

Bauprojekt

PU ARA-Eulenweg Au-Heerbrugg

Statische Berechnungen

 BÄNZIGER PARTNER					Bänziger Partner AG Ingenieure Planer Bahnhofstrasse 18 9470 Buchs					Telefon 081 750 04 50 buchs@bp-ing.ch www.bp-ing.ch	
Kontrolle (1) und Freigabe (2) gemäss QM-System nach ISO 9001 (2015)										Format : A4	
Ind	Datum	(1)Zeich.	(1)Ing.	(2)PL	Ind	Datum	(1)Zeich.	(1)Ing.	(2)PL	Dokument : 112-0059.002 PU SBB ARA Statik	
	29.05.2026		dom	rko	C					112-0059.005	
A					D						
B					E						

AUFTRAGGEBER**Gemeinde Au**

Kirchweg 6
9434 Au SG

Kontaktperson: Philipp Hartmann

Tel. 058 228 62 79

Mail philipp.hartmann@au.ch

AUFTRAGNEHMER**Bänziger Partner AG**

Ingenieure Planer
Bahnhofstrasse 18
9470 Buchs SG

Kontaktperson: Remo Kobler

Tel. 081 750 04 50

Mail buchs@bp-ing.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines	5
1.1.	Einleitung	5
1.2.	Objektbeschreibung	5
1.3.	Bauablauf	5
1.4.	Schutzziele	5
1.5.	Objektskizzen, Übersichtspläne	6
1.6.	Abgrenzung	7
2.	Grundlagen	8
2.1.	Gesetzliche Grundlagen	8
2.2.	Normen	8
2.3.	Projektspezifische Grundlagen	9
2.3.1.	Pläne	9
2.3.2.	Berichte	9
3.	Baugrundverhältnisse und Baugrundmodell	10
3.1.	Geologische Verhältnisse	10
3.2.	Wahl des Erddruck-Beiwertes	10
3.3.	Hydrologie	11
4.	Tragwerkskonzept	12
4.1.	Statisches System und Bemessungsmodell	12
4.1.1.	Statisches System	12
4.1.2.	Bemessungsmodell	12
4.2.	Stabmodell	13
4.2.1.	Lagerungsbedingungen	22
4.3.	Materialisierung	23
5.	Tragwerksbemessung	24
5.1.	Ständige Einwirkungen	24
5.2.	Baustoffeigenschaften	26
5.3.	Veränderliche Einwirkungen	28
5.4.	Aussergewöhnliche Einwirkungen	29
5.5.	Ermüdung	30
5.6.	Eingabe der Einwirkung	35
6.	Tragsicherheit	46
6.1.	Gefährdungsbilder und Massnahmen	46
6.1.1.	Tragwiderstand des Tragwerks Typ 2	46
6.1.2.	Ermüdungssicherheit des Tragwerks Typ 4	46
6.1.3.	Grenzwertspezifikationen	48
6.2.	Nachweis der Tragsicherheit Typ 2	54
6.2.1.	Nachweisführung Biegung	54
6.2.2.	Nachweisführung Querkraft	67
6.2.3.	Randbord	77
6.2.4.	Flügelwand / Wannenwände	78
6.2.5.	Bodenplatte Rampe	89
6.2.6.	Masten	91
6.3.	Nachweise Ermüdungssicherheit Typ 4	93
6.3.1.	Nachweisführung Biegung	93
6.3.2.	Nachweisführung Querkraft	106
6.4.	Nachweis der Tragsicherheit Typ 1	115

6.4.1.	Auftrieb	115
7.	Gebrauchstauglichkeit	121
7.1.	Grenzzustände und Massnahmen	121
7.2.	Rissbreitenbegrenzung	123
7.3.	Verhindern des Fliessens der Bewehrung	126
7.4.	Durchbiegung	127
8.	Bauzustand	134
9.	Bewehrungsskizze	147
10.	Baugrubensicherung	152
11.	Zusammenfassung	169

1. Allgemeines

1.1. Einleitung

Die vorliegende Statik umfasst den Neubau der Personenunterführung ARA Eulenweg. Die für die Bemessung nötigen Gefährdungsbilder zur Gewährleistung der Tragsicherheit und die Nutzungszustände zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit sind in der Projektbasis definiert.

1.2. Objektbeschreibung

Die Linienführung führt von der Kreuzung Eulenweg / Feldstrasse mittels schiefwinkliger Unterquerung der SBB-Trasse zur Rosenbergsaustasse. Der Kreuzungsbereich Eulenweg / Feldstrasse soll im Zuge des Projektes angepasst werden, wie auch die Vorbereitung des Gehweges auf der Westseite des Kreisels Rosenbergsau und die Mittelinsel, die an den Espenweg anbindet. Aufgrund des vorhandenen Abwasserkanals kann die PU nicht in der Verlängerung des Eulenweg angeordnet werden, sondern muss versetzt erstellt werden.

Der Neubau wird als vorgefertigtes Kastenelement aus Stahlbetonbauweise konzipiert. Die Stärke der Deckenplatte variiert, aufgrund des projektierten Dachgefälle zwischen 50 cm und ca. 56.5 cm. Die Wände sind konstant 50 cm dick und die Bodenplatte variiert von 50 cm bis 54 cm. Die lichte Weite zwischen den Wänden misst 5.50m und die Breite quer zum Gleis misst ca. 7 m. Die Brücke weist gegenüber dem Gleis eine Schiefe von ca. 20° auf.

Die Rampen der PU werden mit Gefällen von ca. 5.5%- 6.0% ausgeführt. Auf Seite Eulenweg werden den Stützmauern bis OK Terrain geführt. Auf der Seite Rosenbergsau wird das bestehende Gelände entsprechend der Linienführung geböscht.

Die PU weist ein Quergefälle von 2.0% auf und wird über Einlaufschächte im Gehwegbereich gesammelt und in einen Pumpschacht geführt.

Das Bauwerk wird flach fundiert. In Bereichen mit vorhandener Deckschicht unter dem Fundationsniveau der PU wird ein Bodenersatz mit Schottermaterial vorgenommen. Die Bodenplatte der PU kommt im Bereich des mittleren Grundwasserspiegels zu liegen.

1.3. Bauablauf

Vor den eigentlichen Arbeiten an der PU sind diverse Werkleitungen umzulegen oder neu zu erstellen. Diese sind Bestandteil von Drittprojekten oder werden durch die Werke projektiert.

Mit dem vorgesehenen Bauablauf wird die PU ausserhalb des Gleisquerschnitt vorfabriziert und während einer Wochenendsperre mittels Raupenkran eingehoben. Vorgängig werden die neuen Fahrleitungsmasten erstellt und die Fahrleitung umgehängt. Die Rampen ausserhalb des Gleisbereichs werden nach dem Einhub unter Betrieb erstellt.

Als Dammsicherung sind Spundwände erforderlich, welche vor dem Einhub einvibriert und nach der Erstellung der Rampenwände ausgebaut werden.

Für Vorbereitungs- und Nachbearbeitungsarbeiten sind Nachtsperren und für den Einhub eine Wochenendsperre erforderlich.

1.4. Schutzziele

Die Schutzziele und Sonderrisiken sind in der Nutzungsvereinbarung definiert.

1.5. Objektskizzen, Übersichtspläne



Abbildung 1: Situation PU ARA – Eulenweg

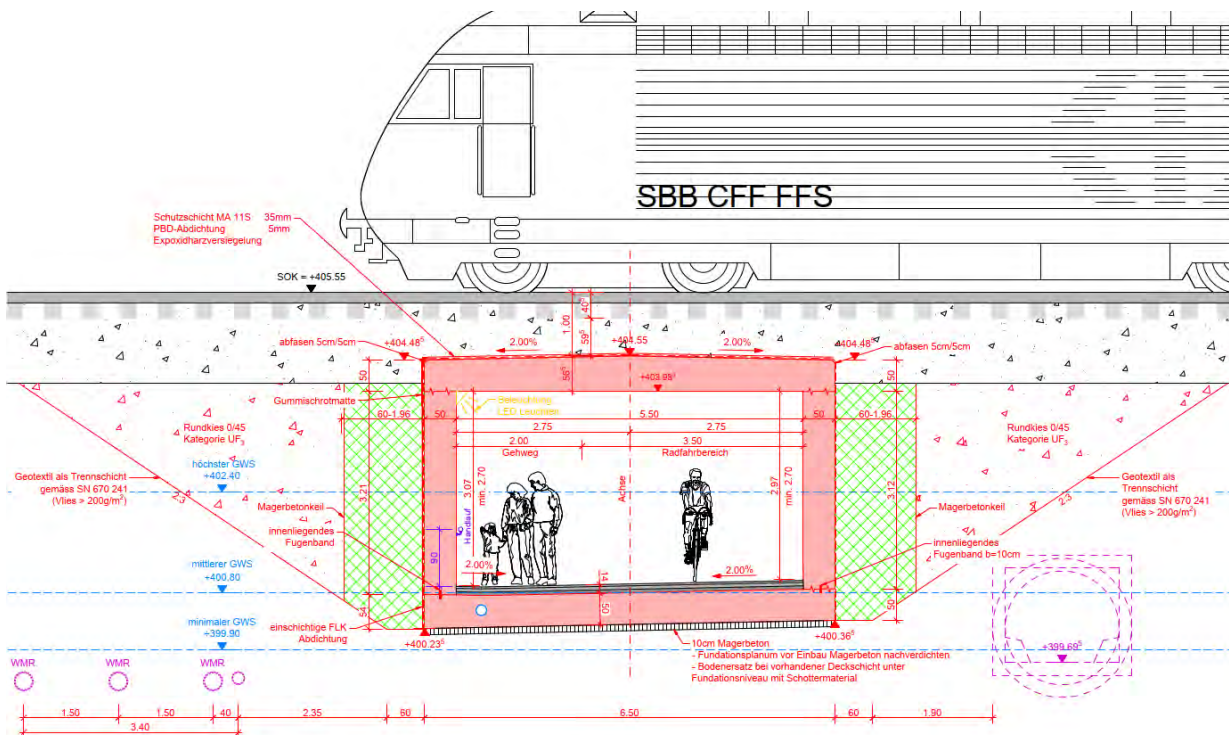


Abbildung 2: Querschnitt

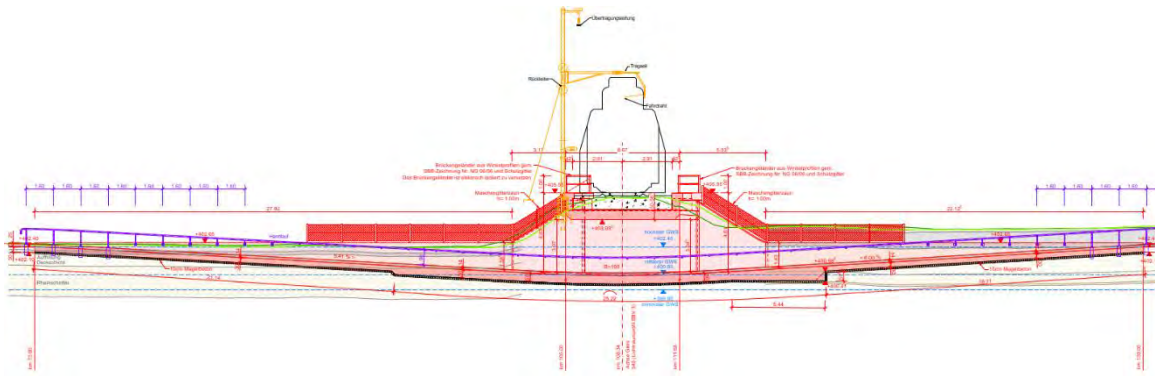


Abbildung 3: Längsschnitt

1.6. Abgrenzung

Die vorliegende Statik betrifft den geplanten Neubau der Personenunterführung inkl. Rampen und Umlegung der Fahrleitungsmasten, sowie die Baugrubensicherung.

2. Grundlagen

2.1. Gesetzliche Grundlagen

- | | | |
|-----|-------------------------------------|---|
| [1] | AB-EBV | Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung in der zum Vertragsabschluss gültigen Fassung |
| [2] | EBG | Eisenbahngesetz |
| [3] | Kantonale Richtlinien und Weisungen | |
| [4] | GSchG, GSchV | Gewässerschutzgesetz, Gewässerschutzverordnung |

2.2. Normen

- | | | | |
|------|---|--------|---|
| [5] | SIA 260 | (2013) | Grundlagen der Projektierung von Tragwerken |
| [6] | SIA 261 | (2020) | Einwirkungen auf Tragwerke |
| [7] | SIA 261/1 | (2020) | Ergänzende Festlegungen |
| [8] | SIA 262 | (2025) | Betonbau |
| [9] | SIA 262/1 | (2019) | Ergänzende Festlegungen |
| [10] | SIA262.051+A1 | (2021) | Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität |
| [11] | Merkblatt SIA 2042 | (2022) | Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten |
| [12] | SIA 267 | (2013) | Geotechnik |
| [13] | SIA 267/1 | (2013) | Ergänzende Festlegungen |
| [14] | SIA 270 | (2014) | Abdichtungen und Entwässerungen – Allgemeine Grundlagen und Abgrenzungen |
| [15] | VSS 640 201 (2017) | | Geometrisches Normalprofil |
| [16] | VSS 640 862 (1993) | | Markierungen |
| [17] | VSS 40 568 (2019) | | Passive Sicherheit im Strassenraum, Geländer |
| [18] | SBB Reglemente | | Weisungen und Merkblätter |
| [19] | W BAU GD 40/92 | (1992) | Gestaltungsrichtlinie für Ingenieurbauwerke der SBB |
| [20] | PAIngB | (2021) | Projektierungsassistent Ingenieurbau – Brücken (Teil A und B) Version3.2 |
| [21] | D I-FW-PS-IB 05/07 | (2009) | Ermittlung des Druckes auf Schotterhalterungen |
| [22] | R RTE 20012 | (2022) | Lichtraumprofil Normalspur |
| [23] | D RTE 27900 | (2014) | Rückleitungs- und Erdungshandbuch |
| [24] | R RTE 21110 | (2015) | Unterbau und Schotter Normalspur (und Meterspur) |
| [25] | SBB Ausführungs- und Qualitätsvorschriften (AQV) und Kontrollpläne (KP) | | |
| | - Stahlbeton | | |
| | - Bauwerksabdichtung | | |
| | - Fahrbahnenentwässerung | | |

2.3. Projektspezifische Grundlagen

2.3.1. Pläne

- [26] Pläne Vorprojekt, Bänziger Partner AG, 29.08.2025
- [27] Grundbuchplan Gemeinde Au
- [28] Leitungskataster Gemeinde Au und Drittwerte

2.3.2. Berichte

- [29] 112-0059.001 Nutzungsvereinbarung PU ARA Eulenweg, Bänziger Partner AG, 29.05.2026, Vorabzug
- [30] 112-0059.003 Technischer Bericht Vorprojekt, Bänziger Partner AG, 29.08.2025
- [31] Geologie, Neubau PU ARA-Eulenweg, Au, (KbS-Nr. 3231A0207), 06.02.2026

3. Baugrundverhältnisse und Baugrundmodell

3.1. Geologische Verhältnisse

Im Baubereich stehen unter wenigen dm bis lokal 3.0 m Auffüllung (Bahndamm und Güllen-graben) sowie rund 1.5 ± 1.0 m siltig-feinsandigem Deckschichtmaterial (Rheinletten) etwa 8 ± 1 m sauberer bis leicht siltiger Kies und Kiessand an (Rheinschotter) an, welcher anschlies-send von tonig-siltig-feinsandigen Seeablagerungen abgelöst wird.

Die geotechnischen Eigenschaften des im Bauareal anstehenden Untergrundes können grundsätzlich als weitgehend unproblematisch eingestuft werden. Besonders zu beachten ist der eher geringe Flurabstand des Grundwassers in Kombination mit der grossen Wasser-durchlässigkeit des Grundwasserleiters.

Die Deckschicht und auch die tiefer liegenden Seeablagerungen müssen als mässig stark set-zungsempfindlich beurteilt werden, wobei die erst in grosser Tiefe anstehenden Seeabla-gerungen keine praktische Bedeutung mehr haben. Die Auffüllungen und die Dammschüttung weisen bereits deutlich bessere geotechnische Eigenschaften auf. Der Rheinschotter ist wenig setzungsempfindlich und bildet gemäss lokaler Bau erfahrung eine einwandfreie Tragschicht. Allfällige Konsolidationen infolge hoher Lasten haben ein generell geringes Ausmass und klin-gen in kurzer Zeit ab.

Die in der folgenden Tabelle angegebenen Bodenkennwerte basieren auf bestmöglichen Schätzungen aufgrund der Sondierdaten und der langjährigen, örtlichen Baugrunderfahrung; sie entsprechen geschätzten Mittelwerten X_m bzw. Extremwerten $X_{extr.}$ (in Klammer) gemäss SIA 267 und sind dementsprechend zu verwenden.

Schicht	Bezeichnung	$\gamma = \gamma'$ [kN/m ³]	φ [°]	c' [kN/m ²]	M_{E0} [MN/m ²]
	Auffüllung / Damm	20	32 (30)	0	15 (12)
	Deckschicht	19	28 (26)	0	8 (6)
	Rheinschotter	20	36 (34)	0	45 (40)
	Seeablagerungen	20	27 (25)	5 (3)	10 (8)

Tabelle 1: Annahmen der charakteristische Baugrundwerte

3.2. Wahl des Erddruck-Beiwertes

Die Wahl der Erddruckbeiwerte erfolgt gemäss SIA 261, Ziffer 4.3 und Tabelle 1 und SIA 267 Ziffer 12.4.3.

Als Bodenkennwerte wurden folgende Werte gewählt:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3; \varphi_k = 30^\circ; c_k = 0 \text{ kN/m}^2$$

Erddruckbeiwerte

$$\begin{aligned}
 \text{Aktiver Erddruckbeiwert} \quad K_{a,h} &= \left[\frac{\cos(\varphi_k)}{1 + \left(\frac{\sin(\varphi_k + \delta) \cdot \sin \varphi_k}{\cos(\delta)} \right)^{0.5}} \right]^2 & \text{mit } \delta = \frac{2}{3} \varphi_k \\
 \text{Erdruhedruckbeiwert} \quad K_0 &= 1 - \sin \varphi_k \\
 \text{Erhöhter Erddruckbeiwert} \quad K_{ae,h} &= (K_{a,h} + K_0) / 2 \\
 \text{Passiver Erddruckbeiwert} \quad K_{p,h} &= \left[\frac{\cos(\varphi_k)}{1 - \left(\frac{\sin(\varphi_k - \delta) \cdot \sin \varphi_k}{\cos(\delta)} \right)^{0.5}} \right]^2 & \text{mit } \delta = -\frac{1}{2} \varphi_k
 \end{aligned}$$

Bauwerk oder Bauteil	Nachweis der Tragsicherheit	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit
Widerlagerwände und Flügelmauern	Erdruhedruck mit K_0	Erdruhedruck mit K_0
Wannenwände	Erdruhedruck mit K_0 und Hinterfüllungsdruck	-
Baugrubensicherung	min. erhöhter aktiver Erddruck mit K_{ae}	Erdruhedruck mit K_0

Tabelle 2: Erddruck-Beiwert für Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit

3.3. Hydrologie

Der mittlere Grundwasserspiegel liegt gemäss Grundwasserkarte und Messungen nahe am Bauareal bei 400.80 m ü.M.

Der natürliche Minimalwasserstand dürfte damit etwa bei 399.90 m.ü.M., der hohe, versickerungsrelevante Grundwasserspiegel (mehrere Tage pro Jahr) ist bei rund 401.80 m.ü.M. anzunehmen sein. In Extremsituationen (anhaltende Niederschläge kombiniert mit Schneeschmelze im Einzugsgebiet des Rheins) kann der hohe Wasserspiegel nochmals um voraussichtlich mehrere dm übertroffen werden (maximaler Grundwasserspiegel ca. 402.40 m.ü.M.) und damit etwa die Terrainoberfläche westlich der Bahnlinie erreichen.

Für die Auftriebsberechnung und die Berechnung des Wasserdrucks wird mit dem maximalen Grundwasserstand von 402.40 m.ü.M gerechnet.

4. Tragwerkskonzept

4.1. Statisches System und Bemessungsmodell

4.1.1. Statisches System

Der Neubau wird als integraler Rahmen aus Stahlbetonbauweise konzipiert. Die Stärke der Deckenplatte variiert zwischen 50 cm und ca. 56.5 cm. Die Wände sind konstant 50 cm stark und die Bodenplatte variiert zwischen 50 cm und 54 cm. Die lichte Weite zwischen den Wänden misst 5.50 m und die Breite quer zum Gleis misst ca. 7.0 m. Die Brücke weist gegenüber dem Gleis eine Schiefe von ca. 20° auf.

Das Bauwerk ist flach im anstehenden Rheinschotter gegründet. Die Bodenplatte liegt nur knapp über dem mittleren Grundwasserspiegel und weist ein Quergefälle von 2.0% auf. Die Rampen werden als Trog ausgebildet. Seitlich der PU werden Flügelwände erstellt, welche der Dammböschung folgen.

4.1.2. Bemessungsmodell

Für die statische Bemessung wurde ein Stabmodell im Statik Programm Statik 9 (Trägerrostmodell) erstellt.

Die seitlichen Randborde des Querschnitts werden im Modell nur als Auflasten berücksichtigt (siehe Abbildung 4). Der Grund liegt darin, dass bei einem künftigen Doppelspurausbau diese Elemente entfernt werden und das Bauwerk auch ohne diese Aufbordnung die Tragsicherheit erfüllen müssen.

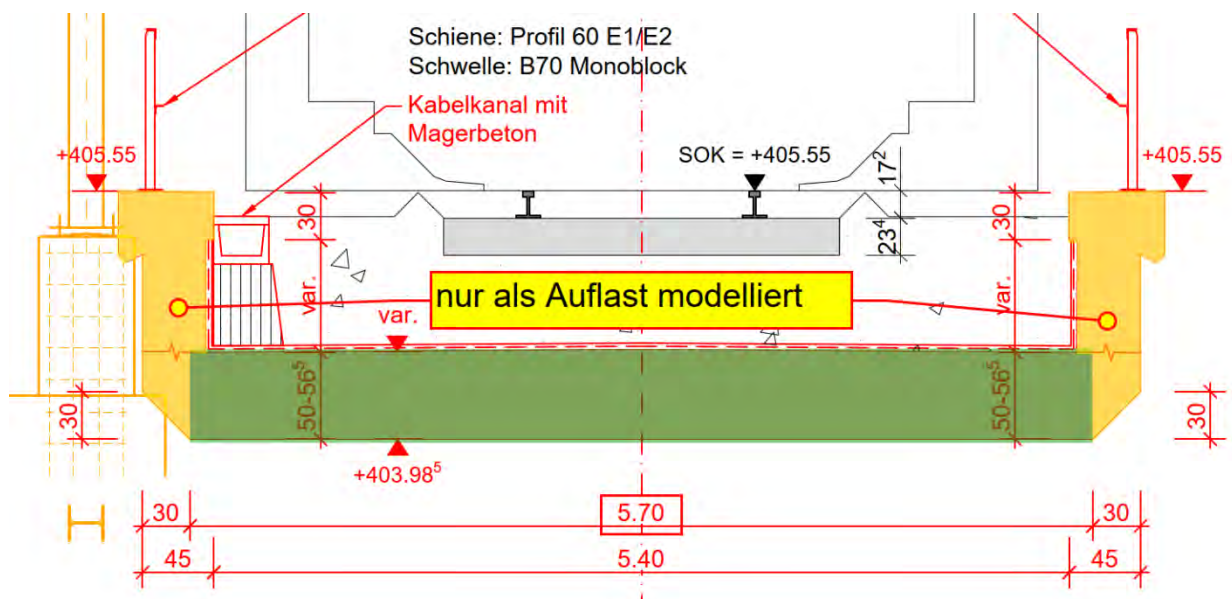


Abbildung 4: Aufbordnung

4.2. Stabmodell

Um die Auswirkungen aus Horizontallasten, die Beanspruchung der Widerlagerwände und jene der Bodenplatte zu ermitteln und damit die schiefwinklige Bewehrung direkt im Modell berücksichtigt wird, wird ein Stabmodell verwendet. Die Brückenplatte wird dabei als Trägerrost modelliert.

Der Trägerrost besteht aus 6 Längsträgern und gewichtslosen Querträgern. Längs- und Querträger werden als torsionsweich modelliert.

Die Längsträger der Platten (Deckenplatte und Bodenplatte) werden mit vertikalen Längsträgern des Widerlagers biegesteif verbunden. Der Abstand der Längsträger beträgt 0.95 m. Diese Längsträger sind torsionsweich und können nur Biegemomente um die schwache Achse aufnehmen. Damit die Einspannung an den Rahmenecken erfasst und gleichzeitig keine Biegemomente um die starke Achse der vertikalen Längsträger Widerlager übertragen werden, sind die Längsträger Widerlager lotrechte zu den Längsträgern der Bodenplatte und der Deckenplatte angeordnet. Das schiefwinklige Bauwerk wird dadurch vereinfacht über „Absätze“ modelliert (siehe Abbildung 6).

Die Querträger werden in der Decke und der Bodenplatte in einem Abstand von 1.06 m und ebenfalls torsionsweich modelliert. In den Widerlagern werden die Querträger identisch modelliert, wobei hier der Abstand 0.925 m beträgt.

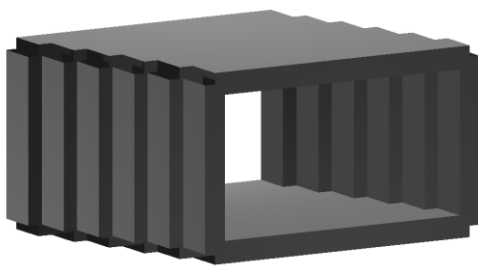


Abbildung 5: 3D - Ansicht Modell

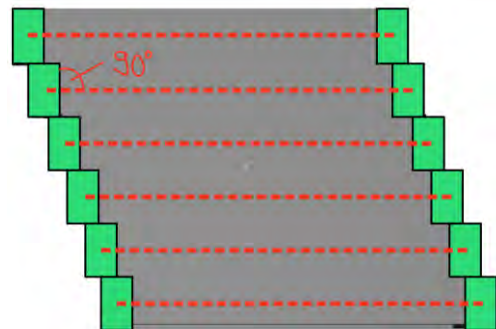
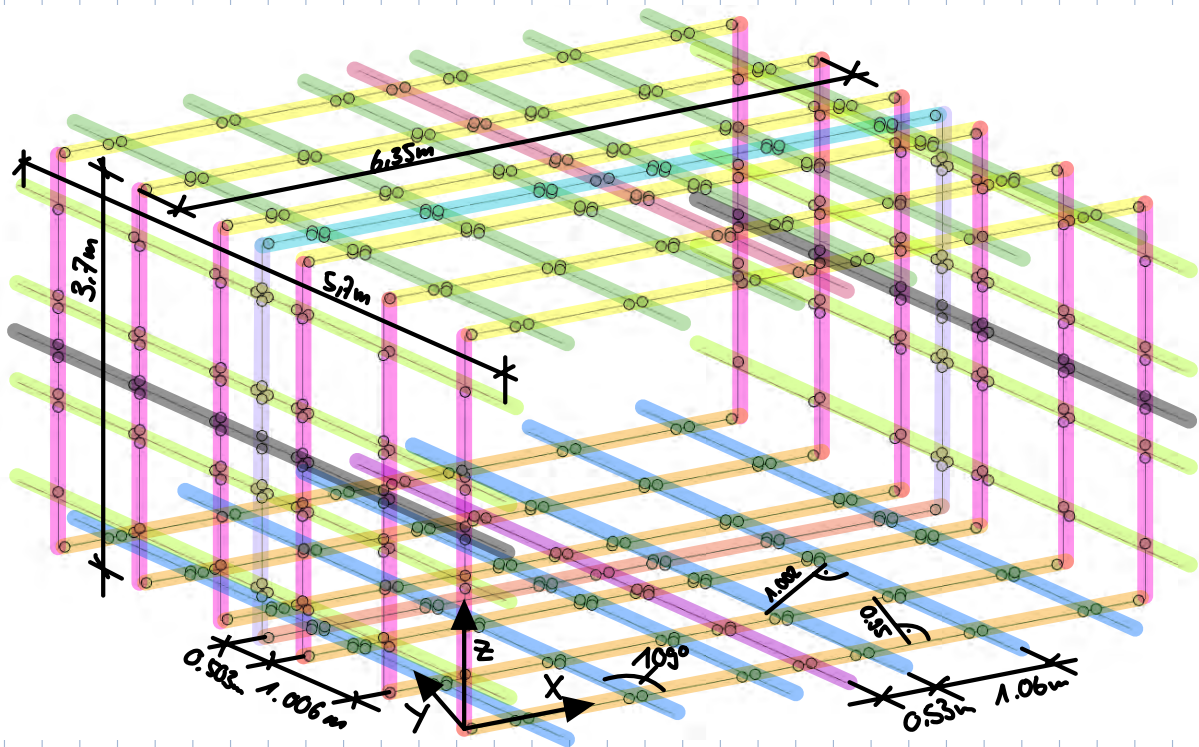


Abbildung 6: Grundriss Modell

Damit sich die Längsträger nicht relativ zueinander verschieben und die Scheibenwirkung der Platte erfasst wird, sind gewichtslose Längs- und Querträger in der Deckenplatte, Bodenplatte und Widerlager modelliert. Diese zusätzlichen Längs- und Querträger weisen eine Breite der Brückenlänge resp. Brückenbreite auf und übernehmen Biegemomente um die starke Achse. Die dadurch entstehenden Biegemomente sind im Verhältnis zum Widerstand vernachlässigbar klein und werden für die Querschnittsnachweise nicht berücksichtigt.

Trägerrostmodell

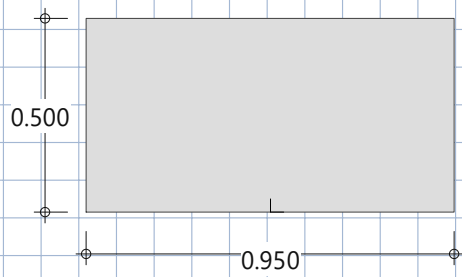


		Bezeichnung
	Längsträger Decke	LT - DECKE1
	Längsträger Widenlager	LT - WL
	Längsträger Bodenplatte	LT - BP
	Querträger Decke	QT - DECKE1
	Querträger Widenlager	QT - WL
	Querträger Bodenplatte	QT - BP
	Scheibenwirkung Querrichtung Decke	D - QUERRICHTU
	Scheibenwirkung Querrichtung Widenlager	WL - QUERRICHT
	Scheibenwirkung Querrichtung Bodenplatte	BP - QUERRICHT
	Scheibenwirkung Längsrichtung Decke	D - LAENGSRIC
	Scheibenwirkung Längsrichtung Widenlager	WL - LAENGSR1
	Scheibenwirkung Längsrichtung Bodenplatte	BP - LAENGSR1



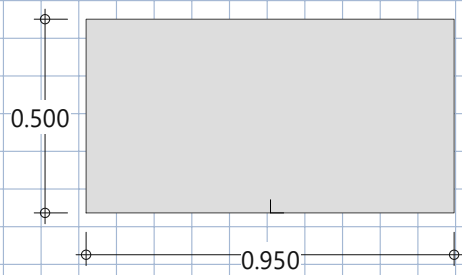
LT-DECKE1: C(C30/37)

Mstb. 1 :20.0



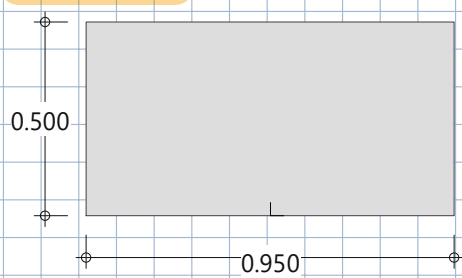
LT-WL: C(C30/37)

Mstb. 1 :20.0



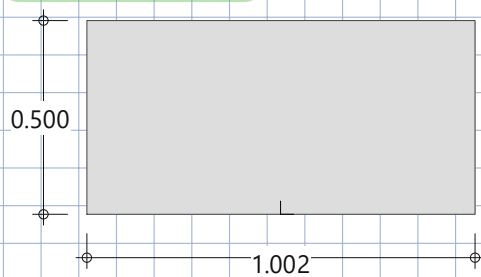
LT-BP: C(C30/37)

Mstb. 1 :20.0



QT_DECKE1: C(C30/37)

Mstb. 1 :20.0



QT-WL: C(C30/37)

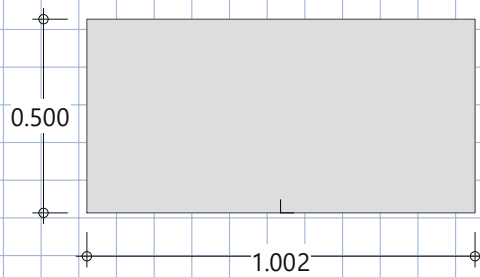
Mstb. 1 :20.0





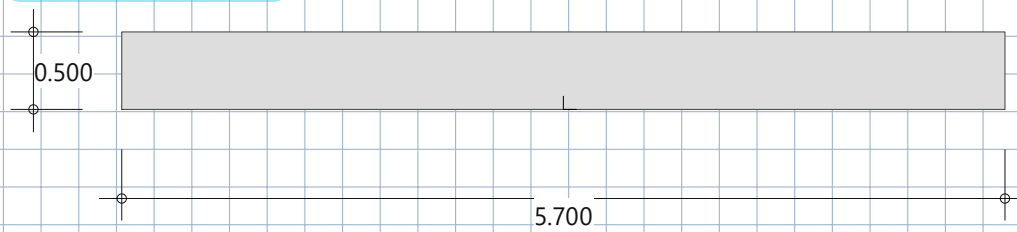
QT-BP: C(C30/37)

Mstb. 1 :20.0



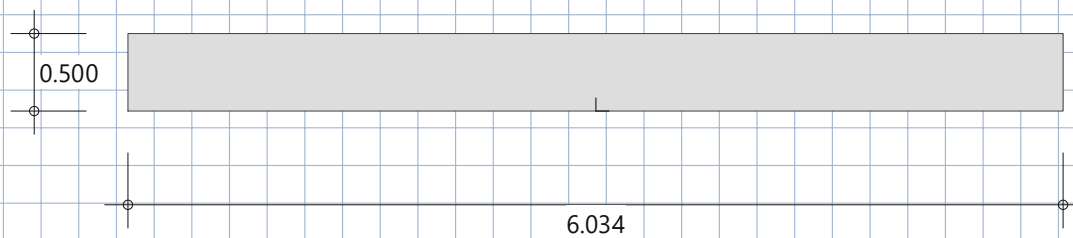
D-QUERRICHTU: C(C30/37)

Mstb. 1 :50.0



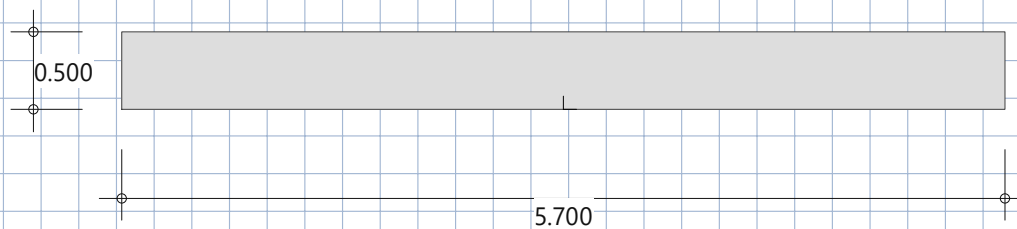
WL-QUERRICHT: C(C30/37)

Mstb. 1 :50.0



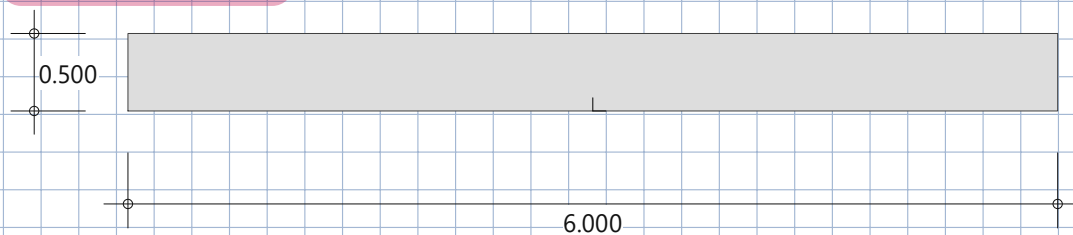
BP-QUERRICHT: C(C30/37)

Mstb. 1 :50.0



D-LAENGSRICHT: C(C30/37)

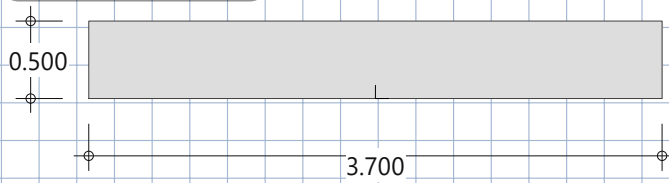
Mstb. 1 :50.0





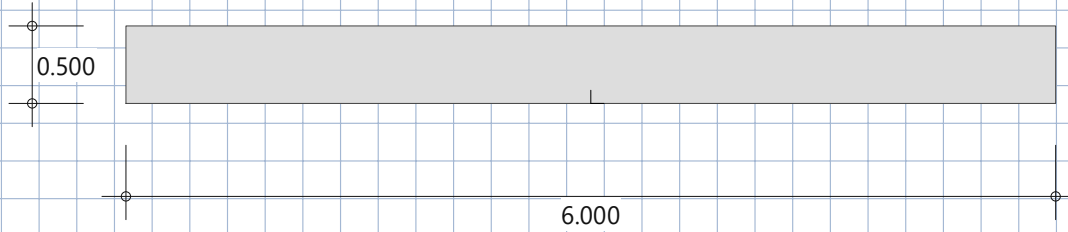
WL-LAENGSR1: C(C30/37)

Mstb. 1 :50.0



BP-LAENGSR1: C(C30/37)

Mstb. 1 :50.0

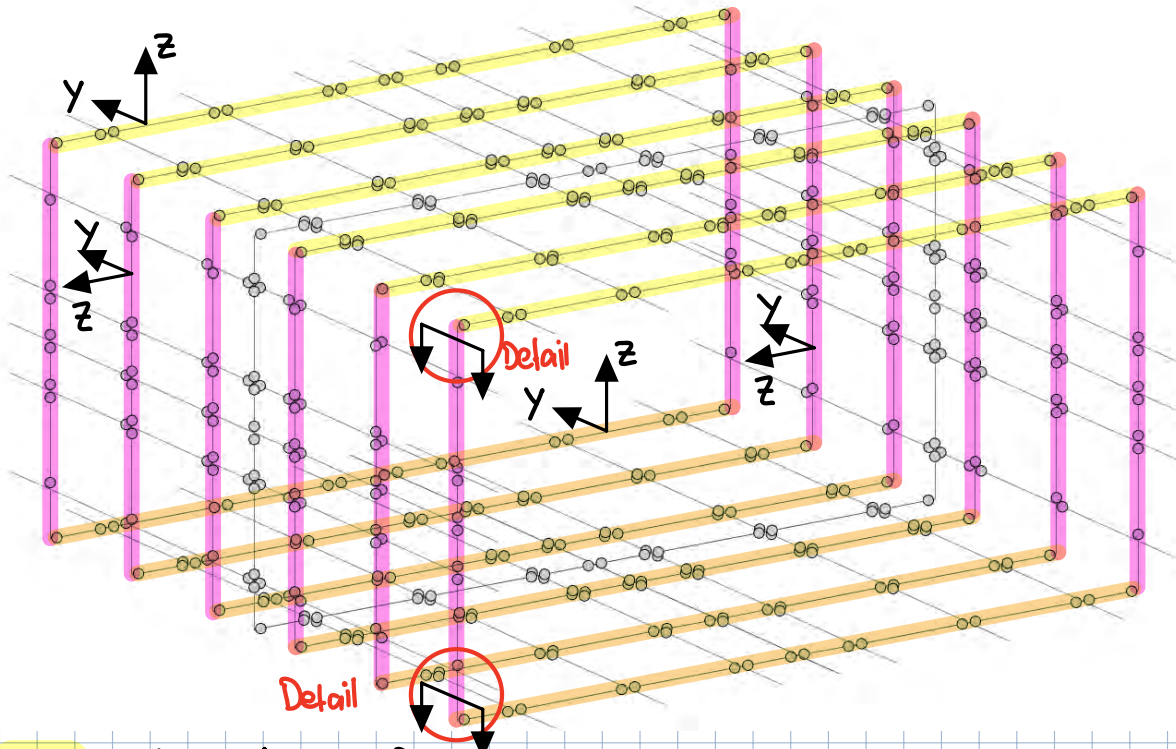


Stabgelenke

$R_x : T_x$ - Gelenk (Torsion)

$R_y : M_y$ - Gelenk (Biegemoment M_y)

$R_z : M_z$ - Gelenk (Biegemoment M_z)

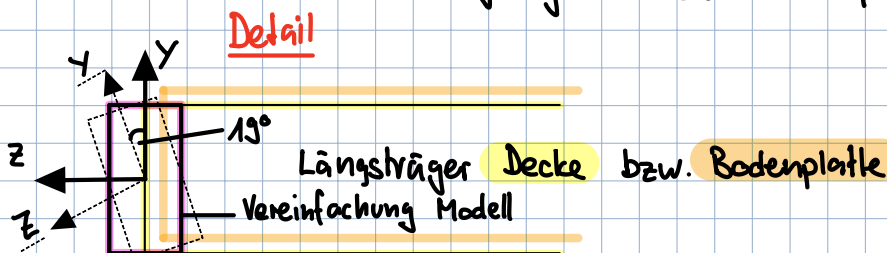


Längsträger Decke : keine T_x, M_z

Längsträger Widerlager : keine T_x, M_z

Längsträger Bodenplatte : keine T_x, M_z

Damit die Steifigkeit im Rahmeneck realistisch berücksichtigt wird, ohne dass in die Längsträger Widerlager zusätzlich Biegemomente um die starke Achse (M_z) entstehen, wurden die Längsträger im Grundriss nicht gedreht (schiefwinklige Geometrie) sondern lotrecht zu den Längsträgern Decke und Bodenplatte modelliert.



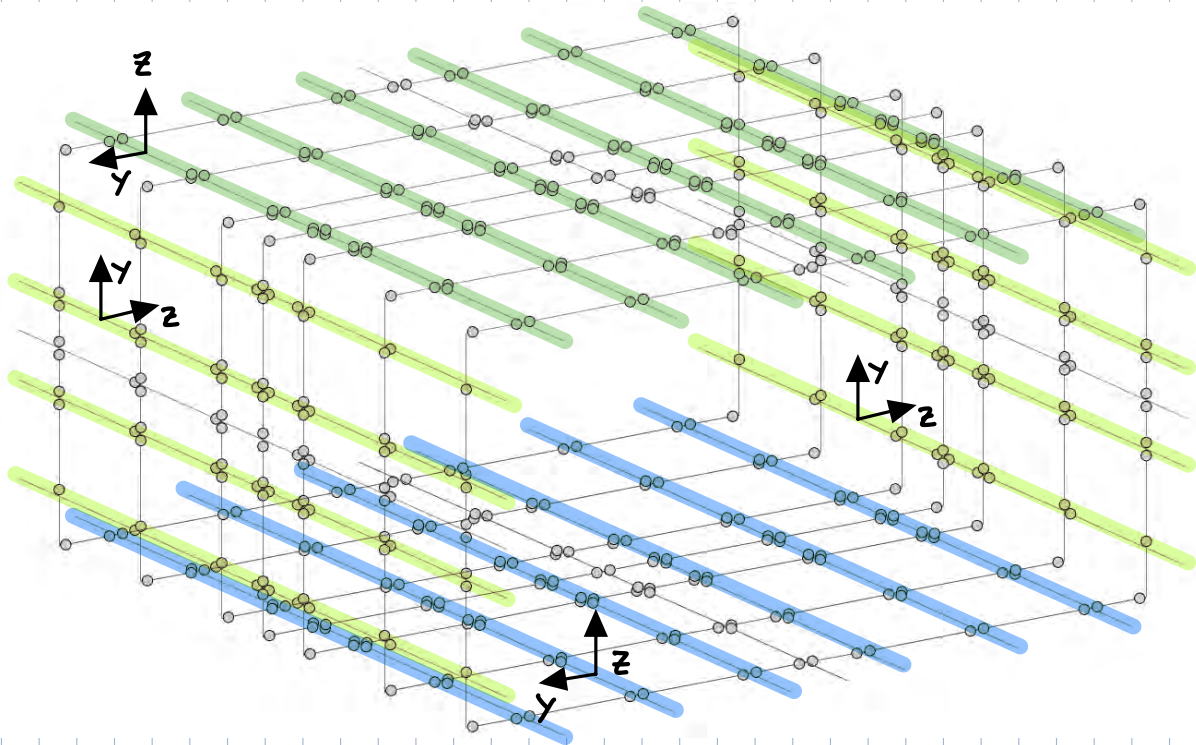
----- tatsächliche „Verdrehung“ infolge schiefwinkliger Geometrie

Stabgelenke

R_x : T_x - Gelenk (Torsion)

R_y : M_y - Gelenk (Biegemoment M_y)

R_z : M_z - Gelenk (Biegemoment M_z)



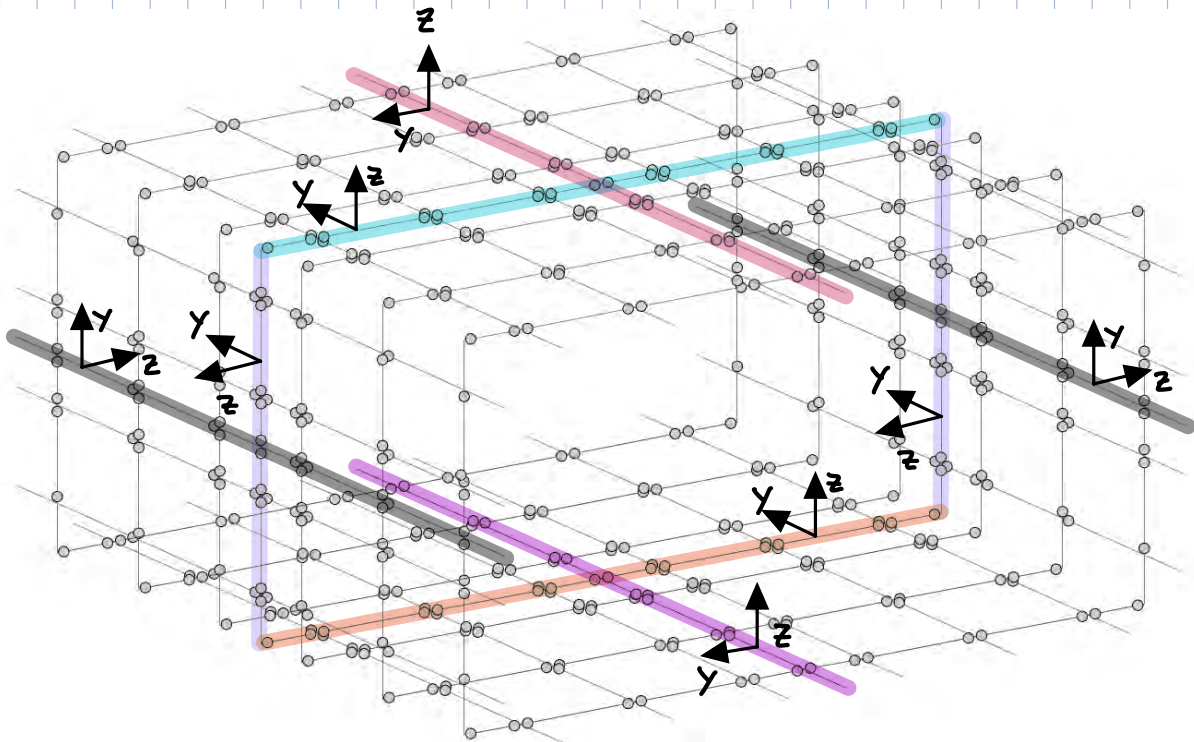
- Querträger Decke : keine T_x , M_z
- Querträger Wandenlager : keine T_x , M_z
- Querträger Bodenplatte : keine T_x , M_z

Stabgelenke

R_x : T_x - Gelenk (Torsion)

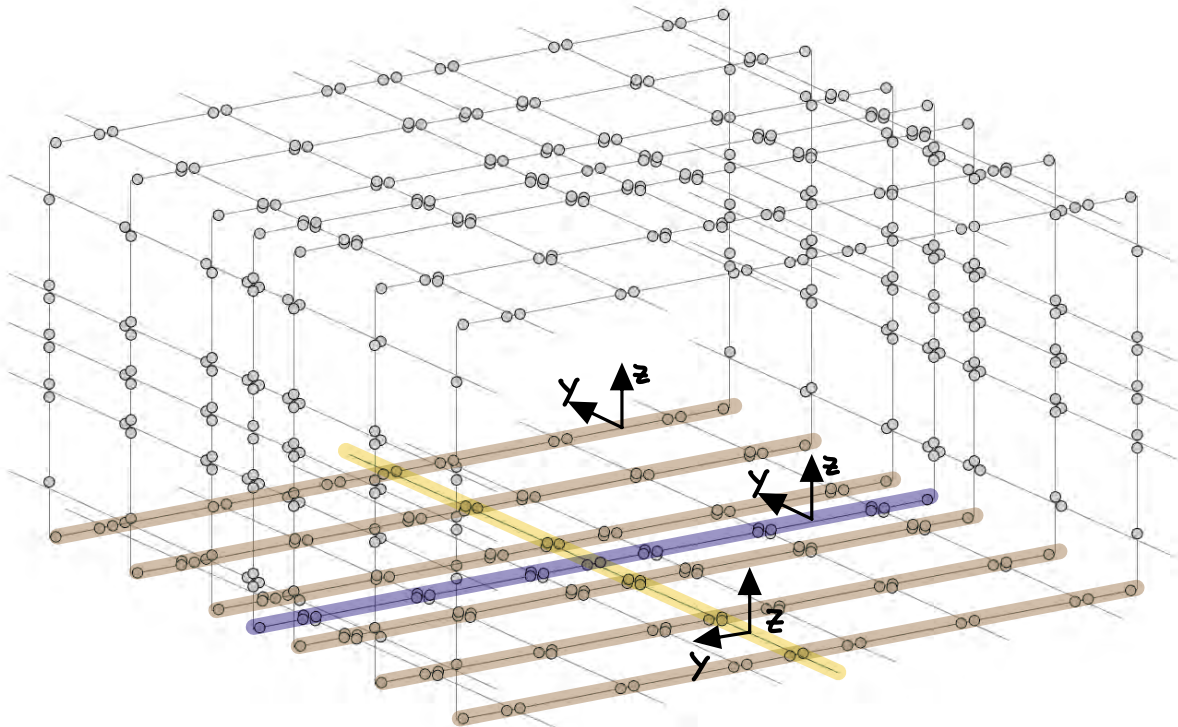
R_y : M_y - Gelenk (Biegemoment M_y)

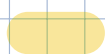
R_z : M_z - Gelenk (Biegemoment M_z)



	Scheibenwirkung Querrichtung	Decke : keine T_x , M_y
	Scheibenwirkung Querrichtung	Widerlager : keine T_x , M_y
	Scheibenwirkung Querrichtung	Bodenplatte : keine T_x , M_y
	Scheibenwirkung Längsrichtung	Decke : keine T_x , M_y
	Scheibenwirkung Längsrichtung	Widerlager : keine T_x , M_y
	Scheibenwirkung Längsrichtung	Bodenplatte : keine T_x , M_y

Lagerung



	Lagerung Längsträger Bodenplatte	:	k_x
	Lagerung Scheibe Bodenplatte Querrichtung	:	k_y
	Lagerung Scheibe Bodenplatte Längsrichtung	:	k_y

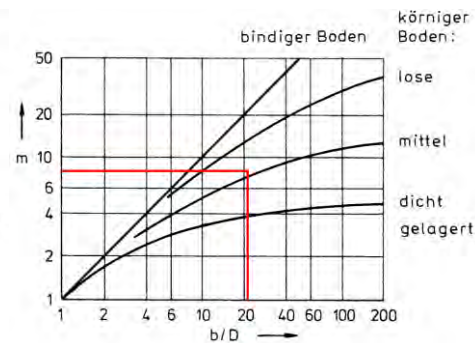
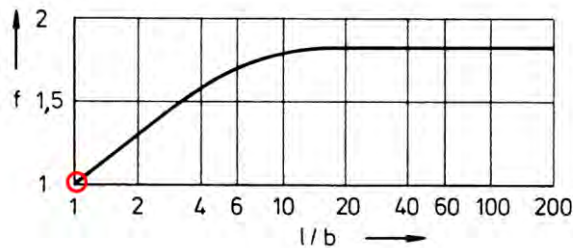
elastische
Federsteifigkeit
in lokale Stabrichtung

4.2.1. Lagerungsbedingungen

Zur ersten Abschätzung des Bettungsmoduls wird folgende Ansätze gem. Literatur Bodenmechanik und Grundbau von Lang, Huder, Amann, verwendet:

$$k_s = \frac{ME}{f \cdot b} = \frac{40'000}{1 \cdot 6.3} = 6'349.2 \text{ kN/m}^3 \rightarrow \text{gewählt: } k_s = 6'000 \text{ kN/m}^3$$

$$k_s = \frac{ME}{f \cdot m \cdot D} = \frac{40'000}{1 \cdot 8 \cdot 0.3} = 16'666.7 \text{ kN/m}^3 \rightarrow \text{gewählt: } k_s = 17'000 \text{ kN/m}^3$$



Der Formfaktor f ist abhängig von der Fundamentabmessung. Da die Länge und Breite ungefähr gleich sind, ergibt sich für f ein Wert von ca. 1. Der Korrekturbeiwert m ist abhängig von der Breite und von dem Plattendurchmesser des Plattendruckversuchs ($b/D = 6.3 / 0.3 = 21$). Daraus ergibt sich ein m von ungefähr 8. Die beiden berechneten Bettungsmodule wurden als oberen und unteren Grenzwert festgelegt, wobei eine dritte Berechnung mit allgemeine üblichen Bettungsmodulen von vergleichbaren Böden gem. Literatur Bodenmechanik und Grundbau von Lang, Huder, Amann untersucht wurden. Dabei wird ein Bettungsmodul von $100'000 \text{ kN/m}^3$ angesetzt.

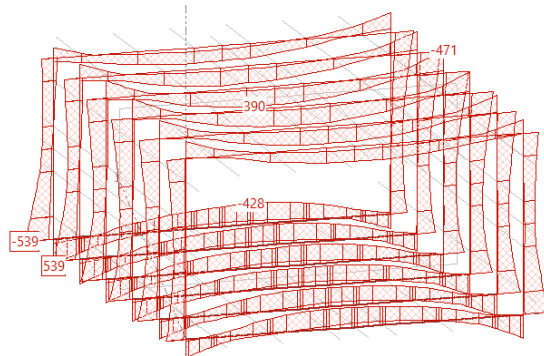


Abbildung 7: GZT-LM1; $k_s = 6000 \text{ kN/m}^3$

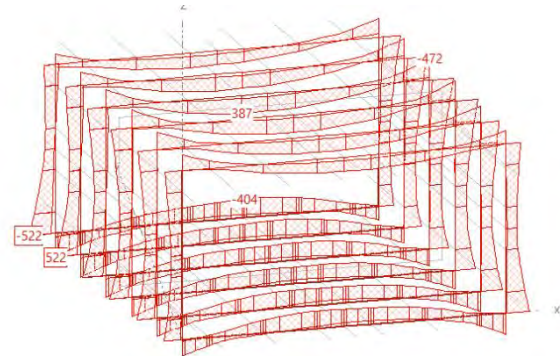


Abbildung 8: GZT-LM1; $k_s = 17'000 \text{ kN/m}^3$

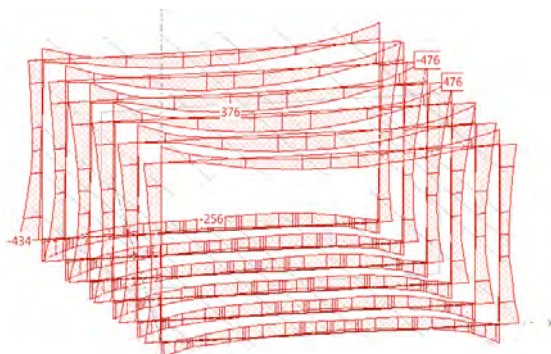
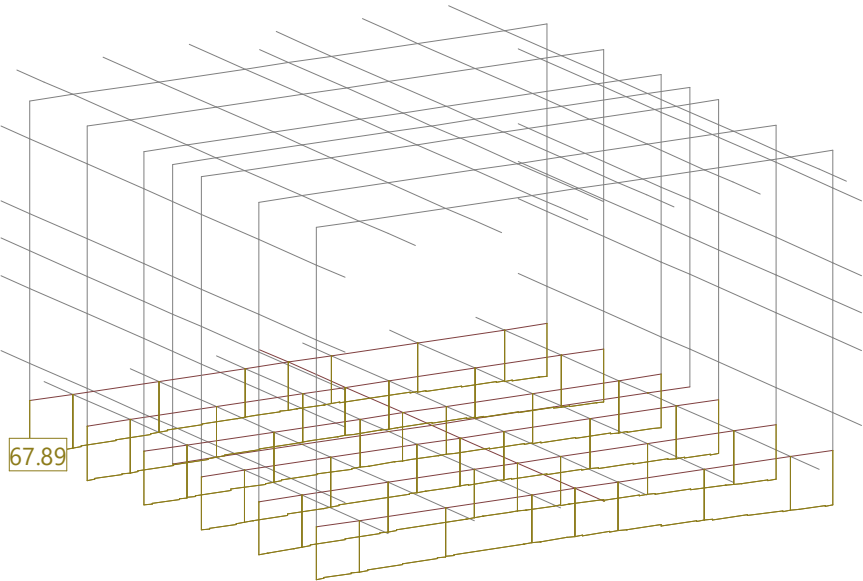


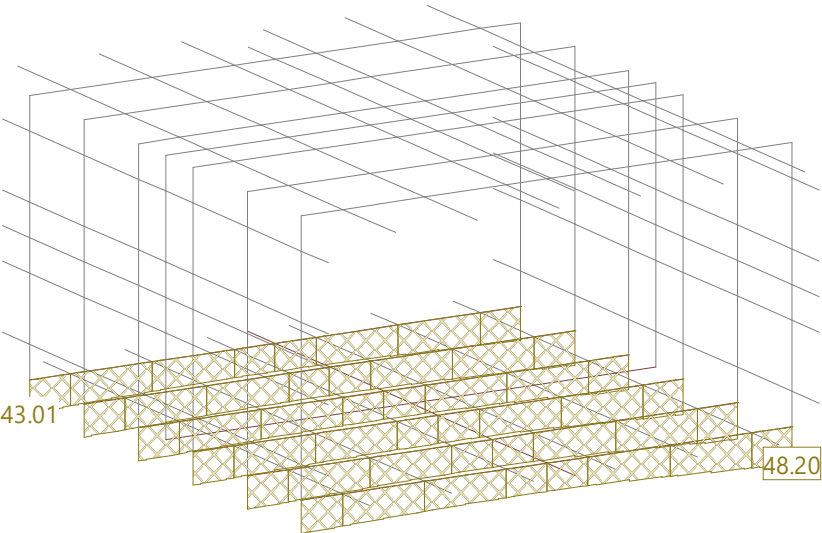
Abbildung 9: GZT-LM1; $k_s = 100'000 \text{ kN/m}^3$

Der Vergleich der Schnittkräfte zeigt auf, dass die Biegemomente in der Bodenplatte bei weicherer Lagerung deutlich zunehmen. Die Deckenplatten weisen nur sehr geringfügige Differenzen auf. Für die Nachweise wird daher ausschliesslich das Modell $k_s = 6000 \text{ kN/m}^3$ verwendet.

