

Beilage Nr. 4 – 29

# ZBB Stadt Bern Verkehrsmassnahmen

## Baustein 4, Schanzenbrücke

### Überbauungsordnung

Detaillierte Überprüfung 2023 –  
Ergänzung vertiefte Berechnungen Level IV

Bericht

Orientierender Inhalt

## Impressum

Erstelldatum 22.03.2023  
Änderungsdatum -  
Autor/in Philipp Künzler  
Auftragsnummer 114000.21  
Seitenanzahl 24 inkl. Deckblatt (+ 119 Anhang)

© Tiefbauamt der Stadt Bern

Verfasser:

**Diggelmann + Partner AG**  
Bauingenieure sia / suisse.ing  
Spitalackerstr. 20 A  
3013 Bern





## Änderungsverzeichnis

<b>VERSION</b>	<b>DATUM</b>	<b>VERFASSER</b>	<b>BEMERKUNGEN</b>
001	22.03.2023	D+P	Erstausgabe

---

Bauherrengemeinschaft ZBBS, c/o Tiefbauamt Stadt Bern  
**ZBB Stadt Bern Verkehrsmassnahmen – Schanzenbrücke**

---

## **Detaillierte Überprüfung Schanzenbrücke 2023**

**Ergänzung vertiefte Berechnungen Level IV**



Verfasser:

**Diggelmann + Partner AG**

Bauingenieure sia / suisse.ing

Spitalackerstr. 20 A

3013 Bern

fon: 031 / 350 00 20

mail: [info@dig-ing.ch](mailto:info@dig-ing.ch)

web: [www.dig-ing.ch](http://www.dig-ing.ch)

Bern, 22. März 2023

1229-10 / PK



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
1.1	Ausgangslage und Ziel	3
1.2	Abgrenzung	3
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN</b>	<b>5</b>
2.1	Projektspezifische Grundlagen	5
2.2	Normen und Richtlinien	5
2.3	EDV-Programme	5
<b>3</b>	<b>TRAGWERKSANALYSE BERECHNUNGEN LEVEL IV</b>	<b>6</b>
3.1	Grundsätzliches	6
3.2	Berechnungsverfahren	6
3.3	Modellbildung IDEA StatiCa Detail – Längsträger	8
3.4	Modellbildung IDEA StatiCa Detail – Querträger	11
3.5	Nachweis der Tragsicherheit Level IV – Längsträger	14
3.6	Nachweis der Tragsicherheit Level IV – Querträger	16
3.7	Diskussion	18
<b>4</b>	<b>BEURTEILUNG DER TRAGSICHERHEIT</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>MASSNAHMEN</b>	<b>20</b>
5.1	Projektmassnahmen	20
5.2	Empfohlene weitere Massnahmen	20
<b>ANHANG</b>		



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Ziel

Im Rahmen des Projektes «Zukunft Bahnhof Bern Stadt ZBBS» sind u.a. Verkehrsmassnahmen im Bereich der Schanzenbrücke vorgesehen (Baustein 4). Diese umfassen insbesondere eine bereichsweise Fahrbahnerhöhung mit gleichzeitiger Fahrspurverengung stadtwärts (Umgestaltung Fussgängerübergang) sowie die Montage eines Fahrzeugrückhaltesystems aus Betonelementen am ostseitigen Fahrbahnrand. Diese Massnahmen bedingen eine Überprüfung des Tragwerks der Schanzenbrücke im Eigentum der SBB für den zukünftigen Nutzungszustand. Ziel ist die Erbringung der relevanten Tragsicherheitsnachweise für den Projektzustand und die Empfehlung allfälliger Massnahmen für die weitere Projektierung.

In einer früheren Projektphase wurden 2017/18 bzw. 2020 die Auswirkungen der Projektmassnahmen ZBBS auf das Tragwerk der Schanzenbrücke bereits rechnerisch überprüft inkl. entsprechende Massnahmenempfehlung (siehe [7][8][9]). Im Rahmen des Projektes «Ausbau Bahnhof Bern ABB RBS» wurde 2021 im Auftrag des RBS eine detaillierte Überprüfung der Schanzenbrücke inkl. detaillierte Zustandserfassung mit materialtechnologischen Untersuchungen für den temporären Bauzustand RBS mit prognostizierten Fundamentsetzungen der Schanzenbrücke (Erstellung Kavernen für Tiefbahnhof RBS) und mit im Sommer 2021 eingebauten Abfangkonstruktionen durchgeführt (siehe [3][4][5][6]). Die im Bauzustand massgebenden Tragsicherheitsnachweise konnten dabei für bisherigen Strassenverkehr bis 40 t normgemäss erbracht und genehmigt werden, mit Begrenzung der Fundamentsetzungen durch aktive Kompensation mittels hydraulischer Pressen auf den Abfangkonstruktionen bei Stützen C und D. Der massgebende Querkraftnachweis der annähernd direkt auf den Abfangkonstruktionen gelagerten Hohlkastenlängsträger (indirekte Lagerung mittels Querträger weitgehend entschärft) wurde dabei mittels vertiefter Berechnungen auf Nachweisstufe Level IV nach fib Model Code 2010 [14] (CSFM-Methode) erbracht (siehe [5][6]). Zwischenzeitlich sind die Kavernen Tiefbahnhof RBS im Bereich der Schanzenbrücke grösstenteils ausgebrochen und gesichert, mit erfolgreicher regelmässiger Setzungskompensation. Der Rückbau der Abfangungen mit allfällig erforderlichen Massnahmen ist für 2024/25 vorgesehen. Anschliessend soll die Schanzenbrücke bis zur Realisierung des Projektes ZBBS unverändert weitergenutzt werden.

Das vorliegende Dokument stellt eine Ergänzung zum Bericht «Detaillierte Überprüfung Schanzenbrücke 2023» [1] dar. Zusammen mit diesem sowie den beiden zugehörigen Sachverständigenberichten ist das vorliegende Dokument Bestandteil des übergeordneten Genehmigungsdossiers des Projektes ZBBS (öffentliche Auflage). Das vorliegende Dokument umfasst die vertieften Berechnungen Level IV sowie die sich daraus ergebenden Erkenntnisse und Massnahmen. Es gilt nur in Verbindung mit dem Bericht der Überprüfung [1]. Der Bericht [1] bleibt unverändert gültig und wird durch vorliegendes Dokument ergänzt.

Die Erkenntnisse aus den bisherigen Überprüfungen und Abklärungen bezüglich der Schanzenbrücke bilden die Grundlage des vorliegenden Berichts (siehe Kap. 2.1).

## 1.2 Abgrenzung

Wie bei der detaillierten Überprüfung [1] sind insbesondere folgende Aspekte **nicht Gegenstand** der vorliegenden Ergänzung und werden entsprechend abgegrenzt:

- Nutzung Brücke im aktuellen Bauzustand ABB RBS mit entsprechenden Fundamentsetzungen, Setzungskompensationen, Überwachungsmessungen, Abfangkonstruktionen inkl. deren Rückbau. Es wird davon ausgegangen, dass der Rückbau der Abfangkonstruktionen derart erfolgt, dass der Bauzustand RBS und die eingetretenen Fundamentsetzungen keinen relevanten Einfluss auf den Projektzustand ZBBS haben (ggf. sind durch den RBS entsprechende Massnahmen zu ergreifen).
- Allfällige zwischenzeitliche Nutzungsänderungen, bauliche Veränderungen, Instandsetzungen und Verstärkungen (zuständig: SBB als Eigentümerin). Es wird davon ausgegangen, dass für den Projektzustand ZBBS keine relevanten zwischenzeitlichen Veränderungen eintreten.
- Überprüfungen der Schanzenbrücke für bezüglich der vorliegenden Fragenstellung als nicht massgebend beurteilte Aspekte, insbesondere für Berechnungen und Nachweise für längs und quer auf das Tragwerk einwirkende Horizontalkräfte.



- Rechnerische Nachweise bezüglich der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdungsfestigkeit des Tragwerks (für vorliegende Fragenstellung als nicht massgebend beurteilt).
- Aussergewöhnliche Überprüfungssituationen, insbesondere bezüglich Erdbeben und Bahnanprall an Stützen (für vorliegende Fragenstellung als nicht massgebend beurteilt).
- Überprüfungen und Abklärungen bezüglich benachbarter Bauwerke wie z.B. Postbrücke, Durchfahrt Bahnhofparking, Welle, PostParc, Gleis- und Perronanlagen SBB, etc. (zuständig: entsprechende Eigentümer und Betreiber).



## 2 Grundlagen

Nachfolgend werden die für die Berechnungen Level IV wesentlichen Grundlagen aufgelistet.

### 2.1 Projektspezifische Grundlagen

- [1] ZBBS TAB, Bericht «Detaillierte Überprüfung 2023», März 2023, D+P
- [2] Projektunterlagen ZBBS TAB gemäss Genehmigungsdossier April 2023 (insbesondere Pläne Situation 4-2, Querprofile 4-8, Längenprofil 403-4, Betonaufschiftung 4-25, Fahrzeugrückhaltesystem 4-27), jeweils als Stand per 20.12.2022, INGE M 2016 +
- [3] ABB RBS, AP Los 1.3, Bericht «Detaillierte Überprüfung 2021», 18.04.2021, D+P
- [4] ABB RBS, AP Los 1.3, Sachverständigenbericht Fachbereich Bautechnik, Rev. 01, 21.05.2021, Flückiger + Bosshard AG
- [5] ABB RBS, AP Los 1.3, Bericht «Ergänzung Berechnung Level IV zu detaillierter ÜP 2021», 14.12.2021, D+P (als Subplaner der PG RBS<sup>verbindet</sup>)
- [6] ABB RBS, AP Los 1.3, Sachverständigen-Bericht zu Berechnungen Level IV, 20.12.2021, IBK ETH Zürich
- [7] ZBBS TAB, Bericht «Aktualisierung Rechnerische Überprüfung 2018», 24.04.2020, D+P
- [8] ZBBS TAB, Bericht «Rechnerische Überprüfung 2017/18», 20.02.2018, D+P
- [9] ZBBS TAB, Bericht «Konzeptionelle Prüfung Sachverständiger Fachbereich Bautechnik», 23.04.2020, Flückiger + Bosshard AG
- [10] Umfangreiche Ausführungspläne und -listen aus der Bauzeit 1959 – 61, aus dem Archiv SBB (u.a. bezüglich Schalung, Bewehrung, Vorspannung)

### 2.2 Normen und Richtlinien

- [11] SIA 269 (2011) «Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken»
- [12] SIA 269/1 (2011) «Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen»
- [13] SIA 269/2 (2011) «Erhaltung von Tragwerken – Betonbau»
- [14] «fib Model Code for Concrete Structures 2010», Oktober 2013, fib (*Hinweis: Der fib Model Code 2020 ist zurzeit noch in Erarbeitung*)

### 2.3 EDV-Programme

- [15] Software «STATIK-7», 2021, Cubus AG (Version 1.00.0, Build: 109)
- [16] Software «FAGUS-7», 2021, Cubus AG (Version 1.00.1, Build: 93)
- [17] Software «IDEA StatiCa Detail», 2022, IDEA StatiCa (Version 22.1.4.1065)



## 3 Tragwerksanalyse Berechnungen Level IV

### 3.1 Grundsätzliches

Ziel und Abgrenzung der vertieften Berechnungen Level IV sind in Kap. 1.1 und Kap. 1.2 beschrieben. Die Berechnungen Level IV erfolgen dabei auf der Grundlage der Tragwerksanalyse der detaillierten Überprüfung [1] und für den entsprechenden Projektzustand ZBBS mit bereichsweiser Fahrbahnerhöhung und gleichzeitiger Fahrspurreduktion. Der Strassenverkehr soll weiterhin ohne Beschränkung aufrechterhalten werden (d.h. max. 40 t gemäss Strassenverkehrsgesetz zugelassen, inkl. Überfahrt Kranwagen bis 60 t).

Die vertieften Berechnungen Level IV beschränken sich auf den für Level II/III einzigen nicht erfüllten Tragsicherheitsnachweis im Grenzzustand Typ 2 für Querkraft des Innensteges des östlichen Hohlkastens auf dem Feld CD<sub>1</sub> vor der Stützenachse D (siehe [1], Erfüllungsgrad  $n < 1.00$  für Level II und Level III). Die übrigen Tragsicherheitsnachweise konnten erfüllt werden (siehe [1]). Die Berechnungen erfolgen dabei für die massgebende Lastkombination mit den entsprechenden Laststellungen von Strassenverkehrslasten und nichtmotorisiertem Verkehr. Dazu werden die entsprechenden Resultate und Schnittgrössen aus der Tragwerksanalyse aus [1] verwendet (Stabstatikmodell der gesamten Brücke mit zwei Hohlkästen, linear-elastische Schnittgrössenermittlung in STATIK-7).

Aufgrund der indirekten Lagerung der Hohlkastenstege mittels vorgespanntem Querträger auf der Stahlpendelstütze ohne konzentrierte Aufhängebewehrung erfolgen die Berechnungen Level IV sowohl für den betroffenen Abschnitt des massgebenden Innensteges CD<sub>1</sub> – DE<sub>1</sub> wie auch für den zugehörigen Abschnitt des Querträgers über D<sub>1</sub>. Für beide Tragwerksteile wird ein 2D-Scheibenmodell mit kompatiblen Spannungsfeldern betrachtet. Die beiden Scheibenmodelle sind im Schnittpunkt Hohlkastensteg – Querträger mittels entsprechender, identischer Flächenlasten auf drei verschiedenen Höhen konsistent miteinander verknüpft. Die indirekte Lagerung wird somit explizit berücksichtigt, der modellierte Kraftfluss kann entsprechend konsequent nachvollzogen werden.

### 3.2 Berechnungsverfahren

Gemäss fib Model Code 2010 [14] kann eine Berechnung Level IV mithilfe von erweiterter Analysesoftware durchgeführt werden. Neben den Gleichgewichtsbedingungen und der Verträglichkeit von Verzerrungen sind dabei geeignete Materialmodelle für Betonstahl und gerissenem Beton zu verwenden. Das für die Berechnungen Level IV verwendete Verfahren beruht dabei auf der CSFM-Methode (Compatible Stress Field Method bzw. Kompatible Spannungsfeldmethode) und der entsprechenden Implementierung in der Software IDEA StatiCa Detail [17]. Dieses Berechnungsverfahren weist folgende grundsätzliche Eigenschaften auf:

- Nichtlineares, kontinuierliches Analyseverfahren für Finite Elemente (FE) basierte Spannungsfelder in 2D-Scheibenelementen, insbesondere für die Analyse von Diskontinuitätsbereichen. Berücksichtigung der Zugversteifung und der Druckentfestigung von Beton aufgrund lokal wirkender Querdehnungen. Die Methode liefert im Grundsatz Lösungen nach dem unteren Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie.
- Modellierung der Betonstahl-Bewehrungen mit bilinearem Spannungs-Dehnungs-Diagramm (linear-elastisch verfestigend-plastisch) und starr-perfekt plastischem Verbundschlupf zum Beton (Verifizierung der Verankerungslängen von Bewehrungsstäben). Vernachlässigung der Betonzugfestigkeit für Widerstände (jedoch Berücksichtigung für die Zugversteifung).
- Beton als 2D-Finite Elemente, Betonstahlbewehrungen als 1D-Finite Elemente (diskret, effektive Bewehrungsstäbe modelliert).
- Analyse einer Stahlbetonscheibe, mit Berücksichtigung der Vorspannung als Einwirkung (Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte).
- Berücksichtigung des normgemässen Konzeptes der Teilsicherheitsbeiwerte mit entsprechenden Last- und Widerstandsbeiwerten.
- Das Resultat der Berechnung ist ein 2D-Spannungsfeld für den untersuchten Tragwerksbereich, in welchem die äusseren Gleichgewichtsbedingungen sowie die Materialfestigkeiten in jedem Element (Betondruckspannung, Betonstahlzugspannung, Verbundschubspannung) erfüllt sind.



Weitere Details zum berücksichtigten Berechnungsverfahren sind in der entsprechenden Fachliteratur und den theoretischen Grundlagen von IDEA StatiCa Detail [17] zu finden.





### 3.3 Modellbildung IDEA StatiCa Detail – Längsträger

Die vertieften Berechnungen Level IV des betrachteten Längsträgers werden mit folgender Modellbildung in IDEA StatiCa Detail durchgeführt. Details dazu sind in den Statischen Berechnungen in Anhang 1 ersichtlich. Die ausführlichen Grundlagen der Tragwerksanalyse zu Geometrie, Lagerung, Baustoffe, Einwirkungen und Grenzzustände der Tragsicherheit sind in [1] bzw. [3] aufgeführt.

#### Geometrie:

- Betrachteter 16.0 m langer Ausschnitt des Innensteges des östlichen Hohlkastens CD<sub>1</sub> – DE<sub>1</sub> im Bereich der Achse D, mit Zwischenaufleger in D (Bereich von je 8.0 m neben dem Zwischenaufleger, je bis ca. zum Momentennullpunkt).
- Modellierter Trägerquerschnitt als symmetrischer I-Querschnitt mit mitwirkenden Anteilen der Fahrbahnplatte und der unteren Kastenplatte (siehe Abbildung 1). Trägerquerschnitt mit konstanter Trägerhöhe von  $H = 1.55$  m auf CD<sub>1</sub> und mit abnehmender Trägerhöhe auf DE<sub>1</sub> (Knick UK Träger,  $H_{\min} = 1.38$  m), je mit Stegbreite  $b_w = 55$  cm. Mitwirkende Breite der Fahrbahnplatte von beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 1.00$  m und der unteren Kastenplatte von einseitig  $b_{\text{eff},1} = 60$  cm (d.h. im symmetrischen Modell beidseitig 30 cm). Die mitwirkenden Breiten sind aufgrund der geringen Querbewehrung insbesondere in der unteren Kastenplatte reduziert (Schubanschluss). Modelltechnisch wird die betonseitig mitwirkende Breite der Fahrbahnplatte in IDEA StatiCa Detail automatisch auf beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 30$  cm reduziert (konservativ). Die Stärke von Fahrbahnplatte und unterer Kastenplatte wird je konstant zu 30 cm berücksichtigt (entspricht effektiven Stärken über D).
- Stegbreite konstant mit  $b_w = 55$  cm berücksichtigt. Eine Reduktion des Druckfeldes auf den Nennwert der Stegbreite  $b_{w,\text{nom}}$  im Bereich der Spannglieder wird im Modell nicht berücksichtigt. Eine entsprechende, lokale Erhöhung der Druckspannungen aufgrund lokal reduzierter Druckfeldbreite wird anhand der Berechnungsergebnisse manuell kontrolliert.
- Netzgrösse des Berechnungsmodells: Es wird eine genügend feine und praktikable Netzgrösse mit einem Raster von ca. 9 cm x 9 cm gewählt (Faktor 0.9 auf Standard-Netzgrösse gemäss Vorgabe IDEA StatiCa Detail).

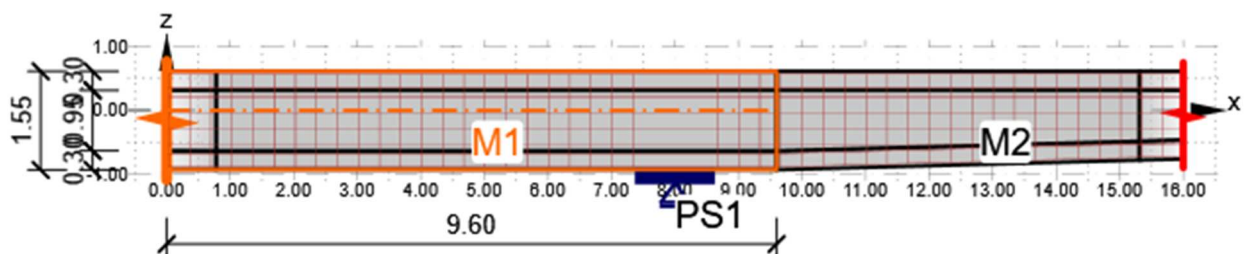


Abbildung 1: Übersicht des Berechnungsmodells des Längsträgers in IDEA StatiCa Detail (Details siehe Anhang 1).

#### Lagerung:

- Die Hohlkastenstege sind über die Stützenquerträger indirekt gelagert. Modelltechnisch wird diese Lagerung über äussere Flächenbelastungen («indirekte Lagerkraft») im Schnittpunkt Längsträger – Querträger berücksichtigt, welche umgekehrt als entsprechende Belastungen auf den Querträger wirken (siehe Kap. 0). Die Summe dieser Flächenbelastungen entspricht der gesamten indirekten Lagerkraft, so dass das modellierte Stahlplattenaufleger unter dem Längsträger vollständig entlastet ist.
- Die indirekte Lagerkraft wird über 3 gleiche Flächenbelastungen auf Höhen von 35 cm, 70 cm und 105 cm ab UK Längsträger gewählt und über die Querträgerbreite von 1.20 m verteilt (Details siehe Anhang 1). Die gewählten Höhen entsprechen in etwa den Lagen der Querspannglieder. Im Sinne der Spannungsfelder können die Höhen in bestimmten Grenzen frei gewählt werden, jedoch zweckmässigerweise derart, dass auch die entsprechenden Nachweise des Querträgers erfüllt werden können. Eine tiefere Höhe ist für den Längsträger günstiger und für den Querträger ungünstiger, und umgekehrt.



### Baustoffe:

- Baustoffkennwerte (Steg-)Beton (gemäss [3]): parabolisch-elastisch ideal plastisch, mit  $f_{ck,act} = 38.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_{cm} = 36 \text{ kN/mm}^2$ ,  $f_{ctm} = 3.4 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_{c1d} = 2.0 \text{ ‰}$ , Druckentfestigung infolge Querkzug ( $k_{c2}$ )
- Baustoffkennwerte generelle Bewehrung Caron-Stahl (gemäss [3] und [www.steeldata.ch](http://www.steeldata.ch)): linear-elastisch verfestigend-plastisch, mit  $f_{sk,act} = 450 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{tk,act} = 518 \text{ N/mm}^2$  ( $k_s = 1.15$ ),  $E_s = 205 \text{ kN/mm}^2$ ,  $\epsilon_{ud} = 45 \text{ ‰}$
- Baustoffkennwerte Kabelhalterbügel Box-Stahl (gemäss [3] und SIA 269/2): linear-elastisch verfestigend-plastisch, mit  $f_{sk,act} = 345 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{tk,act} = 510 \text{ N/mm}^2$  ( $k_s = 1.48$ ),  $E_s = 205 \text{ kN/mm}^2$ ,  $\epsilon_{ud} = 45 \text{ ‰}$  (reduziert infolge Schweisspunkte)
- Die Kabelhalterbügel sind identisch wie die normalen Stegbügel ausgebildet, jedoch aus schweissgeeignetem Box-Stahl (punktuell angeschweisste Querstäbe für Spanngliedaufgabe). Jeder vierte bis fünfte Stegbügel ist als Kabelhalterbügel ausgebildet. Der Kabelhalterbügel in der Querträgerachse wird im Modell des Querträgers berücksichtigt und im Modell des Längsträgers entsprechend vernachlässigt.
- Bügelbewehrungen als in der Fahrbahnplatte voll verankert (geschlossen) modelliert. Da die effektive Bügelbildung mit kurzen 90°-Schenkel die Bedingungen gemäss SIA 269/2 Fig. 3 nicht vollständig erfüllt, wird die Endverankerung der Bügel anhand der Berechnungsergebnisse manuell kontrolliert.
- Interaktion Schub – Querbiegung Steg (Interaktion Längs- und Querrichtung): Die Interaktion aus Einspannungen der Fahrbahnplatte (bzw. der unteren Kastenplatte) in den Hohlkastensteg wird vernachlässigt, da hierzu entsprechende Anschlussbewehrungen bis unterhalb der Stegmitte vorhanden sind, welche für die Berechnungen in Längsrichtung als Querkraftbewehrungen nicht berücksichtigt werden.

### Einwirkungen:

- Berücksichtigung der massgebenden Lastkombination mit entsprechenden Laststellungen für maximale Querkraft  $V_{zd,max}$  auf Hohlkasten CD<sub>1</sub> vor D aus der Stabstatikanalyse mit STATIK-7 [1]. Nebst den ständigen Einwirkungen (Eigenlasten, Auflasten, Vorspannung) werden hierzu die aktualisierten Strassenverkehrslasten als Leiteinwirkung (Lastmodell 1 gemäss SIA 269/1, feldweise) und die nichtmotorisierten Verkehrslasten als Begleiteinwirkung (Menschengedränge auf Gehwegbereichen, feldweise) massgebend. Temperatureinwirkungen werden für die massgebende Lastkombination nicht relevant.
- Die auf die Hohlkastenachse bezogenen Schnittgrössen Querkraft  $V_z$  und Biegemoment  $M_y$  aus STATIK-7 werden vereinfacht je hälftig auf den Innen- und den Aussensteg aufgeteilt. Dies ist für den Innensteg leicht konservativ, da der Aussensteg eine etwas grössere Trägerhöhe aufweist.
- Die auf die Hohlkastenachse bezogene Schnittgrösse Torsionsmoment  $T_x$  aus STATIK-7 wird aufgrund der Theorie der Umlauf torsion über die zugehörigen Schubflüsse in entsprechende, am Innensteg wirkende Vertikalkräfte ( $f_z$  bzw.  $V_z$ ) und horizontale Längskräfte ( $f_x$ ) umgerechnet.
- Ein Teil der Eigenlasten des Hohlkastenquerschnittes wird als an der Unterseite des Innensteges wirkend berücksichtigt (Eigenlasten von unterer Kastenplatte und unterer Steghälfte).
- Die Längsvorspannung des Innensteges wird als Einwirkung über entsprechende Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte berücksichtigt (Betrachtung einer Stahlbetonscheibe). Die 9 im Abschnitt vorhandenen Längsspannglieder werden mit der plangemässen Spannglied geometrie [10] berücksichtigt. Vereinfacht werden Umlenk- und Reibungskräfte als abschnittsweise konstant modelliert. Die Reibungskräfte und damit der Spannkraftverlauf über den modellierten Stegbereich werden aus den STATIK-7-Resultaten [1] ermittelt (für beidseitiges Überspannen und Ablassen). Die Langzeitverluste der Vorspannung werden mit 20 % berücksichtigt (d.h. initiale Spannkraft und Zwängungsschnittgrössen mit Faktor 0.80 abgemindert). Auf Querschnittsebene setzen sich die Schnittgrössen aus Vorspannung aus einem Zwängungsanteil (Sekundärschnittgrössen  $M_{ps}$ ,  $V_{ps}$ ) und einem Eigenspannungsanteil ( $M_{pe}$ ,  $V_{pe}$ ,  $N_{pe}$ ) zusammen. Die Sekundärschnittgrössen werden dabei aus STATIK-7 [1] übernommen, die Eigenspannungsanteile werden in einzelnen Querschnitten händisch ermittelt. Ein möglicher Spannkraftzuwachs im Bruchzustand (dekomprimierte Tragwerksbereiche) wird konservativerweise vernachlässigt.



Grenzzustand der Tragsicherheit:

- Die Last- und Reduktionsbeiwerte werden gemäss [1] berücksichtigt. Für die untersuchte, massgebende Lastkombination sind dies folgende:
  - Eigenlasten, Auflasten (bestehend):  $\gamma_{G,act} = 1.20$
  - Mehrauflasten (projektiert):  $\gamma_G = 1.35$
  - Vorspannung:  $\gamma_P = 1.00$  (inkl. Langzeitverluste von 20 %)
  - Strassenverkehr:  $\gamma_Q = 1.50$  (Leiteinwirkung)
  - Nichtmotorisierter Verkehr:  $\psi_0 = 0.40$  (Begleiteinwirkung)
- Berücksichtigte Widerstandsbeiwerte:
  - Beton:  $\gamma_c = 1.50$
  - Betonstahl, Spannstahl:  $\gamma_s = 1.15$



### 3.4 Modellbildung IDEA StatiCa Detail – Querträger

Die vertieften Berechnungen Level IV des betrachteten Querträgers werden mit folgender Modellbildung in IDEA StatiCa Detail durchgeführt. Details dazu sind in den Statischen Berechnungen in Anhang 2 ersichtlich. Die ausführlichen Grundlagen der Tragwerksanalyse zu Geometrie, Lagerung, Baustoffe, Einwirkungen und Grenzzustände der Tragsicherheit sind in [1] bzw. [3] aufgeführt.

