

☒ Regelungen für dicke Bauteile anwenden?

ja (nur bei zentrischem Zwang)

h / d_1	4,5	$\leq 5 \rightarrow$ normales Bauteil
$h_{c,ef} / d_1$	2,24	(EC2-1-1 Bild NA.7.1d)
Wirksame Bauteildicke $h_{c,ef}$	0,150 m	$= d_1 \cdot (h_{c,ef} / d_1)$
$A_{c,eff}$	0,150 m ²	(pro Seite) $= h_{c,ef} \cdot b$
A_{ct}	0,150 m ²	(pro Seite) $= h/2 \cdot b$
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 / \text{mm}^2$)	28,0 mm	(Gl. 7.6DE) $= \sigma_s \cdot \min\{4 \cdot d_1 / (k \cdot k_c \cdot 0,5 \cdot h); 1\} \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 / \text{mm}^2$)	28,0 mm	(Gl. NA.7.5.2) $= \sigma_s \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (7.6 DE)	176,3 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE) $= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (130c)	176,3 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE) $= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$
A_s	12,3 cm ²	(pro Seite) (Gl.NA.7.5.1) $= 10^4 \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s$
min A_s	3,5 cm ²	(pro Seite) (Gl.NA.7.5.1) $= 10^4 \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$
max A_s	9,9 cm ²	(pro Seite) (Gl. 7.1) $= 10^4 \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$
erf. A_s	9,9 cm²	(pro Seite)
Bewehrungsgrad ρ	0,658 %	$\mu.1 = 0,658 \%$

Für $h = 0,50 \text{ m}$

Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung aus Zwang

bei voller Verformungsbehinderung

1. Vorgabedaten

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37	f_{ck}	30,00 N/mm ²
		f_{ctm}	2,90 N/mm ²
Beiwert $k_{zt} = f_{ct,eff}/f_{ctm}$	0,50 (Normalzement)	$f_{ct,eff}$	1,45 N/mm ²
Rissbreite w_k	0,25 mm		
Bewehrung, Stab d_s	Ø 16 mm	Bew.-Durchm. d_s	16 mm
Randabstand d_1 der Rissbewehrung			
<input checked="" type="radio"/> aus c_{nom} und d_s ermitteln (einlagige Bewehrung):		Überdeckung c_{nom}	6,0 cm
<input type="radio"/> Randabstand d_1 nach Benutzervorgabe:		Randabstand d_1	2,0 cm
Randabstand d_1	6,8 cm		
Bauteildicke h	50 cm	Nutzhöhe d	43,2 cm
Breite d. Zugzone b_t	100 cm		
Beiwert k	0,68		
<input checked="" type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> äußerer Zwang, $k=1$	0,68 0,66	(lineare Interpolation gemäß EC2-1-1) (parabolische Interpolation, vgl. [Meyer-07])	
Beiwert k_c	1,00	Hinweis:	Die ermittelte Bewehrung gilt je Seite
<input checked="" type="radio"/> zentrischer Zwang <input type="radio"/> Biegezwang			
$h_{c,ef}$	0,170 m	(pro Seite)	$= \min\{2,5 \cdot d_1; h/2\}$ (Bild 7.1)

2. Berechnung nach EC2-1-1 (2011)



Regelungen für dicke Bauteile anwenden?

ja (nur bei zentrischem Zwang)

h / d_1	7,4	$> 5 \rightarrow$ dickes Bauteil
$h_{c,ef} / d_1$	2,74	(EC2-1-1 Bild NA.7.1d)
Wirksame Bauteildicke $h_{c,ef}$	0,186 m	$= d_1 \cdot (h_{c,ef} / d_1)$
$A_{c,eff}$	0,186 m ²	(pro Seite) $= h_{c,ef} \cdot b$
A_{ct}	0,250 m ²	(pro Seite) $= h/2 \cdot b$
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 \text{ /mm}^2$)	32,0 mm	(Gl. 7.6DE) $= \sigma_s \cdot \min\{4 \cdot d_1 / (k \cdot k_c \cdot 0,5 \cdot h); 1\} \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 \text{ /mm}^2$)	32,0 mm	(Gl. NA.7.5.2) $= \sigma_s \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (7.6 DE)	164,9 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE) $= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (130c)	164,9 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE) $= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$
A_s	16,4 cm ²	(pro Seite) (Gl. NA.7.5.1) $= 10^4 \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s$
min A_s	5,0 cm ²	(pro Seite) (Gl. NA.7.5.1) $= 10^4 \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$
max A_s	15,1 cm ²	(pro Seite) (Gl. 7.1) $= 10^4 \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$
erf. A_s	15,1 cm²	(pro Seite)
Bewehrungsgrad ρ	0,809 %	$\mu.1 = 0,602 \%$

Für $h = 0,80 \text{ m}$

Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung aus Zwang

bei voller Verformungsbehinderung

1. Vorgabedaten

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37	f_{ck}	30,00 N/mm ²
		f_{ctm}	2,90 N/mm ²
Beiwert $k_{zt} = f_{ct,eff}/f_{ctm}$	0,50 (Normalzement)	$f_{ct,eff}$	1,45 N/mm ²
Rissbreite w_k	0,25 mm		
Bewehrung, Stab d_s	Ø 20 mm	Bew.-Durchm. d_s	20 mm
Randabstand d_1 der Rissbewehrung			
<input checked="" type="radio"/> aus c_{nom} und d_s ermitteln (einlagige Bewehrung):		Überdeckung c_{nom}	6,0 cm
<input type="radio"/> Randabstand d_1 nach Benutzervorgabe:		Randabstand d_1	2,0 cm
Randabstand d_1	7,0 cm		
Bauteildicke h	80 cm	Nutzhöhe d	73,0 cm
Breite d. Zugzone b_t	100 cm		
Beiwert k	0,52		
<input checked="" type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> äußerer Zwang, $k=1$	0,52 0,54	(lineare Interpolation gemäß EC2-1-1) (parabolische Interpolation, vgl. [Meyer-07])	
Beiwert k_c	1,00	Hinweis:	Die ermittelte Bewehrung gilt je Seite
<input checked="" type="radio"/> zentrischer Zwang <input type="radio"/> Biegezwang			
$h_{c,ef}$	0,175 m	(pro Seite)	$= \min\{2,5 \cdot d_1; h/2\}$ (Bild 7.1)

2. Berechnung nach EC2-1-1 (2011)

		<input checked="" type="checkbox"/> Regelungen für dicke Bauteile anwenden?	
		ja (nur bei zentrischem Zwang)	
h / d_1	11,4	> 5 --> dickes Bauteil	
$h_{c,ef} / d_1$	3,14	(EC2-1-1 Bild NA.7.1d)	
Wirksame Bauteildicke $h_{c,ef}$	0,220 m	$= d_1 \cdot (h_{c,ef} / d_1)$	
$A_{c,eff}$	0,220 m ²	(pro Seite) $= h_{c,ef} \cdot b$	
A_{ct}	0,400 m ²	(pro Seite) $= h/2 \cdot b$	
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 \text{ /mm}^2$)	40,0 mm	(Gl. 7.6DE) $= \sigma_s \cdot \min\{4 \cdot d_1 / (k \cdot k_c \cdot 0,5 \cdot h); 1\} \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$	
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 \text{ /mm}^2$)	40,0 mm	(Gl. NA.7.5.2) $= \sigma_s \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$	
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (7.6 DE)	147,5 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE) $= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$	
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (130c)	147,5 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE) $= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$	
A_s	21,6 cm ²	(pro Seite) (Gl. NA.7.5.1) $= 10^4 \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s$	
min A_s	6,0 cm ²	(pro Seite) (Gl. NA.7.5.1) $= 10^4 \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$	
max A_s	20,5 cm ²	(pro Seite) (Gl. 7.1) $= 10^4 \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$	
erf. A_s	20,5 cm ²	(pro Seite)	
Bewehrungsarad ρ	0.930 %	$u.1 = 0.511 \%$	

Für $h = 1,10 \text{ m}$

✚ Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung aus Zwang
 bei voller Verformungsbehinderung

1. Vorgabedaten

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37		f_{ck}	30,00 N/mm ²
			f_{ctm}	2,90 N/mm ²
Beiwert $k_{zt} = f_{ct,eff}/f_{ctm}$	0,50 (Normalzement)		$f_{ct,eff}$	1,45 N/mm ²
Rissbreite w_k	0,25 mm			
Bewehrung, Stab d_s	Ø 25 mm	Bew.-Durchm. d_s		25 mm

Randabstand d_1 der Rissbewehrung

☒ aus c_{nom} und d_s ermitteln (einlagige Bewehrung):
☐ Randabstand d_1 nach Benutzervorgabe:

Überdeckung c_{nom} 6,0 cm
 Randabstand d_1 7,3 cm

Randabstand d_1	7,3 cm		Nutzhöhe d	102,7 cm
Bauteildicke h	110 cm			
Breite d. Zugzone b_t	100 cm			

Beiwert k

☒ eigener Zwang, $k=0,52...0,8$
☐ eigener Zwang, $k=0,52...0,8$
☐ äußerer Zwang, $k=1$

0,52
(lineare Interpolation gemäß EC2-1-1)
(parabolische Interpolation, vgl. [Meyer-07])

Beiwert k_c

☒ zentrischer Zwang
☐ Biegezwang

1,00
 Hinweis: Die ermittelte Bewehrung gilt
je Seite

$h_{c,ef}$

0,183 m

(pro Seite) = $\min\{2,5 \cdot d_1; h/2\}$ (Bild 7.1)

2. Berechnung nach EC2-1-1 (2011)

☒ Regelungen für dicke Bauteile anwenden?
ja (nur bei zentrischem Zwang)

h / d_1 15,1 > 5 --> dickes Bauteil

$h_{c,ef} / d_1$	3,51		(EC2-1-1 Bild NA.7.1d)	
Wirksame Bauteildicke $h_{c,ef}$	0,256 m			$= d_1 \cdot (h_{c,ef} / d_1)$
$A_{c,eff}$	0,256 m ²	(pro Seite)		$= h_{c,ef} \cdot b$
A_{ct}	0,550 m ²	(pro Seite)		$= h/2 \cdot b$
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 / \text{mm}^2$)	50,0 mm	(Gl. 7.6DE)	$= \sigma_s \cdot \min\{4 \cdot d_1 / (k \cdot k_c \cdot 0,5 \cdot h); 1\} \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$	
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 / \text{mm}^2$)	50,0 mm	(Gl. NA.7.5.2)		$= \sigma_s \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (7.6 DE)	131,9 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE)	$= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$	
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (130c)	131,9 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE)	$= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$	
A_s	28,1 cm ²	(pro Seite) (Gl.NA.7.5.1)	$= 10^4 \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s$	
min A_s	8,3 cm ²	(pro Seite) (Gl.NA.7.5.1)	$= 10^4 \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$	
max A_s	31,4 cm ²	(pro Seite) (Gl. 7.1)	$= 10^4 \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$	
erf. A_s	28,1 cm²	(pro Seite)		

Bauteildicke d [m]	erf. a _s [cm ² /m]	Gewählte Bewehrung	vorh. a _s [cm ² /m]
0,30	9,9	Ø 14 - 15	10,3
0,50	15,1	Ø 16 - 13	15,5
0,80	20,5	Ø 20 - 15	20,9
1,10	28,1	Ø 25 - 15	32,7

7.6 Bemessung

Im Rahmen der Entwurfsplanung erfolgt die Bemessung einzelner Tragglieder an vereinfachten Ersatzmodellen.

7.6.1 Rückwand Betriebsraum

Die Rückwand des Betriebsraumes ($h = 0,30$ m) wird für Erdruchdruck infolge Bodeneigengewicht und Verkehrsauflast (LM1 = 52 kN/m^2) bemessen.

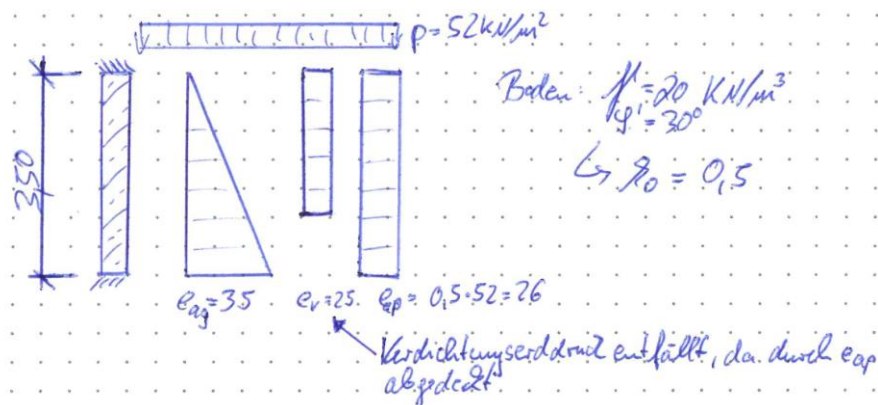
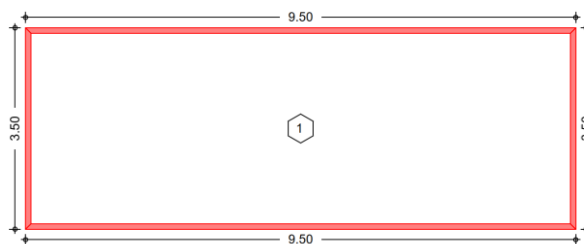


Abbildung 11: Erddruck auf Rückwand Betriebsraum



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

Feld	l_x [m]	l_y [m]	X [m]	Y [m]	h [cm]	Material
1	9.50	3.50	0.00	0.00	30.0	C 25/30

Expositionsklasse

XC4

Linienlager (Rand)

Feld	Rand [-]	b [cm]	Transl. [-]	Rotat. [%]
1	un, re, ob, li	30.00	starr	starr

Belastungen

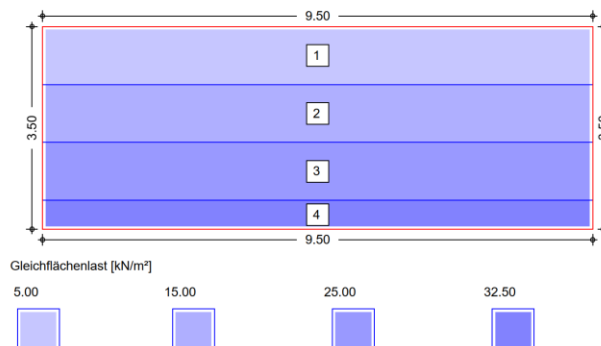
Belastungen auf das System

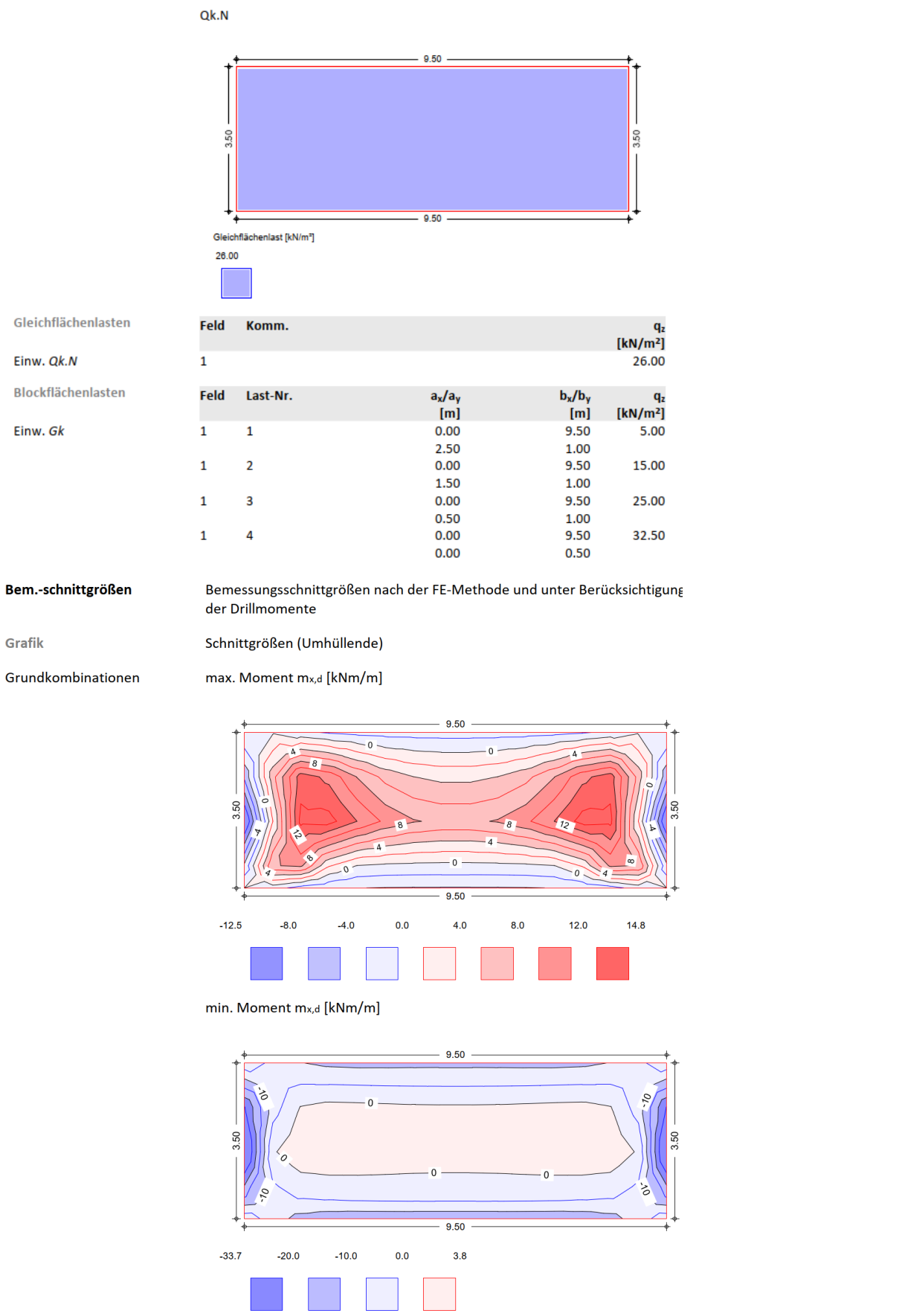
Grafik

Belastungsgrafiken (einwirkungsbezogen)

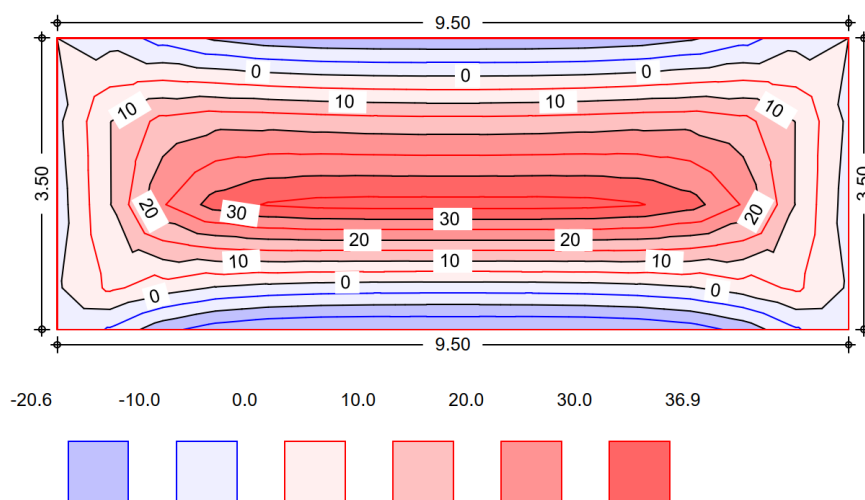
Einwirkungen

Gk

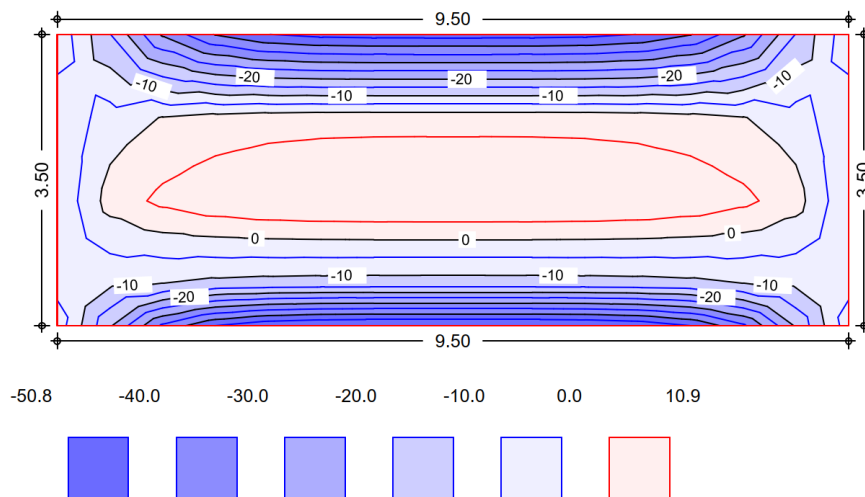




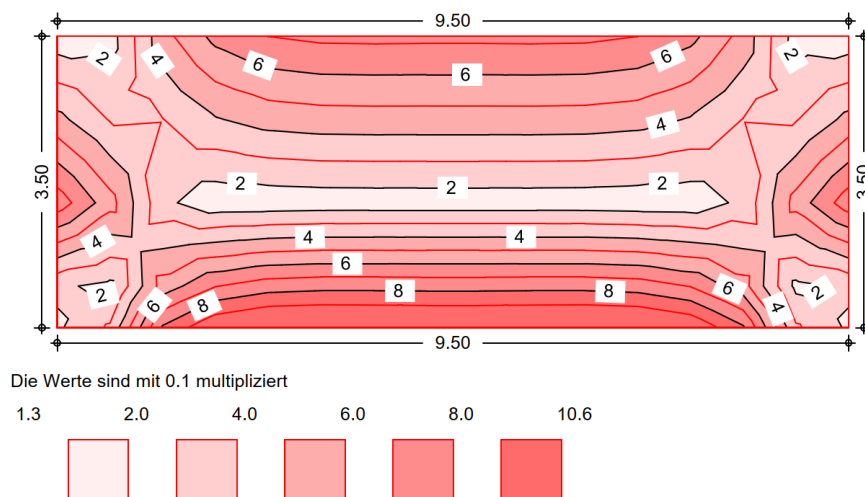
max. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]



min. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



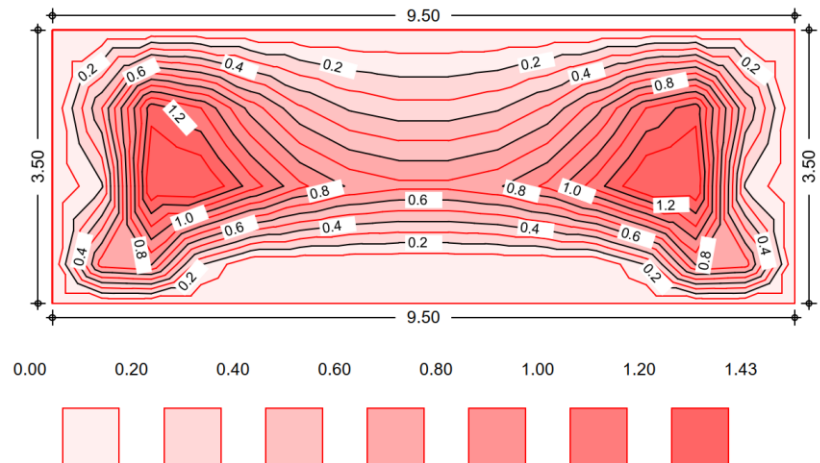
Bemessung (GZT)

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1
 - Die Mindestbewehrung für Biegung nach 9.3.1.1 ist berücksichtigt.