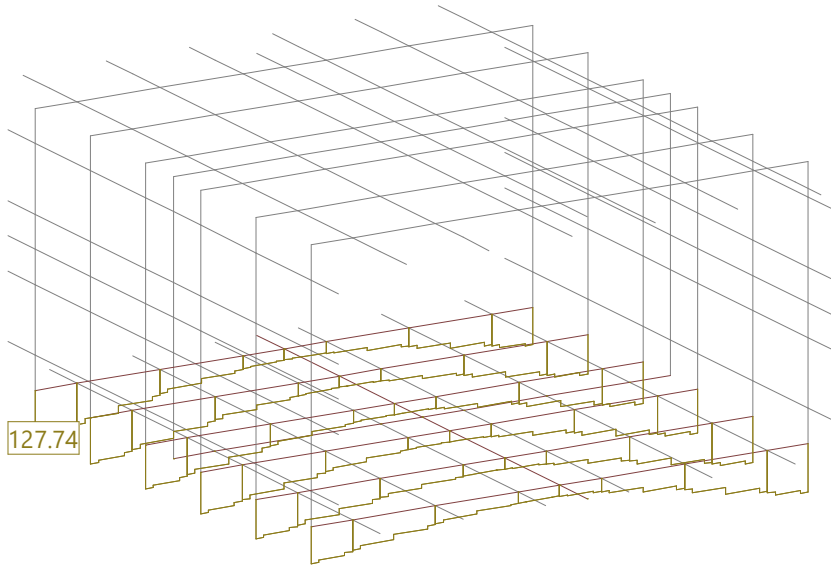
Stabreaktionsgrenzwerte in lokaler Richtung z [kN/m], Spezifikation: Quasi-ständig



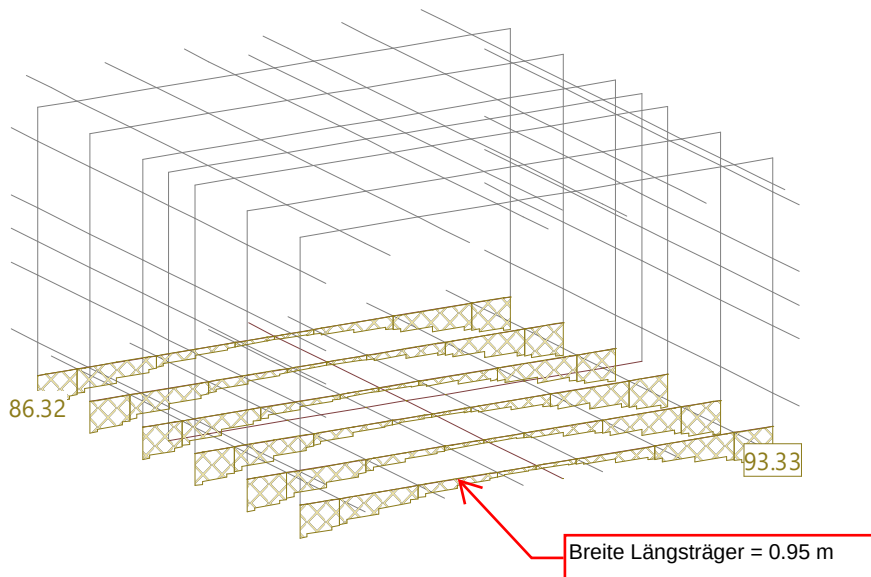
Stabreaktionsgrenzwerte in lokaler Richtung z [kN/m], Spezifikation: häufig



Stabreaktionsgrenzwerte in lokaler Richtung z [kN/m], Spezifikation: Quasi-ständig



Stabreaktionsgrenzwerte in lokaler Richtung z [kN/m], Spezifikation: häufig

**Vergleich Bodenpressung**

Der Vergleich der Bodenpressungen zeigt auf, dass beim weichen Bettungsmodul ein grossteil der Bodenreaktionen bis in Plattenmitte wirken, wogegen beim höheren Bettungsmodul die Pressungen bei den Widerlagern deutlich höher sind und stark Richtung Plattenmitte abnehmen.

Gemäss den geotechnischen Angaben sind Bodenpressungen bis 200 kN/m^2 auf dem Rheinschotter möglich (Gebrauchsniveau).

Bettungsmodul: $k_s = 6'000 \text{ kN/m}^3$

$\sigma_{\text{vorh}} = (67.89 + 43.01) / 0.95 = 116.7 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{\text{zul}} = 200 \text{ kN/m}^2$
-> i.O. -> Bettungsmodul sehr weich.

Bettungsmodul: $k_s = 100'000 \text{ kN/m}^3$

$\sigma_{\text{vorh}} = (127.74 + 86.32) / 0.95 = 225.3 \text{ kN/m}^2 > \sigma_{\text{zul}} = 200 \text{ kN/m}^2$
-> Bodenpressung leicht überschritten -> Bettungsmodul leicht überschätzt.

Weil der weiche Bettungsmodul konservativere Werte liefert und die Bodenpressung erfüllt ist, wird dieser Modellansatz gewählt.

4.3. Materialisierung

Die Baustoffe für neu zu erstellende Bauteile und Bauwerke werden gemäss den geltenden Tragwerksnormen angenommen. Nachfolgend werden die relevanten Werte angegeben.

Baustoff Bezeichnung	Bauwerk oder Bauteil	Bemessungs- werte	charakt. Werte	Bemerkungen
Beton				
Beton NPK G (T4) C 30/37 XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH) D _{max} 32, CI 0.10, C3 AAR-P1	Überbau, Widerlager- wände, Bodenplatte	$f_{cd} = 20.0 \text{ MPa}$ $\tau_{cd} = 1.10 \text{ MPa}$ $\epsilon_{c1d} = 2 \text{ ‰}$ $\epsilon_{c2d} = 3.5 \text{ ‰}$	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$ $E_{cm} = 34 \text{ GPa}$ $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ $\phi(t, t_0) = 1.83$	
Betonstahl				
Stahl B500B	Alle Bauteile	$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ $E_s = 200 \text{ GPa}$ $\epsilon_{ud} = 45 \text{ ‰}$	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ $k_s = 1.08$ $\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$ $\epsilon_{uk} = 50 \text{ ‰}$	

Tabelle 3: Bemessungswerte und charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

5. Tragwerksbemessung

Tragsicherheit:

Die Nachweise der Tragsicherheit erfolgen nach den Bestimmungen der Normen SIA 260, 261, 262, 267.

Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erfolgt gem. SIA 260, Kap. 4.4. ff.

5.1. Ständige Einwirkungen

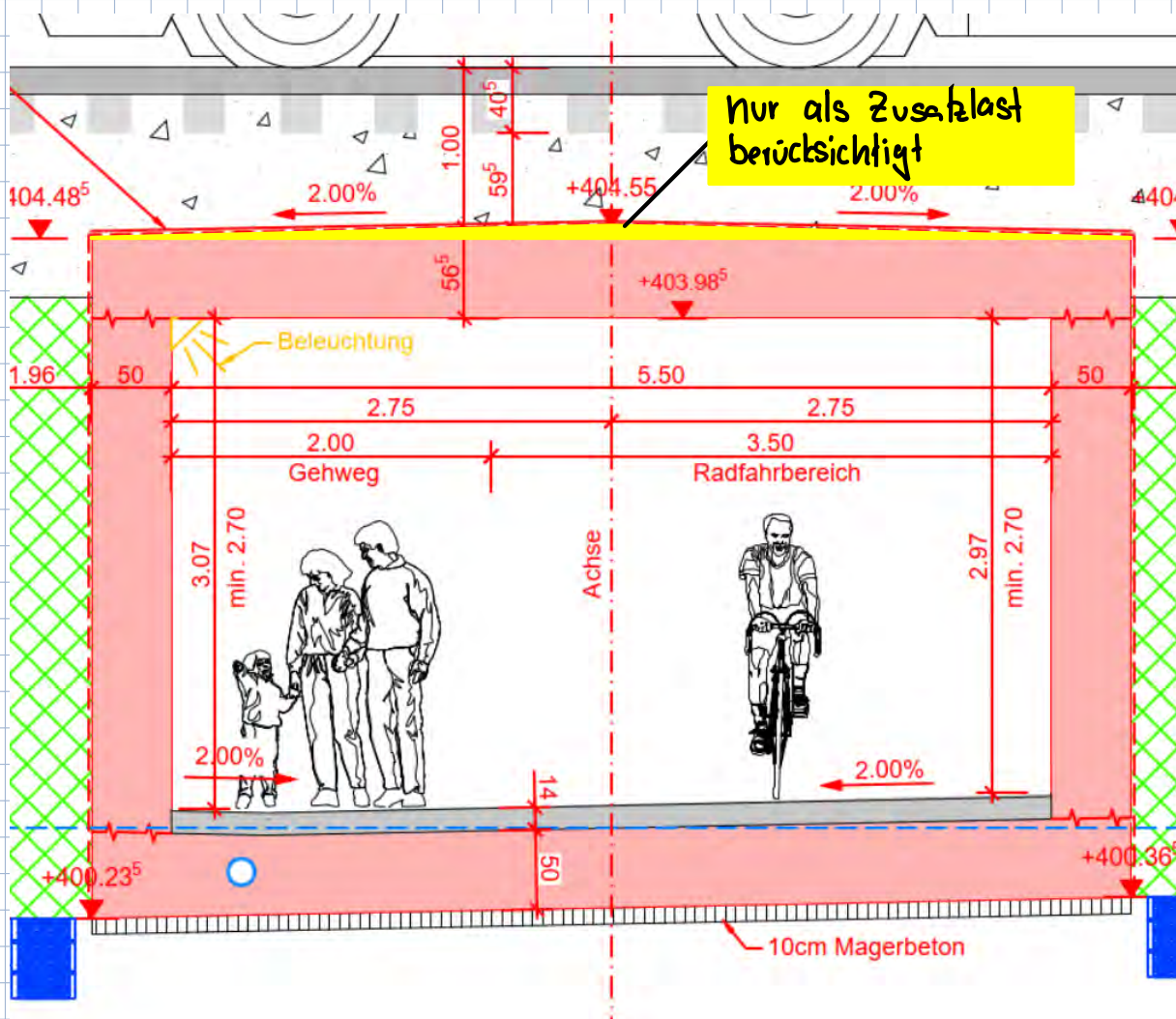
Einwirkungen	Charakteristische Werte	
Eigenlast	Beton	$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$
Auflasten	Schotterbett	$\gamma_s = 18 \text{ kN/m}^3$ $d = 0.555 \text{ m}$ (Schotter unter Schwelle) 0.234 m (Schotter in Schwell) 0.1 m (Hebungsreserve) $\approx 0.89 \text{ m}$ Schutzschicht 35 mm + PBD 5 mm
	Betonschwellen	2.9 kN/Stück = ca. 4.8 kN/m Gleis
	Schiene	UIC 60 mit Kleineisen = ca. 1.2 kN/m Gleis
	Randbord	$A = 0.64 \text{ m}^2$ $\rightarrow 0.64 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 16 \text{ kN/m}$
	Geländer	ca. 1 kN/m pro Seite
Erddruck	Erddruck	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $\varphi_k = 30^\circ$ Horizontaler Verdichtungsdruck $\sigma_v = 25 \text{ kN/m}^2$ (nur bei Wannenwänden massgebend)

Tabelle 5: Ständige Einwirkungen

Zusatzlast Eigengewicht

Die Deckenplatte wird zur Feldmitte um 6.5cm dicker. Im Modell wird vereinfacht eine konstante Plattenstärke von 0.5m modelliert und auf der Widerstandseite ebenfalls nur mit 0.5m Plattenstärke in Rechnung gestellt. Die zusätzliche Last der tatsächlich dickeren Betonplatte wird berücksichtigt.

Einzig beim Ermüdungsnachweis in Feldmitte wird die Plattenstärke von 56.5cm berücksichtigt.



5.2 Baustoffeigenschaften

Schwinden

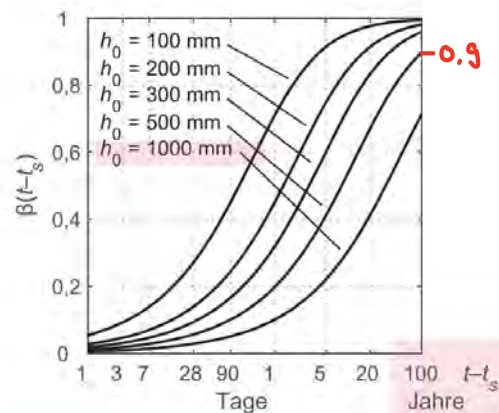
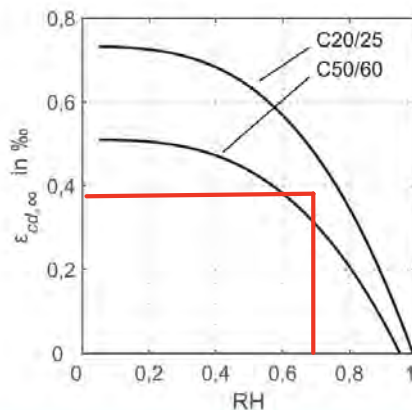
- Trockenschwinden

$$RH \approx 70\% \rightarrow \epsilon_{cd,\infty} = 0,39$$

$$t - t_s = 100a$$

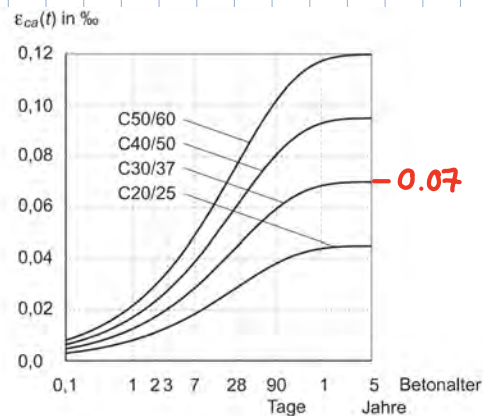
$$h_0 \approx 500 \text{ mm} \rightarrow \beta(t - t_s) = 0,9 \rightarrow \epsilon_{cd} = \beta(t - t_s) \cdot \epsilon_{cd,\infty} = 0,351\text{‰}$$

Figur 3 Beiwerte (Richtwerte) zur Ermittlung des Trockenschwindmasses von Beton



- autogenes Schwinden

$$\epsilon_{ca} = 0,07\text{‰}$$



- totales Schwindmass

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0,351\text{‰} + 0,07\text{‰} = 0,421\text{‰}$$

Schwinden über die gesamte Brückenlänge (gemessen von Wandachse zu Wandachse lotrecht zu Widerlager)

$$\Delta l = \epsilon_{cs} \cdot l = 0,421\text{‰} \cdot 6m = 2,5mm$$

↳ Die Verkürzung infolge Schwinden ist vernachlässigbar klein
Die Einwirkung „Schwinden“ wird vernachlässigt.

Kriechen

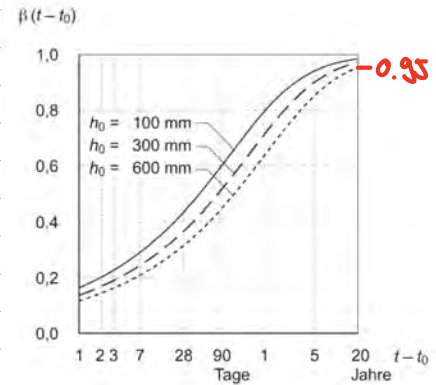
$$\beta_{fc} = 2,7 \text{ (C30/37)}$$

$$RH \approx 70\% \rightarrow \psi_{RH} = 1,3$$

$$t_0 \approx 28d \rightarrow \beta(t_0) = 0,55$$

$$t - t_0 = 20a \rightarrow \beta(t - t_0) = 0,95$$

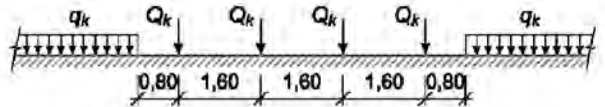
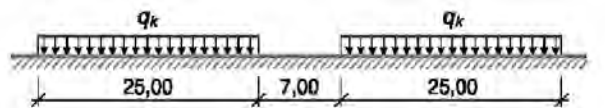
$$\varphi(t - t_0) = 1,3 \cdot 2,7 \cdot 0,55 \cdot 0,95 = 1,83$$



↳ Der Einhub der Unterführung erfolgt frühestens 28 Tage nach Fertigstellung der Deckenplatte

Für die Nachweise der Tragsicherheit wird ohne Abminderung mit E_{cm} gerechnet. Für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit werden die Durchbiegungen infolge ständiger Lasten mit dem Faktor $(1 + \varphi(t - t_0))$ multipliziert.

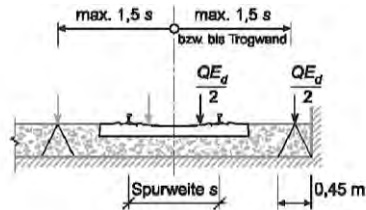
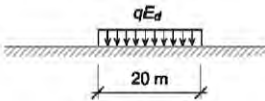
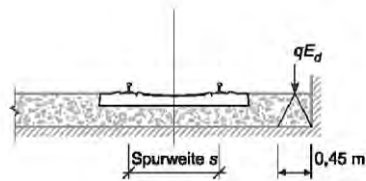
5.3. Veränderliche Einwirkungen

Einwirkungen	Charakteristische Werte	
Bahnverkehrslasten	Lastmodell LM1	$Q_k = 250 \text{ kN}$, $q_k = 80 \text{ kN/m}$ mit $\alpha = 1.33$ und $l_{\Phi, \text{l\"angs}} = \frac{1.3 \cdot (l_{s1} + l_r + l_{s2})}{3} \approx \frac{1.3 \cdot (3.73 + 6.0 + 3.62)}{3} = 5.785 \text{ m}$ $\Phi_{\text{l\"angs}} = \frac{1.44}{\sqrt{l_{\Phi} - 0.2}} + 0.82 = 1.47$ (Fall 4: Einfeldrahmen)
	Lastmodell LM2	Das Lastmodell Bahnverkehrslasten LM2 gilt nur für Durchlaufträger und ist daher im vorliegenden Fall nicht zu berücksichtigen.
	Lastmodell LM3	$q_k = 150 \text{ kN/m}$ mit $\alpha = 1.00$ und $l_{\Phi, \text{l\"angs}} = \frac{1.3 \cdot (l_{s1} + l_r + l_{s2})}{3} \approx \frac{1.3 \cdot (3.73 + 6.0 + 3.62)}{3} = 5.785 \text{ m}$ $\Phi_{\text{l\"angs}} = \frac{1.44}{\sqrt{l_{\Phi} - 0.2}} + 0.82 = 1.47$ (Fall 4: Einfeldrahmen)
	Lastmodell 1  Lastmodell 3 	
Anfahr- und Bremskräfte	Lastmodell LM1	$QA_k = 33L \leq 1000 \text{ kN}$ $QB_k = 20L \leq 6000 \text{ kN}$ ($L=6.88 \text{ m}$) $QA_k = 227 \text{ kN}$ $QB_k = 137.6 \text{ kN}$ mit $\alpha = 1.33$
	Lastmodell LM2	Das Lastmodell Bahnverkehrslasten LM2 gilt nur für Durchlaufträger und ist daher im vorliegenden Fall nicht zu berücksichtigen.
	Lastmodell LM3	$QA_k = 33 L \leq 1000 \text{ kN}$ $QB_k = 35L$ $QA_k = 227 \text{ kN}$ $QB_k = 240.8 \text{ kN}$ mit $\alpha = 1.00$
Schlingerkraft	-	Nicht massgebend
Zentrifugalkraft	Lastmodell LM1 und LM3	vernachlässigt (quasi-gerade Strecke)
Erddruck infolge Bahnlasten	Erdruhedruck	$K_{0,h} = 1 - \sin(\varphi_k)$ LM1: $q_{ek} = 52 \text{ kN/m}^2$
Wind	-	nicht massgebend
Temperatur	Konstanter Anteil	Stahlbeton $T = \pm 20^\circ\text{C}$ $\varepsilon_T = \Delta T \cdot \alpha_T = \pm 20 \text{ K} \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} = \pm 0.20\text{‰}$ $\Delta L = \varepsilon_T \cdot L = 0.0002 \cdot 6.88 \text{ m} = 1.4 \text{ mm}$ → Temperatureinwirkung ist vernachlässigbar klein.
	Linearer Anteil	inf. Abschirmung des Schotters nicht massgebend
Schnee	-	nicht massgebend

Wasserdruck		Hydrostatischer Wasserdruck mit $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ Massgebend für die Bemessung ist die maximale Grundwasserspiegelhöhe. Max GWS +402.40 Im Bauzustand ist der Grundwasserspiegel zu überwachen. Erreicht der Grundwasserspiegel die Höhe von +402.12 ist die Unterführung aktiv zu fluten GWS Bauzustand +402.12
-------------	--	---

Tabelle 6: Veränderliche Einwirkungen

5.4. Aussergewöhnliche Einwirkungen

Einwirkungen	Charakteristische Werte	
	Lastmodell ELM1	$Q_k = 350 \text{ kN}$ $q_k = 110 \text{ kN/m}$ mit $\alpha = 1.33$
	Lastmodell ELM2	$q_k = 145 \text{ kN/m}$ $L \geq 20 \text{ m}$ $q_k = 220 \text{ kN/m}$ $L \leq 6.4 \text{ m}$ bei $L = 6.35 \text{ m} \rightarrow q_k = 220 \text{ kN/m}$ dazwischen wird interpoliert mit $\alpha = 1.33$
	Entgleisungslastmodell 1 Längsverteilung gemäss Figur 13 (Lastmodell 1)	
	Entgleisungslastmodell 2	 
Erdbeben		Erdbebenzone Z1b $\rightarrow a_{gd} = 0.8 \text{ m/s}^2$ Erdbebenstreckenklasse I Bauwerksklasse BWK II $\rightarrow \gamma_f = 1.2$ Baugrundklasse D Verhaltensbeiwert $q = 2.0$ $\rightarrow$ Erdbeben ist nicht massgebend.
Hochwasser		Die Geometrie des Unterführungsbauwerks lässt nur eine minimale Wasserdruckdifferenz zu. Da sich die effektiven Spannungen dabei gleichzeitig reduzieren würden, kann sich die Gesambelastung nur geringfügig verändern und ist der Einfluss ist vernachlässigbar.
Brand		Aufgrund der im Tiefbau generell grossen Betonüberdeckungen ($\geq 40 \text{ mm}$) und den robusten Bauteilabmessungen sind gemäss Tab. 16, SIA 262 Feuer-

		widerstände $\geq R 120$ sichergestellt.
Anprall an Randbord		Das Randbord ist nichttragend. Gemäss [20] ist nur bei Gesamtlängen über 10.0 m ein Anprallnachweis zu führen. $L = 6.88 \text{ m} < 10.0 \text{ m}$ → Anprallnachweis nicht notwendig.

Tabelle 7: Aussergewöhnliche Einwirkungen

5.5. Ermüdung

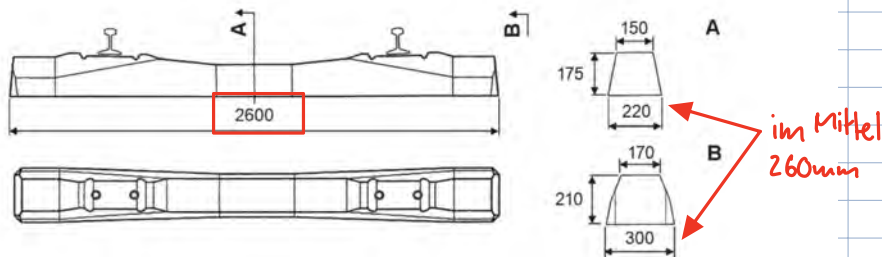
Einwirkungen	Charakteristische Werte	
Bahnverkehrslasten	Lastmodell LM1	$Q_k = 250 \text{ kN}$, $q_k = 80 \text{ kN/m}$ Mit $\alpha = 1.0$ und $\Phi_{l\ddot{a}ngs} = 1.47$ Der dynamische Beiwert wird nur für die vertikalen Lasten des Lastmodells 1 angesetzt. Erddrücke, die infolge der Bahnlasten entstehen, werden mit einem dynamischen Beiwert von $\Phi = 1.0$ angesetzt. Gestützt auf den Artikel 11.3.1.6 der SIA 261 werden bei den Ermüdungsnachweisen der Bodenplatte (Foundation) sämtliche Bahnlasten mit einem dynamischen Beiwert $\Phi = 1.0$ angesetzt.

Bemerkung Erdbeben

Das Gefährdungsbild Erdbeben wird nicht massgebend, da die Brücke als im Erdreich eingebetteter monolithischer Rahmen ausgeführt wird.

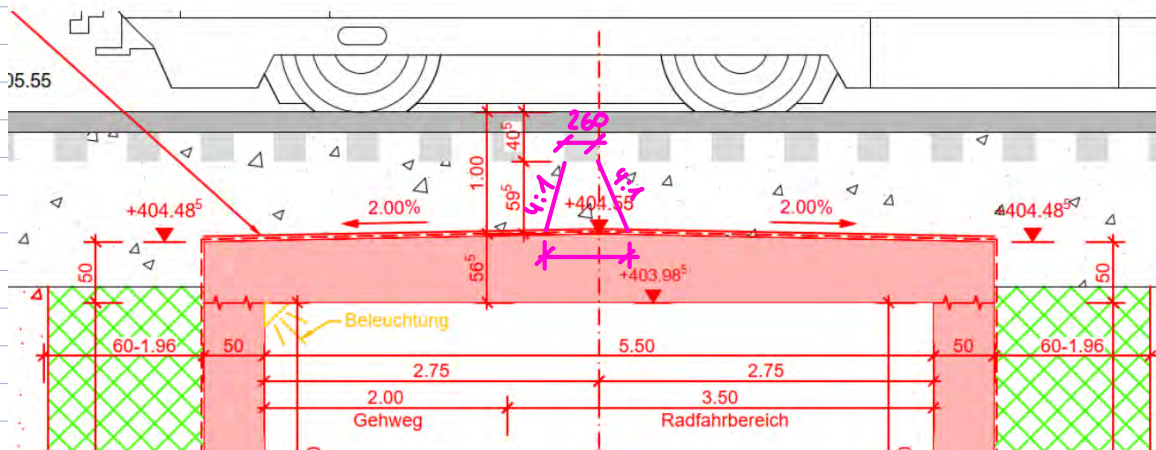
Lastverteilung LM1/LM3 über Schwelle/Schotter

Monoblock Typ B 70:



Gewicht mit Befestigung:	290 kg	Schienenprofile:	60 E1 und 54 E2
Gewicht ohne Befestigung:	284 kg	Verlegearten:	W und Ws
Schienenneigung:	1:40	Befestigungen:	Skl 1 und Skl 14

Verlegeart W wird per 01.01.2007 nicht mehr produziert.



Schotterstärke UK Schwelle - OK Tragwerk $\approx$ 555 mm

Ausbreitverhältnis 4:1

Aufstandsbreite: $260 \text{ mm} + 2 \times \frac{555}{4} = 557.5 \text{ mm} \rightarrow \underline{\text{Wahl } 500 \text{ mm}}$

in Querrichtung wird keine Ausbreitung berücksichtigt und nur die Schwellenlänge (2.6m) angesetzt

LM1

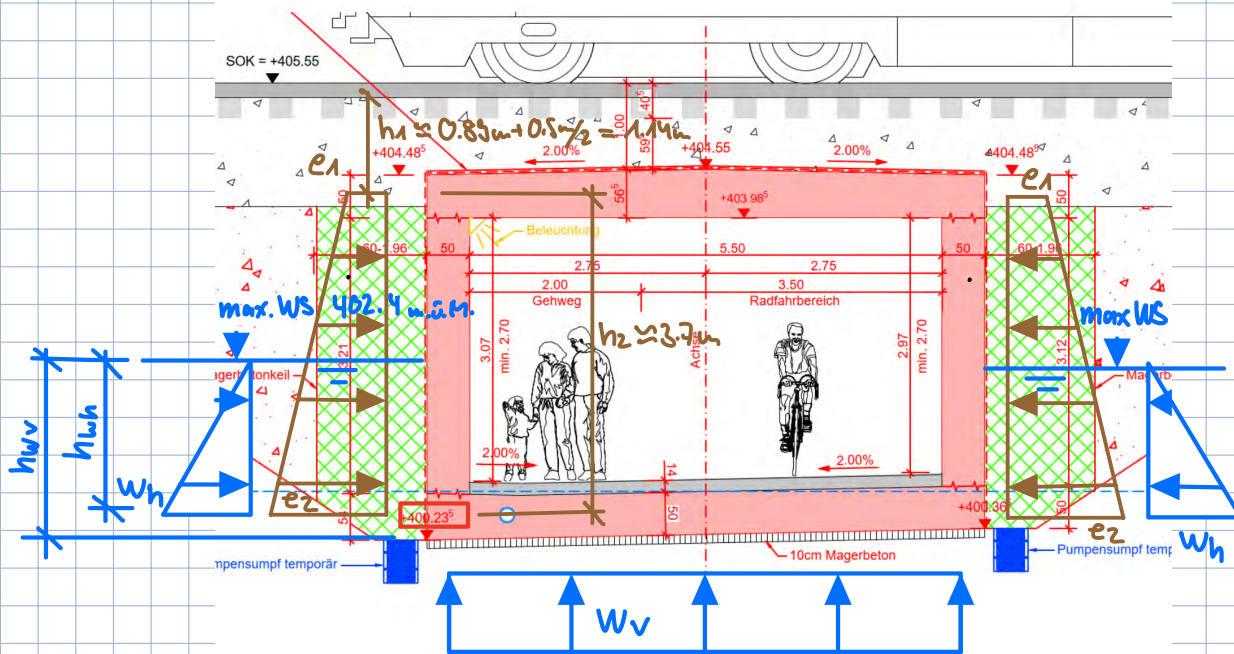
$$q_k \rightarrow \frac{250 \text{ kN}}{0.5 \text{ m} \cdot 2.6 \text{ m}} = 192.31 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k \rightarrow \frac{80 \text{ kN/m}}{2.6 \text{ m}} = 30.8 \text{ kN/m}^2$$

LM3

$$q_k \rightarrow \frac{150 \text{ kN/m}}{2.6 \text{ m}} = 57.7 \text{ kN/m}^2$$

Erddruck



$$K_0 = \frac{(1 - \sin(\varphi')) \cdot (1 + \sin(\beta))}{\cos(\beta)} = \frac{(1 - \sin(30^\circ)) \cdot (1 + \sin(0^\circ))}{\cos(0^\circ)} = 0.5$$

Bemerkung:

Das Gewicht der Schwelle und der Schiene wird bei der Erddruckberechnung vernachlässigt. Ebenfalls wird ein günstig wirkender Aufliebs (Reduktion Bodenpressung) auf der konservativen Seite vernachlässigt.

Erddruck infolge Erd- und Auflast.

Für die Eirdruckberechnung wird die Auflast der Schienen und Schwellen vernachlässigt. Diese zusätzliche Auflast ist äusserst gering.

$$e_{1k} = K_0 \cdot h_1 \cdot \gamma = 0.5 \cdot 1.14 \cdot 20 = 11.4 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{2k} = \gamma_0 \cdot (h_1 + h_2) \cdot \gamma = 0,5 \cdot (1,14 + 3,7) \cdot 20 = 48,4 \text{ kN/m}^2$$

Erddruck infolge Bahnlast

$$e_{gk} = K_0 \cdot q = 0.5 \cdot 52 = 26 \text{ W/m}^2$$

Dieser Erddruck ist nur über eine Breite von 3,8m anzusetzen.

Gemäss PAIngB darf der Verdichtungsdruck vernachlässigt werden.

Im vorliegenden Fall handelt sich allerdings um eine spezielle Rahmenbrücke, für die die Vorgaben vom Dokument PAIngB nicht angewendet werden dürfen. Der Verdichtungsdruck wird folglich angesetzt, bleibt aber nur in dem Umfang wirksam, wie er den Erddruck infolge zusätzlicher Last übersteigt.

Der Verdichtungsdruck beträgt $e_{vh} = 25 \text{ kN/m}^2$. Infolge Erdüberschüttung und veränderlicher Bahnlast ergeben sich an der oberen Rahmenecke folgende horizontale Erddrücke:

$$K_0 = 0.5 ; e_{hk} = 1.14 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.5 + 52 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.5 = 37.4 \text{ kN/m}^2 > e_{hk} = 25 \text{ kN/m}^2$$

Folglich bleibt der Verdichtungsdruck nicht wirksam und kann vernachlässigt werden.

Nachgiebigkeit der Wand	Intensive Verdichtung		Leichte Verdichtung mit Vibrationsplatten mit einer Betriebsmasse von $\leq 250 \text{ kg}$
	Breite des zu verfüllenden Raumes B $\leq 1,00 \text{ m}$	$\geq 2,50 \text{ m}$	
nachgiebig	$e_{vh} = 25 \text{ kN/m}^2$	$z_a = 2,00 \text{ m}$	$e_{vh} = 15 \text{ kN/m}^2 \quad z_a = 2,00 \text{ m}$
unnachgiebig	$e_{vh} = 40 \text{ kN/m}^2$	$e_{vh} = 25 \text{ kN/m}^2$ für Zwischenwerte von B darf geradlinig interpoliert werden	$e_{vh} = 15 \text{ kN/m}^2$

Wasserdruk

$$h_{wh} = 402.4 - (400.235 + 0.5/2) = 1.915 \text{ m} ; h_{wv} = 402.4 - 400.235 = 2.165 \text{ m}$$

$$w_{h,k} = h_{wh} \cdot \gamma_w = 1.915 \cdot 10 = 19.2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{v,k} = h_{wv} \cdot \gamma_w = 2.165 \cdot 10 = 21.7 \text{ kN/m}^2$$

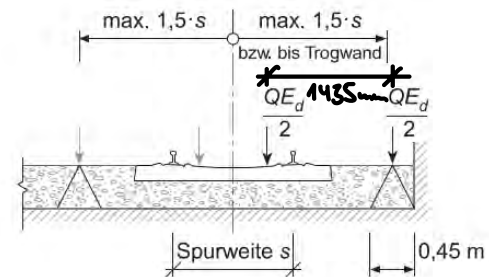
Lastverteilung Entgleisungslastmodelle

Entgleisungslastmodell 1

Längsverteilung gemäss Figur 13 (Lastmodell 1)

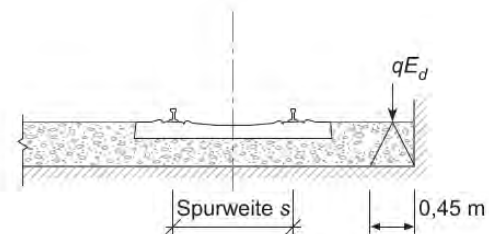
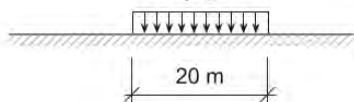
$$q_d = \frac{350}{2 \cdot 0.45 \cdot 0.45} = 864.2 \text{ kN/m}^2$$

$$q_g = \frac{110}{2 \cdot 0.45} = 122.2 \text{ kN/m}^2$$



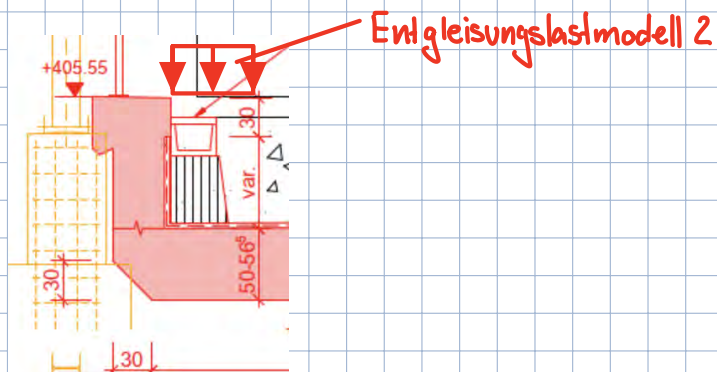
Entgleisungslastmodell 2

$$q_g = \frac{220}{0.45} = 488.9 \text{ kN/m}^2$$

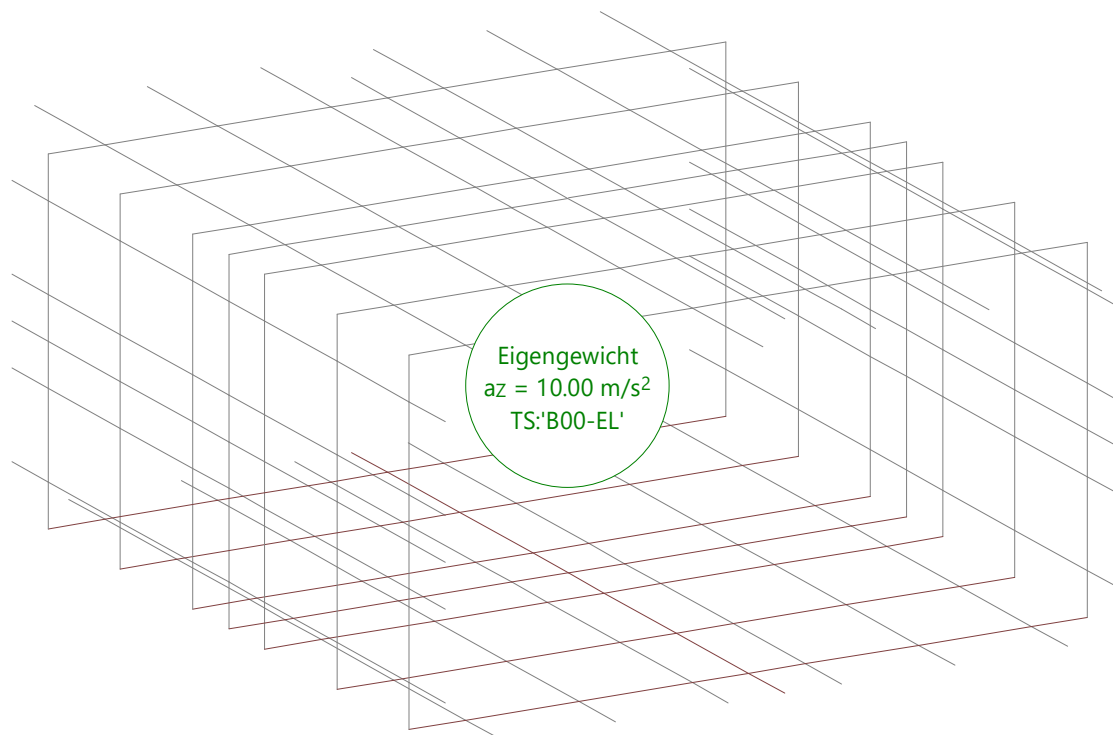


Entgleisungslastmodell			
1		2 Tragwerkslänge $l \geq 20 \text{ m}$	2 Tragwerkslänge $l \leq 6,4 \text{ m}$
qE_d in kN/m	QE_d in kN	qE_d in kN/m	qE_d in kN/m
110	350	145	220

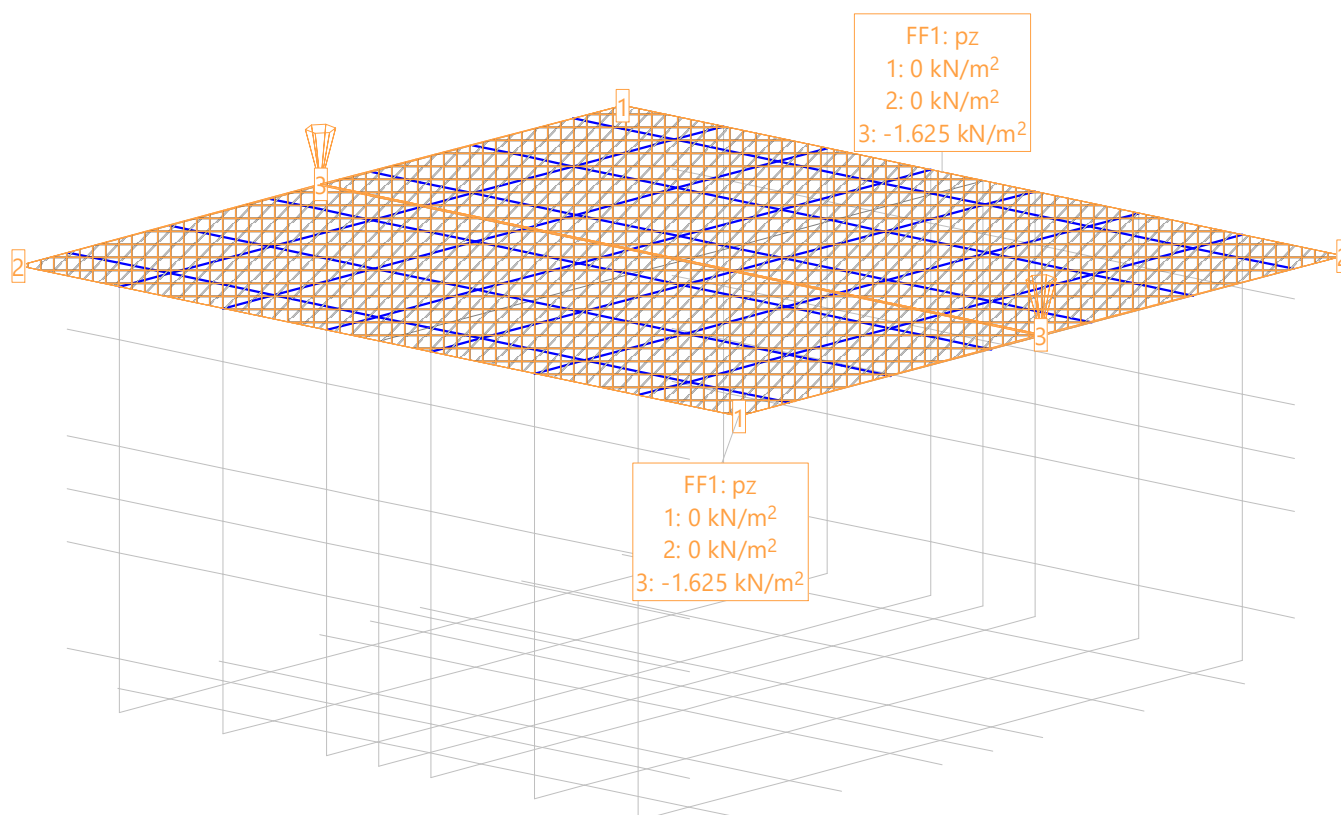
Gemäss „PAIngB V3.2“ ist das Entgleisungslastmodell auch auf dem Randbord (auf Mitte des Randbords) anzuordnen, sofern die Spannweite der Brücke $\geq 7.00 \text{ m}$ beträgt. Die Unterführung weist eine Spannweite von ca. 6.35 m (Mitte Widerlager bis Mitte Widerlager) wodurch das Entgleisungslastmodell ab Innenkante des Randbordes angesetzt wird.



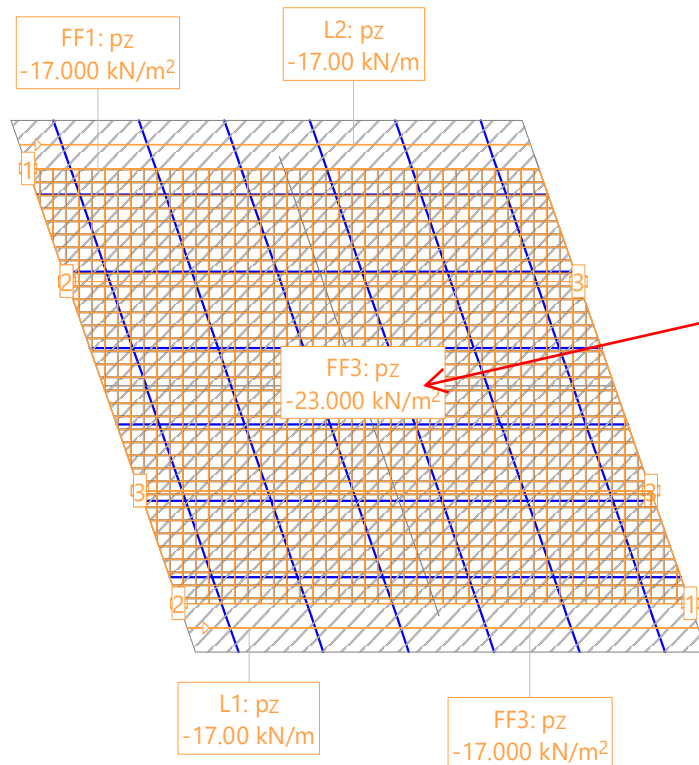
Belastung B00: Eigengewicht



Belastung B00-1: Zusatzgewicht Eigenlast



Belastung B01: Auflast



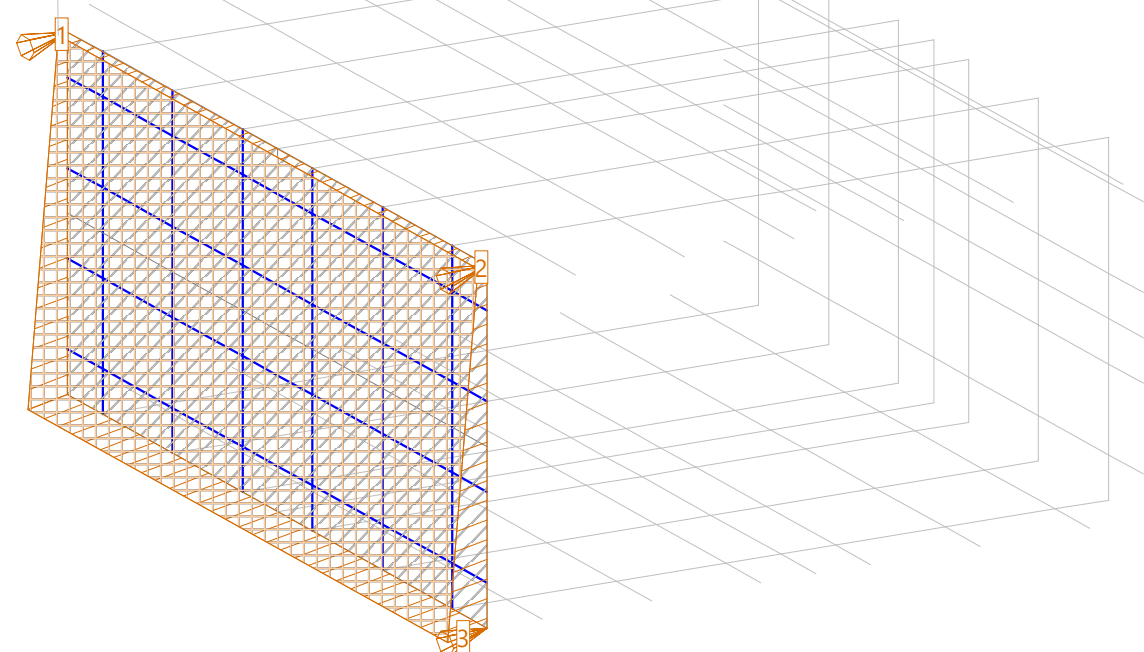
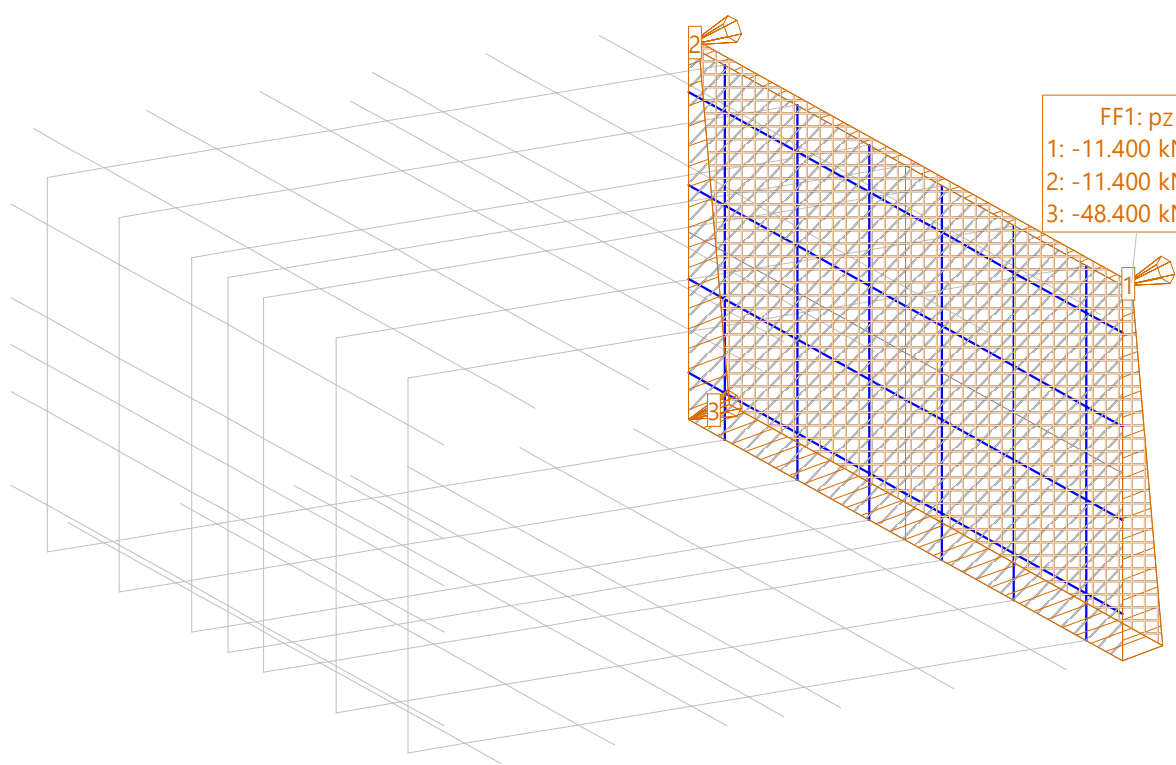
Auflast zu hoch.
Die Schwelle und die Schiene zusammen hätten eine Zusatzlast von:

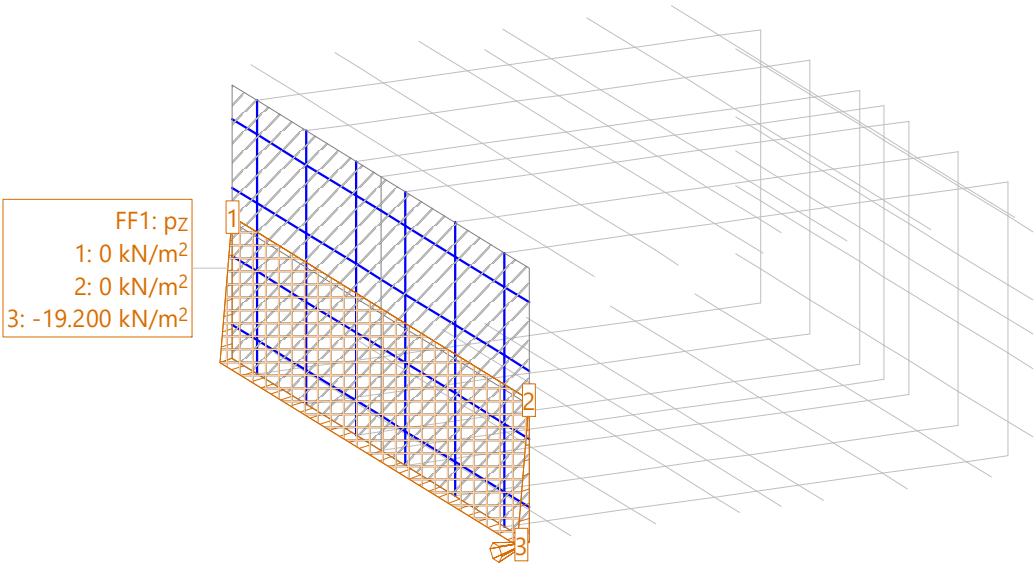
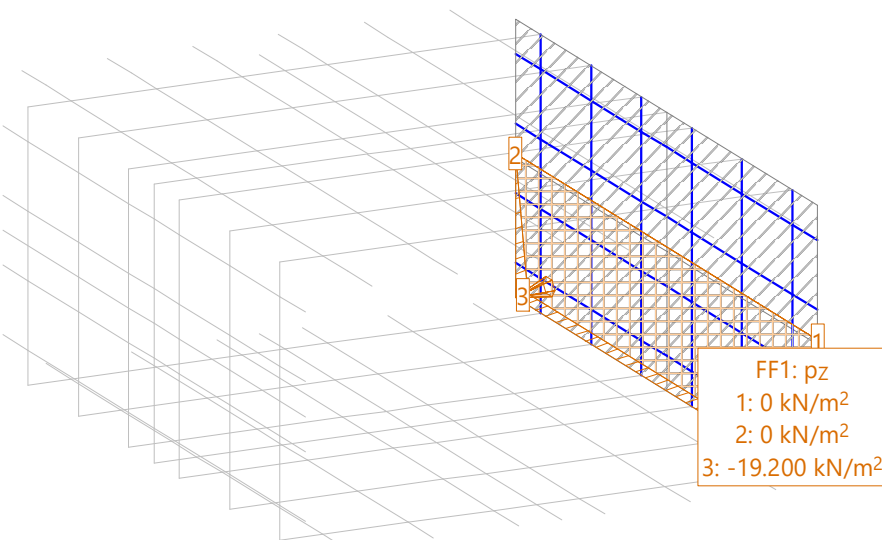
$$(4.8 \text{ kN/m} + 1.2 \text{ kN/m}) / 2.6 \text{ m} = 2.3 \text{ kN/m}^2$$

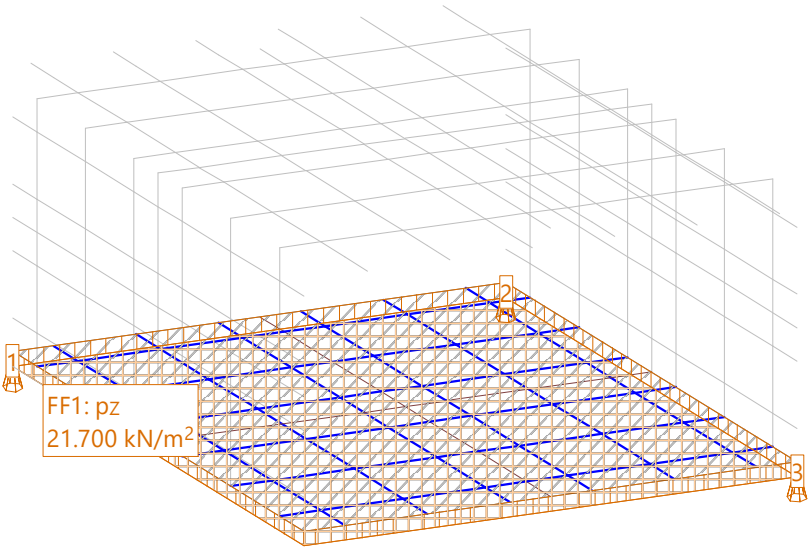
Zusammen mit dem Schotter würde sich eine Auflast von:

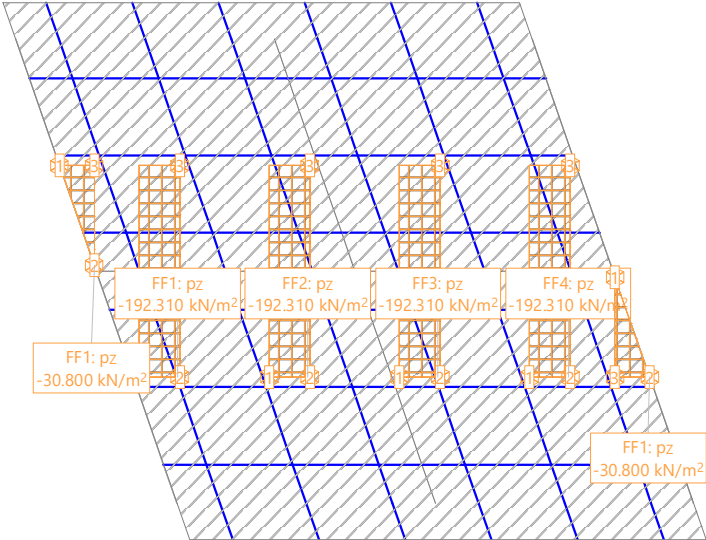
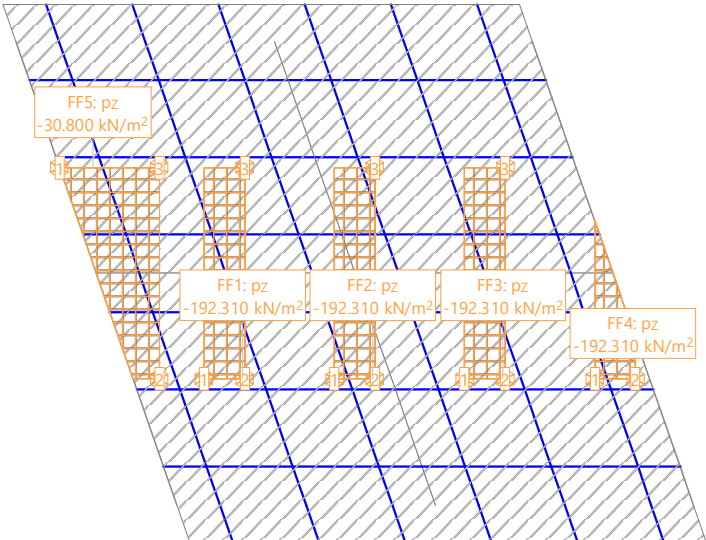
$$17 \text{ kN/m}^2 + 2.3 \text{ kN/m}^2 = 19.3 \text{ kN/m}^2 \text{ ergeben.}$$

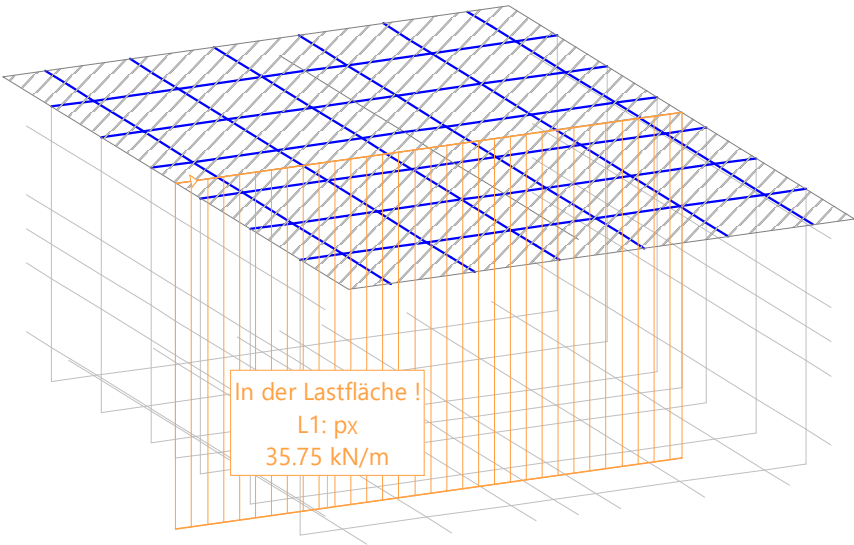
Auf eine Anpassung wird verzichtet, da der Einfluss gering und die Last auf der konservativen Seite liegt.