#### Geometrie:

- Östliche Hälfte des Querträgers D betrachtet, für 1. Bauetappe inkl. Zwischenstück bis Brückenachse. Umfassend Querträgerbereiche innerhalb des östlichen Hohlkastens sowie zwischen den beiden Hohlkästen. Modelllänge 8.73 m, modelltechnisch bis 50 cm über Brückenachse, leicht in Schiefe von  $5.1^\circ$  gemessen. Mit Zwischenaufleger bei Stahlpendelstütze  $D_1$  in Hohlkastenachse.
- Modellierter Trägerquerschnitt als symmetrischer I- bzw. T-Querschnitt mit mitwirkenden Anteilen der Fahrbahnplatte und innerhalb Hohlkasten der unteren Kastenplatte (siehe Abbildung 2). Trägerquerschnitt mit konstanter, mittlerer Trägerhöhe von  $H = 1.52$  m innerhalb Hohlkasten und von  $H = 1.43$  m zwischen den Hohlkästen. Stegbreite von 1.20 m innerhalb Hohlkasten und von 1.40 m zwischen Hohlkästen. Mitwirkende Breite der Fahrbahnplatte von beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 22$  cm bzw. 26 cm, entsprechend der Fahrbahnplattenstärke. Mitwirkende Breite der unteren Kastenplatte innerhalb Hohlkasten von beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 30$  cm, entsprechend der Plattenstärke.
- Stegbreite konstant mit  $b_w = 1.20$  m bzw. 1.40 m berücksichtigt. Eine Reduktion des Druckfeldes auf den Nennwert der Stegbreite  $b_{w,\text{nom}}$  im Bereich der Spannglieder wird im Modell nicht berücksichtigt. Eine entsprechende, lokale Erhöhung der Druckspannungen aufgrund lokal reduzierter Druckfeldbreite wird anhand der Berechnungsergebnisse manuell kontrolliert.
- Berücksichtigung der Aussparungen im Querträger für Leitungsdurchführungen (1x  $\varnothing 250$  mm, 2x  $\varnothing 80$  mm).
- Netzgrösse des Berechnungsmodells: Es wird eine genügend feine und praktikable Netzgrösse mit einem Raster von ca. 7 cm x 7 cm gewählt (Faktor 3 auf Standard-Netzgrösse gemäss Vorgabe IDEA StatiCa Detail / mit Faktor 1 ergäbe sich ein noch leicht feineres Raster von ca. 5 cm x 5 cm) Im Bereich der Aussparung erfolgt eine automatisch generierte Netzverfeinerung mit Elementgrössen bis ca. 1.5 cm x 1.5 cm.

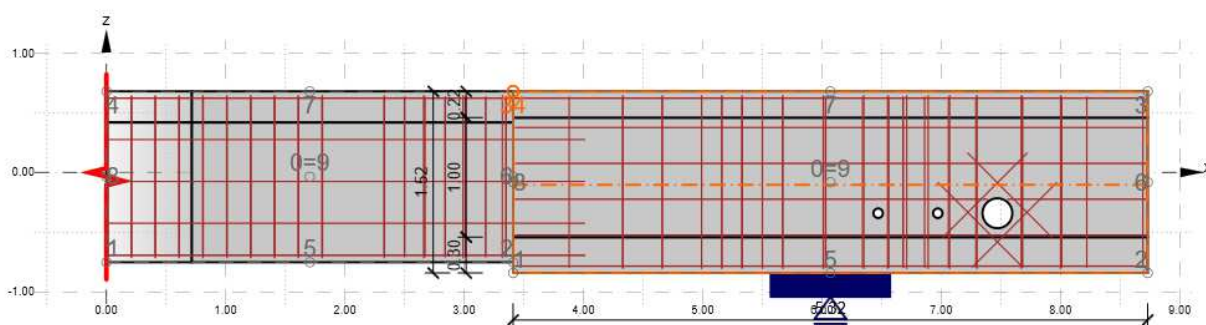


Abbildung 2: Übersicht des Berechnungsmodells des Querträgers in IDEA StatiCa Detail (Details siehe Anhang 2).

#### Lagerung:

- Der betrachtete Querträgerabschnitt ist auf der Stahlpendelstütze  $D_1$  in der Hohlkastenachse direkt gelagert. Dies wird mittels eines 1.00 m breiten Stahlplattenlagers UK Querträger berücksichtigt.
- Die indirekte Lagerung der Hohlkastenstege mittels des Querträgers (siehe Kap. 0) wird für den Querträger entsprechend als äussere Belastung berücksichtigt, mit identischen Flächenbelastungen im Schnittpunkt Längsträger – Querträger. Diese Belastungen werden auf einer Höhe von 35 cm, 70 cm und 105 cm ab UK Querträger eingeführt und über die Längsträgerstegbreite von 55 cm verteilt.



### Baustoffe:

- Baustoffkennwerte Querträgerbeton (gemäss [3]): parabolisch-elastisch ideal plastisch, mit  $f_{ck,act} = 60 \text{ N/mm}^2$  (Beton C60/75),  $E_{cm} = 39 \text{ kN/mm}^2$ ,  $f_{ctm} = 4.4 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_{c1d} = 2.0 \text{ ‰}$ , Druckentfestigung infolge Querkzug ( $k_{c2}$ )
- Baustoffkennwerte generelle Bewehrung Caron-Stahl (gemäss [3] und [www.steeldata.ch](http://www.steeldata.ch)): linear-elastisch verfestigend-plastisch, mit  $f_{sk,act} = 450 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{tk,act} = 518 \text{ N/mm}^2$  ( $k_s = 1.15$ ),  $E_s = 205 \text{ kN/mm}^2$ ,  $\epsilon_{ud} = 45 \text{ ‰}$
- Baustoffkennwerte Kabelhalterbügel Box-Stahl (gemäss [3] und SIA 269/2): linear-elastisch verfestigend-plastisch, mit  $f_{sk,act} = 345 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{tk,act} = 510 \text{ N/mm}^2$  ( $k_s = 1.48$ ),  $E_s = 205 \text{ kN/mm}^2$ ,  $\epsilon_{ud} = 45 \text{ ‰}$  (reduziert infolge Schweisspunkte)
- Die Kabelhalterbügel sind im Vergleich zu den übrigen Bügeln aus schweissgeeignetem Box-Stahl ausgebildet (punktuell angeschweisste Querstäbe für Spanngliedaufgabe). Die Kabelhalterbügel der Längsträger in der Querträgerachse werden im Modell des Querträgers berücksichtigt und im Modell des Längsträgers entsprechend vernachlässigt.
- Bügelbewehrungen als in der Fahrbahnplatte voll verankert (geschlossen) modelliert. Die konstruktive Ausbildung der Endverankerungen gemäss SIA 268/2 Fig. 3 ist dabei bei allen Bügeln (inkl. Kabelhalterbügel) eingehalten.

### Einwirkungen:

- Berücksichtigung der massgebenden Lastkombination mit entsprechenden Laststellungen für maximale Querkraft  $V_{zd,max}$  auf Hohlkasten CD<sub>1</sub> vor D aus der Stabstatikanalyse mit STATIK-7 [1]. Nebst den ständigen Einwirkungen (Eigenlasten, Auflasten, Vorspannung) werden hierzu die aktualisierten Strassenverkehrslasten als Leiteinwirkung (Lastmodell 1 gemäss SIA 269/1, feldweise) und die nichtmotorisierten Verkehrslasten als Begleiteinwirkung (Menschengedränge auf Gehwegbereichen, feldweise) massgebend. Temperatureinwirkungen werden für die massgebende Lastkombination nicht relevant.
- Die Eigenlasten des Querträgers werden direkt auf den Querträger wirkend berücksichtigt (häufig auf Oberseite und an Unterseite angreifend). Alle übrigen Einwirkungen werden aus den beidseitig angrenzenden Hohlkastenabschnitten in den Querträger eingeleitet. Dabei werden die entsprechenden, für den Querträger relevanten Hohlkastenschnittgrössen Querkraft  $V_z$  und Torsionsmoment  $T_x$  analog der Modellbildung für den Längsträger berücksichtigt (siehe Kap. 0). Die aus beiden Hohlkastenabschnitten wirkenden Längsträgerquerkräfte werden am Querträger überlagert, gleiches gilt für die horizontal und vertikal wirkenden Torsionsschubkräfte. Details siehe Anhang 2.
- Die Vorspannung des Querträgers wird als Einwirkung über entsprechende Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte berücksichtigt (Betrachtung einer Stahlbetonscheibe). Die 15 im Querträgerabschnitt vorhandenen Spannglieder werden mit der plangemässen Spanngliedgeometrie [10] berücksichtigt. Spannglieder nebeneinander mit identischer Ausbildung werden dabei zusammengefasst. Querspannglieder der Fahrbahnplatte werden konservativerweise vernachlässigt. Vereinfacht werden Umlenk- und Reibungskräfte als abschnittsweise konstant modelliert. Die Reibungskräfte und damit der Spannkraftverlauf über den modellierten Querträgerbereich werden händisch ermittelt, unter Konzentration der Reibungskräfte in den Umlenkbereichen. Gemäss [10] werden die Spannglieder i.d.R. für einseitiges Überspannen und Ablassen berücksichtigt (ein Spanngliedtyp ist hingegen beidseitig überspannt und abgelassen). Die Langzeitverluste der Vorspannung werden mit 20 % berücksichtigt (d.h. initiale Spannkraft mit Faktor 0.80 abgemindert). Aufgrund der im Wesentlichen statisch bestimmten Lagerung des Querträgers werden Zwängungsschnittgrössen infolge Querträger-Vorspannung (Sekundärschnittgrössen) vernachlässigt. Auf Querschnittsebene setzen sich die Schnittgrössen aus Vorspannung somit ausschliesslich aus einem Eigenspannungsanteil ( $M_{pe}$ ,  $V_{pe}$ ,  $N_{pe}$ ) zusammen, welche jeweils händisch ermittelt werden. Ein möglicher Spannkraftzuwachs im Bruchzustand (dekomprimierte Tragwerksbereiche) wird konservativerweise vernachlässigt.



Grenzzustand der Tragsicherheit:

- Die Last- und Reduktionsbeiwerte werden gemäss [1] berücksichtigt. Für die untersuchte, massgebende Lastkombination sind dies folgende:
  - Eigenlasten, Auflasten (bestehend):  $\gamma_{G,act} = 1.20$
  - Mehrauflasten (projektiert):  $\gamma_G = 1.35$
  - Vorspannung:  $\gamma_P = 1.00$  (inkl. Langzeitverluste von 20 %)
  - Strassenverkehr:  $\gamma_Q = 1.50$  (Leiteinwirkung)
  - Nichtmotorisierter Verkehr:  $\psi_0 = 0.40$  (Begleiteinwirkung)
- Berücksichtigte Widerstandsbeiwerte:
  - Beton:  $\gamma_c = 1.50$
  - Betonstahl, Spannstahl:  $\gamma_s = 1.15$





### 3.5 Nachweis der Tragsicherheit Level IV – Längsträger

#### 3.5.1 Allgemeines

Mit den vertieften Berechnungen Level IV wird der Nachweis der Tragsicherheit für den untersuchten Bereich des Längsträgers (Innensteg CD<sub>1</sub> – DE<sub>1</sub>, über D) unter der massgebenden Lastkombination im Projektzustand ZBBS geführt. Als Grundlage dazu liegen die weiteren Tragsicherheitsnachweise für verschiedene Tragwerksteile und Beanspruchungen vor [1].

Der Tragsicherheitsnachweis Level IV wird anhand eines 2D-Spannungsfeldes des untersuchten Bereiches geführt. Dabei wird die Einhaltung der normgemässen Materialfestigkeiten anhand von wirkenden Betondruckspannungen, Betonstahlzugspannungen und Verbundschubspannungen in jedem Element überprüft. Dies stellt eine Lösung im Sinne des unteren Grenzwertsatzes der Plastizitätstheorie dar. Es wird für die untersuchte Überprüfungssituation ein gültiger Nachweis erbracht. Die Resultate werden im Sinne eines Erfüllungsgrades  $n = R_{d,act} = E_{d,act}$  beurteilt (d.h. erfüllt für  $n \geq 1.00$ ).

Details zu den Nachweisen sind in den Statischen Berechnungen in Anhang 1 dokumentiert.

#### 3.5.2 Resultate IDEA StatiCa Detail

Die Resultate der Berechnungen Level IV aus IDEA StatiCa Detail sind in nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Es sind dies für die untersuchte Lastkombination die Ausnutzungen der Betondruckfestigkeit (Abbildung 3), der Betonstahlzugfestigkeit (Abbildung 4) und der Verbundschubspannung (Abbildung 5). Details zu diesen Resultaten sowie ergänzende Resultate sind in Anhang 1 ersichtlich.

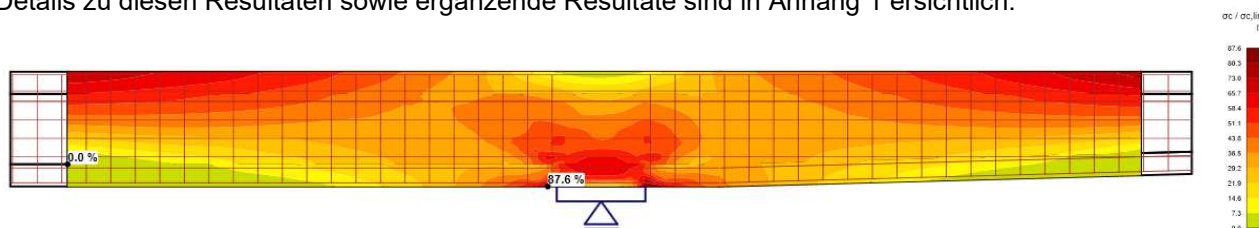


Abbildung 3: Ausnutzung der Betondruckfestigkeit  $\sigma_c / \sigma_{c,lim}$  für die untersuchte, massgebende Überprüfungssituation im Projektzustand ZBBS (Details siehe Anhang 1). Die maximale Ausnutzung beträgt 88 % (lokaler Bereich bei Lagerung am Querträger D unten).

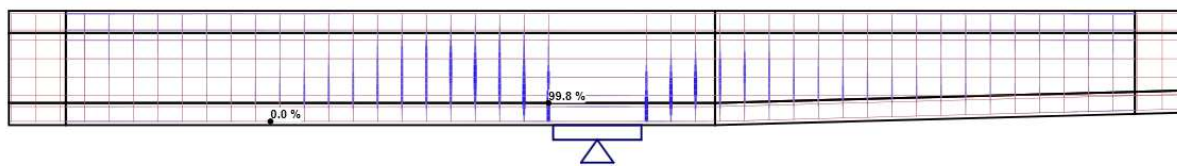


Abbildung 4: Ausnutzung der Betonstahlzugfestigkeit  $\sigma_s / \sigma_{s,lim}$  für die untersuchte, massgebende Überprüfungssituation im Projektzustand ZBBS (Details siehe Anhang 1). Die maximale Ausnutzung beträgt annähernd 100 % der Zugfestigkeit (erste Bügel neben Lagerung am Querträger D).

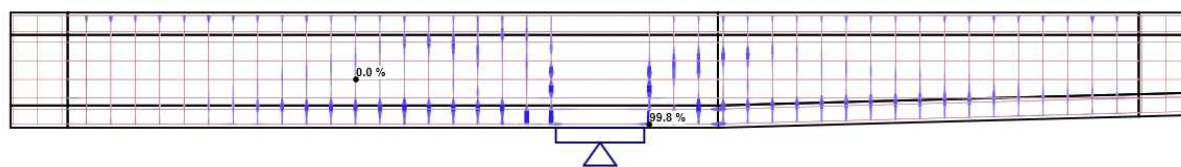


Abbildung 5: Ausnutzung der Verbundschubspannung  $\tau_b / \tau_{bd}$  für die untersuchte, massgebende Überprüfungssituation im Projektzustand ZBBS (Details siehe Anhang 1). Die maximale Ausnutzung beträgt 100 % (Verankerungen Bügel im Lasteinleitungsbereich am Querträger D).



#### Kontrollen und Bemerkungen zu den Resultaten:

- Kontrolle Betondruckspannungen im Bereich von Spanngliedern: Die maximale Ausnutzung der Betondruckfestigkeit im Bereich von Spanngliedern beträgt ca. 40 % (Steg, ca. 3.0 m vor Querträger D). Mit manueller Korrektur der nominellen Stegbreite gemäss SIA 262:2013 Gl. 42 von  $b_{w,nom} = 550 - 0.5 \cdot 5 \cdot 72 = 370$  mm (d.h. 67 %) ergibt sich eine erhöhte maximale Ausnutzung von ca.  $40 \% / 0.67 = 60 \% \leq 100 \%$ , somit erfüllt.
- Kontrolle obere Endverankerungen der Bügel: Die Ausnutzung der Verbundschubspannung ist im Bereich der Fahrbahnplatte eher mässig (ca. 40 – 50 %). Die Endverankerung der Bügel ist somit gegeben.
- Hauptspannungsrichtungen im Beton: Im interessierenden Bereich vor dem Querträger D zeigen sich Hauptdruckspannungsrichtungen  $\alpha$  von ca.  $13^\circ - 16^\circ$  relativ zur Stegachse (eher gering infolge der starken Vorspannung).
- Betondruckentfestigung infolge Querkzug ( $k_{c2}$ ): Aufgrund der starken Vorspannung sind die Querkzugbeanspruchungen gering, so dass die Reduktionswerte  $k_{c2}$  praktisch durchwegs 1.00 betragen (d.h. keine Reduktion). Lediglich im direkten Lagerungsbereich über Zwischenlager D treten grössere Querkzugbeanspruchungen mit Reduktionswerten  $k_{c2}$  von ca. 0.50 – 0.70 auf, wobei diese zumindest teilweise modellbedingt sind.
- Fliesen Bügel: Aufgrund der hohen Ausnutzung der Zugfestigkeit der Bügel befinden sich in der betrachteten Überprüfungssituation v.a. die ersten 4 – 6 Bügel neben dem Zwischenaufleger D stellenweise im plastischen Bereich oberhalb der Fließgrenze.
- Die Verbundschubspannungen werden i.d.R. lokal auf einer begrenzten Länge erreicht. Entsprechend sind die Verankerungslängen der Bewehrungen ausreichend (Aktivierung Verbundschubspannungen auf grösserer Stablänge möglich). Ausgenutzte Verbundschubspannungen treten gehäuft in den unteren Bügelbereichen in der Nähe des Zwischenlagers D auf.

### 3.5.3 Nachweis

Die Resultate aus IDEA StatiCa Detail gemäss Kap. 3.5.2 zeigen insgesamt, dass der **Tragsicherheitsnachweis Level IV des Längsträgers** für die untersuchte Lastkombination im Projektzustand ZBBS **erfüllt** ist (**Erfüllungsgrad  $n \geq 1.00$** ). Massgebend ist dabei das Erreichen der Zugfestigkeit der ersten Bügel neben dem Querträgerbereich D. Aufgrund der maximalen Ausnutzung der Zugfestigkeit der Bügel von annähernd 100 % kann der Erfüllungsgrad zu  **$n = 1.00$**  beurteilt werden.





### 3.6 Nachweis der Tragsicherheit Level IV – Querträger

#### 3.6.1 Allgemeines

Mit den vertieften Berechnungen Level IV wird der Nachweis der Tragsicherheit für den untersuchten Bereich des Querträgers (östliche Hälfte des Querträgers D) unter der massgebenden Lastkombination im Projektzustand ZBBS geführt. Als Grundlage dazu liegen die weiteren Tragsicherheitsnachweise für verschiedene Tragwerksteile und Beanspruchungen vor [1].

Der Tragsicherheitsnachweis Level IV wird anhand eines 2D-Spannungsfeldes des untersuchten Bereiches geführt. Dabei wird die Einhaltung der normgemässen Materialfestigkeiten anhand von wirkenden Betondruckspannungen, Betonstahlzugspannungen und Verbundschubspannungen in jedem Element überprüft. Dies stellt eine Lösung im Sinne des unteren Grenzwertsatzes der Plastizitätstheorie dar. Es wird für die untersuchte Überprüfungssituation ein gültiger Nachweis erbracht. Die Resultate werden im Sinne eines Erfüllungsgrades  $n = R_{d,act} = E_{d,act}$  beurteilt (d.h. erfüllt für  $n \geq 1.00$ ).

Details zu den Nachweisen sind in den Statischen Berechnungen in Anhang 2 dokumentiert.

#### 3.6.2 Resultate IDEA StatiCa Detail

Die Resultate der Berechnungen Level IV aus IDEA StatiCa Detail sind in nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Es sind dies für die untersuchte Lastkombination die Ausnutzungen der Betondruckfestigkeit (Abbildung 6), der Betonstahlzugfestigkeit (Abbildung 7) und der Verbundschubspannung (Abbildung 8). Details zu diesen Resultaten sowie ergänzende Resultate sind in Anhang 2 ersichtlich.

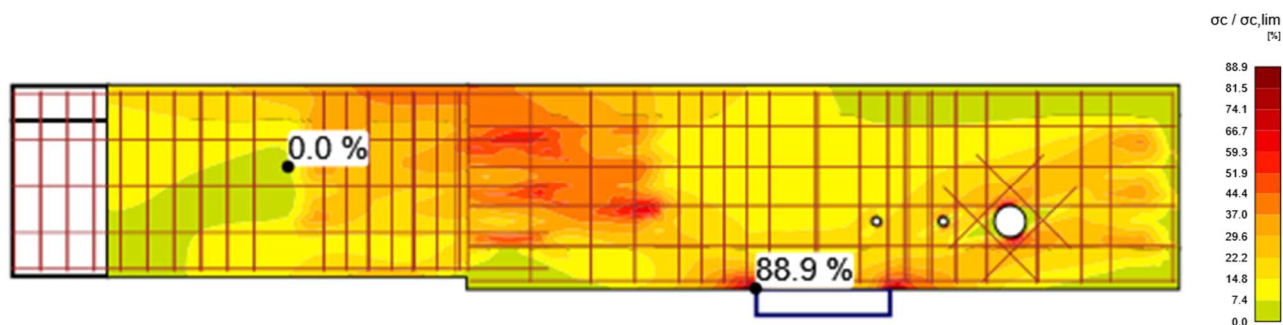


Abbildung 6: Ausnutzung der Betondruckfestigkeit  $\sigma_c / \sigma_{c,lim}$  für die untersuchte, massgebende Überprüfungssituation im Projektzustand ZBBS (Details siehe Anhang 2). Die maximale Ausnutzung beträgt 89 % (lokale Bereiche direkt bei Zwischenauflagerung  $D_1$ , zudem höhere Ausnutzung auch im Einleitbereich des Hohlkasteninnenstegs).

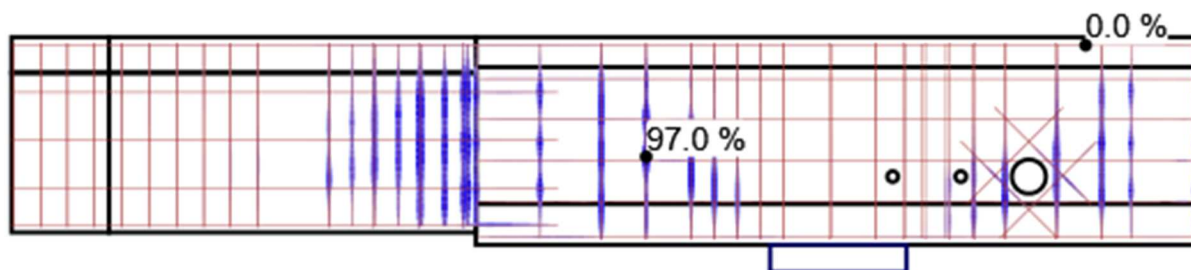


Abbildung 7: Ausnutzung der Betonstahlzugfestigkeit  $\sigma_s / \sigma_{s,lim}$  für die untersuchte, massgebende Überprüfungssituation im Projektzustand ZBBS (Details siehe Anhang 2). Die maximale Ausnutzung beträgt 97 % der Zugfestigkeit (Bügel im erweiterten Einleitbereich des Hohlkasteninnenstegs).

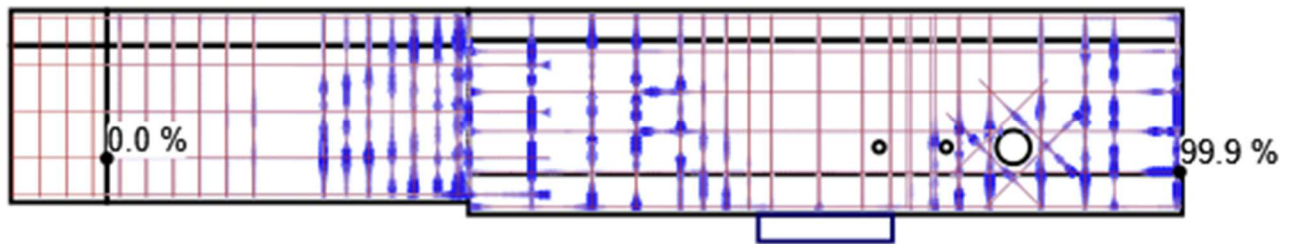


Abbildung 8: Ausnutzung der Verbundschubspannung  $\tau_b / f_{bd}$  für die untersuchte, massgebende Überprüfungssituation im Projektzustand ZBBS (Details siehe Anhang 2). Die maximale Ausnutzung beträgt 100 % (Verankerungen Bügel an verschiedenen Stellen).

#### Kontrollen und Bemerkungen zu den Resultaten:

- Kontrolle Betondruckspannungen im Bereich von Spanngliedern: Die maximale Ausnutzung der Betondruckfestigkeit im Bereich von Spanngliedern beträgt ca. 50 % (Bereich Einleitung Hohlkasteninnensteg). Mit manueller Korrektur der nominellen Stegbreite gemäss SIA 262:2013 Gl. 42 von  $b_{w,nom} = 1'400 - 0.5 \cdot 5 \cdot 72 = 1'220$  mm (d.h. 87 %) ergibt sich eine erhöhte maximale Ausnutzung von ca.  $50 \% / 0.87 = 57 \% \leq 100 \%$ , somit erfüllt.
- Das Tragwerksverhalten des Querträgers ist primär durch die starke Vorspannung bestimmt. Einerseits übertragen die Spannglieder einen wesentlichen Querkraftanteil mittels Umlenkkräfte direkt in den Lagerbereich, andererseits ermöglichen sie eine vergleichsweise flache Direktabstützung (Betondruckdiagonale) in den Lagerbereich.
- Betondruckentfestigung infolge Querkraft ( $k_{c2}$ ): Aufgrund der starken Vorspannung sind die Querkraftbeanspruchungen eher gering, so dass die Reduktionswerte  $k_{c2}$  in grossen Bereichen etwa 1.00 betragen (d.h. keine Reduktion). Die grössten Querkraftbeanspruchungen mit minimalen Reduktionswerten  $k_{c2}$  von ca. 0.50 – 0.70 treten im Bereich der vertikalen Lasteinleitungen aus dem Hohlkasteninnensteg auf, wobei diese zumindest teilweise modellbedingt sind.
- Fließen Bügel: Aufgrund der hohen Ausnutzung der Zugfestigkeit der Bügel befinden sich in der betrachteten Überprüfungssituation etliche Bügel mindestens stellenweise im plastischen Bereich oberhalb der Fließgrenze.
- Die Verbundschubspannungen werden i.d.R. lokal auf einer begrenzten Länge erreicht. Entsprechend sind die Verankerungslängen der Bewehrungen ausreichend (Aktivierung Verbundschubspannungen auf grösserer Stablänge möglich).
- Die Resultate zeigen, dass der Bereich des Hohlkasteninnenträgers leicht höher ausgenutzt und somit massgebender ist als der Bereich des Hohlkastenaussenträgers. Dies trotz der im Bereich zum Aussenträger berücksichtigten Aussparungen. Der Einfluss dieser Aussparungen kann insgesamt als eher gering beurteilt werden.