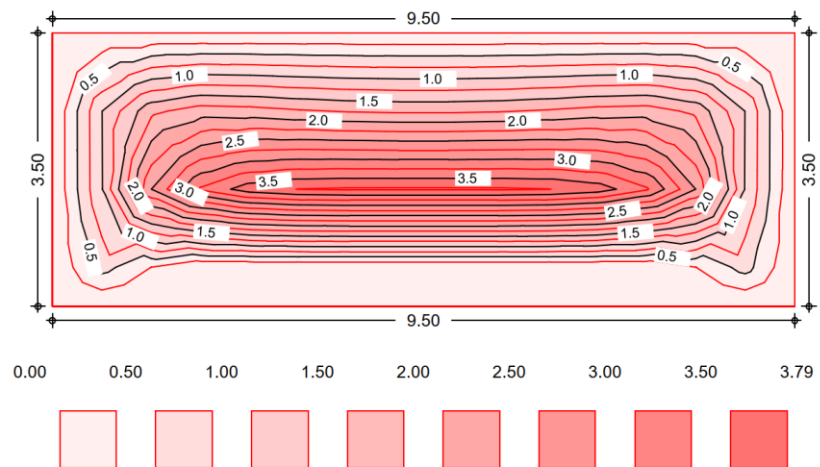
Grafik

Isoflächendarstellung der Biegebewehrung und Bemessungs-Querkraft

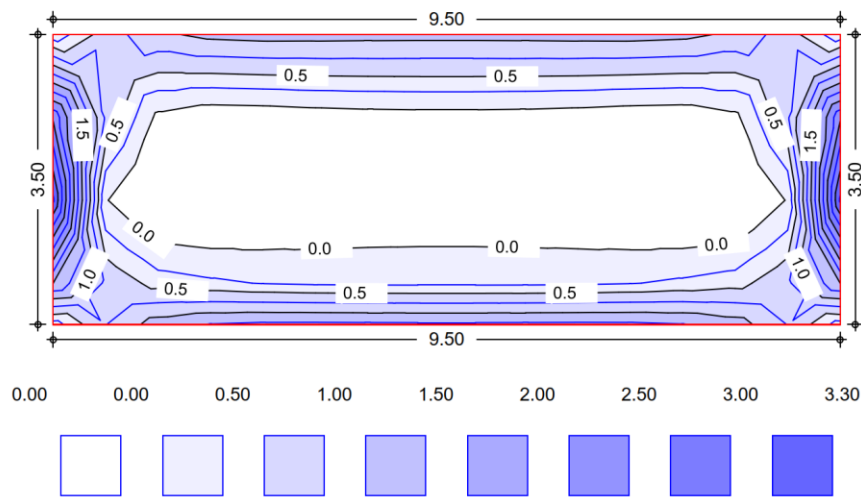
Biegebewehrung $a_{s,ux}$ [cm²/m]



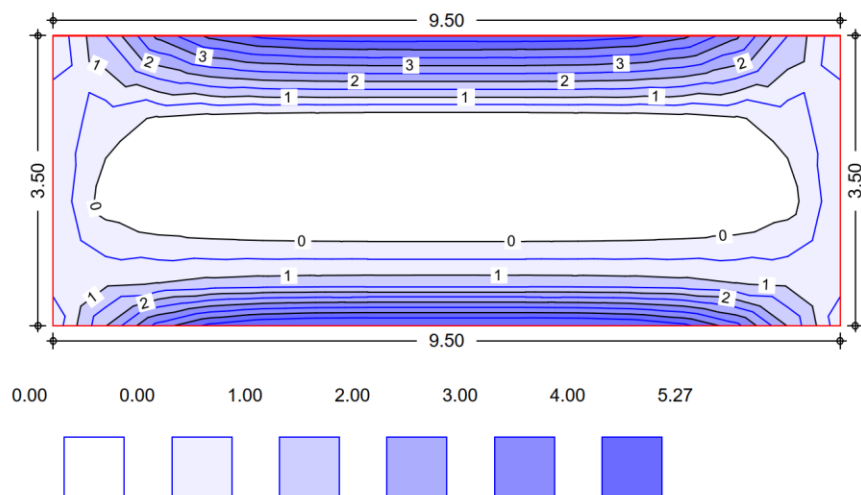
Biegebewehrung $a_{s,uy}$ [cm²/m]



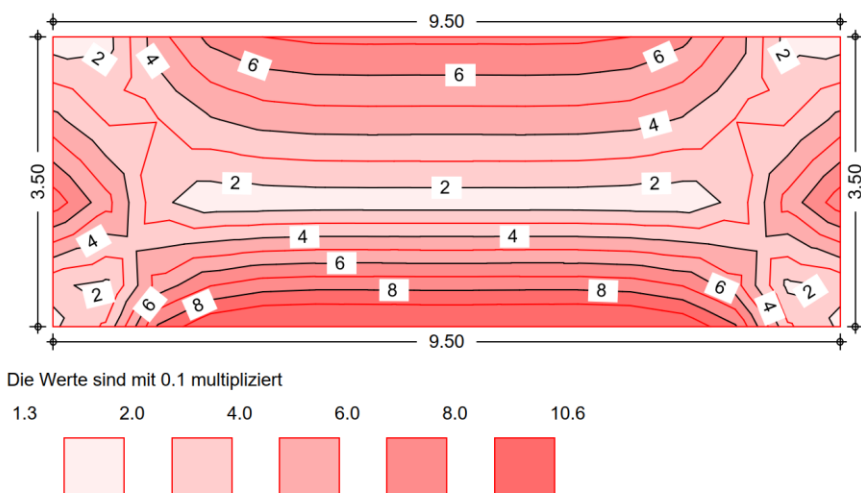
Biegebewehrung $a_{s,ox}$ [cm²/m]



Biegebewehrung $a_{s,oy}$ [cm²/m]



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



Biegung (Feld unten)

Max. untere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xu}$ [cm ² /m]	$a_{s,yu}$ [cm ² /m]
1	s/v	14.76	36.88	1.43	3.79
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Feld oben)

Max. obere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]
1	s/v	-33.72	-50.79	3.30	5.27
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Rand oben)

Max. obere Biegebewehrung je Rand [cm²/m]

	Rand	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]
Feld 1	unten	s/v	-13.53	-50.79	1.31	5.27
	rechts	s/v	-33.72	-9.42	3.30	0.95
	oben	s/v	-11.37	-47.12	1.10	4.88
	links	s/v	-33.72	-9.42	3.30	0.95
	s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Querkraft (Ränder)

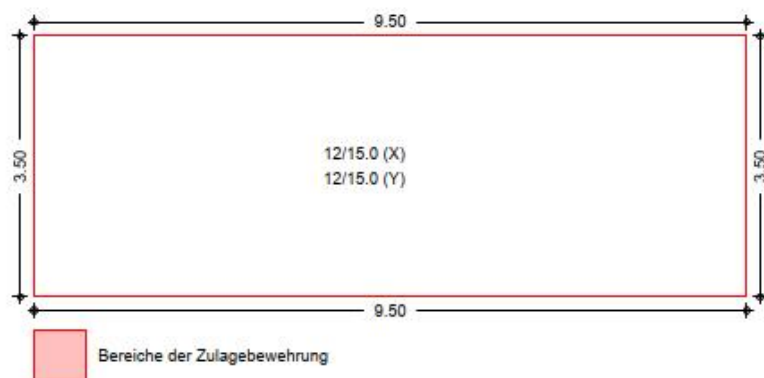
Max. Querkraftbewehrung für Ränder [cm²/m]

	Rand	Ek	a	s	V _{Ed}	V _{Rd,c}	a _{s,w}
			[m]	[m]	[kN/m]	V _{Rd,max} [kN/m]	[cm²/m]
Feld 1	unten	s/v	0.00	9.50	84.40	106.63 645.47	0.00
	rechts	s/v	0.00	3.50	62.78	106.63 645.47	0.00
	oben	s/v	0.00	9.50	62.54	106.63 645.47	0.00
	links	s/v	0.00	3.50	62.78	106.63 645.47	0.00
s/v: ständige/vorübergehende Kombination							

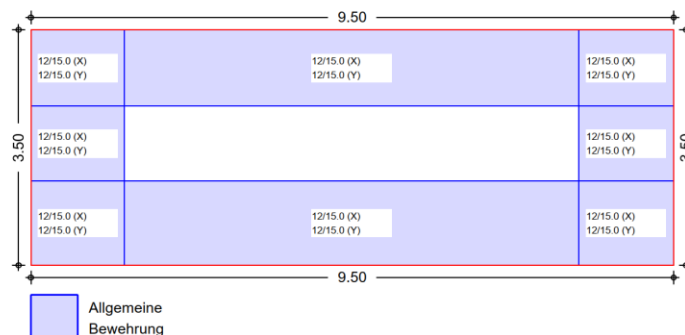
Bewehrungswahl

Biegebewehrung

Bewehrung unten



Bewehrung oben



Grundbew. unten

Feld	$a_{s,xu}$ [cm ² /m]	$a_{s,yu}$ [cm ² /m]	gewählt
1	7.54	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)

M: Mindestbewehrung

Grundbew. oben

Feld	Ort	b [m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]	gewählt
1	unten	1.30	7.54	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	rechts	1.40	7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	oben	1.10	7.54	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	links	1.40	7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Un Li)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Un Re)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Li)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Re)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)

M: Mindestbewehrung

Auflagerkräfte

Auflagerkräfte des Deckensystems

Auflager

Geometrie der Linienlager

Aufl.	Feld,Lage	a [m]	s [m]
F1U	1,unten	0.00	9.50
F1R	1,rechts	0.00	3.50
F1O	1,oben	0.00	9.50
F1L	1,links	0.00	3.50

Char. Auflagerkr.

Charakteristische Auflagerkräfte (je Einwirkung)

	Aufl.	$F_{z,k,min}$ [kN/m]	$F_{z,k,max}$ [kN/m]	$M_{y,k,min}$ [kNm/m]	$M_{y,k,max}$ [kNm/m]
Einw. Gk	F1U	35.36	35.36	16.62	16.62
	F1R	15.22	15.22	6.78	6.78
	F1O	14.68	14.68	-10.64	-10.64
	F1L	15.22	15.22	-6.78	-6.78
Einw. Qk.N	F1U	0.00	37.18	0.00	20.44
	F1R	0.00	22.55	0.00	10.07
	F1O	0.00	37.21	-20.41	0.00
	F1L	0.00	22.55	-10.07	0.00

7.6.2 Rückwand Pumpenraum

Die Rückwand des Betriebsraumes ($h = 1,10 \text{ m}$) wird für Erdruchdruck infolge Bodeneigengewicht und Verkehrsaufast ($LM1 = 52 \text{ kN/m}^2$) sowie Wasserdruk ($Z_v = 150,81$) bemessen. Für den Wasserdruk wird der Potentialabbau im Damm nicht berücksichtigt. So ist auch der Lastfall ZH mit abgedeckt.

Hinweis: Die Bemessung erfolgt für eine Wand $d = 0,5 \text{ m}$. Damit sind die Nachweise auch für die dünneren ($d = 0,5 \text{ m}$) Seitenwände (bei eigentlich geringerer Belastung) erbracht. Maßgebend für die Festlegung der Bewehrung wird ohnehin die Mindestbewehrung für zentrischen Zwang. Im Bereich der 3 Rohrdurchbrüche erfolgt der Einbau einer Auswechselbewehrung.

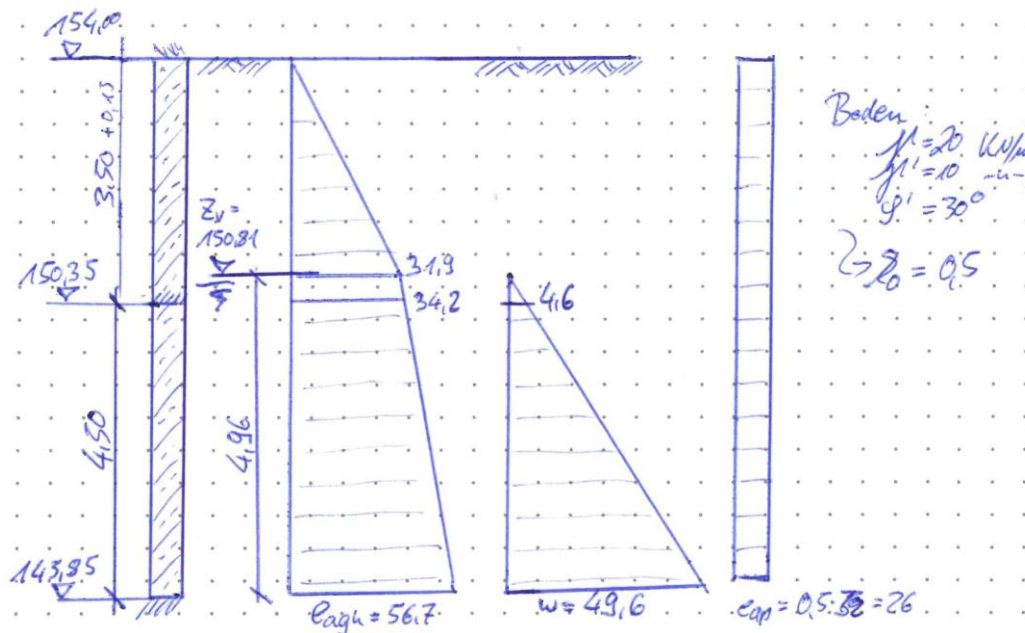
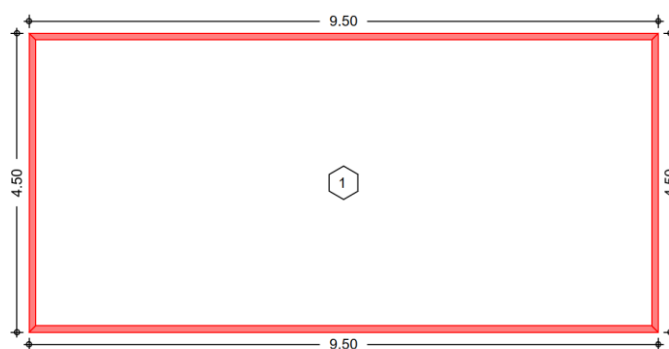


Abbildung 12: Erddruck auf Rückwand Pumpenraum

System

Ebenes Plattenmodell

M 1:90



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

Feld	l_x [m]	l_y [m]	X [m]	Y [m]	h [cm]	Material
1	9.50	4.50	0.00	0.00	50.0	C 25/30

Expositions-klasse

XC4

Linienlager (Rand)

Feld	Rand [-]	b [cm]	Transl. [-]	Rotat. [%]
1	un, re, ob, li	50.00	starr	starr

Belastungen

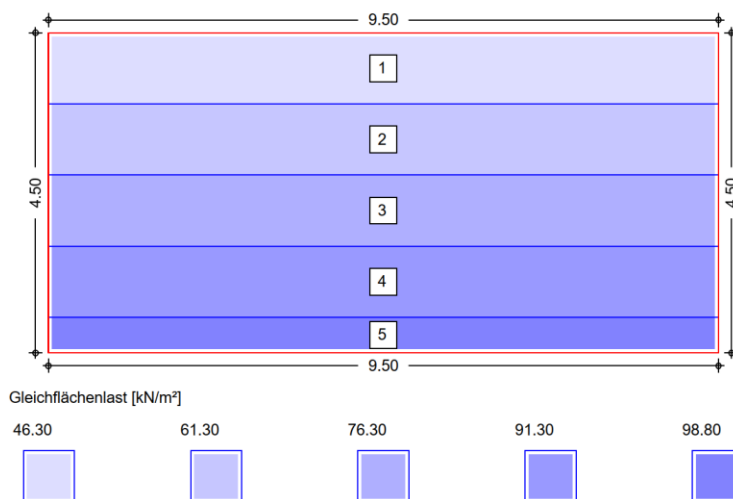
Belastungen auf das System

Grafik

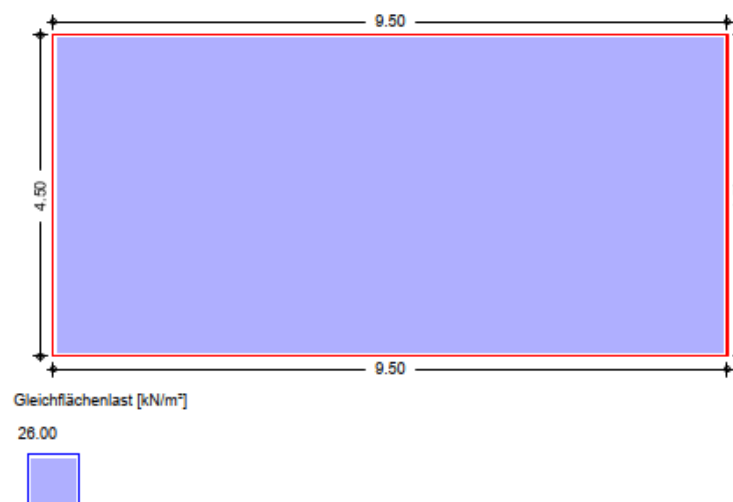
Belastungsgrafiken (einwirkungsbezogen)

Einwirkungen

Gk



Qk.N



Gleichflächenlasten

Einw. Qk.N

Feld	Komm.	q _z [kN/m²]
1		26.00

Blockflächenlasten

Einw. Gk

Feld	Last-Nr.	a _x /a _y [m]	b _x /b _y [m]	q _z [kN/m²]
1	1	0.00	9.50	46.30
		3.50	1.00	
1	2	0.00	9.50	61.30
		2.50	1.00	
1	3	0.00	9.50	76.30
		1.50	1.00	
1	4	0.00	9.50	91.30
		0.50	1.00	
1	5	0.00	9.50	98.80
		0.00	0.50	