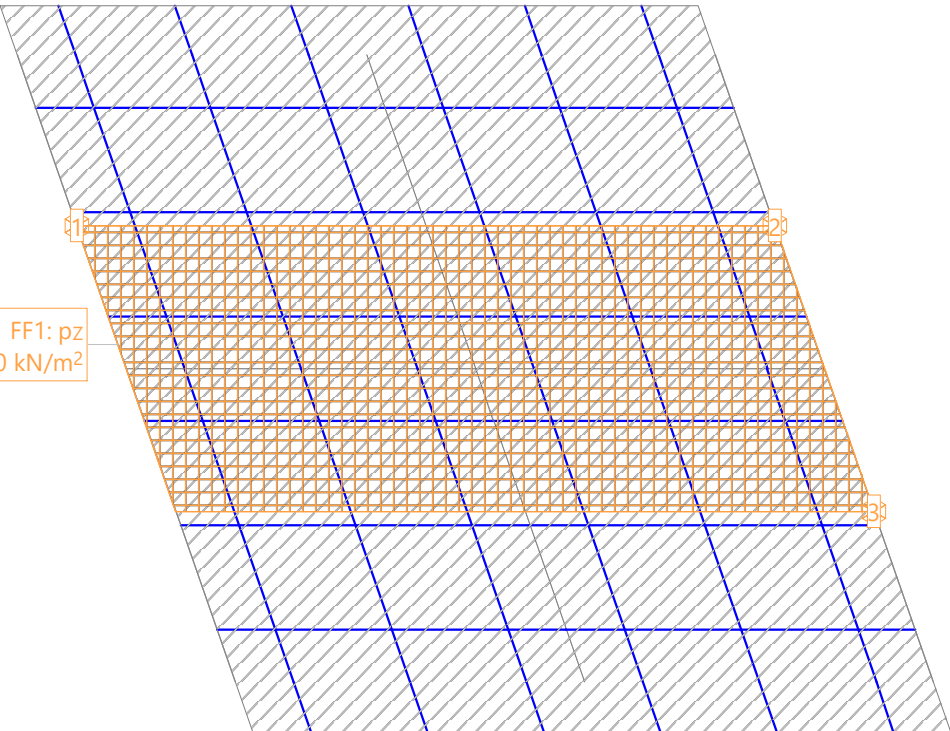
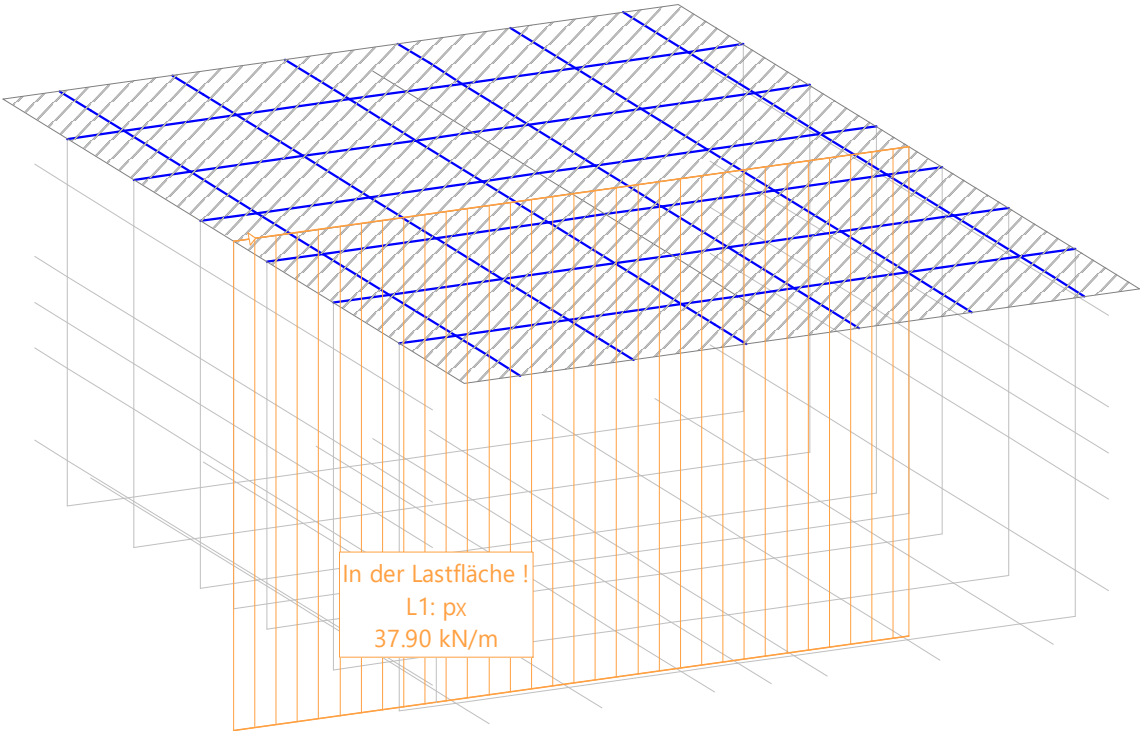
112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler Belastung B02: Erddruck1 FF1: pz 1: -11.400 kN/m² 2: -11.400 kN/m² 3: -48.400 kN/m²  Belastung B03: Erddruck2  FF1: pz 1: -11.400 kN/m² 2: -11.400 kN/m² 3: -48.400 kN/m²	Statik-9 - Rel. 261 (0) Nr.:

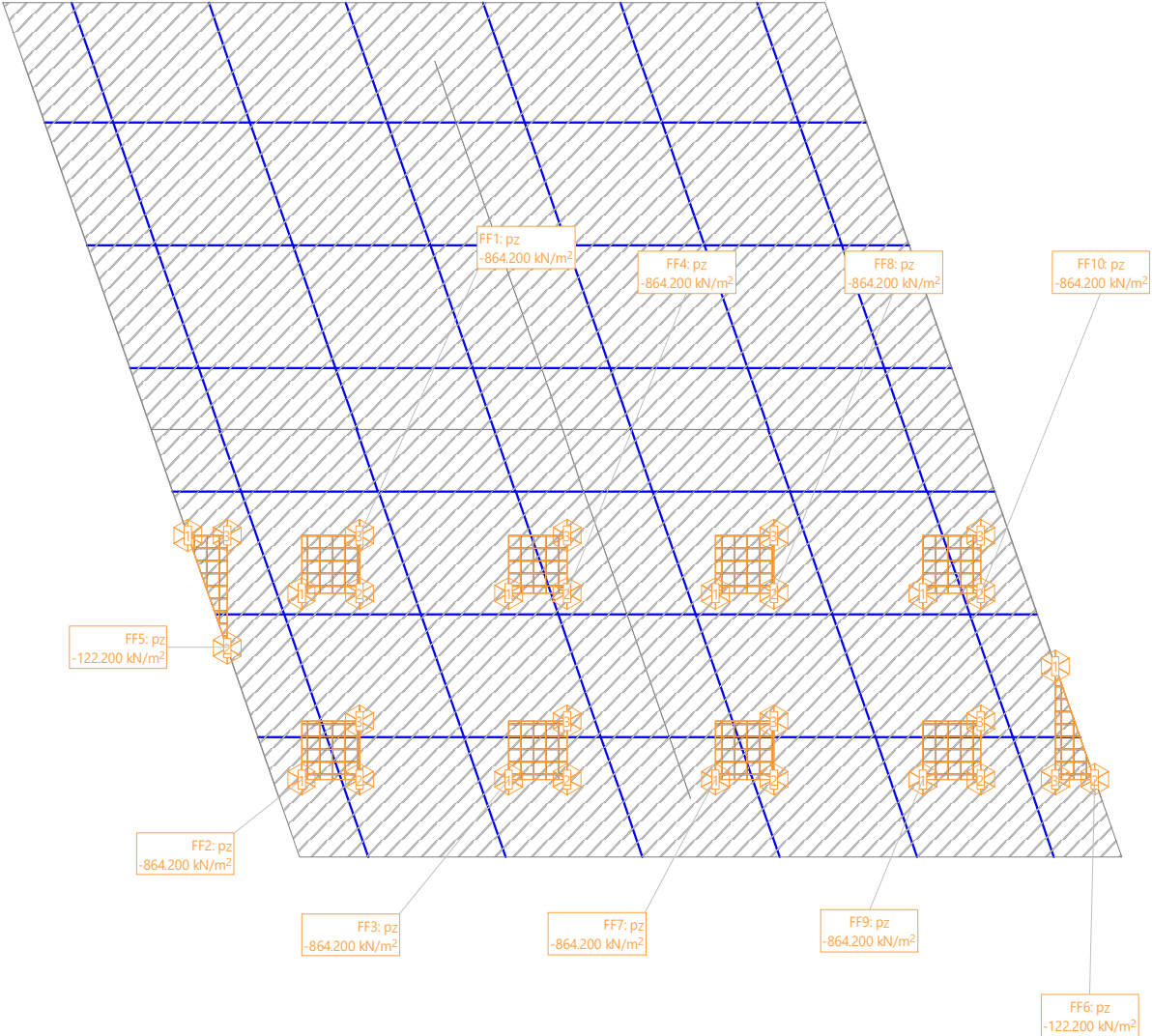
112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler Belastung B05: Wasserdruck  Belastung B06: Wasserdruck 	Statik-9 - Rel. 261 (0) Nr.:

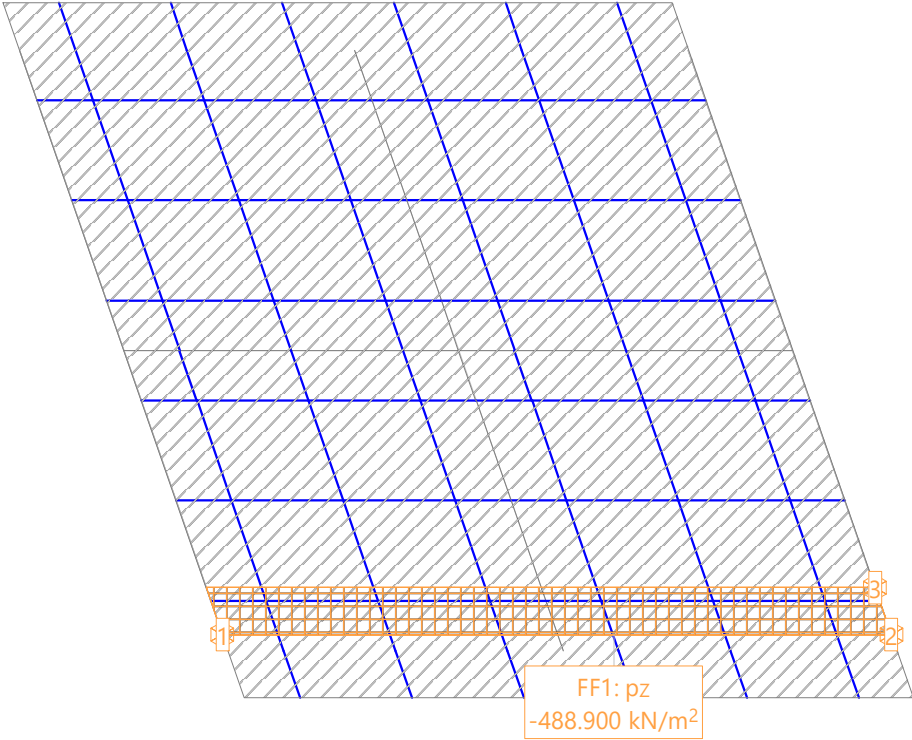
112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite
	24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B07: Wasserdruck 	
	Nr.:

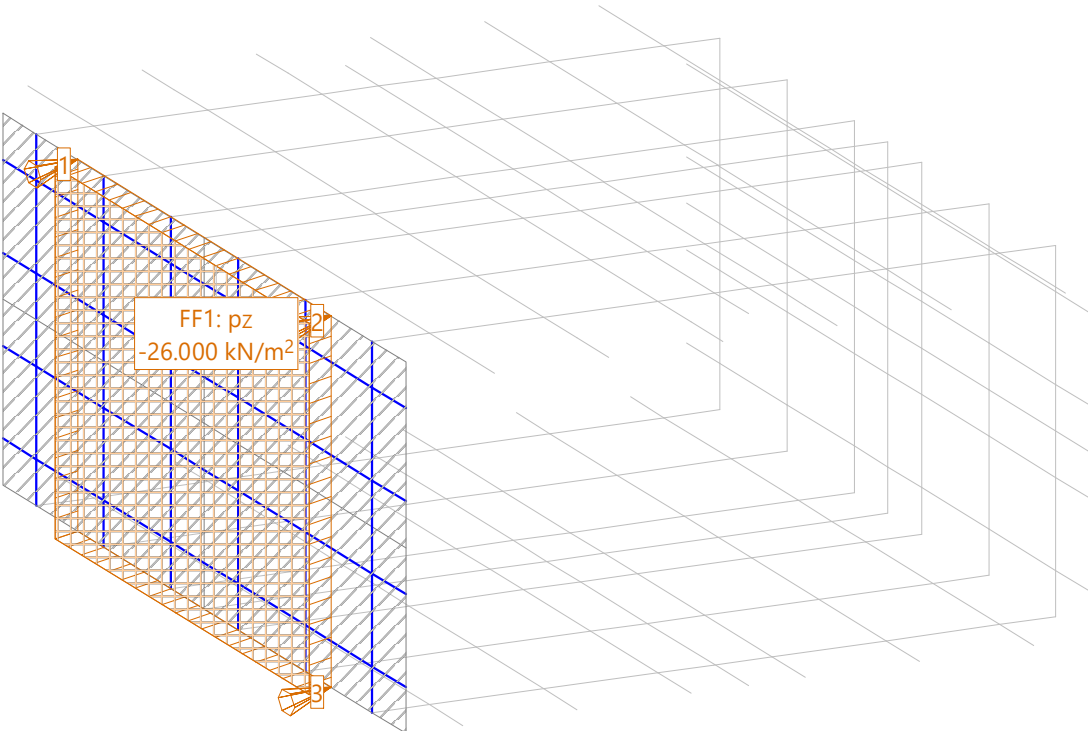
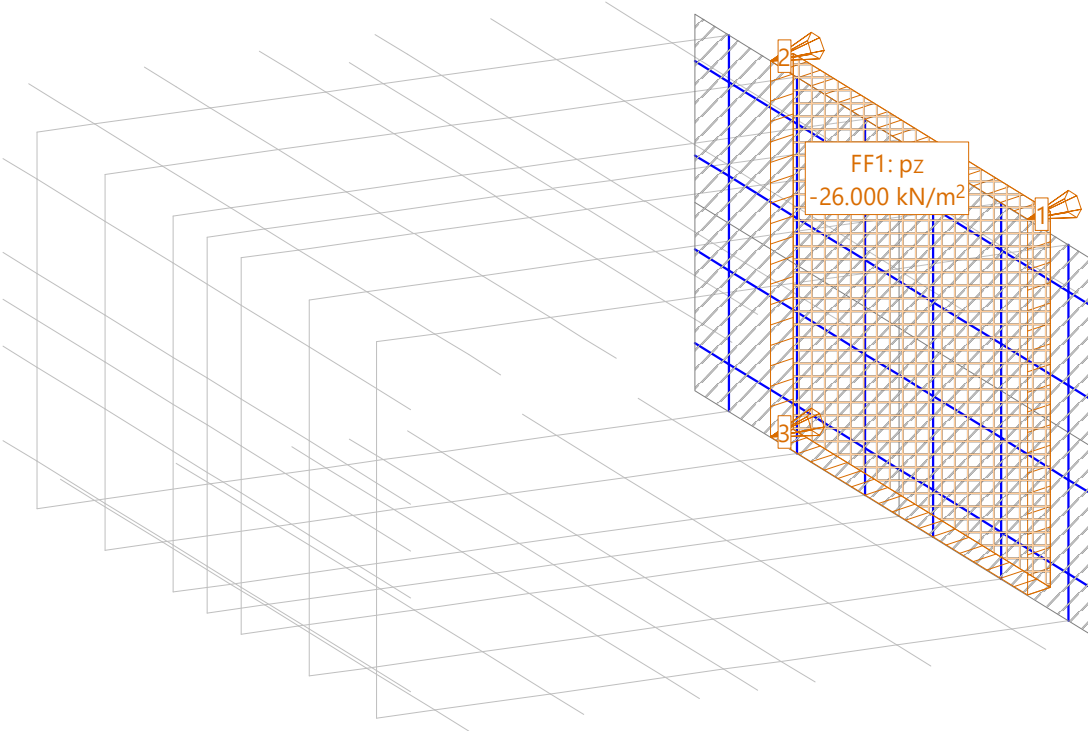
112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B11: LM1 - Stellung 1  Belastung B12: LM1 - Stellung 2 	
	Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B13: Anfahr-Bremskraft LM1  In der Lastfläche ! L1: px 35.75 kN/m	
	Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B31: LM3 - Stellung 1  Belastung B32: Anfahr-Bremskraft LM3 	
	Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
		24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG	d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B51: ELM1		
		
		Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
		24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG	d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B52: ELM2  FF1: pz -488.900 kN/m²		
		Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B61: Erddruck Bahn  Belastung B62: Erddruck Bahn 	
	Nr.:

6. Tragsicherheit

6.1. Gefährdungsbilder und Massnahmen

6.1.1. Tragwiderstand des Tragwerks Typ 2

Definitive Nutzungsphase:

Es gelten für die statische Bemessung im Allgemeinen die folgenden Annahmen:

- Lastbeiwerte nach SIA 260,
- Einwirkungen nach SIA 261,
- Statische Bemessung nach den Tragwerksnormen SIA 262 - 267.

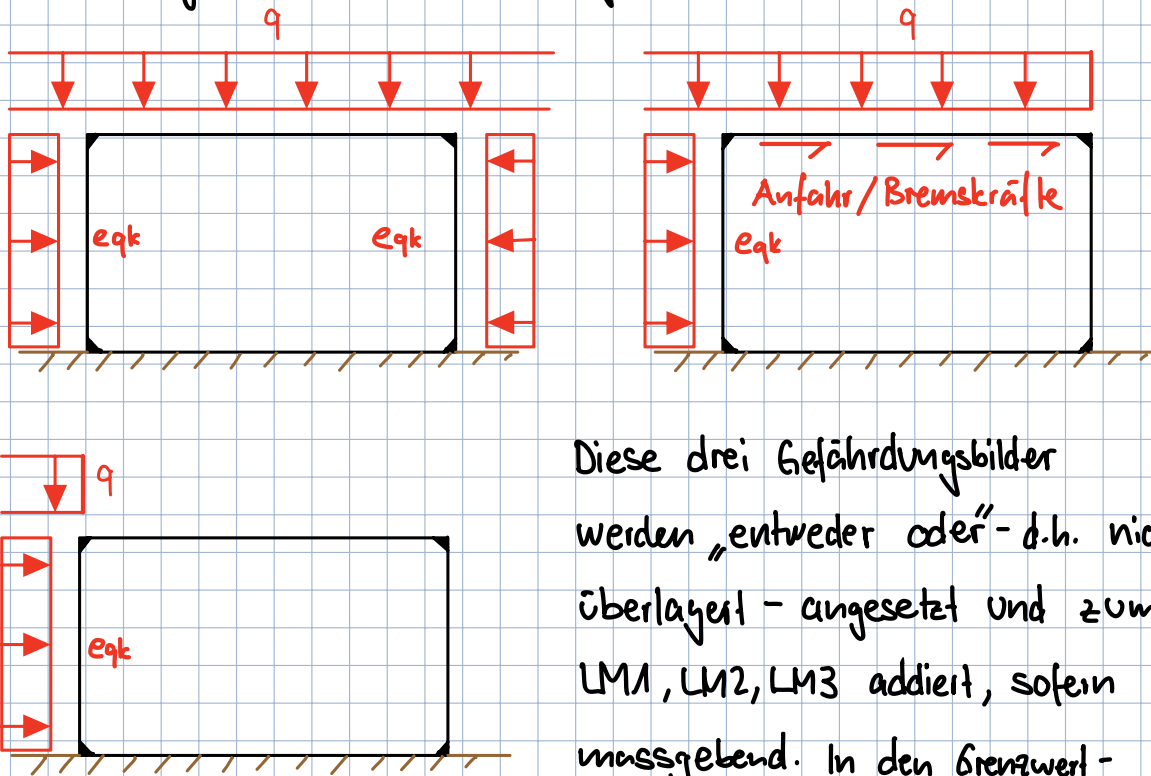
Gefährdungsbild	GB 1 Bahnverkehr „GZT-LM1“ bzw. „GZT-LM3“	GB 2 Entgleisung „GZT-ELM“
Ständige Einwirkungen		
Eigenlasten	1.35 / 0.80	1.00
Auflasten	1.35 / 0.80	1.00
Erddruck	1.35 / 0.70	1.00
Veränderliche Einwirkungen		
Normalspurbahnverkehr LM1	1.45	-
Normalspurbahnverkehr LM3	1.20	-
Anfahr- und Bremskräfte LM1	1.45	-
Anfahr- und Bremskräfte LM3	1.20	-
Erddruck infolge Bahn	1.35 / 0.70	1.00
Schlingerkraft (wird vernachlässigt)	-	-
Wind (wird vernachlässigt)	-	-
Temperatur (wird vernachlässigt)	-	-
Wasserdruck	1.20 / 0.90	0.70
Aussergewöhnliche Einwirkungen		
Entgleisung Bahn ELM1, ELM2	-	1.00
Erdbeben (nicht massgebend)	-	-

Tabelle 8: Einwirkungskombinationen Tragsicherheit

6.1.2. Ermüdungssicherheit des Tragwerks Typ 4

Gefährdungsbild	GB 4 mit Verkehr LM1 „Erm-max“	GB 5 ohne Verkehr LM1 „Erm-min“
Ständige Einwirkungen		
Eigenlasten	1.00	1.00
Auflasten	1.00	1.00
Erddruck	1.00	1.00
Veränderliche Einwirkungen		
Normalspurbahnverkehr LM1	1.00	-
Erddruck infolge Bahn	1.00	-

Gefährdungsbilder Erddruck infolge Bahnlasten



Diese drei Gefährdungsbilder werden „entweder oder“-d.h. nicht überlagert - angesetzt und zum LM1, LM2, LM3 addiert, sofern massgebend. In den Grenzwert-spezifikationen sind diese direkt implementiert

6.1.3 Grenzwertspezifikationen

Seite

24.04.26, 17:35

Bänziger Partner AG

d.mettler

Statik-9 - Rel. 261 (0)

Grenzwertspezifikation: GZT-LM1

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	2	3	4	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1.35	0.8	1.35	0.8	
2	Auflasten	1	1.35	0.8	1.35	0.8	
3	Erddruck ständig	1	1.35	0.7	1.35	0.7	
4	Erddruck veränderlich	1.33	1.35	0.7	1.35	0.7	
5	Wasserdruck veränderlich	1	0.7	0.7	1.2	0.9	
6	Set Bahnverkehr-N						
6	Lastmodell 1	1.955	1.45	1.45			
7	Anfahr-/Bremskräfte	1.33	1.45	1.45			

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation GZT-LM1

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B00 Eigengewicht	1.000	
		ständig		B00-1 Zusatzgewicht Eigenlast	1.000	
Auflasten		ständig		B01 Auflast	1.000	
Erddruck ständig		ständig		B02 Erddruck1	1.000	
		ständig		B03 Erddruck2	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		B61 Erddruck Bahn	1.000	
		plus, wo massg.		B62 Erddruck Bahn	1.000	
Wasserdruck veränderl		wo massgebend		B05 Wasserdruck	1.000	
		plus, wo massg.		B06 Wasserdruck	1.000	
		plus, wo massg.		B07 Wasserdruck	1.000	
Lastmodell 1		wo massgebend	entwede	B11 LM1 - Stellung 1	1.000	
			oder	B12 LM1 - Stellung 2	1.000	
Anfahr-/Bremskräfte		wo massgebend		B13 Anfahr-Bremskraft LM1	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

Nr.:

N:\34947 rko PU SBB ARA - Eulenweg\30 Bauprojekt Auflageprojekt\33 Berechnungen\Stabmodell-aktuell .S9P

Seite 48

Grenzwertspezifikation: GZT-LM3

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen			
			1	2	3	4
1	Eigenlast	1	1.35	0.8	1.35	0.8
2	Auflasten	1	1.35	0.8	1.35	0.8
3	Erddruck ständig	1	1.35	0.7	1.35	0.7
4	Erddruck veränderlich	1.33	1.35	0.7	1.35	0.7
5	Wasserdruck veränderlich	1	0.7	0.7	1.2	0.9
	Set Bahnverkehr-N					
6	Lastmodell 3	1.47	1.2	1.2		
7	Anfahr-/Bremskräfte	1	1.2	1.2		

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation GZT-LM3

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B00 Eigengewicht	1.000	
		ständig		B00-1 Zusatzgewicht Eigenlast	1.000	
Auflasten		ständig		B01 Auflast	1.000	
Erddruck ständig		ständig		B02 Erddruck1	1.000	
		ständig		B03 Erddruck2	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		B61 Erddruck Bahn	1.000	
		plus, wo massg.		B62 Erddruck Bahn	1.000	
Wasserdruck veränderl		wo massgebend		B05 Wasserdruck	1.000	
		plus, wo massg.		B06 Wasserdruck	1.000	
		plus, wo massg.		B07 Wasserdruck	1.000	
Lastmodell 3		wo massgebend		B31 LM3 - Stellung 1	1.000	
Anfahr-/Bremskräfte		wo massgebend		B32 Anfahr-Bremskraft LM3	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
		24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG	d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)

Grenzwertspezifikation: GZT-ELM

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	
3	Erddruck ständig	1	1	
4	Erddruck veränderlich	1.33	1	
5	Wasserdruck veränderlich	1	0.7	
6	aussergewöhnlich	1.33	1	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation GZT-ELM

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B00 Eigengewicht	1.000	
		ständig		B00-1 Zusatzgewicht Eigenlast	1.000	
Auflasten		ständig		B01 Auflast	1.000	
Erddruck ständig		ständig		B02 Erddruck1	1.000	
		ständig		B03 Erddruck2	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		B61 Erddruck Bahn	1.000	
		plus, wo massg.		B62 Erddruck Bahn	1.000	
Wasserdruck veränderl		wo massgebend		B05 Wasserdruck	1.000	
		plus, wo massg.		B06 Wasserdruck	1.000	
		plus, wo massg.		B07 Wasserdruck	1.000	
aussergewöhnlich		wo massgebend	entwede	B52 ELM2	1.000	
			oder	B51 ELM1	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

Nr.:

N:\34947 rko PU SBB ARA - Eulenweg\30 Bauprojekt Auflageprojekt\33 Berechnungen\Stabmodell-aktuell .S9P

Seite 50

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite	
		24.04.26, 17:35	
Bänziger Partner AG		d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)

Grenzwertspezifikation: ERM-min

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	
3	Erddruck ständig	1	1	
4	Erddruck veränderlich	1		

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation ERM-min

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B00 Eigengewicht	1.000	
		ständig		B00-1 Zusatzgewicht Eigenlast	1.000	
Auflasten		ständig		B01 Auflast	1.000	
Erddruck ständig		ständig		B02 Erddruck1	1.000	
		ständig		B03 Erddruck2	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		B61 Erddruck Bahn	1.000	
		plus, wo massg.		B62 Erddruck Bahn	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

Nr.:

Grenzwertspezifikation: Erm-max-BP

Beschreibung
 Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	
3	Erddruck ständig	1	1	
4	Erddruck veränderlich	1	1	
5	Set Bahnverkehr-N Lastmodell 1	1	1	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation Erm-max-BP

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B00 Eigengewicht	1.000	
		ständig		B00-1 Zusatzgewicht Eigenlast	1.000	
Auflasten		ständig		B01 Auflast	1.000	
Erddruck ständig		ständig		B02 Erddruck1	1.000	
		ständig		B03 Erddruck2	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		B61 Erddruck Bahn	1.000	
		plus, wo massg.		B62 Erddruck Bahn	1.000	
Lastmodell 1		wo massgebend	entwede	B11 LM1 - Stellung 1	1.000	
			oder	B12 LM1 - Stellung 2	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

6.2 Nachweise der Tragsicherheit Typ 2

6.2.1 Nachweisführung Biegung

Die Biegenachweise werden an den Nachweisschnitten $A_i - G_i$ geführt. Dabei werden die max. bzw. min. Biegemomente aus den Gefährdungsbildern angesetzt. Die positiv wirkenden Drucknormalkräfte werden, welche beim maximalen Biegemoment auftreten, werden berücksichtigt

Die Bewehrung in der Biegedruckzone wird vernachlässigt. Günstig wirkende Membrankräfte werden vernachlässigt.

- Bewehrungsüberdeckung = 55 mm (1. Lage)
- Bewehrungsüberdeckung = 55 mm + $\varnothing 1. L.$ (2. Lage)

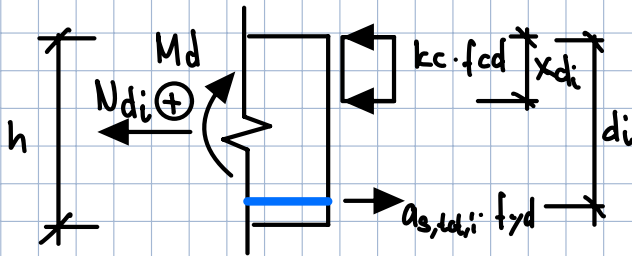
Aufgrund der Querkraftbewehrung in der Decken- und Bodenplatte ist grundsätzlich eine Längszugkraft infolge Querkraft zu berücksichtigen.

An den untersuchten Nachweisschnitten treten die extremalen Biegemomente auf wodurch keine Längszugkraft infolge Querkraft zu berücksichtigen ist.

Beim Nachweisschnitt (B_i) und (F_i) trifft das streng genommen nicht zu, daher wird der Nachweisschnitt auf die Stabachse verschoben, damit das max. Biegemoment berücksichtigt wird und folglich keine Längszugkraft infolge Querkraft zu berücksichtigen ist.

Bei den Widerlagern ist keine Querkraftbewehrung vorgesehen, wodurch keine Längszugkraft infolge Querkraft zu berücksichtigen ist.

Bemessung Biege Widerstand



b_i = Streifenbreite

$$x_{di} = \frac{a_{s,tdi} \cdot f_{yd} \cdot b_i - N_{di}}{k_c \cdot f_{cd} \cdot b_i}$$

Bedingung:

$$\xi_i = \frac{x_{di}}{0.85} < 0.35 \cdot d$$

$$M_{rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot b_i \cdot (d_i - x_{di}/2) - N_{di} \cdot (h/2 - x_{di}/2)$$

Wenn $M_{rd} > |M_d| \Rightarrow$ Nachweis i.O.

Mindestbewehrung

Die Mindestbewehrung im Zusammenhang des Biegenachweises wird zur Verhinderung eines spröden Versagens beim Erreichen der Rissbeanspruchung geführt. Hierfür wird für jeden Nachweisschnitt das Rissmoment M_r berechnet. Sollte das Rissmoment das einwirkende Biegemoment M_d übersteigen, wird der Nachweis mit dem Rissmoment geführt.

$$k_t = \frac{1}{1 + 0.5 \cdot h/3} \quad (h \text{ in m})$$

$$f_{ct,eff} = k_t \cdot f_{ctm}$$

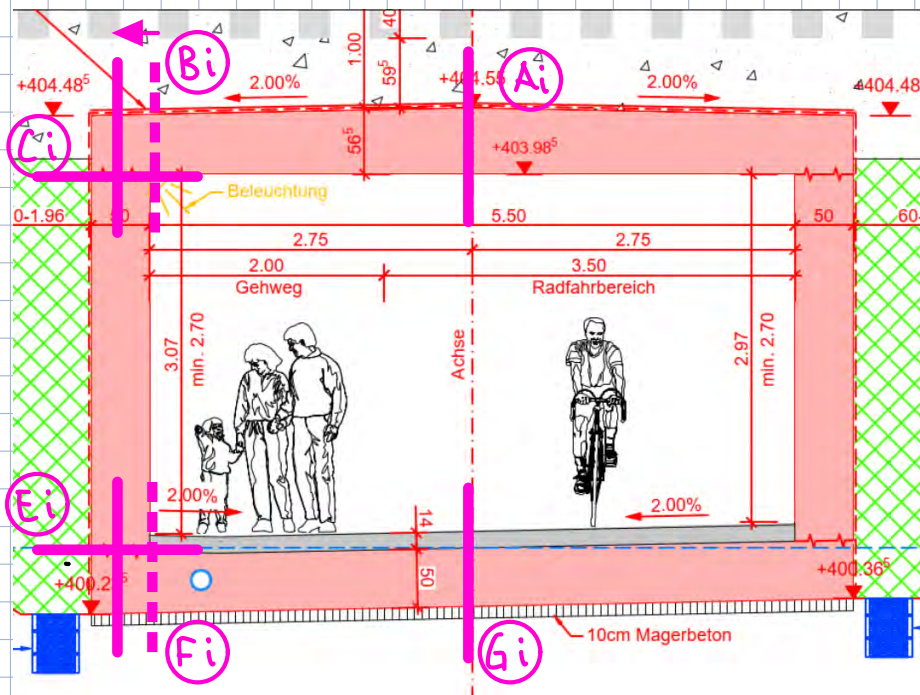
$$M_r = f_{ct,eff} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} < M_{rd} \Rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

Nachweisschnitte Biegung

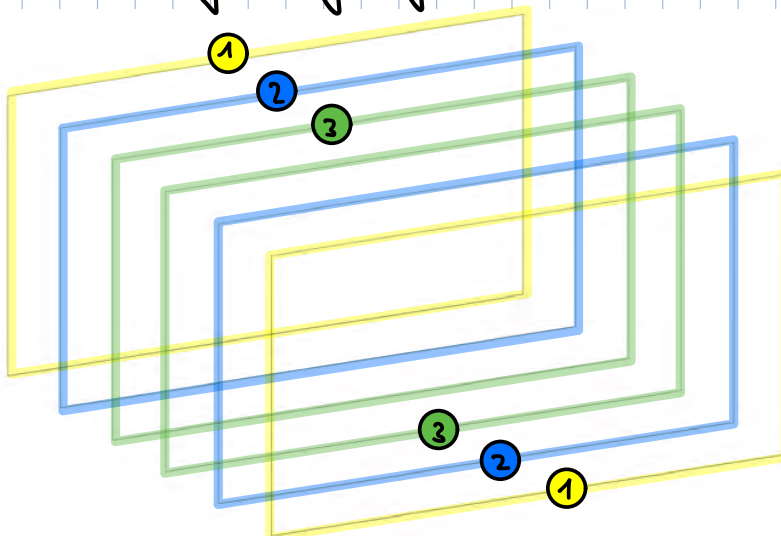
Am Querschnitt werden 6 Nachweisstellen, jeweils beim massgebenden Längsträger (1-3) bemessen. Der Index „i“ steht für den jeweils massgebenden Längsträger.

In Querrichtung werden die Biege widerstände jeweils beim maximalen bzw. minimalen Biegemoment geführt mit folgender Bezeichnung:

- Querrichtung Decke (Q-D) ; - Querrichtung Widerlager (Q-D)
- Querrichtung Bodenplatte (Q-BP)



Nummerierung Längsträger



Biegenachweis

f_{yd}	435	[N/mm ²]
f_{cd}	20	[N/mm ²]
f_{ctm}	2.9	[N/mm ²]
k_c	1	[-]

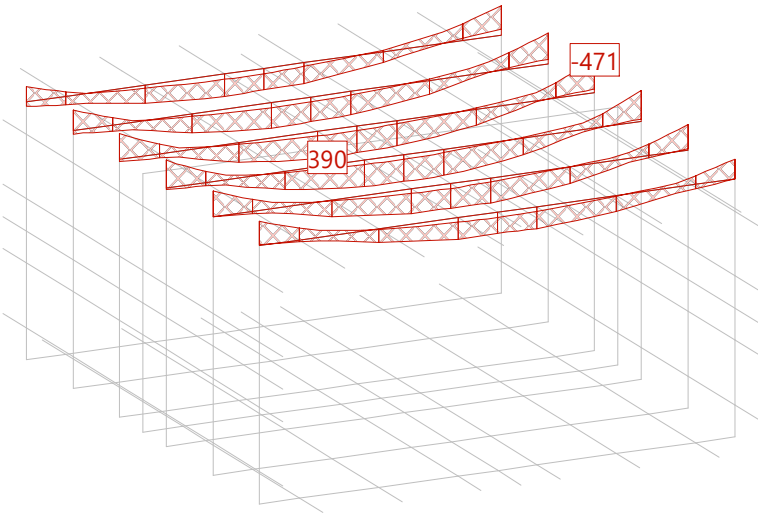
$x < 0.5 \cdot d \rightarrow$ i.O.
zudem wurde Druckbewehrung vernachlässigt

Biegewiderstand und Bewehrung

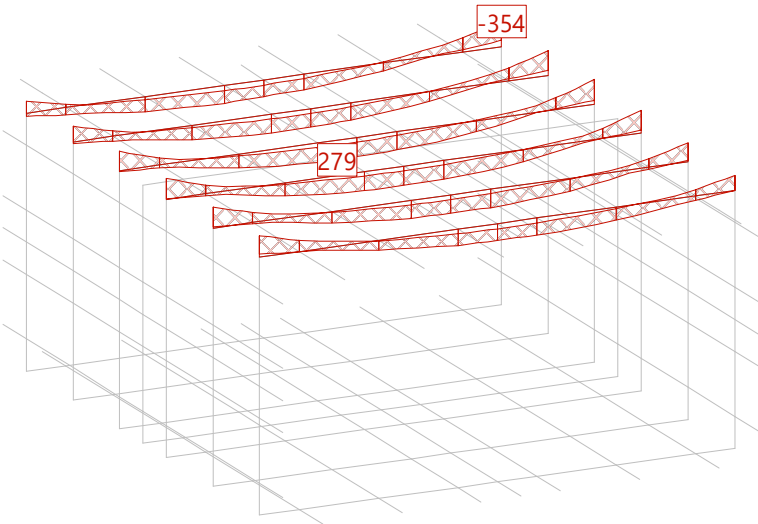
NS	Plattenstärke	Streifenbreite	Bewehrungsüberdeckung	N_d	M_d	kt	$f_{ct,eff}$	M_r	Bewehrung			Zulagen				d_{stat}	x_d	x	z	M_{Rd}	Bemerkung
[-]	h [mm]	b [mm]	c_{nom} [mm]	[kN]	[kNm]	[-]	[N/mm ²]	[kNm]	$\varnothing$ [mm]	t [mm]	a_s [mm ² /m]	$\varnothing$ [mm]	t [mm]	a_s [mm ² /m]	$a_{s,tot}$ [mm ² /m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kNm]	
A1	500	950	73	-87	616	0.923	2.68	106	26	150	3540	12	150	754	4294	414	98	115	365	665	i.O.
B1	500	950	73	-156	-619	0.923	2.68	106	30	150	4712	0	0	0	4712	412	111	130	357	725	i.O.
C1	500	950	55	-841	-581	0.923	2.68	106	30	150	4712	0	0	0	4712	430	147	173	357	843	i.O.
E1	500	950	55	-677	515	0.923	2.68	106	30	150	4712	0	0	0	4712	430	138	163	361	825	i.O.
F1	500	950	73	-157	553	0.923	2.68	106	30	150	4712	0	0	0	4712	412	111	130	357	725	i.O.
G1	500	950	73	-26	-587	0.923	2.68	106	26	150	3540	12	150	754	4294	414	95	111	367	656	i.O.
Q-D	500	1002	81	0	-201	0.923	2.68	112	18	150	1696	0	0	0	1696	410	37	43	392	290	i.O.
Q-WL	500	925	81	0	-41	0.923	2.68	103	18	150	1696	0	0	0	1696	410	37	43	392	267	i.O.
Q-BP	500	1002	81	0	11	0.923	2.68	112	18	150	1696	0	0	0	1696	410	37	43	392	290	i.O.

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
	Nr.:

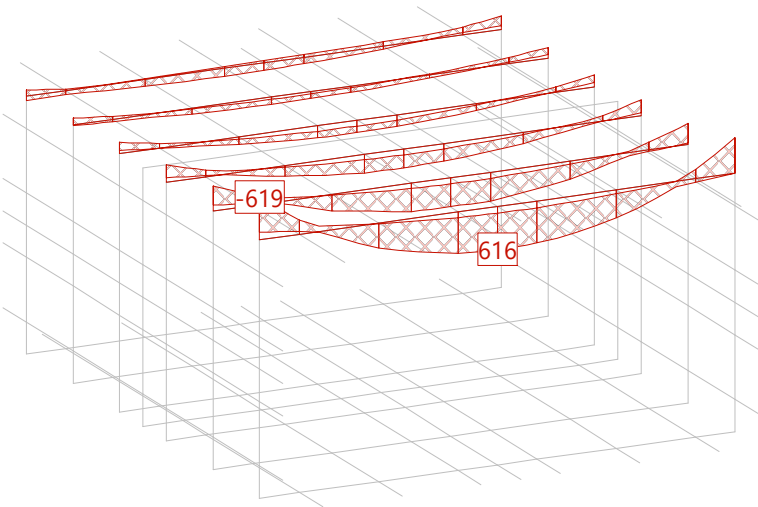
Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: GZT-LM1, Teilsystem: LT-Decke



Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: GZT-LM3, Teilsystem: LT-Decke



Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: GZT-ELM, Teilsystem: LT-Decke



GRENZWERTE SCHNITTKRAFT My

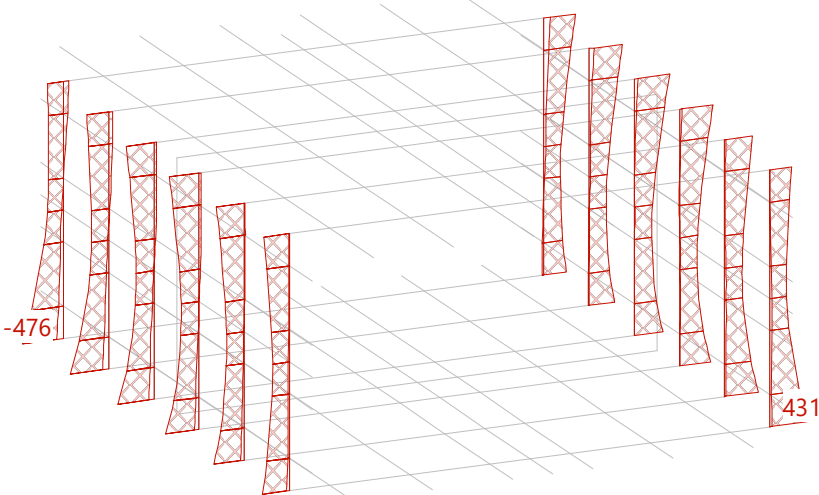
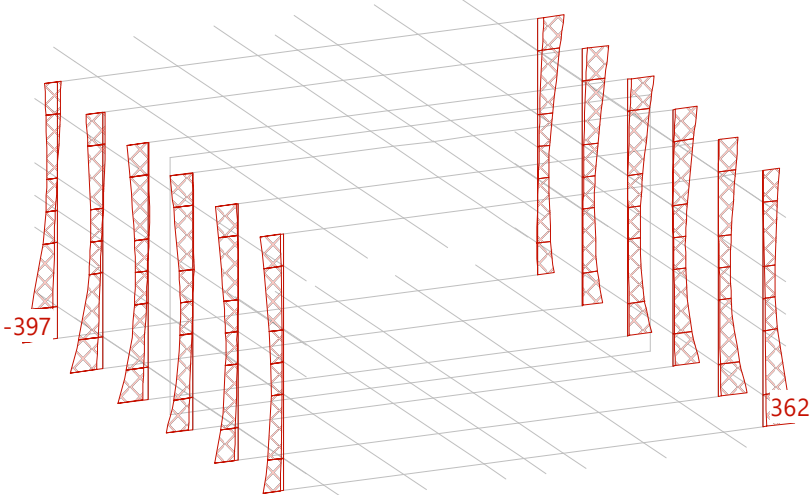
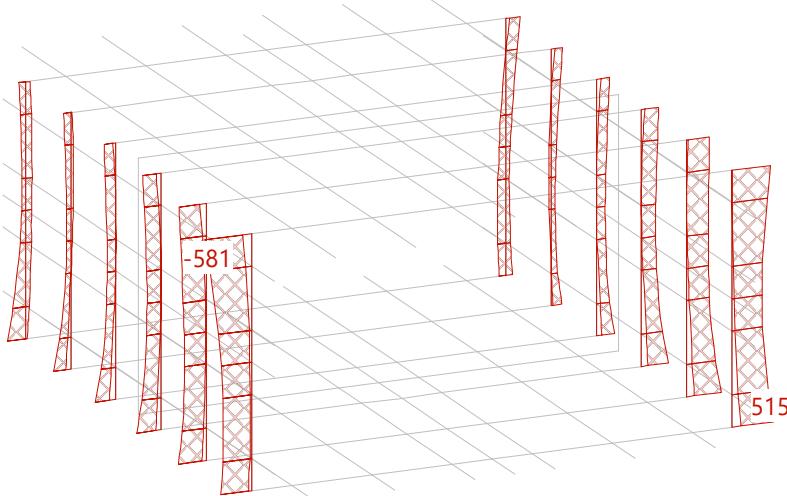
und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: GZT-ELM

Stab	El	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	My _{min} My _{max} [kNm]	Mz [kNm]
S_183	1	1	0.000	-24	0	22	0	94	0
		1		-87	0	8	0	616	0
S_209	1	1	0.000	-156	0	837	0	-619	0
		1		-73	0	136	0	-113	0

El : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG	d.mettler Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM1, Teilsystem: LT-WL  Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM3, Teilsystem: LT-WL  Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-ELM, Teilsystem: LT-WL 	
	Nr.:

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT My

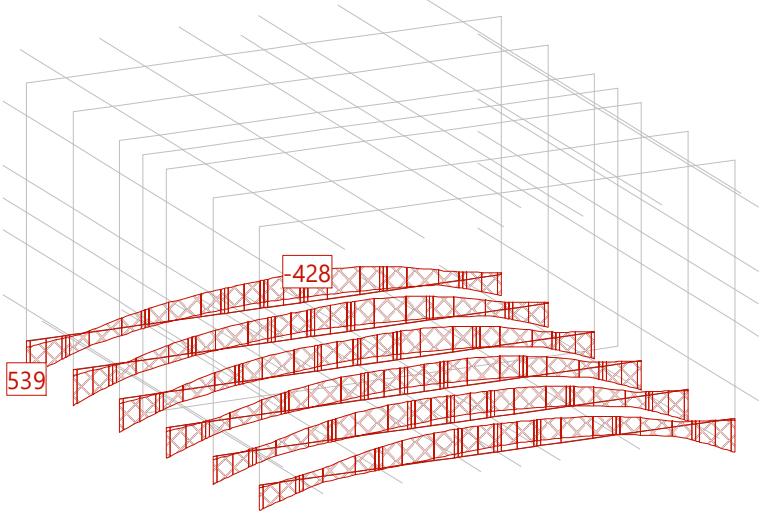
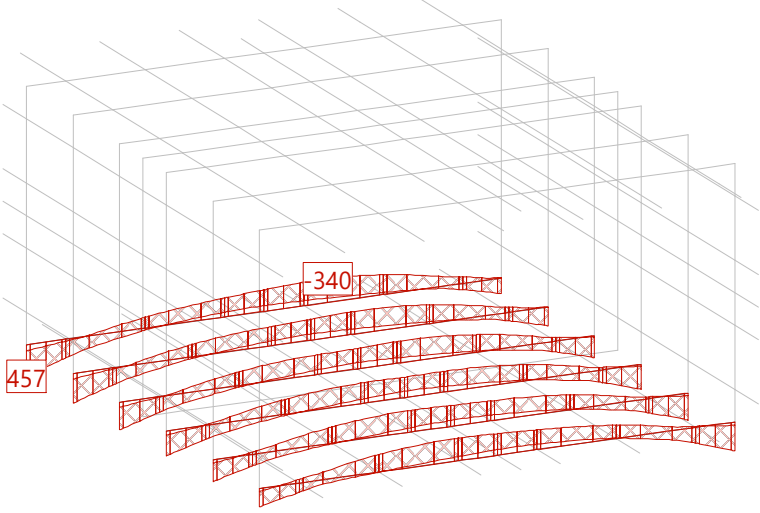
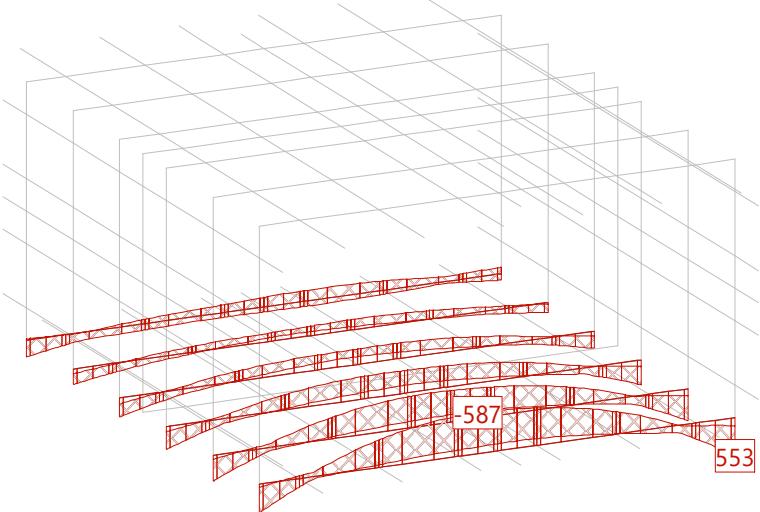
und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: GZT-ELM

Stab	El	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	My _{min} My _{max} [kNm]	Mz [kNm]
S_155	1	1	0.000	-167	-0	-84	0	116	-0
		1		-680	-0	-157	0	553	-0
		1	0.250	-164	-3	-75	0	97	-0
		1		-677	-4	-145	0	515	-1
		1	0.462	-161	-4	-71	0	81	-1
		1		-674	-6	-140	0	485	-2
S_278	1	1	0.000	-843	-1	-151	-0	-548	0
		1		-142	-1	-71	-0	-80	0
		1	0.212	-841	-1	-152	-0	-581	0
		1		-139	-1	-72	-0	-95	0
		1	0.462	-837	-0	-156	-0	-619	-0
		1		-136	-0	-73	-0	-113	0

El : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM1, Teilsystem: LT-BP  Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM3, Teilsystem: LT-BP  Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-ELM, Teilsystem: LT-BP 	
	Nr.:

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT M_y

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: GZT-ELM

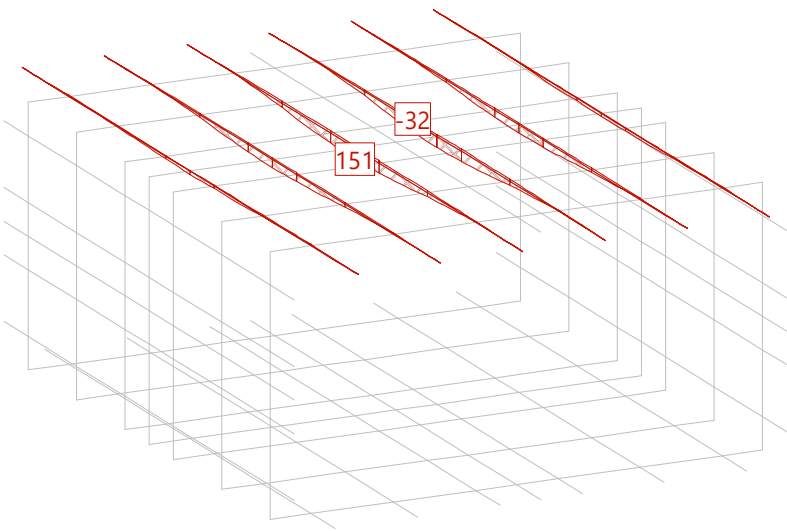
Stab	El	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	My _{min} My _{max} [kNm]	Mz [kNm]
S_241	3	1	0.270	-84	0	161	-0	76	-0
		1		-157	0	659	0	387	-0
	4	1	0.520	-84	-0	167	0	116	-0
		1		-157	-0	680	-0	553	-0
S_243	2	1	0.262	-26	-0	-45	-0	-587	0
		1		-98	0	-26	0	-96	0
	4	1	0.524	-26	0	43	0	-580	-0
		1		-98	0	-12	-0	-99	-0

El : Stabelement

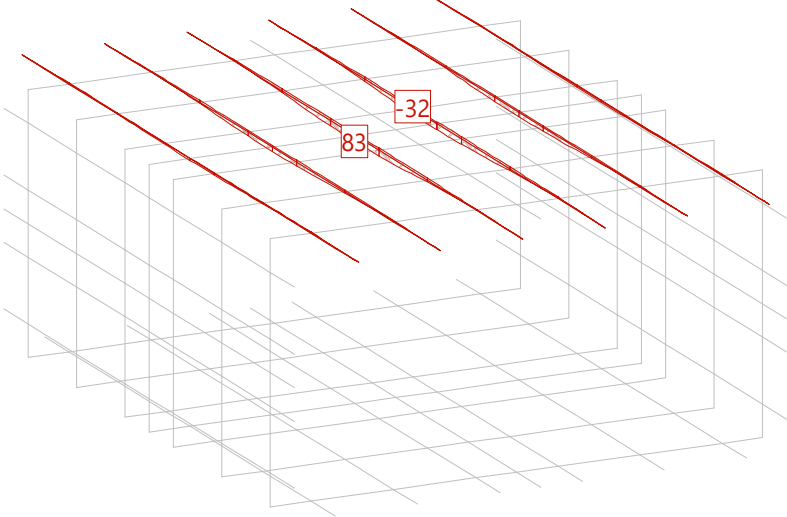
EK : massgebende Einwirkungskombination

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
Bänziger Partner AG		24.04.26, 17:35
d.mettler		Statik-9 - Rel. 261 (0)

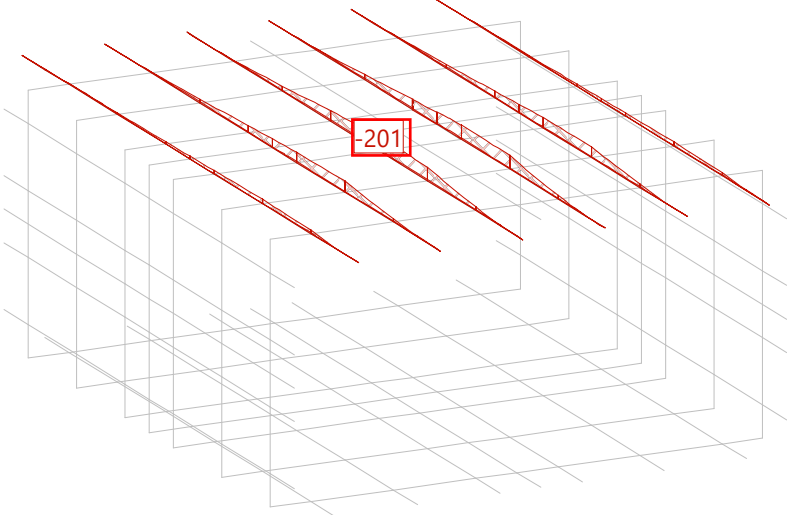
Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: GZT-LM1, Teilsystem: QT-Decke



Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: GZT-LM3, Teilsystem: QT-Decke



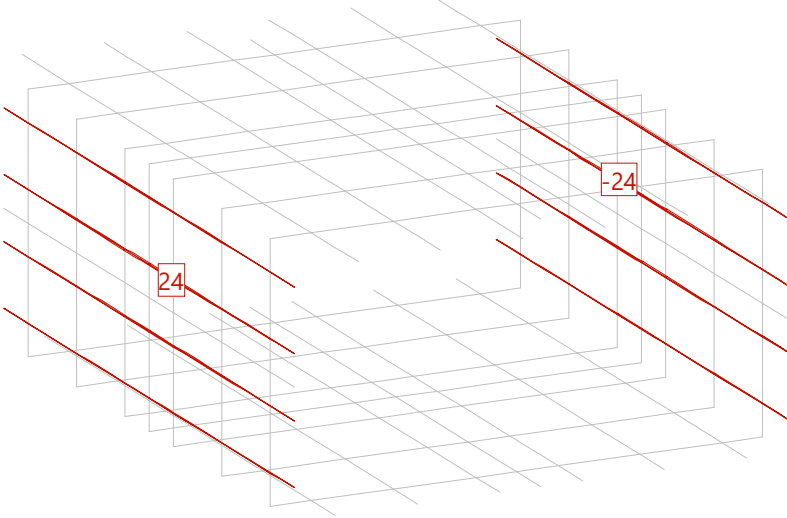
Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: GZT-ELM, Teilsystem: QT-Decke



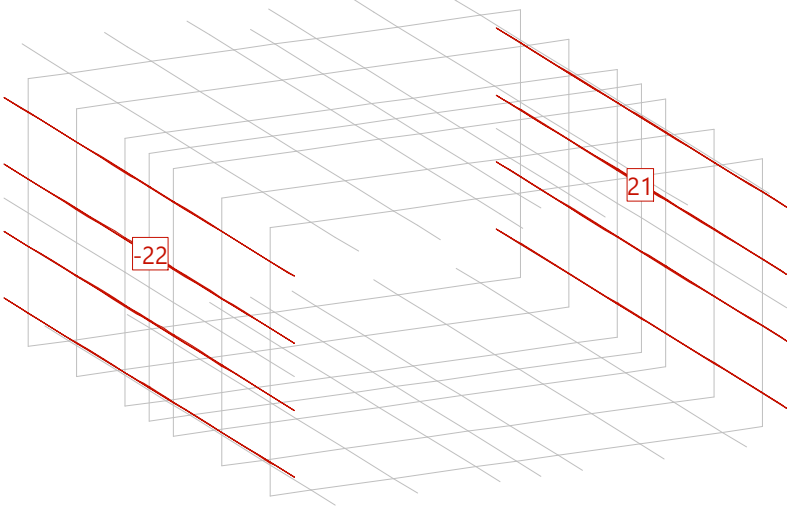
Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
Bänziger Partner AG		24.04.26, 17:35
d.mettler		Statik-9 - Rel. 261 (0)

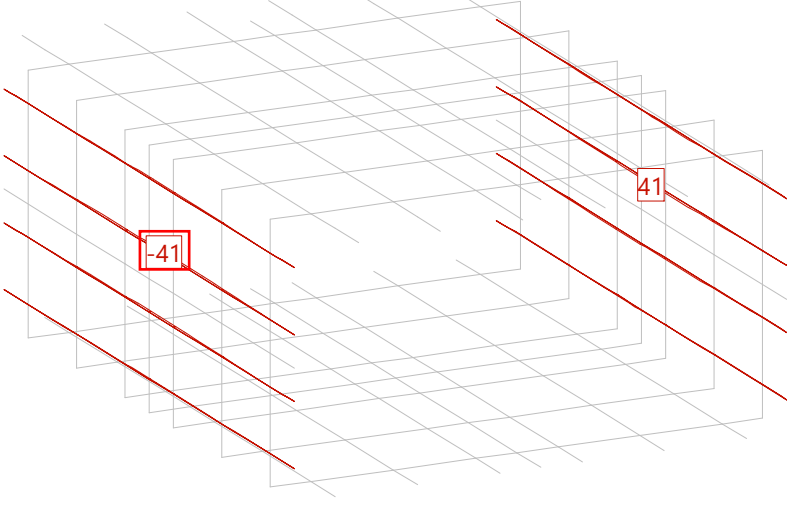
Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM1, Teilsystem: QT-WL



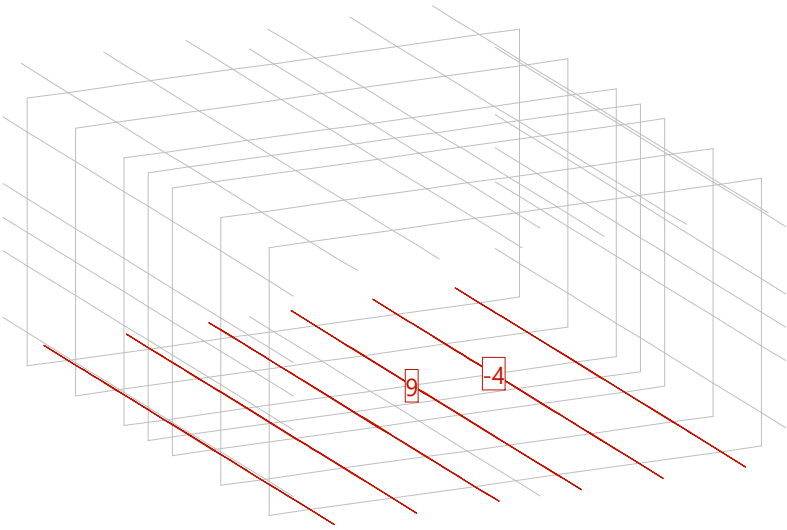
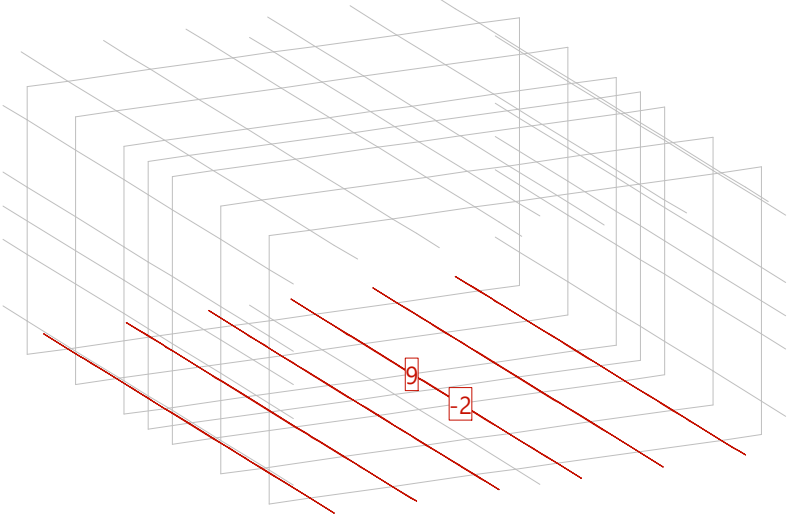
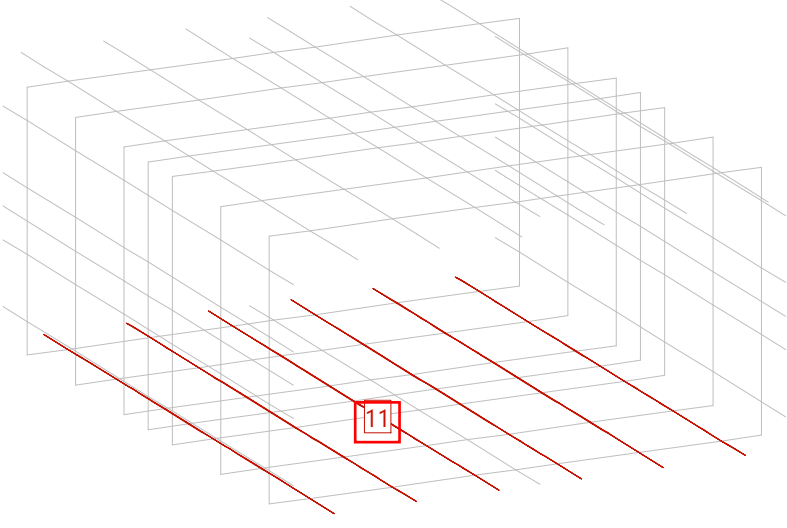
Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM3, Teilsystem: QT-WL



Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-ELM, Teilsystem: QT-WL



Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM1, Teilsystem: QT-BP  Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-LM3, Teilsystem: QT-BP  Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-ELM, Teilsystem: QT-BP 	
	Nr.:

6.2.2 Nachweisführung Querkraft

In der Bodenplatte und in der Decke werden die Platten vollständig mit einer Querkraftbewehrung ausbewehrt, um eine robuste und duktile Bauweise gem. SIA 262 Art. 4.3.3.1.1. zu erreichen. Die minimale Querkraftbewehrung wird in den Bereichen verlegt in der die Querkraft den Widerstand infolge minimaler Querkraftbewehrung nicht übersteigt. In den restlichen Bereichen wird ein höherer Querkraftbewehrungsgehalt verbaut.