### 3.6.3 Nachweis

Die Resultate aus IDEA StatiCa Detail gemäss Kap. 3.6.2 zeigen insgesamt, dass der **Tragsicherheitsnachweis Level IV des Querträgers** für die untersuchte Lastkombination im Projektzustand ZBBS **erfüllt** ist (**Erfüllungsgrad  $n \geq 1.00$** ). Massgebend ist dabei das Erreichen der Zugfestigkeit der Querträgerbügel im erweiterten Einleitbereich des Hohlkasteninnenstegs. Aufgrund der maximalen Ausnutzung der Zugfestigkeit der Bügel von 97 % kann der Erfüllungsgrad etwa zu  **$n = 1.03$**  beurteilt werden (d.h. rechnerisch nur minim über  $n = 1.00$ ).



### 3.7 Diskussion

Nachfolgend werden die Resultate der vertieften Berechnungen Level IV in IDEA StatiCa Detail für das betrachtete Modell aus Längsträger und Querträger (siehe Kap. 0 und Kap. 0) sowie die wesentlichen Modellannahmen diskutiert und mit den bisherigen Tragsicherheitsnachweisen nach Level II und III [1] verglichen.

Insgesamt zeigen die vertieften Berechnungen Level IV nach der Methode CSFM in IDEA StatiCa Detail plausible Resultate. Das effektive Tragverhalten des indirekt gelagerten Längsträgers und des Querträgers werden unter Berücksichtigung der starken Vorspannung, der vorhandenen Bewehrungen und des gerissenen Verhaltens mit plastischen Verformungen der Bügel und lokaler Druckentfestigung des Stegbetons realitätsnah erfasst.

Bezüglich der durchgeführten Berechnungen Level IV lässt sich Folgendes festhalten:

- Die durchgeführten Tragsicherheitsnachweise können für den Längsträger (Erfüllungsgrad  $n = 1.03$ ) und den Querträger ( $n = 1.00$ ) vollumfänglich erbracht werden. Somit ergibt sich insgesamt für das betrachtete System aus Längs- und Querträger eine normgemässe Tragsicherheit mit einem Erfüllungsgrad  $n = 1.00$ .
- Für die betrachtete Überprüfungssituation dominieren die ständigen Lasten (Eigenlasten und Auflasten) und die starke Vorspannung. Diese Einwirkungen werden grösstenteils vom überdrückten Beton ohne wesentliche Aktivierung von Bewehrungen aufgenommen.
- Auf Basis der Erläuterungen in [1] kann der Einfluss des Projektzustands ZBBS verglichen mit dem bisherigen Zustand (ohne temporärem Bauzustand ABB RBS) auf das Tragverhalten und die Tragsicherheit massgebender Tragwerksteile als gering beurteilt werden. Ein wesentlicher Teil der bereichsweisen Mehrauflasten (Fahrbahnerhöhung) wird durch reduzierte Strassenverkehrslasten (Fahrspurreduktion) kompensiert. Der Einfluss des Projektzustands ZBBS auf die betrachteten Erfüllungsgrade  $n$  der Tragsicherheit Level IV beträgt lediglich ca. 2 – 4 %.
- Für die betrachtete Überprüfungssituation wird ein wesentlicher Anteil der Lagerreaktion des Längsträgers (indirekte Lagerung) und des Querträgers (direkte Lagerung) über Umlenkkräfte der Spannglieder direkt in den Lagerbereich abgetragen (d.h. ohne wesentliche Beanspruchung der Stegbügel).
- Aufgrund der hohen Ausnutzung der Scheibenmodelle für Längs- und Querträger war ein iteratives Vorgehen bezüglich der Festlegung der Schnittstelle zwischen den beiden Modellen erforderlich. Die Anordnung und Verteilung der Flächenlasten dieser indirekten Lagerung des Längsträgers am Querträger wurde entsprechend iterativ ermittelt, um die Tragsicherheitsnachweise für beide Scheibenmodelle erbringen zu können.
- Die nichtlineare Berechnung unter Berücksichtigung des plastischen Verhaltens der Baustoffe (insbesondere Betonstahl) ermöglicht eine verfeinerte, realitätsnahe Berechnung des effektiven Tragverhaltens. Während sich z.B. bestimmte Bügel bereits im plastischen Bereich befinden, liegt bei anderen Bügeln gleichzeitig ein elastisches Verhalten vor. Im Gegensatz zu einer klassischen linear-elastischen Berechnung ist der Tragwiderstand einer Scheibe bei erstmaligem Erreichen der Fließspannungen somit i.d.R. noch nicht erreicht. Die Berechnungen zeigen, dass bei plastischem Fließen der massgebenden Bügel bis zur Zugfestigkeit kein vorzeitiges Druckversagen des Stegbetons auftritt.
- Die durchgeführten Berechnungen zeigen den massgebenden Einfluss der indirekten Lagerung der Hohlkastenlängsträger auf das Tragverhalten und die Tragsicherheit der betrachteten Längs- und Querträger inkl. entsprechender Interaktion.
- Weiterführende Erkenntnisse und Sensitivitätsanalysen sind auch in [5] ersichtlich.

Die beiden verwendeten und miteinander verknüpften 2D-Scheibenmodelle für Längs- und Querträger erlauben eine nachvollziehbare, klare und sichere Überprüfung des Tragverhaltens und der entsprechenden Tragsicherheiten. Eine hierin nicht berücksichtigte, effektiv vorhandene räumliche Tragwirkung in der Nähe des Querträgers durch Mitwirkung der Fahrbahnplatte und unteren Kastenplatte über Drillung und entsprechendem Querkraftabtrag reduziert insbesondere die Beanspruchung des Querträgers. Dadurch wird die indirekte Lagerung etwas entschärft, mit entsprechenden Tragreserven. Eine Berücksichtigung dieses Effektes wäre beispielsweise mittels umfangreichem, räumlichem CSFM-Modell möglich.



## 4 Beurteilung der Tragsicherheit

Auf Basis der detaillierten Überprüfung [1] und der ergänzenden, vertieften Berechnungen Level IV kann die **Tragsicherheit** der massgebenden Teile des Brückenüberbaus, insbesondere der massgebenden Hohlkastenlängsträger und Querträger, im betrachteten **Projektzustand ZBBS als normgemäss erfüllt (Erfüllungsgrad  $n \geq 1.00$ )** beurteilt werden. Dabei werden die aktualisierten Strassenverkehrslasten Lastmodell 1 gemäss SIA 269/1 ohne signalisierte Lastbeschränkung berücksichtigt (d.h. max. 40 t gemäss Strassenverkehrsgesetz, inkl. Überfahrt Kranwagen bis 60 t). Die projektierten, bereichsweisen Mehrauflasten (Fahrbahnerhöhung in Feldern CD und DE) sind hierin ebenso berücksichtigt wie die bereichsweise Fahrspurreduktion (Felder CD und DE westseitig, resultiert in Reduktion der Auswirkungen infolge Strassenverkehrslasten).

Durch die vertieften Berechnungen Level IV können die massgebenden, auf Level II und III nicht erfüllten **Tragsicherheitsnachweise** für Querkraft des inneren Hohlkastensteges CD<sub>1</sub> vor D sowie des zugehörigen Querträgers D unter Berücksichtigung der indirekten Lagerung nun **erfüllt** werden. Der bestimmte **Erfüllungsgrad** beträgt dabei  **$n = 1.00 \geq 1.00$** . Eine zusätzliche Tragreserve ergibt sich durch die nicht berücksichtigte räumliche Tragwirkung im Querträgerbereich (Mitwirkung der Fahrbahnplatte und unteren Kastenplatte am Querkraftabtrag mittels Drillung), welche insbesondere den Querträger etwas entlastet und damit die indirekte Lagerung etwas entschärft.

Dabei gilt es festzuhalten, dass der **Einfluss des Projektzustands ZBBS** auf das Tragverhalten und die Tragsicherheit massgebender Tragwerksteile durchwegs **gering und von untergeordneter Bedeutung** ist. Der Einfluss des Projektzustands ZBBS auf die betrachteten Erfüllungsgrade  $n$  der Tragsicherheit Level IV beträgt lediglich ca. 2 – 4 %.



## 5 Massnahmen

### 5.1 Projektmassnahmen

Aufgrund der durchgeführten detaillierten Überprüfung werden verschiedene Massnahmen empfohlen, welche innerhalb des Projekts ZBBS für die weitere Projektierung und für die Ausführung zu beachten sind. Die empfohlenen Massnahmen sind dabei in [1] detailliert aufgeführt. Nachfolgend werden daraus die bezüglich der vertieften Berechnungen Level IV massgebenden Massnahmen aufgeführt (Details siehe in [1]):

- a) **Fahrbahngestaltung:** Die projektierte Fahrbahngestaltung mit bereichsweiser Fahrspurreduktion stadtwärts soll nicht wesentlich verändert werden. Dabei sind die beidseitigen Gehwege und auch die verlängerte Fussgängermitteleinseln mittels baulich-konstruktiver Elemente als **nicht-befahrbar** auszubilden (Betonleitelemente an Gehwegrändern, Pfosten bzw. Poller o.ä. auf Mittelinsel).
- b) **Eingebohrte Anschlussbewehrungen für Aufbeton** (Fahrbahnerhöhung): Wie in [2] bereits vorgesehen sind die Spannglieder und Bewehrungen vorgängig der Bohrungen **sorgfältig zu orten**. Sie dürfen durch die Bohrungen **keinesfalls verletzt** werden. Dies gilt insbesondere für die Längsspannglieder in den Hohlkastenstegen im Bereich der Hochpunkte (Achse D) und für die Querspannglieder im Querträger (Achse D). Die Anschlussbewehrungen sind grundsätzlich ausserhalb der direkten Längs- und Querträgerbereiche anzuordnen, um Beschädigungen von Spanngliedern, Bewehrungen und Bewehrungsverankerungen zu vermeiden (d.h. keine Bohrungen innerhalb Breite von Längs- und Querträger, Mindestabstand von 20 cm zu Aussenrändern von Längs- und Querträger).
- c) **Wesentliche Projektänderungen:** Im Falle von wesentlichen Projektänderungen sind deren Einflüsse auf das Tragwerk zu beurteilen und die durchgeführten **Tragsicherheitsnachweise zu aktualisieren**. Gegebenenfalls sind entsprechende Massnahmen zu treffen. Dies gilt insbesondere bei relevanten Änderungen der Fahrbahngestaltung und der Fahrbahnerhöhung. Während der Ausführung ist gleichermassen die korrekte Umsetzung des geprüften Projekts zu kontrollieren und zu gewährleisten.
- d) **Nutzungsvereinbarung:** Die vorgesehene und in vorliegender detaillierter Überprüfung berücksichtigte Nutzung des Bauwerks für den Projektzustand ZBBS (insbesondere Nutzung durch Strassenverkehr bis 40 t und Nutzung durch nicht-motorisierten Verkehr) ist in einer Nutzungsvereinbarung festzuhalten und von Bauherrschaft und Bauwerkseigentümerin unterzeichnen zu lassen.
- e) **Neue Erkenntnisse:** Falls während der weiteren Projektierung oder der Ausführung neue relevante Erkenntnisse zum Tragwerksverhalten, zum Bauwerkszustand oder infolge verschärfter Normen bekannt werden, so sind diese bezüglich der durchgeführten Tragsicherheitsnachweise und der empfohlenen Massnahmen zu beurteilen und letztere gegebenenfalls zu aktualisieren.

### 5.2 Empfohlene weitere Massnahmen

Im Rahmen der durchgeführten detaillierten Überprüfung bezüglich des Projekts ZBBS haben sich Erkenntnisse für weitere Massnahmen bezüglich der Schanzenbrücke ergeben. Diese sind nicht Gegenstand des Projekts ZBBS, sondern liegen in Zuständigkeitsbereichen Dritter. Diese weiteren Massnahmen sind dabei in [1] informativ und detailliert aufgeführt. Nachfolgend werden daraus die bezüglich der vertieften Berechnungen Level IV massgebenden Massnahmen informativ aufgeführt (Details siehe in [1]):

- f) **Aktuelle Strassenverkehrsnutzung:** Abklärungen im Falle von veränderter aktueller Strassenverkehrsnutzung, namentlich bezüglich Überfahrt von Fahrzeugen > 40 t und bezüglich Ausnahme-/Sondertransporte (zuständig: Bauwerkseigentümerin SBB, in Absprache mit dem Tiefbauamt der Stadt Bern).
- g) **Überwachung und Unterhalt:** Durchführen der üblichen periodischen Überwachung des Bauwerkszustands (Inspektionen) und des üblichen baulichen und betrieblichen Unterhalts (zuständig: Bauwerkseigentümerin SBB, in Absprache mit dem Tiefbauamt der Stadt Bern TAB).



- h) **Rückbau Abfangkonstruktionen ABB RBS:** Der Rückbau der Abfangkonstruktionen im Projekt ABB RBS soll derart erfolgen, dass relevante ungünstige Zwangsschnittgrössen an massgebenden Tragwerksstellen vermieden werden. Gegebenenfalls sind entsprechende Massnahmen zu ergreifen (zuständig: Bauherrschaft RBS).

Bern, 22. März 2023  
1229-10 / PK

**Diggelmann + Partner AG**  
Bauingenieure sia / suisse.ing

P. Künzler

## ANHANG

**Anhang 1:** Statische Berechnungen Level IV – Längsträger

**Anhang 2:** Statische Berechnungen Level IV – Querträger





## Anhang 1: Statische Berechnungen Level IV – Längsträger

Inhalt:	Seiten
1. Allgemeines	2 – 3
2. Geometrie	4 – 9
3. Lagerung	10
4. Baustoffe	11 – 17
5. Einwirkungen, Grenzzustand Tragsicherheit	18 – 47
6. Resultate (Überprüfungssituation)	48 – 56

### Änderungsindex:

Nr.	Änderung	Auslöser	Datum	Version
0	Erstversion	Abgabe an SV	21.03.2023	0.0

### Vorbemerkungen

Die nachfolgende Dokumentation der durchgeführten Statischen Berechnungen Level IV – Längsträger ergänzt und vertieft die Erläuterungen im **Bericht**. Wesentliche Erläuterungen zum Berechnungsverfahren CSFM, zur Modellbildung in IDEA StatiCa Detail, zu den Tragsicherheitsnachweisen und zur Diskussion der Berechnungsergebnisse sind in den **dortigen Kapitel 3.1 – 3.7** zusammengestellt.

Die vorliegende Dokumentation ist auf Basis des automatisierten Berichtes aus **IDEA StatiCa Detail** (Version 22.1.4.1065) erstellt worden, mit punktuellen Ergänzungen und Kommentaren. Die zugrundeliegenden Schnittgrößen aus der Stabstatikanalyse sind dem entsprechenden STATIK-7-Modell entnommen (siehe auch Bericht Detaillierte Überprüfung 2023 [1]).



# 1 Allgemeines

## Erläuterung

Symbol	Erläuterung
$f_{ck}$	Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen
$f_{ctk,0.05}$	Charakteristischer Wert der axialen Betonzugfestigkeit, Quantilwert 5 %
$f_{ctm}$	Mittelwert der axialen Betonzugfestigkeit
$E_{cm}$	Sekantenmodul des Betons
$\nu$	Poissonzahl
$\epsilon_c$	Dehnung des Betons unter Druck unter der Höchstspannung $f_c$
$\epsilon_{cu}$	Grenzstauchung des Betons
$\Phi_{perm}$	Kriechbeiwert für ständige Last
$\Phi_{pres}$	Kriechbeiwert für Vorspannung
$f_{yk}$	Charakteristischer Wert der Streckgrenze der Bewehrung
$E_s$	Elastizitätsmodul des Bewehrungsstahls
$\epsilon_{uk}$	Charakteristische Dehnung des Beton- oder Spannstahls unter Höchstlast
Eigenschaften	W - Breite; H - Höhe; T - Dicke; L - Länge; r - Höhe; $\alpha$ - Neigung
Position	M - Haupt; MP - Hauptpunkt; IP - Einfügepunkt
$\sigma_c$	Extremwert der Druckspannung $\sigma_c$ des Betons im ausgewählten Teilbereich.
$\epsilon_c$	Minimale Druckdehnung $\epsilon_c$ des Betons
$\epsilon_{pl}$	Minimale plastische Druckdehnung $\epsilon_c$ des Betons
$k_{c2}$	Reduktionsfaktor $k_{c2}$ für die Druckfestigkeit
$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$	Verhältnis von Betonspannung zu Betonfestigkeit. Angabe des Ausnutzungsgrads des Materials in Bezug auf die Betonfestigkeit.
$\sigma_s$	Maximalspannung entlang der Länge des Bewehrungsstabes.
$\epsilon_s$	Maximaldehnung entlang der Länge des Bewehrungsstabes.
$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$	Verhältnis von Spannung zu Festigkeit der Bewehrung. Angabe des Ausnutzungsgrads des Materials in Bezug auf die Bewehrungsfestigkeit.
$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$	Verhältnis von Dehnung zu Grenzdehnung des Bewehrung. Angabe des Ausnutzungsgrads des Materials in Bezug auf die Grenzdehnung
$T_b$	Verbundspannung an der Oberfläche des Bewehrungsstabes.
$F_a$	Verankerungskraft, aufgrund einer verhakten Verankerung, an den Stabenden.
$F_{tot}$	Über die Stablänge entwickelte Gesamtkraft. Sie besteht aus der Verankerungskraft (aufgrund verhakter Verankerung) und der Verbundkraft, die auf der Staboberfläche auftretende Verbundspannungen einbindet.
$F_{tot}/F_{lim}$	Verhältnis von Gesamtkraft im Stab zu Grenzwert der Kraft. Es wird der Ausnutzungsgrad des Bewehrungsstabes angegeben. Der Grenzwert der Kraft wird als der kleinere der beiden Werte berechnet: (a) Kraft, berechnet aus der Summe der Grenzankerkraft und der Kraft, die sich vom Stabende bis zum interessierten Punkt entwickelt, bei Annahme der Verbundtragfähigkeit, (b) Zugfestigkeit des Stabes.
$T_b/f_{bd}$	Verhältnis von Verbundspannung zu Verbundtragfähigkeit für die ausgewählten (Gruppe der) Stäbe und den angewendeten Lastanteil. Es wird der Ausnutzungsgrad in Bezug auf die Verbundtragfähigkeit zwischen Bewehrungsstab und angrenzendem Beton angegeben.

## Normeinstellungen

Abschnitt	Name	Wert	Beschreibung
2.4.2.4 (1)	$\gamma_c$	1.50	Teilbeiwert für Beton
2.4.2.4 (1)	$\gamma_s$	1.15	Teilbeiwert für Bewehrung
3.1.6 (1)	$\alpha_{cc}$	1.00	Koeffizient zur Berücksichtigung der langfristigen Auswirkungen auf die Druckfestigkeit und der ungünstigen Art der Lastaufbringung
3.2.7 (2)	$\epsilon_{ud}/\epsilon_{uk}$	0.90	Verhältnis von Bemessungs- zu charakteristischer Dehngrenze.





8.3(2)	$\Phi_{m,min} - \Phi_s \leq 16\text{mm}$ (4.00 $\Phi_s$ )	4.00	Mindestwert des Biegerollendurchmessers, definiert als Vielfaches des Bügeldurchmessers.
8.3(2)	$\Phi_{m,min} - \Phi_s > 16\text{mm}$ (7.00 $\Phi_s$ )	7.00	Mindestwert des Biegerollendurchmessers, definiert als Vielfaches des Bügeldurchmessers.

## Berechnungsannahmen

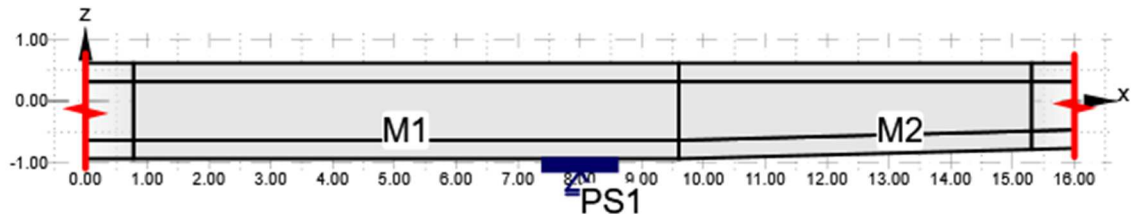
- In den Risszonen muss ein Mindestmaß an Bewehrung vorhanden sein, die mindestens den Zugspannungen vor dem Riss standhält.
- Es wird davon ausgegangen, dass eine Querbewehrung oder eine ausreichende Überlappung vorgesehen ist, um eine vollständige Verankerung der Bügel zu ermöglichen.
- Die Analyse und die Normnachweise für Lagerungsbedingungen werden für die im Projekt angegebenen Lagerbedingungen durchgeführt. Änderungen der Lagerungen in der Bau-/Betriebsphase werden nicht berücksichtigt.



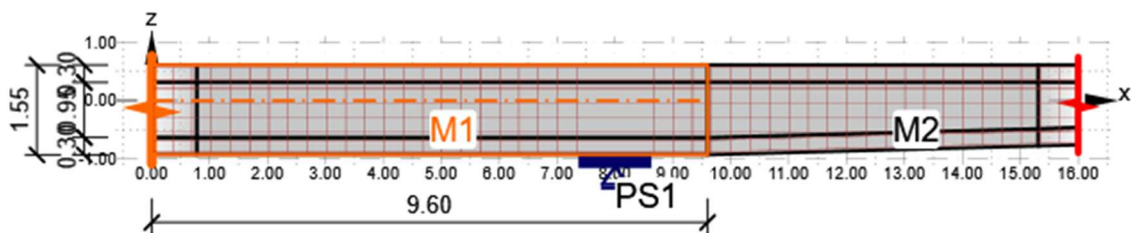
## 2 Geometrie

### Geometrie

- Betrachteter 16.0 m langer Ausschnitt des Innensteiges des östlichen Hohlkastens CD<sub>1</sub> – DE<sub>1</sub> im Bereich der Achse D, mit Zwischenaufleger in D (indirekte Lagerung, Bereich von je 8.0 m neben dem Zwischenaufleger, je bis ca. zum Momentennullpunkt).



### DRM1 - Geometrie



### Übersichtstabelle

Name	Typ	Eigenschaften	Position
M1	Träger	L: 9.60 m; Querschnitt: 3; Geschnitten an: Anfang	
M2	Träger	L: 6.40 m; Querschnitt: 3,4; Geschnitten an: Ende	M: M1; IP: 1; MP: 2
PS1	Punktaufleger	Z	
PS1	Lagerplatte	W: 1.20 m; T: 0.20 m; Material: S 355	M: M1, Kante 1; Vom Anfang; X: 8.00 m

### Referenzlinie (Bezugslinie für Schnittgrössen)

Als Referenzlinie ist modellseitig die Schwerachse des eingegebenen Querschnittes des Bereiches M1 berücksichtigt. Sie liegt somit auf der gesamten Länge M1 und M2 614 mm unterhalb OK Fahrbahnplatte.



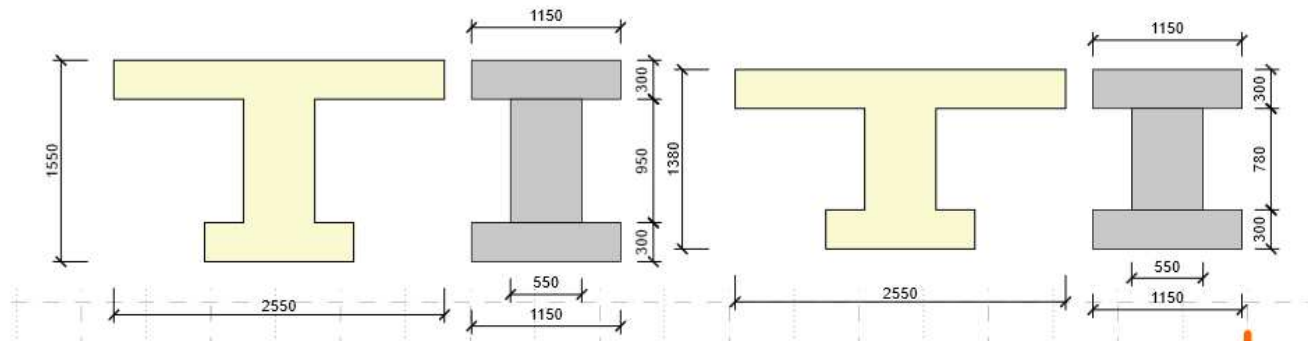
## Querschnitte

- Modellierter Trägerquerschnitt als symmetrischer I-Querschnitt mit mitwirkenden Anteilen der Fahrbahnplatte und der unteren Kastenplatte. Trägerquerschnitt mit konstanter Trägerhöhe von  $H = 1.55$  m auf CD<sub>1</sub> und mit abnehmender Trägerhöhe auf DE<sub>1</sub> (Knick UK Träger,  $H_{\min} = 1.38$  m), je mit Stegbreite  $b_w = 55$  cm. Mitwirkende Breite der Fahrbahnplatte von beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 1.00$  m und der unteren Kastenplatte von einseitig  $b_{\text{eff},1} = 60$  cm (d.h. im symmetrischen Modell beidseitig 30 cm). Die mitwirkenden Breiten sind aufgrund der geringen Querbewehrung insbesondere in der unteren Kastenplatte reduziert (Schubanschluss). Modelltechnisch wird die betonseitig mitwirkende Breite der Fahrbahnplatte in IDEA StatiCa Detail automatisch auf beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 30$  cm reduziert (konservativ). Die Stärke von Fahrbahnplatte und unterer Kastenplatte wird je konstant zu 30 cm berücksichtigt (entspricht effektiven Stärken über D).

Name	Material	Haupt	Abbildung
3 - I-Profil 1550, 2550	C35/45+	DRM1: M1; DRM1: M2	
4 - I-Profil 1380, 2550	C35/45+	DRM1: M2	



## Vergleich eingegebene – modellierte Querschnitte



- Stegbreite konstant mit  $b_w = 55 \text{ cm}$  berücksichtigt. Eine Reduktion des Druckfeldes auf den Nennwert der Stegbreite  $b_{w,nom}$  im Bereich der Spannglieder wird im Modell nicht berücksichtigt. Eine entsprechende, lokale Erhöhung der Druckspannungen aufgrund lokal reduzierter Druckfeldbreite wird anhand der Berechnungsergebnisse manuell kontrolliert.
- Netzgrösse des Berechnungsmodells: Es wird eine genügend feine und praktikable Netzgrösse mit einem Raster von ca.  $9 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$  gewählt (Faktor 0.9 auf Standard-Netzgrösse gemäss Vorgabe IDEA StatiCa Detail).