Bem.-schnittgrößen

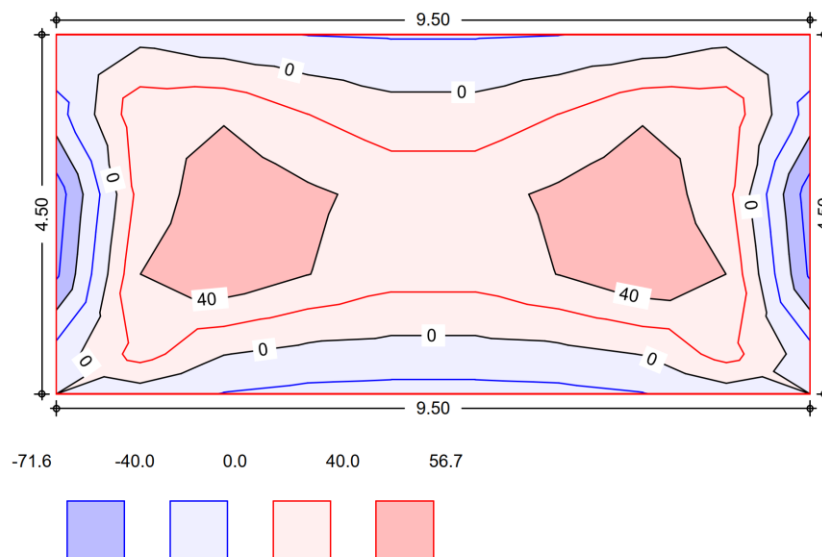
Bemessungsschnittgrößen nach der FE-Methode und unter Berücksichtigung der Drillmomente

Grafik

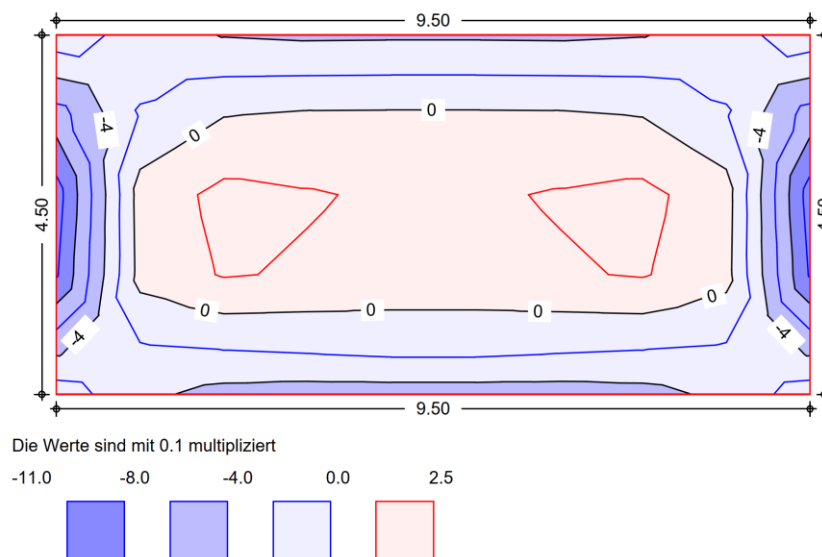
Schnittgrößen (Umhüllende)

Grundkombinationen

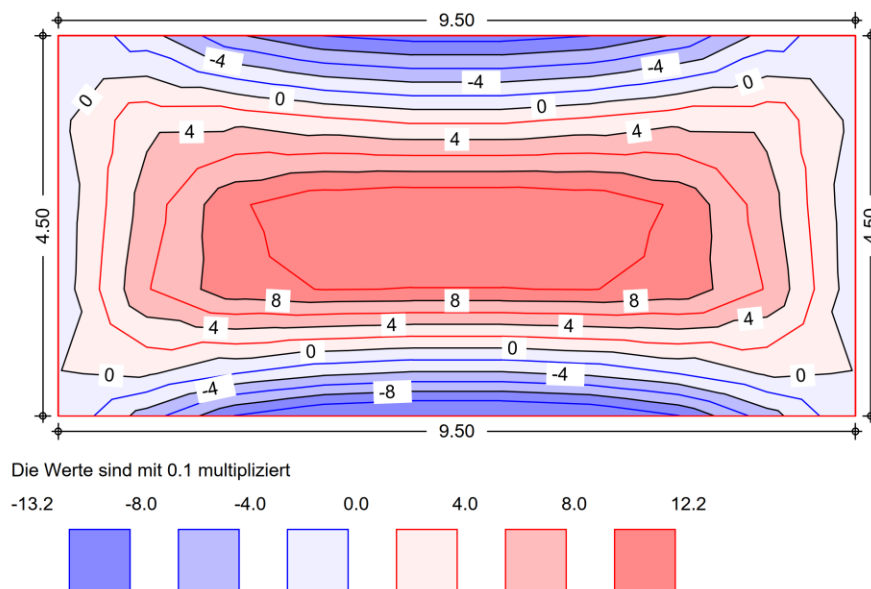
max. Moment $m_{x,d}$ [kNm/m]



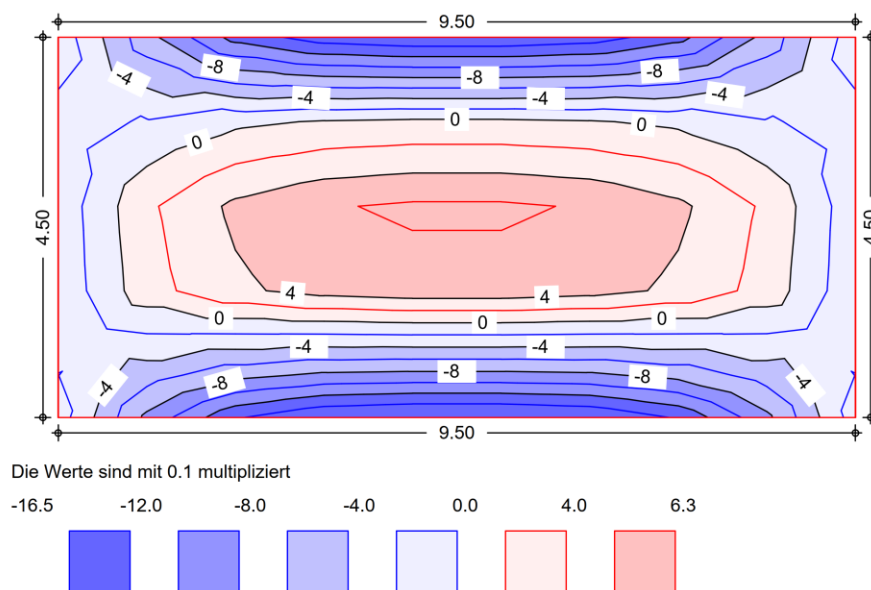
min. Moment $m_{x,d}$ [kNm/m]



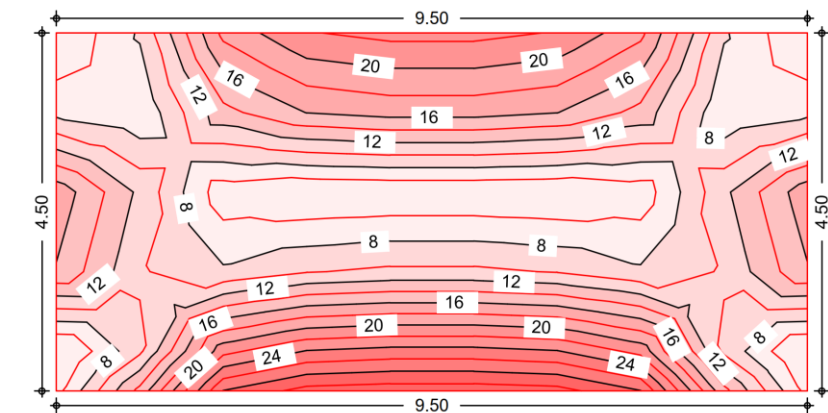
max. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]



min. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



Die Werte sind mit 0.1 multipliziert

3.3 8.0 12.0 16.0 20.0 24.0 28.0 31.2



Bemessung (GZT)

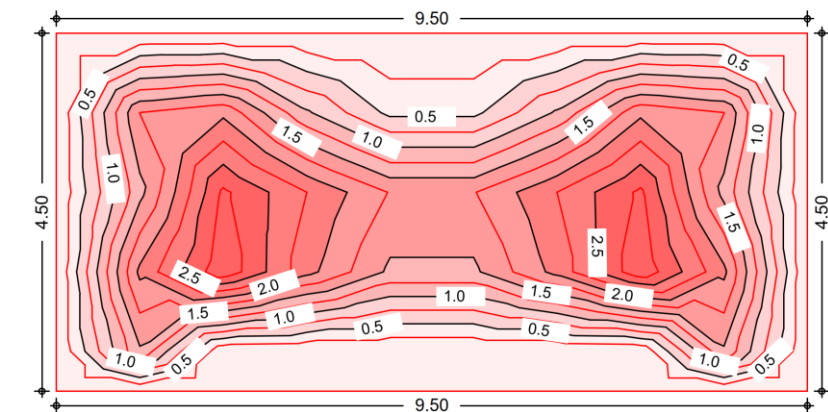
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1

- Die Mindestbewehrung für Biegung nach 9.3.1.1 ist berücksichtigt.

Grafik

Isoflächendarstellung der Biegebewehrung und Bemessungs-Querkraft

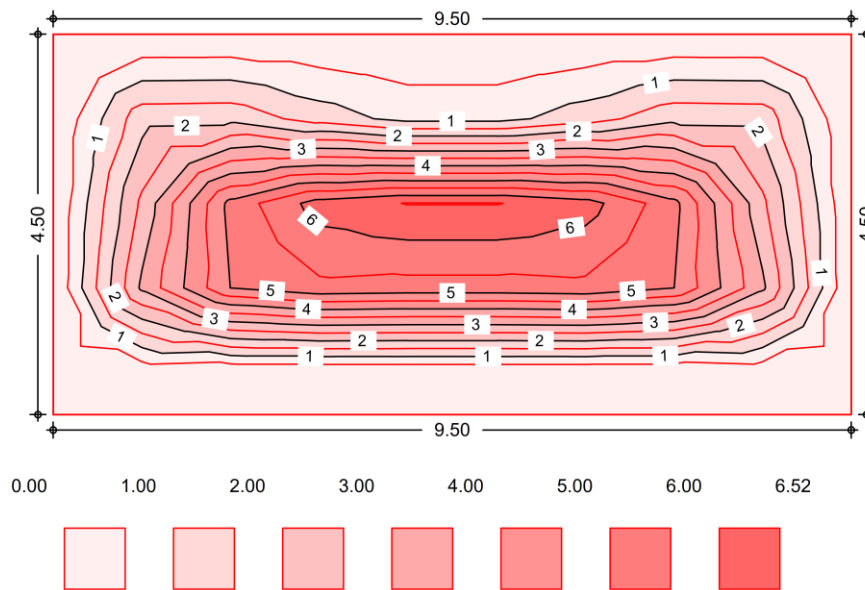
Biegebewehrung $a_{s,ux}$ [cm²/m]



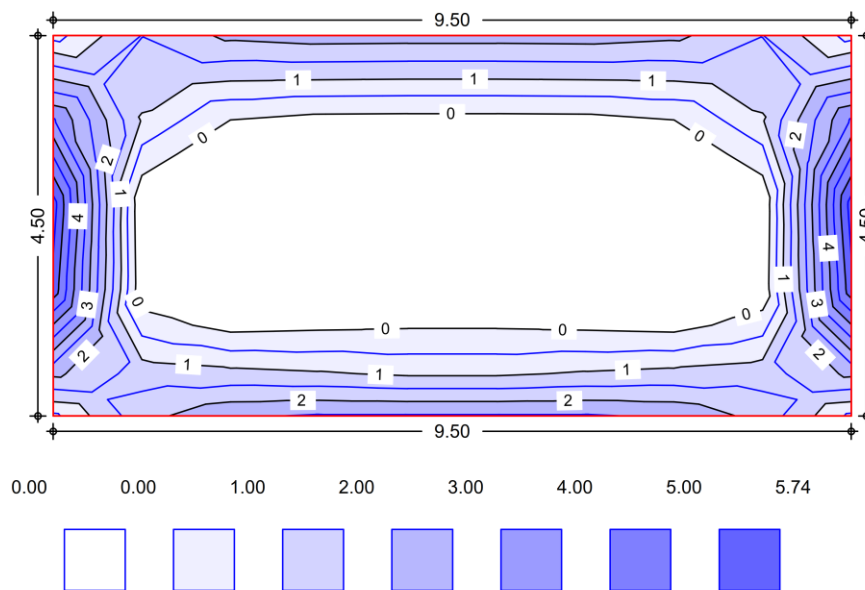
0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50 2.94



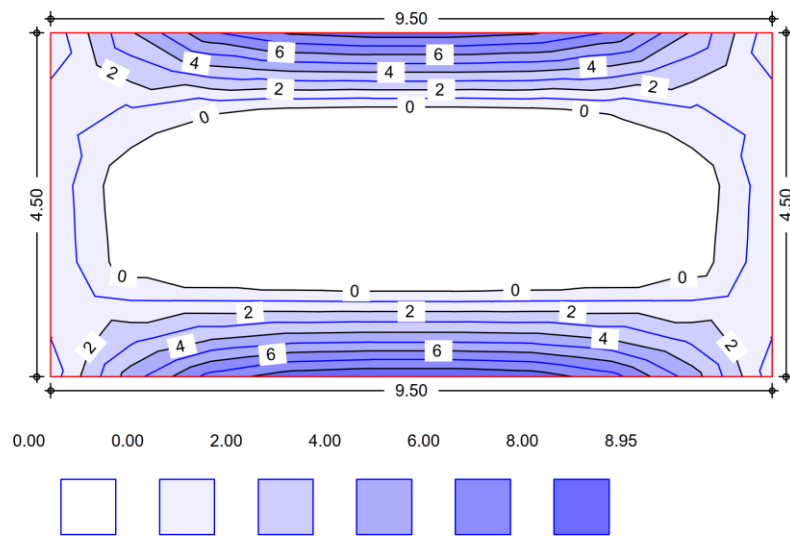
Biegebewehrung $a_{s,uy}$ [cm²/m]



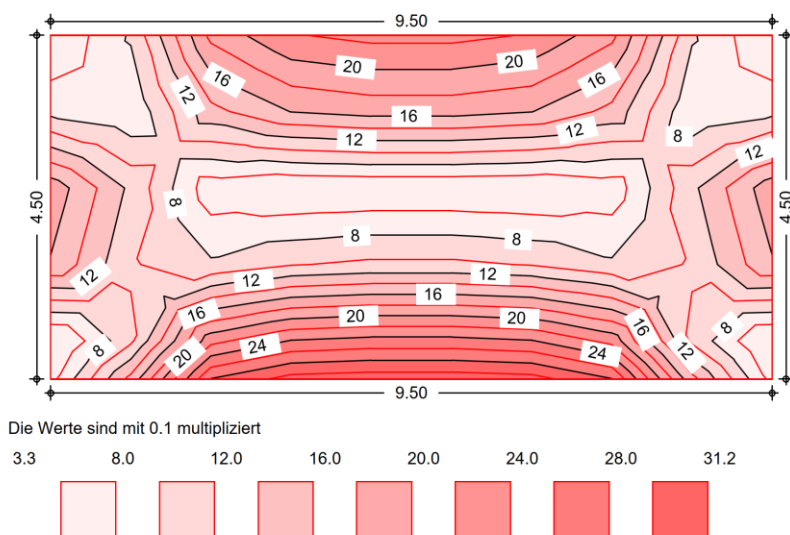
Biegebewehrung $a_{s,ox}$ [cm²/m]



Biegebewehrung $a_{s,oy}$ [cm²/m]



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



Biegung (Feld unten)

Max. untere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xu}$ [cm ² /m]	$a_{s,yu}$ [cm ² /m]
1	s/v	56.71	121.55	2.94	6.52
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Feld oben)

Max. obere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]
1	s/v	-109.79	-165.32	5.74	8.95
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Rand oben)

Max. obere Biegebewehrung je Rand [cm²/m]

	Rand	Ek	m _{x,Ed} [kNm/m]	m _{y,Ed} [kNm/m]	a _{s,xo} [cm ² /m]	a _{s,yo} [cm ² /m]
Feld 1	unten	s/v	-49.44	-165.32	2.56	8.95
	rechts	s/v	-109.79	-35.03	5.74	1.85
	oben	s/v	-43.28	-157.11	2.24	8.49
	links	s/v	-109.79	-35.03	5.74	1.85

s/v: ständige/vorübergehende Kombination

Querkraft (Ränder)

Max. Querkraftbewehrung für Ränder [cm²/m]

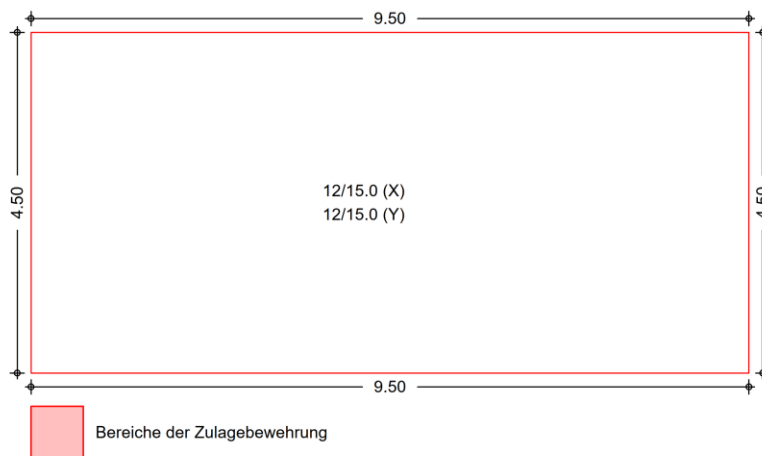
	Rand	Ek	a	s	V _{Ed}	V _{Rd,c} V _{Rd,max} [kN/m]	a _{s,w} [cm ² /m]
			[m]	[m]	[kN/m]		
Feld 1	unten	s/v	0.00	9.50	222.90	340.00 1219.22	0.00
	rechts	s/v	0.00	4.50	136.10	162.82 1219.22	0.00
	oben	s/v	0.00	9.50	186.84	340.00 1219.22	0.00
	links	s/v	0.00	4.50	136.10	162.82 1219.22	0.00

s/v: ständige/vorübergehende Kombination

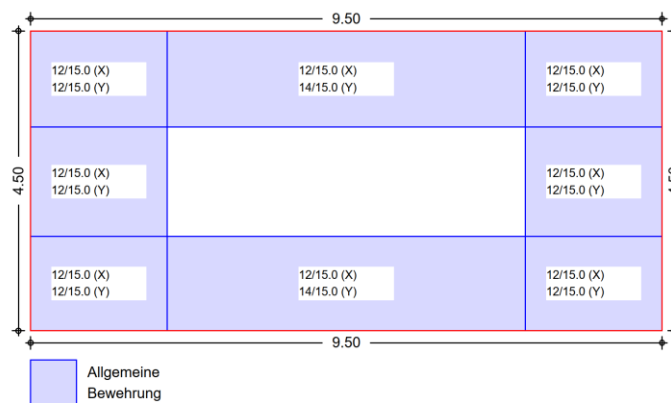
Bewehrungswahl

Biegebewehrung

Bewehrung unten



Bewehrung oben



Grundbew. unten

Feld	$a_{s,xu}$ [cm ² /m]	$a_{s,yu}$ [cm ² /m]	gewählt
1	7.54	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)

Grundbew. oben

Feld	Ort	b [m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]	gewählt
1	unten	1.40	7.54	10.26	12/15.0 (X) 14/15.0 (Y)
	rechts	2.10	7.54	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	oben	1.40	7.54	10.26	12/15.0 (X) 14/15.0 (Y)
	links	2.10	7.54	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Un Li)		7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Un Re)		7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Li)		7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Re)		7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)

M: Mindestbewehrung

Auflagerkräfte

Auflagerkräfte des Deckensystems

Auflager

Geometrie der Linienlager

Aufl.	Feld,Lage	a [m]	s [m]
F1U	1,unten	0.00	9.50
F1R	1,rechts	0.00	4.50
F1O	1,oben	0.00	9.50
F1L	1,links	0.00	4.50

Char. Auflagerkr.