In den Widerlagern wird aufgrund der geringeren Querkraftbeanspruchung keine Querkraftbewehrung verlegt.

Die Nachweisschnitte sind auf der nachfolgenden Seite ersichtlich, wobei sie wie folgt bestimmt wurden

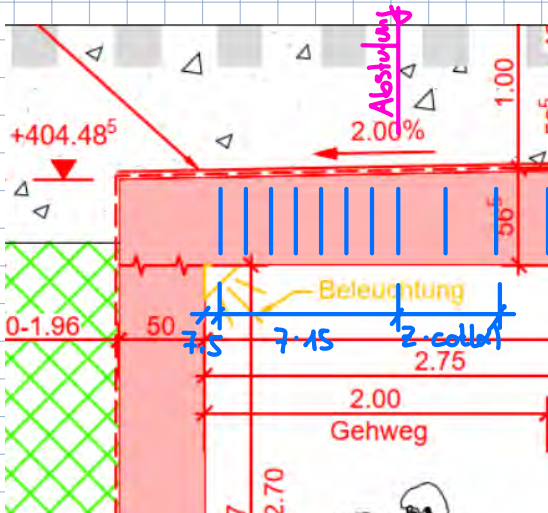
- ohne Querkraftbewehrung

$$d_v/2 \approx 430/2 = 215 \text{ mm} \quad (d_v \text{ vereinfacht überall mit } 430 \text{ mm angenommen})$$

- mit Overkraftbewehrung

$$z \cdot \cos(\alpha) \approx 430 \cdot 0.9 \cdot \cos(33^\circ) = 596 \text{ mm} \Rightarrow |w_{\text{oh}}| = 450 \text{ mm (konservativ)}$$

(dv vereinfacht überall mit 430mm und $z \approx 0.9 \cdot dv$ angenommen)



In der Decken- und Bodenplatte ist infolge der Bewehrungsabstufung ein zusätzlicher Nachweisschnitt notwendig. Dieser befindet sich in einem Abstand von $z \cdot \cot(\alpha)$ von der Abstufung.

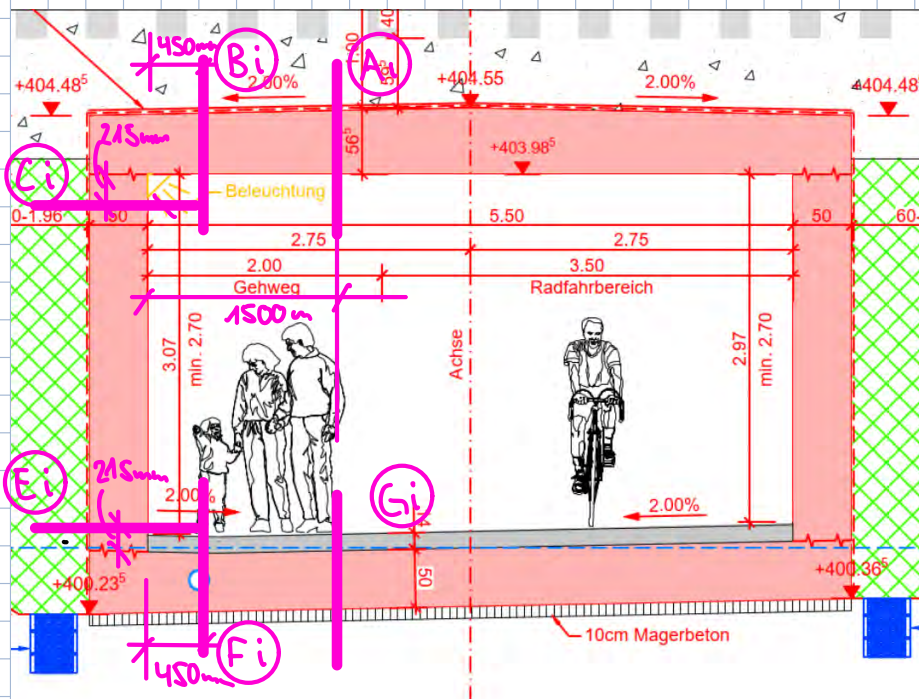
Insgesamt sind bis zur Abstufung acht Bügel mit einer Teilung von 150 mm vorgesehen.

NS-Schnitt: $75 + 7 \cdot 150 + z \cdot \cot(\alpha) = 1721 \text{ mm}$
 $\Rightarrow$ Wahl: 1500 mm (konservativ)

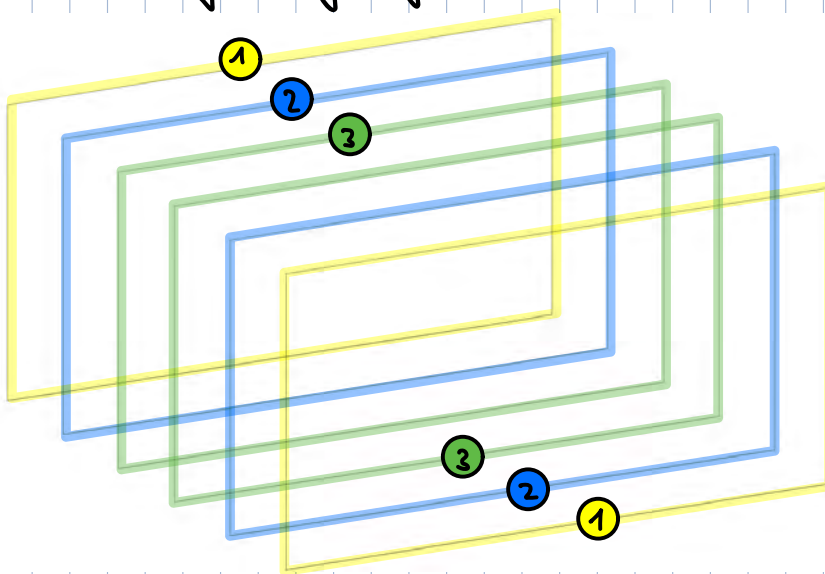
Nachweisschnitte Querkraft

Am Querschnitt werden 6 Nachweisstellen, jeweils beim massgebenden Längsträger (1-3) bemessen. Der Index „i“ steht für den jeweils massgebenden Längsträger.

In Überrichtung treten keine massgebenden Querkräfte auf, weshalb in Überrichtung keine Querkraftnachweise geführt werden.



Nummerierung Längsträger



ohne Querkraftbewehrung (Nachweisschnitt C_i, E_i)

Die Nachweise des Querkraftwiderstands ohne Querkraftbewehrung werden nur bei den Nachweisschnitten C_i und E_i durchgeführt, wobei der Nachweisschnitt E_i massgebend ist.

Berechnung Querkraftwiderstand

$$\varepsilon_v = \frac{f_{td}}{E_s} \cdot \frac{|M_d|}{M_{Rd}}$$

$$k_g = \frac{48}{16 + D_{\max}} > 1.2 \quad (D_{\max} = 32 \text{ mm}) \Rightarrow k_g = 1.2$$

$$k_d = \frac{1}{1 + \varepsilon_v \cdot d \cdot k_g}$$

$$V_{Rd} = v_{Rd} \cdot b = k_d \cdot \tau_{cd} \cdot d \cdot b$$

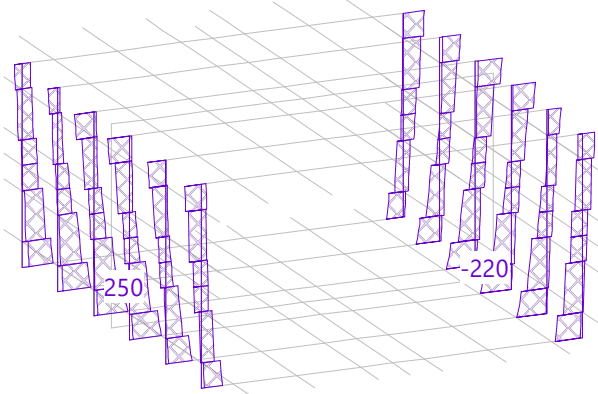
Querkraft (ohne Querkraftbew.)

f_{yd}	435	[N/mm ²]
E_s	200000	[N/mm ²]
f_{ck}	30	[N/mm ²]
f_{cd}	20	[N/mm ²]
f_{ctm}	2.9	[N/mm ²]
τ_{cd}	1.1	[N/mm ²]
k_c	1	[-]
D_{max}	32	[mm]

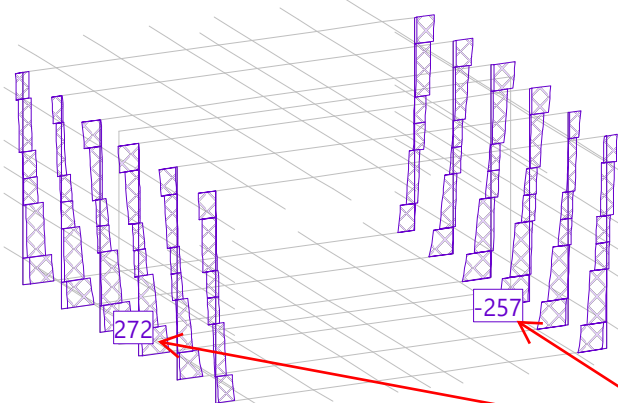
Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

NS	Platten- stärke	Streifen- breite	Bewehrungs- überdeckung	Bewehrung	d	M _d	M _{Rd}	ε _v	k _g	k _d	V _d	V _{Rd}	Bemerkung
[-]	h [mm]	b [mm]	c _{nom} [mm]	ø [mm]	[mm]	[kNm]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	
E3	500	950	55	30	430	-210	738	0.000619	1.2	0.757947	250	341	i.O.

Schnittkraftgrenzwerte V_z [kN] für: GZT-LM1, Teilsystem: LT-WL



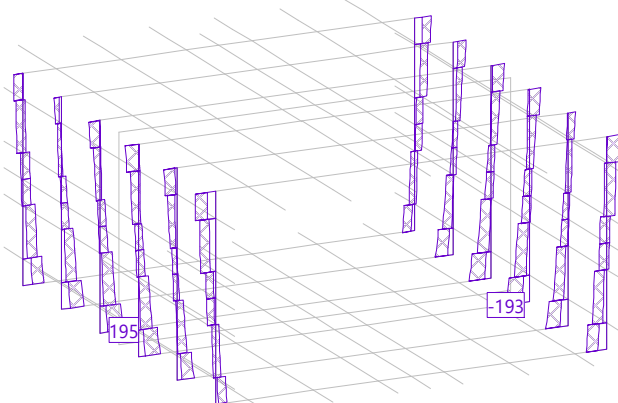
Schnittkraftgrenzwerte V_z [kN] für: GZT-LM3, Teilsystem: LT-WL



Dieser Wert liegt beim Knoten

V_z bei Nachweisschnitt kleiner als 250 kN

Schnittkraftgrenzwerte V_z [kN] für: GZT-ELM, Teilsystem: LT-WL



GRENZWERTE SCHNITTKRAFT V_z

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: GZT-LM1

Stab	EI	EK	Distanz [m]	N_x [kN]	V_y [kN]	$V_{z_{min}}$ $V_{z_{max}}$ [kN]	T_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
S_283	1	2 1	0.462	-330 -190	3 12	25 250	0 0	-189 -210	1 3

EI : Stabelement

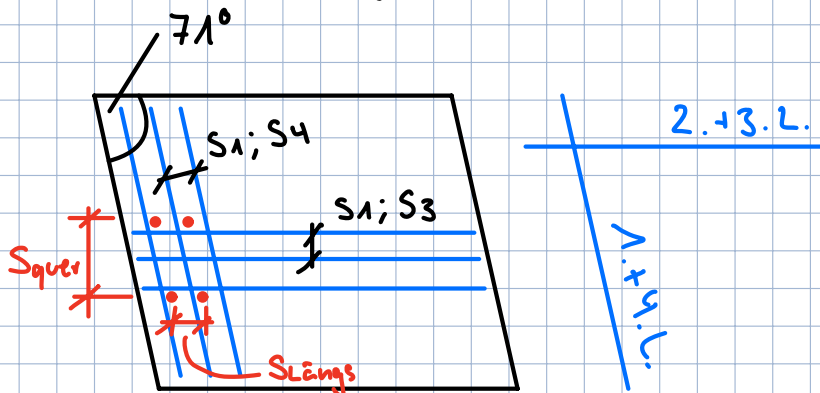
EK : massgebende Einwirkungskombination

Nr.:

mit Querkraftbewehrung (Nachweisschnitt A_i, B_i, F_i, G_i)

- Wahl Druckfeldneigung: $\alpha = 33^\circ$
 - Hebelarm: minimaler Hebelarm aus Biegebemessung
- Widerstand Bewehrung

Das Bewehrungslayout der Querkraftbewehrung wird anhand der Biegebewehrung bestimmt. Infolge der schiefwinkligen Platte ist zur Ermittlung der Teilung der Querkraftbewehrung in Längsrichtung die Teilung der 1. bzw. 4. Bewehrungslage mit den Faktor $\frac{1}{\sin(71^\circ)}$ zu erhöhen, da sich die Teilung der Biegebewehrung lotrecht auf die Bewehrungsstäbe bezieht.



$$S_{\text{quer}} = 2 \cdot S_1 \text{ bzw. } 2 \cdot S_4 = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{längs}}: - \text{für max. } V_{Rd,s}: \frac{1}{\sin(71^\circ)} \cdot S_2 = 159 \text{ mm}$$

$$- \text{für min. } V_{Rd,s}: 2 \cdot \frac{1}{\sin(71^\circ)} \cdot S_2 = 317 \text{ mm}$$

$$d \geq 450 \text{ mm} > S_{\text{max}} = 317 \text{ mm}$$

↳ Abstand i. O.

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{S_{\text{längs}} \cdot S_{\text{quer}}} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot(\alpha) \cdot b$$

Widerstand Druckfeldneigung

$$V_{Rdc} = b \cdot z \cdot k_c \cdot f_{cd} \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$$

$$\rightarrow k_c = 0.55$$

Mindestquerkraftbewehrung

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_{quer} \cdot s_{längs}} > 0.001 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{30}} \cdot \frac{500}{f_{yk}} = 0.001 \cdot \sqrt{\frac{30}{30}} \cdot \frac{500}{500} = 0.1\%$$

$$\rightarrow \text{Wahl } \rho_w = 0.15\%$$

erforderliche Mindestquerkraftbewehrung

Die Teilung der Biegebewehrung wurde mit 150mm gewählt. Die Mindestbewehrung wird mit dieser Teilung oder einem ganzzahligen Vielfachen davon gewählt.

$$\text{Wahl: } s_{quer} = 300\text{mm} ; s_{längs} = \frac{1}{\sin(71^\circ)} \cdot 300\text{mm} = 317.3\text{mm}$$

$$a_{sw,min} = \frac{A_{sw,min}}{s_{quer} \cdot s_{längs}} = \rho_w \cdot \frac{1000^2 \text{mm}^2}{\text{m} \cdot \text{m}}$$

$$\Rightarrow A_{sw,min} = \rho_w \cdot \frac{1000^2 \text{mm}^2}{\text{m} \cdot \text{m}} \cdot s_{quer} \cdot s_{längs}$$

$$= 0.0015 \cdot 1000^2 \cdot 0.3 \cdot 0.3173 = 142.8\text{mm}^2$$

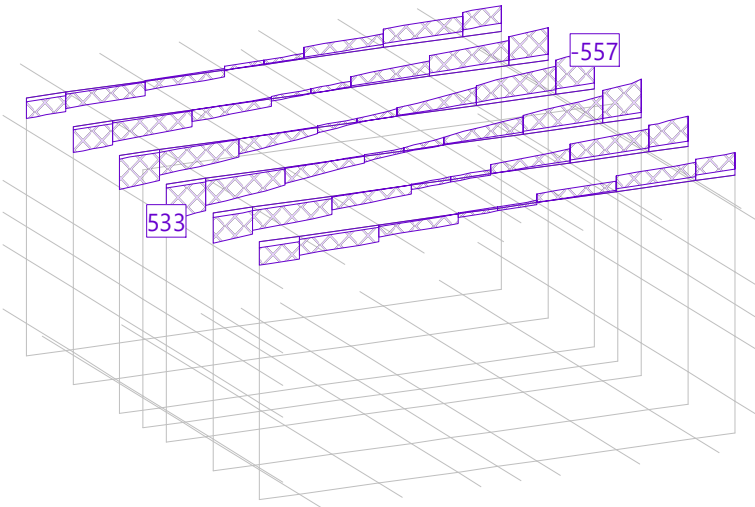
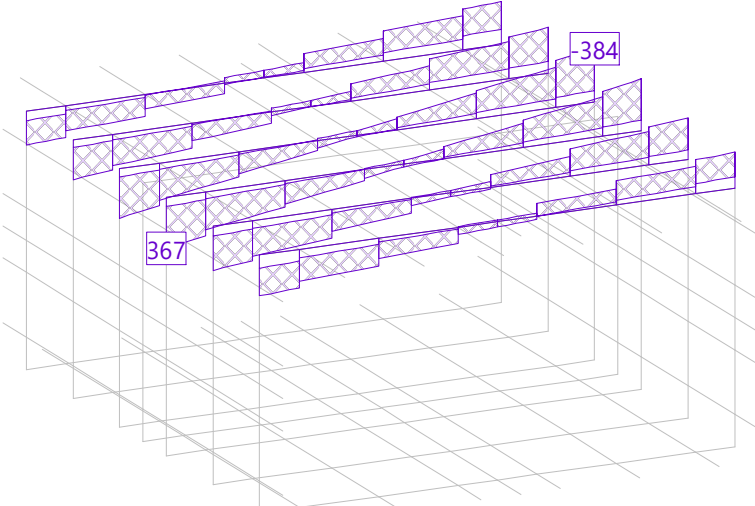
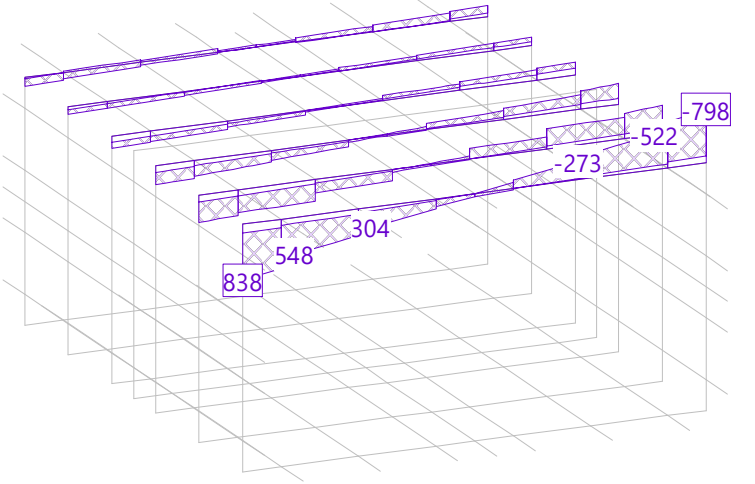
$$\Rightarrow \text{Wahl: } \varnothing 14 \Rightarrow A_{sw} = 154\text{mm}^2 > A_{sw,min} \Rightarrow \text{i.O.}$$

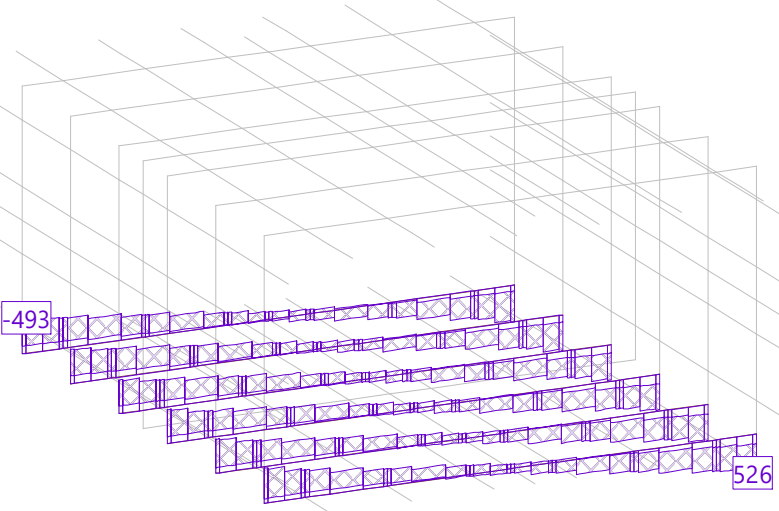
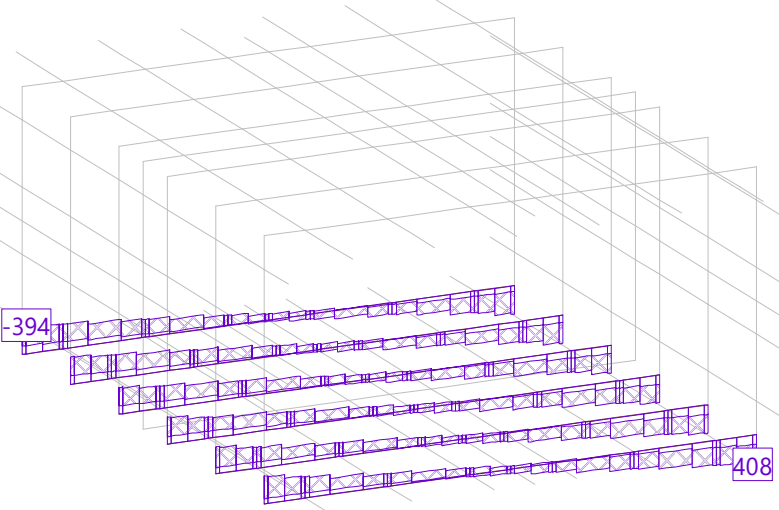
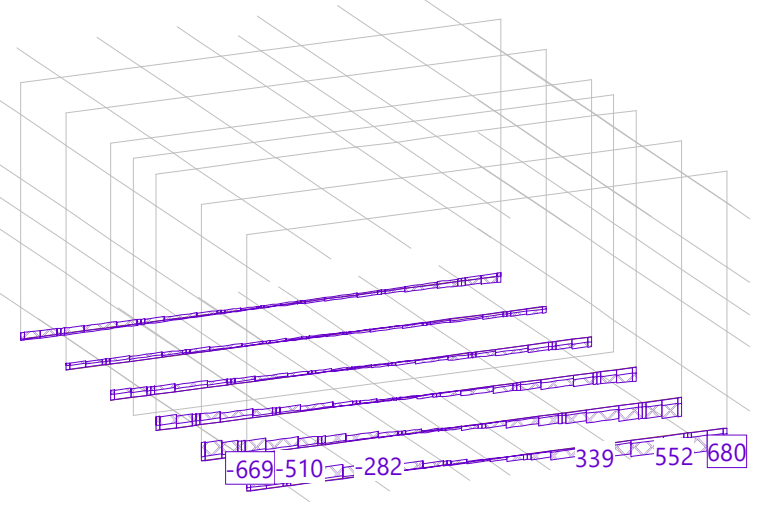
Querkraft (mit Querkraftbew.)

f_{yd}	435	[N/mm ²]
f_{cd}	20	[N/mm ²]
f_{ctm}	2.9	[N/mm ²]
k_c	0.55	[-]

Querkraftwiderstand mit Querkraftbewehrung

NS	Platten- stärke	Streifen- breite	Druckfeld neigung	Bewehrung				V_d	$V_{Rd,s}$	$V_{Rd,c}$	
[-]	z [mm]	b [mm]	α [°]	$\emptyset$ [mm]	s_{quer} [mm]	$s_{\text{längs}}$ [mm]	a_s [mm ² /m]	[kN]	[kN]	[kN]	
A1	357	950	33	14	300	317	1619	304	368	1704	i.O.
B1	357	950	33	14	300	159	3227	548	733	1704	i.O.
F1	357	950	33	14	300	159	3227	552	733	1704	i.O.
G1	357	950	33	14	300	317	1619	339	368	1704	i.O.

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: GZT-LM1, Teilsystem: LT-Decke  Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: GZT-LM3, Teilsystem: LT-Decke  Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: GZT-ELM, Teilsystem: LT-Decke 	Statik-9 - Rel. 261 (0) Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: GZT-LM1, Teilsystem: LT-BP  Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: GZT-LM3, Teilsystem: LT-BP  Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: GZT-ELM, Teilsystem: LT-BP 	Statik-9 - Rel. 261 (0) Nr.:

6.2.3 Randbord

Die Randborde werden nur als Auflast und somit nichttragend modelliert. Folglich ist keine Tragsicherheitsbemessung für andauernde und vorübergehende Bemessungssituationen durchzuführen.

Nichttragende Randborde sind allerdings für die Bemessungssituation Anprall zu bemessen. Gemäss „PAIngB V3.2“ sind nichttragende Randborde bei Neubauten mit Gesamtlänge über 10m angemessen Robust auszubilden und folglich auf Anprall zu bemessen. Da beim vorliegenden Bauwerk eine Gesamtlänge von 6.88m (AK Widerlager bis AK Widerlager) vorhanden ist, ist kein Anprallnachweis zu führen.

Die Randborde sind somit nur hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen.

6.2.4. Flügelwand / Wannenhände

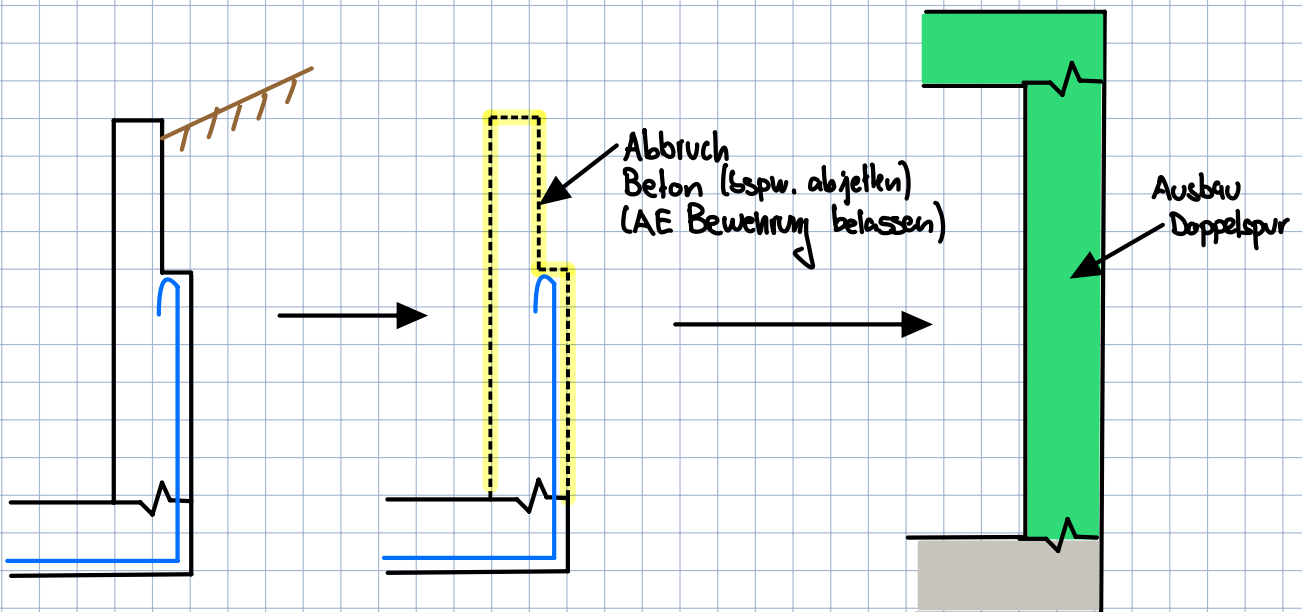
Im Bereich der „aufgedickten“ Bodenplatte wird der Anschluss BP/Wand gleich wie bei der PU ausgeführt, damit ein künftiger Gleisbau mit überschaubarem Aufwand möglich ist.

Es ist vorgesehen, bei einem künftigen Bau einer Doppelspur, die Unterführung zu verbreitern. Damit die Bodenplatte und die Anschlussbewehrung genügend stark ausgebildet ist, werden diese Bereiche gleich wie die Bauteile der Unterführung dimensioniert.

Weil zum heutigen Zeitpunkt unklar ist, auf welcher Seite (Ost oder West) ein künftiges zusätzliches Gleis erstellt wird, wird beidseitig eine mögliche Verbreiterung der Unterführung eingeplant.

Ausführung Projekt

Ausbau Doppelspur



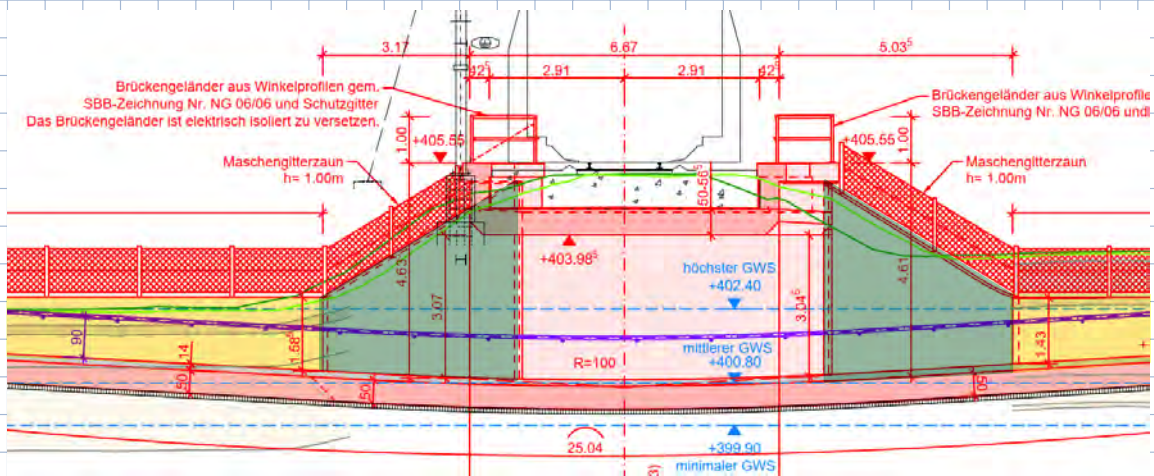
Nachweise

Die Flügelwände werden an unterschiedlichen Bereichen auf Biegung und Querkraft nachgewiesen. Dabei wird die positive Wirkung der Drucknormalkraft vernachlässigt.

Übersicht Nachweise

Im grün markierten Bereich wird nur verglichen, ob die geplante Bewehrung der PU ausreichend ist.

Im gelb markierten Bereich wird die Bewehrung bemessen



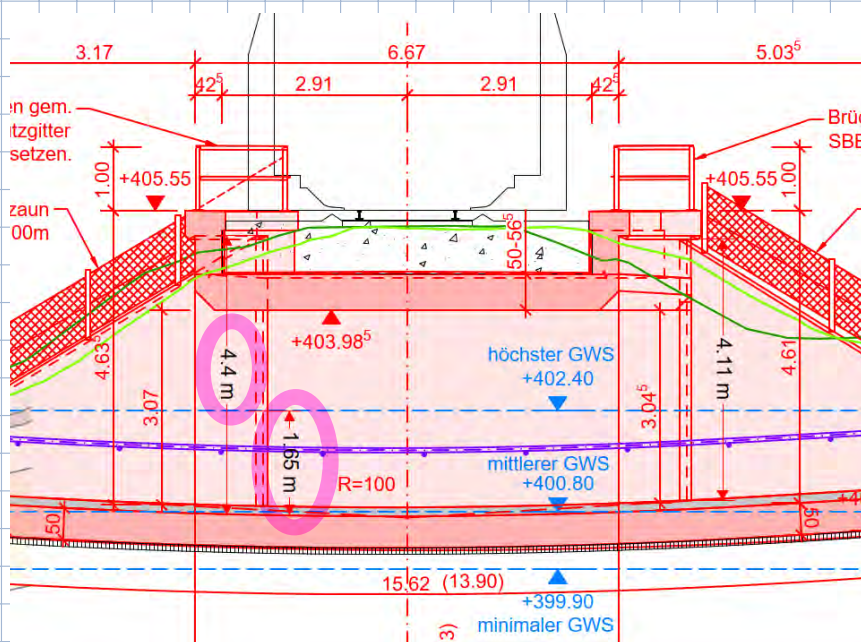
← Bereich (2) Bereich (1) →

← Bereich (1) Bereich (2) →

Bereich ①

Die Flügelwand, direkt angrenzend an die Unterführung, liegt grundsätzlich ausserhalb des Gleisbereichs. Folglich müsste kein Erddruck infolge Bahnlasten angesetzt. Als konservativer Ansatz wird dennoch eine gleichmässig verteilte vertikale Last von $q_k = 52 \text{ kN/m}^2$ angesetzt. Weiter wird das Modell mit der maximalen Höhe (direkt beim Anschluss zur Unterführung) modelliert, was wiederum äusserst konservativ ist.

Weil der Erddruck infolge Bahnlasten bereits den Verdichtungsdruck übersteigt, wird kein Verdichtungsdruck berücksichtigt. Weiter wird der Wasserdruk mit dem Erddruck superponiert, wobei für die Erddruckberechnung der positive wirkende Auftriebseffekt vernachlässigt wird.



$$\text{Höhe Modell: } 4.4\text{m} + \frac{\text{Dicke BP}}{2} = 4.65\text{m}$$

$$\text{Höhe Wasser: } 1.65\text{m} + \frac{\text{Dicke BP}}{2} = 1.9\text{m}$$

Biegenachweis (Flügelmauer)

f_{yd}	435	[N/mm ²]
f_{cd}	20	[N/mm ²]
f_{ctm}	2.9	[N/mm ²]
k_c	1	[-]

Biege­wider­stand und Bewehrung

NS	Platten­ stärke	Streifen­ breite	Bewehrungs­ überdeckung	N_d	M_d	kt	$f_{ct,eff}$	M_r	Bewehrung			Zulagen				d_{stat}	x_d	x	z	M_{Rd}	Bemerkung
[-]	h [mm]	b [mm]	c_{nom} [mm]	[kN]	[kNm]	[-]	[N/mm ²]	[kNm]	$\varnothing$ [mm]	t [mm]	a_s [mm ² /m]	$\varnothing$ [mm]	t [mm]	a_s [mm ² /m]	$a_{s,tot}$ [mm ² /m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kNm]	
Bereich 1	500	1000	55	0	614	0.923	2.68	112	30	150	4712	0	0	0	4712	430	102	121	379	776	i.O.

Querkraft (Flügelmauer)

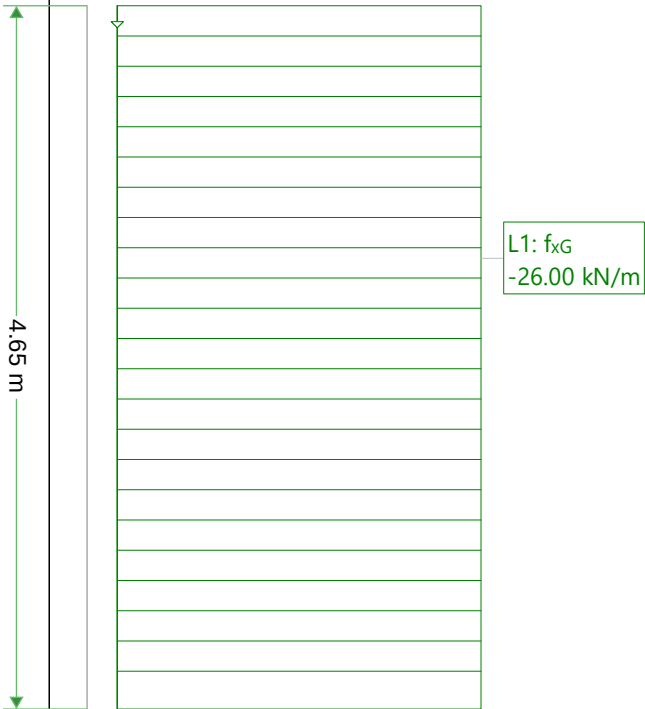
f_{yd}	435	[N/mm ²]
E_s	200000	[N/mm ²]
f_{ck}	30	[N/mm ²]
f_{cd}	20	[N/mm ²]
f_{ctm}	2.9	[N/mm ²]
τ_{cd}	1.1	[N/mm ²]
k_c	1	[-]
D_{max}	32	[mm]

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

NS	Platten- stärke	Streifen- breite	Bewehrungs- überdeckung	Bewehrung	d	M _d	M _{Rd}	ϵ_v	k _g	k _d	V _d	V _{Rd}	Bemerkung
[-]	h [mm]	b [mm]	c _{nom} [mm]	ø [mm]	[mm]	[kNm]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	
E3	500	1000	55	30	430	480	776	0.001345	1.2	0.590247	274	279	i.O.

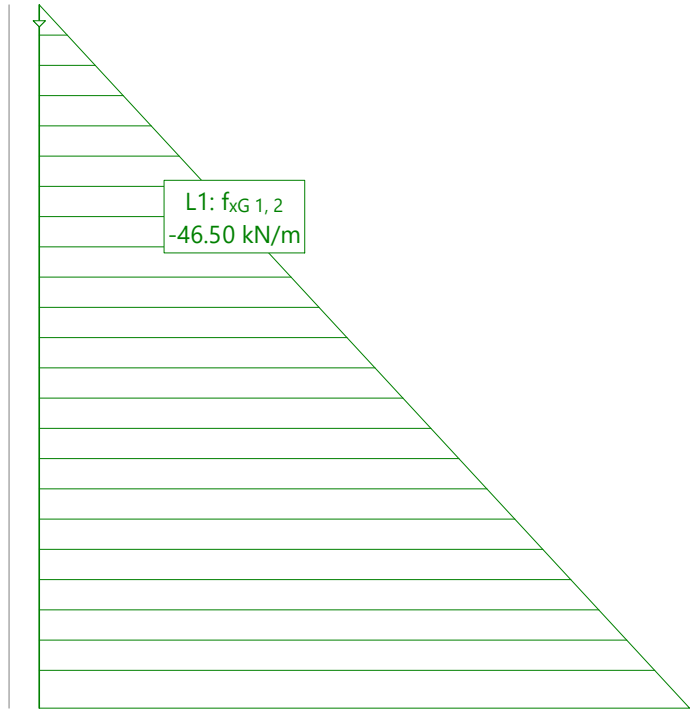
Belastung B61: Erddruck Bahn

Mstb. 1 :50.0



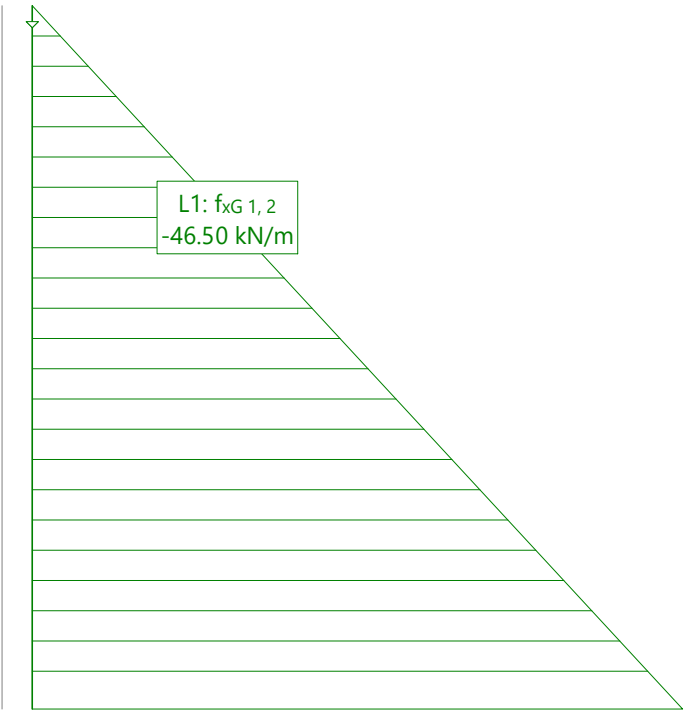
Belastung B02: Erddruck

Mstb. 1 :50.0



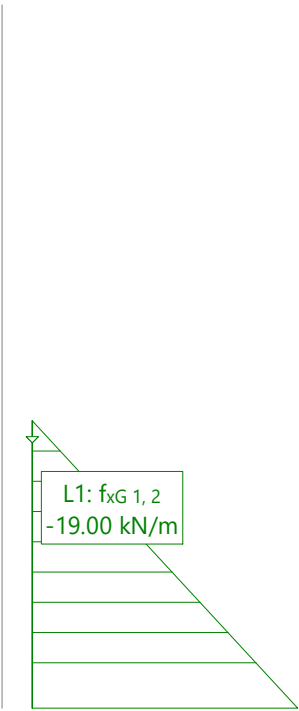
Belastung B02: Erddruck

Mstb. 1 :50.0



Belastung B05: Wasserdruck

Mstb. 1 :50.0



34947 PU ARA-Eulenweg Flügelwand		Seite	
		28.04.26, 15:08	
Bänziger Partner AG		d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)

Grenzwertspezifikation: !GZT

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen			
			1	2	3	4
1	Eigenlast	1	1.35	1.35	0.8	0.8
2	Erddruck ständig	1	1.35	1.35	0.7	0.7
3	Erddruck veränderlich	1	1.35	0.7	1.35	0.7
4	Wasserdruck veränderlich	1	0.7	1.2	0.7	1.2

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

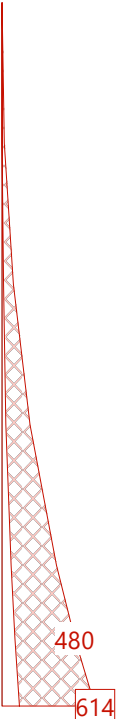
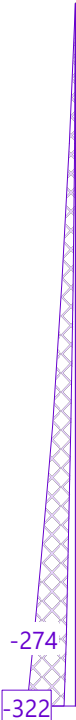
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation !GZT

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Erddruck ständig		ständig		B02 Erddruck	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		B61 Erddruck Bahn	1.000	
Wasserdruck veränderl		wo massgebend		B05 Wasserdruck	1.000	

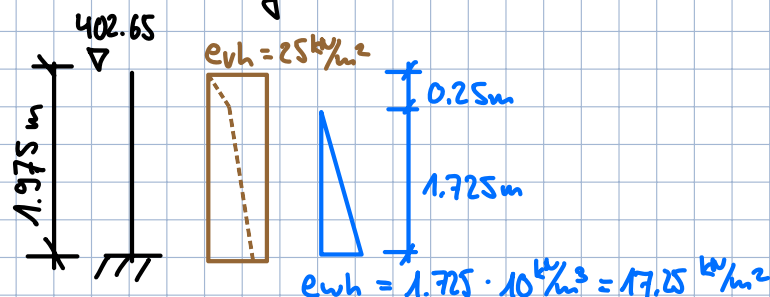
Alt : Alternative Überlagerung

Nr.:

34947 PU ARA-Eulenweg Flügelwand		Seite
		28.04.26, 15:08
Bänziger Partner AG	d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: !GZT Mstb. 1 :50.0 		
Schnittkraftgrenzwerte V_z [kN] für: !GZT Mstb. 1 :50.0 		
		Nr.:

Bereich ②

Der Hinterfüllungsdruck wird mit 25 kN/m^2 (Nachgiebigkeit Wand gering) angesetzt. Weiter wird der Wasserdruck auf die maximal mögliche Stauhöhe (402.40 m.ü.M.) angesetzt, bei der die Flutung der PU einsetzt. Zusätzliche vertikale veränderliche Lasten (Nutzlast, Schnee, etc.) werden nicht angesetzt, weil diese den Hinterfüllungsdruck nicht übersteigen und somit nicht auf das Bauteil wirken. Für die Erdruckberechnung wird die positive wirkende Auftriebseffekt vernachlässigt



$$m_{d,max} = \frac{1.975^2 \cdot e_{vh} \cdot 1.35}{2} + \frac{1.725^2 \cdot e_{wh} \cdot 1.2}{2 \cdot 3} = 76.1 \text{ kN/m}$$

→ Bewehrungswahl: $\varnothing 12/150 \rightarrow a_s = 754 \text{ mm}^2/\text{m}$

$$d = 300 - 40 - 12/2 = 254 \text{ mm}$$

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot 1000 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 0.85} = 16.4 \text{ mm} < 0.35 \cdot d = 88.9 \text{ mm}$$

$$m_{rel} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.425x) = 81 \text{ kN/m} > m_d = 76.1 \text{ kN/m} \quad \text{i.O.}$$

$$V_{d,max} = 1.975 \cdot e_{vh} \cdot 1.35 + \frac{1.725 \cdot e_{wh} \cdot 1.2}{2} = 84.5 \text{ kN/m}$$

$$k_g = \frac{48}{16 + D_{max} \cdot \min\{1; (\frac{60}{f_{ctk}})^2\}} \geq 1.2 \rightarrow k_g = 1.2$$

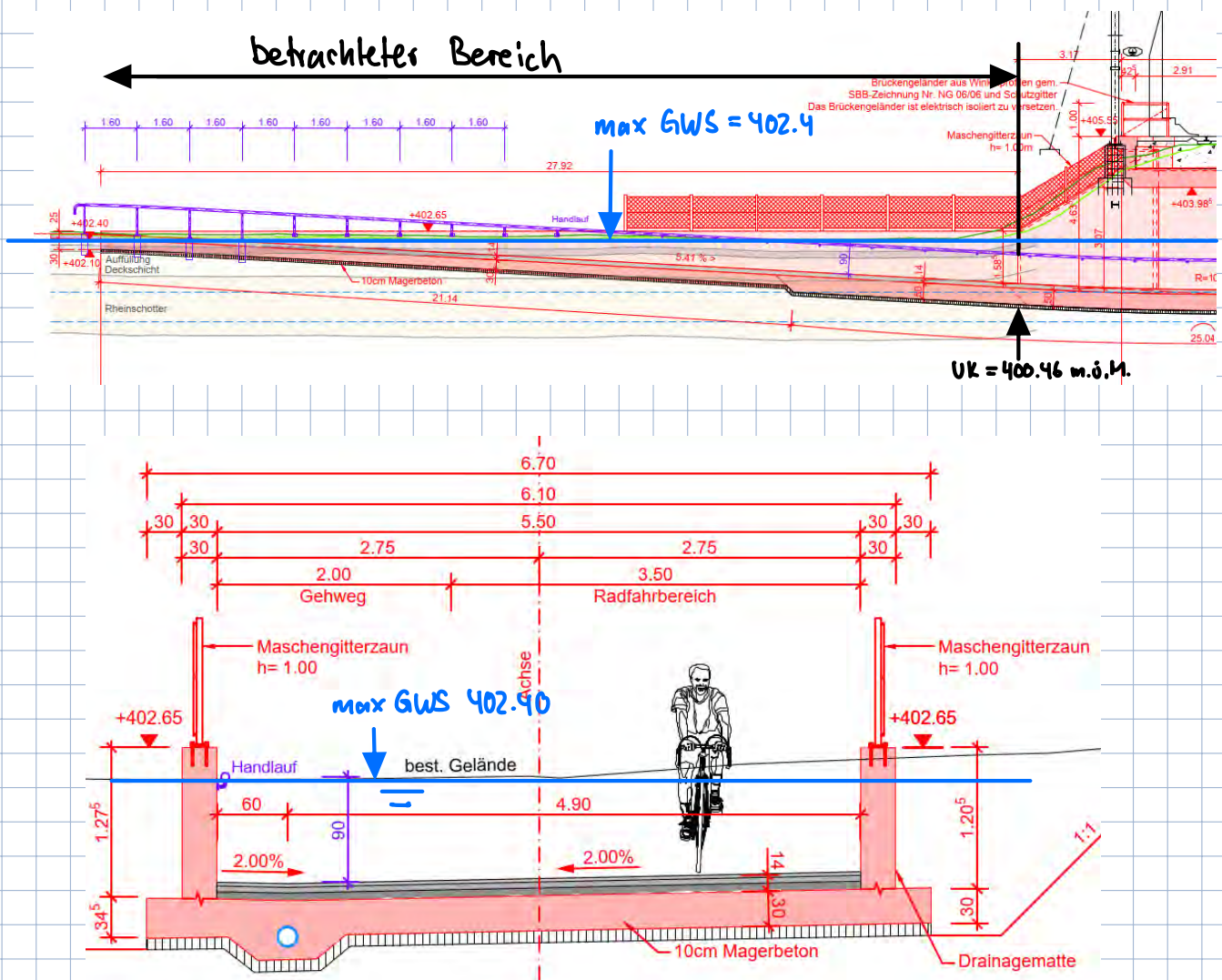
$$k_d(\text{NS1}) = \frac{1}{1 + \frac{f_{yd}}{E_s} \cdot d \cdot k_g} = 0.601 \rightarrow V_{Rd} = k_d \cdot \tau_{cd} \cdot d_v = 168 \text{ kN/m}$$

$$> V_{d,max} = 84.5 \text{ kN/m} \quad \text{i.O.}$$

Beim restlichen Teil der Rampe sind die seitlichen Stützwände tiefer als die im Bereich (2) bemessene Höhe. Die AE BP/Stützwand werden über den restlichen Rampenbereich gleich wie im Bereich (2) erstellt. Der Nachweis ist somit implizit erbracht.

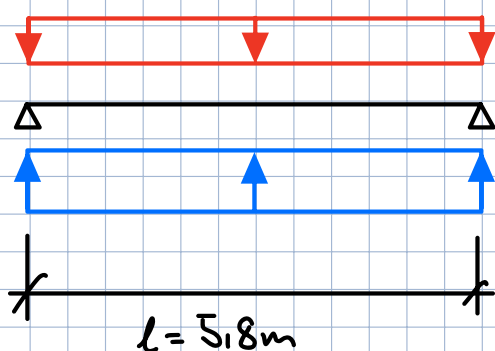
6.2.5. Bodenplatte Rampe

Die Bodenplatte wird flach fundiert. Vertikale Nutz- und Schneelasten haben einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Bodenplatte. Die Nachweise beschränken sich daher auf die Auftriebssicherheit und einen konservativen Ansatz des Wasserdrucks. Der Nachweis wird an der tiefsten Stelle mit der dünnsten Bodenplatte (30cm) geführt. Der Umstand, dass die Bodenplatte an der tiefsten Stelle 50cm dick ist, wird auf der konservativen Seite liegend vernachlässigt.