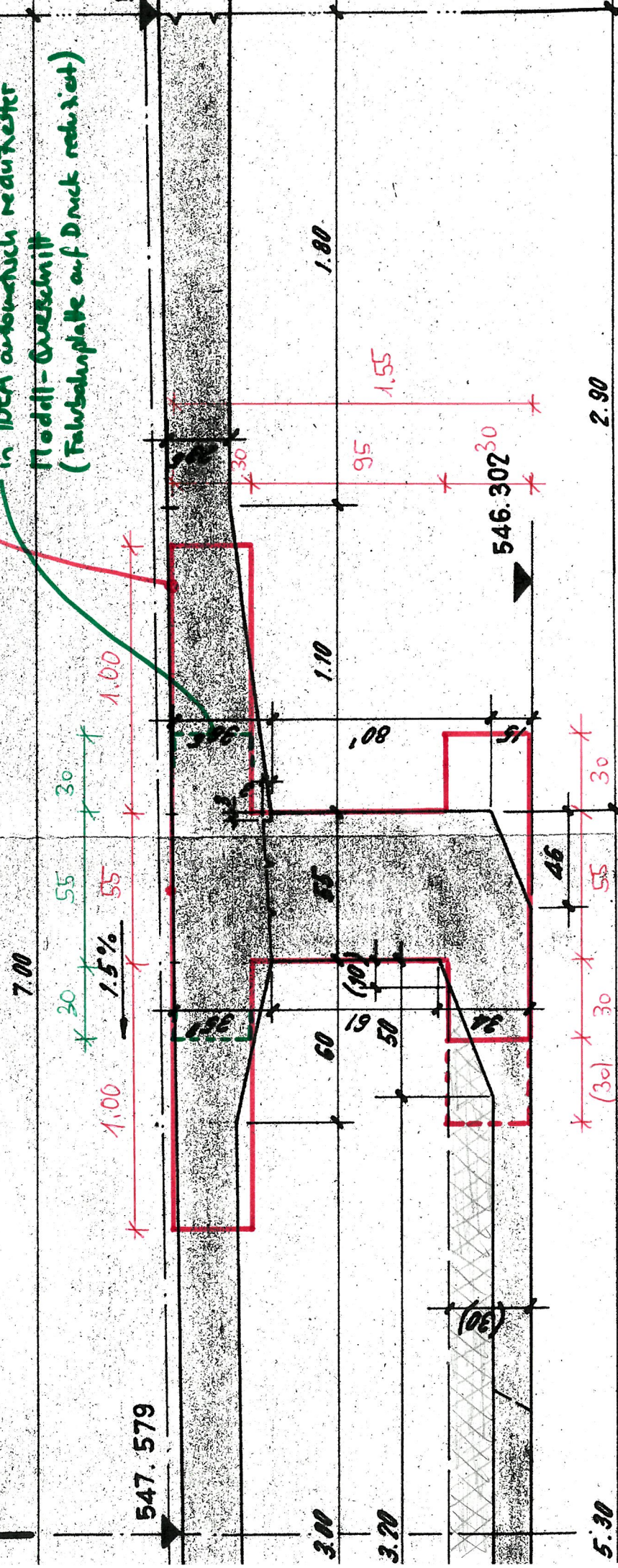
1:20  
PK 12.M.21

Berücksichtigter und modellierter Trägerquerschnitt

über D (d.h. Abschnitt M1,  $k = 1.55$  in Bestand)

**d-d**  
1:20

Berücksichtigter Querschnitt  
mit wirkenden Breiten  
in IDEA automatisch reduzierter  
Modell-Querschnitt  
(Fahrbahnplatte auf Druck reduziert)



im Modell symmetrisch angeordnet

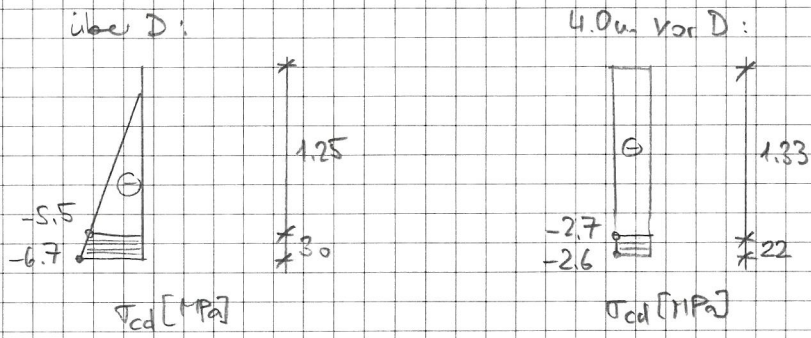


Mitwirkende Breite untere Kastplatte (Schlusschluss)

Nach SIA 262 4.1.3.3 :  $b_{eff,1} = 0.2 \cdot 2.1 + 0.1 \cdot (0.15 \cdot (32 + 26)) = 1.29 \text{ m (einseitig)}$

Jedoch Querbewehrung unt. Kastplatte mit  $\phi 10 @ 175$  (oben) &  $\phi 10/12 @ 175$  (unten)  
 gering für Schlusschluss Druckgurt  $\rightarrow$  zu reduzieren!

Betrachtung der Betondruckspannungen der unteren Kastplatte für die untersuchte  
 Lastkombination auf d-Niveau aus STATIK-7 bzw. FACIUS-7 (d.h. nicht für  
 Biegebruch über D, sondern effektives Beanspruchungsniveau). Betrachtung zwischen  
 Querschnitt D (über Stütze) und 4.0m davor ( $\approx$  Momentennullpunkt):



$C_d(D) \approx 6.1 \cdot 2.65 \cdot 0.30 = 4.85 \text{ MN}$        $C_d(4.0mD) \approx 2.65 \cdot 2.65 \cdot 0.22 = 1.55 \text{ MN}$

Somit auf  $L = 4.0m$  einseitig in Menster:  $\Delta C_d = \frac{4.85 - 1.55}{4.0} = 830 \text{ kN/m}$

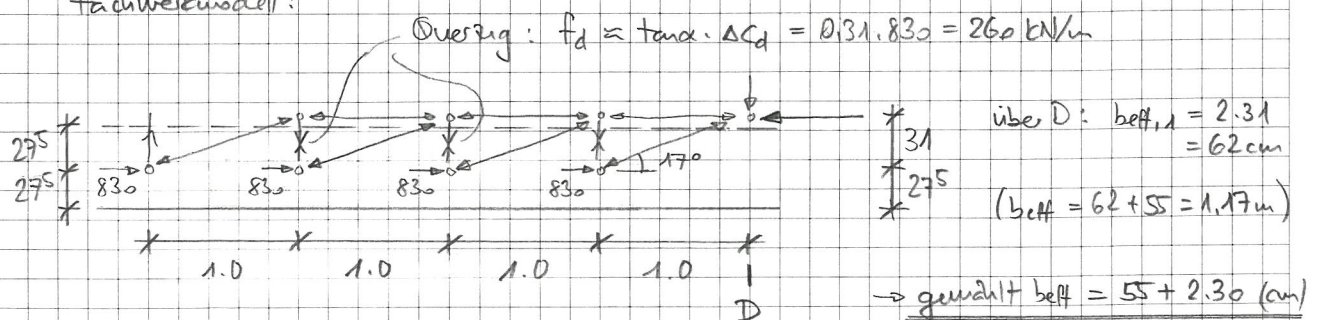
Widerstand Querbewehrung total:  $f_{rd} = 390 \cdot (448 + 547) = 388 \text{ kN/m}$

$\hookrightarrow$  Annahme für Schlusschluss ca.  $\frac{2}{3}$  davon aktiviert (Rest für Querverbiegung etc.)

d.h.  $f_{rd,eff} \approx \frac{2}{3} \cdot 388 = 260 \text{ kN/m}$

Ausbreitwinkel:  $\tan \alpha = \frac{260}{830} = 0.31$  (bzw.  $\alpha = 17^\circ$ , reduziert, stark vergrünert)

Fachwerkmodell:



### Mitwirkende Breite Fahrbahnplatte

Nach SIA 262 4.1.3.3 :  $b_{eff,1} = 1.29\text{m}$  (beidseitig Steg)

Schlussschluss analog wie bei Kastplatte, jedoch beidseitig

→ Beanspruchung  $\Delta\sigma_d$  etwa gleich

→ Querbewehrung: Betonstahl identisch ( $f_{Rd} = 388\text{ kN/m}$  bzw. red.  $\frac{2}{3} \rightarrow \approx 260\text{ kN/m}$ )

$$\text{Quervorspannung } F_{SD} (12 \phi 7, \text{ alle } 2.0\text{m}) \rightarrow f_{Rd} \approx 1130 \cdot 462 / 2.0 \\ = 260\text{ kN/m}$$

↳ somit ca. doppelte Querbewehrung  $f_{Rd,kt} \approx 260 + 260 = 520\text{ kN/m}$

$$\rightarrow \tan \alpha \approx \frac{520}{830} \approx 0.62$$

$$\rightarrow b_{eff,1} \approx 2 \cdot 0.62 \approx 1.25\text{m (beidseitig)}$$

→ basierend auf  $b_{eff,1} = 1.00\text{m}$  (beidseitig) gewählt für berücksichtigte  
Zugbewehrung (Druck: auf 30 cm reduziert in IDEA).



### 3 Lagerung

- Die Hohlkastenstege sind über die Stützenquerträger indirekt gelagert. Modelltechnisch wird diese Lagerung über äussere Flächenbelastungen («indirekte Lagerkraft») im Schnittpunkt Längsträger – Querträger berücksichtigt, welche umgekehrt als entsprechende Belastungen auf den Querträger wirken (siehe Anhang 2). Die Summe dieser Flächenbelastungen entspricht der gesamten indirekten Lagerkraft, so dass das modellierte Stahlplattenauflager unter dem Längsträger vollständig entlastet ist.
- Die indirekte Lagerkraft wird über 3 gleiche Flächenbelastungen auf Höhen von 35 cm, 70 cm und 105 cm ab UK Längsträger gewählt und über die Querträgerbreite von 1.20 m verteilt (siehe Kap. 5 Einwirkungen, je Lastfall). Die gewählten Höhen entsprechen in etwa den Lagen der Querspannglieder. Im Sinne der Spannungsfelder können die Höhen in bestimmten Grenzen frei gewählt werden, jedoch zweckmässigerweise derart, dass auch die entsprechenden Nachweise des Querträgers erfüllt werden können. Eine tiefere Höhe ist für den Längsträger günstiger und für den Querträger ungünstiger, und umgekehrt.





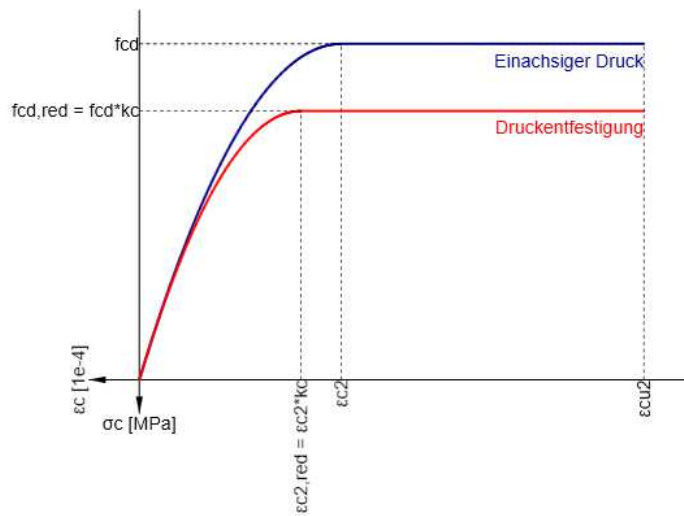
## 4 Baustoffe

### Materialien

#### Beton

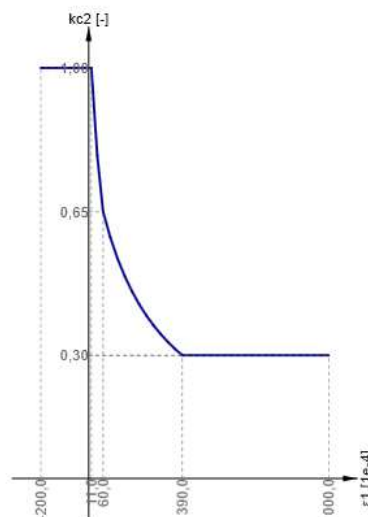
Name	$f_{ck}$ [MPa]	$f_{ctk,0.05}$ [MPa]	$f_{ctm}$ [MPa]	$E_{cm}$ [MPa]	$\nu$ [-]
C35/45+	38.8	2.4	3.4	36000.0	0.20
$\epsilon_{c2} = 20.0 \cdot 10^{-4}, \epsilon_{cu2} = 500.0 \cdot 10^{-4}$ , Diagrammtyp: Parabolisch $\phi_{perm}: 2.50$ $\phi_{pres}: 2.50$					

Spannungs-Dehnungs-Diagramm



Der Reduktionsfaktor  $kc = \eta_{fc} \cdot kc2$  wird für das Verhalten bei Sprödbruch von Beton ( $\eta_{fc} = 0,92$ ) und für die Entfestigung aufgrund von Querkzugbeanspruchung ( $kc2$ ) berücksichtigt.

#### Reduktionsfaktor der Druckfestigkeit



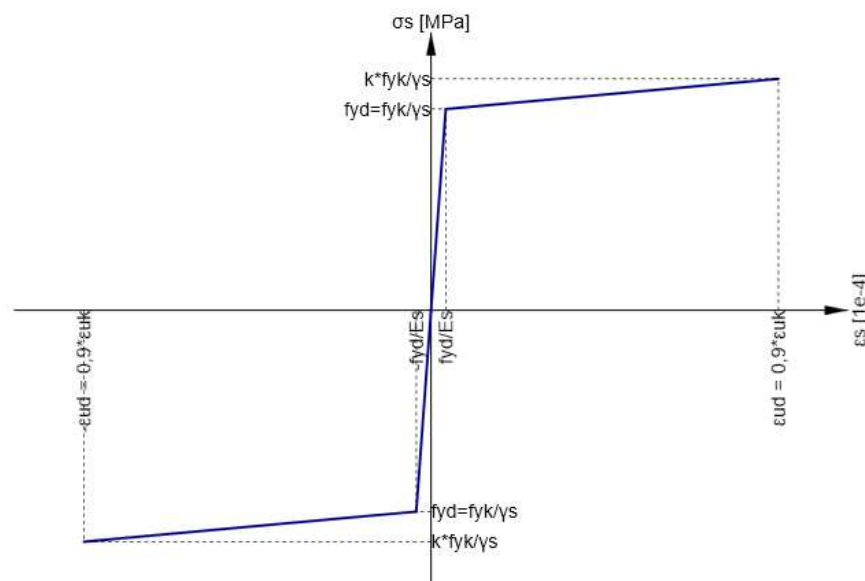


## Bewehrung

Name	$f_{yk}$ [MPa]	k [-]	$E_s$ [MPa]	Masseneinheit [kg/m <sup>3</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [1e-4]	Oberfläche
Box	345,0	1,48	205000,0	7850	500,0	Gerippt
	$\epsilon_{st} = 500,0 \cdot 1e-4, \epsilon_{sc} = 500,0 \cdot 1e-4,$					
Caron	450,0	1,15	205000,0	7850	500,0	Gerippt
	$\epsilon_{st} = 500,0 \cdot 1e-4, \epsilon_{sc} = 500,0 \cdot 1e-4,$					

- Baustoffkennwerte Box-Stahl und Caron-Stahl (gemäss [3], SIA 269/2 und [www.steeldata.ch](http://www.steeldata.ch)). Dehngrenze Box-Stahl reduziert infolge Schweisspunkte (punktuell angeschweisste Querstäbe für Spannliedauflage).

Spannungs-Dehnungs-Diagramm



## Stahl

Name	E [MPa]
S 355	210000,0

(für modellierte Lagerplatte B = 1.20 m, unbelastet und damit bedeutungslos)

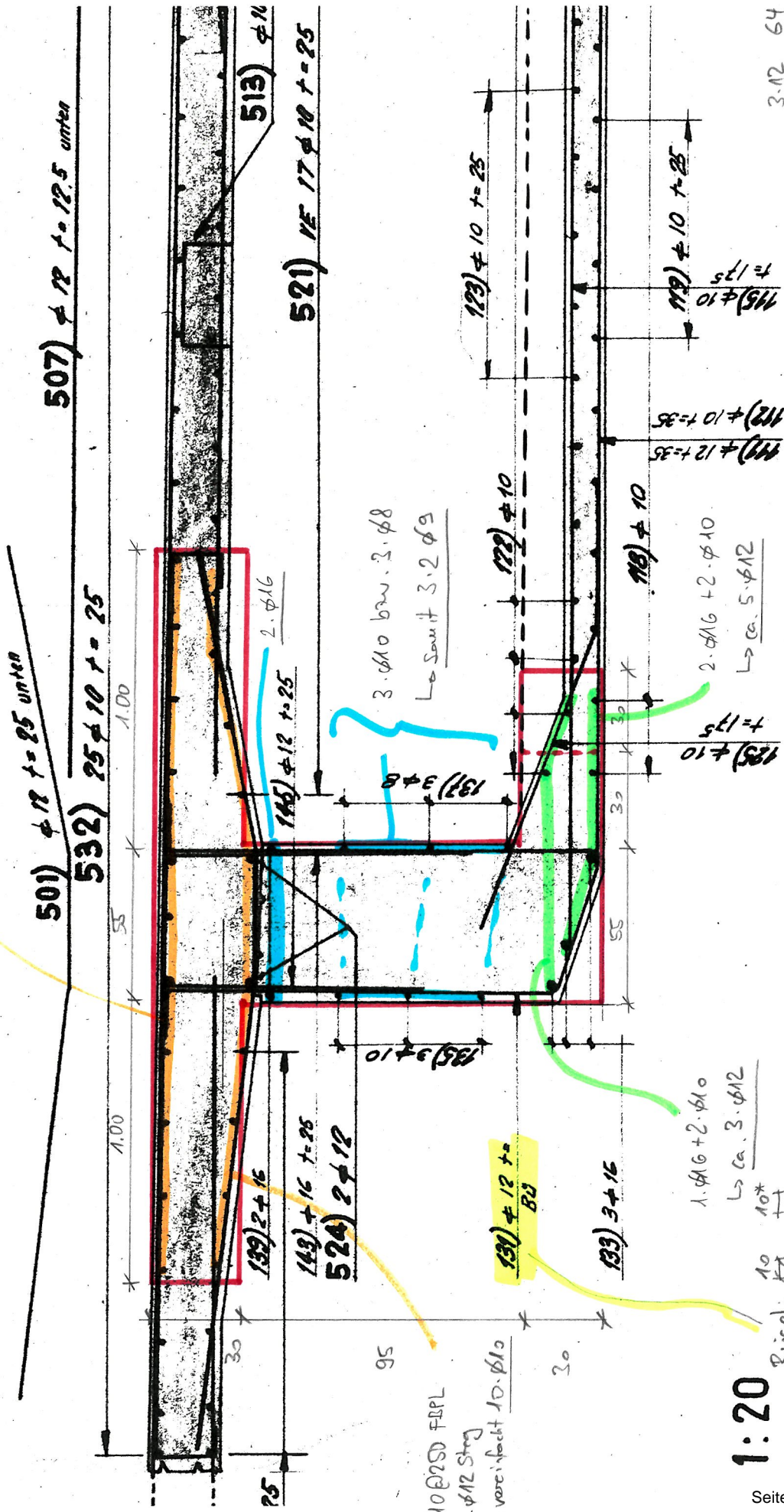
1:20  
PK 12.M.221

Modellierte Bewehrung Trägerquerschnitt

(Abschnitt M1, aus Bewehrungsplan CD1)

506)  $\phi 14$   $t = 25$  unten

506a)  $\phi 16$   $t = 25$  unten



1:20

Bügel:  
( $\phi 12$ )

$\phi 10 @ 250$  FBPL  
+ 2  $\phi 12$  Stütz  
↳ vorinfacht 10  $\phi 10$

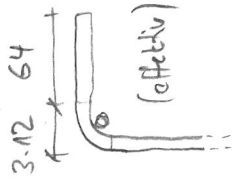
1.  $\phi 16 + 2 \cdot \phi 10$   
↳ ca. 3  $\cdot \phi 12$

\* Ausmassen 10cm gemäss Eisenlisten

Gemäss SIA 269/2 Fig. 3 wären ca.  $(3+10) \cdot \phi = 13 \phi$  (Ausmassen) erforderlich

für volle Verankerung, d.h.  $13 \cdot 12 = 156$ cm statt  $100$ cm, bzw. Stützhöhe  $100 - 3 \cdot 12 = 64$ cm statt

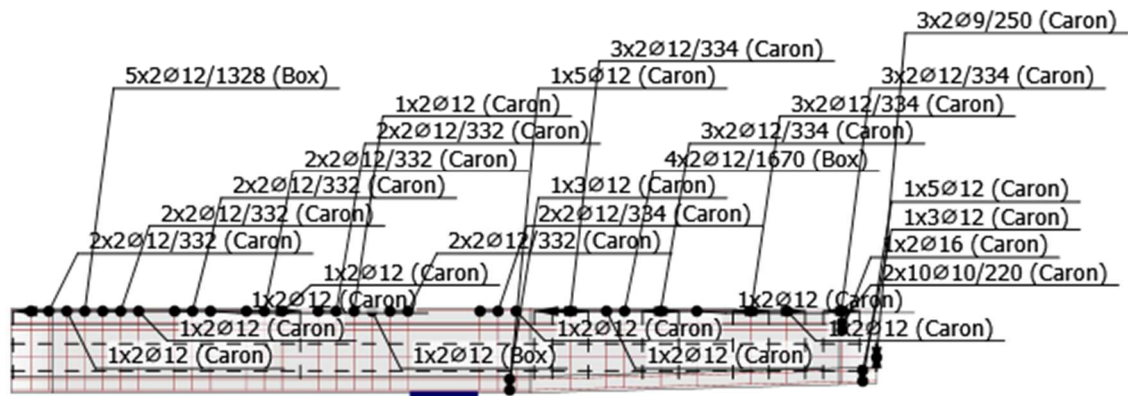
$10 \cdot 12 = 120$ cm → Verankerung mind. ca.  $50 - 60$ %, der vollen Verankerung (Druckzone)





## Bewehrung

### Bewehrungsschema

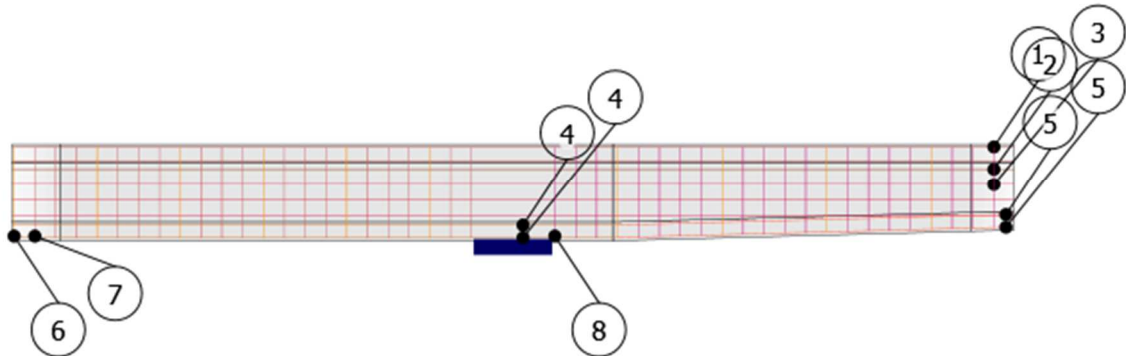


- Kabelhalterbügel (Pos. 6) als einzige Bewehrung in Box-Stahl.
- Bügelabstand auf M1  $s = 332$  mm (jeder 4. Bügel als Kabelhalterbügel)
- Bügelabstand auf M2  $s = 334$  mm (jeder 5. Bügel als Kabelhalterbügel)
- Im direkten Querträgerbereich (Bereich Lagerplatte  $b = 1.20$  m) ist einzig ein Kabelhalterbügel in Querträgerachse vorhanden. Dieser wird im Modell des Querträgers berücksichtigt und im Modell des Längsträgers entsprechend vernachlässigt.
  
- Bügelbewehrungen als in der Fahrbahnplatte voll verankert (geschlossen) modelliert. Da die effektive Bügel Ausbildung mit kurzen  $90^\circ$ -Schenkel die Bedingungen gemäss SIA 269/2 Fig. 3 nicht vollständig erfüllt (Verankerungslänge effektiv eher ca. 50 – 60 % einer vollen Verankerung), wird die Endverankerung der Bügel anhand der Berechnungsergebnisse manuell kontrolliert.
- Interaktion Schub – Querbiegung Steg (Interaktion Längs- und Querrichtung): Die Interaktion aus Einspannungen der Fahrbahnplatte (bzw. der unteren Kastenplatte) in den Hohlkastensteg wird vernachlässigt, da hierzu entsprechende Anschlussbewehrungen bis unterhalb der Stegmitte vorhanden sind, welche für die Berechnungen in Längsrichtung als Querkraftbewehrungen nicht berücksichtigt werden.



## Materialliste

### Objekt-Nummerierung



### Kurztabelle der Bewehrung

Index	Φ [mm]	Material	Positionen	Länge [mm]	Gewicht [kg]	Gesamtlänge [m]
1	10	Caron	20	16000	10	320.00
2	16	Caron	2	16000	25	32.00
3	9	Caron	6	16000	8	96.00
4	12	Caron	8	9600	9	76.80
5	12	Caron	8	6382	6	51.06
6	12	Box	10	3798-4068	3-4	40.13
7	12	Caron	17	4068	4	69.15
8	12	Caron	18	3744-4068	3-4	70.66

### Detaillierte Tabellen der Bewehrungsstäbe

Parameter	Wert	Form
Index	1	
Φ [mm]	10	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	20	
Länge [mm]	16000	
Gewicht [kg]	10	
Gesamtlänge [m]	320.00	

Parameter	Wert	Form
Index	2	
Φ [mm]	16	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	2	
Länge [mm]	16000	
Gewicht [kg]	25	
Gesamtlänge [m]	32.00	





Parameter	Wert	Form
Index	3	
Φ [mm]	9	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	6	
Länge [mm]	16000	
Gewicht [kg]	8	
Gesamtlänge [m]	96.00	

Parameter	Wert	Form
Index	4	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	8	
Länge [mm]	9600	
Gewicht [kg]	9	
Gesamtlänge [m]	76.80	

Parameter	Wert	Form
Index	5	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	8	
Länge [mm]	6382	
Gewicht [kg]	6	
Gesamtlänge [m]	51.06	

Parameter	Wert	Form (Min-Max)
Index	6	
Φ [mm]	12	
Material	Box	
Anzahl der Positionen	10	
Länge [mm]	3798-4068	
Gewicht [kg]	3-4	
Gesamtlänge [m]	40.13	

Parameter	Wert	Form
Index	7	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	17	
Länge [mm]	4068	
Gewicht [kg]	4	
Gesamtlänge [m]	69.15	



Parameter	Wert	Form (Min-Max)
Index	8	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	18	
Länge [mm]	3744-4068	
Gewicht [kg]	3-4	
Gesamtlänge [m]	70.66	

## Übersichtstabelle

Φ [mm]	9	10	12	16
Gesamtlänge Φ [m]	96.00	320.00	307.80	32.00
Metergewicht von Φ [kg/m]	1	1	1	2
Gesamtgewicht von Φ [kg]	48	197	273	51
Gesamtgewicht der Stäbe [kg]	569			
Betonvolumen [m <sup>3</sup> ]	19.10			
Gewicht der Bewehrung pro Volumeneinheit des Betons [kg/m <sup>3</sup> ]	30			





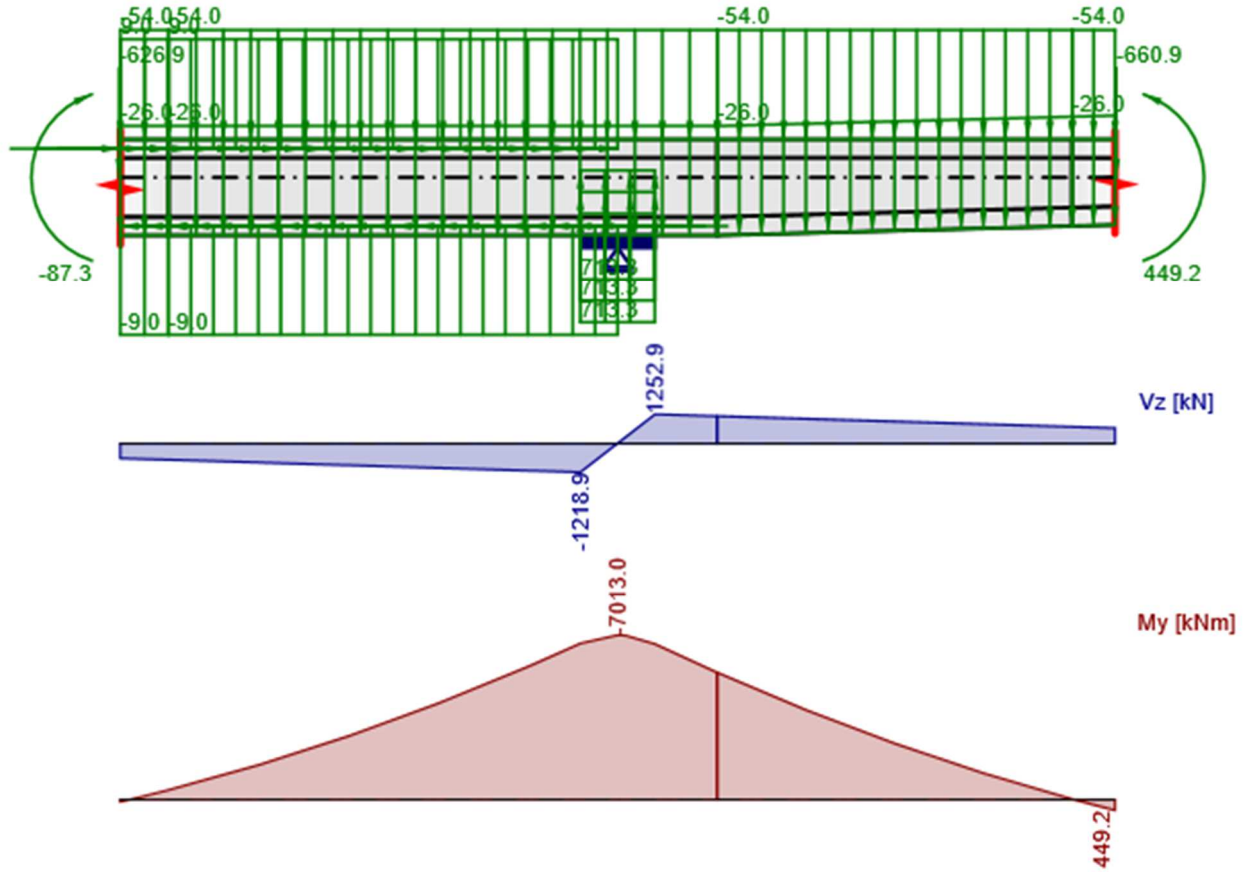
## 5 Einwirkungen, Grenzzustand Tragsicherheit

- Berücksichtigung der massgebenden Lastkombination mit entsprechenden Laststellungen für maximale Querkraft  $V_{zd,max}$  auf Hohlkasten  $CD_1$  vor D aus der Stabstatikanalyse mit STATIK-7 [1]. Nebst den ständigen Einwirkungen (Eigenlasten, Auflasten, Vorspannung) werden hierzu die aktualisierten Strassenverkehrslasten als Leiteinwirkung (Lastmodell 1 gemäss SIA 269/1, feldweise) und die nichtmotorisierten Verkehrslasten als Begleiteinwirkung (Menschengedränge auf Gehwegbereichen, feldweise) massgebend. Temperatureinwirkungen werden für die massgebende Lastkombination nicht relevant.
- Die auf die Hohlkastenachse bezogenen Schnittgrössen Querkraft  $V_z$  und Biegemoment  $M_y$  aus STATIK-7 werden vereinfacht je hälftig auf den Innen- und den Aussensteg aufgeteilt. Dies ist für den Innensteg leicht konservativ, da der Aussensteg eine etwas grössere Trägerhöhe aufweist.
- Die auf die Hohlkastenachse bezogene Schnittgrösse Torsionsmoment  $T_x$  aus STATIK-7 wird aufgrund der Theorie der Umlauf torsion über die zugehörigen Schubflüsse in entsprechende, am Innensteg wirkende Vertikalkräfte ( $f_z$  bzw.  $V_z$ ) und horizontale Längskräfte ( $f_x$ ) umgerechnet.
- Ein Teil der Eigenlasten des Hohlkastenquerschnittes wird als an der Unterseite des Innensteges wirkend berücksichtigt (Eigenlasten von unterer Kastenplatte und unterer Steghälfte).
- Die Längsvorspannung des Innensteges wird als Einwirkung über entsprechende Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte berücksichtigt (Betrachtung einer Stahlbetonscheibe). Die 9 im Abschnitt vorhandenen Längsspannglieder werden mit der plangemässen Spannglied geometrie [10] berücksichtigt. Vereinfacht werden Umlenk- und Reibungskräfte als abschnittsweise konstant modelliert. Die Reibungskräfte und damit der Spannkraftverlauf über den modellierten Stegbereich werden aus den STATIK-7-Resultaten [1] ermittelt (für beidseitiges Überspannen und Ablassen). Die Langzeitverluste der Vorspannung werden mit 20 % berücksichtigt (d.h. initiale Spannkraften und Zwängungsschnittgrössen mit Faktor 0.80 abgemindert). Auf Querschnittsebene setzen sich die Schnittgrössen aus Vorspannung aus einem Zwängungsanteil (Sekundärschnittgrössen  $M_{ps}$ ,  $V_{ps}$ ) und einem Eigenspannungsanteil ( $M_{pe}$ ,  $V_{pe}$ ,  $N_{pe}$ ) zusammen. Die Sekundärschnittgrössen werden dabei aus STATIK-7 [1] übernommen, die Eigenspannungsanteile werden in einzelnen Querschnitten händisch ermittelt. Ein möglicher Spannkraftzuwachs im Bruchzustand (dekomprimierte Tragwerksbereiche) wird konservativerweise vernachlässigt.