Charakteristische Auflagerkräfte (je Einwirkung)

	Aufl.	$F_{z,k,min}$ [kN/m]	$F_{z,k,max}$ [kN/m]	$M_{y,k,min}$ [kNm/m]	$M_{y,k,max}$ [kNm/m]
Einw. G_k	F1U	149.20	149.20	94.57	94.57
	F1R	79.77	79.77	47.49	47.49
	F1O	99.83	99.83	-76.53	-76.53
	F1L	79.77	79.77	-47.49	-47.49
Einw. $Q_{k,N}$	F1U	0.00	45.00	0.00	30.84
	F1R	0.00	28.64	0.00	17.03
	F1O	0.00	44.86	-30.72	0.00
	F1L	0.00	28.64	-17.03	0.00

7.6.3 Sohle/Decke Pumpenraum

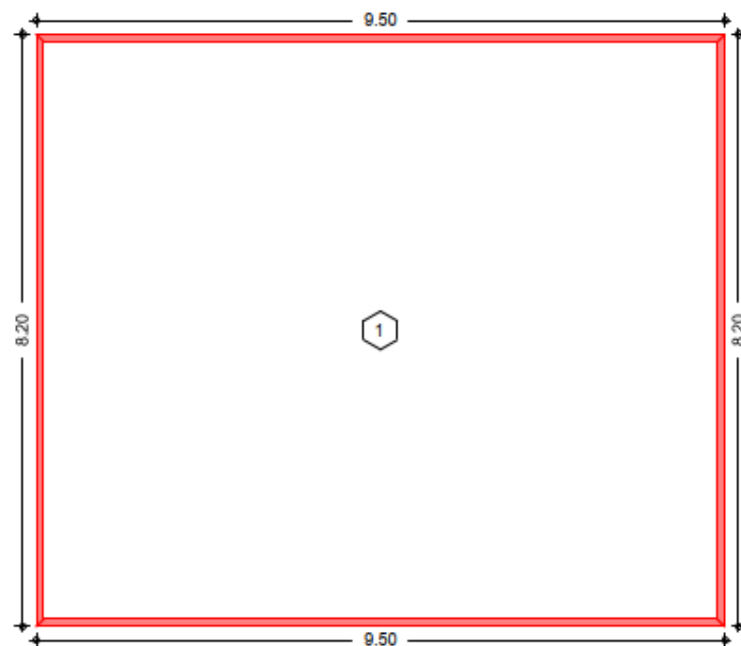
Die Sohle wird für den maximalen Auftrieb bei leerem Pumpenraum bemessen. Da die Decke bei gleicher Geometrie geringer belastet wird, ist auch die Decke damit nachgewiesen. Optimierung im Rahmen der Ausführungsstatik. In der Decke erfolgt der Einbau einer Auswechselbewehrung im Bereich der Rohrdurchbrüche.

Bemessung für max. Auftrieb: $\max A = (149,9 - 145,6) \cdot 10 = 43,0 \text{ kN/m}^2$

System

Ebenes Plattenmodell

M 1:95



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

Feld	l_x [m]	l_y [m]	X [m]	Y [m]	h [cm]	Material
1	9.50	8.20	0.00	0.00	50.0	C 25/30

Expositionsklasse

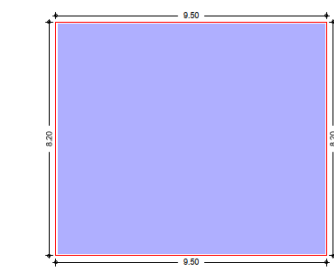
XC4

Linienlager (Rand)

Feld	Rand [-]	b [cm]	Transl. [-]	Rotat. [%]
1	un, re, ob, li	50.00	starr	starr

Belastungen
 Grafik
 Einwirkungen

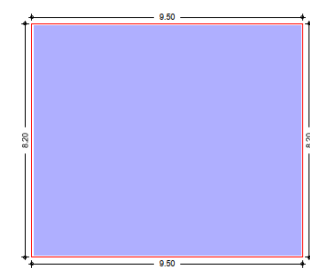
Belastungen auf das System
 Belastungsgrafiken (einwirkungsbezogen)
 Gk



Gleichflächenlast [kN/m²]



Qk.N



Gleichflächenlast [kN/m²]



Gleichflächenlasten

Einw. Gk
 Einw. Qk.N

Feld	Komm.	q _z [kN/m²]
1	Eigengew	12.50
1		43.00

Bem.-schnittgrößen

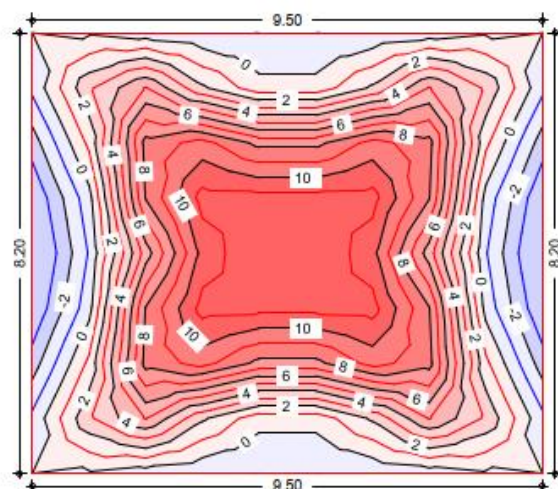
Bemessungsschnittgrößen nach der FE-Methode und unter Berücksichtigung der Drillmomente

Grafik

Schnittgrößen (Umhüllende)

Grundkombinationen

max. Moment $m_{x,d}$ [kNm/m]

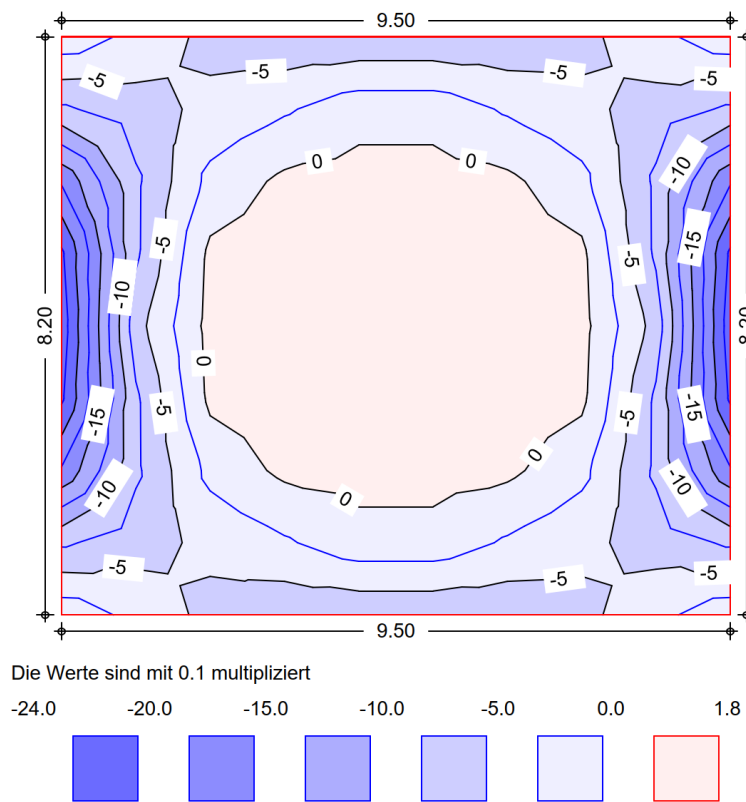


Die Werte sind mit 0.1 multipliziert

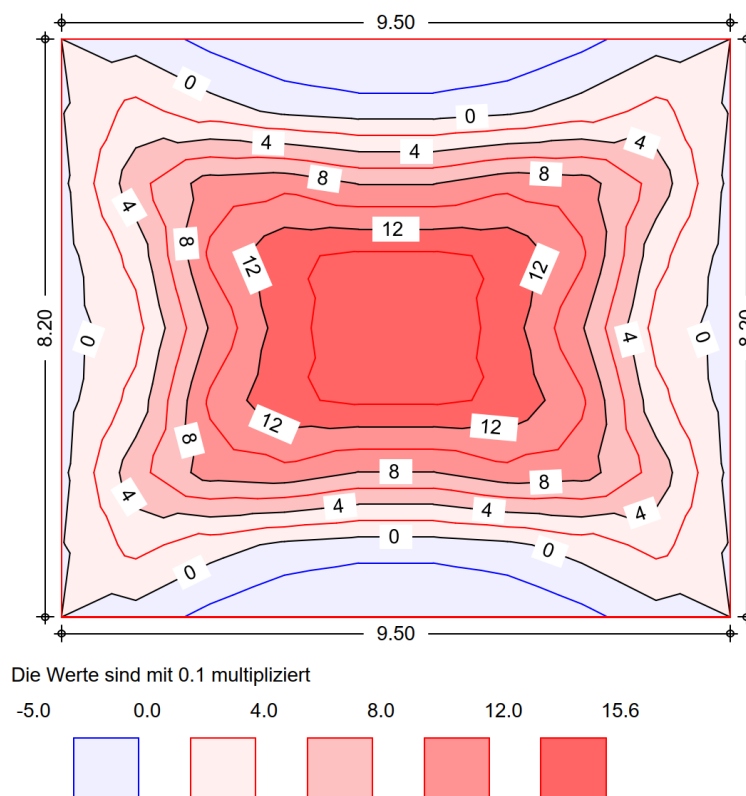
-4.5 -2.0 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0



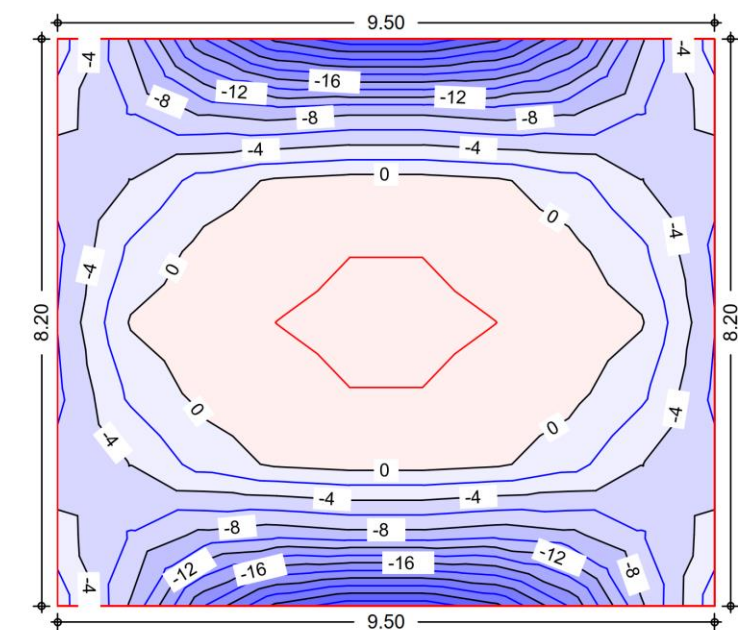
min. Moment $m_{x,d}$ [kNm/m]



max. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]

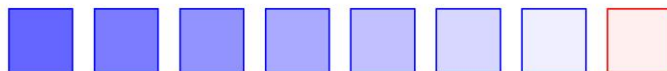


min. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]

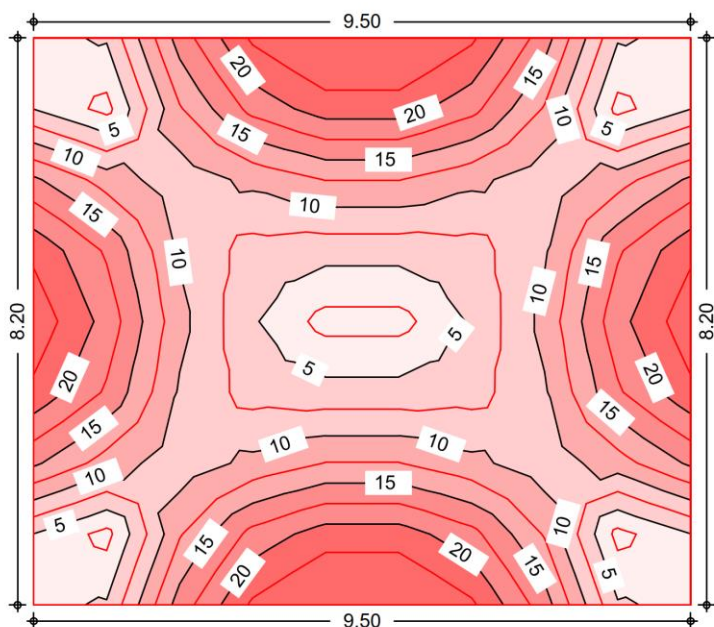


Die Werte sind mit 0.1 multipliziert

-27.4 -24.0 -20.0 -16.0 -12.0 -8.0 -4.0 0.0 2.4



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



Die Werte sind mit 0.1 multipliziert

1.6 5.0 10.0 15.0 20.0 26.1



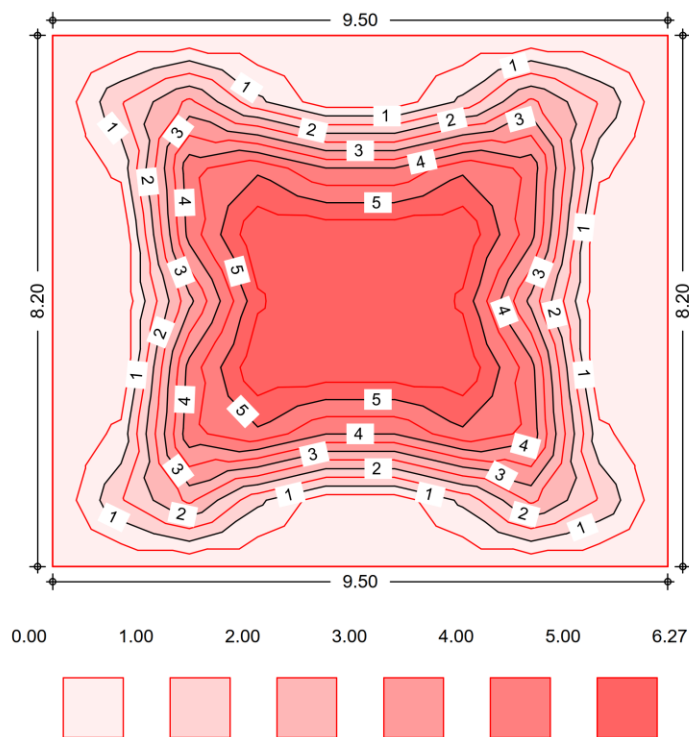
Bemessung (GZT)

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1
 - Die Mindestbewehrung für Biegung nach 9.3.1.1 ist berücksichtigt.

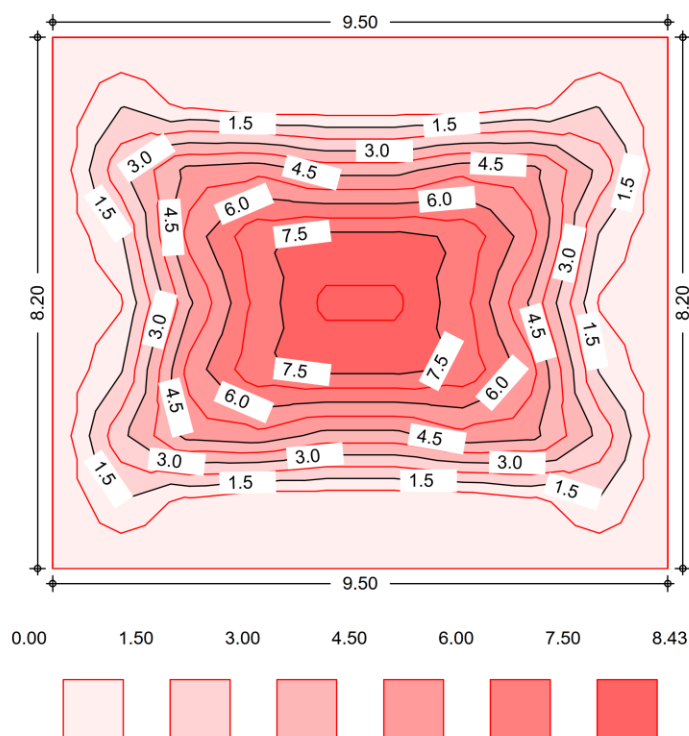
Grafik

Isoflächendarstellung der Biegebewehrung und Bemessungs-Querkraft

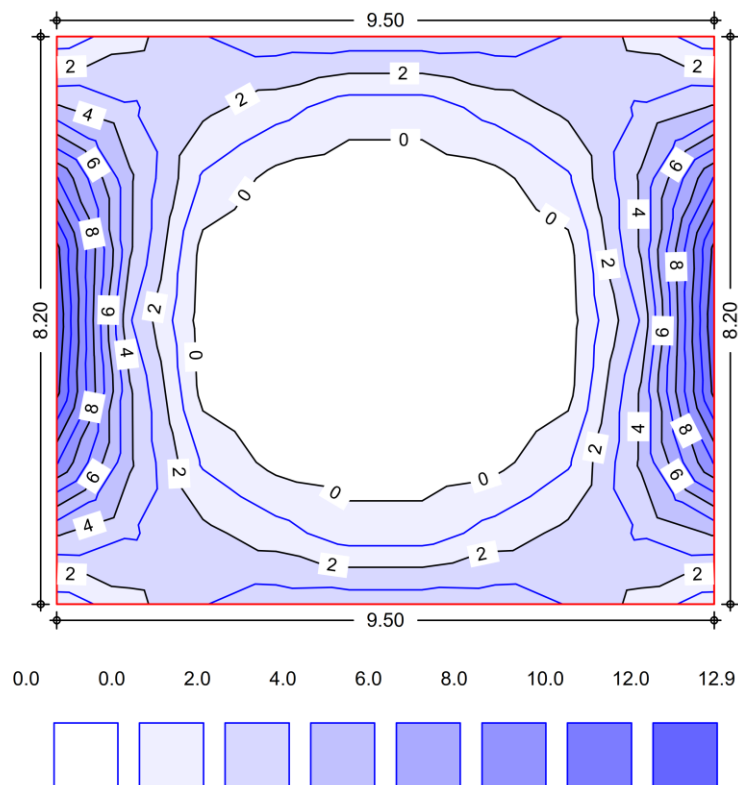
Biegebewehrung $a_{s,ux}$ [cm²/m]



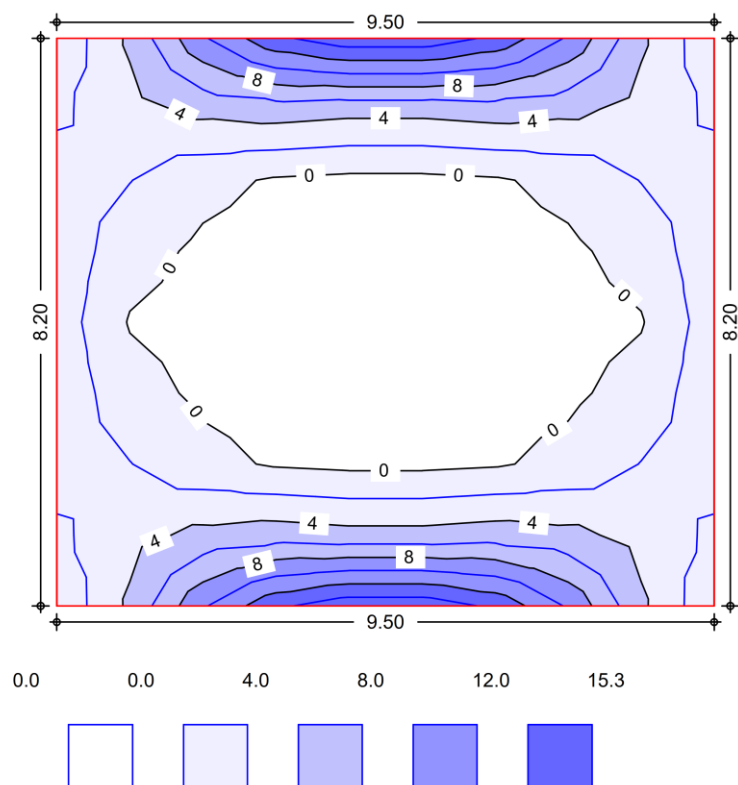
Biegebewehrung $a_{s,uy}$ [cm²/m]