Innere Tragsicherheit Bodenplatte Rampe (GZT 2)

Die innere Tragsicherheit der BP Rampe wird beim Anschluss an die Flügelmauern geführt (siehe Längsschnitt Rampe)
Es wird ein vereinfachtes konservatives Modell betrachtet.



$$g_k = 0,3 \cdot 25 + 0,14 \cdot 24 = 10,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k = (402,4 - 400,46) \cdot 10 = 19,9 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = w_k \cdot 1,2 - g_k \cdot 0,8 = 14,6 \text{ kN/m}^2$$

$$m_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{14,6 \cdot 5,8^2}{8} = 61,4 \text{ kNm/m}$$

Bewehrung: $\varnothing 14/150 \rightarrow a_s = 1030 \text{ mm}^2/\text{m}$ (siehe Bemessung Gebrauchstauglichkeit)

$$d = 300 - 40 - 14 - 14/2 = 239 \text{ mm}$$

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot 1000 \text{ mm}^2 \cdot 0,85} = 26,4 \text{ mm} < 0,35 \cdot d = 83,7 \text{ mm}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,425 \cdot x) = 102,1 \text{ kNm/m} > m_d = 61,4 \text{ kNm/m} \Rightarrow \text{i.O.}$$

$$v_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = 42,3 \text{ kN/m}$$

$$k_g = \frac{1}{16 + D_{\max} \cdot \min\{1; (\frac{60}{f_{ctk}})^2\}} \geq 1,2 \rightarrow k_g = 1,2$$

$$k_d(v_{s1}) = \frac{1}{1 + \frac{f_{yd}}{E_s} \cdot d \cdot k_g} = 0,616 \rightarrow v_{Rd} = k_d \cdot \tau_{cd} \cdot d \cdot v = 161,9 \text{ kN/m}$$

$$> v_{d\max} = 42,3 \text{ kN/m} \Rightarrow \text{i.O.}$$

6.2.6 Masken

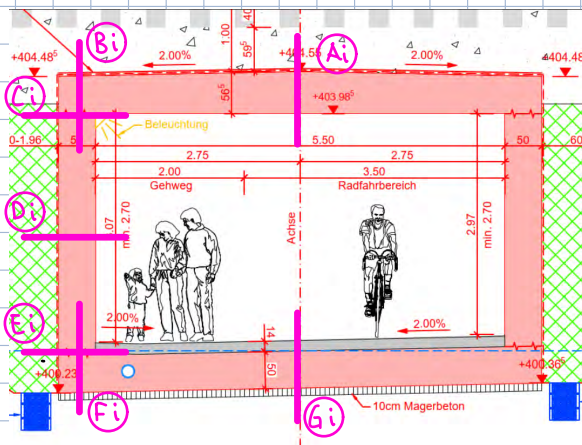
siehe separates Dokument
"112-0059.005A statische Berechnungen FL-
Fundamente"

6.3 Nachweise Ermüdungssicherheit Typ 4

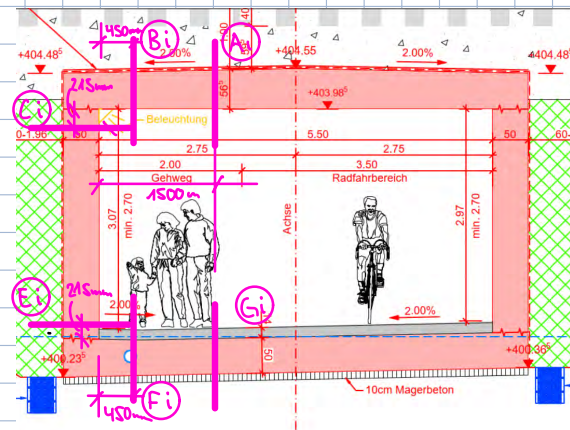
Der Nachweis der Ermüdung geschieht über einen Vergleich der Spannungen zwischen den Lastfällen „quasi-ständig“ und „Ermüdung“.

Die Ermüdungsnachweise der Biegung und Querkraft werden an den gleichen Nachweisschnitten wie die Tragsicherheitsnachweise Typ 2 geführt

NS - Biegung



NS - Querkraft



6.3.1 Nachweistführung Biegung

- Dauerfestigkeit der Bewehrung für Nachweisschnitt Bi, Ci, Ei, Fi

$$k_{\sigma} = 0.35 + 0.026 \cdot \frac{d_1}{\sigma_s} = 0.35 + 0.026 \cdot \frac{15 \cdot \sigma_s}{\sigma_s} = 0.74$$

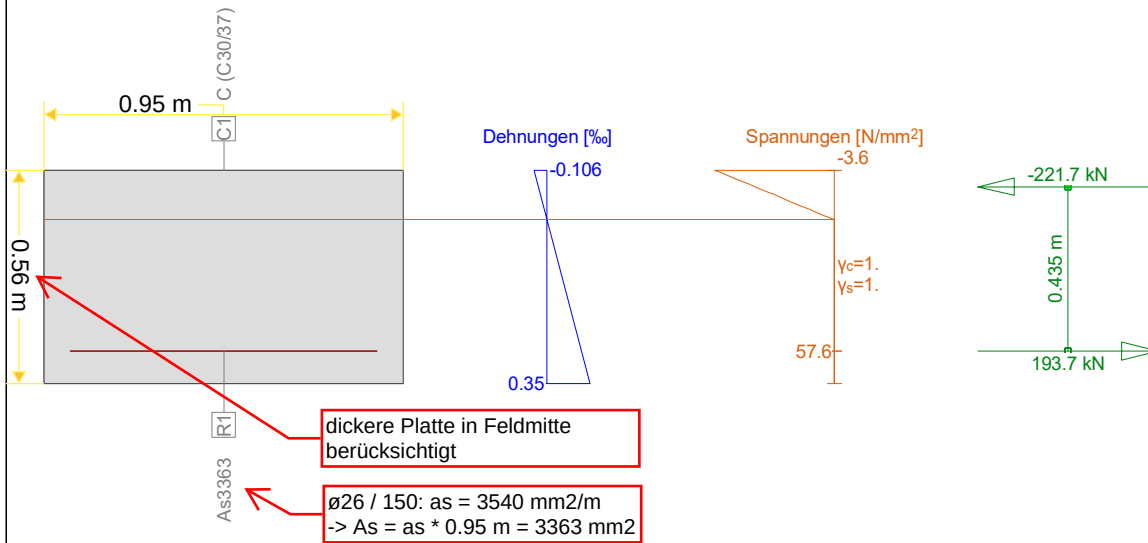
$$\Delta \sigma_{sd}(\sigma_{fat}) \leq \Delta \sigma_{sd,D} \approx 0.8 \cdot k_{\sigma} \cdot \Delta \sigma_{sd,fat} \begin{cases} \text{für } \sigma_s \leq 20 \text{ mm} : \Delta \sigma_{sd,D} = 85,8 \text{ N/mm}^2 \\ \text{für } \sigma_s > 20 \text{ mm} : \Delta \sigma_{sd,D} = 71,0 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

- Dauerfestigkeit der Bewehrung für Nachweisschnitt Ai, Di, Gi

$$\Delta \sigma_{sd}(\sigma_{fat}) \leq \Delta \sigma_{sd,D} \approx 0.8 \cdot \Delta \sigma_{sd,fat} \begin{cases} \text{für } \sigma_s \leq 20 \text{ mm} : \Delta \sigma_{sd,D} = 116 \text{ N/mm}^2 \\ \text{für } \sigma_s > 20 \text{ mm} : \Delta \sigma_{sd,D} = 96 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

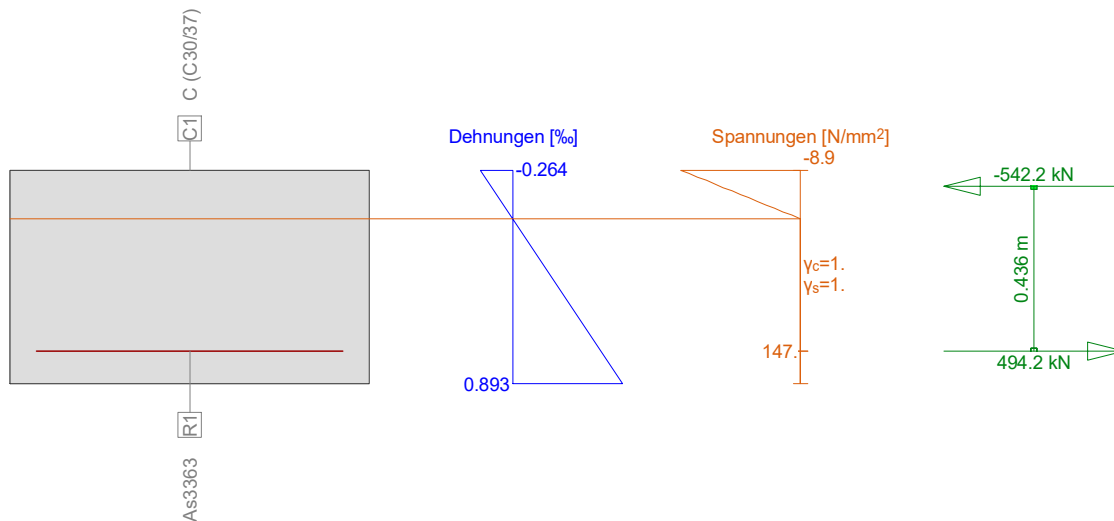
Querschnitt AI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-28.0$; $M_y=91.0$;

Mstb. 1 :20.0



Querschnitt AI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-48.0$; $M_y=227.0$;

Mstb. 1 :20.0

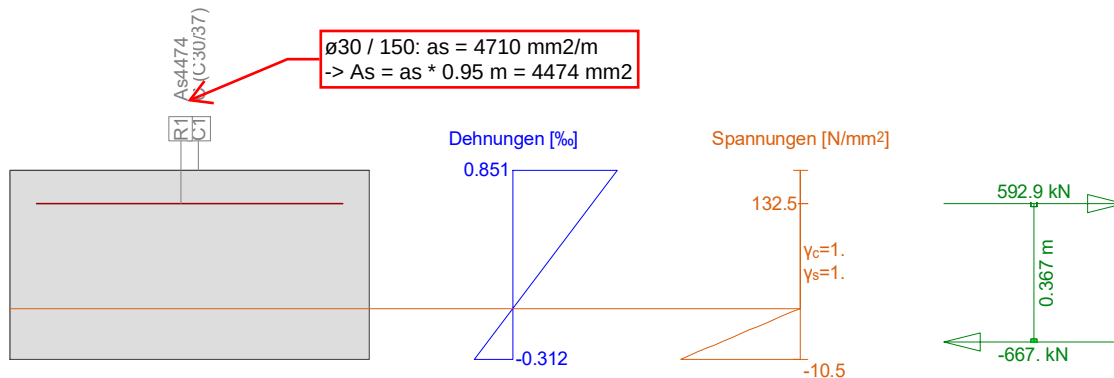


Nachweisschnitt A3:

$$\Delta\sigma_{sd(Qfat)} = 147 - 57.6 = 89.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{sd,D} = 96 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

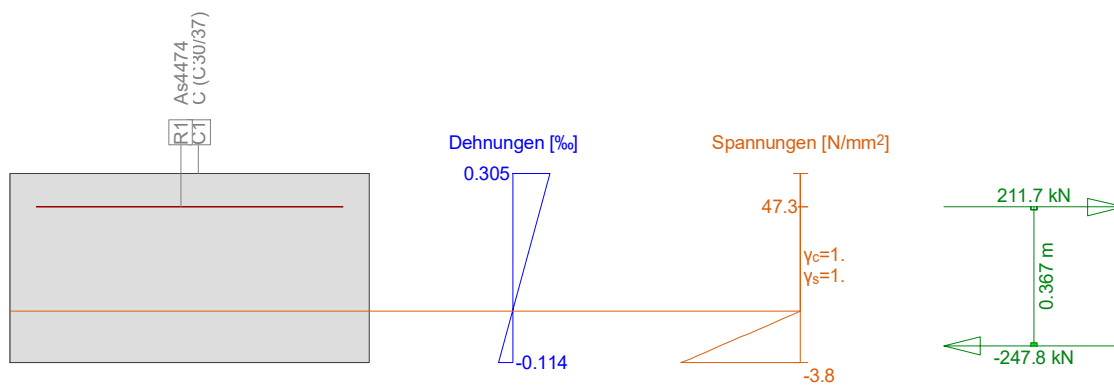
Querschnitt BI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-74.0$; $M_y=-233.0$;

Mstb. 1 :20.0



Querschnitt BI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-36.0$; $M_y=-85.0$;

Mstb. 1 :20.0



Nachweisschnitt B3:

$$\Delta\sigma_{sd(Qfat)} = 132.5 - 47.3 = 85.2 \text{ N/mm}^2 > \Delta\sigma_{sd,D} = 71 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis nicht i.O.}$$

Abbiegedurchmesser auf $21 \cdot \phi_s$ erhöht:

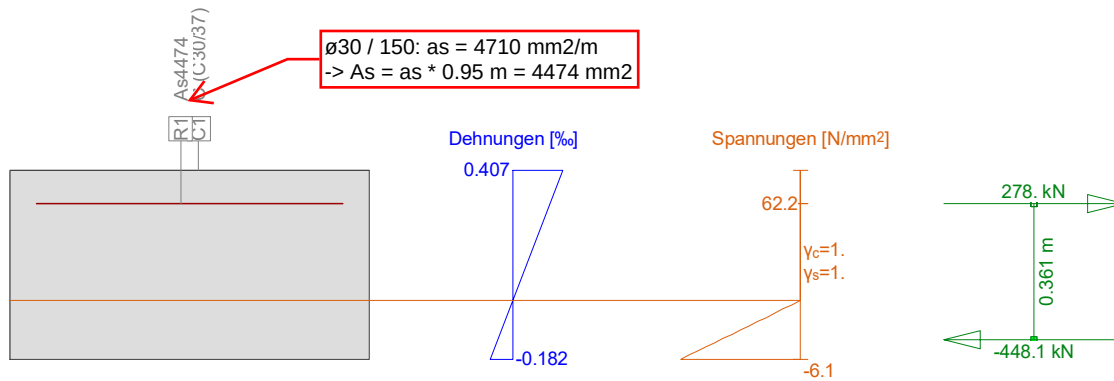
$$k\phi = 0.35 + 0.026 \cdot 21 = 0.9$$

$$\Delta\sigma_{sd,D} = 0.8 \cdot k\phi \cdot \Delta\sigma_{sd,fat} = 0.8 \cdot 0.9 \cdot 120 = 86 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{sd(Qfat)} = 132.5 - 47.3 = 85.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{sd,D} = 86 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

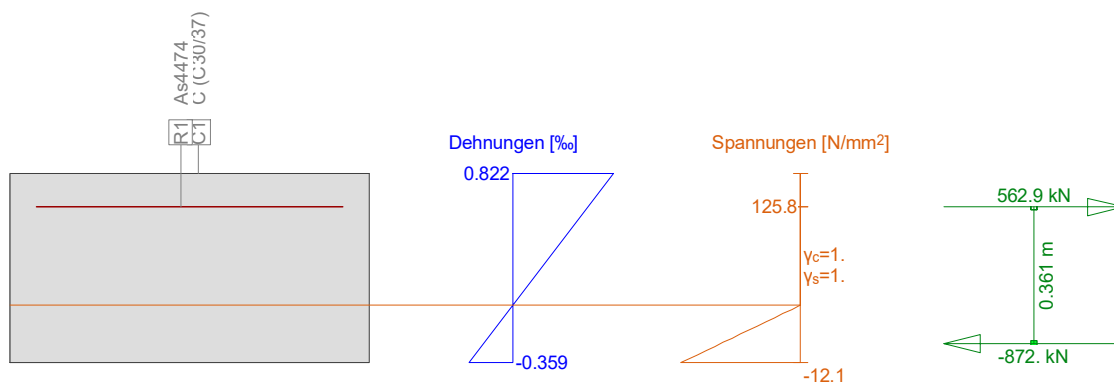
Querschnitt EI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-170.0$; $M_y=-134.0$;

Mstb. 1 :20.0



Querschnitt EI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-309.0$; $M_y=-265.0$;

Mstb. 1 :20.0

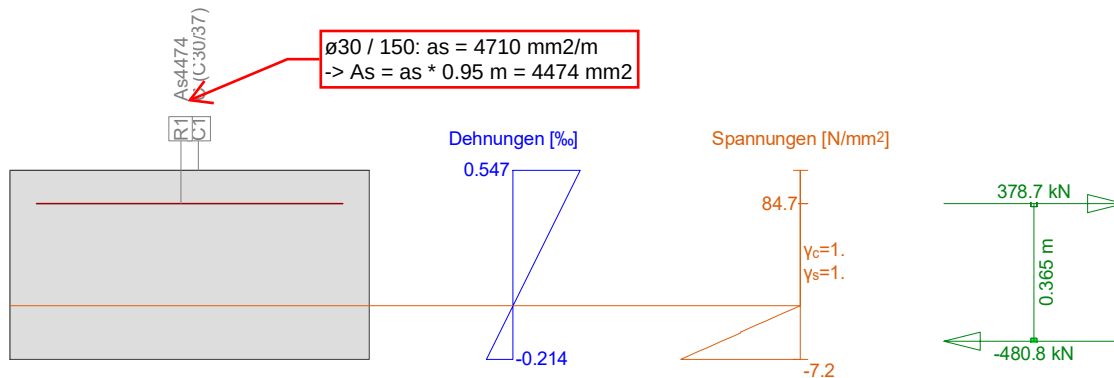


Nachweisschnitt E1:

$$\Delta\sigma_{sd(Qfat)} = 125.8 - 62.2 = 63.6 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{sd,D} = 71 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

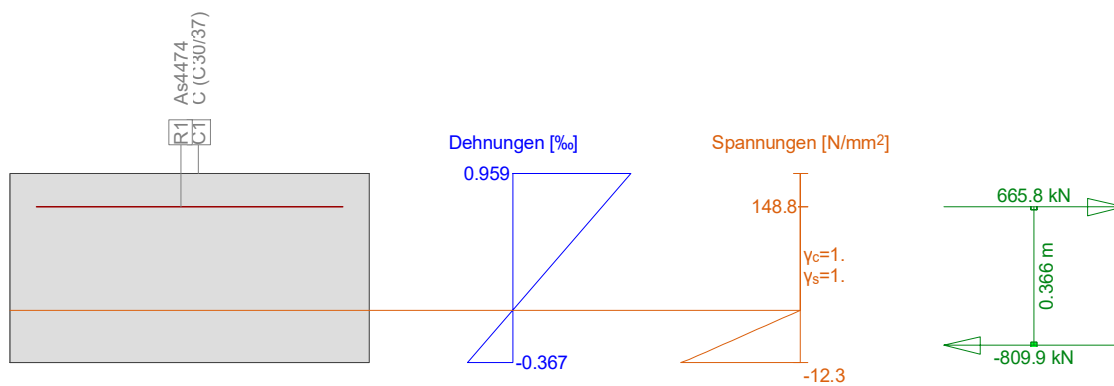
Querschnitt FI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-102.0$; $M_y=-159.0$;

Mstb. 1 :20.0



Querschnitt FI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-144.0$; $M_y=-273.0$;

Mstb. 1 :20.0

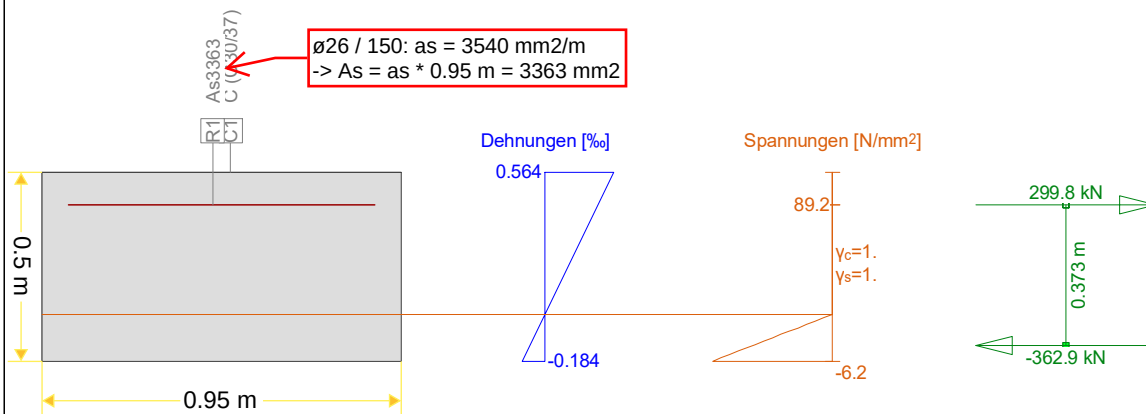


Nachweisschnitt F1:

$$\Delta\sigma_{sd(Qfat)} = 148.8 - 84.7 = 64.1 \text{ N/mm}^2 > \Delta\sigma_{sd,D} = 71 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

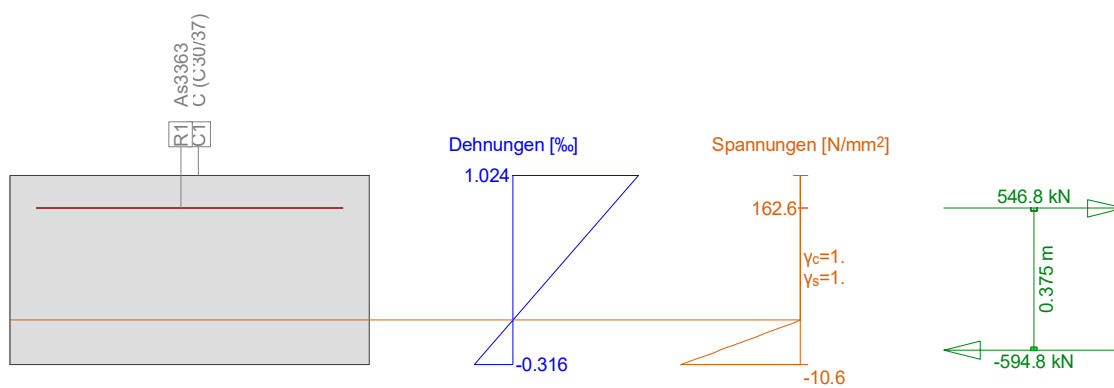
Querschnitt GI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-63.0$; $M_y=-125.0$;

Mstb. 1 :20.0



Querschnitt GI-500X950-ERM (C30/37;B500B): Spannungsanalyse mit Kräften $N_x=-48.0$; $M_y=-215.0$;

Mstb. 1 :20.0



Nachweisschnitt G1:

$$\Delta\sigma_{sd}(Q_{fat}) = 162.2 - 89.2 = 73 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{sd,D} = 96 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

- Ermüdung Biegedruckzone

$$|\sigma_{cd}|_{\max} < \underbrace{0.5 \cdot k_c \cdot f_{cd}} + 0.45 \cdot |\sigma_{cd}|_{\min} < \underbrace{0.9 \cdot k_c \cdot f_{cd}}$$

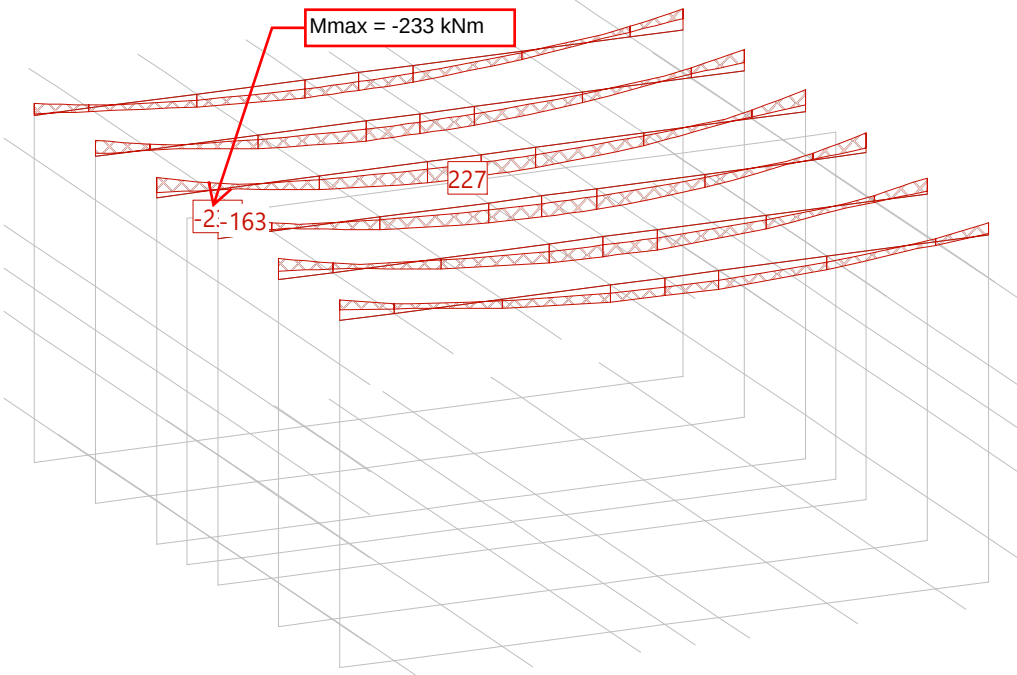
$$0.5 \cdot 1.0 \cdot 20 = 10 \text{ N/mm}^2$$

$$0.9 \cdot 1.0 \cdot 20 = 18 \text{ N/mm}^2$$

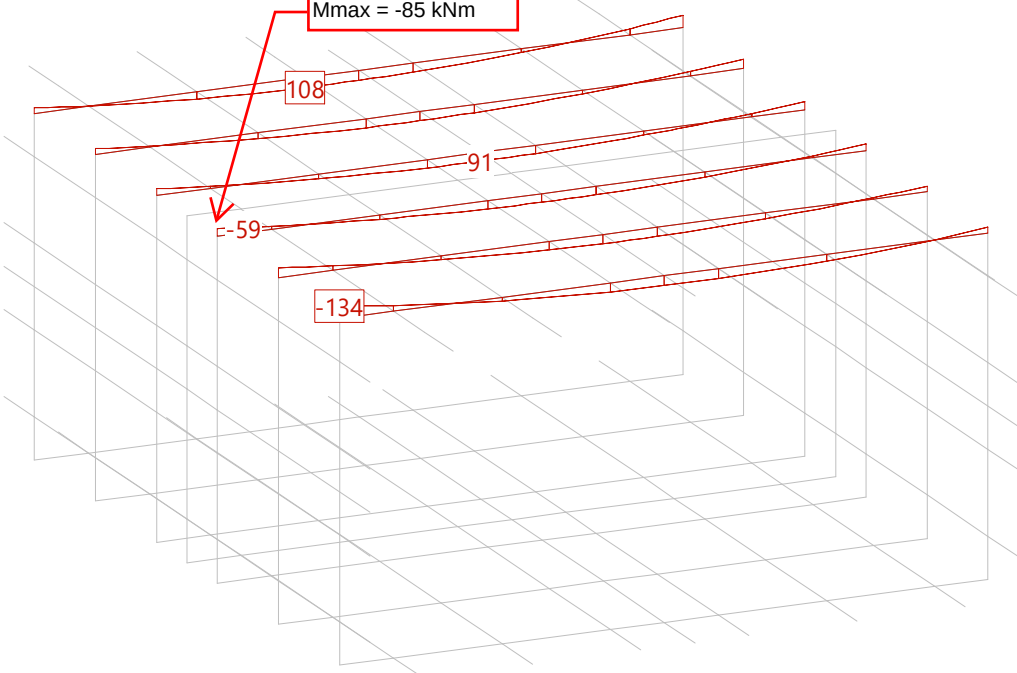
NS	$ \sigma_{cd} _{\max}$	$0.5 \cdot k_c \cdot f_{cd} + 0.45 \cdot \sigma_{cd} _{\min}$	$0.9 \cdot k_c \cdot f_{cd}$	
A3	8.9	$10 + 0.45 \cdot 3.6 = 11.6$	18	i.O.
B3	8.1	$10 + 0.45 \cdot 3.8 = 11.7$	18	i.O.
E1	12.1	$10 + 0.45 \cdot 6.1 = 12.7$	18	i.O.
F1	12.3	$10 + 0.45 \cdot 7.2 = 13.2$	18	i.O.
G1	10.6	$10 + 0.45 \cdot 6.2 = 12.8$	18	i.O.

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
		24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG	d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)

Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: Erm-max, Teilsystem: LT-Decke



Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: ERm-min, Teilsystem: LT-Decke



Nr.:

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT M_y

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: ERM-min

Stab	EI	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	$M_{y_{min}}$ $M_{y_{max}}$ [kNm]	Mz [kNm]
S_192	1	1	0.394	-28	0	1	0	91	0
				-28	0	1	0	91	0
S_193	1	1	0.000	-36	0	107	0	-85	0
		1		-36	0	107	0	-85	0
		1	0.250	-36	0	100	0	-59	0
		1		-36	0	100	0	-59	0

EI : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT M_y

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: Erm-max

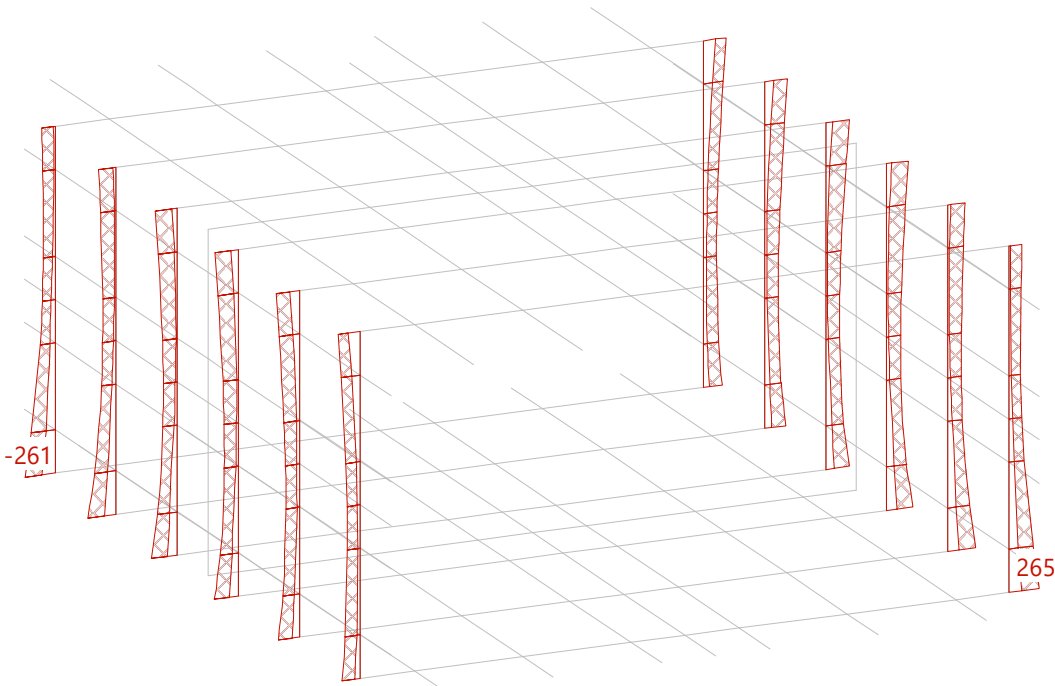
Stab	EI	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	$M_{y_{min}}$ $M_{y_{max}}$ [kNm]	Mz [kNm]
S_192	1	1	0.394	-74	0	-1	0	85	0
				-48	0	1	0	227	0
S_193	1	1	0.000	-74	0	309	0	-233	0
		1		-72	0	104	0	-72	0
		1	0.250	-74	0	255	0	-163	0
		1		-72	0	97	0	-47	0

EI : Stabelement

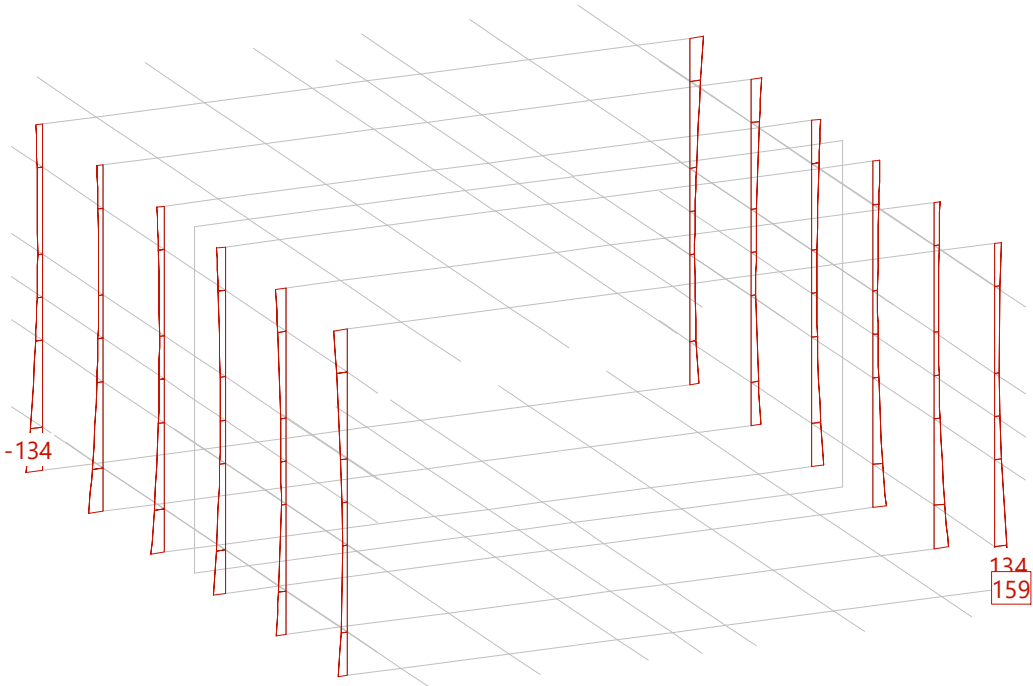
EK : massgebende Einwirkungskombination

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
Bänziger Partner AG		24.04.26, 17:35
d.mettler		Statik-9 - Rel. 261 (0)

Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: Erm-max, Teilsystem: LT-WL



Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: ERm-min, Teilsystem: LT-WL



		Nr.:
--	--	------

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT My

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: ERM-min

Stab	EI	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	My _{min} My _{max} [kNm]	Mz [kNm]
S_18	1	1 1	0.250	-170 -170	3 3	94 94	0 0	<u>-134</u> -134	0 0
S_155	1	1 1	0.250	-170 -170	-3 -3	-94 -94	0 0	<u>134</u> 134	-0 -0

EI : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT My

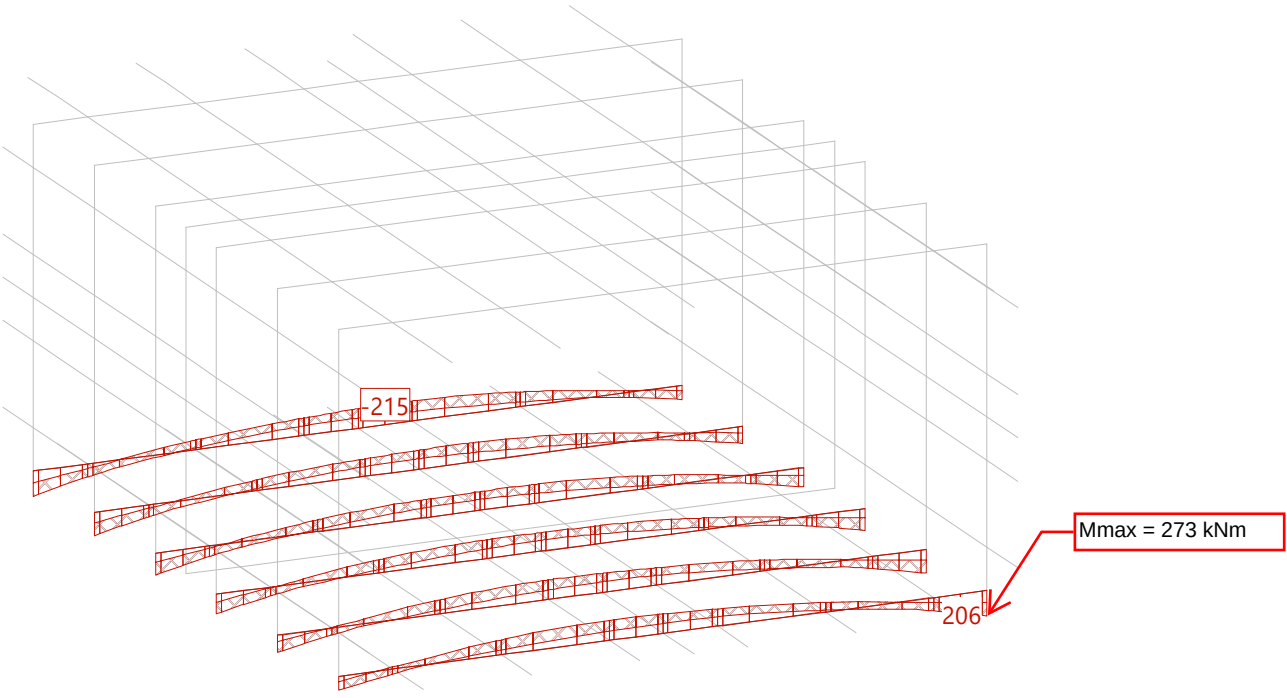
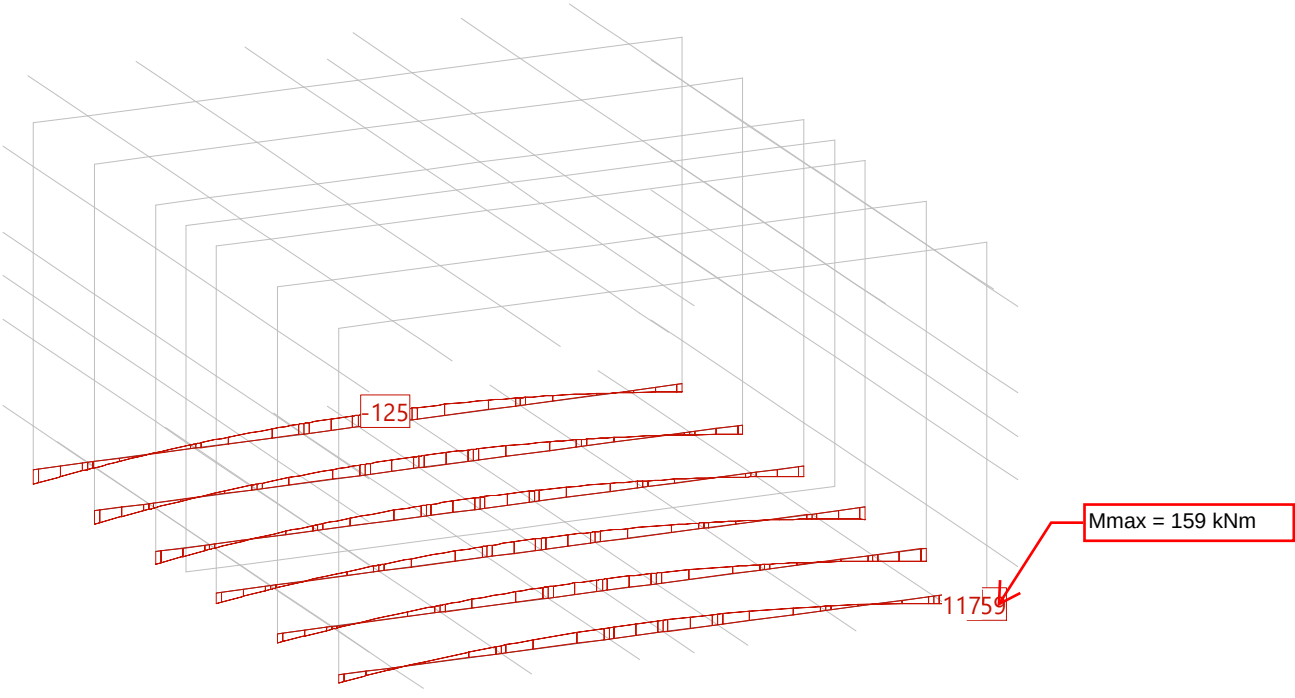
und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: Erm-max

Stab	EI	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	My _{min} My _{max} [kNm]	Mz [kNm]
S_18	1	1 1	0.250	-304 -166	3 3	133 80	0 0	<u>-261</u> -107	0 0
S_155	1	1 1	0.250	-165 -309	-3 -3	-81 -136	0 0	108 <u>265</u>	-0 -0

EI : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: Erm-max-BP, Teilsystem: LT-BP  Schnittkraftgrenzwerte My [kNm] für: ERm-min, Teilsystem: LT-BP 	
	Nr.:

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT M_y

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: ERM-min

Stab	EI	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	$M_{y_{min}}$ $M_{y_{max}}$ [kNm]	Mz [kNm]
S_80	2	1	0.262	-63	0	-8	-0	-125	0
		1		-63	0	-8	-0	-125	0
S_241	3	1	0.270	-102	0	169	-0	117	-0
		1		-102	0	169	-0	117	-0
	4	1	0.520	-102	-0	173	-0	159	-0
		1		-102	-0	173	-0	159	-0

EI : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

GRENZWERTE SCHNITTKRAFT M_y

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: Erm-max-BP

Stab	EI	EK	Distanz [m]	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	$M_{y_{min}}$ $M_{y_{max}}$ [kNm]	Mz [kNm]
S_80	2	1	0.262	-48	0	-27	-0	-215	0
		1		-80	0	8	-0	-105	0
S_241	3	1	0.270	-89	0	163	-0	88	-0
		1		-144	0	264	-0	206	-0
	4	1	0.520	-89	-0	168	0	129	-0
		1		-144	-0	270	-0	273	-0

EI : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

6.3.2. Nachweisführung Querkraft

ohne Querkraftbewehrung

$$\frac{V_{d,min}}{V_{d,max}} \geq 0: |V_d|_{max} \leq 0.5 \cdot V_{Rd} + 0.45 \cdot |V_d|_{min} \leq 0.9 \cdot V_{Rd}$$

$$\frac{V_{d,min}}{V_{d,max}} < 0: |V_d|_{max} \leq 0.5 \cdot V_{Rd} - |V_d|_{min}$$

V_{Rd} wird mit den Schnittkräften der Grenzwertspezifikation E_{Rm-max} berechnet. Dazu wird für V_{max} die dazugehörigen Normalkräfte und daraus der Biegewiderstand berechnet. Mit dem berechneten Biegewiderstand wird anschließend V_{Rd} berechnet, wobei das maximale einwirkende Biegemoment ebenfalls als dazugehörige Schnittkraft bei V_{max} eingesetzt wird.

Biegnachweis für QK-NS (Erm)

f_{yd}	435	[N/mm ²]
f_{cd}	20	[N/mm ²]
f_{ctm}	2.9	[N/mm ²]
k_c	1	[-]

Biege­wider­stand und Bewehrung

NS	Platten­ stärke	Streifen­ breite	Bewehrungs­ überdeckung	N_d	M_d	kt	$f_{ct,eff}$	M_r	Bewehrung			Zulagen				d_{stat}	x_d	x	z	M_{Rd}	Bemerkung
[-]	h [mm]	b [mm]	c_{nom} [mm]	[kN]	[kNm]	[-]	[N/mm ²]	[kNm]	$\varnothing$ [mm]	t [mm]	a_s [mm ² /m]	$\varnothing$ [mm]	t [mm]	a_s [mm ² /m]	$a_{s,tot}$ [mm ² /m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kNm]	
E3	500	950	40	-157	-116	0.923	2.68	106	30	150	4712	0	0	0	4712	445	111	130	390	789	i.O.

für Berechnung
Querkraftwiderstand

Querkraft o. Querkraftb. (Erm)

f_{yd}	435	[N/mm ²]
E_s	200000	[N/mm ²]
f_{ck}	30	[N/mm ²]
f_{cd}	20	[N/mm ²]
f_{ctm}	2.9	[N/mm ²]
τ_{cd}	1.1	[N/mm ²]
k_c	1	[-]
D_{max}	32	[mm]

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung (für Ermüdung)

NS	Platten- stärke	Streifen- breite	Bewehrungs- überdeckung	Bewehrung	d	M_d	M_{Rd}	ε_v	k_g	k_d	V_d	V_{Rd}	Bemerkung
[-]	h [mm]	b [mm]	c_{nom} [mm]	ϕ [mm]	[mm]	[kNm]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	
E3	500	950	55	30	430	-116	789	0.00032	1.2	0.858367	132	386	i.O.

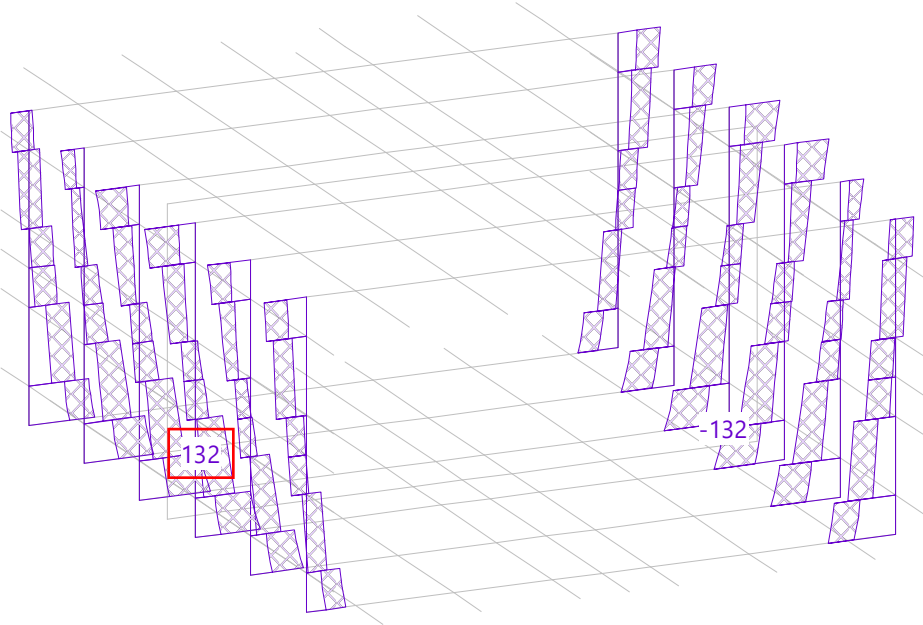
für Ermüdungsnachweis



Ermüdung Querkraft (ohne)

Ermüdung Querkraft ohne Querkraftbewehrung									vd _{min} / vd _{max} ≥ 0				vd _{min} / vd _{max} < 0		
NS	Streifenbreite	V _{dmin}	v _{dmin}	V _{dmax}	v _{dmax}	V _{Rd}	v _{Rd}	v _{dmin} /v _{dmax}	Iv _d I _{max}	0.5 * v _{Rd} + 0.45 * Iv _d I _{min}	0.9 * v _{Rd}		Iv _d I _{max}	0.5*v _{Rd} - Iv _d I _{min}	
[-]	b [mm]	[kN]	[kN/m]	[kNm]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm]		[kNm]	[kNm]	[-]
E3	950	71	75	132	139	386	406	0.538	139	237	366	i.O.	-	-	-

Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: Erm-max, Teilsystem: LT-WL



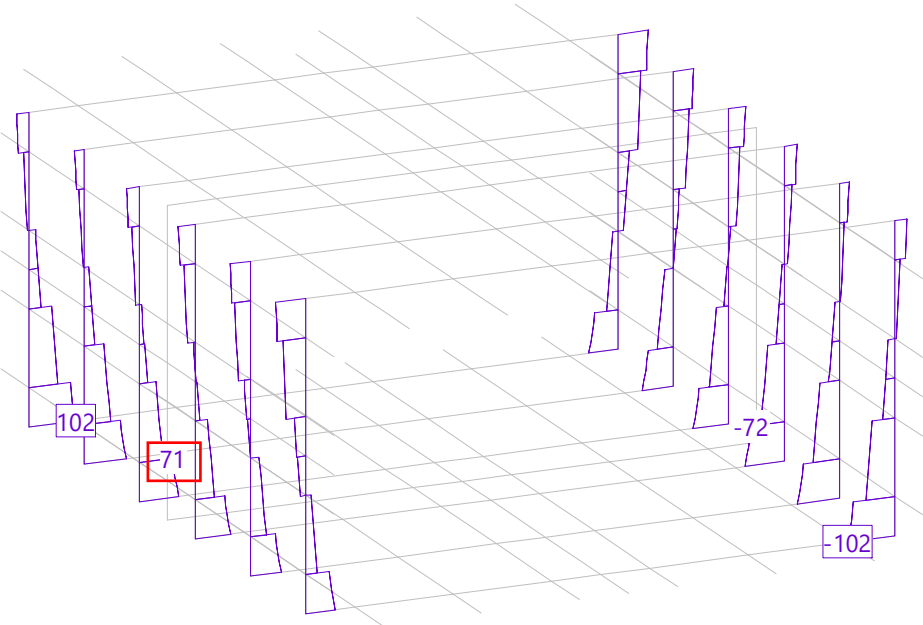
GRENZWERTE SCHNITTKRAFT Vz

und zugehörige Komponenten
Grenzwertspezifikation: Erm-max

Stab	EI	EK	Distanz	Nx	Vy	Vz_min Vz_max	Tx	My	Mz
			[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S_283	1	1	0.462	-266	5	51	0	-143	1
		1		-157	7	132	0	-116	2

EI : Stabelement
EK : massgebende Einwirkungskombination

Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: ERm-min, Teilsystem: LT-WL



mit Querkraftbewehrung

Druckfeldneigung:

$$\tan(\alpha_{fd}) = \sqrt{\tan(\alpha)} \leq 1$$

$$\alpha_{fd} = \arctan(\sqrt{\tan(\alpha)}) = \arctan(\sqrt{\tan(40^\circ)}) = 42.5^\circ$$

Querschnittsfläche Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_{\text{Stängs. Quer}}} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot(\alpha_{fd}) \cdot b$$

$$V_d = \frac{A_{sw}}{s_{\text{Stängs. Quer}}} \cdot z \cdot \sigma_{sd} \cdot \cot(\alpha_{fd}) \cdot b$$

↳ nach σ_{sd} umformen

$$\sigma_{sd} = \frac{V_d}{\frac{A_{sw}}{s_{\text{Stängs. Quer}}} \cdot z \cdot \cot(\alpha_{fd}) \cdot b} = \frac{V_d}{V_{Rd,s}/f_{yd}} = \frac{V_d}{V_{Rd,s}} \cdot f_{yd}$$

Dauerfestigkeit vertikale Bügel

$$\Delta \sigma_{sd,D} \approx 0.8 \cdot \Delta \sigma_{sd,fd} = 0.8 \cdot 135 = 108 \text{ N/mm}^2 \text{ (für Bügel bis } \varnothing 16)$$

Nachweis

$$\Delta \sigma_{sd} = \sigma_{sd,max} - \sigma_{sd,min} < \Delta \sigma_{sd,D} \Rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

Nachweis Betondruckdiagonale

$$V_{Rdc} = b \cdot z \cdot k_c \cdot f_{cd} \cdot \sin(\alpha_{fd}) \cdot \cos(\alpha_{fd}) \Rightarrow \sigma_{cd} = \frac{V_d}{b \cdot z \cdot k_c \cdot \sin(\alpha_{fd}) \cos(\alpha_{fd})}$$

↳ $k_c = 0.55$

$$|\sigma_{cd}|_{\max} < 0.5 \cdot k_c \cdot f_{cd} + 0.45 \cdot |\sigma_{cd}|_{\min} < 0.9 \cdot k_c \cdot f_{cd} \Rightarrow \text{Nachweis i.O.}$$

↳ $k_c = 0.55$

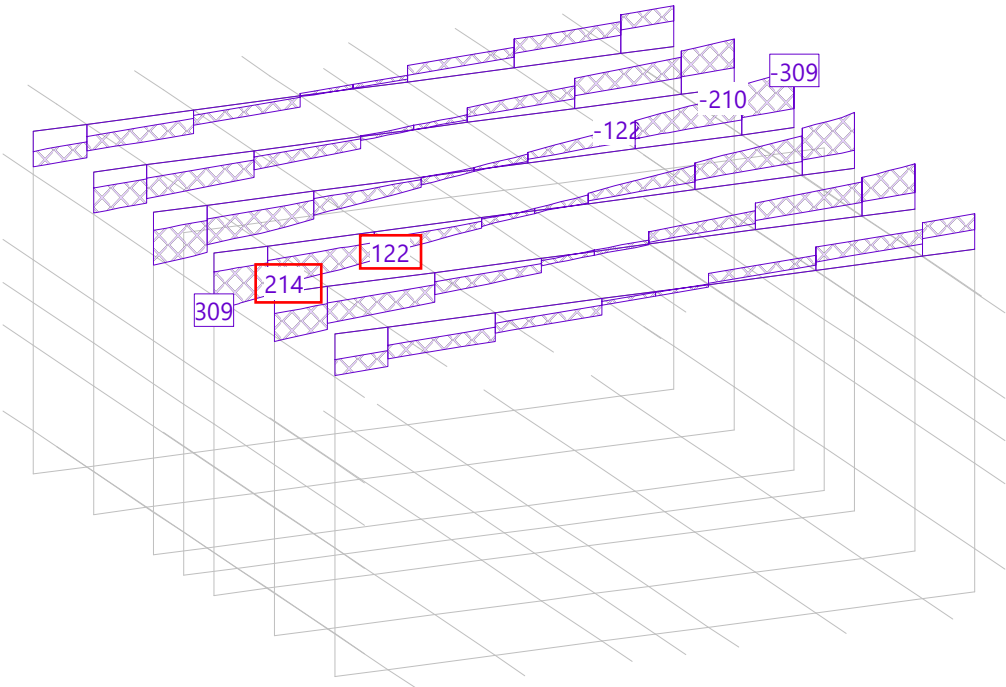
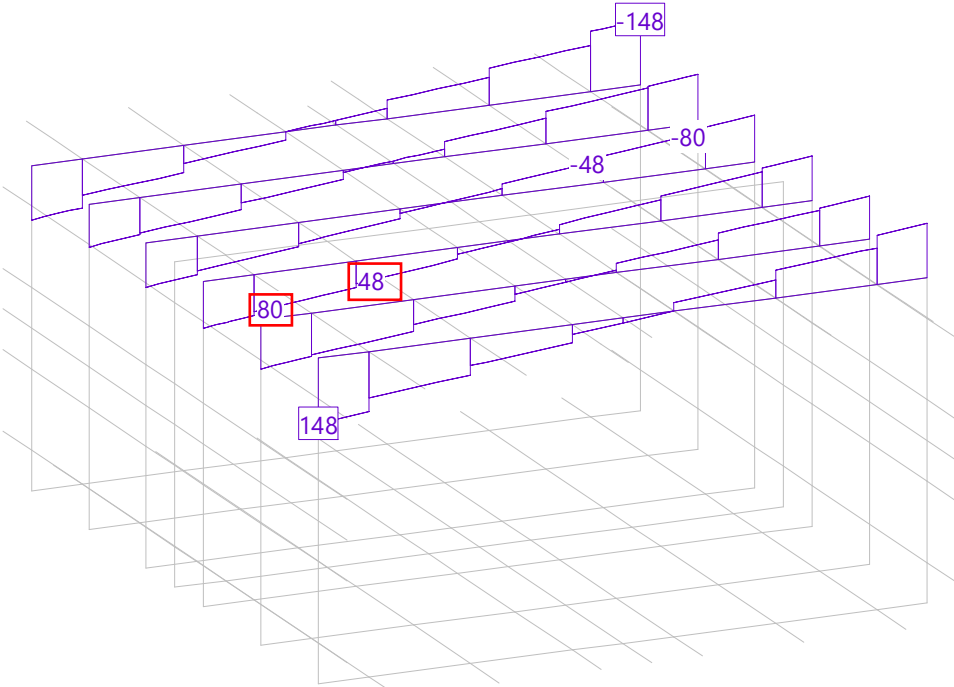
BAUTEIL schiefwinklige Fahrbahnplatte (mittlere Platte)

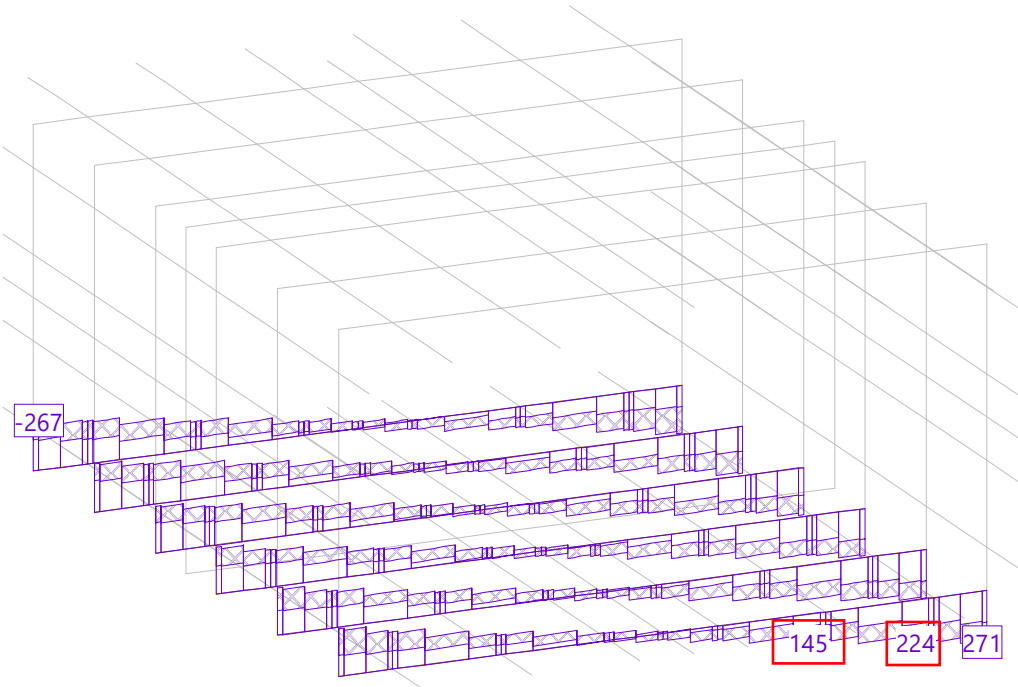
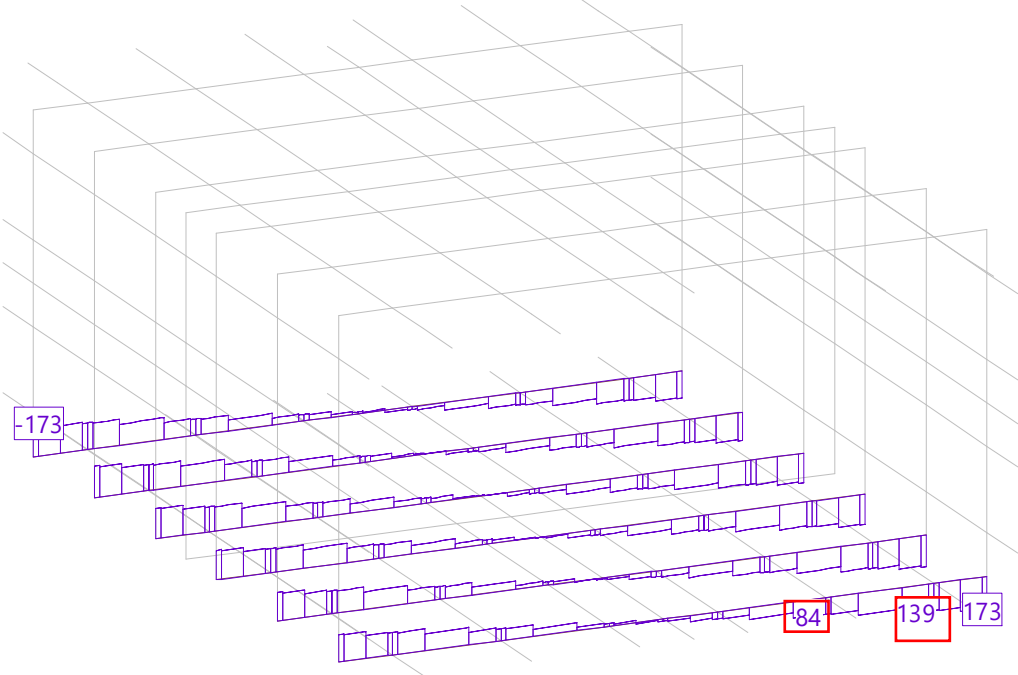
Ermüdung Querkraft (mit)

f _{yd}	435	[N/mm ²]
f _{cd}	20	[N/mm ²]
f _{ctm}	2.9	[N/mm ²]
k _c	0.55	[-]

≈ i.O.