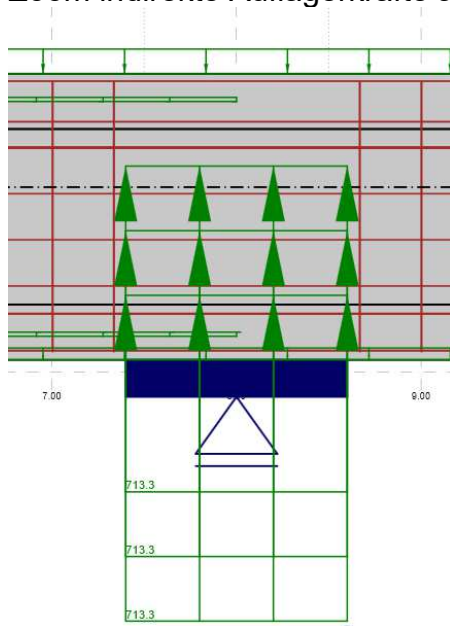


## Lasten

EGAL (bestehend, ohne Mehrauflasten)



Zoom indirekte Auflagerkräfte auf Höhen 35 cm, 70 cm und 105 cm ab UK Träger:





## Lastfall EGAL - Ständig

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M1	8.00 m (Links)	0.0	17.0	-7013.0
M1	8.00 m (Rechts)	0.0	17.0	-7013.0

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
GVob1	-54.0	-54.0	Global Z	M1: Kante 3 Gesamte Länge	9.60	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, oben angreifend
GVob2	-54.0	-54.0	Global Z	M2: Kante 3 Gesamte Länge	6.40	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, oben angreifend
GVun1	-26.0	-26.0	Global Z	M1: Kante 1 Gesamte Länge	9.60	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, unten angreifend
GVun2	-26.0	-26.0	Global Z	M2: Kante 1 Gesamte Länge	6.40	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, unten angreifend
GHob1	9.0	9.0	Global X	X:0;Z:0.464 X:8.00;Z:0.464	8.00	Bezeichnung Statik: $f_x$ Längskraft oben aus Torsion
GHun1	-9.0	-9.0	Global X	X:0;Z:-0.786 X:8.00;Z:-0.786	8.00	Bezeichnung Statik: $f_x$ Längskraft unten aus Torsion
R1a	713.3	713.3	Global Z	X:7.40;Z:-0.586 X:8.60;Z:-0.586	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R1b	713.3	713.3	Global Z	X:7.40;Z:-0.236 X:8.60;Z:-0.236	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R1c	713.3	713.3	Global Z	X:7.40;Z:0.114 X:8.60;Z:0.114	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft

**Resultatkombination**

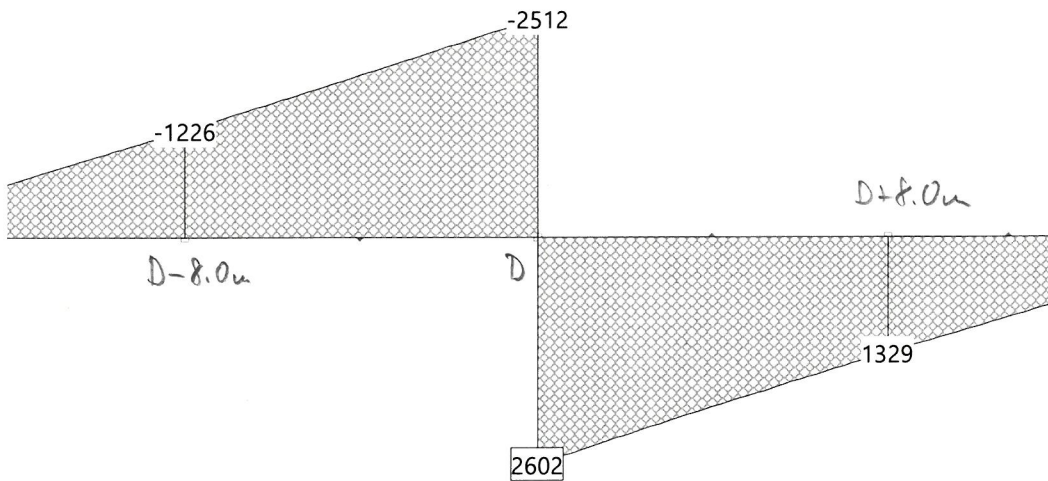
**Resultatkombination EGAL**

Id Belastung	Faktor	Beschreibung
EG	1.000	Eigengewicht
EG-QTST	1.000	Eigengewicht Querträger + Stegverbreiterungen C
EG-Verb	1.000	Eigengewicht FBPL bei Verbreiterungen
AL-AU	1.000	Auflasten Ausrüstungen (Geländer-Maste-Schutzdach-Leitungen)
AL-BR	1.000	Auflasten Belag + Randsteine
AL-LE	1.000	Auflasten Leitelemente Beton

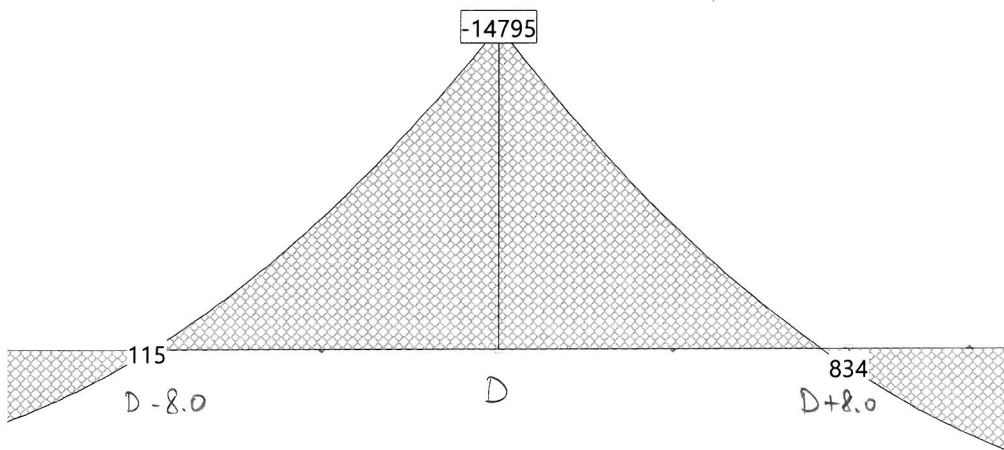
für 1 Holzkasten (2 Stage)!

Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: EGAL, selektierte Stäbe

$(N_x = 0)$

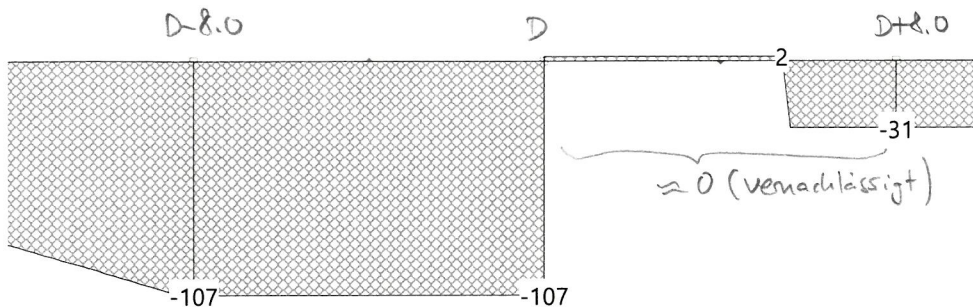


Schnittkraft My (Stabachsen) [kNm] für: EGAL, selektierte Stäbe



Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: EGAL, selektierte Stäbe

↳ Achse Nullkarten

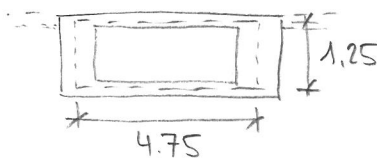


aus  $V_z$ :  $g_k(HK) = \frac{2512 - 1226}{8.0}$  bzw.  $\frac{2602 - 1329}{8.0} \approx 160 \text{ kN/m}$

↳ Innensteg (50%):  $g_k = \frac{160}{2} = 80 \text{ kN/m}$

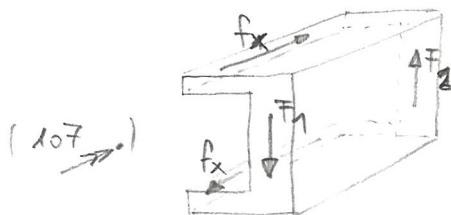
davon  $\frac{26 \text{ kN/m}}$  unten angreifend (untere Kastplatte + halber Steg)  
 „  $\frac{54 \text{ kN/m}}$  oben „

aus  $T_x$ :



Schubfluss  $q = \frac{T}{2 \cdot A_0}$ ,  $A_0 = 4.75 \cdot 1.25 = 5.94 \text{ m}^2$

Innensteg, für  $T_x = -107 \text{ kNm}$ :



$F_1 = F_2 = \frac{107}{2 \cdot 5.94} \cdot 1.25 = 11 \text{ kN}$

$f_x = \frac{107}{2 \cdot 5.94} = 9.0 \text{ kN/m}$

(Gräfte in y-Rtg. nicht dargestellt)

⇒ Schnittgrößenverläufe:  $V_{z,li/re} = -\frac{2 \cdot 512}{2} - M = -1267 \text{ kN}$  /  $\frac{2 \cdot 602}{2} = +1301 \text{ kN}$   
 (bei D)  $M_{y,li/re} = -\frac{14 \cdot 795}{2} = -7398 \text{ kNm}$

Korrektur 100% Lagerreaktion als Kraft  $b = 1.20 \text{ m}$ :

$R_k(100\%) = 1301 + 1267 = 2568 \text{ kN}$  → auf  $1.20 \text{ m}$ , d.h.  $r_k = \frac{2568}{1.20} = 2140 \text{ kN/m}$   
 $\Delta V_{z,li/re} = \pm \frac{2568}{2} = \pm 1284 \text{ kN}$ ,  $\Delta M_{y,li/re} = + \frac{2568}{2} \cdot 0.30 = +385 \text{ kNm}$   $\frac{2140 \cdot 0.30}{2} = 3 \times 713.3 \text{ kN/m}$

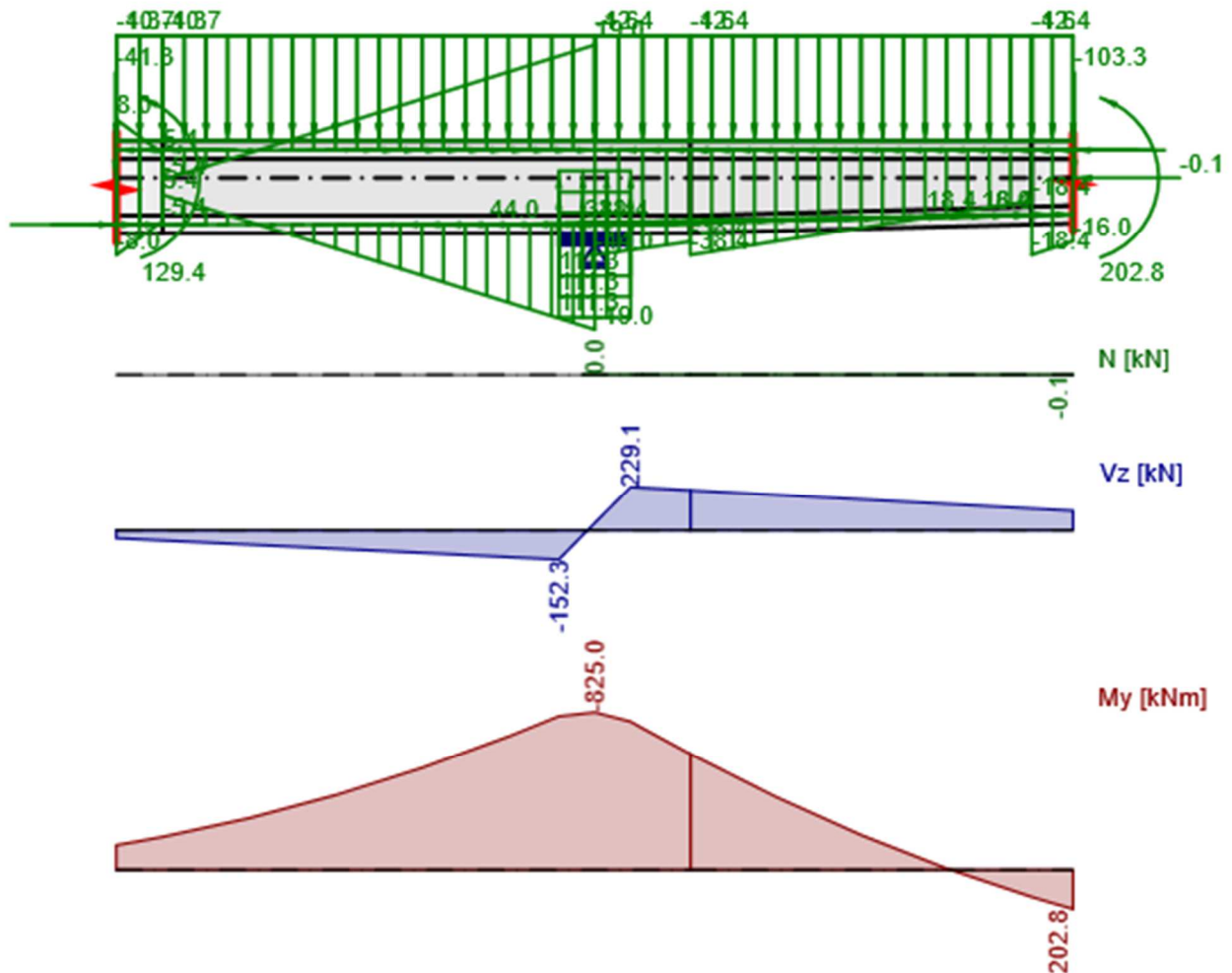
⇒  $V_{z,li/re} = -1267 + 1284 = +17 \text{ kN}$

$M_{y,li/re} = -7398 + 385 = -7013 \text{ kNm}$  ( $N_x = 0$ )





## AL+ (projektierte Mehraufasten)



## Lastfall AL+ - Ständig

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M1	8.00 m (Links)	0.0	39.0	-825.0
M1	8.00 m (Rechts)	0.0	39.0	-825.0

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
gver1	-10.7	-10.7	Global Z	X:0;Z:0.614 X:8.00;Z:0.614	8.00	Bezeichnung Statik: $g_k$ Verteilte Last, oben angreifend
gver2	-12.4	-12.4	Global Z	X:8.00;Z:0.614 X:16.00;Z:0.614	8.00	Bezeichnung Statik: $g_k$ Verteilte Last, oben angreifend
gv-T1	-4.3	-4.3	Global Z	X:0;Z:0.614 X:8.00;Z:0.614	8.00	Bezeichnung Statik: $f_v$ Vertikalkraft aus Torsion ( $\Delta T$ )



gv-T2	-4.6	-4.6	Global Z	X:8.00;Z:0.614 X:16.00;Z:0.614	8.00	Bezeichnung Statik: $f_v$ Vertikalkraft aus Torsion ( $\Delta T$ )
gh-Tob1	-8.0	19.0	Global X	X:0;Z:0.464 X:8.00;Z:0.464	8.00	Bezeichnung Statik: $q$ Längskraft oben aus Torsion
gh-Tob2	-44.0	-16.0	Global X	X:8.00;Z:0.464 X:16.00;Z:0.464	8.00	Bezeichnung Statik: $q$ Längskraft oben aus Torsion
gh-Tun1	8.0	-19.0	Global X	X:0;Z:-0.786 X:8.00;Z:-0.786	8.00	Bezeichnung Statik: $q$ Längskraft unten aus Torsion
gh-Tun2	44.0	16.0	Global X	X:8.00;Z:-0.786 X:16.00;Z:-0.616	8.00	Bezeichnung Statik: $q$ Längskraft unten aus Torsion
R2a	111.3	111.3	Global Z	X:7.40;Z:-0.586 X:8.60;Z:-0.586	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R2b	111.3	111.3	Global Z	X:7.40;Z:-0.236 X:8.60;Z:-0.236	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R2c	111.3	111.3	Global Z	X:7.40;Z:0.114 X:8.60;Z:0.114	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft



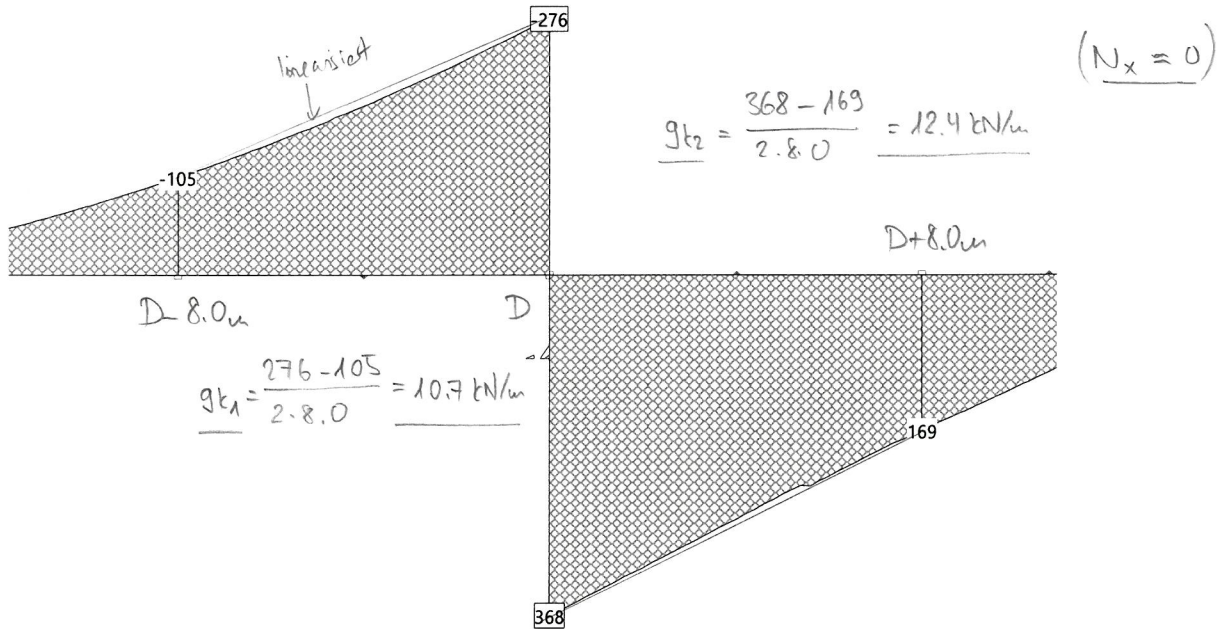
**Resultatkombination**

**Resultatkombination AL+**

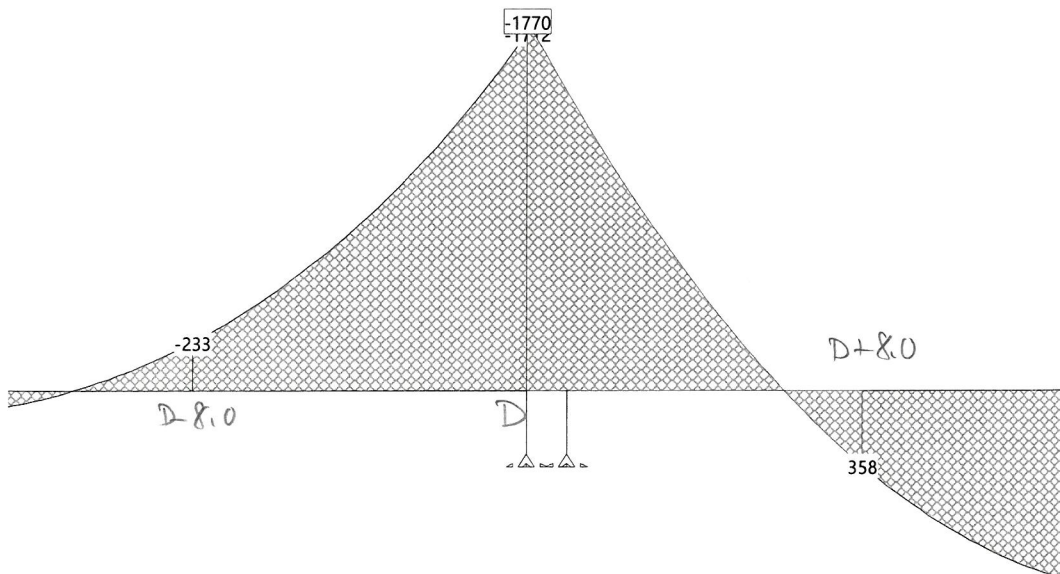
Id Belastung	Faktor	Beschreibung
AL-BG+	1.000	Mehraufasten Belag + Gehwegverbreiterungen ZBB
AL-LE+	1.000	Mehraufasten Leitelemente Beton ZBB (v.a. Ost)

für 1 Hohlkasten (2 Stege)!