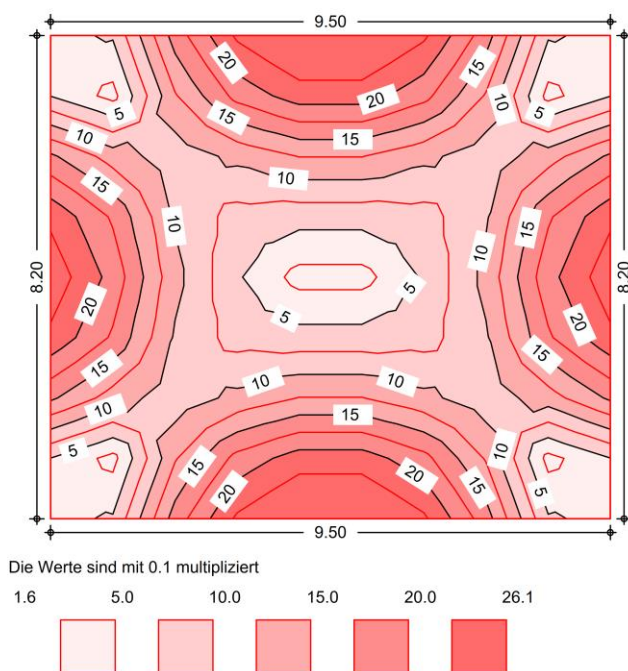
Biegebewehrung $a_{s,ox}$ [cm²/m]



Biegebewehrung $a_{s,oy}$ [cm²/m]



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



Biegung (Feld unten)

Max. untere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xu}$ [cm ² /m]	$a_{s,yu}$ [cm ² /m]
1	s/v	119.80	156.10	6.27	8.43
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Feld oben)

Max. obere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]
1	s/v	-240.05	-273.58	12.87	15.31
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Rand oben)

Max. obere Biegebewehrung je Rand [cm²/m]

	Rand	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]
Feld 1	unten	s/v	-70.10	-273.58	3.64	15.31
	rechts	s/v	-240.05	-63.85	12.87	3.39
	oben	s/v	-70.10	-273.58	3.64	15.31
	links	s/v	-240.05	-63.85	12.87	3.39
	s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Querkraft (Ränder)

Max. Querkraftbewehrung für Ränder [cm²/m]

	Rand	Ek	a	s	VEd	VRd,c	VRd,max	as,w
			[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[cm²/m]
Feld 1	unten	s/v	0.00	9.50	229.25	340.00	1219.22	0.00
	rechts	s/v	0.00	8.20	209.11	340.00	1219.22	0.00
	oben	s/v	0.00	9.50	229.25	340.00		0.00

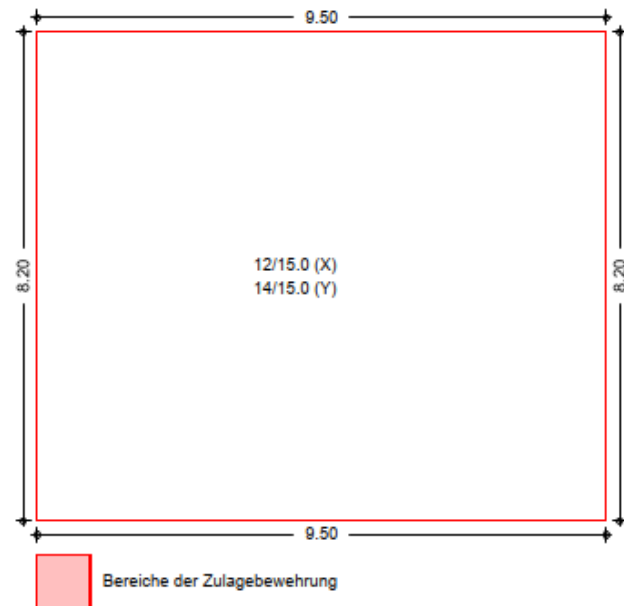
Rand	Ek	a	s	V _{Ed}	V _{Rd,c} V _{Rd,max}	a _{s,w}
		[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[cm ² /m]
links	s/v	0.00	8.20	209.11	1219.22 340.00 1219.22	0.00

s/v: ständige/vorübergehende Kombination

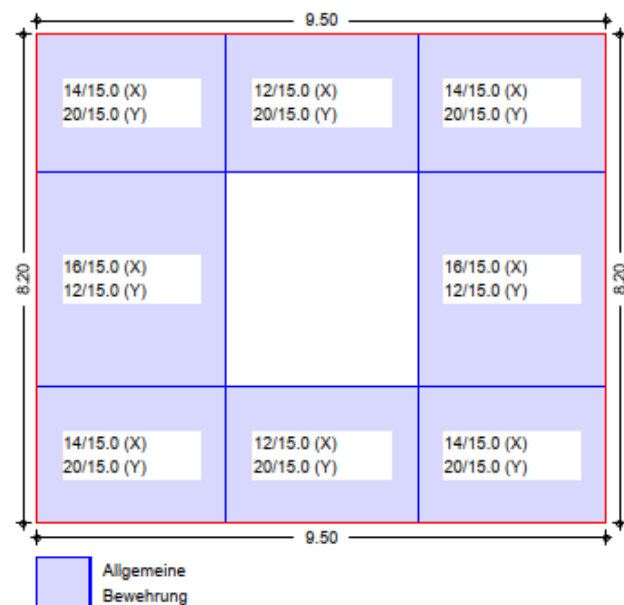
Bewehrungswahl

Biegebewehrung

Bewehrung unten



Bewehrung oben



Grundbew. unten

Feld	$a_{s,xu}$ [cm ² /m]	$a_{s,yu}$ [cm ² /m]	gewählt
1	7.54	10.26	12/15.0 (X) 14/15.0 (Y)

Grundbew. oben

Feld	Ort	b [m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]	gewählt
1	unten	2.30	7.54	20.94	12/15.0 (X) 20/15.0 (Y)
	rechts	3.10	13.40	7.54	16/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	oben	2.30	7.54	20.94	12/15.0 (X) 20/15.0 (Y)
	links	3.10	13.40	7.54	16/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Un Li)		10.26	20.94	14/15.0 (X) 20/15.0 (Y)
	Ecke (Un Re)		10.26	20.94	14/15.0 (X) 20/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Li)		10.26	20.94	14/15.0 (X) 20/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Re)		10.26	20.94	14/15.0 (X) 20/15.0 (Y)

Auflagerkräfte

Auflagerkräfte des Deckensystems

Auflager

Geometrie der Linienlager

Aufl.	Feld,Lage	a [m]	s [m]
F1U	1,unten	0.00	9.50
F1R	1,rechts	0.00	8.20
F1O	1,oben	0.00	9.50
F1L	1,links	0.00	8.20

Char. Auflagerkr.

Charakteristische Auflagerkräfte (je Einwirkung)

	Aufl.	$F_{z,k,min}$ [kN/m]	$F_{z,k,max}$ [kN/m]	$M_{y,k,min}$ [kNm/m]	$M_{y,k,max}$ [kNm/m]
Einw. G_k	F1U	28.97	28.97	30.59	30.59
	F1R	25.81	25.81	26.27	26.27
	F1O	28.97	28.97	-30.59	-30.59
	F1L	25.81	25.81	-26.27	-26.27
Einw. Q_k,N	F1U	0.00	99.67	0.00	105.23
	F1R	0.00	88.78	0.00	90.38
	F1O	0.00	99.67	-105.23	0.00
	F1L	0.00	88.78	-90.38	0.00

7.6.4 Decke Betriebsraum

Die Decke über dem Betriebsraum wird mit 30 cm Dicke ausgeführt. In der Decke sind 3 Öffnungen zum Ein- und Ausbau der Pumpen vorgesehen. Die Öffnungen werden im Modell berücksichtigt.

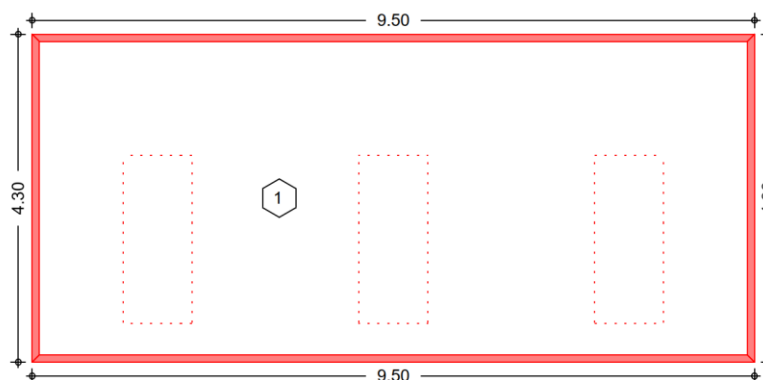
Auf der Decke ist aktuell keine zusätzliche Abdichtung vorgesehen. Die Decke wird daher als wu-Bauteil mit Rissbreite $w = 0,1$ mm bemessen (auch wenn rein formal für Dächer nicht empfohlen, bei der hier vorliegenden geringen Nutzung als Pumpenaufstellraum aber vertretbar). Sollten dennoch waserläufige Risse auftreten, sind diese zu verpressen. Bei Bedarf kann eine Versiegelung / Beschichtung der Decke erfolgen.

Es wird eine Verkehrslast von 10 kN/m^2 angesetzt.

System

Ebenes Plattenmodell

M 1:90



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

Feld	l_x [m]	l_y [m]	X [m]	Y [m]	h [cm]	Material
1	9.50	4.30	0.00	0.00	30.0	C 25/30

Expositionsklasse

XC4

Aussparungen

Nr.	Feld	b_x [m]	b_y [m]	a_x [m]	a_y [m]
1	0	0.90	2.20	1.20	0.51
2	0	0.90	2.20	4.30	0.51
3	0	0.90	2.20	7.40	0.51

Linienlager (Rand)

Feld	Rand [-]	b [cm]	Transl. [-]	Rotat. [%]
1	un, re, ob, li	50.00	starr	starr

Belastungen

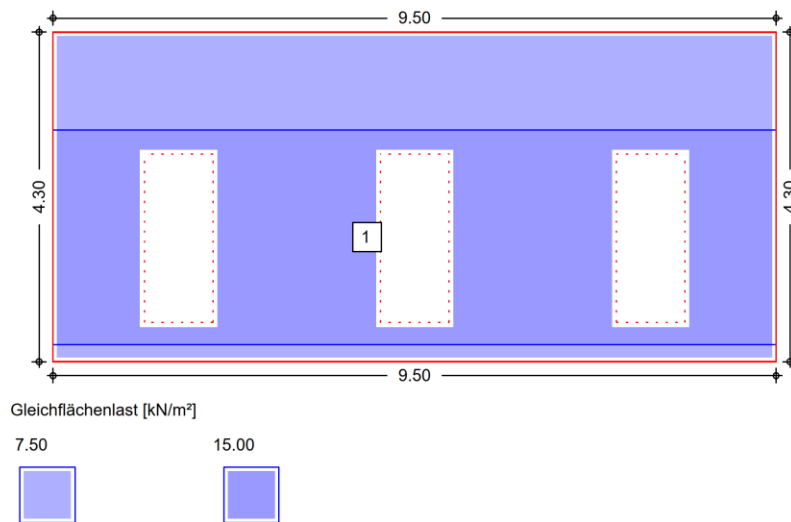
Belastungen auf das System

Grafik

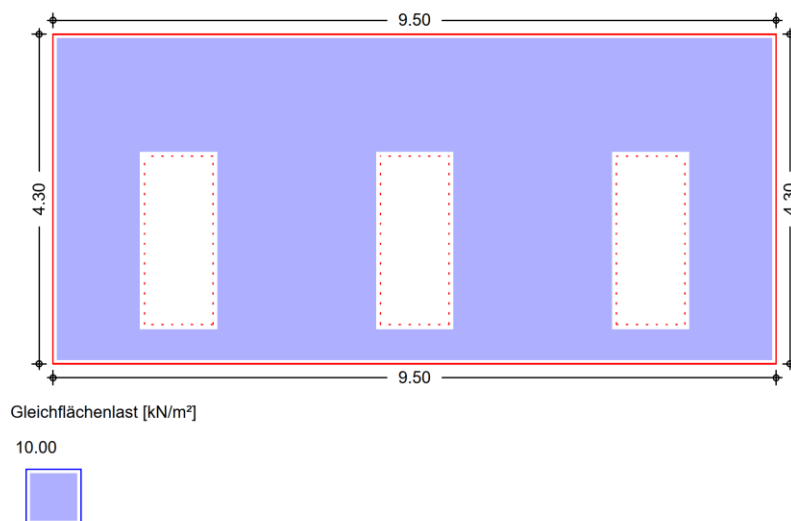
Belastungsgrafiken (einwirkungsbezogen)

Einwirkungen

Gk



Qk.N



Gleichflächenlasten

Einw. Gk

Einw. Qk.N

Feld	Komm.	q_z [kN/m²]
1	Eigengew.	7.50
1		10.00

Blockflächenlasten

Einw. Gk

Feld	Last-Nr.	a_x/a_y [m]	b_x/b_y [m]	q_z [kN/m²]
1	1	0.00	9.50	7.50
		0.23	2.80	

Bem.-schnittgrößen

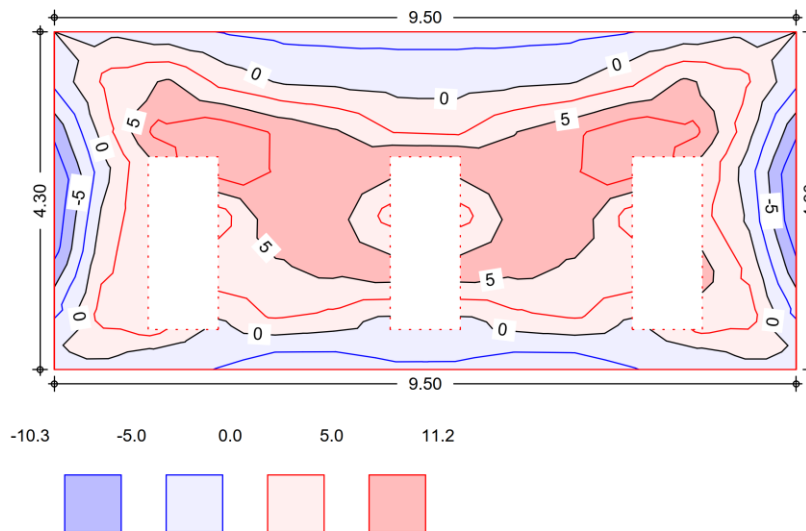
Bemessungsschnittgrößen nach der FE-Methode und unter Berücksichtigung der Drillmomente

Grafik

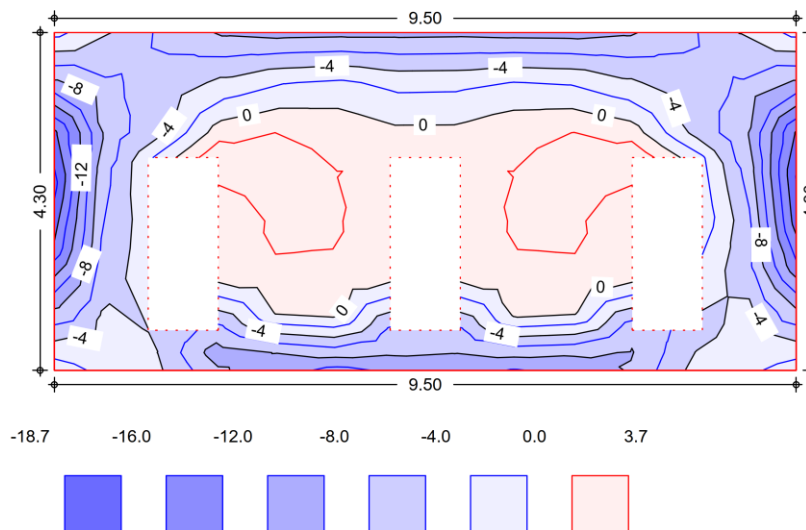
Schnittgrößen (Umhüllende)

Grundkombinationen

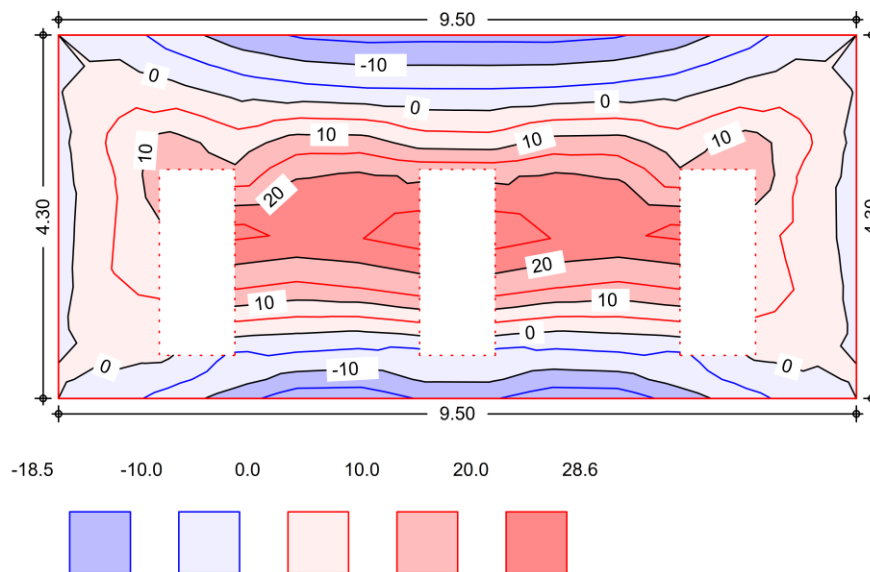
max. Moment $m_{x,d}$ [kNm/m]



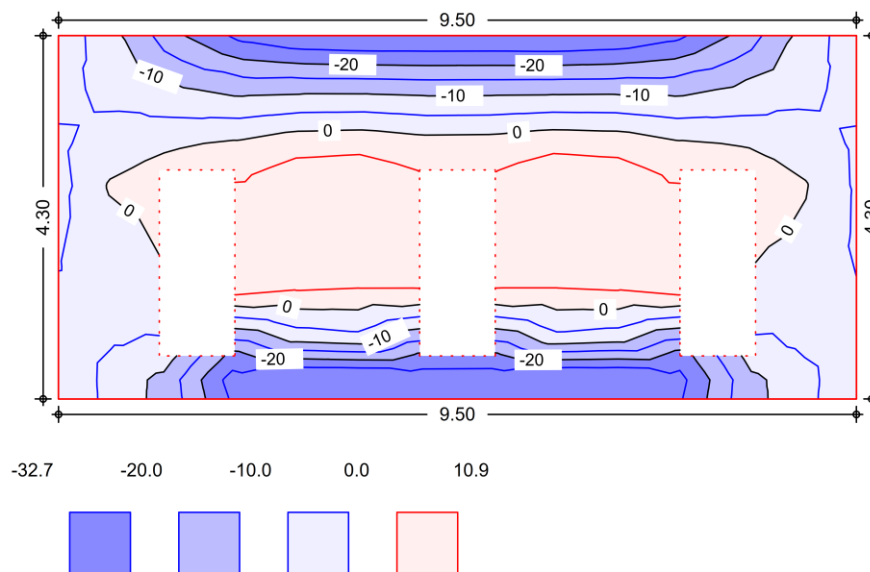
min. Moment $m_{x,d}$ [kNm/m]



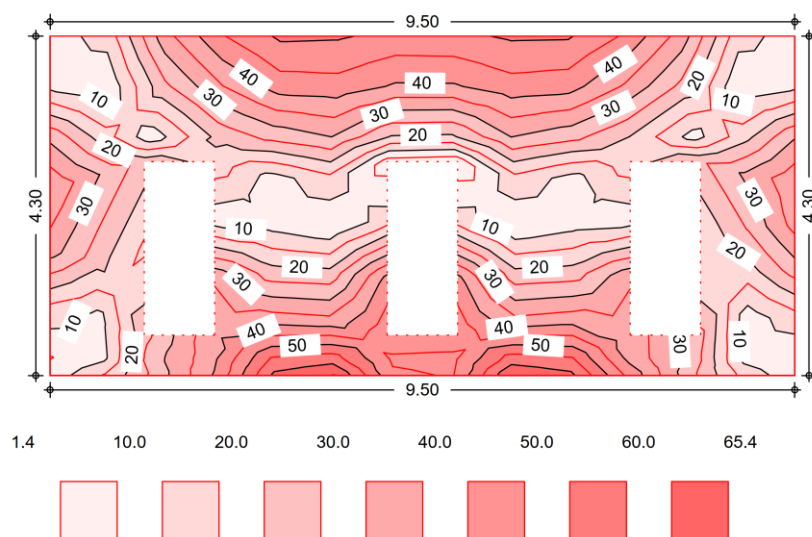
max. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]



min. Moment $m_{y,d}$ [kNm/m]



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



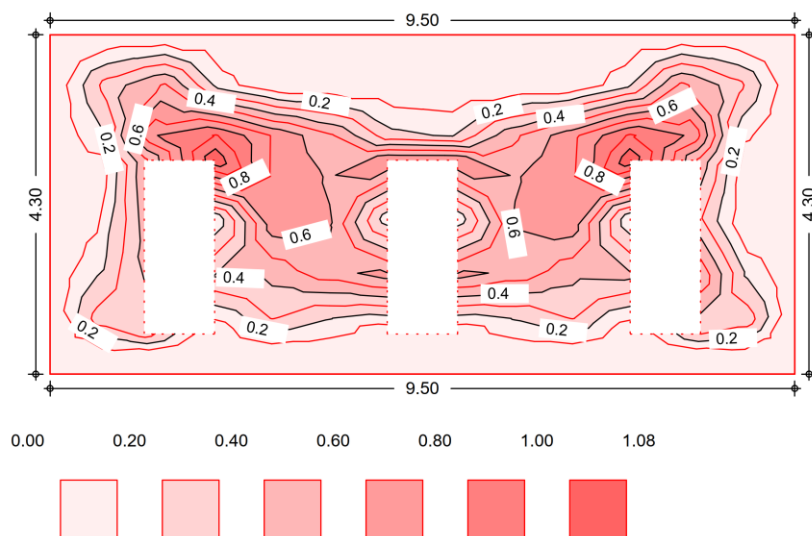
Bemessung (GZT)

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1
 - Die Mindestbewehrung für Biegung nach 9.3.1.1 ist berücksichtigt.