Ermüdung Querkraft mit Querkraftbewehrung											Bewehrung				Druckdiagonale				
NS	Hebelarm	Streifenbreite	Druckfeldneigung	Bewehrung				$V_{Rd,s}$	V_{dmin}	V_{dmax}	$\sigma_{sd,min}$	$\sigma_{sd,max}$	$\Delta\sigma_{sd}(Q/fat)$	$\Delta\sigma_{sd,D}$		$\sigma_{cd,min}$	$I\sigma_{cd}I_{,max}$	$0.5 * k_c * f_{cd} + 0.45 * I\sigma_{cd}I_{min}$	$0.9 * k_c * f_{cd}$
[-]	z [mm]	b [mm]	α_{fat} [°]	$\emptyset$ [mm]	s_{quer} [mm]	$s_{längs}$ [mm]	a_s [mm²/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]		[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
A3	357	950	38.86	14	300	317	1619	296	48	122	70	179	109	108	nicht i.O.	0.5	1.3	5.7	9.9
B3	357	950	38.86	14	300	159	3227	591	80	214	59	158	99	108	i.O.	0.9	2.3	5.9	9.9
F1	357	950	38.86	14	300	159	3227	591	139	224	102	165	63	108	i.O.	1.5	2.5	6.2	9.9
G1	357	950	38.86	14	300	317	1619	296	84	145	123	213	90	108	i.O.	0.9	1.6	5.9	9.9

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung	Seite 24.04.26, 17:35
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: Erm-max, Teilsystem: LT-Decke  Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: ERm-min, Teilsystem: LT-Decke 	
	Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung		Seite
Bänziger Partner AG		24.04.26, 17:35
d.mettler		Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: Erm-max-BP, Teilsystem: LT-BP  Schnittkraftgrenzwerte Vz [kN] für: ERm-min, Teilsystem: LT-BP 		
		Nr.:

6.4. Nachweis der Tragsicherheit Typ 1

6.4.1. Auftrieb

Der Auftrieb der Rampe und der Unterführung wird durch einen Vergleich der Antriebskräfte und der Gewichtskräfte geführt. Aufgrund der unterschiedlichen Höhen der Rampe werden einzelne Segmente mit einer maximalen Segmentlänge von ca. 6.06m unabhängig voneinander nachgewiesen.

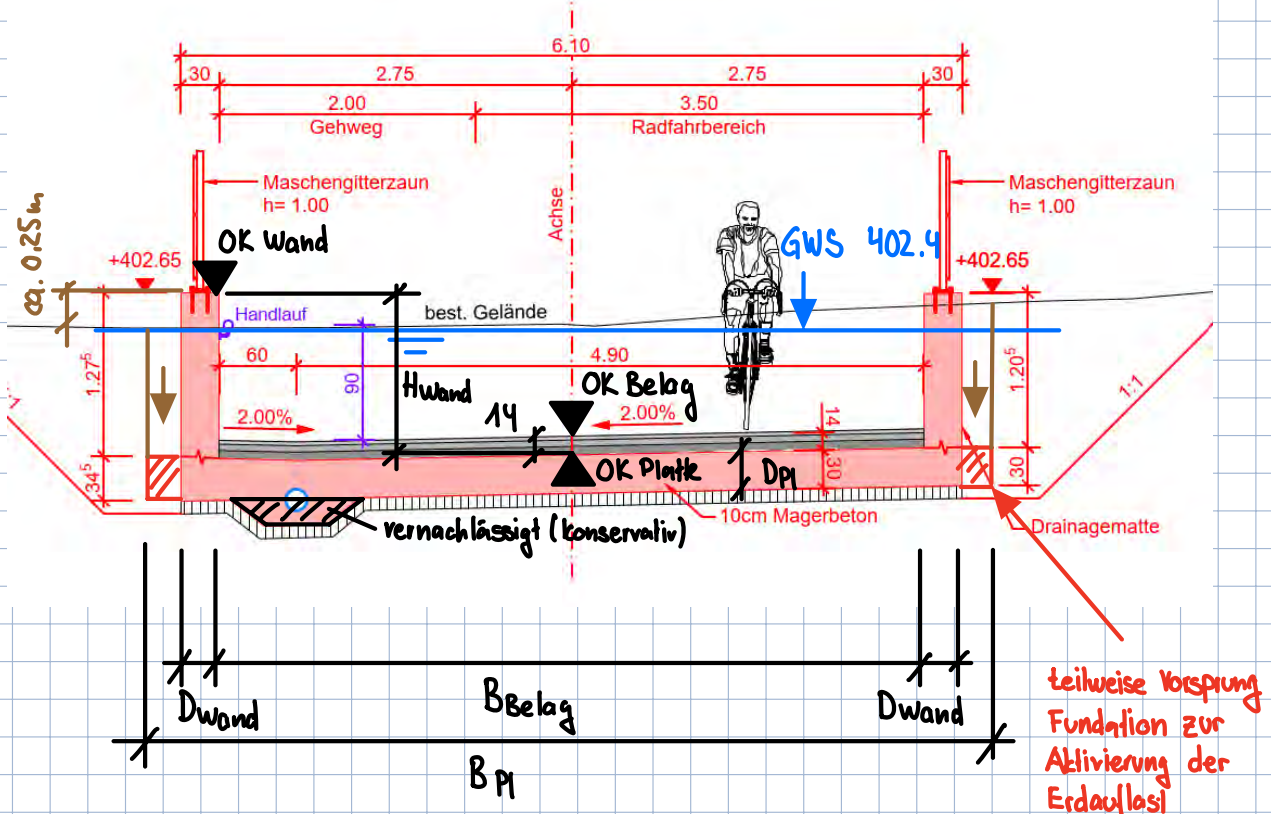
Im Bereich der Unterführung wird das Gewicht der Randbohle vereinfacht und auf der konservativen Seite liegend, vernachlässigt.

Der Auftriebsnachweis fällt unter den Grenzzustand 1 (GZT 1)

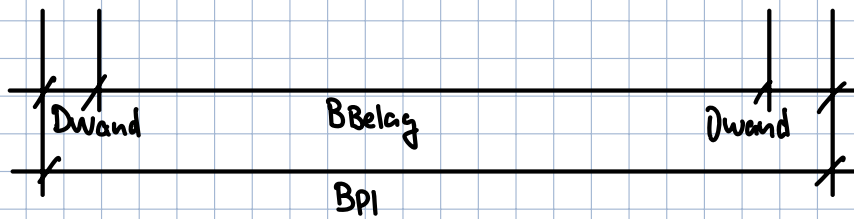
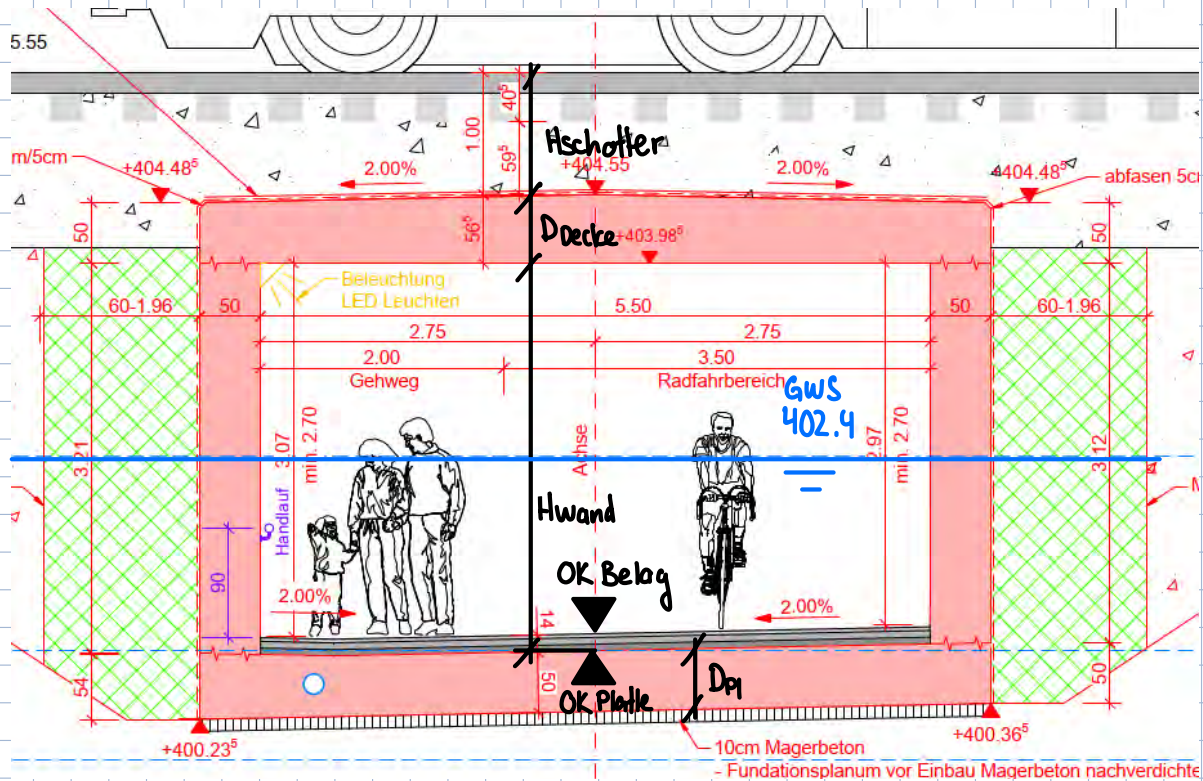
Nachweis: $G_{k,tot} \cdot \gamma_{G,inf} > W_k \cdot \gamma_{G,sup} \Rightarrow \text{Nachweis !.O.}$

$\hookrightarrow$ für $\gamma_{G,inf} = 0.9$; $\gamma_{G,sup} = 1.05$

Segment: 1 - 5 und 10 - 14

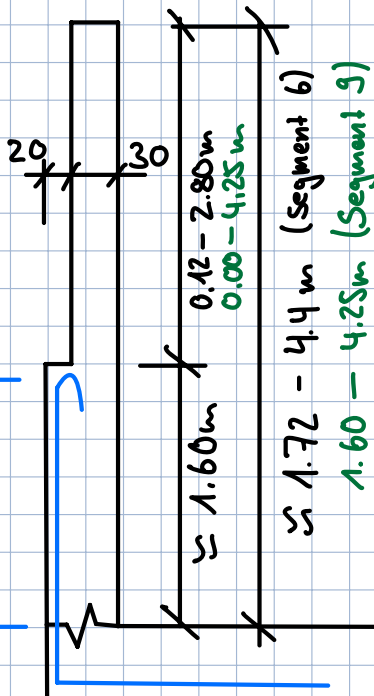


Segment 7 - 8



Segment 6 und 9

$\ell_{bd} = 1.54m$ ($\phi = 26mm$; Verbund gut; $\chi_{nom} = 40mm$)



Die Auflast der Wand bei Segment 6 und 9 wird über eine fiktive Wandhöhe (OK) mit einer konstanten Breite von 50cm in die tabellarische Auftriebsberechnung eingefügt, wobei eine äquivalente Querschnittsfläche (Mittelwert) wie im Schnitt links resultieren soll

$$h_{wand} = \frac{(1.6 \cdot 0.5 + 0.12 \cdot 0.3) + (1.6 \cdot 0.5 + 2.8 \cdot 0.3)}{2 \cdot 0.5} = 2.48m$$

$$h_{wand} = \frac{(1.6 \cdot 0.5) + (1.6 \cdot 0.5 + 2.65 \cdot 0.3)}{2 \cdot 0.5} = 2.395m$$

Berechnung:

$$\Delta L = \text{Stationierung Profilende} - \text{Stationierung Profilanfang}$$

$$\text{OK Platte} = \text{OK Belag} - 0.14\text{m}$$

$$\text{Hwand} = \text{OK Wand} - \text{OK Platte}$$

Gewichtskraft

$$G_{k,pl} = B_{pl} \cdot D_{pl} \cdot \Delta L \cdot 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$G_{k,wände} = 2 \cdot \text{Hwand} \cdot D_{wand} \cdot \Delta L \cdot 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$G_{k,Decke} = (B_{belag} + 2 \cdot D_{wand}) \cdot D_{decke} \cdot \Delta L \cdot 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$G_{k,Belag} = B_{belag} \cdot 0.14\text{m} \cdot \Delta L \cdot 24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$G_{k,Eid} = (B_{pl} - B_{belag} - 2 \cdot D_{wand}) \cdot (\text{Hwand} - 0.25\text{m}) \cdot \Delta L \cdot (19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

↳ Terrain ca. 25cm unter OKwand; Auftrieb direkt von Raumgewicht abgezogen

$$G_{k,Schotter} = 5.4\text{m} \cdot H_{schotter} \cdot \Delta L \cdot 18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\underline{G_{k,tot} = \sum G_{k,i}}$$

Auftrieb

$$W_k = [(B_{belag} + 2 \cdot D_{wand}) \cdot (G_{WS} - \text{OK Platte} + D_{pl}) + \underbrace{(B_{pl} - B_{belag} - 2 \cdot D_{wand}) \cdot D_{pl}}_{\text{Auftrieb Fundamentvorsprung}}] \cdot \Delta L \cdot 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Bemessung

$$\underline{EG = \frac{G_k \cdot \gamma_{G,inf}}{W_k \cdot \gamma_{G,sup}} \geq 1.0 \Rightarrow i.O.}$$

Segment 1-14

Auftriebsberechnung

Geometrische Verhältnisse												Eigenlasten und Auflasten [kN]						Vert.lasten [kN]	Auftrieb [kN]	Bemessung
Nr.	Profil	OK Platte	ΔL [m]	D _{Pl} [m]	B _{Pl} [m]	B _{Belag} [m]	OK Wand	H _{Wand} [m]	D _{Wand} [m]	D _{Decke} [m]	H _{Schotter} [m]	G _{k,Pl} [kN]	G _{k,Wände} [kN]	G _{k,Decke} [kN]	G _{k,Belag} [kN]	G _{k,Erd} [kN]	G _{k,Schotter} [kN]	G _{k,tot} [kN]	W _k [kN]	EG
1	76.97	402.25	6.06	0.30	6.10	5.50	402.65	0.40	0.30			277	36	0	112	0	0	426	166	2.19
2	82.50	401.97	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.68	0.30			229	51	0	92	0	0	373	224	1.42
3	87.50	401.70	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.95	0.30			229	72	0	92	0	0	393	307	1.10
4	92.50	401.43	5.00	0.30	6.70	5.50	402.65	1.22	0.30			251	92	0	92	23	0	459	398	0.99
5	98.03	401.13	6.06	0.50	6.70	5.50	402.65	1.52	0.30			508	139	0	112	37	0	795	674	1.01
6	103.03	400.87	3.94	0.50	6.50	5.50	403.35	2.48	0.50			320	244	0	73	0	0	636	519	1.05
7	106.67	400.76	3.35	0.50	6.50	5.50	403.99	3.24	0.50	0.50	0.80	273	271	273	62	0	261	1139	468	2.09
8	110.01	400.77	3.32	0.50	6.50	5.50	403.99	3.23	0.50	0.50	0.80	269	267	269	61	0	258	1125	460	2.10
9	113.67	400.91	4.01	0.50	6.50	5.50	403.30	2.39	0.50			325	239	0	74	0	0	639	519	1.05
10	117.84	401.14	4.33	0.50	6.70	5.50	402.65	1.51	0.30			363	98	0	80	26	0	567	478	1.02
11	122.50	401.42	5.00	0.30	6.70	5.50	402.65	1.23	0.30			251	92	0	92	24	0	459	399	0.99
12	127.50	401.72	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.93	0.30			229	70	0	92	0	0	391	299	1.12
13	132.50	402.02	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.63	0.30			229	47	0	92	0	0	368	207	1.52
14	137.00	402.29	4.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.36	0.30			183	22	0	74	0	0	279	101	2.36
																		8049	5220	1.32

≈ i.O.

≈ i.O.

AUSGANGSWERTE :

Nr.	Profil			Lx	OK Platte			Grundwasser			OK Belag		dBelag = 0.14	
	Anfang [m]	Ende [m]	Mittel [m]		Anfang [m.ü.M.]	Ende [m.ü.M.]	Mittel [m.ü.M.]	Anfang [m.ü.M.]	Ende [m.ü.M.]	Mittel [m.ü.M.]	Anfang [m.ü.M.]	Ende [m.ü.M.]	Mittel [m.ü.M.]	
1	73.940	80.000	76.970	6.060	402.400	402.100	402.250	402.400	402.400	402.400	402.540	402.240	402.390	
2	80.000	85.000	82.500	11.060	402.100	401.830	401.965	402.400	402.400	402.400	402.240	401.970	402.105	
3	85.000	90.000	87.500	16.060	401.830	401.560	401.695	402.400	402.400	402.400	401.970	401.700	401.835	
4	90.000	95.000	92.500	21.060	401.560	401.290	401.425	402.400	402.400	402.400	401.700	401.430	401.565	
5	95.000	101.060	98.030	27.120	401.290	400.960	401.125	402.400	402.400	402.400	401.430	401.100	401.265	
6	101.060	104.995	103.028	31.055	400.960	400.780	400.870	402.400	402.400	402.400	401.100	400.920	401.010	
7	104.995	108.350	106.673	34.410	400.780	400.730	400.755	402.400	402.400	402.400	400.920	400.870	400.895	
8	108.350	111.665	110.008	37.725	400.730	400.800	400.765	402.400	402.400	402.400	400.870	400.940	400.905	
9	111.665	115.670	113.668	41.730	400.800	401.010	400.905	402.400	402.400	402.400	400.940	401.150	401.045	
10	115.670	120.000	117.835	46.060	401.010	401.270	401.140	402.400	402.400	402.400	401.150	401.410	401.280	
11	120.000	125.000	122.500	51.060	401.270	401.570	401.420	402.400	402.400	402.400	401.410	401.710	401.560	
12	125.000	130.000	127.500	56.060	401.570	401.870	401.720	402.400	402.400	402.400	401.710	402.010	401.860	
13	130.000	135.000	132.500	61.060	401.870	402.170	402.020	402.400	402.400	402.400	402.010	402.310	402.160	
14	135.000	139.000	137.000	65.060	402.170	402.400	402.285	402.400	402.400	402.400	402.310	402.540	402.425	

Auftrieb Bauzustand

Im Bauzustand fehlt das Gewicht des Belags. Im Bauzustand ist der Grundwasserspiegel permanent zu überwachen und beim Erreichen einer kritischen Grundwasserspiegelhöhe ist die Unterführung manuell zu fluten.

Die kritische Grundwasserspiegelhöhe wird so bestimmt, dass jedes Segment ohne die Auflast des Belags mindestens einen Erfüllungsgrad $E_6 > 1.0$ erreicht

Die kritische Grundwasserspiegelhöhe liegt bei :

$$\underline{GW_{krit} = 402.12 \text{ m.ü.M.}}$$

Segment 1-14

Auftriebsberechnung

Nr.	Profil	Geometrische Verhältnisse										Eigenlasten und Auflasten [kN]					Vert.lasten	Auftrieb	Bemessung
		OK Platte	ΔL [m]	D _{Pl} [m]	B _{Pl} [m]	B _{Belag} [m]	OK Wand	H _{Wand} [m]	D _{Wand} [m]	D _{Decke} [m]	H _{Schotter} [m]	G _{k,Pl} [kN]	G _{k,Wände} [kN]	G _{k,Decke} [kN]	G _{k,Erd} [kN]	G _{k,Schotter} [kN]	G _{k,tot} [kN]	W _k [kN]	
1	76.97	402.25	6.06	0.30	6.10	5.50	402.65	0.40	0.30			277	36	0	0	0	314	63	4.28
2	82.50	401.97	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.68	0.30			229	51	0	0	0	280	139	1.73
3	87.50	401.70	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.95	0.30			229	72	0	0	0	300	221	1.16
4	92.50	401.43	5.00	0.30	6.70	5.50	402.65	1.22	0.30			251	92	0	23	0	367	312	1.01
5	98.03	401.13	6.06	0.50	6.70	5.50	402.65	1.52	0.30			508	139	0	37	0	683	571	1.03
6	103.03	400.87	3.94	0.50	6.50	5.50	403.35	2.48	0.50			320	244	0	0	0	564	448	1.08
7	106.67	400.76	3.35	0.50	6.50	5.50	403.99	3.24	0.50	0.50	0.80	273	271	273	0	261	1077	407	2.27
8	110.01	400.77	3.32	0.50	6.50	5.50	403.99	3.23	0.50	0.50	0.80	269	267	269	0	258	1064	400	2.28
9	113.67	400.91	4.01	0.50	6.50	5.50	403.30	2.39	0.50			325	239	0	0	0	565	446	1.08
10	117.84	401.14	4.33	0.50	6.70	5.50	402.65	1.51	0.30			363	98	0	26	0	487	404	1.03
11	122.50	401.42	5.00	0.30	6.70	5.50	402.65	1.23	0.30			251	92	0	24	0	367	314	1.00
12	127.50	401.72	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.93	0.30			229	70	0	0	0	298	213	1.20
13	132.50	402.02	5.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.63	0.30			229	47	0	0	0	276	122	1.94
14	137.00	402.29	4.00	0.30	6.10	5.50	402.65	0.36	0.30			183	22	0	0	0	205	33	5.33
																	6847	4093	1.43

AUSGANGSWERTE :

Nr.	Profil			Lx	OK Platte			Grundwasser			OK Belag			dBelag = 0.14	
	Anfang [m]	Ende [m]	Mittel [m]		Anfang [m.ü.M.]	Ende [m.ü.M.]	Mittel [m.ü.M.]	Anfang [m.ü.M.]	Ende [m.ü.M.]	Mittel [m.ü.M.]	Anfang [m.ü.M.]	Ende [m.ü.M.]	Mittel [m.ü.M.]	Anfang [m.ü.M.]	Ende [m.ü.M.]
1	73.940	80.000	76.970	6.060	402.400	402.100	402.250	402.120	402.120	402.120	402.540	402.240	402.390		
2	80.000	85.000	82.500	11.060	402.100	401.830	401.965	402.120	402.120	402.120	402.240	401.970	402.105		
3	85.000	90.000	87.500	16.060	401.830	401.560	401.695	402.120	402.120	402.120	401.970	401.700	401.835		
4	90.000	95.000	92.500	21.060	401.560	401.290	401.425	402.120	402.120	402.120	401.700	401.430	401.565		
5	95.000	101.060	98.030	27.120	401.290	400.960	401.125	402.120	402.120	402.120	401.430	401.100	401.265		
6	101.060	104.995	103.028	31.055	400.960	400.780	400.870	402.120	402.120	402.120	401.100	400.920	401.010		
7	104.995	108.350	106.673	34.410	400.780	400.730	400.755	402.120	402.120	402.120	400.920	400.870	400.895		
8	108.350	111.665	110.008	37.725	400.730	400.800	400.765	402.120	402.120	402.120	400.870	400.940	400.905		
9	111.665	115.670	113.668	41.730	400.800	401.010	400.905	402.120	402.120	402.120	400.940	401.150	401.045		
10	115.670	120.000	117.835	46.060	401.010	401.270	401.140	402.120	402.120	402.120	401.150	401.410	401.280		
11	120.000	125.000	122.500	51.060	401.270	401.570	401.420	402.120	402.120	402.120	401.410	401.710	401.560		
12	125.000	130.000	127.500	56.060	401.570	401.870	401.720	402.120	402.120	402.120	401.710	402.010	401.860		
13	130.000	135.000	132.500	61.060	401.870	402.170	402.020	402.120	402.120	402.120	402.010	402.310	402.160		
14	135.000	139.000	137.000	65.060	402.170	402.400	402.285	402.120	402.120	402.120	402.310	402.540	402.425		

kritischer GWS

7. Gebrauchstauglichkeit

7.1. Grenzzustände und Massnahmen

Gefährdungsbild	Häufig Begrenzung Rissbreiten	Häufig Funktionstüch- tigkeit	Quasi-ständig Aussehen
Ständige Einwirkungen			
Eigenlasten	1.00	-	1.00
Auflasten	1.00	-	1.00
Erddruck	1.00	-	1.00
Veränderliche Einwirkungen			
Normalspurbahnverkehr LM1	1.00	1.00	-
Normalspurbahnverkehr LM3	1.00	1.00	-
Anfahr- und Bremskräfte LM1	1.00	1.00	-
Anfahr- und Bremskräfte LM3	1.00	1.00	-
Erddruck infolge Bahn	1.00	1.00	-

Tabelle 10: Einwirkungskombinationen Gebrauchstauglichkeit

Gefährdungsbild / Bemessungssituation	Grenzzustand / Gebrauchsgrenzen	Lastfall	Beiwerte	
Legende: LE=Leiteinwirkung, ST=ständige Leiteinwirkung				
I	Bahnverkehr vorübergehend	Ia: Funktionstüchtigkeit bei Geschwindigkeit $v = 125 \text{ km/h}$ - Durchbiegung $w \leq l / (15v - 400)$ - Verwindung $\alpha_t \leq 0.7 \text{ mrad/m}$ - vert. Relativverschiebungen bei Überbauenden hinter Widerlagern $\delta_v \leq 3 \text{ mm}$	Häufig: LE: Bahnverkehr LM1 für w und δ_v : $\alpha = 1.00$ für α_t : $\alpha = 1.33$ $\Phi = 1.47$ Erddruck infolge Bahn ST: Erddruck ST: Eigenlasten Ständige Lasten, Auflasten	$\psi_1 = 1.0$ $\psi_1 = 1.0$ Kein Beiwert Kein Beiwert
	Ib: Aussehen - Durchbiegung $w \leq l / 700$	Quasi-ständig: ST: Erddruck ST: Eigenlasten Ständige Lasten, Auflasten	Kein Beiwert Kein Beiwert	
	Ic: Dauerhaftigkeit - Begrenzung der Rissbreiten Anforderungen: <i>erhöht / hoch</i>	Spannungsnachweis gemäss SIA 262, Ziffer 4.4.2		

Gefährdungsbild / Bemessungssituation		Grenzzustand / Gebrauchsgrenzen	Lastfall	Beiwerte

Tabelle 11: Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

7.2 Rissbreitenbegrenzung

Brückenplatte

Die Brückenplatte wird hinsichtlich der Rissbreitenbegrenzung in Querrichtung auf zentrischen Zwang an der dicksten Stelle bemessen. In Längsrichtung erfolgt der Nachweis infolge Biegemoment

erhöhte Anforderungen $w_{nom} = 0.5 \text{ mm}$

$$\sigma_{s,adm} = \sqrt{\frac{9 \cdot E_s \cdot f_{ctm} \cdot w_{nom}}{\phi_s}} < f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi_{s,min,l\ddot{a}ngs} = 14 \text{ mm}$$

$$\longrightarrow \sigma_{s,adm} = 431.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi_{s,min,quer} = 18 \text{ mm (zentrischer Zwang)} \longrightarrow \sigma_{s,adm} = 380.8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd,l\ddot{a}ngs} = \frac{1}{1+0.5 \cdot t} \cdot f_{ctm} = \frac{1}{1+0.5 \cdot \frac{0.565}{3}} \cdot 2.9 = 2.65 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd,quer} = \frac{1}{1+0.5 \cdot t} \cdot f_{ctm} = \frac{1}{1+0.5 \cdot 0.565} \cdot 2.9 = 2.26 \text{ N/mm}^2$$

$$m_R = \frac{565^2}{6} \cdot 1000 \cdot f_{ctd} = 141 \text{ kNm/m}$$

$$a_{s,min,l\ddot{a}ngs} = \frac{m_R}{0.9^2 \cdot h \cdot \sigma_{s,adm,l\ddot{a}ngs}} = \frac{141 \cdot 10^6}{0.9^2 \cdot 565 \cdot 431.8} = 713.5 \text{ mm}$$

$$\longrightarrow \text{Wahl: } \phi 14/150 \longrightarrow \underline{a_s = 1030 \text{ mm}^2/\text{m} > a_{s,min,l\ddot{a}ngs} \text{ i.O.}}$$

$$a_{s,min,quer} = \frac{h \cdot b \cdot f_{ctd,quer}}{\sigma_{s,adm,quer} \cdot 2} = \frac{565 \cdot 1000 \cdot 2.26}{380.8 \cdot 2} = 1676.6 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\longrightarrow \text{Wahl: } \phi 18/150 \longrightarrow \underline{a_s = 1700 \text{ mm}^2/\text{m} > a_{s,min,quer} \text{ i.O.}}$$

Widerlagerwände

- erhöhte Anforderungen, $w_{nom} = 0.5 \text{ mm}$

Der minimale Bewehrungsgehalt der stehenden (vertikalen) Bewehrung wird mit $\varnothing 14/150$ gewählt. Der Nachweis erübrigt sich, weil dieser implizit bei der Brückenplatte nachgewiesen wurde. Das gleiche gilt bei den liegenden (horizontalen) Bewehrungsstäben. Diese werden mit $\varnothing 18/150$ gewählt.

Bodenplatte (DK 2 $\rightarrow$ erhöhte Anforderungen)

- erhöhte Anforderungen $w_{nom} = 0.5 \text{ mm}$

Die Bodenplatte wird auf zentrischen Zwang ausgelegt.

Die Mindestbewehrung wird für alle Lagen mit $\varnothing 18/150$ festgelegt. Dieser Nachweis ist bereits implizit bei der Brückenplatte geführt. Unlesend ist nur der Nachweis der Bodenplatte $h = 30 \text{ cm}$ dokumentiert

$$\sigma_{s,adm} = \sqrt{\frac{9 \cdot E_s \cdot f_{ctm} \cdot w_{nom}}{\varnothing_s}} < f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\varnothing_{s,min} = 14 \text{ mm} \longrightarrow \sigma_{s,adm} = 431.8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = \frac{1}{1+0.5 \cdot t} \cdot f_{ctm} = \frac{1}{1+0.5 \cdot 0.300} \cdot 2.9 = 2.52 \text{ N/mm}^2$$

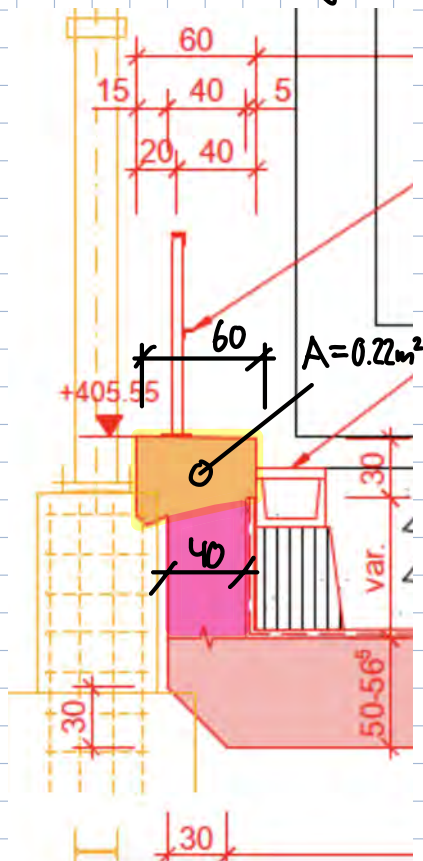
$$a_{s,min} = \frac{h \cdot b \cdot f_{ctd}}{\sigma_{s,adm} \cdot 2} = \frac{300 \cdot 1000 \cdot 2.52}{431.8 \cdot 2} = 875.4 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow \text{Wahl: } \varnothing 14/150 \rightarrow \underline{a_s = 1030 \text{ mm}^2/\text{m} > a_{s,min} \Rightarrow \text{i.O.}}$$

Randträger

- erhöht Anforderungen $w_{nom} = 0,5 \text{ mm}$

Der Randträger wird auf zentrischen Zwang bemessen, wobei die Bemessung für den „Kopf“ und den „Träger“ separat wird.



$$\sigma_{s,adm} = \sqrt{\frac{9 \cdot E_s \cdot f_{ctm} \cdot w_{nom}}{\phi_s}} < f_{yk} = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bereich ①

$$\phi_{s,min} = 16 \text{ mm} \longrightarrow \sigma_{s,adm} = 404 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctd} = \frac{1}{1+0.5 \cdot t} \cdot f_{ctm} = \frac{1}{1+0.5 \cdot 0.400} \cdot 2.9 = 2.42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$a_{s,min} = \frac{t_w \cdot b \cdot f_{ctd}}{\sigma_{s,adm} \cdot 2} = \frac{400 \cdot 1000 \cdot 2.42}{404 \cdot 2} = 1198.0 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\longrightarrow \text{Wahl: } \phi 16 / 150 \longrightarrow a_s = 1340 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\underline{a_s > a_{s,min} \quad \text{i.O.}}$$

Bereich ②

$$\phi_{s,min} = 26 \text{ mm} \longrightarrow \sigma_{s,adm} = 317 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctd} = \frac{1}{1+0.5 \cdot t} \cdot f_{ctm} = \frac{1}{1+0.5 \cdot 0.600} \cdot 2.9 = 2.23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A_{s,min} = \frac{A \cdot f_{ctd}}{\sigma_{s,adm}} = \frac{0.22 \cdot 10^6 \cdot 2.42}{317} = 1548 \text{ mm}^2$$

$$\longrightarrow \text{Wahl: } 4 \times \phi 26 \longrightarrow \underline{A_s = 2120 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 1548 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{i.O.}}$$

Stützmauer Rampe und Flügelmauer

- erhöhte Anforderungen $w_{nom} = 0.5mm$

Die Bewehrung wird auf zentrischen Zwang ausgelegt.

Die Nachweise sind bei den Widerlagerwänden und der Bodenplatte bereits repräsentativ geführt

- Flügelmauer :
 - $t_w = 50cm$: Mindestbew. $\varnothing 18/150$
 - $t_w = 30cm$: Mindestbew. $\varnothing 14/150$
- Stützmauer Rampe: - $t_w = 30cm$: Mindestbew. $\varnothing 14/150$

7.3. Verhindern des Fließens der Bewehrung (häufiger Lastfall)

Der häufige Lastfall enthält keine Einwirkung, die nicht schon bei der Tragsicherheit berücksichtigt wurde.

Die Bedingung fordert, dass die Stahlspannung unter häufigen Lasten einen Wert von $355 N/mm^2$ nicht überschreiten.

Das bedeutet, für die Tragsicherheit wird eine um $\frac{435-355}{355} = 23\%$ grössere Stahlfestigkeit angesetzt. Da die Einwirkungen für die Tragsicherheit jeweils mit Lastfaktoren von 1.35 und grösser multipliziert wurden, kann ohne weitere Überprüfung gesagt werden, dass die Tragsicherheit vor der obigen Bedingung massgebend wird.

7.4. Durchbiegung

Für die Beurteilung der „Funktionstüchtigkeit“ und „Aussehen“ wird von einem vollständig gerissenen Querschnitt ausgegangen.

Für die Beurteilung der Durchbiegung wird ein konservativer Wert für die gerissene Biegesteifigkeit, $EI^{\text{II}} \approx 0.3 \cdot EI^{\text{I}}$, vorausgesetzt.

Beurteilung der Durchbiegung

Spannweite $l = 6.35 \text{ m}$

↳ „Quasi-ständig“ (Aussehen)

$$w_{\text{(elastisch)}} = 12.8 - 11.38 = 1.42 \text{ mm}$$

$$w = \frac{(1 + \varphi) \cdot w_{\text{(elastisch)}}}{0.3} = \frac{(1 + 1.83) \cdot 1.42}{0.3} = 13.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow w = 13.4 \text{ mm} < \frac{l}{700} = 9.07 \text{ mm} \rightarrow \text{nicht i. O.}$$

↳ „Häufig“ (Komfort)

$$w = \frac{w_{\text{(elastisch)}}}{0.3} = \frac{9.07 - 7.63}{0.3} = 4.9 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow w = 4.9 \text{ mm} > \frac{l}{15 \cdot v - 400} = 4.3 \text{ mm} \rightarrow \text{knapp nicht i. O.}$$

$$\leftarrow v = 125 \text{ km/h}$$

Der gewählte Ansatz ist infolge der Annahme einer vollständig gerissenen Platte äusserst konservativ. Daher wurde zur Abschätzung der Durchbiegung ein Plattenmodell erstellt, bei der die gerissene Stetigkeit direkt berücksichtigt wurde. Untenstehen sind die Ergebnisse der Plattenberechnung:

- quasi-ständig: $w = 1.7 \text{ mm} < \frac{l}{700} = 9.07 \text{ mm} \Rightarrow \text{i. O.}$

- häufig: $w = 4.1 - 0.8 = 3.3 \text{ mm} < \frac{l}{15 \cdot v - 400} = 4.3 \text{ mm} \Rightarrow \text{i. O.}$

↳ Gemäss Plattenmodell sind die Nachweise problemlos erfüllt. Dieses

Modell berücksichtigt die Rissbildung detaillierter und wird für die Abschätzung der Durchbiegung als realistischeres Modell angesehen.

Grenzwertspezifikation: häufig

Beschreibung
Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	Einwirkungskombinationen
1	Set Bahnverkehr-N Lastmodell 1	1.47	1	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

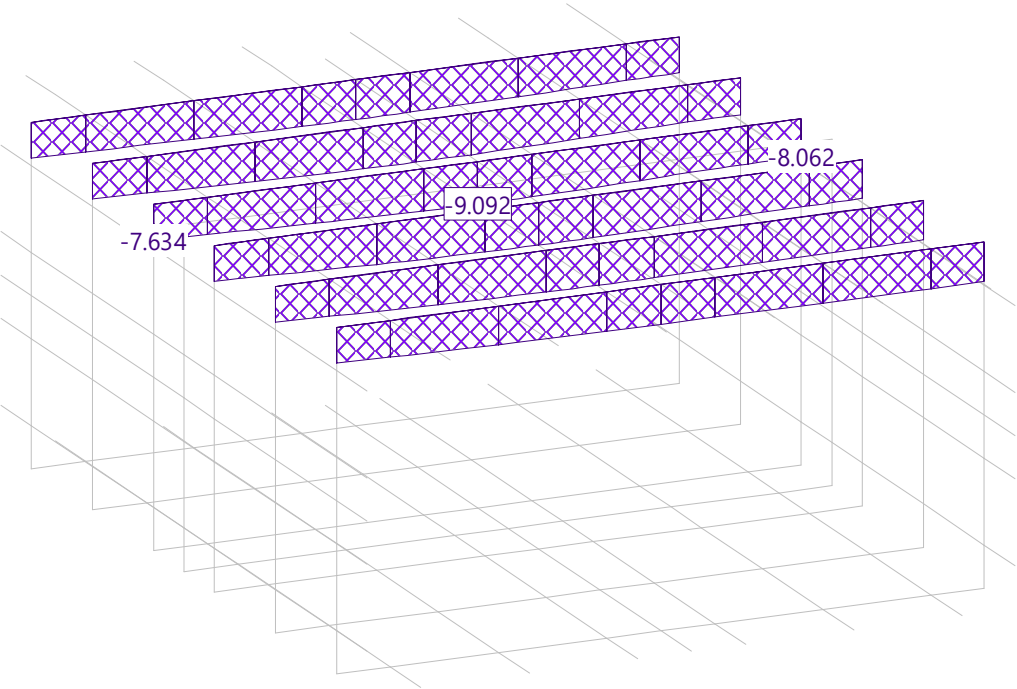
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation häufig

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Lastmodell 1		wo massgebend	entwede	B11 LM1 - Stellung 1	1.000	
			oder	B12 LM1 - Stellung 2	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

Verschiebungsgrenzwerte DZ [mm] für: häufig, Überhöhung: 50.0, Teilsystem: LT-Decke



Grenzwertspezifikation: Quasi-ständig

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	
3	Erddruck ständig	1	1	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

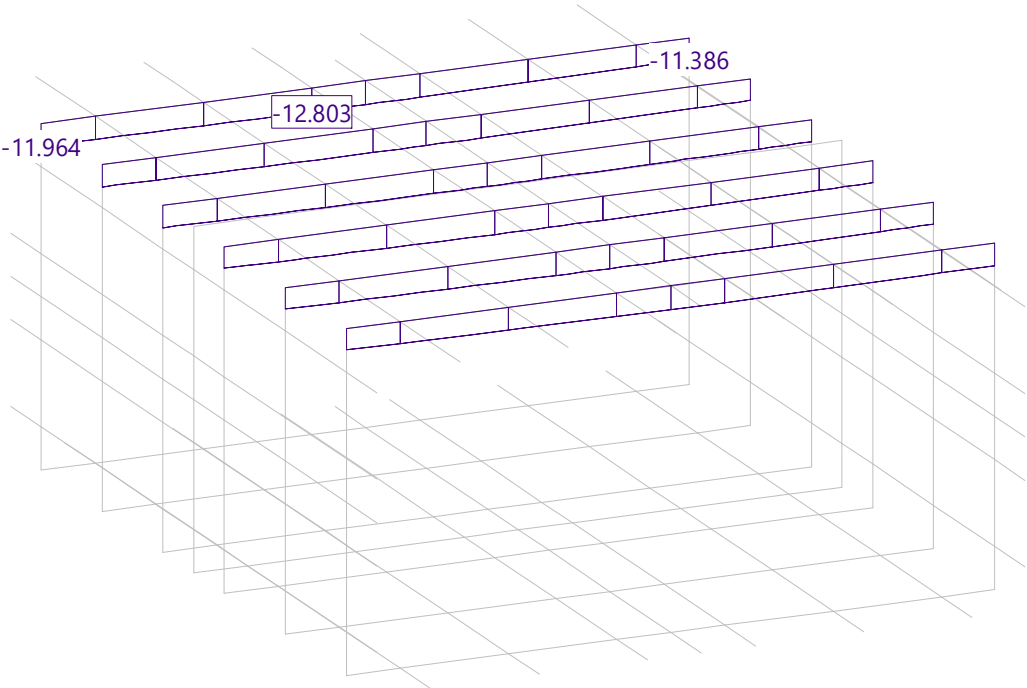
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

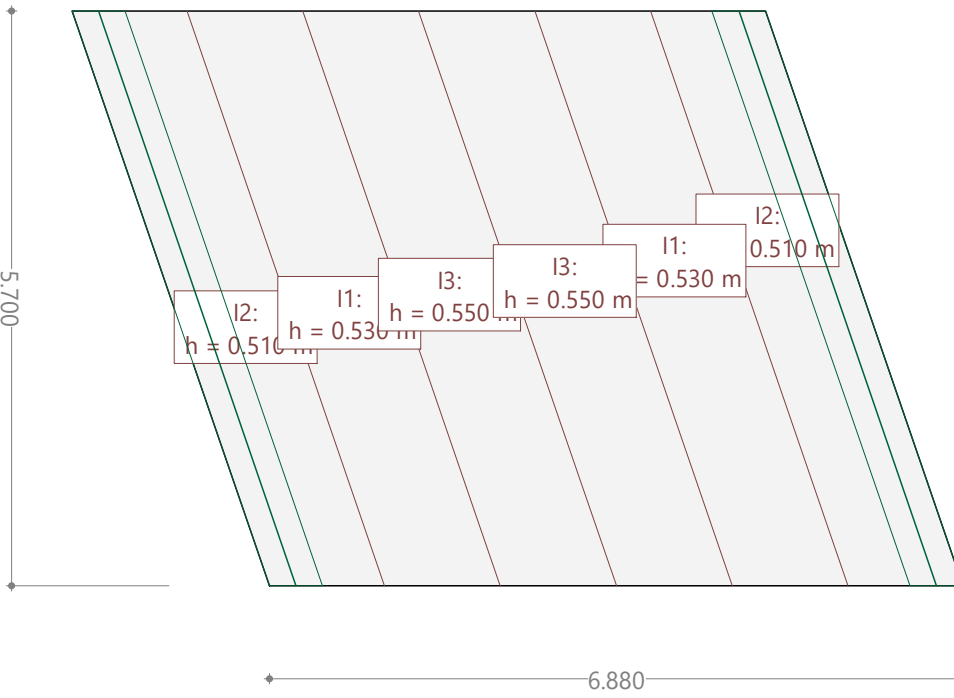
zu Grenzwertspezifikation Quasi-ständig

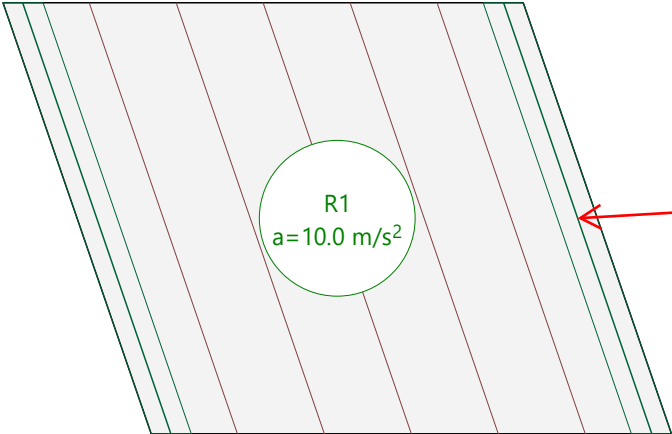
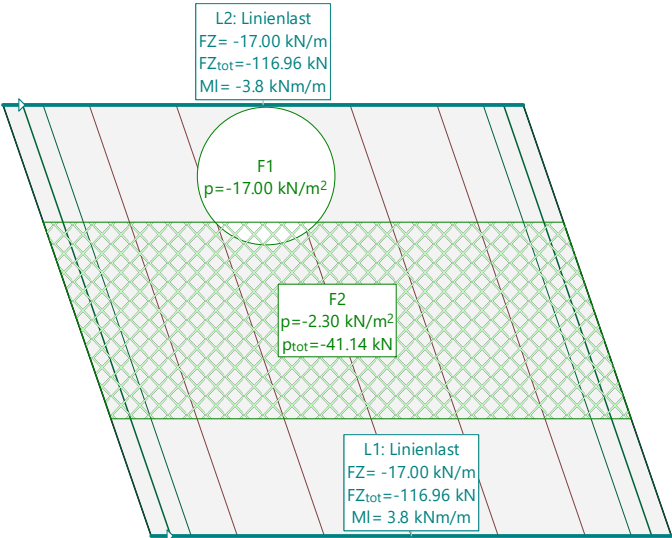
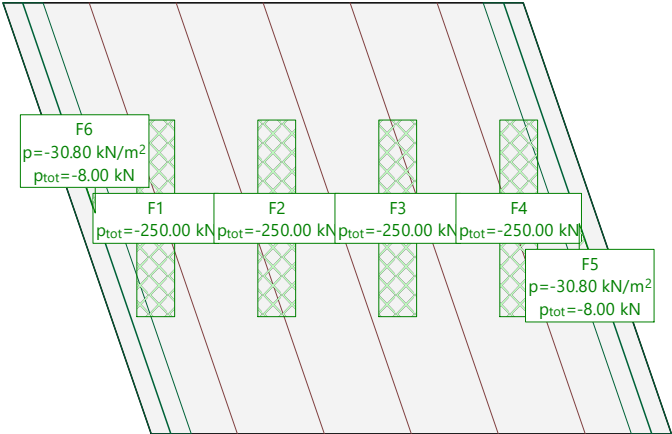
Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B00 Eigengewicht	1.000	
		ständig		B00-1 Zusatzgewicht Eigenlast	1.000	
Auflasten		ständig		B01 Auflast	1.000	
Erddruck ständig		ständig		B02 Erddruck1	1.000	
		ständig		B03 Erddruck2	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

Verschiebungsgrenzwerte DZ [mm] für: Quasi-ständig, Überhöhung: 20.0, Teilsystem: LT-Decke



112-0059 PU ARA-Eulenweg Platte - Durchbiegung	Seite 24.04.26, 18:11
Bänziger Partner AG d.mettler Struktur Mstb. 1 :75.0 	Cedrus-9 - Rel. 261 (0) Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Platte - Durchbiegung	Seite 24.04.26, 18:11
Bänziger Partner AG d.mettler	Cedrus-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B00: Eigengewicht Mstb. 1 :100.0  Wände eingespannt modelliert. Parameter für Wandsteifigkeit: $h = 3.7\text{ m}$ Da das Widerlager unten ebenfalls eingespannt ist, wird mit dieser Modellierung die Steifigkeit unterschätzt, was einem konservativen Ansatz für die Bemessung der Durchbiegung entspricht. Belastung B01: Auflast Mstb. 1 :100.0  Belastung B11: LM1 - Stellung 1 Mstb. 1 :100.0 	
	Nr.:

KOMBINATION Kqs : Kombination quasi-ständig

Kombination

	Faktor	ID	Belastung Beschreibung
	1.00	B00	Eigengewicht
	1.00	B01	Auflast

KOMBINATION Kh : Kombination häufig

Kombination

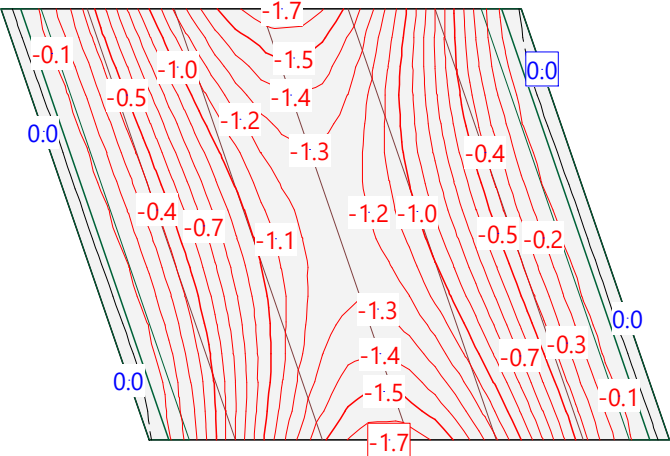
	Faktor	ID	Belastung Beschreibung
	1.00	B00	Eigengewicht
	1.00	B01	Auflast
	1.47	B11	LM1 - Stellung 1

Durchbiegungsberechnungen gerissen

Berechnung	Berechnungsparameter	
GZGqs-t=20a	Belastung Bemessung Berechnungsmodell Kriechzahl	Kqs !Standard SIA 1.830
GZGh	Belastung Bemessung Berechnungsmodell Kriechzahl	Kh !Standard SIA 0
GZGqs	Belastung Bemessung Berechnungsmodell Kriechzahl	Kqs !Standard SIA 0

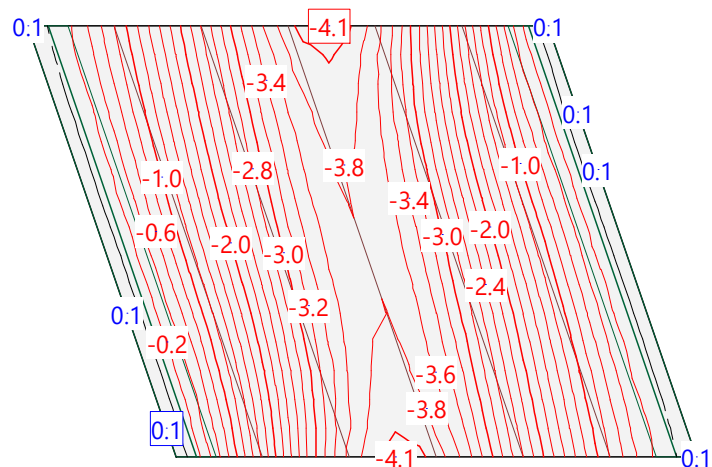
Durchbiegungen gerissen [mm], Äquidistanz: 0.1 [mm], Referenzlinie: 0.0
Belastung Kqs(GZGqs-t=20a, Phi= 1.8)

Mstb. 1 :100.0



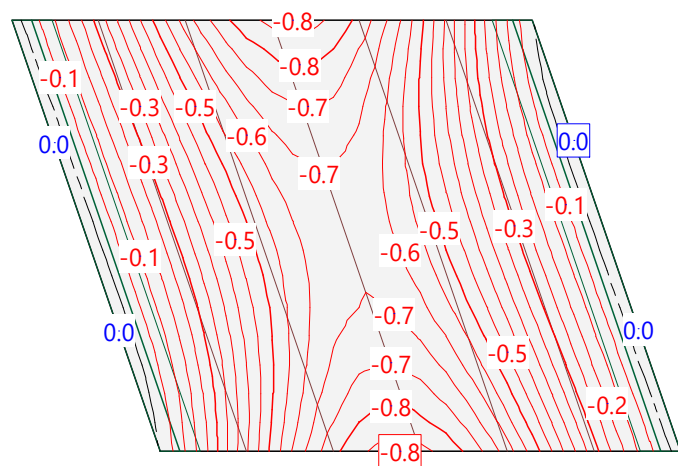
Durchbiegungen gerissen [mm], Äquidistanz: 0.2 [mm], Referenzlinie: 0.0
Belastung Kh(GZGh, Phi= 0.0)

Mstb. 1 :100.0



Durchbiegungen gerissen [mm], Äquidistanz: 0.1 [mm], Referenzlinie: 0.0
Belastung Kqs(GZGqs, Phi= 0.0)

Mstb. 1 :100.0



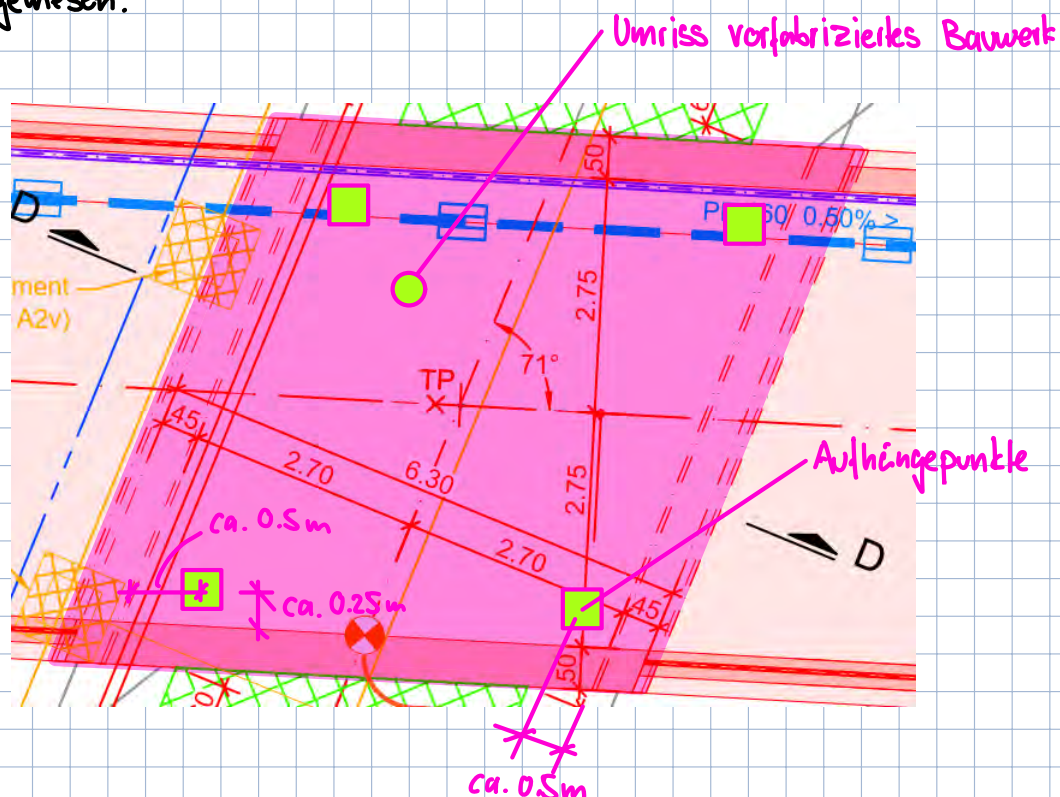
8. Bauzustand

Die Unterführung wird neben der SBB-Linie erstellt und anschliessend, während einer Wochenendeisperrung der Bahn, versetzt. Der Versatz erfolgt mit einem Raupenkran. Es sind vier Aufhängepunkte an der Deckenplatte mittels Stahlplatten vorgesehen. Die Befestigung der Stahlplatten erfolgt mit Zugstäben, für die vorgängig Futterrohre in der Betondecke eingebunden worden. Die detaillierte Aufhängekonstruktion erfolgt in Absprache mit dem Kranunternehmer im Rahmen der Ausführungsplanung.