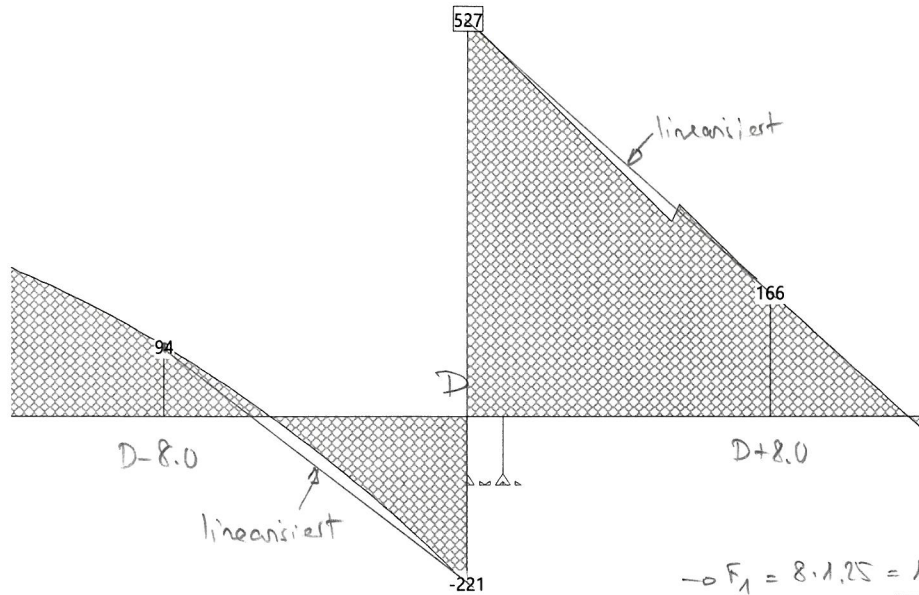
Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: AL+, selektierte Stäbe



Schnittkraft My (Stabachsen) [kNm] für: AL+, selektierte Stäbe



Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: AL+, selektierte Stäbe  
 L<sub>0</sub> Achse Balken

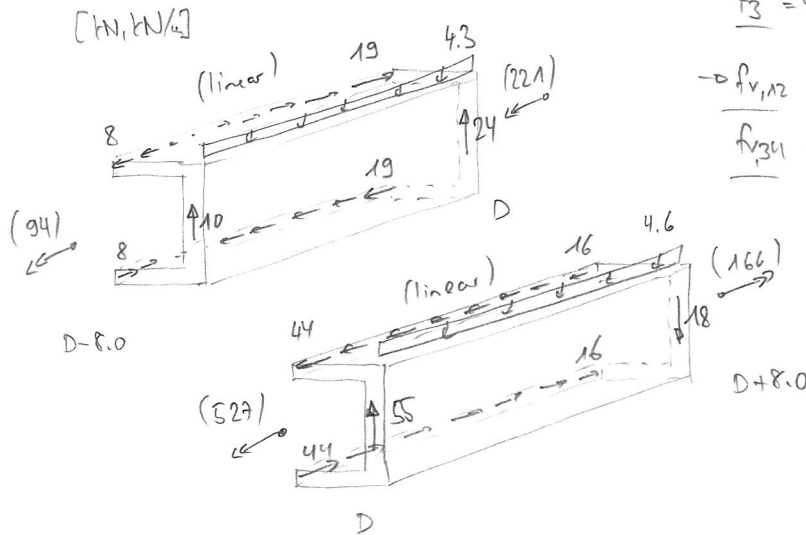


Schubfluss:

- a)  $T_x = +94 \text{ kNm} \rightarrow q = \frac{94}{2.5.94} = 8 \text{ kN/m}$
- b)  $T_x = -221 \text{ kNm} \rightarrow q = \frac{221}{2.5.94} = 19 \text{ kN/m}$
- c)  $T_x = +527 \text{ kNm} \rightarrow q = \frac{527}{2.5.94} = 44 \text{ kN/m}$
- d)  $T_x = +166 \text{ kNm} \rightarrow q = \frac{166}{2.475.1.08} = 16 \text{ kN/m}$

$\rightarrow F_1 = 8 \cdot 1.25 = 10 \text{ kN}, F_2 = 19 \cdot 1.25 = 24 \text{ kN}$   
 $F_3 = 44 \cdot 1.25 = 55 \text{ kN}, F_4 = 16 \cdot 1.08 = 18 \text{ kN}$

$\rightarrow f_{v,1/2} = \frac{10+24}{8.0} = 4.3 \text{ kN/m}$   
 $f_{v,3/4} = \frac{55-18}{8.0} = 4.6 \text{ kN/m}$



Schnittgrößenvorgabe:  $V_{z,1/te} = -\frac{276}{2} - 24 = -162 \text{ kN} / \frac{368}{2} + 55 = +239 \text{ kN}$   
 (bei D)  
 $M_{y,1/te} = -\frac{1770}{2} = -885 \text{ kNm}$

Korrektur 100% Logorrechte als Kraft  $b = 1.2 \text{ m}$ :

$R_k(1.2\text{m}) = 162 + 239 = 401 \text{ kN} \rightarrow r_k = \frac{401}{1.2} = 334 \text{ kN/m} = 3 \times 111.3 \text{ kN/m}$

$\Delta V_{z,1/te} = \pm \frac{401}{2} = \pm 201 \text{ kN}, \Delta M_{y,1/te} = + \frac{401}{2} \cdot 0.30 = +60 \text{ kNm}$

$\rightarrow V_{z,1/te} = -162 + 201 = +39 \text{ kN}$

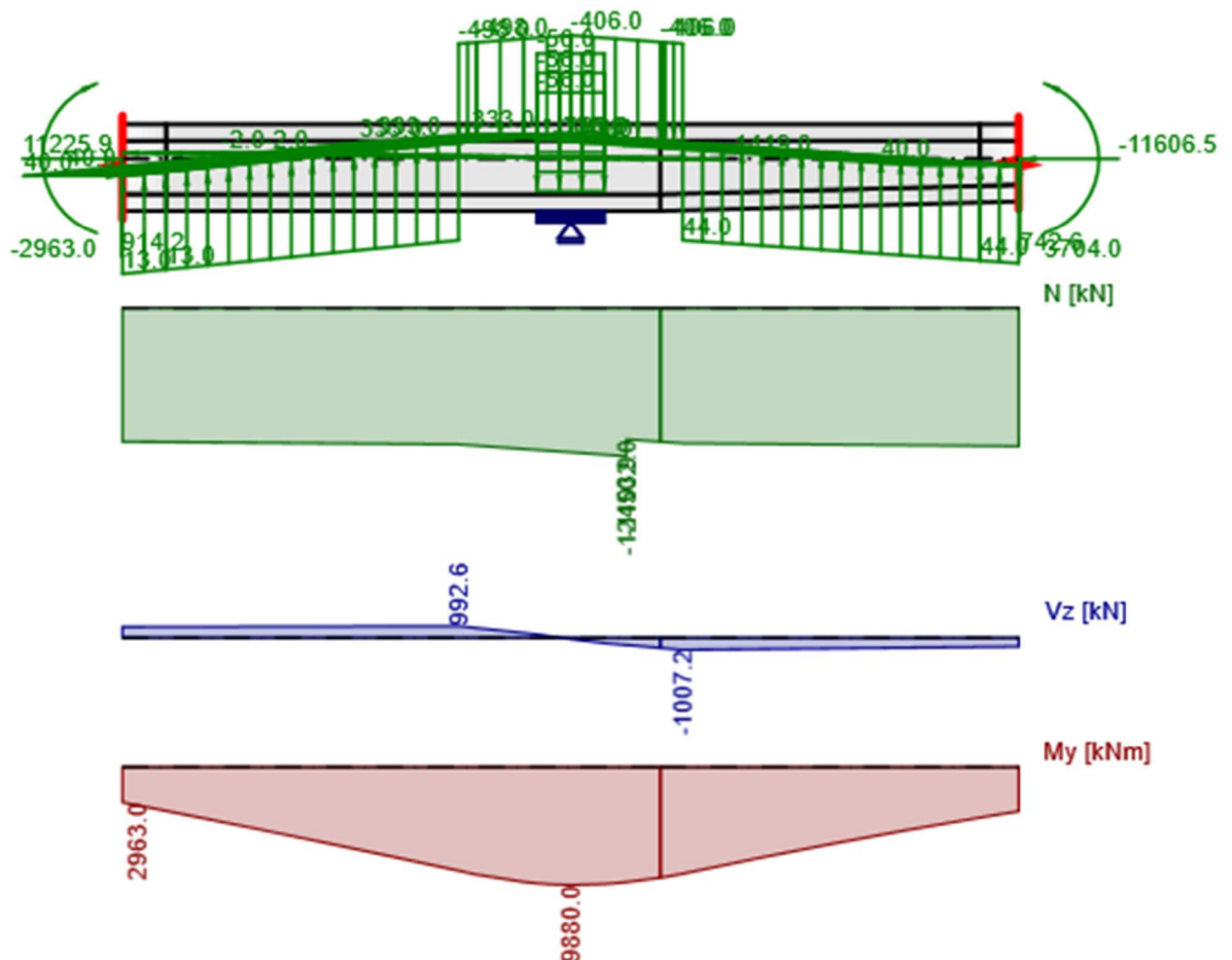
$M_{y,1/te} = -885 + 60 = -825 \text{ kNm}$

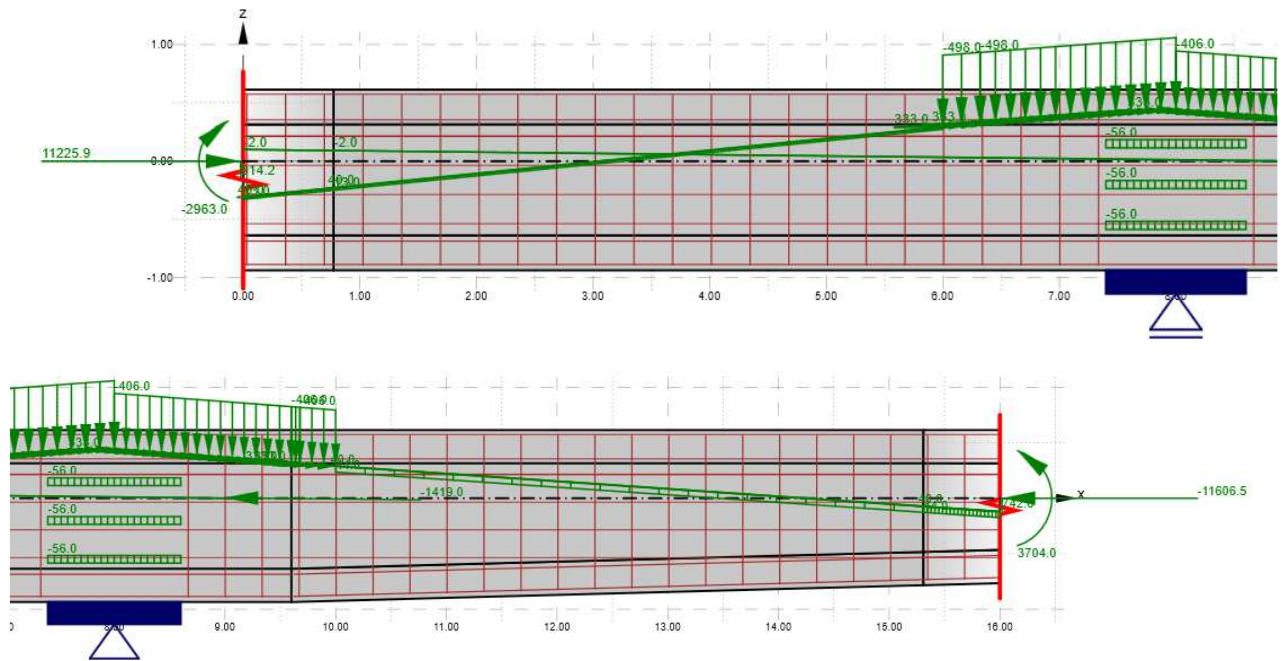
$(N_x = 0)$



## Vorsp

- Die Längsvorspannung des Innensteges wird als Einwirkung über entsprechende Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte berücksichtigt (Betrachtung einer Stahlbetonscheibe). Die 9 im Abschnitt vorhandenen Längsspannglieder werden mit der plangemässen Spanngliedgeometrie berücksichtigt. Vereinfacht werden Umlenk- und Reibungskräfte als abschnittsweise konstant modelliert. Die Reibungskräfte und damit der Spannkraftverlauf über den modellierten Stegbereich werden aus den STATIK-7-Resultaten [1] ermittelt (für beidseitiges Überspannen und Ablassen).
- Die Langzeitverluste der Vorspannung werden mit 20 % berücksichtigt. In IDEA StatiCa Detail werden die initialen Spannkräfte und Zwängungsschnittgrössen definiert, welche sodann für die Lastkombination ULS mit einem Faktor von 0.80 multipliziert werden.
- Auf Querschnittsebene setzen sich die Schnittgrössen aus Vorspannung aus einem Zwängungsanteil (Sekundärschnittgrössen  $M_{ps}$ ,  $V_{ps}$ ) und einem Eigenspannungsanteil ( $M_{pe}$ ,  $V_{pe}$ ,  $N_{pe}$ ) zusammen. Die Sekundärschnittgrössen werden dabei aus STATIK-7 [1] übernommen. Die Eigenspannungsanteile werden in einzelnen Querschnitten händisch ermittelt. Ein möglicher Spannkraftzuwachs im Bruchzustand (dekomprimierte Tragwerksbereiche) wird vernachlässigt.





## Lastfall Vorsp - Ständig

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M1	8.00 m (Links)	-12119.0	-107.0	9880.0
M1	8.00 m (Rechts)	-12119.0	-107.0	9880.0

### Punktlasten

Name	F [kN]	Richtung	$\alpha$ [°]	Haupt	Position [X;Z]	Bemerkungen
An14i	-1419.0	Global X	-0.6	M1: MP 4	9.00;0	Bezeichnung Statik: P <sub>0</sub> Ankerkraft 14i (nachgelassen)

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
UL1	13.0	13.0	Global Z	X:0;Z:-0.31 X:6.00;Z:0.29	6.03	Bezeichnung Statik: u <sub>0</sub> vert. Umlenkkraft (1), nach oben
UL2a	-498.0	-498.0	Global Z	X:6.00;Z:0.29 X:8.00;Z:0.44	2.01	Bezeichnung Statik: u <sub>0</sub> vert. Umlenkkraft (2a), nach unten
UL2b	-406.0	-406.0	Global Z	X:8.00;Z:0.44 X:10.00;Z:0.29	2.01	Bezeichnung Statik: u <sub>0</sub> vert. Umlenkkraft (2b), nach unten
UL3	44.0	44.0	Global Z	X:10.00;Z:0.29 X:16.00;Z:-0.12	6.01	Bezeichnung Statik: u <sub>0</sub> vert. Umlenkkraft (3), nach oben
Re1	40.0	40.0	Global X	X:0;Z:-0.31 X:6.00;Z:0.29	6.03	Bezeichnung Statik: r <sub>0</sub> hor. Reibungskraft (1), nach rechts
Re2	333.0	333.0	Global X	X:6.00;Z:0.29 X:10.00;Z:0.29	4.01	Bezeichnung Statik: r <sub>0</sub> hor. Reibungskraft (2), nach rechts
Re3	40.0	40.0	Global X	X:10.00;Z:0.29	6.01	Bezeichnung Statik: r <sub>0</sub>



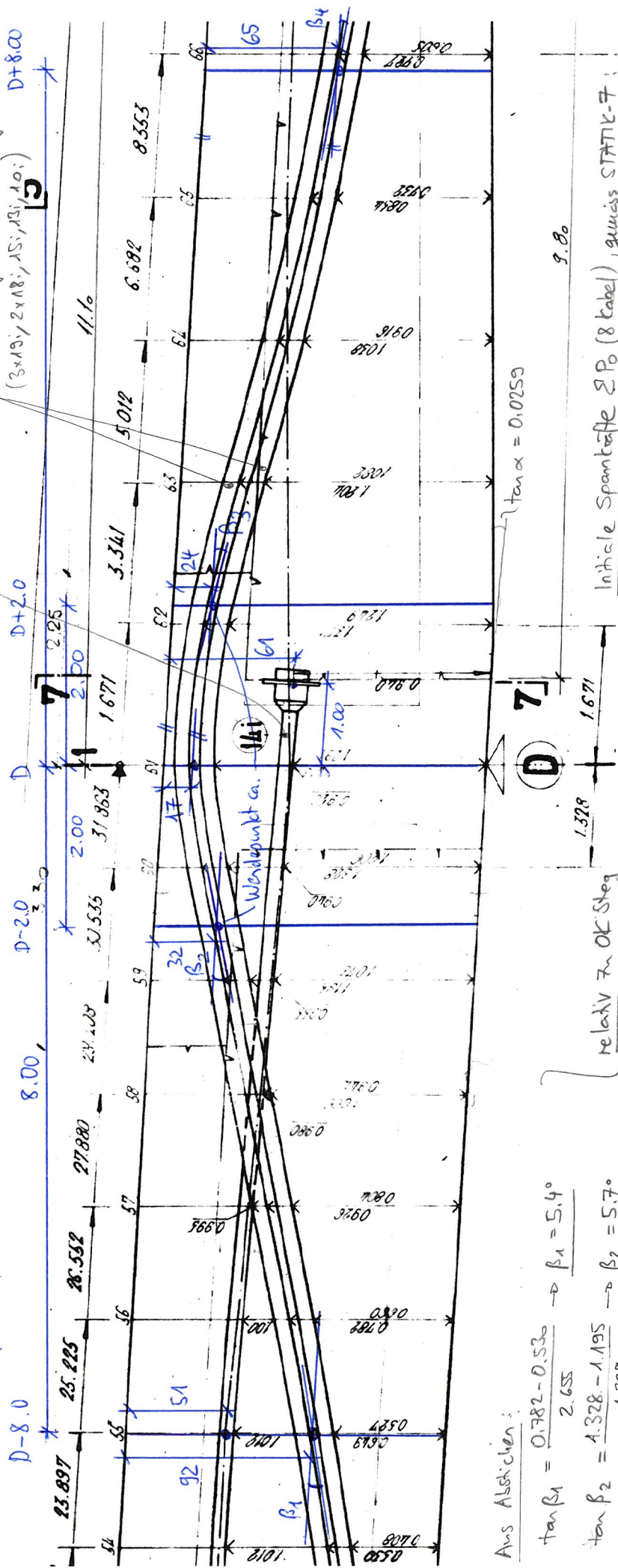


				X:16.00;Z:-0.12		hor. Reibungskraft (3), nach rechts
Re14i	-2.0	-2.0	Global X	X:0;Z:0.10 X:9.00;Z:0	9.00	Bezeichnung Statik: r <sub>0</sub> hor. Reibungskraft (Kabel 14i), nach links
R3a	-56.0	-56.0	Global Z	X:7.40;Z:-0.586 X:8.60;Z:-0.586	1.20	Bezeichnung Statik: r <sub>k</sub> 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R3b	-56.0	-56.0	Global Z	X:7.40;Z:-0.236 X:8.60;Z:-0.236	1.20	Bezeichnung Statik: r <sub>k</sub> 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R3c	-56.0	-56.0	Global Z	X:7.40;Z:0.114 X:8.60;Z:0.114	1.20	Bezeichnung Statik: r <sub>k</sub> 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft

# Modellbildung Vorspannung

(über D, aus Kabelplan Innerträger 1.Et.)

Masse jeweils relativ zu OK Steg, bis Schwerpunkte Spanglieder  
(Höhen 65/72, 29/48)



12.11.2021 PK  
2.5 fach überhöht!  
 $P_0 = 11419 \text{ kN}$  (nachlassen)  $\rightarrow D=8.00: P_0 = 11436 \text{ kN}$   
1 Spanglied (14) (abgespannt bei D)

2x4 Spanglieder mit identischer Geometrie  
 $\rightarrow$  willkürliche Lage berücksichtigt  
(3x19; 2x18; 15; 13; 10;)  
D+8.00

Aus Absichten:

$$\tan \beta_1 = \frac{0.782 - 0.536}{2.655} \rightarrow \beta_1 = 5.4^\circ$$

$$\tan \beta_2 = \frac{1.328 - 1.195}{1.328} \rightarrow \beta_2 = 5.7^\circ$$

$$\tan \beta_3 = \frac{1.371 - 1.264}{1.670} - 0.0259 \rightarrow \beta_3 = 4.1^\circ$$

$$\tan \beta_4 = \frac{0.851 - 0.608}{3.341} - 0.0259 \rightarrow \beta_4 = 2.7^\circ$$

relativ zu OK Steg  
( $\beta_{3,4}$  mit Krümmung  
Krümmung UK Steg)

$$\tan \alpha = 0.0259$$

Initiale Spantkräfte  $\Sigma P_0$  (8 Kabel), gemäss STATIK-7:

- D+8.00 :  $\Sigma P_0 = 0.96 \cdot 8 \cdot 115M = 11'604 \text{ kN}$
- D+2.00 :  $\Sigma P_0 = 0.94 \cdot 8 \cdot 115M = 11'363 \text{ kN}$
- D :  $\Sigma P_0 = 0.885 \cdot 8 \cdot 115M = 10'698 \text{ kN}$
- D-2.00 :  $\Sigma P_0 = 0.83 \cdot 8 \cdot 115M = 10'033 \text{ kN}$
- D-8.00 :  $\Sigma P_0 = 0.81 \cdot 8 \cdot 115M = 9'791 \text{ kN}$

Umlenkkräfte aus Vorspannung (8 Kabel):

Als abschnittsweise konstant berücksichtigt

↳ aus Differenz  $P_{0i} \cdot \sin \beta_i \approx P_{0,i+1} \cdot \sin \beta_{i+1}$  (Vertikalkräfte über  $i$  bis  $(i+1)$ )

D-8.00 bis D-2.00 :  $U_0 = 9'791 \cdot \sin 5.4^\circ - 10'033 \cdot \sin 5.7^\circ = 75 \text{ kN}$

↳  $\underline{u_0} = \frac{75}{6.0} = \underline{13 \text{ kN/m}}$  (nach oben)

D-2.00 bis D :  $U_0 = 10'033 \cdot \sin 5.7^\circ = 996 \text{ kN} \rightarrow \underline{u_0} = \frac{996}{2.0} = \underline{498 \text{ kN/m}}$  (nach unten)

D bis D+2.00 :  $U_0 = 11'363 \cdot \sin 4.1^\circ = 812 \text{ kN} \rightarrow \underline{u_0} = \frac{812}{2.0} = \underline{406 \text{ kN/m}}$  (nach unten)

D+2.00 bis D+8.00 :  $U_0 = 11'363 \cdot \sin 4.1^\circ - 11'604 \cdot \sin 2.7^\circ = 265 \text{ kN}$

↳  $\underline{u_0} = \frac{265}{6.0} = \underline{44 \text{ kN/m}}$  (nach oben)

Reibungskräfte aus Vorspannung (8 Kabel):

Aus Differenz  $P_{0i}$  zu  $P_{0,i+1}$

D-8.00 bis D-2.00 :  $R_0 = 242 \text{ kN} \rightarrow \underline{r_0} = \frac{242}{6.0} = \underline{40 \text{ kN/m}}$

D-2.00 bis D :  $R_0 = 665 \text{ kN} \rightarrow \underline{r_0} = \frac{665}{2.0} = \underline{333 \text{ kN/m}}$

D bis D+2.00 :  $R_0 = 665 \text{ kN} \rightarrow \underline{r_0} = \underline{333 \text{ kN/m}}$

D+2.00 bis D+8.00 :  $R_0 = 241 \text{ kN} \rightarrow \underline{r_0} = \underline{40 \text{ kN/m}}$

Reibungskraft Kabel 11i:  $R_0 = 17 \text{ kN} \rightarrow \underline{r_0} = \frac{-17}{9.0} = \underline{-2 \text{ kN/m}}$



Schnittgrößen infolge Vorspannung (Anker, Reibungs-, Umlenkbohle):

für Vorgabe bei D (li/re) in DEA Statika Detail

a) Normalkraft  $N_x$ :

Zwängung:  $N_{ps} = 0$

Eigenspannung:  $N_{pe} = -\sum P_o = -10'698 - 1'421 = -12'119 \text{ kN}$

$\rightarrow N_{x,li/re} = -12'119 \text{ kN}$

b) Querkraft  $V_z$ :

Zwängung (siehe STATIK-7):  $V_{ps,li/re} = \frac{+18}{2} = +9 \text{ kN} / \frac{-385}{2} = -193 \text{ kN}$

Eigenspannung:  $V_{pe} = \sum (P_i \cdot \sin \beta_i) = 0 - \frac{15}{8 \text{ Kabel}} = -15 \text{ kN}$   
(14)

$\rightarrow V_{z,li/re} = +9 - 15 = -6 \text{ kN} / -193 - 15 = -208 \text{ kN}$

Korrektur 100% Lagerreaktion als Kraft  $b = 1,2 \text{ m}$ :

$R_k(100\%) = 208 - 6 = 202 \text{ kN} \rightarrow \underline{r_k} = \frac{202}{1,2} = 168 \text{ kN/m} = 3 \times 56,0 \text{ kN/m}$   
(nach unten)

$\Delta V_{z,li/re} = \mp \frac{202}{2} = \mp 101 \text{ kN}, \Delta M_{y,li/re} = -\frac{202}{2} \cdot 0,30 = -30 \text{ kNm}$

$\rightarrow V_{z,li/re} = -6 - 101 = -107 \text{ kN}$

c) Moment  $M_x$ :

Zwängung (siehe STATIK-7):  $M_{ps,li/re} = \frac{10'279}{2} = 5'140 \text{ kNm}$

Eigenspannung:  $M_{pe} = -\sum e_i \cdot P_i$ , mit  $e_i$  bzgl. Referenzachse DEA = Schwerachse M1  
(nach unten positiv)

d.h.  $M_{pe} = 0,444 \cdot 10'698 + 0,014 \cdot 1'421 = 4'770 \text{ kNm}$

$\rightarrow M_{x,li/re} = 5'140 + 4'770 = 9'910 \text{ kNm}$

Korrektur 100% Lagerreaktion:  $\Delta M_{y,li/re} = -30 \text{ kNm}$

$\rightarrow M_{x,li/re} = 9'910 - 30 = 9'880 \text{ kNm}$

d) Torsion  $T_x$ : vernachlässigt, da gering ( $T_x \approx 0$ )

**Resultatkombination**

**Resultatkombination Vorspannung0**

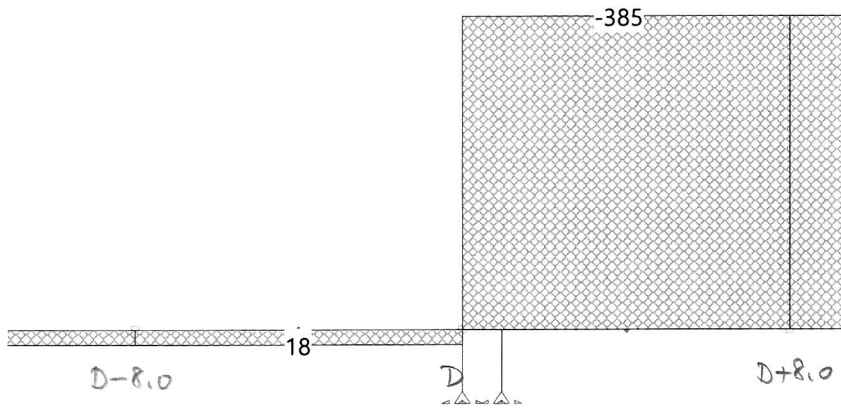
Id Belastung	Faktor	Beschreibung
V1Wa@0	1.000	SG-Gruppe 'V1Wa' BZ: 'Grundzustand'
V1Wi@0	1.000	SG-Gruppe 'V1Wi' BZ: 'Grundzustand'
V20a@0	1.000	SG-Gruppe 'V20a' BZ: 'Grundzustand'
V20i@0	1.000	SG-Gruppe 'V20i' BZ: 'Grundzustand'

*ohne Langzeitverluste (d.h. initial)*

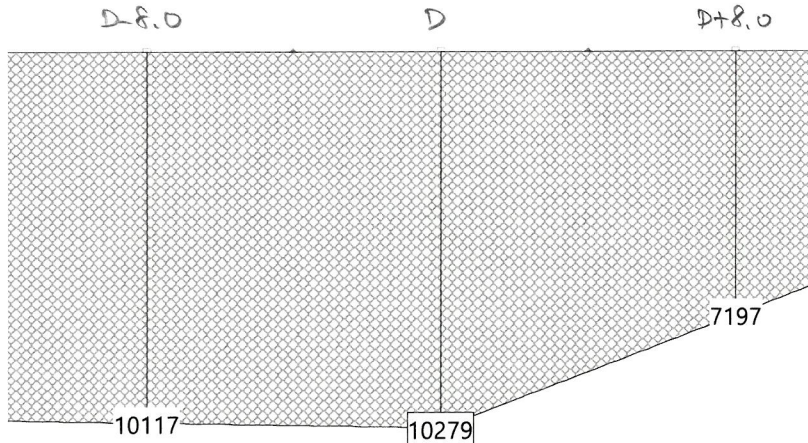
Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: Vorspannung0, nur Zwängungen, selektierte Stäbe

*für 1 Hohlkasten (2 Stöge)!*

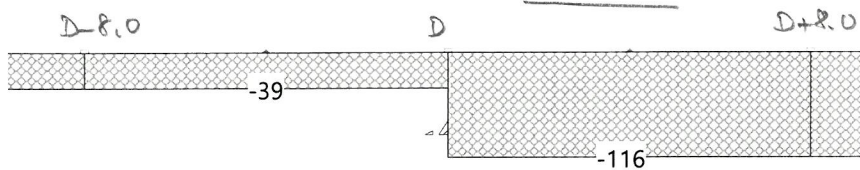
*Nur Zwängungsschnittgrößen!  
 (d.h. ohne Eigenspannungsanteile)*



Schnittkraft My (Stabachsen) [kNm] für: Vorspannung0, nur Zwängungen, selektierte Stäbe