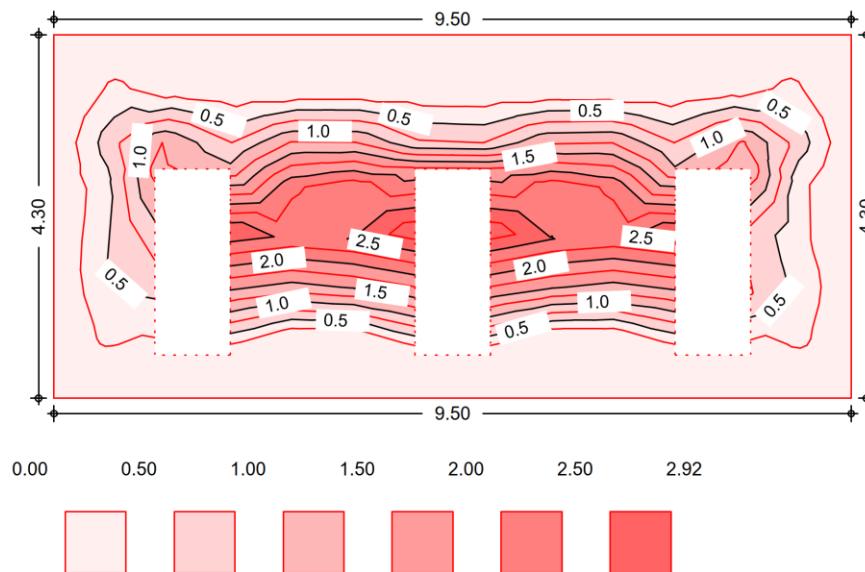
Grafik

Isoflächendarstellung der Biegebewehrung und Bemessungs-Querkraft

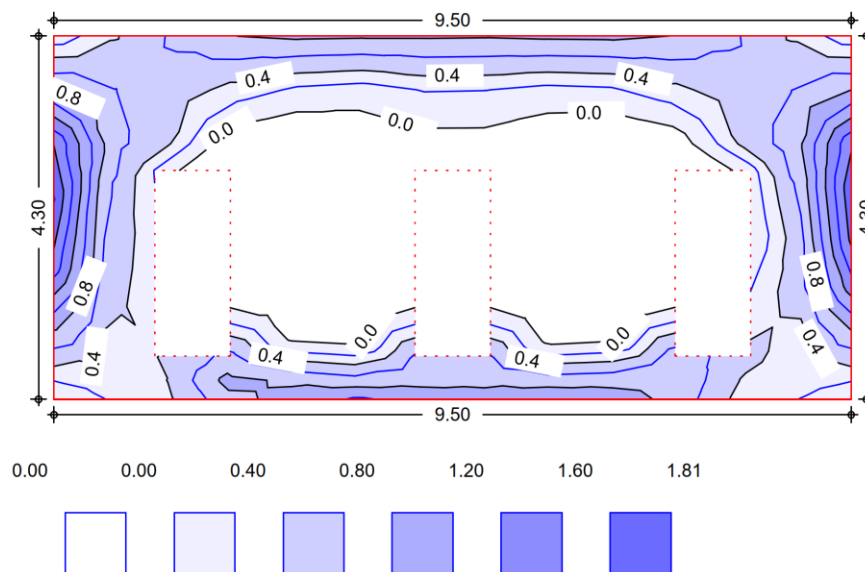
Biegebewehrung $a_{s,ux}$ [cm²/m]



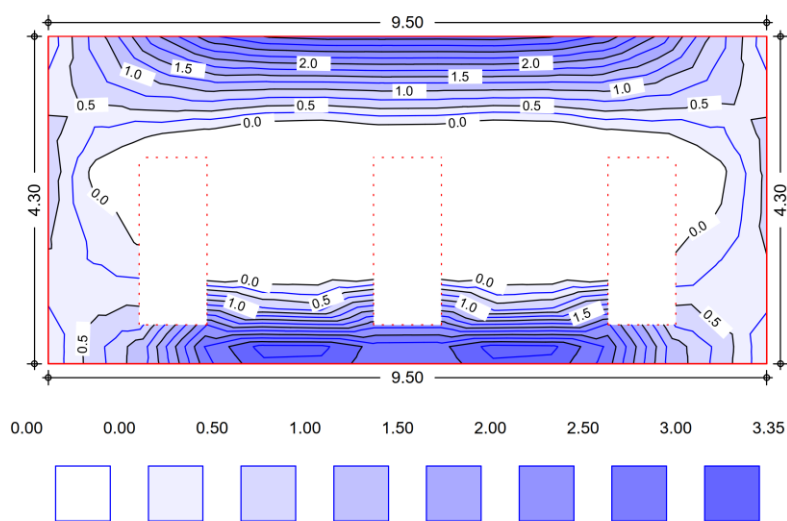
Biegebewehrung $a_{s,uy}$ [cm²/m]



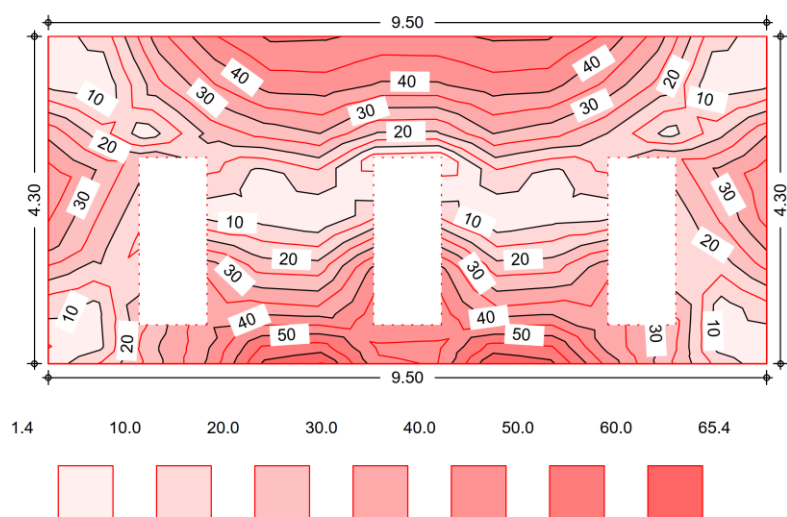
Biegebewehrung $a_{s,ox}$ [cm²/m]



Biegebewehrung $a_{s,oy}$ [cm²/m]



Querkraft $v_{E,d}$ [kN/m]



Biegung (Feld unten)

Max. untere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xu}$ [cm ² /m]	$a_{s,yu}$ [cm ² /m]
1	s/v	11.20	28.63	1.08	2.92
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Feld oben)

Max. obere Biegebewehrung je Feld [cm²/m]

Feld	Ek	$m_{x,Ed}$ [kNm/m]	$m_{y,Ed}$ [kNm/m]	$a_{s,xo}$ [cm ² /m]	$a_{s,yo}$ [cm ² /m]
1	s/v	-18.72	-32.67	1.81	3.35
s/v: ständige/vorübergehende Kombination					

Biegung (Rand oben)

Max. obere Biegebewehrung je Rand [cm²/m]

	Rand	Ek	m _{x,Ed}	m _{y,Ed}	a _{s,xo}	a _{s,yo}
			[kNm/m]	[kNm/m]	[cm ² /m]	[cm ² /m]
Feld 1	unten	s/v	-10.72	-31.34	1.03	3.21
	rechts	s/v	-18.11	-5.71	1.76	0.57
	oben	s/v	-8.77	-30.63	0.85	3.13
	links	s/v	-18.72	-6.48	1.81	0.65
s/v: ständige/vorübergehende Kombination						

Querkraft (Ränder)

Max. Querkraftbewehrung für Ränder [cm²/m]

	Rand	Ek	a	s	V _{Ed}	V _{Rd,c}	a _{s,w}
			[m]	[m]	[kN/m]	V _{Rd,max} [kN/m]	[cm ² /m]
Feld 1	unten	s/v	0.00	9.50	48.36	106.63 645.47	0.00
	rechts	s/v	0.00	4.30	32.43	106.63 645.47	0.00
	oben	s/v	0.00	9.50	45.02	106.63 645.47	0.00
	links	s/v	0.00	4.30	31.13	106.63 645.47	0.00
s/v: ständige/vorübergehende Kombination							

Bewehrungswahl

Biegebewehrung

Grundbew. unten

Feld	a _{s,xu}	a _{s,yu}	gewählt
	[cm ² /m]	[cm ² /m]	
1	7.54	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)

M: Mindestbewehrung

Grundbew. oben

Feld	Ort	b	a _{s,xo}	a _{s,yo}	gewählt
		[m]	[cm ² /m]	[cm ² /m]	
1	unten	1.40	7.54	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	rechts	1.90	7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	oben	1.70	7.54	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	links	1.90	7.54 ^M	7.54	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Un Li)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Un Re)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Li)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)
	Ecke (Ob Re)		7.54 ^M	7.54 ^M	12/15.0 (X) 12/15.0 (Y)

M: Mindestbewehrung

Mindestbewehrung infolge zentrischen Zwanges für $w_k = 0,1 \text{ mm}$

Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung aus Zwang bei voller Verformungsbehinderung			
1. Vorgabedaten			
Betonfestigkeitsklasse	C 30/37	f_{ck}	30,00 N/mm ²
		f_{ctm}	2,90 N/mm ²
Beiwert $k_{zt} = f_{ct,eff}/f_{ctm}$	0,50 (Normalzement)	$f_{ct,eff}$	1,45 N/mm ²
Rissbreite w_k	0,10 mm		
Bewehrung, Stab d_s	Ø 14 mm	Bew.-Durchm. d_s	14 mm
Randabstand d_1 der Rissbewehrung			
<input checked="" type="radio"/> aus c_{nom} und d_s ermitteln (einlagige Bewehrung): <input type="radio"/> Randabstand d_1 nach Benutzervorgabe:		Überdeckung c_{nom}	6,0 cm
		Randabstand d_1	6,7 cm
Randabstand d_1	6,7 cm		
Bauteildicke h	30 cm	Nutzhöhe d	23,3 cm
Breite d. Zugzone b_t	100 cm		
Beiwert k	0,80		
<input checked="" type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> eigener Zwang, $k=0,52...0,8$ <input type="radio"/> äußerer Zwang, $k=1$	0,80 0,80 0,80	(lineare Interpolation gemäß EC2-1-1) (parabolische Interpolation, vgl. [Meyer-07])	
Beiwert k_c	1,00	Hinweis:	Die ermittelte Bewehrung gilt je Seite
<input checked="" type="radio"/> zentrischer Zwang <input type="radio"/> Biegezwang			
$h_{c,ef}$	0,150 m	(pro Seite) = $\min\{2,5 \cdot d_1; h/2\}$ (Bild 7.1)	
2. Berechnung nach EC2-1-1 (2011)			
		<input checked="" type="checkbox"/>	Regelungen für dicke Bauteile anwenden?
		ja	(nur bei zentrischem Zwang)
h / d_1	4,5	≤ 5	--> normales Bauteil
$h_{c,ef} / d_1$	2,24	(EC2-1-1 Bild NA. 7.1d)	
Wirksame Bauteildicke $h_{c,ef}$	0,150 m	$= d_1 \cdot (h_{c,ef} / d_1)$	
$A_{c,eff}$	0,150 m ²	(pro Seite)	$= h_{c,ef} \cdot b$
A_{ct}	0,150 m ²	(pro Seite)	$= h/2 \cdot b$
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 \text{ /mm}^2$)	28,0 mm	(Gl. 7.6DE)	$= \sigma_s \cdot \min\{4 \cdot d_1 / (k \cdot k_c \cdot 0,5 \cdot h);$
σ_s^* ($f_{ct,0} = 2,9 \text{ /mm}^2$)	28,0 mm	(Gl. NA. 7.5.2)	$= \sigma_s \cdot f_{ct,0} / f_{ct,eff}$
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (7.6 DE)	111,5 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE)	$= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$
σ_s zu σ_s^* nach Gl. (130c)	111,5 N/mm ²	(Anm. zu Tab 7.2DE)	$= (w_k \cdot 3,48 \cdot 10^6 / (\sigma_s^*))^{0,5}$
A_s	19,5 cm ²	(pro Seite) (Gl. NA. 7.5.1)	$= 10^4 \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s$
min A_s	3,5 cm ²	(pro Seite) (Gl. NA. 7.5.1)	$= 10^4 \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$
max A_s	15,6 cm ²	(pro Seite) (Gl. 7.1)	$= 10^4 \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$
erf. A_s	15,6 cm ²	(pro Seite)	

7.7 Ergebnisse

In Tabelle 2 wird die grundsätzliche Bewehrung zusammengefasst. Ggf. lokal erforderliche Bewehrungszulagen werden in den Bewehrungsskizzen angegeben.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Grundbewehrung

Bauteil	Richtung	Lage	erf. a_s aus Nachweis [cm ² /m]		gew. a_s	
			Min-Bew.	GZT	[cm ² /m]	Ø - a
Wände Betriebsraum	längs	oben	9,9	3,30	10,3	Ø14-15
		unten	9,9	1,43	10,3	Ø14-15
	quer	oben	9,9	5,27	10,3	Ø14-15
		unten	9,9	3,79	10,3	Ø14-15
Wände Pumpenraum	längs	oben	15,5 ¹⁾	5,74	15,5	Ø16-13
		unten	15,5 ¹⁾	2,94	15,5	Ø16-13
	quer	oben	15,5 ¹⁾	8,95	15,5	Ø16-13
		unten	15,5 ¹⁾	6,54	15,5	Ø16-13
Sohle/Decke Pumpenraum	längs	oben	15,5	6,27	15,5	Ø16-13
		unten	15,5	12,87	15,5	Ø16-13
	quer	oben	15,5	8,43	15,5	Ø16-13
		unten	15,5	15,31	15,5	Ø16-13
Decke Betriebsraum	längs	oben	15,6	1,81	15,4	Ø14-10
		unten	15,6	1,08	15,4	Ø14-10
	quer	oben	15,6	2,92	15,4	Ø14-10
		unten	15,6	3,35	15,4	Ø14-10

¹⁾ Für Rückwand d = 1,1 m

32,7

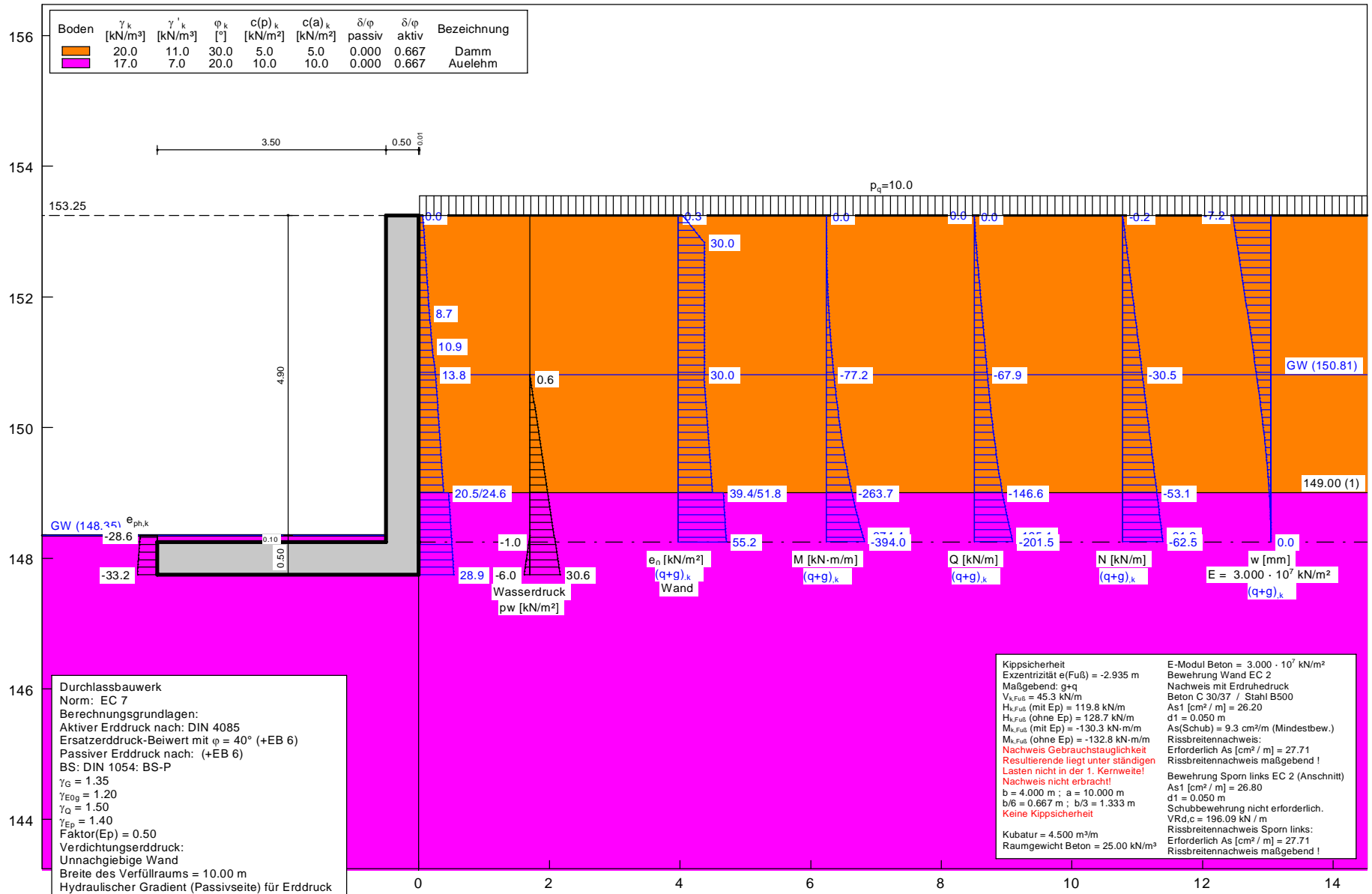
Ø25-15

Die erforderliche Bewehrung kann eingebaut werden. Die Bauteilgeometrie ist ausreichend dimensioniert.