Es wird erwartet, dass die grösse der Schnittkräfte auf das Bauwerk während dem Versatz deutlich unter den Schnittkräften im Endzustand liegen.

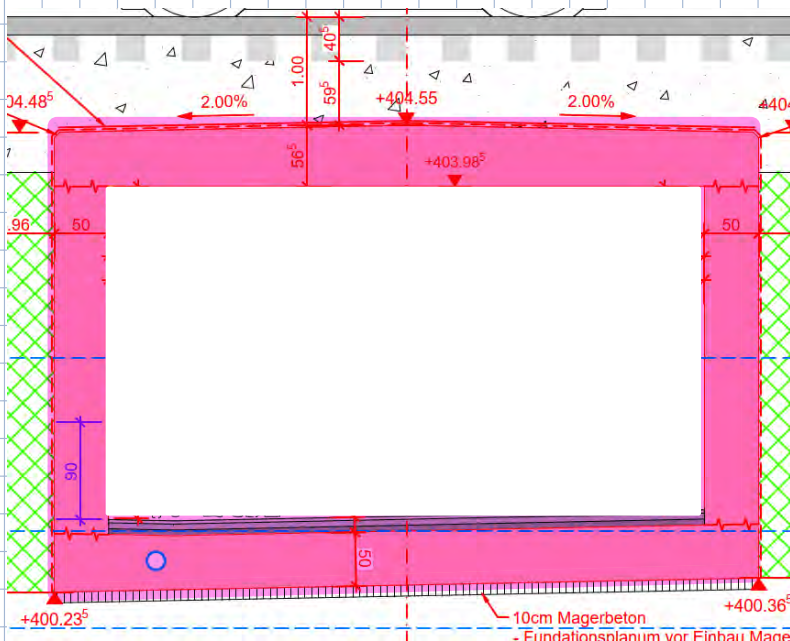
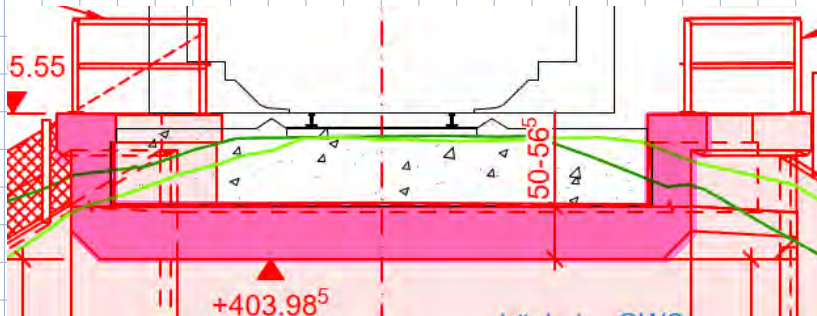
Für den Nachweis des Bauwerks während dem Versatz wird deshalb lediglich ein Vergleich der Schnittkräfte zwischen Bau- und Endzustand geführt.

In einer separaten Berechnung wird die Kräfteinleitung der Aufhängung nachgewiesen.



Beispieldetail Aufhängepunkt





Einwirkungen

Zum Zeitpunkt des Versatzes liegt nur das pink markierte Bauwerk vor. Abgesehen von der Abdichtung (5mm PBD) und der Schutzschicht (35mm MA) ist keine weitere Auflast vorhanden. Wie bereits im Endzustand werden die Randborde als Auflast modelliert. Nutzlasten treten während dem Versatz keine auf und werden nicht berücksichtigt.

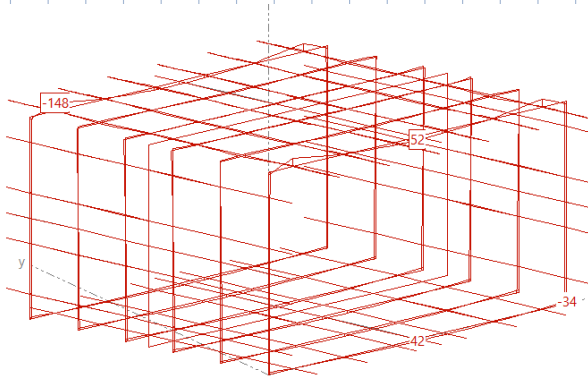
Bemessung Vergleich Schnittkräfte

Im Bauzustand liegen ausschliesslich ständige Lasten vor, weshalb der mit einem Lastbeiwert: $\gamma_{G,sup} = 1.35$ gerechnet wird.

Bauzustand

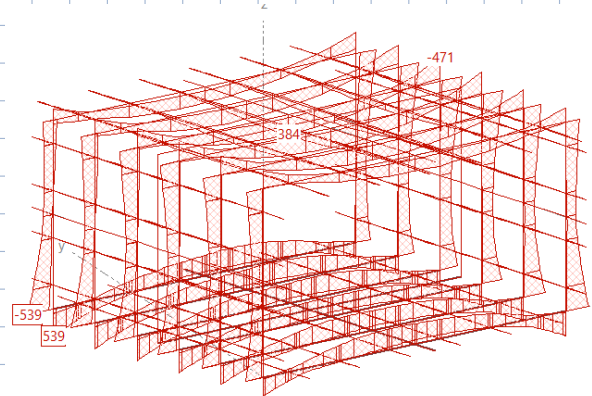
Grenzwertspezifikation: GZT-B

- Biegemoment

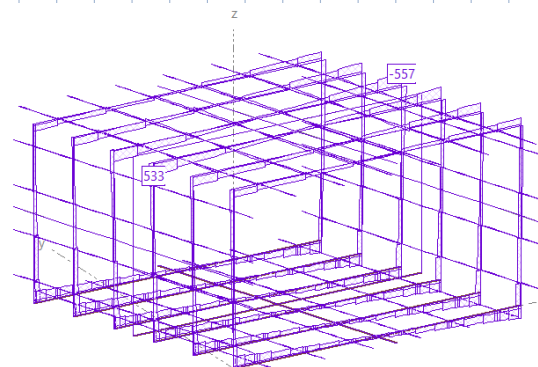
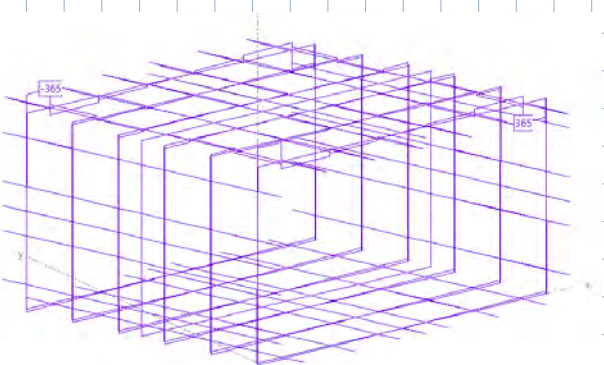


Endzustand

Grenzwertspezifikation: GZT-LM1



- Querkraft



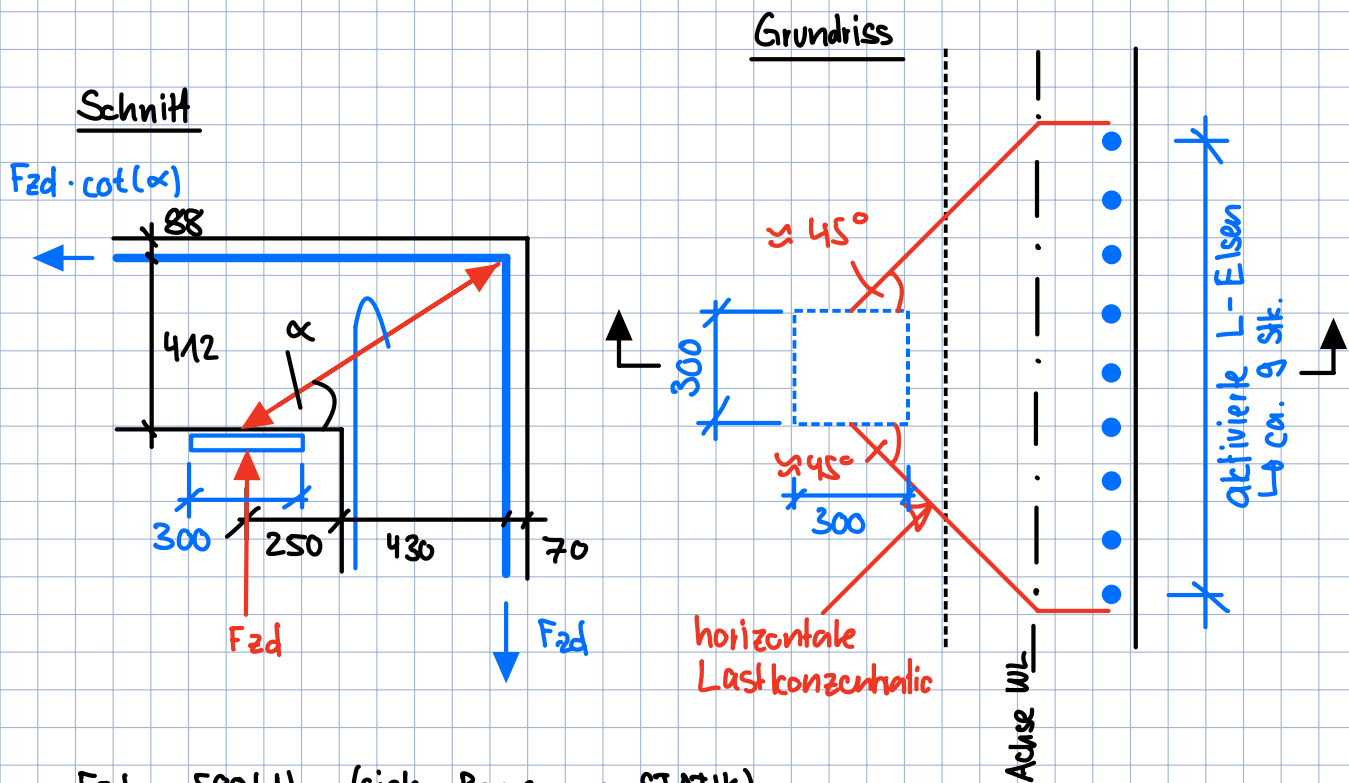
Der Vergleich zeigt klar, dass die Schnittkräfte im Endzustand deutlich über den Schnittkräften im Bauzustand liegt $\Rightarrow$ Nachweis !.O.

Krafteinleitung

Die Krafteinleitung wird mit zwei unterschiedlichen Ansätzen bemessen.

Ansatz ①: Direkte Krafteinleitung in Winkellager

Ansatz ②: Durchstanznachweis NS 2



$F_{zd} = 580 \text{ kN}$ (siehe Bemessung STATIK)

Winkel: $\alpha = \arctan(412 / (250 + 430)) = 31.2^\circ$

Betondruckdiagonale:

$$V_{Rd,c} = b_w \cdot z \cdot k_c \cdot f_{cd} \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha) = 696.2 \text{ kN} > F_{zd} = 580 \text{ kN} \Rightarrow \text{i.O.}$$

↳ für $b_w \approx 400 \text{ mm}$ (Plattenbreite + beidseitig 50 mm)

↳ für $z = 357 \text{ mm}$ (gem. Biegebemessung Endzustand)

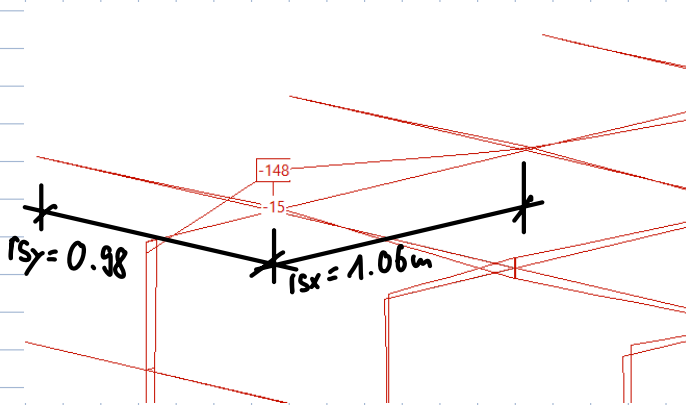
Bewehrung:

$$9 \times \varnothing 30 \rightarrow Z_{Rd} = 2766.6 \text{ kN} > F_{zd} \cdot \cot(\alpha) = 957.7 \text{ kN} \Rightarrow \text{i.O.}$$

Ansatz ②

Beim Ansatz 2 werden zwei Durchstanznachweise geführt. Zum einen wird ein Nachweis mit Näherungsstufe 3 mit den modellierten Auflagen untersucht und zum anderen mit Näherungsstufe 2 für eine beliebige Anordnung der Auflager, wobei für l_x und l_y die Breite resp. die Länge der Unterführung eingesetzt wird (konservativ). Für beide Näherungsstufen wird von einer „Mittelstütze“ ausgegangen, da der Rand der Deckenplatte durch die Widerlager und Randbohle vor Betonausbruch geschützt ist.

Näherungsstufe 3



$$b_s = 1.5 \cdot \sqrt{l_{sx} \cdot l_{sy}} = 1.53m$$

↳ es wird die Breite der Trägerrostelemente gewählt.

$$m_{dx} = \frac{148}{0.95} = 156 \text{ kNm/m}$$

$$m_{dy} = \frac{15}{1.06} = 14 \text{ kNm/m}$$

Bewehrung:

- x - Richtung : $\varnothing 26/150$
- y - Richtung : $\varnothing 18/150$

Bemessungsdaten DURA Durchstanzen

Projekt		Datum	Gez.
PU ARA-Eulenweg		30.04.2026	
Baustelle		Ingenieurbüro	
Bauteil		Lieferadresse	
Liste Nr.	Zu Plan Nr.	Bauunternehmer	
Liefertermin	Unterschrift		

DURA Durchstanzpositionen

Bez.	Anz.	Platten- typ	Lage	Vd [kN]	Platten- dicke[mm]	VRd [kN]	Korbhöhe [mm]	Körbe	Pilz/S-Element
Aufhängung Bauzustand, NS2	1	F	I	580	500	1'256	-	-	-
Aufhängung Bauzustand NS3	1	F	I	580	500	1'543	-	-	-

Aufhängung Bauzustand, NS2

Näherungsstufe 2			I, Rechteck			Ausrichtung der Bewehrung		
Durchstanzkraft			a_x	=	300 mm	x-Richtung 2. und 3. Lage		
V_d	=	580.0 kN	a_y	=	300 mm	Bewehrung, x-Richtung		
Auflast und Nutzlast			Stahlpilz			Oben $\varnothing_s = 18.0\text{ mm}$ s = 150 mm		
q_d	=	0.0 kN/m ²	$h_{p,max}$	=	240 mm	Unten $\varnothing_s = 26.0\text{ mm}$ s = 150 mm		
Aufgezwungene Verformungen			h_{zp}	=	35 mm	Annahme ausserhalb von Rahmenecke		
ΔV	=	0.00 kN	Auflagerhöhe					
$\Delta \Psi$	=	0.00 [-]	h_A	=	0 mm	Bewehrung, y-Richtung		
Beton NC C 30/37			Geometrie Flachdecke			Oben $\varnothing_s = 18.0\text{ mm}$ s = 150 mm		
D_{max}	=	32 mm	h	=	500 mm	Unten $\varnothing_s = 18.0\text{ mm}$ s = 150 mm		
τ_{cd}	=	1.1 N/mm ²	$c_{nom,o}$	=	55 mm			
f_{cd}	=	20.0 N/mm ²	$c_{nom,u}$	=	55 mm			
Biegebewehrung			l_x	=	6350 mm			
f_{sd}	=	435 N/mm ²	l_y	=	5700 mm			
Bügelbewehrung			Aussparung					
f_{sd}	=	435 N/mm ²	Keine Aussparung gemäss Definition					
Abminderungsbeiwert								
k_e	=	0.90 (var.)						

Bemessungswert des Durchstanzwiderstands

Bemessung nach Norm 262:2025

Widerstand ohne Durchstanzbewehrungsmassnahmen

 $V_{Rd} = 1256$ kN

 $\Psi_R = 0.0045$

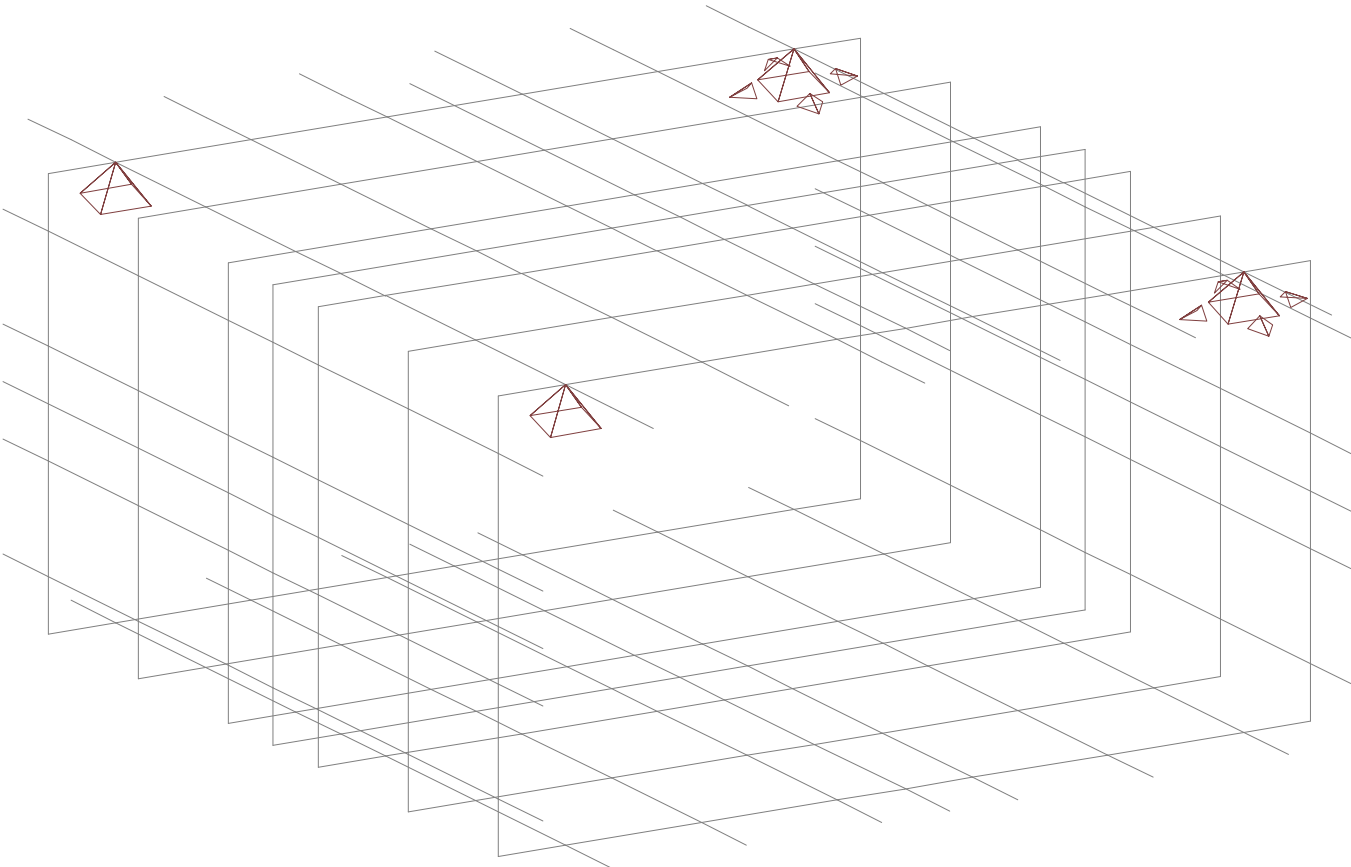
Hinweise

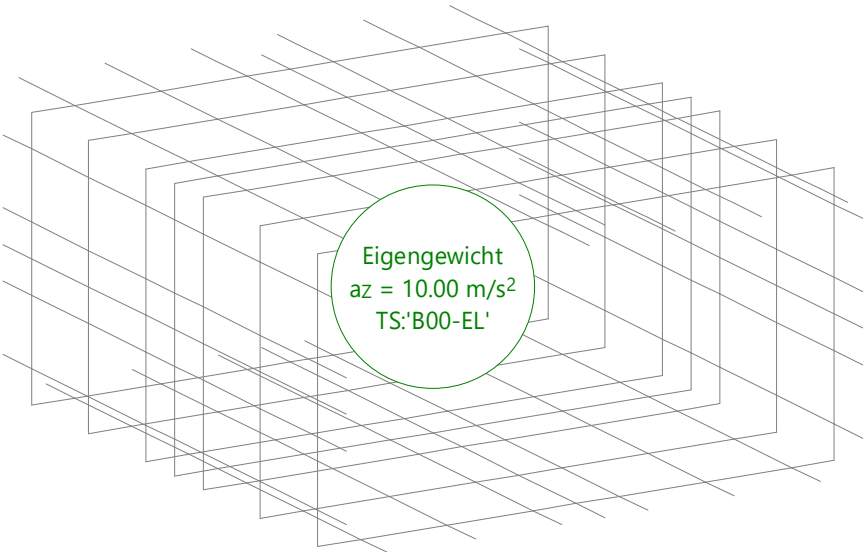
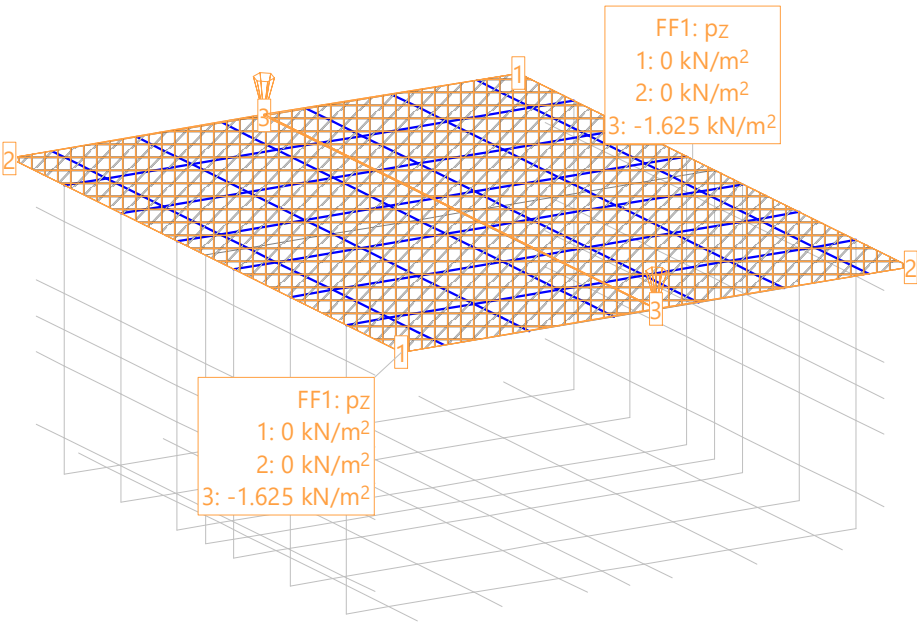
-Es ist keine Durchstanzbewehrung erforderlich.

Aufhängung Bauzustand NS3

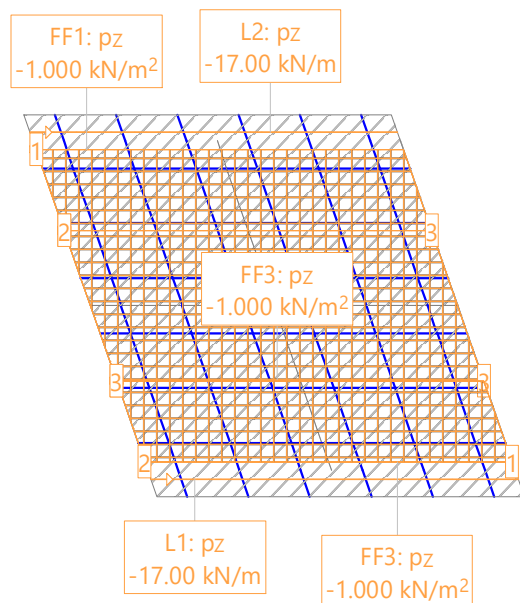
Näherungsstufe 3			I, Rechteck		Ausrichtung der Bewehrung		
Durchstanzkraft			a_x	=	300 mm	x-Richtung 2. und 3. Lage	
V_d	=	580.0 kN	a_y	=	300 mm	Bewehrung, x-Richtung	
Auflast und Nutzlast			Stahlpilz		Oben $\varnothing_s = 30.0 \text{ mm}$ s = 150 mm		
q_d	=	0.0 kN/m ²	$h_{p,max}$	=	240 mm	Unten $\varnothing_s = 26.0 \text{ mm}$ s = 150 mm	
Aufgezwungene Verformungen			h_{zp}	=	35 mm		
ΔV	=	0.00 kN	Auflagerhöhe			Bewehrung, y-Richtung	
$\Delta \Psi$	=	0.00 [-]	h_A	=	0 mm	Oben $\varnothing_s = 18.0 \text{ mm}$ s = 150 mm	
Beton	NC C 30/37		Geometrie Flachdecke		Unten $\varnothing_s = 10.0 \text{ mm}$ s = 18 mm		
D_{max}	=	32 mm	h	=	500 mm		
τ_{cd}	=	1.1 N/mm ²	$c_{nom,o}$	=	55 mm		
f_{cd}	=	20.0 N/mm ²	$c_{nom,u}$	=	55 mm		
Biegebewehrung							
f_{sd}	=	435 N/mm ²	Aussparung				
Bügelbewehrung			Keine Aussparung gemäss Definition				
f_{sd}	=	435 N/mm ²					
Abminderungsbeiwert							
k_e	=	0.90 (var.)	Eingabe Näherungsstufe 3				
				x1	x2	y1	y2
			L	0.0	0.0	0.0	0.0
			rs	1060.0	1060.0	980.0	980.0
			msd	156.0	156.0	14.0	14.0
Bemessungswert des Durchstanzwiderstands			Bemessung nach Norm 262:2025				
Widerstand ohne Durchstanzbewehrungsmassnahmen			$V_{Rd} = 1543 \text{ kN}$			$\Psi_R = 0.0026$	
Hinweise							
-Es ist keine Durchstanzbewehrung erforderlich.							

in beide Richtungen identisch gewählt (konservativ)

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung - Bauzustand		Seite
		30.04.26, 19:53
Bänziger Partner AG	d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Struktur 		
		Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung - Bauzustand	Seite 30.04.26, 19:53
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Belastung B00: Eigengewicht  Belastung B00-1: Zusatzgewicht Eigenlast 	
	Nr.:

Belastung B01: Auflast



Grenzwertspezifikation: GZT-B

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1.35	
2	Auflasten	1	1.35	

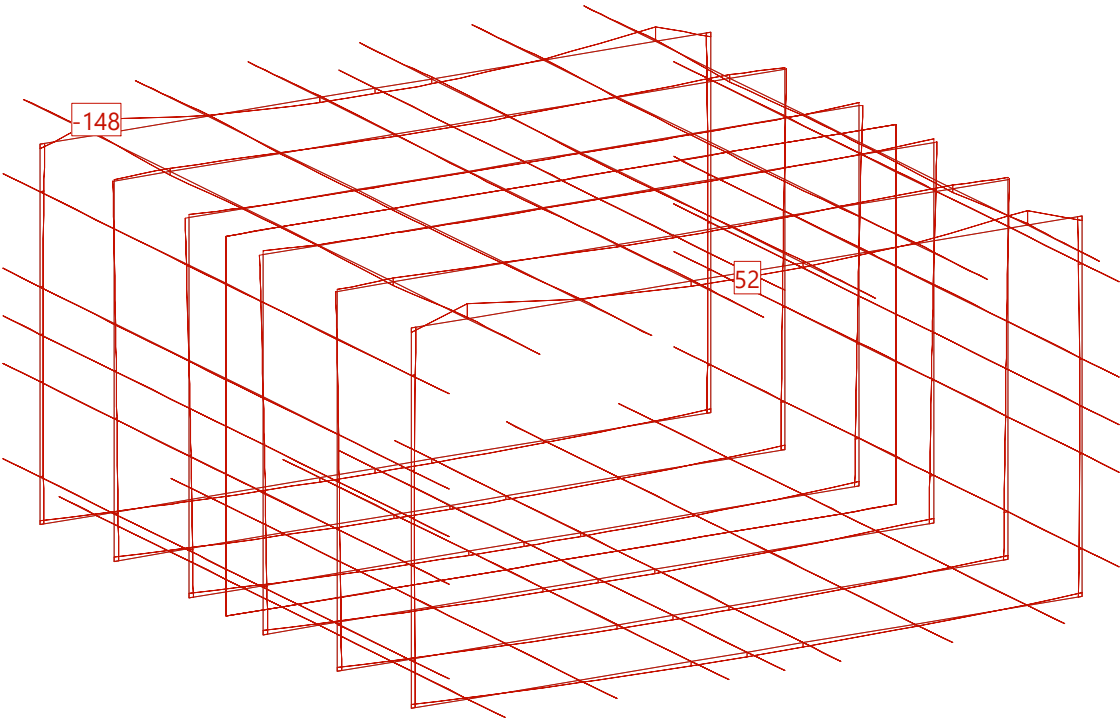
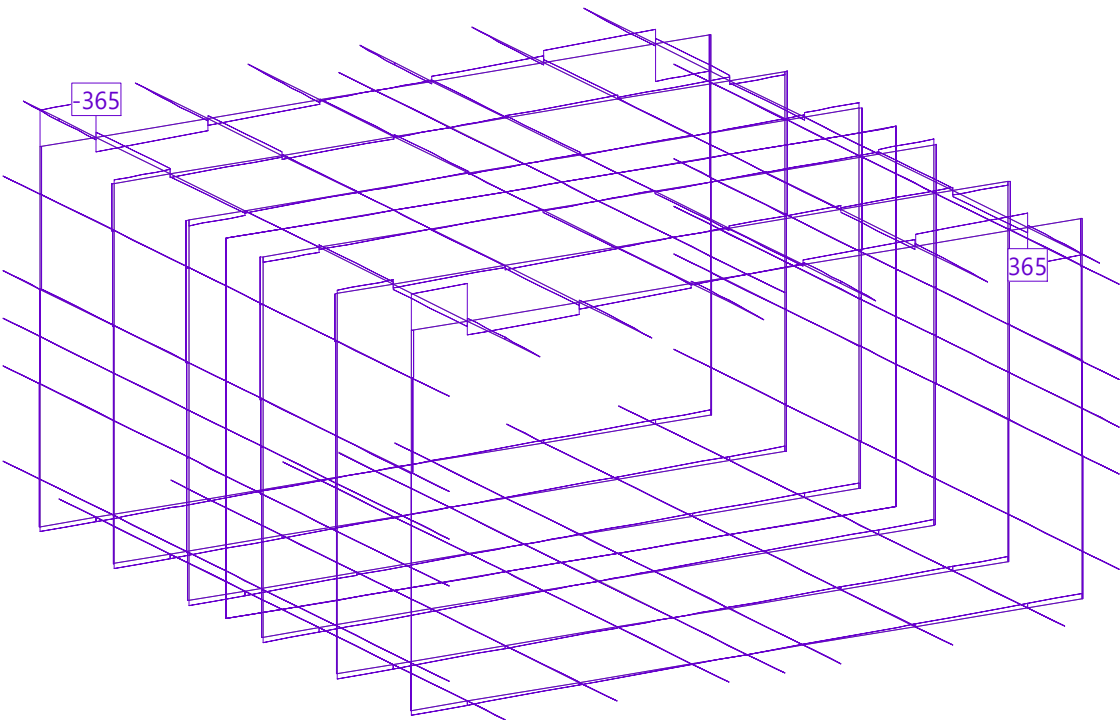
Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

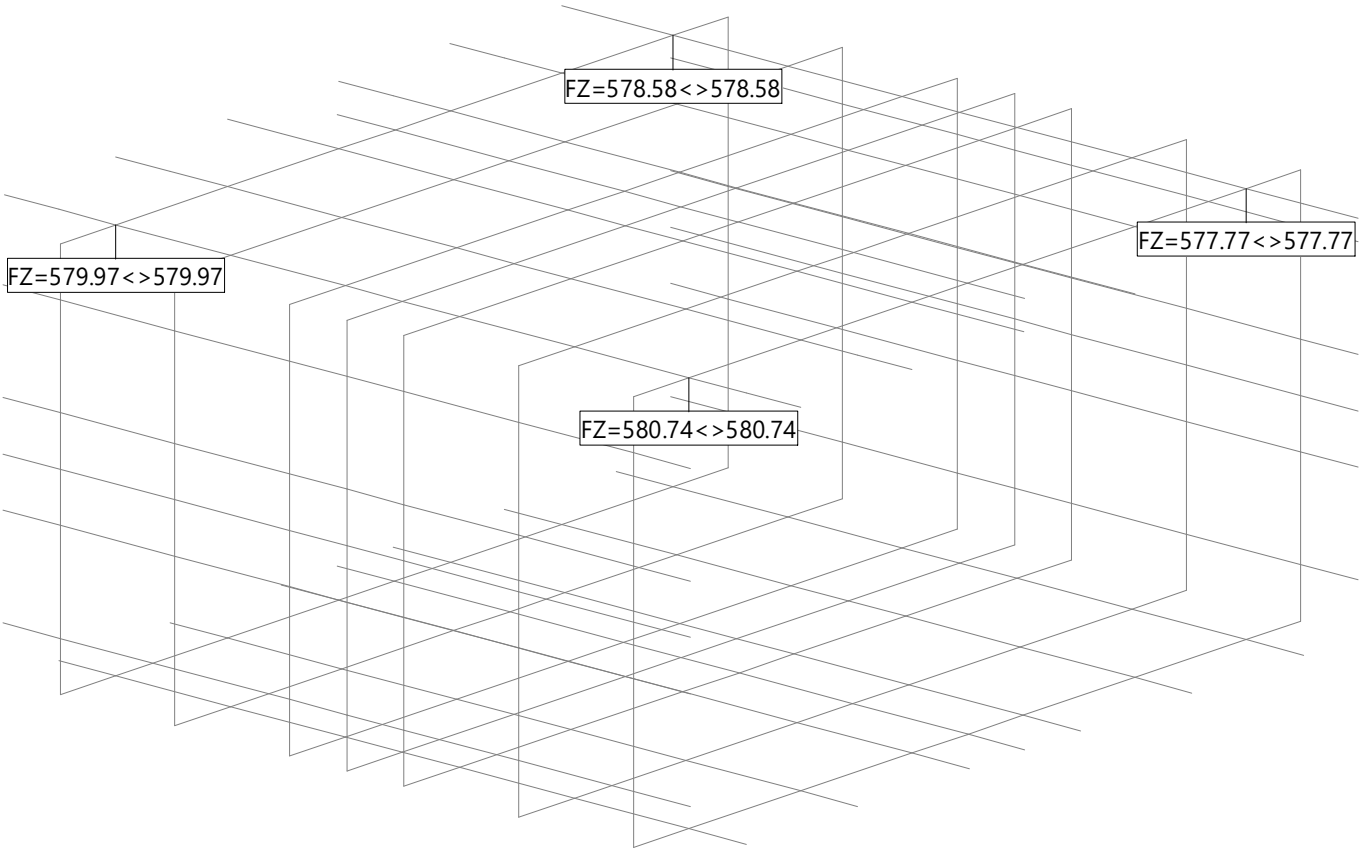
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation GZT-B

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B00 Eigengewicht	1.000	
		ständig		B00-1 Zusatzgewicht Eigenlast	1.000	
Auflasten		ständig		B01 Auflast	1.000	

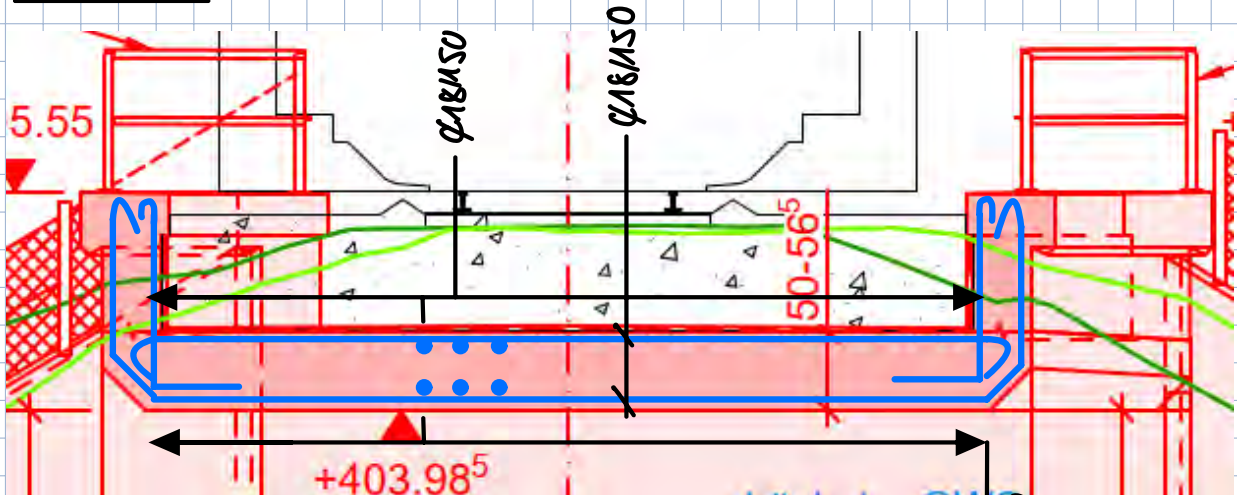
Alt : Alternative Überlagerung

112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung - Bauzustand	Seite 30.04.26, 19:53
Bänziger Partner AG d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Schnittkraftgrenzwerte M_y [kNm] für: GZT-B  Schnittkraftgrenzwerte V_z [kN] für: GZT-B 	
	Nr.:

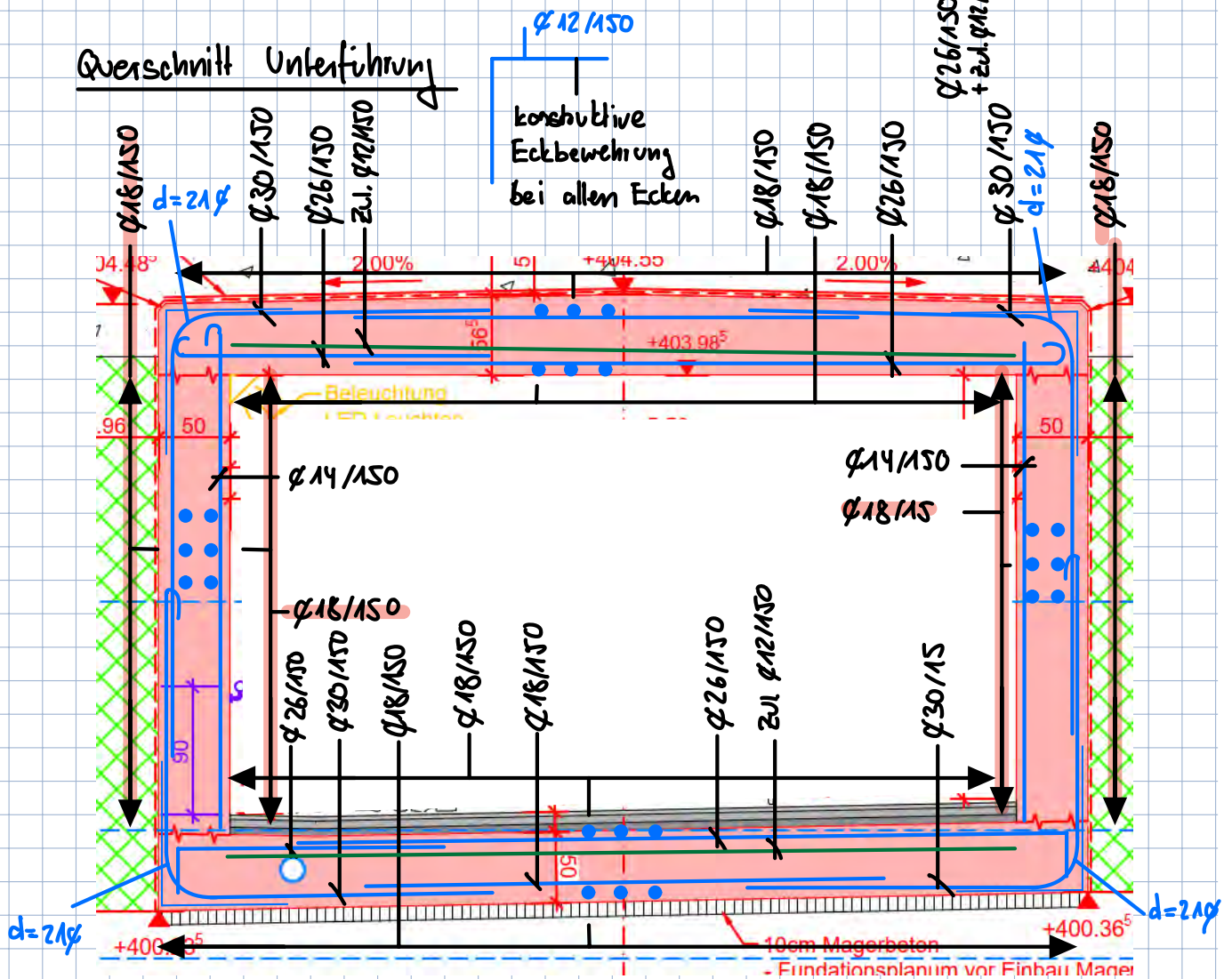
112-0059 PU ARA-Eulenweg Personenunterführung - Bauzustand		Seite
		30.04.26, 19:53
Bänziger Partner AG	d.mettler	Statik-9 - Rel. 261 (0)
Reaktionsgrenzwerte für FZ und zugehörige Komponenten [kN]/[kNm], Spezifikation: GZT-B		
 The diagram shows a 3D wireframe of a structural frame. It consists of several vertical columns and horizontal beams. Four specific reaction values are highlighted in boxes with leader lines pointing to their locations on the structure: - Top center: FZ=578.58 <> 578.58 - Left side, lower level: FZ=579.97 <> 579.97 - Right side, upper level: FZ=577.77 <> 577.77 - Center, lower level: FZ=580.74 <> 580.74		
		Nr.:

9. Bewehrungsskizze

Deckenplatte



Querschnitt Unterführung



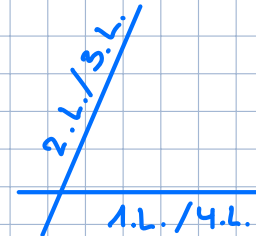
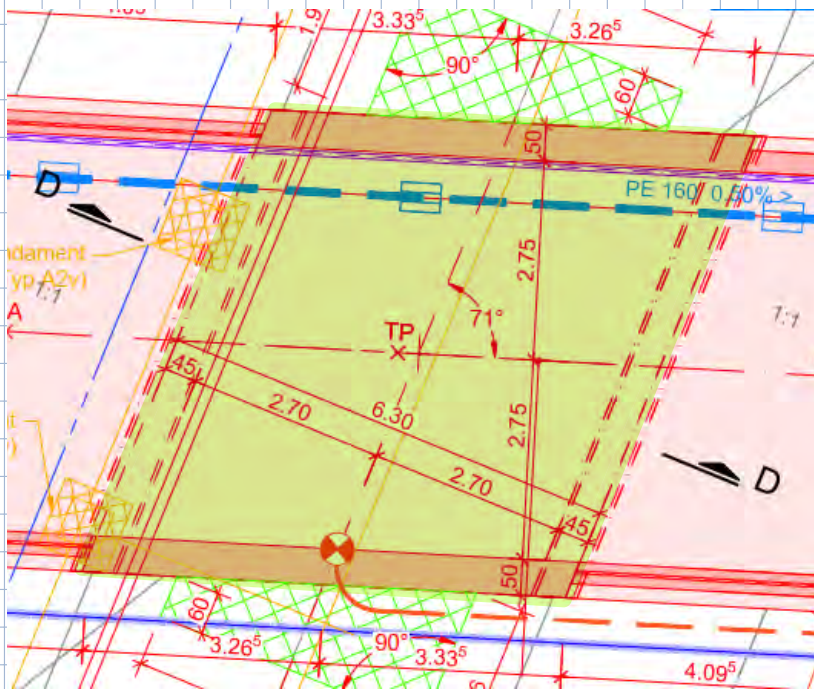
Seitlicher Anschluss zu Flügelwänden erfolgt mit Schraubbewehrung

Barkec DYN BLS

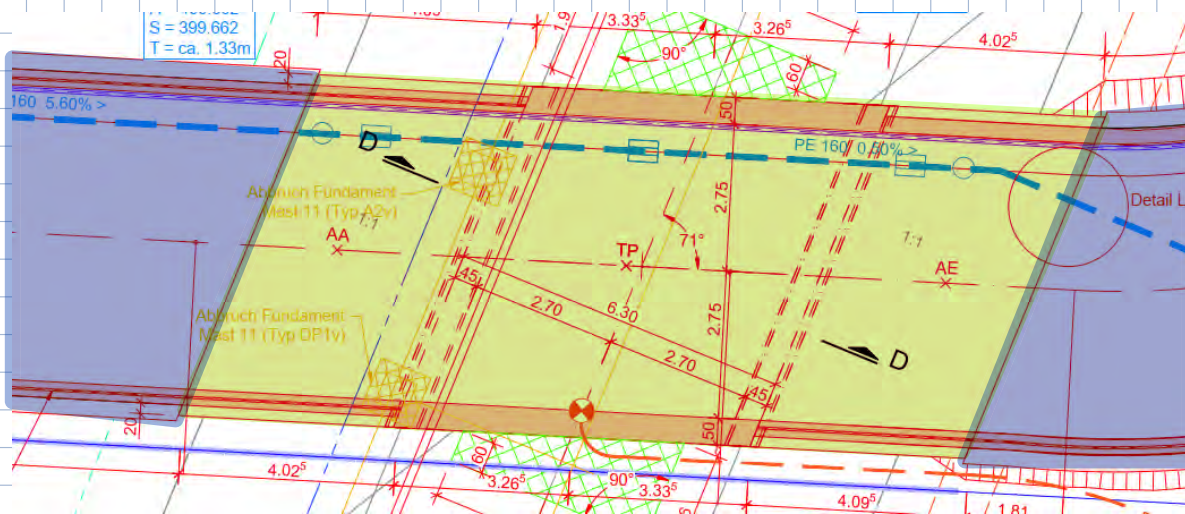
The drawing shows a rectangular playground area with the following details:

- Dimensions:**
 - Overall width: 10.00m (2.00m Gehweg + 2.75m + 5.50m + 2.75m + 2.00m Gehweg)
 - Overall length: 10.00m (3.07m Handlauf + min. 2.70m + 2.97m + min. 2.70m)
 - Internal width segments: 2.75m, 5.50m, 2.75m
 - Internal length segments: 3.07m, min. 2.70m, 2.97m, min. 2.70m
- Elevations:**
 - Top edge: +404.30 (center), +403.98⁵ (right corner)
 - Bottom edge: +400.35 (left corner), +400.35⁵ (right corner)
- Materials and Features:**
 - Handlauf:** 3.07m wide, with a 2.00% slope.
 - Gehweg:** 2.00m wide paths on the left and right sides.
 - Radfahrbereich:** 5.50m wide central area for cycling.
 - Achse:** Central axis line.
 - Beleuchtung:** LED Leuchten (indicated by yellow arrows).
 - Foundation:** 10cm Magerbeton (lean concrete) and Fundamentsplanum vor Einbau Mauer (foundation plan before wall installation).
- Structural Elements:**
 - Four vertical reinforcement lines labeled $\phi 14/150$ Barkec DYN BLS.
 - Four horizontal reinforcement lines labeled $\phi 18/150$ Barkec DYN BLS.
- Other Labels:**
 - Handlauf 3.07
 - min. 2.70
 - 2.00%
 - 56⁵
 - 50
 - 14
 - 50

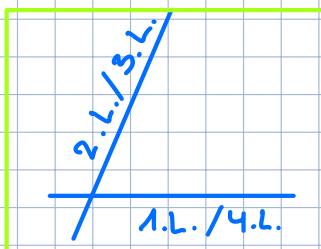
Bewehrungsrichtung Decke



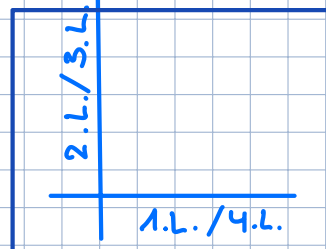
Bewehrungsrichtung Bodenplatte



Bereich ①



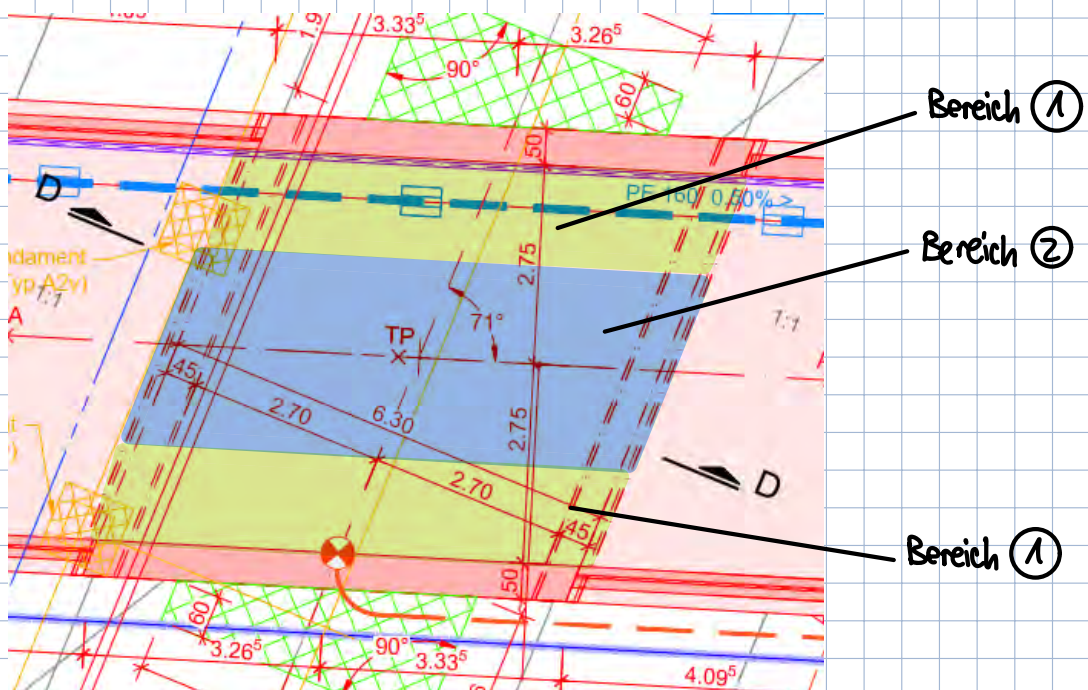
Bereich ②



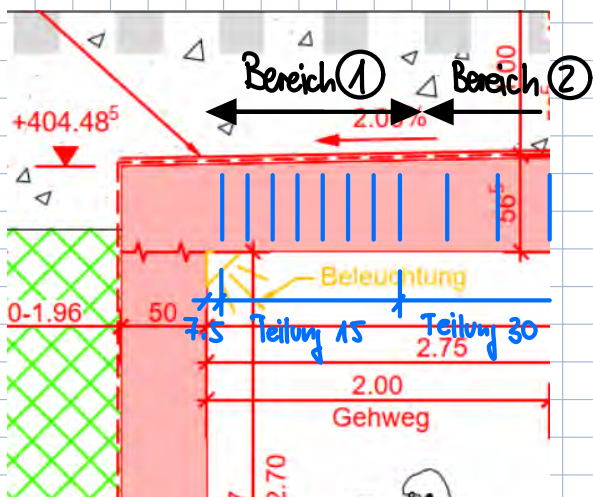
Bewehrungsrichtung Widerlager

In den Widerlagern wird die Bewehrung orthogonal verlegt.