Anlage 1 Berechnungsausdrucke Durchlassbauwerk

HRB Straußfurt TO 16 SW Schwerstedt, Durchlassbauwerk

Anlage 1



Teilsicherheitskonzept (EC 7)

Winkelstützmauer

Durchlassbauwerk

Wandkopf = 153.25 m

Maximale Teilung bis Baugrubensohle: 0.050

Maximale Teilung unter Baugrubensohle: 0.050

Baugrubensohle = 148.35 mNHN

Grundwasserstand (rechts) = 150.81 mNHN

Grundwasserstand (links) = 148.35 mNHN

BS: DIN 1054: BS-P

Teilsicherheiten

$\gamma_{\text{g}} = 1.35$

$\gamma_{\text{g,Ruhe}} = 1.20$

$\gamma_{\text{q}} = 1.50$

$\gamma_{\text{Ep}} = 1.40$ (Gleiten)

Faktor(E_p) = 0.50 (Grundbruch)

Anpassungsfaktor Erdwiderstand = 1.00

Nachweis Stahlbeton mit Erdruchdruck

Winkelstützmauer

$\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$

E-Modul = $3.0000\text{E}+7 \text{ kN/m}^2$

Vertikallast(g) = 0.00 kN/m

Vertikallast(q) = 0.00 kN/m

Horizontallast(g) = 0.00 kN/m

Horizontallast(q) = 0.00 kN/m

Moment(g) = 0.00 kN·m/m

Moment(q) = 0.00 kN·m/m

Fundamentlänge $a = 10.00 \text{ m}$

Tiefe	links	rechts	Breite
[mNHN]	[m]	[m]	[m]
153.250	-0.500	0.000	0.500
148.250	-0.500	0.000	0.500

Koordinaten Fundament

x	y
[m]	[mNHN]
-0.500	148.250
-4.000	148.250
-4.000	147.750
0.000	147.750
0.000	148.250
0.000	148.250

Flächenlast $p = 0.00 \text{ kN/m}^2$ als Verkehrslast

Verdichtungserddruck nach DIN 4085:2017

Verdichtungserddruck nicht für Standsicherheitsnachweis angesetzt

Unnachgiebige Wand

Breite des Verfüllraums = 10.00 m

Verwendete Bodenkennwerte:

Reibungswinkel $\phi_k = 30.00^\circ$

Wichte $\gamma_k = 20.00 \text{ kN/m}^3$

Aktiver Erddruck

Tiefe	$e_v(a)$
[mNHN]	[kN/m ²]
153.25	0.00
152.83	22.22
151.25	11.67

Ruhedruck

Tiefe $e_v(0)$

[mNHN]	[kN/m²]
153.25	0.00
152.83	20.83
150.75	0.00

Lasten (einseitig begrenzt)

Werte für Betonwand

Nr.	sigma	x(links)	Tiefe	y(oben)	y(unten)	Verkehrslast
[-]	[kN/m²]	[m]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[-]
1	10.00	0.01	153.25	153.24	153.24	ja

Bodenkennwerte

Schicht	Tiefe	γ_k	γ'_k	φ_k	$c(p)_k$	$c(a)_k$	$d(p)/\varphi$	$d(a)/\varphi$	E_s
[-]	[mNHN][kN/m³]	[kN/m³]	[°]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[MN/m²]	
1	149.00	20.00	11.00	30.00	5.00	5.00	0.000	0.667	10.0
2	140.00	17.00	7.00	20.00	10.00	10.00	0.000	0.667	10.0

Aktive Erddruckbeiwerte auf Wand

bestimmt nach: DIN 4085

Ersatzerddruck-Beiwert mit $\varphi = 40^\circ$ (+ EB 6)

Ruhedruck

(delta = mittlere Geländeneigung = 0.00 °)

Tiefe	k_{agh}	k_{ach}	φ_k	δ	alpha	beta	$k_{agh(40^\circ)}$
[mNHN]	[-]	[-]	[°]	[°]	[°]	[°]	[-]
153.244	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
153.235	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.833	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.750	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.250	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.750	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.250	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.810	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.750	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.250	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.750	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.250	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.000	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.750	0.658	0.000	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.350	0.658	0.000	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.251	0.658	0.000	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.250	0.658	0.000	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179

Aktive Erddruckbeiwerte auf Ersatzwand

(delta = mittlere Geländeneigung = 0.00 °)

Tiefe	k_{agh}	k_{ach}	φ_k	δ	alpha	beta	$k_{agh(40^\circ)}$
[mNHN]	[-]	[-]	[°]	[°]	[°]	[°]	[-]
153.244	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
153.235	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.833	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.750	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.250	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.750	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.250	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.810	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.750	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.250	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.750	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.250	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.000	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.750	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.350	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.251	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.250	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
147.751	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
147.750	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179

Aktive Erddruckordinaten auf Wand (g+q),k

von	bis	oben	unten	Wasserdruck	Wasserdruck
[mNHN]	[mNHN]	[kN/m²]	[kN/m²]	oben[kN/m²]	unten[kN/m²]

153.250	153.244	0.000	0.346	0.00	0.00
153.244	153.235	0.346	5.889	0.00	0.00
153.235	150.810	5.889	30.000	0.00	0.00
150.810	149.000	30.000	57.455	0.00	17.60
149.000	148.350	69.890	79.383	18.10	24.10
148.350	148.251	79.383	79.839	24.60	24.60

Aktive Erddruckordinaten auf Ersatzwand (g+q),k

von [mNHN]	bis [mNHN]	oben [kN/m²]	unten [kN/m²]	Wasserdruck oben[kN/m²]	Wasserdruck unten[kN/m²]
153.250	153.244	0.000	0.021	0.00	0.00
153.249	153.235	0.004	3.386	0.00	0.00
153.244	153.185	0.021	3.566	0.00	0.00
153.235	153.135	3.386	3.745	0.00	0.00
153.185	153.084	3.566	3.924	0.00	0.00
153.135	153.034	3.745	4.104	0.00	0.00
153.084	152.984	3.924	4.283	0.00	0.00
153.034	152.934	4.104	4.463	0.00	0.00
152.984	152.884	4.283	4.642	0.00	0.00
152.934	152.833	4.463	4.821	0.00	0.00
152.884	152.792	4.642	4.970	0.00	0.00
152.833	152.750	4.821	5.119	0.00	0.00
152.792	152.700	4.970	5.298	0.00	0.00
152.750	152.650	5.119	5.476	0.00	0.00
152.700	152.600	5.298	5.655	0.00	0.00
152.650	152.550	5.476	5.833	0.00	0.00
152.600	152.500	5.655	6.012	0.00	0.00
152.550	152.450	5.833	6.191	0.00	0.00
152.500	152.400	6.012	6.369	0.00	0.00
152.450	152.350	6.191	6.548	0.00	0.00
152.400	152.300	6.369	6.726	0.00	0.00
152.350	152.250	6.548	6.905	0.00	0.00
152.300	152.200	6.726	7.083	0.00	0.00
152.250	152.150	6.905	7.262	0.00	0.00
152.200	152.100	7.083	7.441	0.00	0.00
152.150	152.050	7.262	7.619	0.00	0.00
152.100	152.000	7.441	7.798	0.00	0.00
152.050	151.950	7.619	7.976	0.00	0.00
152.000	151.900	7.798	8.155	0.00	0.00
151.950	151.850	7.976	8.333	0.00	0.00
151.900	151.800	8.155	8.512	0.00	0.00
151.850	151.750	8.333	8.691	0.00	0.00
151.800	151.700	8.512	8.911	0.00	0.00
151.750	151.650	8.691	9.131	0.00	0.00
151.700	151.600	8.911	9.351	0.00	0.00
151.650	151.550	9.131	9.572	0.00	0.00
151.600	151.500	9.351	9.792	0.00	0.00
151.550	151.450	9.572	10.012	0.00	0.00
151.500	151.400	9.792	10.232	0.00	0.00
151.450	151.350	10.012	10.453	0.00	0.00
151.400	151.300	10.232	10.673	0.00	0.00
151.350	151.250	10.453	10.893	0.00	0.00
151.300	151.201	10.673	11.219	0.00	0.00
151.250	151.152	10.893	11.545	0.00	0.00
151.201	151.103	11.219	11.871	0.00	0.00
151.152	151.054	11.545	12.197	0.00	0.00
151.103	151.006	11.871	12.523	0.00	0.00
151.054	150.957	12.197	12.849	0.00	0.00
151.006	150.908	12.523	13.175	0.00	0.00
150.957	150.859	12.849	13.501	0.00	0.00
150.908	150.810	13.175	13.826	0.00	0.00
150.859	150.750	13.501	14.646	0.00	0.00
150.810	150.700	13.826	15.330	0.00	0.60
150.750	150.650	14.646	16.013	0.60	1.10
150.700	150.600	15.330	16.696	1.10	1.60
150.650	150.550	16.013	17.380	1.60	2.10
150.600	150.500	16.696	18.063	2.10	2.60
150.550	150.450	17.380	18.746	2.60	3.10
150.500	150.400	18.063	19.430	3.10	3.60

[mNHN]	[mNHN]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
149.05	148.40	0.00	0.00
148.40	148.30	0.00	-28.95
148.30	147.80	-28.95	-32.81

Kräfte und Momente um linken unteren Fußpunkt der Wand (Dimension kN/m und kN·m/m)

(V positiv nach unten; H positiv nach links; M positiv im Uhrzeigersinn)

$x(\text{Fuß}) = -4.000 \text{ mNHN}$ / $y(\text{Fuß}) = 147.750 \text{ mNHN}$

$V, k(\text{Wand}) = 112.51$

$M, k(\text{Wand}) = 334.39$

$E_{ah, k, g} = 63.44$

$M \text{ aus } E_{ah, k, g} = -111.61$

$E_{ah, k, q} = 20.22$

$M \text{ aus } E_{ah, k, q} = -51.41$

$E_{av, k, g} = 0.00$

$M \text{ aus } E_{av, k, g} = 0.00$

$E_{av, k, q} = 0.00$

$M \text{ aus } E_{av, k, q} = 0.00$

$E_{ph, k} = -8.91$

$M \text{ aus } E_{ph, k} = 2.50$

$E_{pv, k} = 0.00$

$M \text{ aus } E_{pv, k} = 0.00$

$\text{Bodengewicht}, k \text{ (rechts)} = 0.00$

$M \text{ aus Bodengewicht}, k \text{ (rechts)} = 0.00$

$\text{Bodengewicht}, k \text{ (links)} = 5.95$

$M \text{ aus Bodengewicht}, k \text{ (links)} = 10.42$

$V, k, g \text{ (Lasten)} = 0.00$

$M \text{ aus } V, k, g + M, k, g \text{ (Lasten)} = 0.00$

$V, k, q \text{ (Lasten)} = 0.00$

$M \text{ aus } V, k, q + M, k, q \text{ (Lasten)} = 0.00$

$H, k, g \text{ (Lasten)} = 0.00$

$M \text{ aus } H, k, g \text{ (Lasten)} = 0.00$

$H, k, q \text{ (Lasten)} = 0.00$

$M \text{ aus } H, k, q \text{ (Lasten)} = 0.00$

$V, k, g \text{ (Wasserdruck)} = -73.20$

$M \text{ aus } V, k, g \text{ (Wasserdruck)} = -179.21$

$H, k, g \text{ (Wasserdruck)} = 45.02$

$M \text{ aus } H, k, g \text{ (Wasserdruck)} = -47.40$

 Summe $V, k, g = 45.25$

Summe $V, k, q = 0.00$

Summe $H, k, g \text{ (ohne Eph)} = 108.46$

Summe $H, k, q \text{ (ohne Eph)} = 20.22$

Summe $M, k, g = 9.10$

Summe $M, k, q = -51.41$

 Summe Momente um Sohlmittelpunkt (SM):

$x(\text{SM}) = -2.000 \text{ m}$ / $y(\text{SM}) = 147.750 \text{ mNHN}$

$M, k, g(\text{SM}) = -81.41$

$M, k, q(\text{SM}) = -51.41$

Exzentrizität, $k, g(\text{SM}) = -1.799 \text{ m}$

Exzentrizität, $k, g+q(\text{SM}) = -2.935 \text{ m}$

 Schnittgrößen (g+q), k

Tiefe	Q	M	N
[mNHN]	[kN/m]	[kN·m/m]	[kN/m]
153.25	0.0	0.0	0.0
153.24	0.0	0.0	-0.1
153.24	0.0	0.0	-0.2
150.81	-67.9	-77.2	-30.5
149.00	-146.6	-263.7	-53.1
148.35	-195.1	-374.4	-61.2
148.25	-201.5	-394.0	-62.5

Verschiebungen (g+q), k

Tiefe	w
[mNHN]	[mm]
153.25	-7.2

153.24	-7.2
153.24	-7.2
150.81	-2.7
149.00	-0.3
148.35	0.0
148.25	0.0

Kippsicherheit

Maßgebend: g+q

Exzentrizität $e(Fu\beta) = -2.935 \text{ m}$

$b/6 = 0.667 \text{ m}$; $b/3 = 1.333 \text{ m}$

Keine Kippsicherheit

Nachweis Gebrauchstauglichkeit

Resultierende liegt unter ständigen

Lasten nicht in der 1. Kernweite!

Nachweis nicht erbracht!

Bewehrung Wand EC 2

Nachweis mit Erdruchedruck

Tiefe = 148.25 m

Beton C 30/37 / Stahl B500

$M_d = 495.8 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$

$N_k = -62.5 \text{ kN} / \text{m}$

$\epsilon_{ps}(c2) [o/oo] = -3.5$

$\epsilon_{ps}(s1) [o/oo] = 13.9$

$A_{s1} [\text{cm}^2 / \text{m}] = 26.20$

Dicke = 0.500 m

$d1 = 0.050 \text{ m}$

$\sigma_1(l) = 11.77 / \sigma_2(l) = -12.02 \text{ MN/m}^2$

Tiefe = 148.25 m

$Q_d = V_{Sd} = 254.9 \text{ kN} / \text{m}$

$V_{Rd,max} = 1377.0 \text{ kN} / \text{m}$ ($z = 0.360 \text{ m}$)

($V_{Sd} / V_{Rd,max} = 0.1851$)

$A_s(\text{Schub}) = 9.3 \text{ cm}^2/\text{m}$ (Mindestbew.)

Bügelabstand = 30.0 cm

Rissbreitennachweis:

$M_k = 394.0 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$ $N_k = -62.5 \text{ kN} / \text{m}$

Effektive Zugfestigkeit des Betons $[N/mm^2] = 2.90$

Grenzzissweite $[mm] = 0.30$

Hebelarm der inneren Kräfte $[m] = 0.408$

Bewehrungsgehalt $[\%] = 0.524$

Erforderlich: 18 Bewehrungsstäbe (Durchmesser 14 mm)

Erforderlich $A_s [\text{cm}^2 / \text{m}] = 27.71$

Rissbreitennachweis maßgebend !

Bewehrung Sporn links EC 2 (Anschnitt)

$M_d = 495.8 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$

$N_d = 0.0 \text{ kN} / \text{m}$

Moment positiv im Gegenuhrzeigersinn

$\epsilon_{ps}(c2) [o/oo] = -3.5$

$\epsilon_{ps}(s1) [o/oo] = 14.4$

$A_{s1} [\text{cm}^2 / \text{m}] = 26.80$

Dicke = 0.500 m

$d1 = 0.050 \text{ m}$

$\sigma_1(l) = 11.89 / \sigma_2(l) = -11.89 \text{ MN/m}^2$

$Q_d = V_{Sd} = 0.0 \text{ kN} / \text{m}$

$V_{Rd,max} = 1377.3 \text{ kN} / \text{m}$ ($z = 0.360 \text{ m}$)

($V_{Sd} / V_{Rd,max} = 0.0000$)

Schubbewehrung nicht erforderlich.

$V_{Rd,c} = 196.09 \text{ kN} / \text{m}$

Rissbreitennachweis Sporn links:

$M_k = 394.0 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$ $N_k = 0.0 \text{ kN} / \text{m}$

Effektive Zugfestigkeit des Betons $[N/mm^2] = 2.90$

Grenzzissweite $[mm] = 0.30$

Hebelarm der inneren Kräfte $[m] = 0.409$

Bewehrungsgehalt $[\%] = 0.536$

Erforderlich: 18 Bewehrungsstäbe (Durchmesser 14 mm)

Erforderlich $A_s [\text{cm}^2 / \text{m}] = 27.71$

Rissbreitennachweis maßgebend !

Hydraulischer Gradient auf Passivseite für Erddruckberechnung verwendet !

Horizontaler Wasserdruck herkömmlich bestimmt.

Ausnutzungsgrad hydraulische Grundbruchsicherheit = 0.70

$\gamma(\text{Gewicht}) = 0.95$

$\gamma(\text{Strömungskraft}) = 1.45$

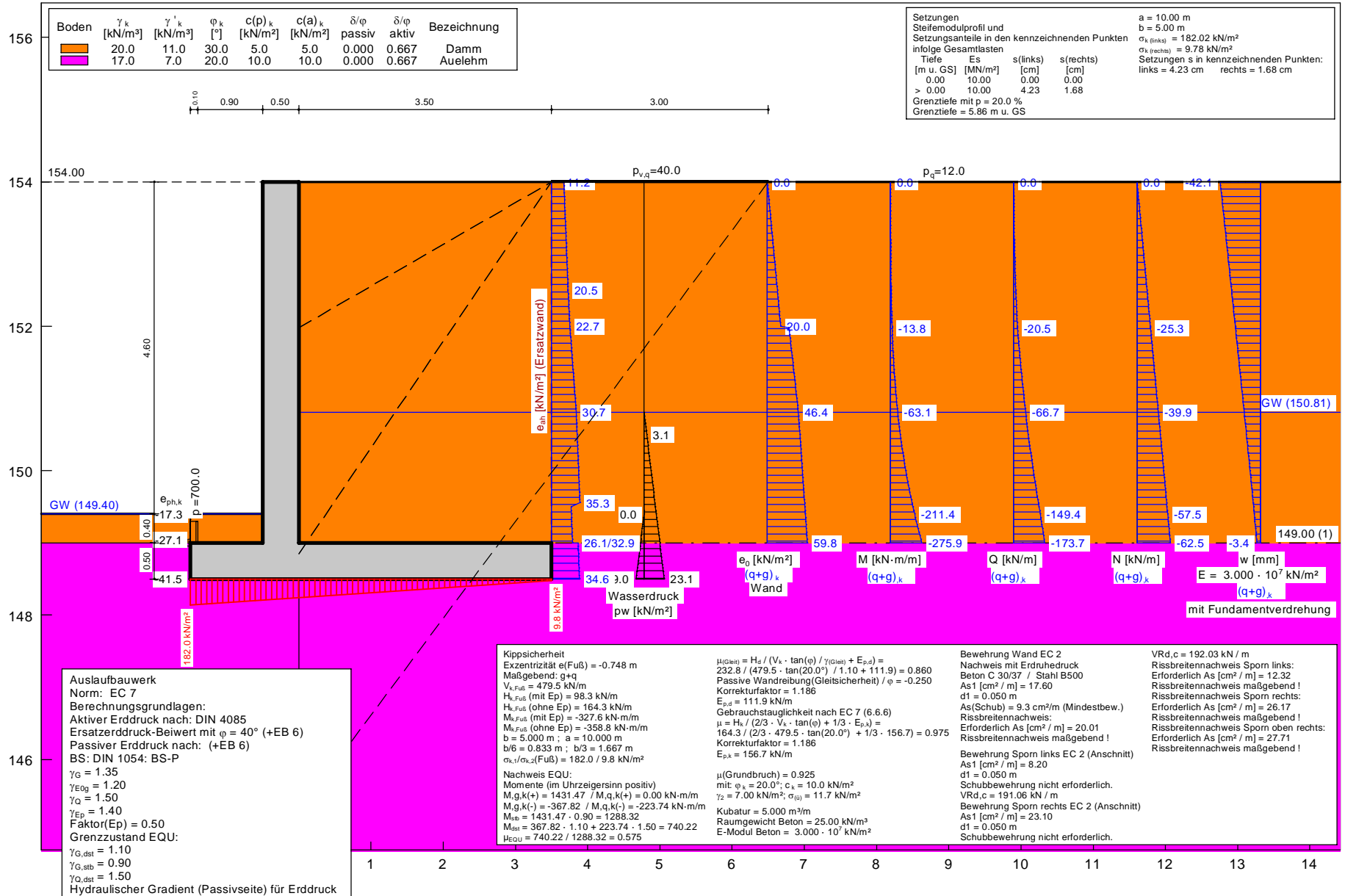
UK Schicht = 148.25

Nachweis Auftriebssicherheit nicht erforderlich !