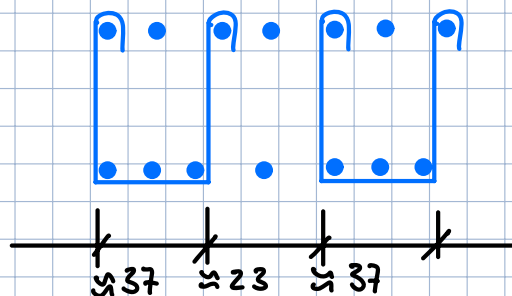
Überkrafbewehrung Decke und Bodenplatte



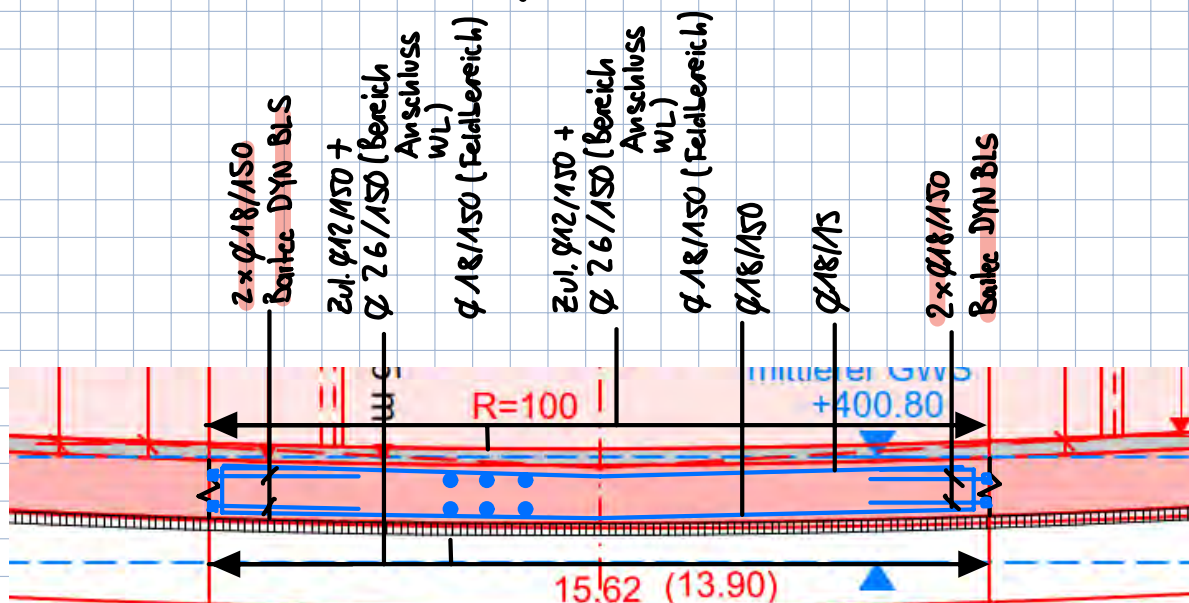
Verlegeschema



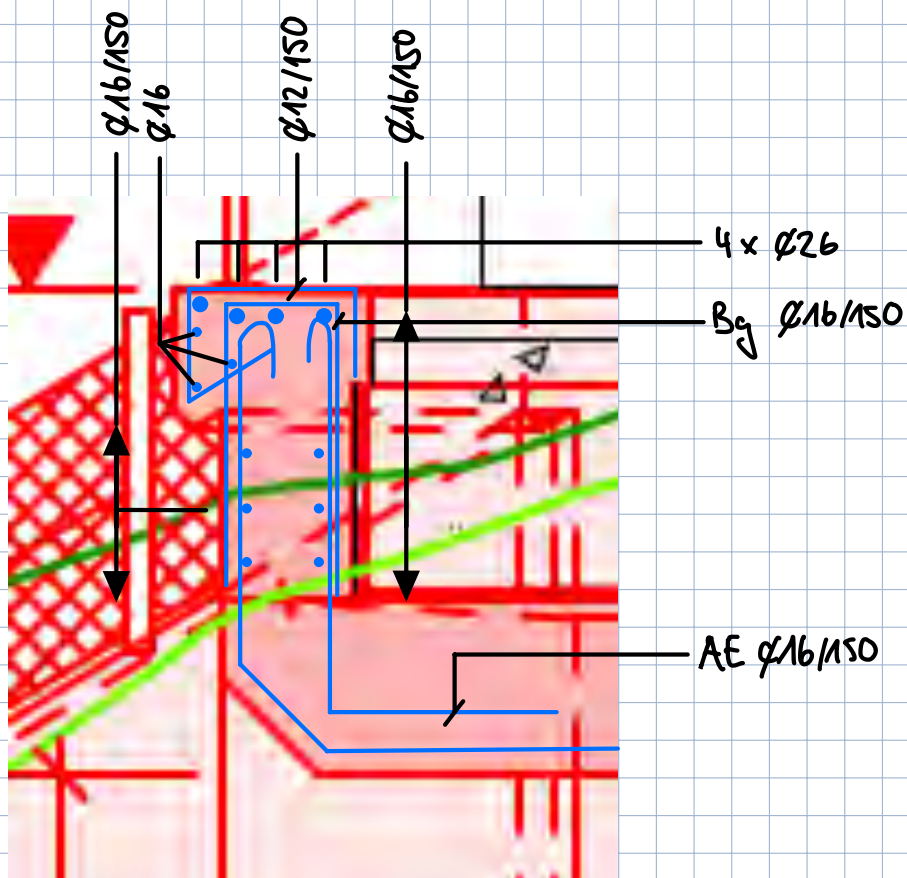
Bügeldurchmesser = 14mm



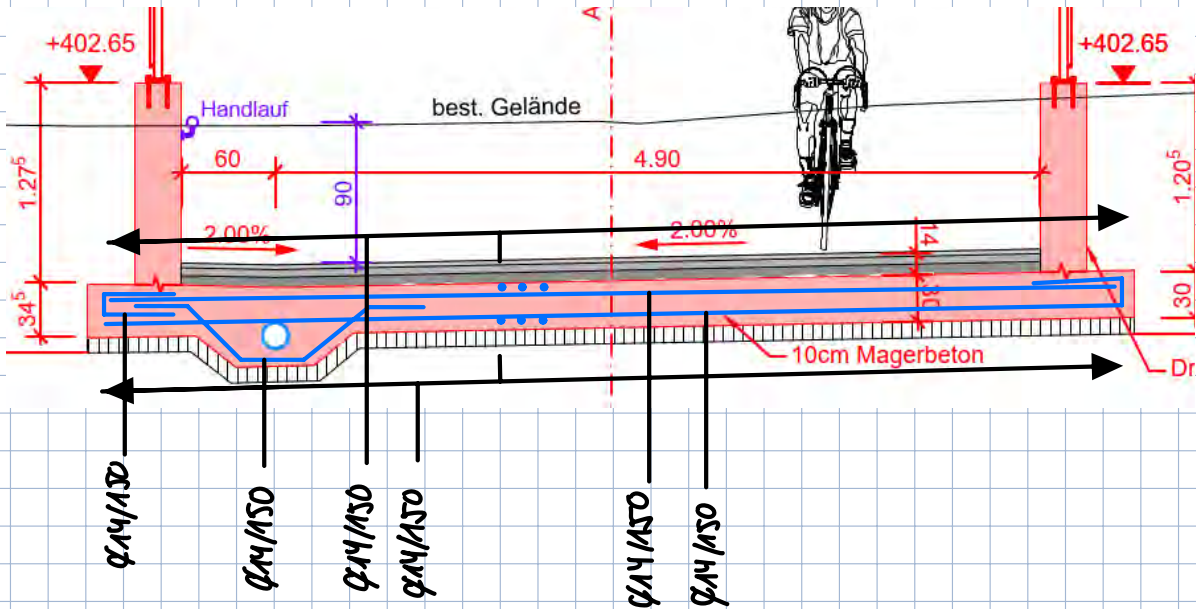
Bodenplatte (Bereich Unterführung)



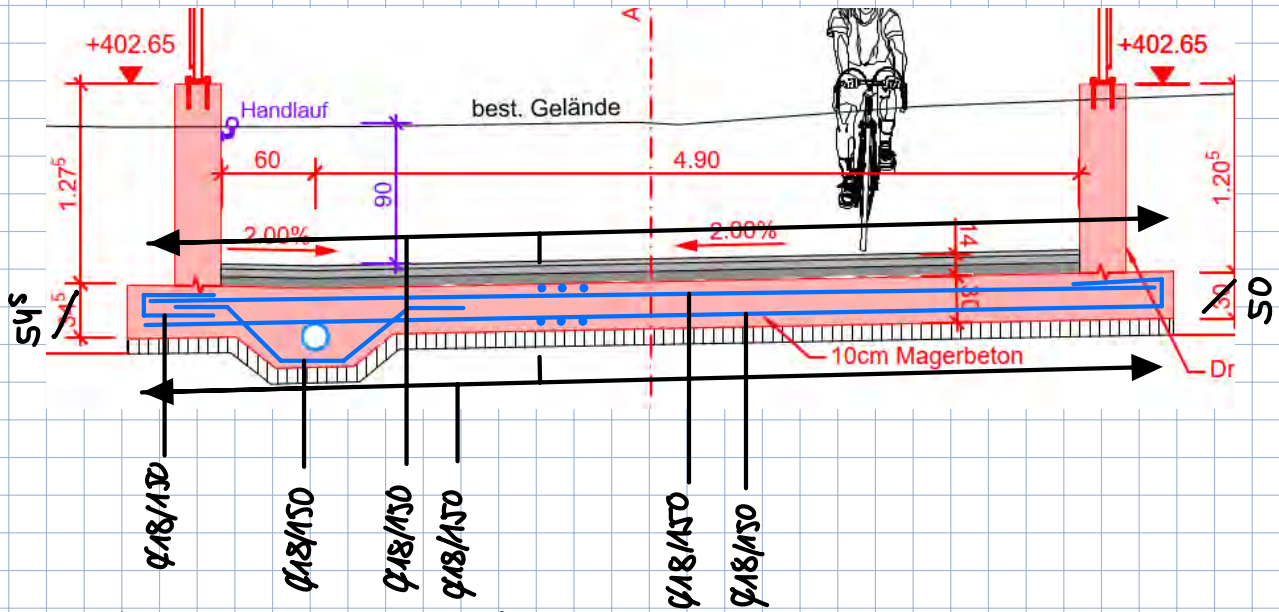
Detail Randbord



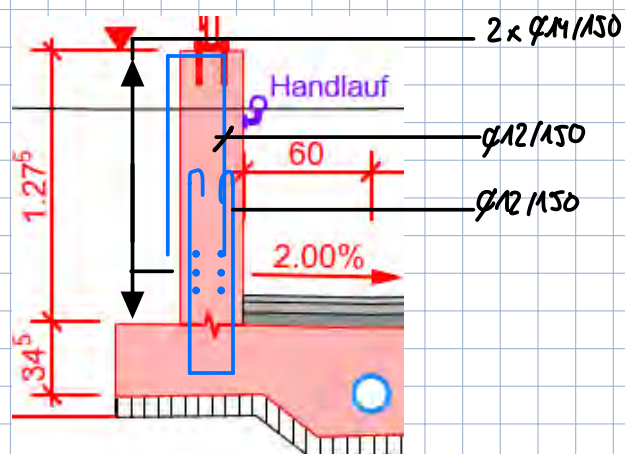
Bodenplatte Rampe $d=30\text{cm}$



Bodenplatte Rampe d=50cm



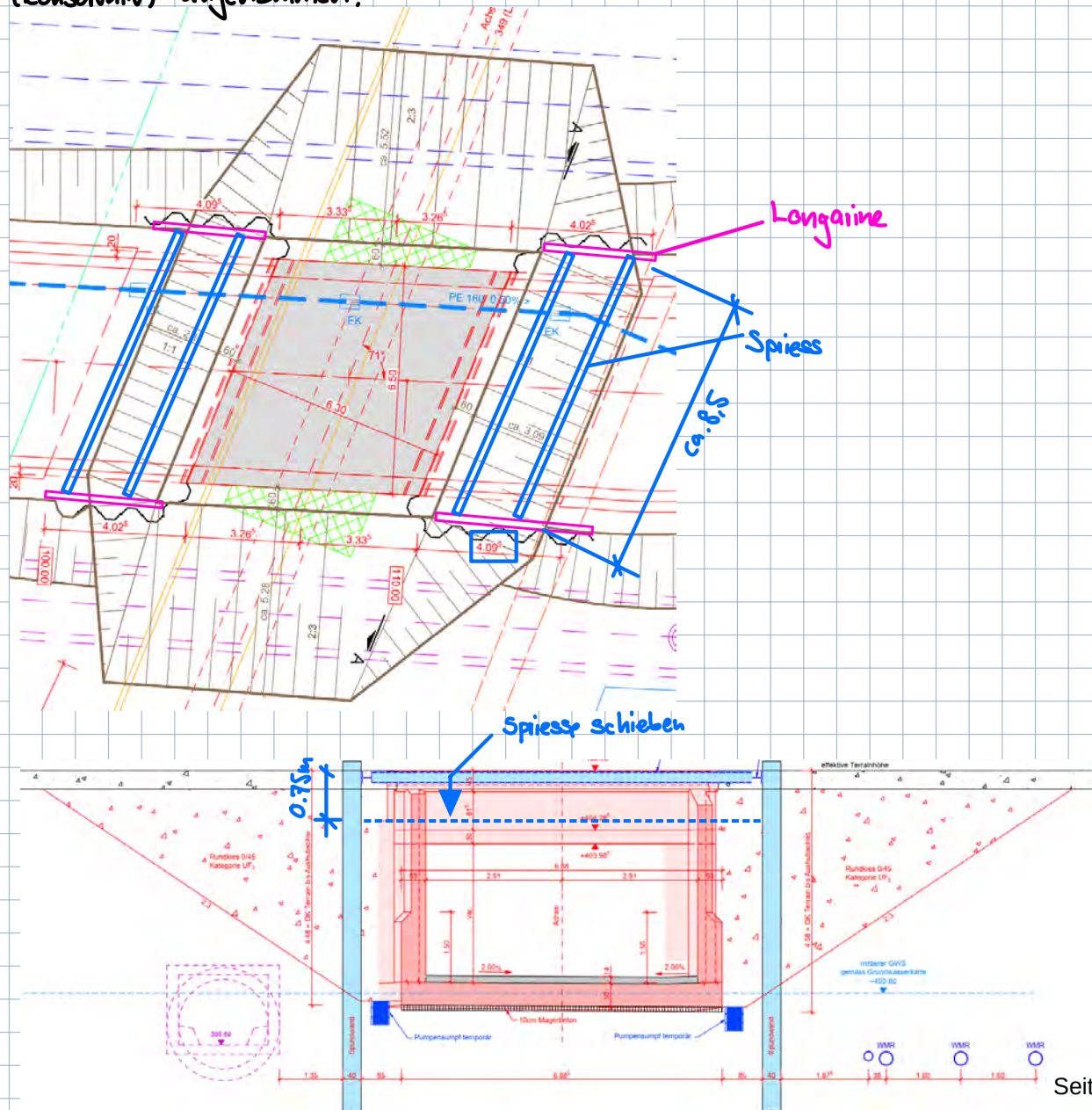
Detail Anschluss Wannenwände



10 Baugrubensicherung

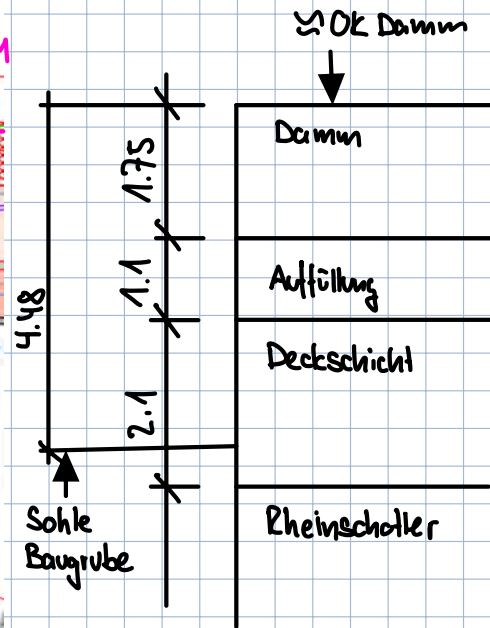
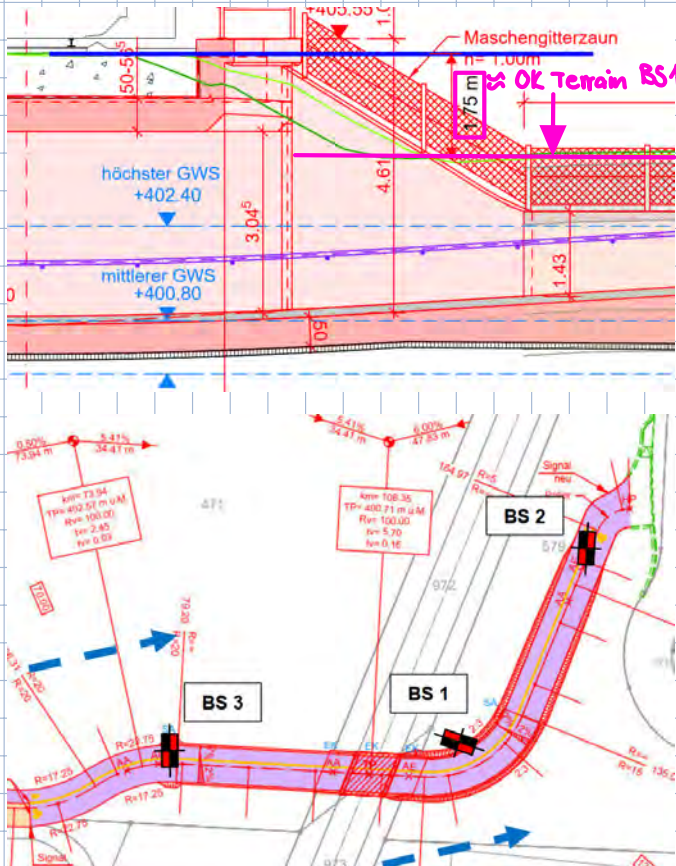
Zur Erstellung der Rampenwände sind im Dammbereich Spundwände notwendig, die vor dem Einhub der Untertüfung erstellt werden müssen. Nach dem Bau der Rampenwände werden die Spundwände wieder abgebaut.

Für die Berechnung der Einbindelänge der Spundwand wird eine Dreiecksverteilung (konservativ) und für die Bemessung der Longarine und Spiess eine Rechteckverteilung (konservativ) angenommen.



Bodenschichten

Der Nachweis wird anhand des Schichtaufbaus vom Baggerschnitt 1 (BS1) durchgeführt.



Bodenkennwerte:

- Damm / Auffüllung

$$\gamma = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}; \varphi_k = 30^\circ; c_k = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Deckschicht

$$\gamma = 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}; \varphi_k = 26^\circ; c_k = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Rheinschotter

$$\gamma = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}; \varphi_k = 34^\circ; c_k = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Neubau PU ARA-Eulenweg Au-Heerbrugg BS 1		ANDRES GEOTECHNIK AG	
Baggerfirma: Bruno Mattli AG, Oberriet Baggertyp: Raupenbagger, 10 t Höhe: 403.38 m ü. M.		Koordinaten: 2765'836 / 1'254'544 Ausführungsdatum: 11.12.2025 Aufnahme: M. Manser	
Massstab 1:50	Tiefe [m] ab OKT	Schichtstärke [m]	Geologie
0.15	0.15	Humus; weich; dunkelbraun	Auffüllung
1	0.95	tonig-siltiger Kiessand mit Steinen und wenig Bauschutt; locker; beige	
2	1.10	tonig-siltiger Feinsand; locker; graubeige	Deckschicht
3	2.60	siltiger Fein- bis Mittelsand; locker; beige	Rheinschotter
3.20	3.30	siltiger Kiessand mit reichlich Steinen; mitteldicht; graubeige; wasserführend, leicht aufsteigend	

112-0059 PU ARA-Eulenweg Baugrube		Seite
Bänziger Partner AG		29.04.26, 17:14
d.mettler		Larix-9 - Rel. 261 (0)

Baugrundmodell (System)
Mstb. 1 :85.0

Spundwand
PU 22, S240GP, Einzelbohle
 $\delta_a = 0.67^\circ$, $\delta_p = -0.50^\circ$, $\alpha = 0.00^\circ$

Baugrundmodell Etappe 1: Endzustand
Mstb. 1 :80.1

Wandfuss: Aufgelegt
Einbindetiefe gesucht

BERECHNUNGSOPTIONEN

Widerstandsbeiwerte (1)

Name	GZ TS 1 [-]	GZ TS 2 [-]	GZ TS 2a [-]	GZ TS 3 [-]	GZ G [-]	global [-]
Erddruck geschlossene Wand		1.40			1.00	1.50
Erddruck offene Wand		1.40			1.00	2.00
Biegesteifigkeit EI		1.10			1.00	1.00
Bettungsmodul ksh		1.50			1.00	1.50

Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Baugrube							Seite	
							29.04.26, 17:14	
Bänziger Partner AG						d.mettler	Larix-9 - Rel. 261 (0)	

Berechnungsparameter (1)

Name	GZ TS 1 [-]	GZ TS 2 [-]	GZ TS 2a [-]	GZ TS 3 [-]	GZ G [-]	global [-]	
Erdruehdruckanteil r		0.50			1.00	0	-
minimaler Erddruck		5.00			0	0	kN/m ²
Erddruckumlagerungsfaktor						1.30	-
hydraulischer Grundbruch $\gamma_{G,inf}$	0.90						-
hydraulischer Grundbruch $\gamma_{G,sup}$	1.60						-
hydraulischer Grundbruch $\gamma_{R,HG}$						2.00	-
Modellbeiwert horizontales Gleichgewicht		1.50			1.50	1.50	-
Schnittkraftvergrößerungsfaktor γ_L						1.50	-
Faktor innere Pfahltragfähigkeit η_i		0.80				0.80	-

Einwirkungen (1)

Name	Typ	Set	GZ Typ 1		GZ Typ 2		GZ Typ 3		γ [-]
			γ [-]	γ_{inf} [-]	γ [-]	γ_{inf} [-]	γ [-]	γ_{inf} [-]	
Eigenlast	ständig		1.10	0.90	1.35	0.80	1.00	1.00	1.35
Nutzlast	veränderlich		1.50		1.50		1.30		1.50
Erddruck ständig	ständig		1.35	0.80	1.35	0.70	1.00	1.00	1.35
Wasserdruck ständig	ständig		1.05	0.95	1.20	0.90	1.00	1.00	1.20

GZ Typ 1 : Grenzzustand Typ 1
GZ Typ 2 : Grenzzustand Typ 2
GZ Typ 3 : Grenzzustand Typ 3
: Grenzzustand Typ 2a

Einwirkungen (2)

Name	γ_{inf} [-]	ψ -Beiwerte			u
		ψ_0 [-]	ψ_1 [-]	ψ_2 [-]	
Eigenlast	1.00				Ja
Nutzlast		1.00	1.00	1.00	Ja
Erddruck ständig	0.70				Ja
Wasserdruck ständig	0.90				Ja

: Grenzzustand Typ 2a
 ψ -Beiwerte : Reduktionsbeiwerte
u : Einwirkung ist benutzt

Wanddruckberechnung

negative Erddrücke Ansatz für Kohäsionsanteil bei offenen Wänden Bei mehreren Belastungsnullpunkten Erdrwiderstand nach Weissenbach Spezifisches Gewicht des Grundwassers	werden vor Umlagerung zu Null gesetzt nach SIA 267 den untersten verwenden ohne obere Grenzen der mitwirkenden Breiten 10.00 [kN/m ³]
---	---

Bemessung der Wandlänge

Maximale Anzahl Iterationen Toleranzwert Kraft Toleranzwert Biegemoment maximaler Abstand Resultatpunkte Tiefenfaktor f_t Vorgegebene Einbindetiefe	20 [] 1.00 [kN/m] 1.00 [kNm/m] 0.50 [m] 3 [] begrenzt
--	--

Grenzwertspezifikationen für Wandlänge, Stützkräfte, Schnittkräfte, Querschnittsbemessung

!GZ Tragsicherheit Typ 2

SYSTEM

Etappen

Nr	Titel
1	Endzustand

Nr.:

N:\34947 rko PU SBB ARA - Eulenweg\30 Bauprojekt Auflageprojekt\33 Berechnungen\Baugrube.L9G

Seite 155

112-0059 PU ARA-Eulenweg Baugrube							Seite	
							29.04.26, 17:14	
Bänziger Partner AG							d.mettler	
							Larix-9 - Rel. 261 (0)	

Baugrubenabschluss

Wandtyp	Parameter		Wandkopf		Neigung
	δ_a	δ_p	x [m]	y [m]	α [°]
geschlossen	0.667	-0.500	0	0	0

δ_a : Aktiver Wandreibungswinkel als Bruchteil des Reibungswinkels φ
 δ_p : Passiver Wandreibungswinkel als Bruchteil des Reibungswinkels φ

Baugrubenabschluss: Querschnitt Spundwand 1

Profil	Parameter	Abminderung inf. Wasserdruck	Querschnitt	
	Spundwandstahl	Schlösser verschweisst	EI [kNm ² /m]	G [kN/m ²]
PU 22	S240GP	Nein	103866	-1.46

Schlösser verschweisst : Schlösser der Z-Bohlen verschweisst
 EI : Biegesteifigkeit EI
 G : Eigengewicht g

Baugrubenabschluss: Querschnitt Spundwand 2

		Abminderung inf. Schub				
	statische Wirkung	Nationaler Anhang	Boden	Anker	β_B	β_D
Norm	Einzelbohle	DIN	locker, weich	0	0.600	0.400
				1	0.600	0.400
				>= 2	0.600	0.400

Terrainoberfläche

Kote y [m]	Verlauf	Beschreibung	verteilte Auflast	p [kN/m ²]	wie Erddr.
			Einwirkung		
0	Horizontal			0	nein

wie Erddr. : Mit Auflast erzeugter Erddruck wird behandelt wie normaler Erddruck (Umlagerung, minimaler Erddruck, Lastfaktor)

Bodenschichten

Beschreibung	Kote y [m]	Parameter			weitere Attribute		
		φ [°]	γ [kN/m ³]	c_a [kN/m ²]	c_p [kN/m ²]	k [m/s]	γ' [kN/m ³]
Auffüllung / Damm	0	30.00	20.00	0			
Deckschicht	-2.85	26.00	19.00	0			
Rheinschotter	-4.95	34.00	20.00	0			

c_a : Kohäsion der Bodenschicht für die Bestimmung des Erddrucks
 c_p : Kohäsion der Bodenschicht für die Bestimmung des Erdwiderstandes
 k : Durchlässigkeit der Bodenschicht
 γ' : Raumgewicht des Bodens unter Auftrieb (ohne Strömungsdruck)

Abstützungen

Kote y [m]	Neigung α [°]	dh [m]	Lagerung	f [kN/m ²]	Auflagerverschiebung beim Aktivieren	Typ
					dx [m]	
-0.75	0	0	starr		gemäss letzter Etappe	Spiess

dh : Auflagerhöhe, über die die Schnittkräfte ausgerundet werden
 f : Federkonstante

Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg		Seite	
Baugrube		29.04.26, 17:14	
Bänziger Partner AG	Ausserhalb Bahnlast -> nur Nutzlast für Baustellenverkehr berücksichtigt.	d.mettler	Larix-9 - Rel. 261 (0)

Belastung NL: Nutzlast, Etappe 1: Endzustand Mstb. 1 :82.7

Wandfuss: Aufgelegt
Einbindetiefe gesucht

y=-4.48 m

$py1 = -10.00 \text{ kN/m}^2$

Auffüllung / Damm

$y=0 \text{ m } \varphi=30.00^\circ \gamma=20.00 \text{ kN/m}^3$

Deckschicht

$y=-2.85 \text{ m } \varphi=26.00^\circ \gamma=19.00 \text{ kN/m}^3$

Rheinschotter

$y=-4.95 \text{ m } \varphi=34.00^\circ \gamma=20.00 \text{ kN/m}^3$

Grenzwertspezifikation: !GZ Gebrauchstauglichkeit selten

Beschreibung
Standard-Bemessungssituation: Gebrauchstauglichkeit seltene Kombination

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	
2	Erddruck ständig	1	
3	Wasserdruck ständig	1	
4	Nutzlast	1	

Grenzwertspezifikation: !GZ Tragsicherheit Typ 2

Beschreibung
Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Einwirkungskombinationen										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Eigenlast	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8
2	Erddruck ständig	1.35	1.35	1.35	1.35	0.7	0.7	0.7	0.7	1.35	1.35	1.35
3	Wasserdruck ständig	1.2	1.2	0.9	0.9	1.2	1.2	0.9	0.9	1.2	1.2	0.9
4	Nutzlast	1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5

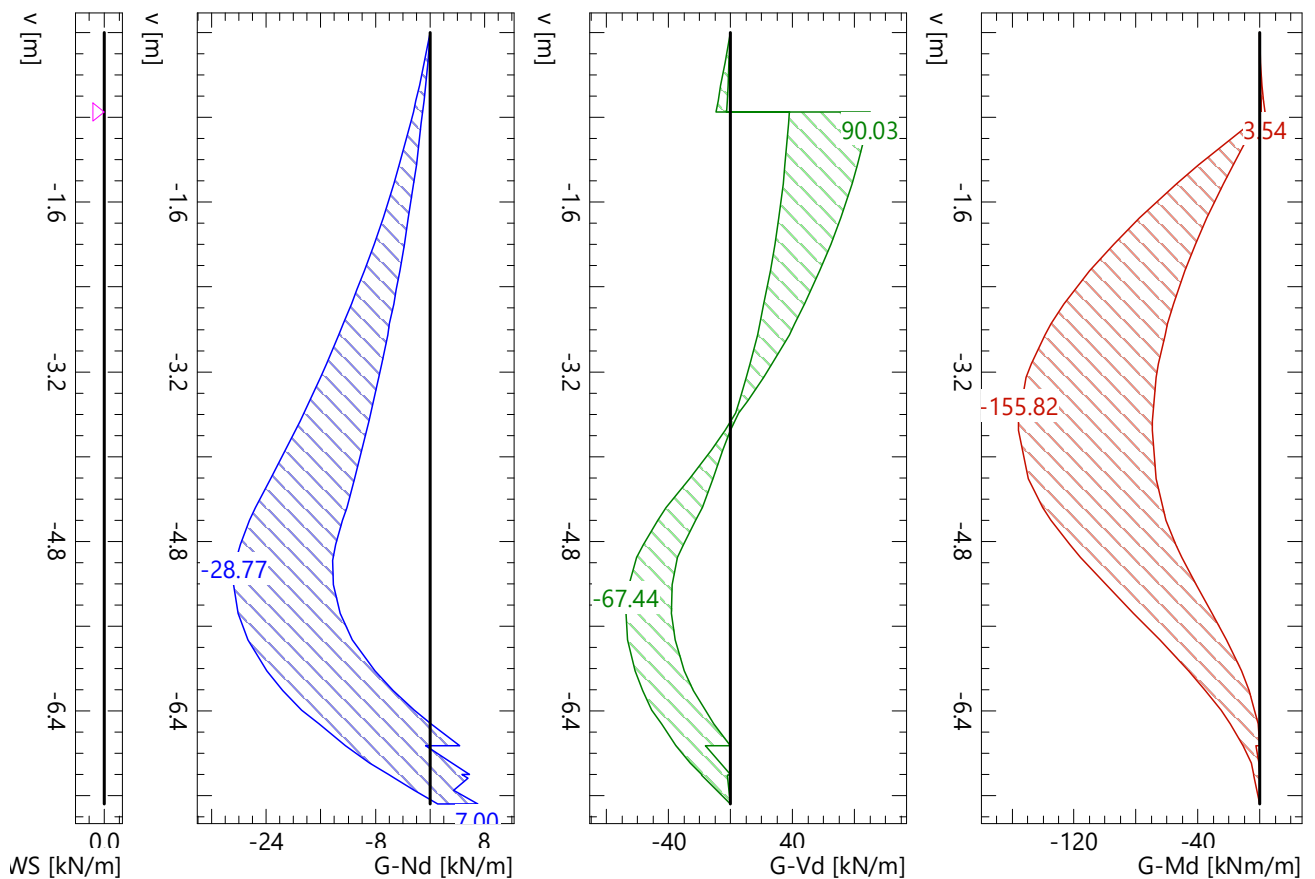
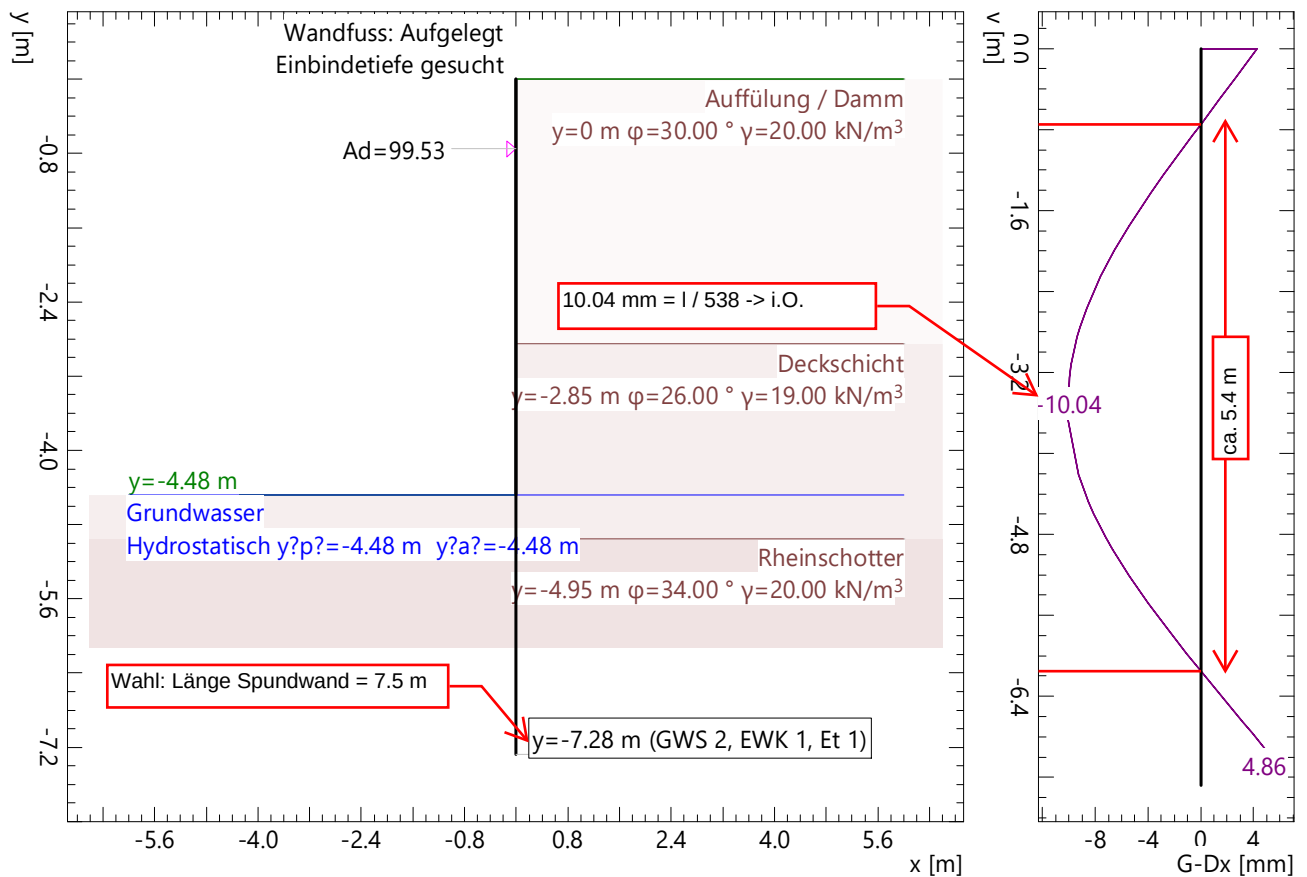
Einwirkungskombinationen - Fortsetzung

Nr	12	13	14	15	16	Einwirkungskombinationen
1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
2	1.35	0.7	0.7	0.7	0.7	
3	0.9	1.2	1.2	0.9	0.9	
4		1.5		1.5		

Nr.:

N:\34947 rko PU SBB ARA - Eulenweg\30 Bauprojekt Auflageprojekt\33 Berechnungen\Baugrube.L9G Seite 157

Grenzwerte



Nr.:

Grenzwerte

Wandlänge

Etappe	y [m]	t [m]	Sohle [m]	GWS,EWK,Et	Bemerkungen
1	-7.28	2.80	-4.48	2, 1, 1	Warnungen

y : Kote UK Wand
t : Einbindetiefe
Sohle : Kote Baugrubensohle
GWS,EWK,Et : Grenzwertspezifikation, Einwirkungskombination, Etappe

Abstützungen

y [m]	α [°]	A _d [kN/m]	A _{xd} [kN/m]	A _{yd} [kN/m]	GWS,EWK,Et	Bemerkungen
-0.75	0	99.53	99.53	0	2, 3, 1	

A_{xd} : horizontale Komponente der Abstützungskraft
A_{yd} : vertikale Komponente der Abstützungskraft
GWS,EWK,Et : Grenzwertspezifikation, Einwirkungskombination, Etappe

Bemessung Spundwandprofil

Nachweis		Bemessung		Bemerkungen
aMax [-]	GWS,EWK,Et	Profil	GWS,EWK,Et	
0.44	2, 3, 1	PU 12	2, 3, 1	

Nachweis : Nachweis für gewähltes Profil: PU 22, Einzelbohle
aMax : maximaler Ausnutzungsgrad, aMax <= 1.0 -> i.O.
GWS,EWK,Et : Grenzwertspezifikation, Einwirkungskombination, Etappe

Erddruck mit Umlagerung (Rechteckverteilung)

112-0059 PU ARA-Eulenweg Baugrube		Seite
Bänziger Partner AG		29.04.26, 17:15
d.mettler		Larix-9 - Rel. 261 (0)

Baugrundmodell (System)
Mstb. 1 :85.0

Spundwand
PU 22, S240GP, Einzelbohle
 $\delta_a = 0.67^\circ$, $\delta_p = -0.50^\circ$, $\alpha = 0.00^\circ$

Baugrundmodell Etappe 1: Endzustand
Mstb. 1 :80.1

Wandfuss: Aufgelegt
Einbindetiefe gesucht

BERECHNUNGSOPTIONEN

Widerstandsbeiwerte (1)

Name	GZ TS 1 [-]	GZ TS 2 [-]	GZ TS 2a [-]	GZ TS 3 [-]	GZ G [-]	global [-]
Erddruck geschlossene Wand		1.40			1.00	1.50
Erddruck offene Wand		1.40			1.00	2.00
Biegesteifigkeit EI		1.10			1.00	1.00
Bettungsmodul ksh		1.50			1.00	1.50

Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Baugrube		Seite
Bänziger Partner AG		29.04.26, 17:15
d.mettler		Larix-9 - Rel. 261 (0)

Berechnungsparameter (1)

Name	GZ TS 1 [-]	GZ TS 2 [-]	GZ TS 2a [-]	GZ TS 3 [-]	GZ G [-]	global [-]	
Erdruhedruckanteil r		0.50			1.00	0	-
minimaler Erddruck		5.00			0	0	kN/m ²
Erddruckumlagerungsfaktor						1.30	-
hydraulischer Grundbruch $\gamma_{G,inf}$	0.90						-
hydraulischer Grundbruch $\gamma_{G,sup}$	1.60						-
hydraulischer Grundbruch $\gamma_{R,HG}$						2.00	-
Modellbeiwert horizontales Gleichgewicht		1.50			1.50	1.50	-
Schnittkraftvergrößerungsfaktor γ_L						1.50	-
Faktor innere Pfahltragfähigkeit η_i		0.80				0.80	-

Einwirkungen (1)

Name	Typ	Set	GZ Typ 1		GZ Typ 2		GZ Typ 3		γ [-]
			γ [-]	γ_{inf} [-]	γ [-]	γ_{inf} [-]	γ [-]	γ_{inf} [-]	
Eigenlast	ständig		1.10	0.90	1.35	0.80	1.00	1.00	1.35
Nutzlast	veränderlich		1.50		1.50		1.30		1.50
Erddruck ständig	ständig		1.35	0.80	1.35	0.70	1.00	1.00	1.35
Wasserdruck ständig	ständig		1.05	0.95	1.20	0.90	1.00	1.00	1.20

GZ Typ 1 : Grenzzustand Typ 1
 GZ Typ 2 : Grenzzustand Typ 2
 GZ Typ 3 : Grenzzustand Typ 3
 : Grenzzustand Typ 2a

Einwirkungen (2)

Name	γ_{inf} [-]	ψ -Beiwerte			u
		ψ_0 [-]	ψ_1 [-]	ψ_2 [-]	
Eigenlast	1.00				Ja
Nutzlast		1.00	1.00	1.00	Ja
Erddruck ständig	0.70				Ja
Wasserdruck ständig	0.90				Ja

: Grenzzustand Typ 2a
 ψ -Beiwerte : Reduktionsbeiwerte
 u : Einwirkung ist benutzt

Wanddruckberechnung

negative Erddrücke Ansatz für Kohäsionsanteil bei offenen Wänden Bei mehreren Belastungsnullpunkten Erdwiderstand nach Weissenbach Spezifisches Gewicht des Grundwassers	werden vor Umlagerung zu Null gesetzt nach SIA 267 den untersten verwenden ohne obere Grenzen der mitwirkenden Breiten 10.00 [kN/m ³]
--	---

Bemessung der Wandlänge

Maximale Anzahl Iterationen Toleranzwert Kraft Toleranzwert Biegemoment maximaler Abstand Resultatpunkte Tiefenfaktor f_t Vorgegebene Einbindetiefe	20 [] 1.00 [kN/m] 1.00 [kNm/m] 0.50 [m] 3 [] begrenzt
--	--

Grenzwertspezifikationen für Wandlänge, Stützkkräfte, Schnittkräfte, Querschnittsbemessung

!GZ Tragsicherheit Typ 2

SYSTEM

Etappen

Nr	Titel
1	Endzustand

	Nr.:
--	------

112-0059 PU ARA-Eulenweg							Seite	
Baugrube							29.04.26, 17:15	
Bänziger Partner AG							d.mettler	
							Larix-9 - Rel. 261 (0)	

Baugrubenabschluss

Wandtyp	Parameter		Wandkopf		Neigung α [°]
	δ_a	δ_p	x [m]	y [m]	
geschlossen	0.667	-0.500	0	0	0

δ_a : Aktiver Wandreibungswinkel als Bruchteil des Reibungswinkels φ
 δ_p : Passiver Wandreibungswinkel als Bruchteil des Reibungswinkels φ

Baugrubenabschluss: Querschnitt Spundwand 1

Profil	Parameter Spundwandstahl	Abminderung inf. Wasserdruck Schlösser verschweisst	Querschnitt	
			EI [kNm ² /m]	G [kN/m ²]
PU 22	S240GP	Nein	103866	-1.46

Schlösser verschweisst : Schlösser der Z-Bohlen verschweisst
 EI : Biegesteifigkeit EI
 G : Eigengewicht g
 : Eigengewicht g

Baugrubenabschluss: Querschnitt Spundwand 2

	statische Wirkung	Abminderung inf. Schub				
		Nationaler Anhang	Boden	Anker	β_B	β_D
Norm	Einzelbohle	DIN	locker, weich	0	0.600	0.400
				1	0.600	0.400
				>= 2	0.600	0.400

Terrainoberfläche

Kote y [m]	Verlauf	Beschreibung	verteilte Auflast Einwirkung	p [kN/m ²]	wie Erddr.
0	Horizontal			0	nein

wie Erddr. : Mit Auflast erzeugter Erddruck wird behandelt wie normaler Erddruck (Umlagerung, minimaler Erddruck, Lastfaktor)

Bodenschichten

Beschreibung	Kote y [m]	Parameter			weitere Attribute		
		φ [°]	γ [kN/m ³]	c_a [kN/m ²]	c_p [kN/m ²]	k [m/s]	γ' [kN/m ³]
Auffüllung / Damm	0	30.00	20.00	0			
Deckschicht	-2.85	26.00	19.00	0			
Rheinschotter	-4.95	34.00	20.00	0			

c_a : Kohäsion der Bodenschicht für die Bestimmung des Erddrucks
 c_p : Kohäsion der Bodenschicht für die Bestimmung des Erdwiderstandes
 k : Durchlässigkeit der Bodenschicht
 γ' : Raumgewicht des Bodens unter Auftrieb (ohne Strömungsdruck)

Abstützungen

Kote y [m]	Neigung α [°]	dh [m]	Lagerung	f [kN/m ²]	Auflagerverschiebung beim Aktivieren dx [m]	Typ
-0.75	0	0	starr		gemäss letzter Etappe	Spiess

dh : Auflagerhöhe, über die die Schnittkräfte ausgerundet werden
 f : Federkonstante

Nr.:

112-0059 PU ARA-Eulenweg Baugrube		Seite
Bänziger Partner AG		29.04.26, 17:15
d.mettler		Larix-9 - Rel. 261 (0)

Belastung NL: Nutzlast, Etappe 1: Endzustand
Mstb. 1 :82.7

Wandfuss: Aufgelegt
Einbindetiefe gesucht

y=-4.48 m

py1=-10.00 kN/m²

Auffüllung / Damm
y=0 m φ=30.00 ° γ=20.00 kN/m³

Deckschicht
y=-2.85 m φ=26.00 ° γ=19.00 kN/m³

Rheinschotter
y=-4.95 m φ=34.00 ° γ=20.00 kN/m³

Grenzwertspezifikation: !GZ Gebrauchstauglichkeit selten

Beschreibung
Standard-Bemessungssituation: Gebrauchstauglichkeit seltene Kombination

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	
2	Erddruck ständig	1	
3	Wasserdruck ständig	1	
4	Nutzlast	1	

Grenzwertspezifikation: !GZ Tragsicherheit Typ 2

Beschreibung
Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Einwirkungskombinationen										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Eigenlast	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8
2	Erddruck ständig	1.35	1.35	1.35	1.35	0.7	0.7	0.7	0.7	1.35	1.35	1.35
3	Wasserdruck ständig	1.2	1.2	0.9	0.9	1.2	1.2	0.9	0.9	1.2	1.2	0.9
4	Nutzlast	1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5

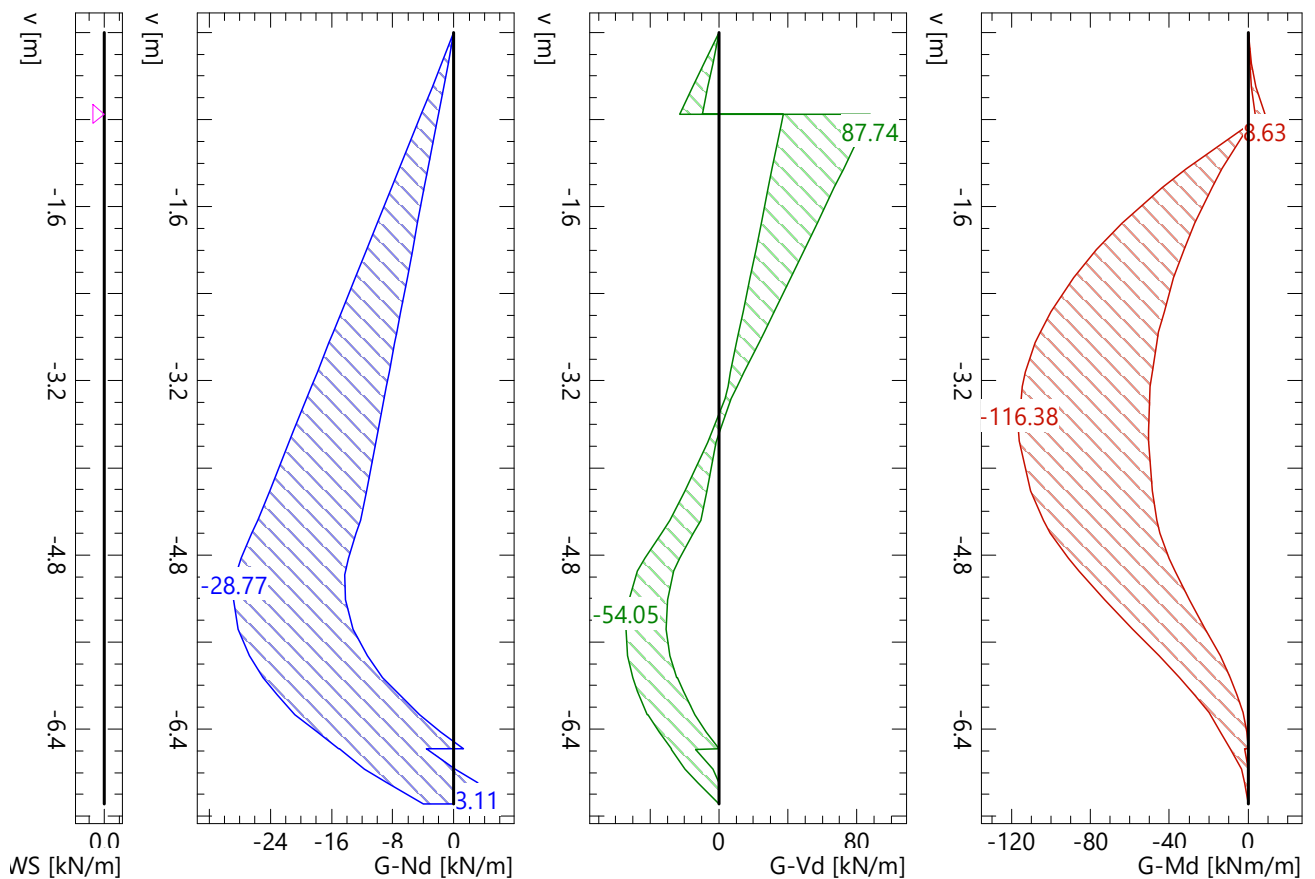
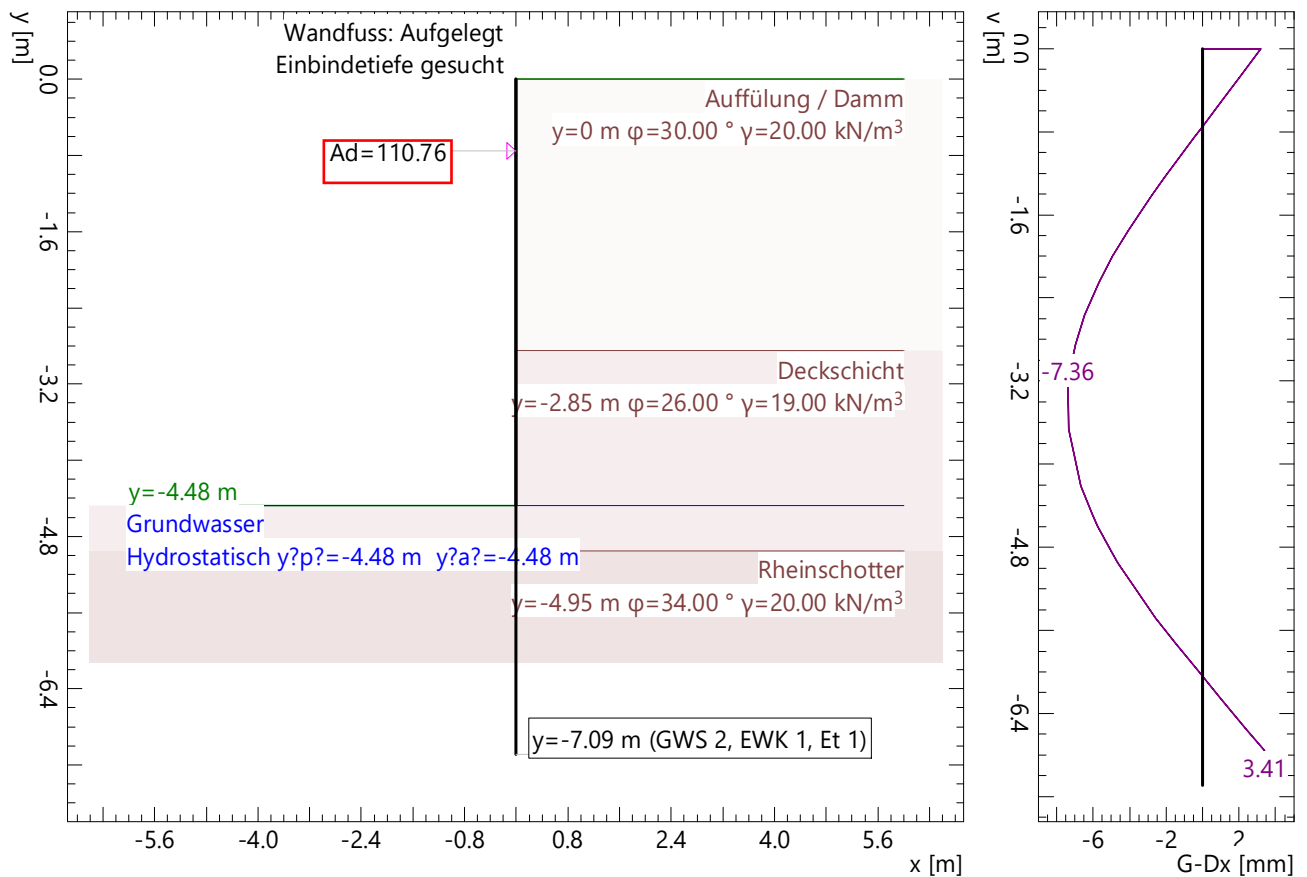
Einwirkungskombinationen - Fortsetzung

Nr	12	13	14	15	16	Einwirkungskombinationen
1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
2	1.35	0.7	0.7	0.7	0.7	
3	0.9	1.2	1.2	0.9	0.9	
4		1.5		1.5		

Nr.:

N:\34947 rko PU SBB ARA - Eulenweg\30 Bauprojekt Auflageprojekt\33 Berechnungen\Baugrube.L9G
Seite 163

Grenzwerte



112-0059 PU ARA-Eulenweg Baugrube					Seite	
					29.04.26, 17:15	
Bänziger Partner AG					d.mettler	Larix-9 - Rel. 261 (0)

Grenzwerte

Wandlänge

Etappe	y [m]	t [m]	Sohle [m]	GWS,EWK,Et	Bemerkungen
1	-7.09	2.61	-4.48	2, 1, 1	Warnungen

y

:

Kote UK Wand

t

:

Einbindetiefe

Sohle

:

Kote Baugrubensohle

GWS,EWK,Et

:

Grenzwertspezifikation, Einwirkungskombination, Etappe

Abstützungen

y [m]	α [°]	A _d [kN/m]	A _{xd} [kN/m]	A _{yd} [kN/m]	GWS,EWK,Et	Bemerkungen
-0.75	0	110.76	110.76	0	2, 1, 1	

A_{xd}

:

horizontale Komponente der Abstützungskraft

A_{yd}

:

vertikale Komponente der Abstützungskraft

GWS,EWK,Et

:

Grenzwertspezifikation, Einwirkungskombination, Etappe

Bemessung Spundwandprofil

Nachweis		Bemessung		Bemerkungen
aMax [-]	GWS,EWK,Et	Profil	GWS,EWK,Et	
0.33	2, 1, 1	PU 12	2, 1, 1	

Nachweis

:

Nachweis für gewähltes Profil: PU 22, Einzelbohle

aMax

:

maximaler Ausnutzungsgrad, aMax <= 1.0 -> i.O.

GWS,EWK,Et

:

Grenzwertspezifikation, Einwirkungskombination, Etappe

Bohle (Einzelbohle)

PU 22: $W_{el} = 2200000 \text{ mm}^3/\text{m}$

Stahlqualität: S240GP $\rightarrow f_y = 240 \text{ N/mm}^2$

$$m_{ed,el} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2200000 \cdot 240}{1.05} = 502.9 \text{ kNm/m}$$

$m_d = 156 \text{ kNm/m}$

Ausnutzungsgrad = 0.31

↳ berechneter Ausnutzungsgrad von Computerprogramm mit Iteration
V-M-N plausibel.

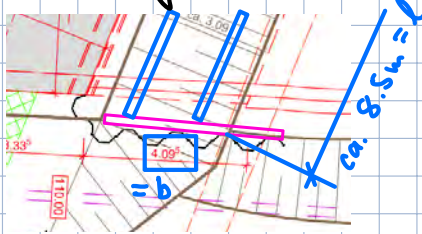
Profil	Maße				Eigenschaften						
	b mm	h mm	t mm	t _w mm	A cm²/m	G _{sp} kg/m	G _w kg/m²	I _y cm⁴/m	W _{el,y} cm³/m	S _y cm³/m	W _{pl,y} cm³/m
PU 12	600	360	9.8	9.0	140	66.1	110	21600	1200	715	1457
PU 12S	600	360	10.0	10.0	151	71.0	118	22660	1260	755	1543
PU 18	600	430	11.2	9.0	163	76.9	128	38650	1800	1055	2134
PU 18+1	600	430	12.2	9.5	172	81.1	135	41320	1920	1125	2280
PU 18-1	600	430	10.2	8.4	154	72.6	121	35950	1670	980	1988
PU 22	600	450	12.1	9.5	183	86.1	144	49460	2200	1275	2580

W _{el,y} cm ³ /m
1200
1260
1800
1920
1670
2200

Spiess

Profilwahl: HEA 200 (S355)

Abmessungen:



Baugrubenbreite = 4.095m

↳ Dammböschung wird auf der konservativen Seite liegend vernachlässigt.

Spiesslänge $\approx$ 8.5m

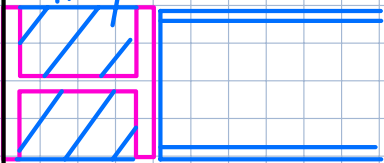
Anzahl Spiessse : 2 Stk.

Einwirkung:

$$N_d = \frac{N_d \cdot b}{2} = \frac{1.11 \cdot 4.095}{2} = 227 \text{ kN}$$

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{42.3 \text{ kN/m} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (8.5 \text{ m})^2}{8} = 375 \text{ kNm}$$

konstruktiv eingeschweisste Rippen/



← Spundwand

$$M_{D,Rd} = 68 \text{ kN} \text{ (gem. C4 } M_{D,Rd} \text{ [] } M_{D,Rd}; 8.5 \text{ m})$$

$$N_{k,y,Rd} = 739 \text{ kN} \text{ (gem. C4 ; } l_k = 8.5 \text{ m)}$$

$$N_{cr,y} = \frac{EI \cdot \pi^2}{l_k^2} = \frac{210000 \cdot 36.9 \cdot 10^6 \cdot \pi^2}{8500^2} = 1058.5 \text{ kN}$$

$$N_{k,z,Rd} = 294 \text{ kN} > N_d = 227 \text{ kN} \Rightarrow \text{i.O.}$$

↳ Stabilitätsnachweis nach SIA 263 (Formel 49)

$$\frac{N_d}{N_{k,y,Rd}} + \frac{1}{1 - N_d/N_{cr,y}} \cdot \frac{\omega \cdot M_d}{M_{D,Rd}} = \frac{227}{739} + \frac{1}{1 - 227/1058.5} \cdot \frac{3.75}{68} = 0.38 < 1.0 \Rightarrow \text{i.O.}$$

Die Spiessse wurden „starr“ modelliert. Zur Abschätzung der elastischen Verformung der Spiessse wird die Längenänderung infolge Normalkraft berechnet



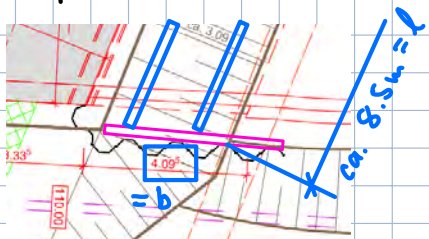
$$\Delta l = \frac{N_d}{E \cdot A} \cdot l = \frac{227 \cdot 10^3 \text{ N}}{210000 \cdot 5380} \cdot 8500 = 1.71 \text{ mm}$$

↳ $\Delta l/2 = 0.85 \text{ mm} \Rightarrow$ vernachlässigbar klein. Annahme starres Auflager i.O. Seite 167

Longrine

Die Longrine wird implizit über die maximale Auskragslänge und den maximalen Abstand der Spriese nachgewiesen. Damit keine Interaktion Querkraft - Biegemoment gefürht werden muss, werden die Längen weiter begrenzt, so dass $V_d \leq 0.5 \cdot V_{Rd}$ ist

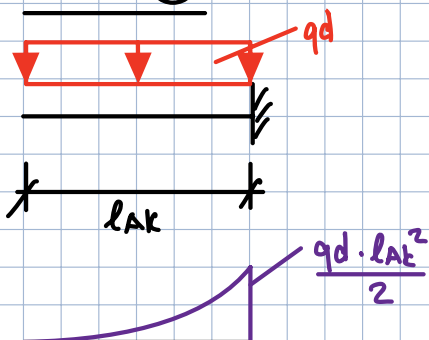
Profilwahl: HEA 200 (S355)



$$M_{Rd,y} = 145.2 \text{ kNm}$$

$$V_{Rd} = 353 \text{ kN}$$

Bereich ①



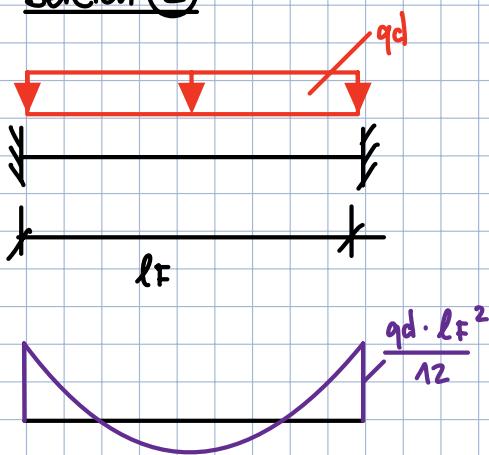
$$M_d = \frac{q_d \cdot l_{Ak}^2}{2} = M_{Rd,y}$$

$$\begin{aligned} \hookrightarrow l_{Ak,max} &= \sqrt{\frac{2 M_{Rd,y}}{q_d}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 145.2}{111}} = \underline{1.61 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$V_d = q_d \cdot l_{Af} = 0.5 \cdot V_{Rd}$$

$$\hookrightarrow l_{Af,max} = \frac{0.5 \cdot V_{Rd}}{q_d} = \frac{0.5 \cdot 353}{111} = \underline{1.59 \text{ m}}$$

Bereich ②



$$M_d = \frac{q_d \cdot l_F^2}{12} = M_{Rd,y}$$

$$\begin{aligned} \hookrightarrow l_{F,max} &= \sqrt{\frac{12 M_{Rd,y}}{q_d}} \\ &= \sqrt{\frac{12 \cdot 145.2}{111}} = \underline{3.36 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$V_d = \frac{q_d \cdot l_{Af}}{2} = 0.5 \cdot V_{Rd}$$

$$\hookrightarrow l_{Af,max} = \frac{V_{Rd}}{q_d} = \frac{353}{111} = \underline{3.18 \text{ m}}$$

Die Baugrubenbreite beträgt maximal 4.05m. Auskrags- und Spannweitenlängen von 1.59m (2x) bzw. 3.18m übertreffen summiert die Baugrubenbreite $\Rightarrow$ Dimension i.O.

M Zusammenfassung

Der Projektverfasser ist sich bewusst, dass für die Ausführung noch etwelche Nachweise zu erbringen sind. Die vorliegende Bauprojektstatik zeigt jedoch, dass die Dimensionen sinnvoll gewählt sind.

Die Auftriebssicherheit kann sowohl im Rampen als auch im Unterföhrungs-bereich nachgewiesen werden.

Sowohl die Tragsicherheit als auch die Gebrauchstauglichkeit konnten für die Rampen- und Unterföhrungsbereiche in den massgebenden Schnitten ebracht werden. Der Unterföhrungsbereich Bahn wurde mittels eines Trägersrostmodells (Cubus AG) untersucht.

Zusätzlich zu den Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweisen konnte auch eine ausreichende Ermüdungssicherheit nachgewiesen werden.

Buchs, 29.05.2026 