Anlage 2 Berechnungsausdrucke Auslaufbauwerk

HRB Straußfurt TO 16 SW Schwerstedt, Auslaufbauwerk

Anlage 2



1 154.00 154.00 149.56 11.17 11.17 11.17 0 Verkehrslast

Erdruchdruck für Blocklasten verwendet
 für Stahlbetonbemessung

Blocklasten über Erhöhung mit dem Faktor: k_0 / k_{ah}

Nr.	sig(v)	sig(h)	x(links)	x(rechts)	Tiefe
[-]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[m]	[m]	[mNHN]
1	40.00	0.00	3.50	6.50	154.00

Nr.	y(oben)	y(mitte)	y(unten)	p(oben)	p(mitte)	p(unten)	Typ
[-]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	
1	151.98	148.85	145.27	12.26	12.26	12.26	0 Verkehrslast

Typ = 0 ==> rechteckförmig verteilt

Lasten (einseitig begrenzt)

Werte für Betonwand

Nr.	sigma	x(links)	Tiefe	y(oben)	y(unten)	Verkehrslast
[-]	[kN/m ²]	[m]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[-]
1	12.00	3.50	154.00	151.98	148.85	ja

Passivseite

Lasten (zweiseitig begrenzt)

Nr.	sigma	x(links)	x(rechts)	Tiefe	y _o	y _u
[-]	[kN/m ²]	[m]	[m]	[m]	[mNHN]	[mNHN]
1	700.00	-1.50	-1.40	149.00	148.18	148.23

Bodenkennwerte

Schicht	Tiefe	γ_k	γ'_k	φ_k	$c(p)_k$	$c(a)_k$	$d(p)/\varphi$	$d(a)/\varphi$	E_s
[-]	[mNHN][kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[-]	[-]	[MN/m ²]	
1	149.00	20.00	11.00	30.00	5.00	5.00	0.000	0.667	10.0
2	140.00	17.00	7.00	20.00	10.00	10.00	0.000	0.667	10.0

Aktive Erddruckbeiwerte auf Wand

bestimmt nach: DIN 4085

Ersatzerddruck-Beiwert mit $\varphi = 40^\circ$ (+ EB 6)

Ruhedruck

(delta = mittlere Geländeneigung = 0.00 °)

Tiefe	k_{agh}	k_{ach}	φ_k	δ	alpha	beta	$k_{agh(40^\circ)}$
[mNHN]	[-]	[-]	[°]	[°]	[°]	[°]	[-]
153.500	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
153.000	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.500	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.000	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.979	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.500	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.000	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.810	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.500	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.000	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.500	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.400	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.001	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.000	0.500	0.000	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179

Aktive Erddruckbeiwerte auf Ersatzwand

(delta = mittlere Geländeneigung = 0.00 °)

Tiefe	k_{agh}	k_{ach}	φ_k	δ	alpha	beta	$k_{agh(40^\circ)}$
[mNHN]	[-]	[-]	[°]	[°]	[°]	[°]	[-]
153.500	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
153.000	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.500	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
152.000	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.979	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.500	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
151.000	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.810	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.500	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
150.000	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179

149.500	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.400	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.001	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
149.000	0.333	1.155	30.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.851	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.501	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179
148.500	0.490	1.400	20.000	0.00	0.00	0.00	0.179

Aktive Erddruckkoordinaten auf Wand (g+q),k

von	bis	oben	unten	Wasserdruck oben[kN/m²]	Wasserdruck unten[kN/m²]
[mNHN]	[mNHN]	[kN/m²]	[kN/m²]		
154.000	151.979	0.000	32.468	0.00	0.00
151.979	150.810	32.468	46.403	0.00	0.00
150.810	149.400	46.403	70.962	0.00	13.60
149.400	149.001	70.962	73.922	14.10	14.10

Aktive Erddruckkoordinaten auf Ersatzwand (g+q),k

von	bis	oben	unten	Wasserdruck oben[kN/m²]	Wasserdruck unten[kN/m²]
[mNHN]	[mNHN]	[kN/m²]	[kN/m²]		
154.000	153.994	11.174	15.196	0.00	0.00
153.998	153.945	11.183	15.372	0.00	0.00
153.994	153.895	15.196	15.549	0.00	0.00
153.945	153.846	15.372	15.725	0.00	0.00
153.895	153.796	15.549	15.901	0.00	0.00
153.846	153.747	15.725	16.078	0.00	0.00
153.796	153.698	15.901	16.254	0.00	0.00
153.747	153.648	16.078	16.431	0.00	0.00
153.698	153.599	16.254	16.607	0.00	0.00
153.648	153.549	16.431	16.784	0.00	0.00
153.599	153.500	16.607	16.960	0.00	0.00
153.549	153.450	16.784	17.139	0.00	0.00
153.500	153.400	16.960	17.317	0.00	0.00
153.450	153.350	17.139	17.496	0.00	0.00
153.400	153.300	17.317	17.674	0.00	0.00
153.350	153.250	17.496	17.853	0.00	0.00
153.300	153.200	17.674	18.032	0.00	0.00
153.250	153.150	17.853	18.210	0.00	0.00
153.200	153.100	18.032	18.389	0.00	0.00
153.150	153.050	18.210	18.567	0.00	0.00
153.100	153.000	18.389	18.746	0.00	0.00
153.050	152.950	18.567	18.924	0.00	0.00
153.000	152.900	18.746	19.103	0.00	0.00
152.950	152.850	18.924	19.282	0.00	0.00
152.900	152.800	19.103	19.460	0.00	0.00
152.850	152.750	19.282	19.639	0.00	0.00
152.800	152.700	19.460	19.817	0.00	0.00
152.750	152.650	19.639	19.996	0.00	0.00
152.700	152.600	19.817	20.174	0.00	0.00
152.650	152.550	19.996	20.353	0.00	0.00
152.600	152.500	20.174	20.532	0.00	0.00
152.550	152.450	20.353	20.752	0.00	0.00
152.500	152.400	20.532	20.972	0.00	0.00
152.450	152.350	20.752	21.192	0.00	0.00
152.400	152.300	20.972	21.413	0.00	0.00
152.350	152.250	21.192	21.633	0.00	0.00
152.300	152.200	21.413	21.853	0.00	0.00
152.250	152.150	21.633	22.073	0.00	0.00
152.200	152.100	21.853	22.294	0.00	0.00
152.150	152.050	22.073	22.514	0.00	0.00
152.100	152.000	22.294	22.734	0.00	0.00
152.050	151.950	22.514	23.068	0.00	0.00
152.000	151.900	22.734	23.401	0.00	0.00
151.950	151.850	23.068	23.734	0.00	0.00
151.900	151.800	23.401	24.068	0.00	0.00
151.850	151.750	23.734	24.401	0.00	0.00
151.800	151.700	24.068	24.734	0.00	0.00
151.750	151.650	24.401	25.068	0.00	0.00
151.700	151.600	24.734	25.401	0.00	0.00
151.650	151.550	25.068	25.734	0.00	0.00

151.600	151.500	25.401	26.068	0.00	0.00
151.550	151.450	25.734	26.401	0.00	0.00
151.500	151.400	26.068	26.734	0.00	0.00
151.450	151.350	26.401	27.068	0.00	0.00
151.400	151.300	26.734	27.401	0.00	0.00
151.350	151.250	27.068	27.734	0.00	0.00
151.300	151.200	27.401	28.068	0.00	0.00
151.250	151.150	27.734	28.401	0.00	0.00
151.200	151.100	28.068	28.734	0.00	0.00
151.150	151.050	28.401	29.068	0.00	0.00
151.100	151.000	28.734	29.401	0.00	0.00
151.050	150.953	29.068	29.718	0.00	0.00
151.000	150.905	29.401	30.034	0.00	0.00
150.953	150.858	29.718	30.351	0.00	0.00
150.905	150.810	30.034	30.668	0.00	0.00
150.858	150.758	30.351	31.374	0.00	0.00
150.810	150.707	30.668	32.080	0.00	0.52
150.758	150.655	31.374	32.786	0.52	1.03
150.707	150.603	32.080	33.492	1.03	1.55
150.655	150.552	32.786	34.198	1.55	2.07
150.603	150.500	33.492	34.904	2.07	2.58
150.552	150.450	34.198	35.588	2.58	3.10
150.500	150.400	34.904	36.271	3.10	3.60
150.450	150.350	35.588	36.954	3.60	4.10
150.400	150.300	36.271	37.638	4.10	4.60
150.350	150.250	36.954	38.321	4.60	5.10
150.300	150.200	37.638	39.004	5.10	5.60
150.250	150.150	38.321	39.688	5.60	6.10
150.200	150.100	39.004	40.371	6.10	6.60
150.150	150.050	39.688	41.054	6.60	7.10
150.100	150.000	40.371	41.738	7.10	7.60
150.050	149.951	41.054	42.413	7.60	8.10
150.000	149.901	41.738	43.088	8.10	8.59
149.951	149.852	42.413	43.764	8.59	9.09
149.901	149.802	43.088	44.439	9.09	9.58
149.852	149.753	43.764	45.114	9.58	10.08
149.802	149.704	44.439	45.789	10.08	10.57
149.753	149.654	45.114	46.465	10.57	11.06
149.704	149.605	45.789	47.140	11.06	11.56
149.654	149.555	46.465	47.815	11.56	12.05
149.605	149.500	47.140	37.396	12.05	12.55
149.555	149.450	47.815	38.080	12.55	13.10
149.500	149.400	37.396	38.763	13.10	13.60
149.450	149.350	38.080	38.947	13.60	14.10
149.400	149.299	38.763	39.132	14.10	14.10
149.350	149.249	38.947	39.316	14.10	14.10
149.299	149.199	39.132	39.500	14.10	14.10
149.249	149.149	39.316	39.684	14.10	14.10
149.199	149.098	39.500	39.869	14.10	14.10
149.149	149.048	39.684	40.053	14.10	14.10
149.098	149.001	39.869	40.226	14.10	14.10
149.048	149.000	40.053	40.230	14.10	14.10
149.001	148.950	40.226	47.193	14.10	14.10
149.000	148.900	47.022	47.364	14.10	14.10
148.950	148.850	47.193	47.535	14.10	14.10
148.900	148.800	47.364	47.707	14.10	14.10
148.850	148.750	47.535	47.878	14.10	14.10
148.800	148.701	47.707	48.049	14.10	14.10
148.750	148.651	47.878	48.221	14.10	14.10
148.701	148.601	48.049	48.392	14.10	14.10
148.651	148.551	48.221	48.563	14.10	14.10
148.601	148.501	48.392	48.734	14.10	14.10
148.551	148.500	48.563	48.738	14.10	14.10

Passive Erddruckbeiwerte
 einschließlich Einfluss aus hydraulischen Gradienten
 Faktor(E_p) = 0.50 (Grundbruch)
 Anpassungsfaktor Erdwiderstand = 1.00
 bestimmt nach: DIN 4085:2017 ger. GF

Tiefe	k_{pgh}	k_{pch}	φ_k	δ
[mNHN]	[-]	[-]	[°]	[°]
149.00	3.000	3.464	30.000	0.00
140.00	2.040	2.856	20.000	0.00

Passive Erddruckordinaten $e_{ph,k}$

Anpassungsfaktor Erdwiderstand = 1.00

einschließlich Einfluss aus hydraulischen Gradienten

von	bis	oben	unten
[mNHN]	[mNHN]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
150.86	149.45	0.00	0.00
149.45	149.05	0.00	-27.12
149.05	148.90	-27.12	-37.21
148.90	148.55	-37.21	-40.98

Kräfte und Momente um linken unteren Fußpunkt der Wand (Dimension kN/m und kN-m/m)

(V positiv nach unten; H positiv nach links; M positiv im Uhrzeigersinn)

$x(\text{Fuß}) = -1.500 \text{ mNHN}$ / $y(\text{Fuß}) = 148.500 \text{ mNHN}$

$V, k(\text{Wand}) = 125.01$

$M, k(\text{Wand}) = 234.39$

$E_{ah,k,g} = 68.84$

$M \text{ aus } E_{ah,k,g} = -118.48$

$E_{ah,k,q} = 72.85$

$M \text{ aus } E_{ah,k,q} = -223.74$

$E_{av,k,g} = 0.00$

$M \text{ aus } E_{av,k,g} = 0.00$

$E_{av,k,q} = 0.00$

$M \text{ aus } E_{av,k,q} = 0.00$

$E_{ph,k} = -66.02$

$M \text{ aus } E_{ph,k} = 31.27$

$E_{pv,k} = 0.00$

$M \text{ aus } E_{pv,k} = 0.00$

Bodengewicht, k (rechts) = 356.34

$M \text{ aus Bodengewicht, } k$ (rechts) = 1158.10

Bodengewicht, k (links) = 78.40

$M \text{ aus Bodengewicht, } k$ (links) = 7.70

V, k, g (Lasten) = 0.00

$M \text{ aus } V, k, g + M, k, g$ (Lasten) = 0.00

V, k, q (Lasten) = 0.00

$M \text{ aus } V, k, q + M, k, q$ (Lasten) = 0.00

H, k, g (Lasten) = 0.00

$M \text{ aus } H, k, g$ (Lasten) = 0.00

H, k, q (Lasten) = 0.00

$M \text{ aus } H, k, q$ (Lasten) = 0.00

V, k, g (Wasserdruck) = -80.26

$M \text{ aus } V, k, g$ (Wasserdruck) = -230.01

H, k, g (Wasserdruck) = 22.63

$M \text{ aus } H, k, g$ (Wasserdruck) = -19.33

Summe $V, k, g = 479.49$

Summe $V, k, q = 0.00$

Summe H, k, g (ohne E_{ph}) = 91.47

Summe H, k, q (ohne E_{ph}) = 72.85

Summe $M, k, g = 1063.64$

Summe $M, k, q = -223.74$

Summe Momente um Sohlmittelpunkt (SM):

$x(\text{SM}) = 1.000 \text{ m}$ / $y(\text{SM}) = 148.500 \text{ mNHN}$

$M, k, g(\text{SM}) = -135.09$

$M, k, q(\text{SM}) = -223.74$

Exzentrizität, $k, g(\text{SM}) = -0.282 \text{ m}$

Exzentrizität, $k, g+q(\text{SM}) = -0.748 \text{ m}$

Schnittgrößen ($g+q$), k

Tiefe	Q	M	N
[mNHN]	[kN/m]	[kN-m/m]	[kN/m]
154.00	0.0	0.0	0.0
151.98	-20.5	-13.8	-25.3

150.81	-66.7	-63.1	-39.9
149.40	-149.4	-211.4	-57.5
149.00	-173.7	-275.9	-62.5

Verschiebungen (g+q),k (mit Fundamentverdrehung)

Tiefe	w
[mNHN]	[mm]
154.00	-42.1
151.98	-26.1
150.81	-16.9
149.40	-6.3
149.00	-3.4

Kippsicherheit

Maßgebend: g+q

Exzentrizität e(Fuß) = -0.748 m

b/6 = 0.833 m ; b/3 = 1.667 m

sig,k,1/sig,k,2(Fuß) = 182.0 / 9.8 kN/m²

Gleitsicherheit

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nach EC 7 (6.6.6)

Wenn beim Nachweis der Gleitsicherheit Erdwiderstand angesetzt wird, gilt folgende Regelung:

Bei Flach- und Flächengründungen darf der Nachweis gegen unzutragliche Verschiebungen des Fundamentes in der Sohlfläche als erbracht angesehen werden, wenn bei mindestens mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden bzw. bei mindestens steifen bindigen Böden

- nicht mehr als zwei Drittel des charakteristischen Gleitwiderstands in der Fundamentsohle sowie
- nicht mehr als ein Drittel des charakteristischen Erdwiderstands vor der Stirnseite des Fundamentkörpers zur Herstellung des Gleichgewichts der charakteristischen bzw. repräsentativen Kräfte parallel zur Sohlfläche erforderlich sind.

Maßgebend: g + q

$\mu_{e,Gleit} = H_{d,1} / (V_{k,1} \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{Gleit} + E_{p,d}) =$

$\mu_{e,Gleit} = 232.8 / (479.5 \cdot \tan(20.0) / 1.10 + 111.9) = 0.860$

Passive Wandreibung(Gleitsicherheit) / $\varphi = -0.250$

Korrekturfaktor = 1.186

$E_{p,d} = 111.9$

Gebrauchstauglichkeit nach EC 7 (6.6.6)

$\mu_{e,k} = H_{k,1} / (2/3 \cdot V_{k,1} \cdot \tan(\varphi) + 1/3 \cdot E_{p,k}) =$

$\mu_{e,k} = 164.3 / (2/3 \cdot 479.5 \cdot \tan(20.0) + 1/3 \cdot 156.7) = 0.975$

Korrekturfaktor = 1.186

$E_{p,k} = 156.7$ kN/m

Grundbruchsicherheit

Maßgebend: = g + q

$H_{k,1} = 98.30$ kN/m

$M_{k,1} = 327.55$ kN/m

$V_{k,1} = 479.49$ kN/m

$V_{d,1} = 647.31$ kN/m

$R_{n,d,1} = 699.69$ kN/m

a = 10.000 m

b = 5.000 m

b' = 3.496 m

Ausnutzungsgrad = 0.925

$\gamma_{Gleit} = 1.400$

$\varphi_k = 20.0^\circ$

$c_k = 10.0$ kN/m²

$\gamma_2 = 7.0$ kN/m³

$\sigma_{\bar{u}} = 11.7$ kN/m²

$N_{c0} = 14.83 / N_{d0} = 6.40 / N_{b0} = 1.97$

$v_c = 1.147 / v_d = 1.124 / v_b = 0.891$

$i_c = 0.611 / i_d = 0.672 / i_b = 0.534$

Böschungsneigung = 0.0 °

$\lambda_c = 1.000 / \lambda_d = 1.000 / \lambda_b = 1.000$

Sohlneigung = 0.0 °

$\xi_c = 1.000 / \xi_d = 1.000 / \xi_b = 1.000$

Tiefenbeiwerte:

$T_c = 1.063 / T_d = 1.063$

Nachweis EQU:

Momente (im Uhrzeigersinn positiv)

$$\begin{aligned} M_{g,k(+)} &= 1431.47 \text{ / } M_{q,k(+)} = 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \\ M_{g,k(-)} &= -367.82 \text{ / } M_{q,k(-)} = -223.74 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \\ M_{stb} &= 1431.47 \cdot 0.90 = 1288.32 \\ M_{dst} &= 367.82 \cdot 1.10 + 223.74 \cdot 1.50 = 740.22 \\ \mu(EQU) &= 740.22 / 1288.32 = 0.575 \end{aligned}$$

Setzungen

Steifemodulprofil und

Setzungsanteile in den kennzeichnenden Punkten

infolge Gesamtlasten

Tiefe	E_s	s(links)	s(rechts)
[m u. GS]	[MN/m ²]	[cm]	[cm]
0.00	10.00	0.00	0.00
> 0.00	10.00	4.23	1.68

Grenztiefe mit $p = 20.0 \%$

Grenztiefe = 5.86 m u. GS

$V_k = 479.49 \text{ kN/m}$

$a = 10.00 \text{ m}$

$b = 5.00 \text{ m}$

$\sigma(\text{links}) = 182.02 \text{ kN/m}^2$

$\sigma(\text{rechts}) = 9.78 \text{ kN/m}^2$

Setzungen in den kennzeichnenden Punkten:

links: $s = 4.23 \text{ cm}$

rechts: $s = 1.68 \text{ cm}$

Bewehrung Wand EC 2

Nachweis mit Erdruchdruck

Tiefe = 149.00 m

Beton C 30/37 / Stahl B500

$M_d = 351.7 \text{ kN}\cdot\text{m} / \text{m}$

$N_k = -62.5 \text{ kN} / \text{m}$

$\epsilon_{s(c2)} [o/oo] = -3.5$

$\epsilon_{s(s1)} [o/oo] = 22.9$

$A_{s1} [\text{cm}^2 / \text{m}] = 17.60$

Dicke = 0.500 m

$d_1 = 0.050 \text{ m}$

$\sigma_1(l) = 8.31 / \sigma_2(l) = -8.56 \text{ MN/m}^2$

Tiefe = 149.00 m

$Q_d = V_{Sd} = 225.3 \text{ kN} / \text{m}$

$V_{Rd,max} = 1377.0 \text{ kN} / \text{m} (z = 0.360 \text{ m})$

$(V_{Sd} / V_{Rd,max} = 0.1636)$

$A_s(\text{Schub}) = 9.3 \text{ cm}^2/\text{m}$ (Mindestbew.)

Bügelabstand = 30.0 cm

Rissbreitennachweis:

$M_k = 275.9 \text{ kN}\cdot\text{m} / \text{m} \quad N_k = -62.5 \text{ kN} / \text{m}$

Effektive Zugfestigkeit des Betons $[N/mm^2] = 2.90$

Grenzzrissweite $[mm] = 0.30$

Hebelarm der inneren Kräfte $[m] = 0.422$

Bewehrungsgehalt $[\%] = 0.352$

Erforderlich: 13 Bewehrungsstäbe (Durchmesser 14 mm)

Erforderlich $A_s [\text{cm}^2 / \text{m}] = 20.01$

Rissbreitennachweis maßgebend !

Bewehrung Sporn links EC 2 (Anschnitt)

$M_d = -175.8 \text{ kN}\cdot\text{m} / \text{m}$

$N_k = -50.1 \text{ kN} / \text{m}$

Moment positiv im Gegenuhrzeigersinn

$\epsilon_{s(c2)} [o/oo] = -2.2$

$\epsilon_{s(s1)} [o/oo] = 25.0$

$A_{s1} [\text{cm}^2 / \text{m}] = 8.20$

Dicke = 0.500 m

$d_1 = 0.050 \text{ m}$

$\sigma_1(l) = -4.32 / \sigma_2(l) = 4.12 \text{ MN/m}^2$

$Q_d = V_{Sd} = 12.6 \text{ kN} / \text{m}$

$V_{Rd,max} = 1377.3 \text{ kN} / \text{m} (z = 0.360 \text{ m})$

$(V_{Sd} / V_{Rd,max} = 0.0092)$

Schubbewehrung nicht erforderlich.

Anlage 3

Berechnungsausdruck Baugrube Schöpfwerk

Böschungsbruchsicherheit Baugrube Pumpenwerk
Neigung der Böschung $\beta = 30^\circ$
mit Verkehrslast $p = 16,7 \text{ kN/m}^2$

Ergebnis ohne Verkehrslast $MY = 0,95$