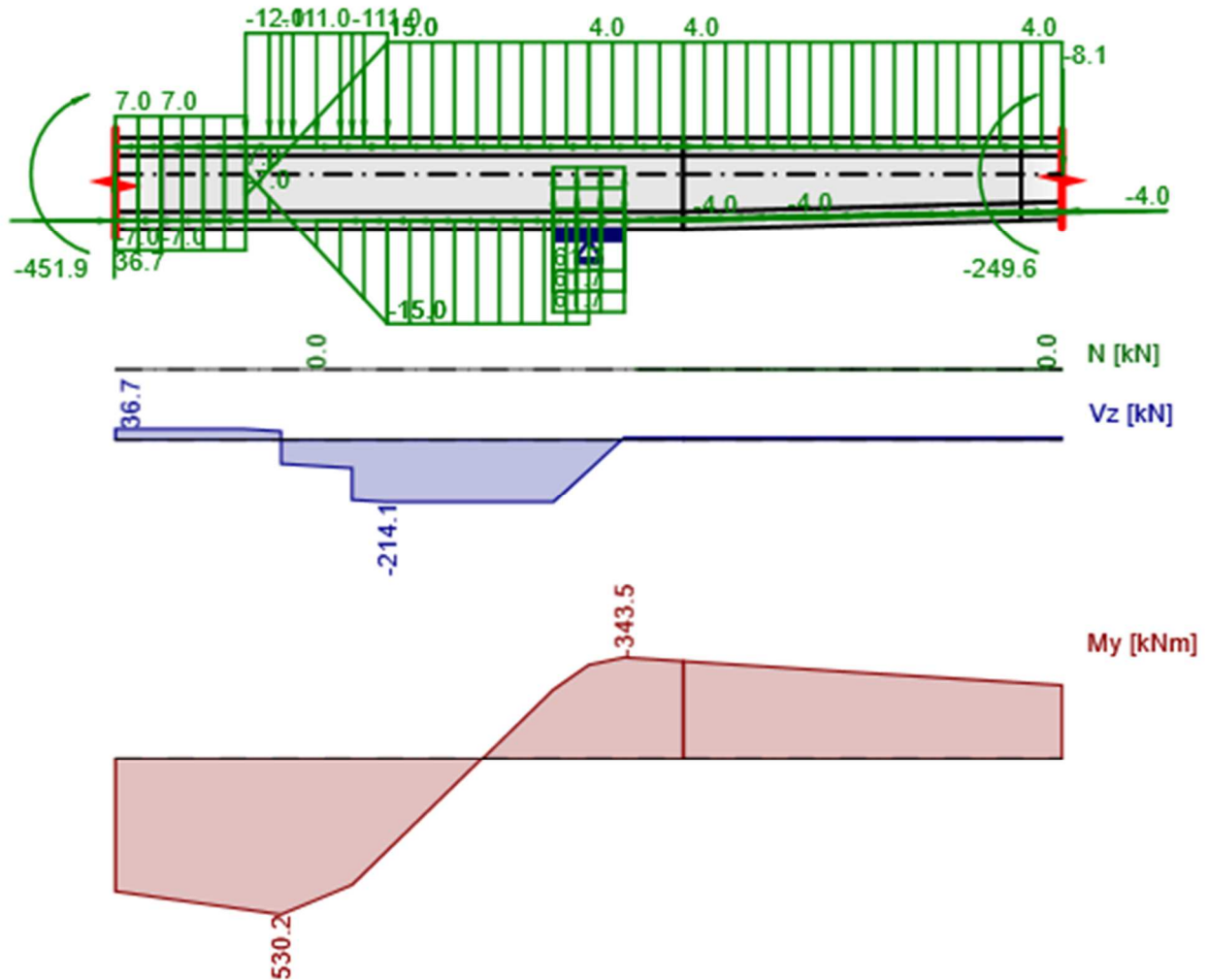
Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: Vorspannung0, nur Zwängungen, selektierte Stäbe



*gering, insbesondere auf D-8.0 bis D  
 ↳ vernachlässigt*



## LM1-Achs



## Lastfall LM1-Achs - Veränderlich

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M1	8.00 m (Links)	0.0	-103.0	-318.0
M1	8.00 m (Rechts)	0.0	-103.0	-318.0

### Punktlasten

Name	F [kN]	Richtung	Haupt	Position [X;Z]	Bemerkungen
Q1	-111.0	Global Z	M1: MP 4	2.8;0	Bezeichnung Statik: Q <sub>k</sub> Punktlast
Q2	-111.0	Global Z	M1: MP 4	4;0	Bezeichnung Statik: Q <sub>k</sub> Punktlast





## Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
FV-T	-12.0	-12.0	Global Z	M1: Kante 3 Position auf der Kante: 2.20 m	2.40	Bezeichnung Statik: $f_v$ Vertikalkraft aus Torsion ( $\Delta T$ )
FH-Tob1a	-7.0	-7.0	Global X	X:0;Z:0.464 X:2.20;Z:0.464	2.20	Bezeichnung Statik: q Längskraft oben aus Torsion (1a)
FH-Tob1b	-7.0	15.0	Global X	X:2.20;Z:0.464 X:4.60;Z:0.464	2.40	Bezeichnung Statik: q Längskraft oben aus Torsion (1b)
FH-Tob1c	15.0	15.0	Global X	X:4.60;Z:0.464 X:8.00;Z:0.464	3.40	Bezeichnung Statik: q Längskraft oben aus Torsion (1c)
FH-Tob2	4.0	4.0	Global X	X:8.00;Z:0.464 X:16.00;Z:0.464	8.00	Bezeichnung Statik: q Längskraft oben aus Torsion (2)
FH-Tun1a	7.0	7.0	Global X	X:0;Z:-0.786 X:2.20;Z:-0.786	2.20	Bezeichnung Statik: q Längskraft unten aus Torsion (1a)
FH-Tun1b	7.0	-15.0	Global X	X:2.20;Z:-0.786 X:4.60;Z:-0.786	2.40	Bezeichnung Statik: q Längskraft unten aus Torsion (1b)
FH-Tun1c	-15.0	-15.0	Global X	X:4.60;Z:-0.786 X:8.00;Z:-0.786	3.40	Bezeichnung Statik: q Längskraft unten aus Torsion (1c)
FH-Tun2	-4.0	-4.0	Global X	X:8.00;Z:-0.786 X:16.00;Z:-0.616	8.00	Bezeichnung Statik: q Längskraft unten aus Torsion (2)
R4a	61.7	61.7	Global Z	X:7.40;Z:-0.586 X:8.60;Z:-0.586	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R4b	61.7	61.7	Global Z	X:7.40;Z:-0.236 X:8.60;Z:-0.236	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R4c	61.7	61.7	Global Z	X:7.40;Z:0.114 X:8.60;Z:0.114	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft

**Belastung 'LM1Q-90': Lastmodell 1 Achslasten Pos.9 Ost**

= LM1-Achs

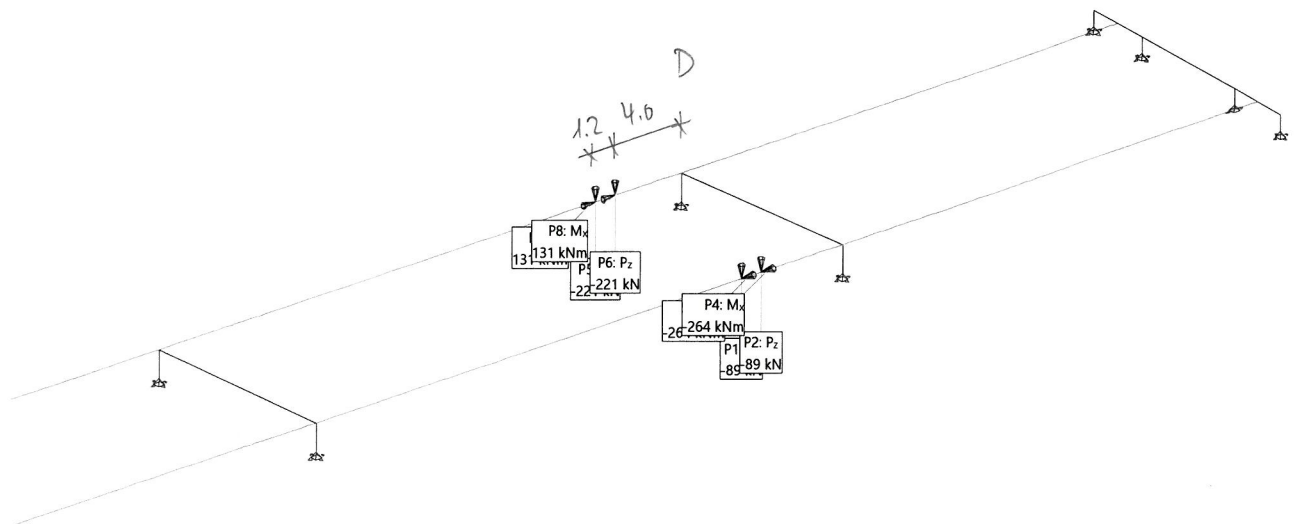
**Punktlasten: Kräfte und Momente**

Bezeichner	Lasttyp	P [kN]	M [kNm]	XSumme [kN]	YSumme [kN]	ZSumme [kN]
P1	Z global Stabkraft	-89		0	0	-89
P2	Z global Stabkraft	-89		0	0	-89
P5	Z global Stabkraft	-221		0	0	-221
P6	Z global Stabkraft	-221		0	0	-221
P3	Stabmoment global X		-264			
P4	Stabmoment global X		-264			
P7	Stabmoment global X		131			
P8	Stabmoment global X		131			

**Lastsumme**

	XSumme [kN]	YSumme [kN]	ZSumme [kN]
Lastsumme Belastung LM1Q-90	0	0	-620

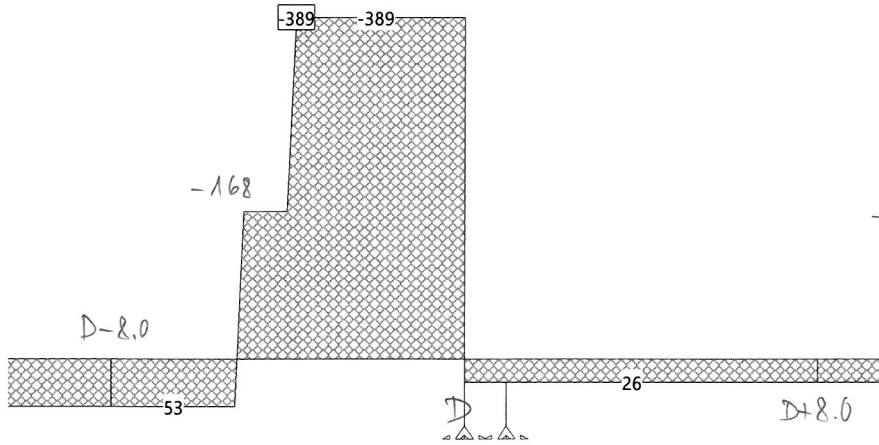
Belastung LM1Q-90: Lastmodell 1 Achslasten Pos.9 Ost





Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: LM1Q-9o, selektierte Stäbe

für 1 Halbkasten (2 Stage)!



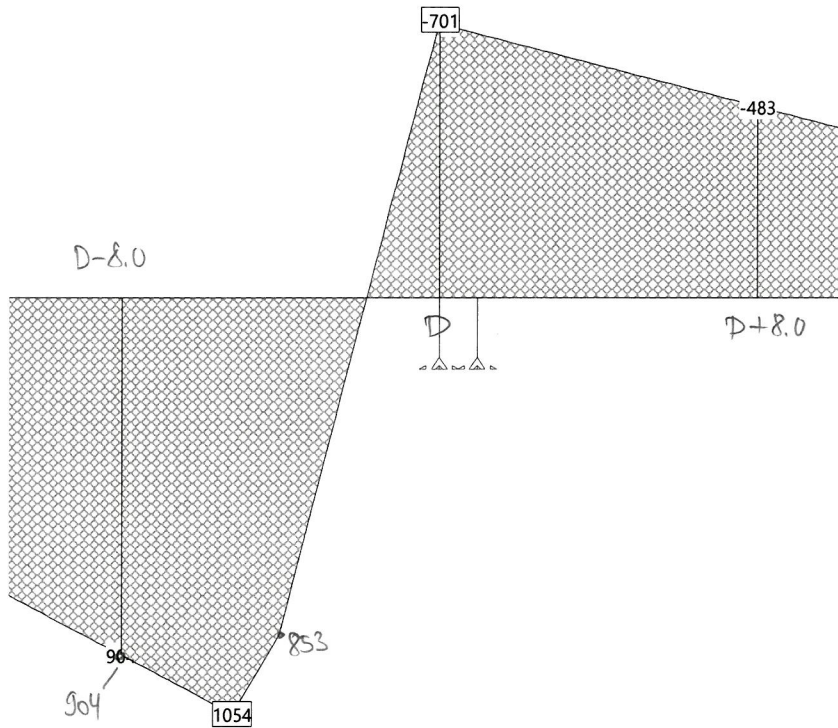
$$(N_x = 0)$$

→ für Innensteg: Einfeldlasten

$$Q_k = \frac{221}{2} = 111 \text{ kN (2x)}$$

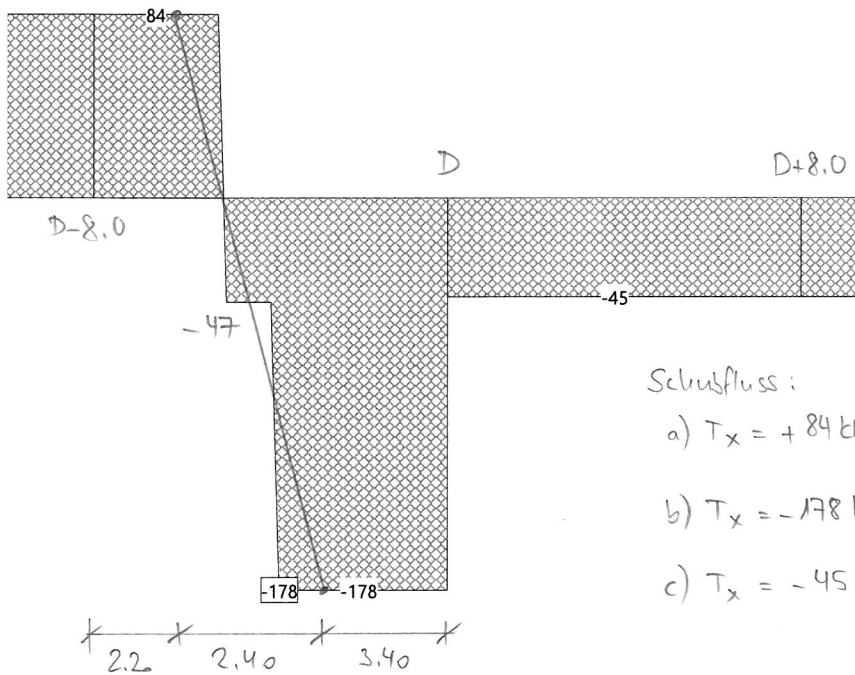
(auf 5.2m / 4.00m vor D)

Schnittkraft My (Stabachsen) [kNm] für: LM1Q-9o, selektierte Stäbe



Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: LM1Q-9o, selektierte Stäbe

↳ Achse Holzkasten



Schubfluss:

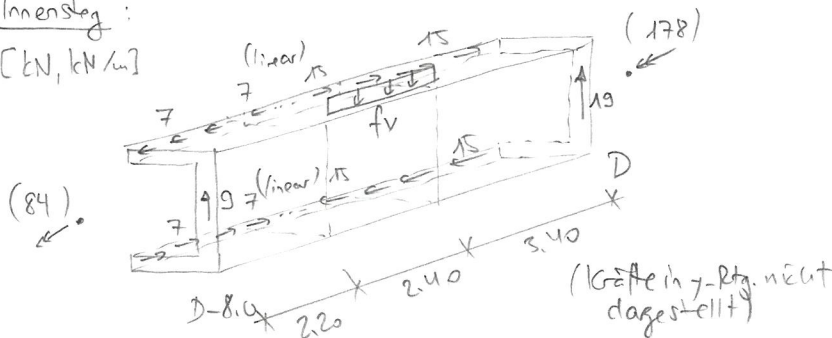
a)  $T_x = +84 \text{ kNm} \rightarrow q = \frac{84}{2.5.54} = 7 \text{ kN/m}$

b)  $T_x = -178 \text{ kNm} \rightarrow q = \frac{178}{2.5.54} = 15 \text{ kN/m}$

c)  $T_x = -45 \text{ kNm} \rightarrow q = \frac{45}{2.5.54} = 4 \text{ kN/m}$

Innensteg:

[kN, kN/m]



$F_1 = 7 \cdot 1.25 = 9 \text{ kN}$

$F_2 = 15 \cdot 1.25 = 19 \text{ kN}$

$f_v = \frac{19+9}{2.40} = 12 \text{ kN/m}$

⇒ Schnittgrößenvorgabe (bei D):  $V_{z,1/1/re} = \frac{-389}{2} - 19 = -214 \text{ kN} / \frac{26}{2} - 5 = +8 \text{ kN}$

$M_{y,1/1/re} = \frac{-701}{2} = -351 \text{ kNm}$

Korrektur 100% Lagerreaktion als Kraft b = 1.2m:

$R_k(100\%) = 214 + 8 = 222 \text{ kN} \rightarrow r_k = \frac{222}{1.2} = 185 \text{ kN/m} = 3 \times 61.7 \text{ kN/m}$

$\Delta V_{z,1/1/re} = \pm \frac{222}{2} = \pm 111 \text{ kN}, \Delta M_{y,1/1/re} = + \frac{222}{2} \cdot 0.30 = +33 \text{ kNm}$

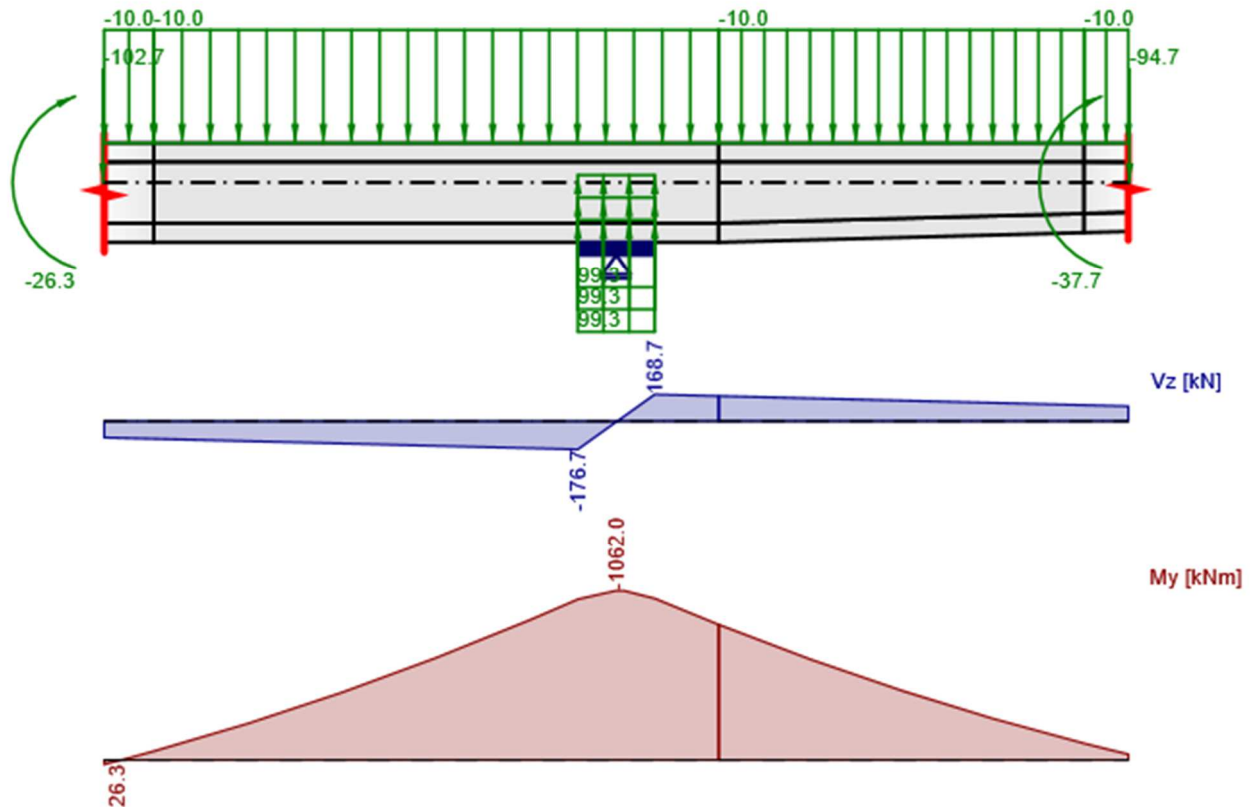
⇒  $V_{z,1/1/re} = -214 + 111 = -103 \text{ kN}$

$M_{y,1/1/re} = -351 + 33 = -318 \text{ kNm}$

( $N_x = 0$ )



## LM1vert+NiMot



## Lastfall LM1vert+NiMot - Veränderlich

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M1	8.00 m (Links)	0.0	-4.0	-1062.0
M1	8.00 m (Rechts)	0.0	-4.0	-1062.0

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
qver1	-10.0	-10.0	Global Z	M1: Kante 3 Gesamte Länge	9.60	Bezeichnung Statik: $q_k$ Verteilte Last oben
qver2	-10.0	-10.0	Global Z	M2: Kante 3 Gesamte Länge	6.40	Bezeichnung Statik: $q_k$ Verteilte Last oben
R5a	99.3	99.3	Global Z	X:7.40;Z:-0.586 X:8.60;Z:-0.586	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R5b	99.3	99.3	Global Z	X:7.40;Z:-0.236 X:8.60;Z:-0.236	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft
R5c	99.3	99.3	Global Z	X:7.40;Z:0.114 X:8.60;Z:0.114	1.20	Bezeichnung Statik: $r_k$ 33.3 % der gesamten Lagerreaktion als Kraft

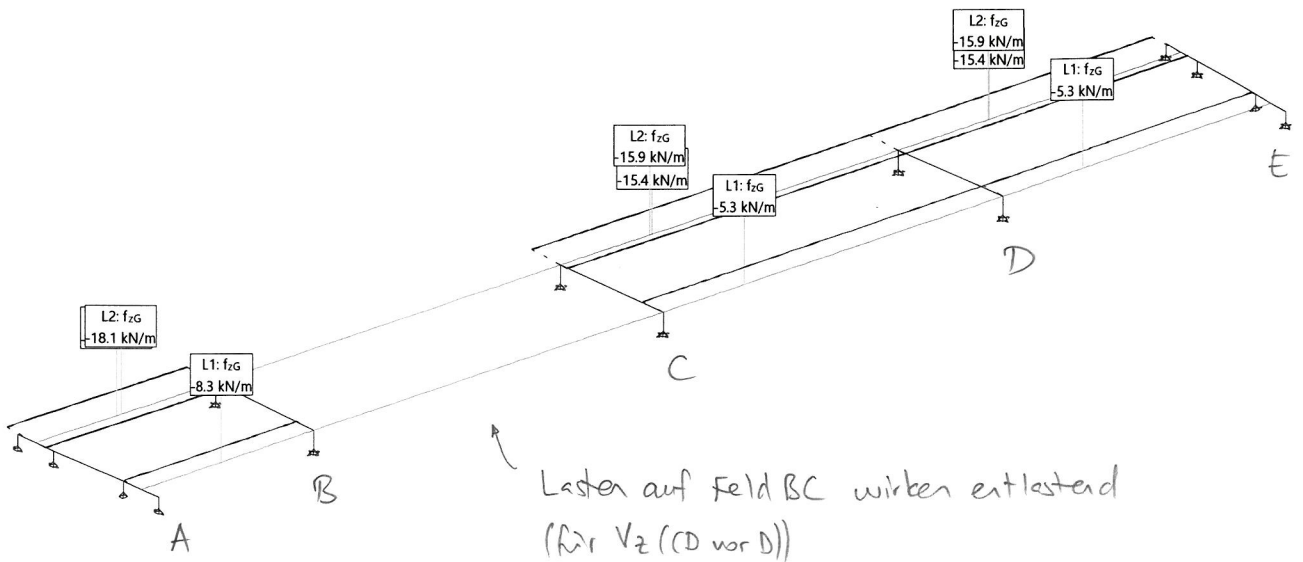
**Resultatkombination**

**Resultatkombination LM1vert+NiMot**

Id Belastung	Faktor	Beschreibung
LM1q-ABo	1.000	Lastmodell 1 verteilte Lasten AB Ost
LM1q-CDo	1.000	Lastmodell 1 verteilte Lasten CD Ost
LM1q-DEo	1.000	Lastmodell 1 verteilte Lasten DE Ost
NiMotABo	0.267	Nichtmot. Verkehr AB Ost ZBB
NiMotCDo	0.267	Nichtmot. Verkehr CD Ost ZBB
NiMotDEo	0.267	Nichtmot. Verkehr DE Ost ZBB

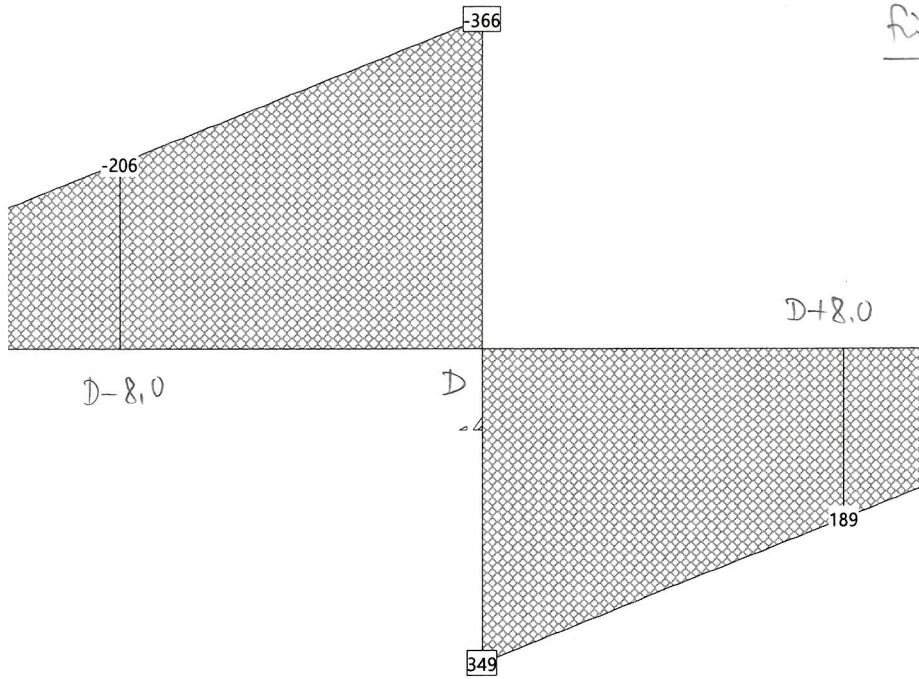
$= \frac{0,40}{1,50}$ , um für GZT Typ 2 mit  $\alpha_0 = 1,0$  für NiMot auf  $\psi_0 = 0,40$  zu gelangen

- Belastung NiMotABo: Nichtmot. Verkehr AB Ost ZBB
- Belastung NiMotCDo: Nichtmot. Verkehr CD Ost ZBB
- Belastung NiMotDEo: Nichtmot. Verkehr DE Ost ZBB
- Belastung LM1q-ABo: Lastmodell 1 verteilte Lasten AB Ost
- Belastung LM1q-CDo: Lastmodell 1 verteilte Lasten CD Ost
- Belastung LM1q-DEo: Lastmodell 1 verteilte Lasten DE Ost





Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: LM1vert+NiMot, selektierte Stäbe



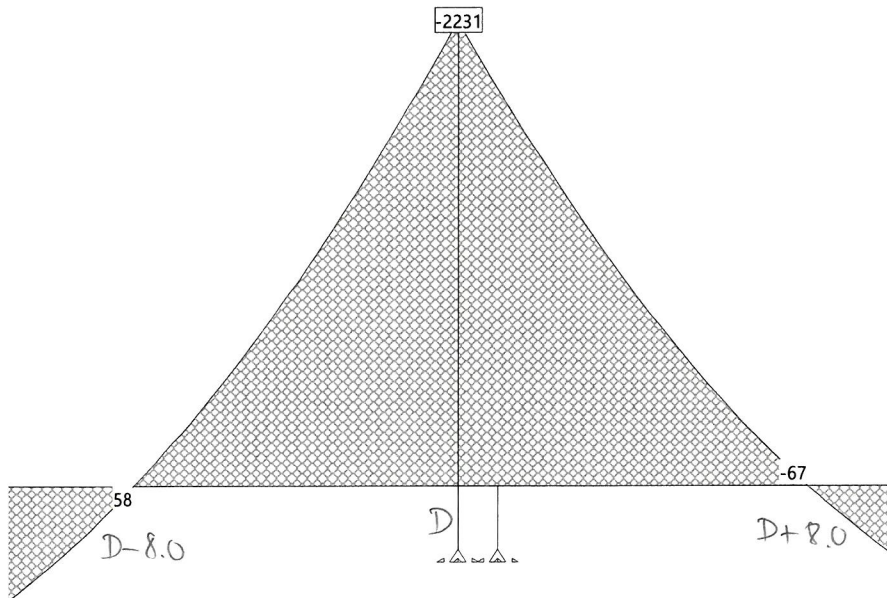
für 1 Hohlkasten (2 Stage)!

$$(N_x = 0)$$

→ für Innensteg:

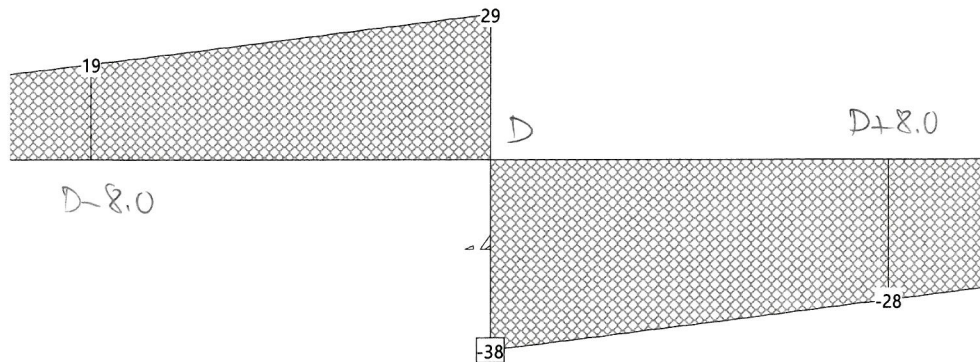
$$q_k = \frac{366 - 206}{8.0} \cdot \frac{1}{2} = 10.0 \text{ kN/m}$$

Schnittkraft My (Stabachsen) [kNm] für: LM1vert+NiMot, selektierte Stäbe





Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: LM1vert+NiMot, selektierte Stäbe



↳ Torsion gering → vernachlässigt

⇒ Schnittgrößenvorgabe (bei D):  $V_{z,li/re} = \frac{-366}{2} = -183 \text{ kN} / \frac{+349}{2} = +175 \text{ kN}$

$M_{y,li/re} = \frac{-2'231}{2} = -1'116 \text{ kNm}$

Knechtler 100% Lagerreaktion als Kraft  $b = 1,2 \text{ m}$ :

$R_k(100\%) = 183 + 175 = 358 \text{ kN} \rightarrow \underline{r_k} = \frac{358}{1,2} = 298 \text{ kN/m} = \underline{3 \times 99,3 \text{ kN/m}}$

$\Delta V_{z,li/re} = \pm \frac{358}{2} = \pm 179 \text{ kN}$  ,  $\Delta M_{y,li/re} = + \frac{358}{2} \cdot 0,30 = +54 \text{ kNm}$

⇒  $V_{z,li/re} = -183 + 179 = -4 \text{ kN}$

$M_{y,li/re} = -1'116 + 54 = -1'062 \text{ kNm}$

( $N_x = 0$ )



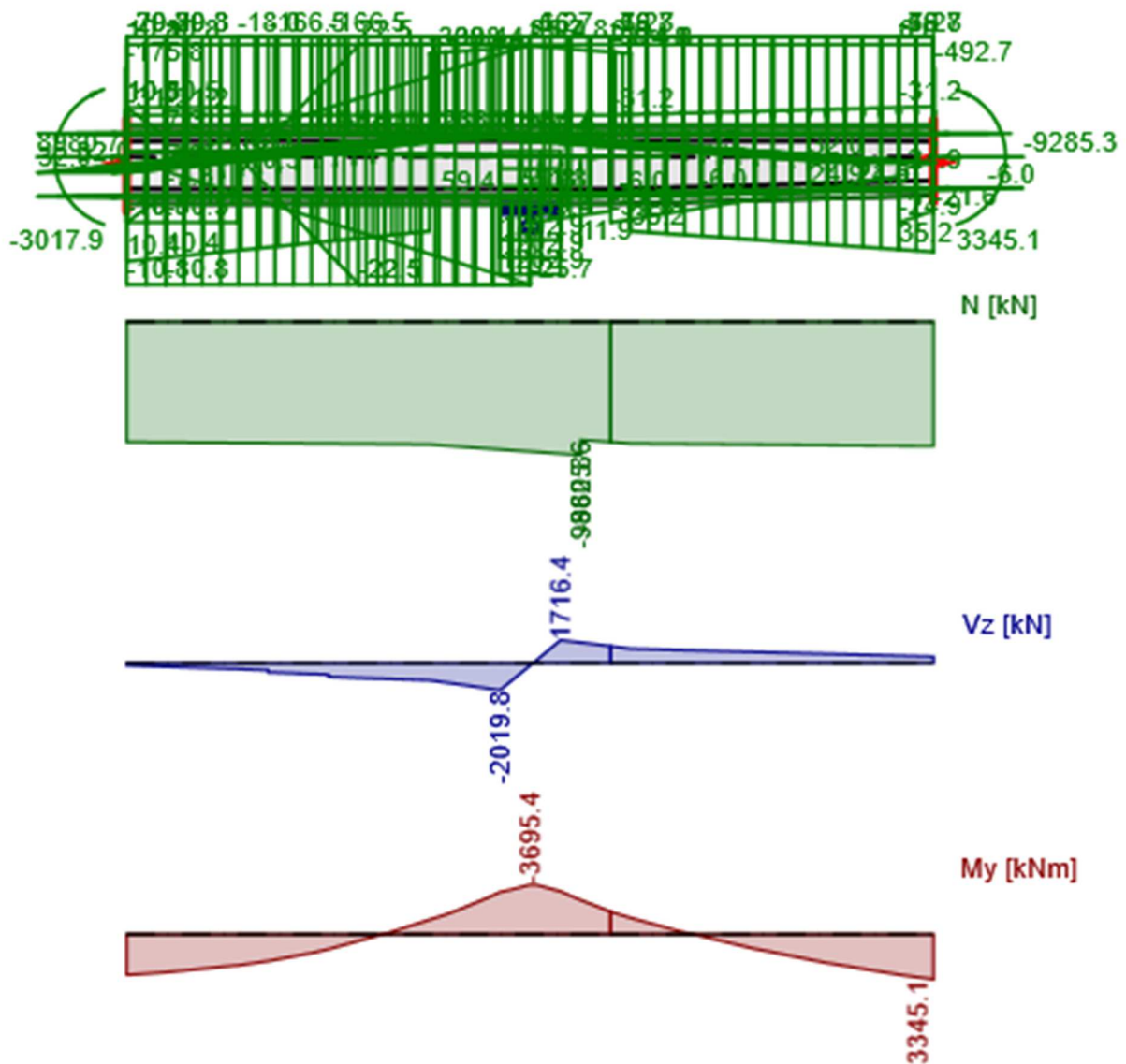
## Kombination

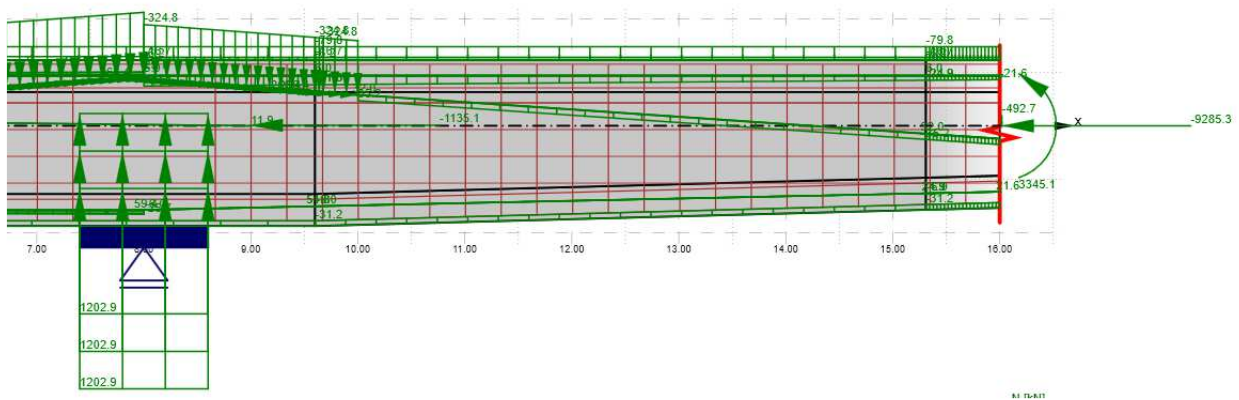
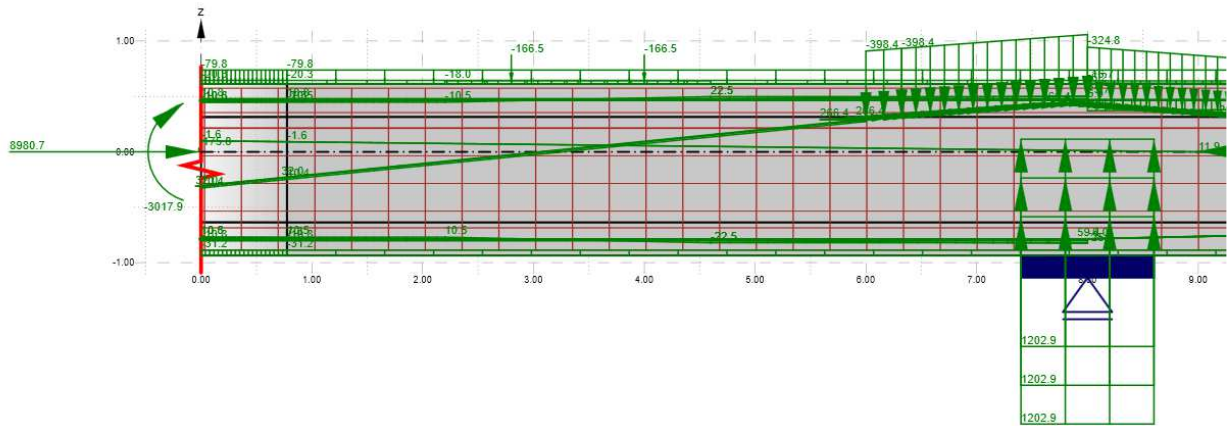
Name	Typ	Inhalt
ULS	ULS	1.20*EGAL + 0.80*Vorsp + 1.50*LM1-Achs + 1.50*LM1vert+NiMot + 1.35*AL+

Die Last- und Reduktionsbeiwerte werden gemäss [1] berücksichtigt. Für die untersuchte, massgebende Lastkombination sind dies folgende:

- Eigenlasten, Auflasten (bestehend):  $\gamma_{G,act} = 1.20$
- Mehrauflasten (projektiert):  $\gamma_G = 1.35$
- Vorspannung:  $\gamma_P = 1.00$  (inkl. Langzeitverluste von 20 %, d.h. Faktor von 0.80)
- Strassenverkehr:  $\gamma_Q = 1.50$  (Leiteinwirkung)
- Nichtmotorisierter Verkehr:  $\psi_0 = 0.40$  (Begleiteinwirkung)

## ULS





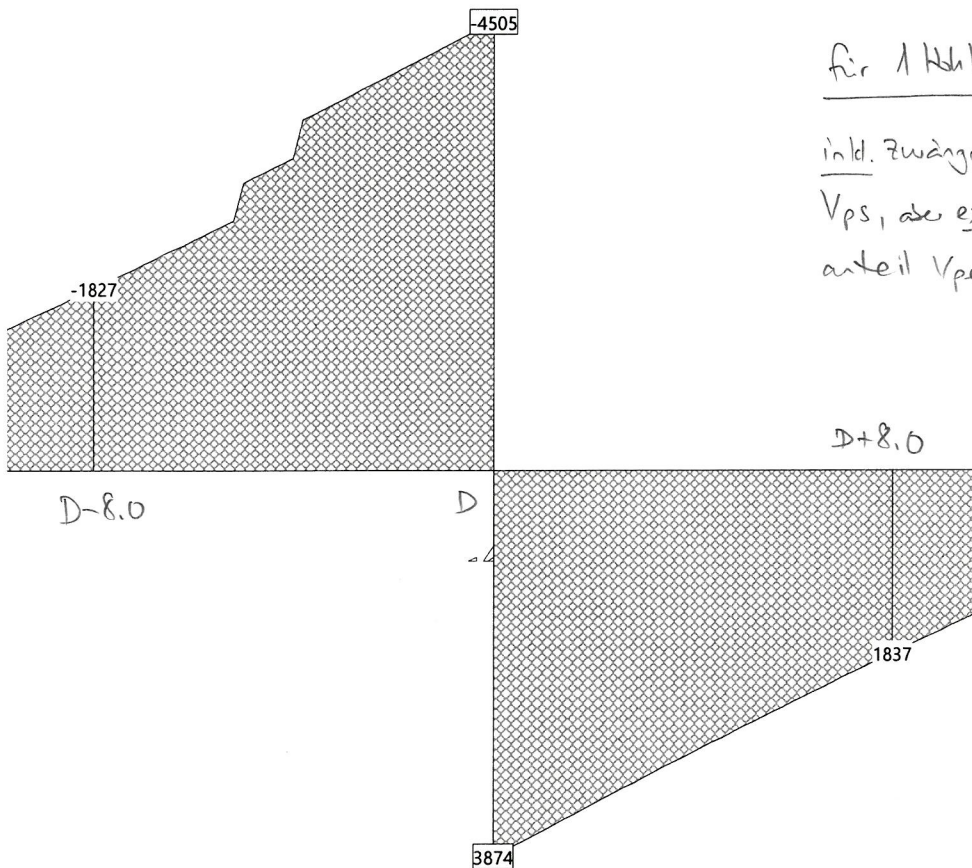
Zum Vergleich werden nachfolgend die Schnittgrössen des Hohlkastens (2 Stege) für diese massgebende Kombination (ULS) aus dem Modell STATIK-7 [1] dargestellt. Dies einmal ohne und einmal mit den Eigenspannungsanteilen der Vorspannung ( $N_{pe}$ ,  $V_{pe}$ ,  $M_{pe}$ ). Es zeigt sich, dass die in STATIK-7 berücksichtigten Eigenspannungsanteile (insbesondere  $V_{pe}$  und  $M_{pe}$ ) im lokalen Bereich des Modells IDEA aufgrund der lokal zu grob modellierten Spanngliedgeometrie zu wenig konsistent sind. Deshalb wurden diese Eigenspannungsanteile für das Modell IDEA händisch ermittelt (siehe Kap. 5 Vorsp).

**Resultatkombination**

**Resultatkombination EK1-d-tot+ (ULS)**  $\rightarrow \hat{=}$  massgebende Kombination ULS für  $V_{d,max}$  (vor D)

Id Belastung	Faktor	Beschreibung
LM1Q-9o	1.500	Lastmodell 1 Achslasten Pos.9 Ost
LM1q-ABo	1.500	Lastmodell 1 verteilte Lasten AB Ost
LM1q-CDo	1.500	Lastmodell 1 verteilte Lasten CD Ost
LM1q-DEo	1.500	Lastmodell 1 verteilte Lasten DE Ost
NiMotABo	0.400	Nichtmot. Verkehr AB Ost ZBB
NiMotCDo	0.400	Nichtmot. Verkehr CD Ost ZBB
NiMotDEo	0.400	Nichtmot. Verkehr DE Ost ZBB
EG	1.200	Eigengewicht
EG-QTST	1.200	Eigengewicht Querträger + Stegverbreiterungen C
EG-Verb	1.200	Eigengewicht FBPL bei Verbreiterungen
AL-AU	1.200	Auflasten Ausrüstungen (Geländer-Maste-Schutzdach-Leitungen)
AL-BR	1.200	Auflasten Belag + Randsteine
AL-LE	1.200	Auflasten Leitelemente Beton
V1Wa@0	0.800	SG-Gruppe 'V1Wa' BZ: 'Grundzustand'
V1Wi@0	0.800	SG-Gruppe 'V1Wi' BZ: 'Grundzustand'
V2Oa@0	0.800	SG-Gruppe 'V2Oa' BZ: 'Grundzustand'
V2Oi@0	0.800	SG-Gruppe 'V2Oi' BZ: 'Grundzustand'
AL-BG+	1.350	Mehrauflasten Belag + Gehwegverbreiterungen ZBB
AL-LE+	1.350	Mehrauflasten Leitelemente Beton ZBB (v.a. Ost)

Schnittkraft  $V_z$  (Stabachsen) [kN] für: EK1-d-tot+, nur Zwängungen, selektierte Stäbe



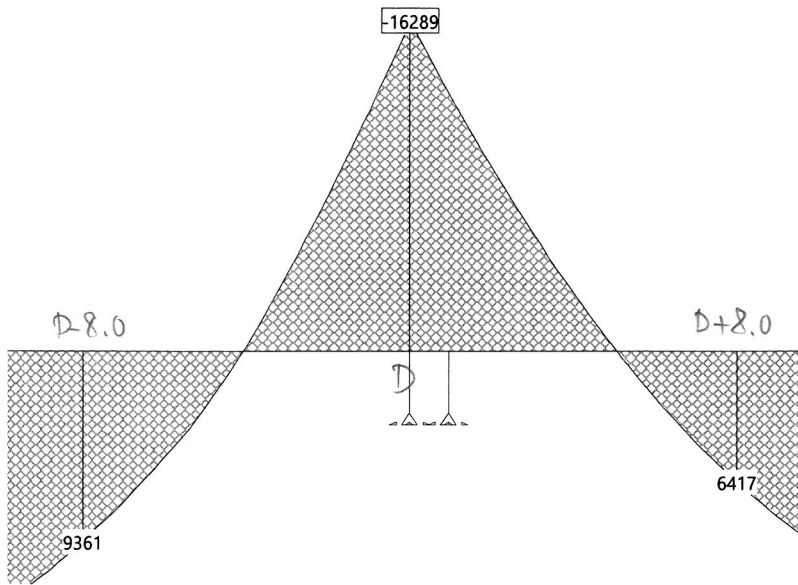
für 1 Hohlkasten (2 Stäbe)!

inkl. Zwängungsschnittgrößen Vorspannung  $V_{ps}$ , aber exkl. Eigenspannungsanteil  $V_{pe}$

$N_x = 0$   
 (ohne  $N_{pe}$ !)



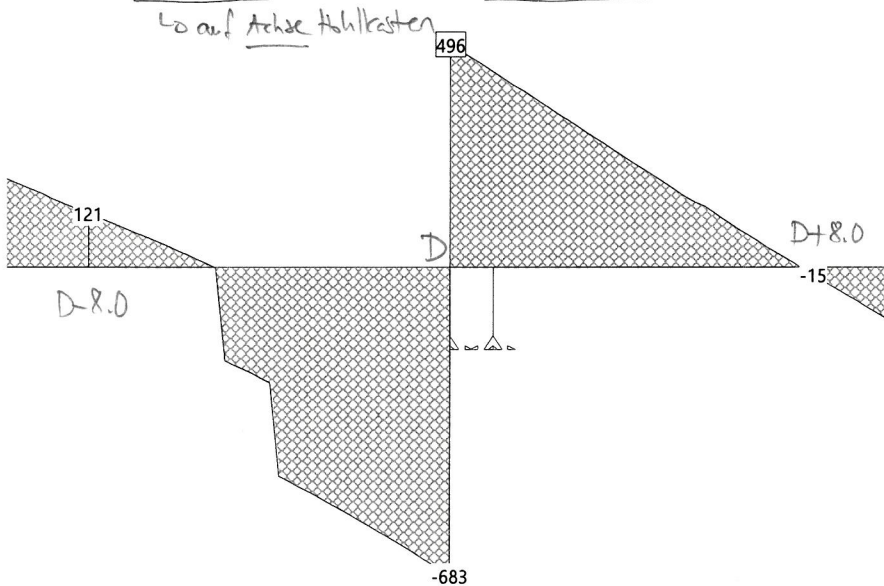
Schnittkraft  $M_y$  (Stabachsen) [kNm] für: EK1-d-tot+, nur Zwängungen, selektierte Stäbe



Er 1 Hohlkasten (2 Stge)!!

inkl. Mps, exkl. Mpe

Schnittkraft  $T$  (Stabachsen) [kNm] für: EK1-d-tot+, nur Zwängungen, selektierte Stäbe



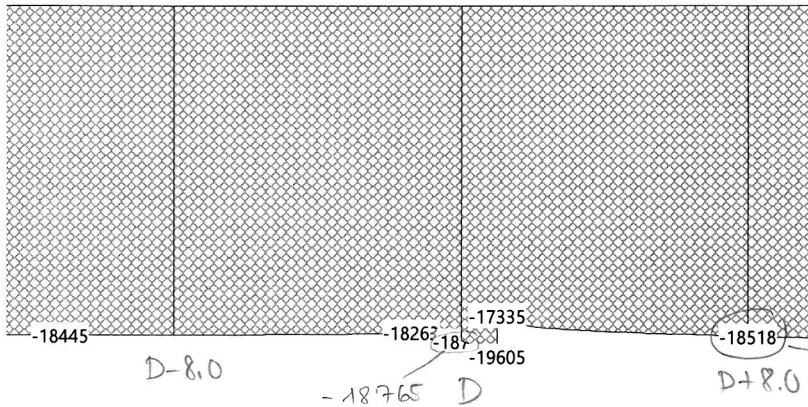
für 1 Hohlkasten

inkl. Tps, exkl. Tpe



Schnittkraft N (Stabachsen) [kN] für: EK1-d-tot+, inkl. Zwängungen, selektierte Stäbe

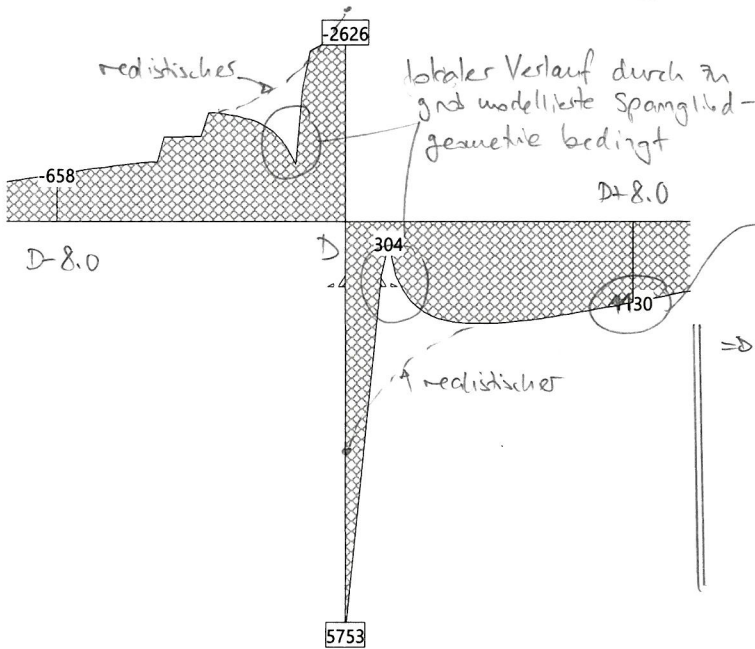
Zum Vergleich STATIK - IDEA



für 1 Hohlkasten (2 Stöße)!  
 inkl. Eigenspannungsanteil  $N_{pe}$   
 (d.h. auf Stabbelagquerschnitt wirkend)  
 $(N_{pe} = -P_{00} \cdot \cos \alpha_p)$

Vergleich: a) STATIK:  $-\frac{18518}{2} = -9259 \text{ kN}$   
 b) IDEA:  $-9285 \text{ kN}$  i.O. ✓

Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: EK1-d-tot+, inkl. Zwängungen, selektierte Stäbe

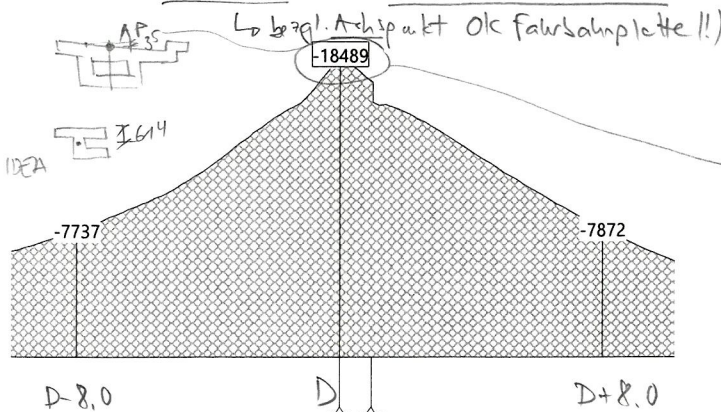


für 1 Hohlkasten (2 Stöße)!  
 inkl.  $V_{pe} = -P_{00} \cdot \sin \alpha_p$

Vergleich: a) STATIK:  $\frac{4130}{2} = 2065 \text{ kN (exkl. T)}$   
 b) IDEA:  $493 \text{ kN (inkl. T)}$

⇒ Unterschiede primär durch in STATIK-7 Ideal zu groß modelliertes Spanglied-geometrie bedingt. Deshalb wurden die Anteile  $V_{pe}$  für IDEA mit der effektiven Spanglied-geometrie händisch ermittelt (siehe Kap. 5 Vorp.) und mit  $V_{ps}$  aus STATIK-7 überlagert.

Schnittkraft My (Stabachsen) [kNm] für: EK1-d-tot+, inkl. Zwängungen, selektierte Stäbe



für 1 Hohlkasten (2 Stöße)!  
 inkl.  $M_{pe} = -P_{00} \cdot \cos \alpha_p \cdot e_p$

Vergleich: a) STATIK:  $-18489 + 18765 \cdot 0.579 = -7624 \text{ kNm (bzgl. Schwerpunkt IDEA)}$   
 $\hookrightarrow -\frac{7624}{2} = -3812 \text{ kNm}$   
 b) IDEA:  $-3695 \text{ kNm}$  i.O. ✓

↳ d.h.  $V_z$  wird  $M_{pe}$  für IDEA jedoch effektiv händisch ermittelt (siehe Kap. 5 Vorp.)



## 6 Resultate (Überprüfungssituation)

Nachfolgend sind die Resultate der Berechnung IDEA StatiCa Detail für die untersuchte Überprüfungssituation dargestellt. Die Resultate sind i.d.R. 2-fach überhöht dargestellt zwecks besserer Lesbarkeit.

### Ergebnisse

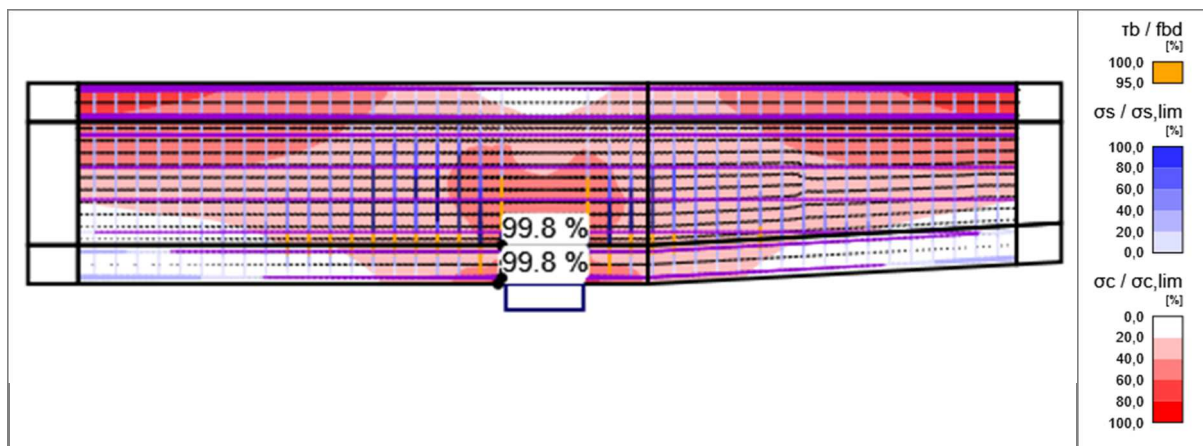
#### Übersicht

#### Übersichtstabelle

Nachweisposition	Kombination	Stufe	Position	
GZT	ULS	G100.0%, V100.0%	Bewehrungsfestigkeit	✓
Nachweisposition	Position	Ausnutzung		
Betonfestigkeit	M1	$\sigma_c / \sigma_{c,lim}$ : 87.6%		✓
Bewehrungsfestigkeit	Bg CD	$\epsilon_s / \epsilon_{s,lim}$ : 97.1%, $\sigma_s / \sigma_{s,lim}$ : 99.8%		✓
Verankerungslänge	Bg CD	$\tau_b / f_{bd}$ : 99.8%		✓

#### GZT - Übersicht

#### Spannungsverlauf



Über Streckgrenze	Druck	Erläuterungen
		Dicke proportional zur Kraft

#### Übersicht der Lagerreaktionen und angewendeten Lasten: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

Typ	$F_x$ [kN]	$F_z$ [kNm]	$M_y$ [kNm]
Summe der Lagerreaktionen	-0.6	0.0	-0.2
Summe der angewendeten Lasten	0.0	0.0	0.0
Kontrolle des Gleichgewichts	-0.6	0.0	-0.2



## GZT - Tragfähigkeit

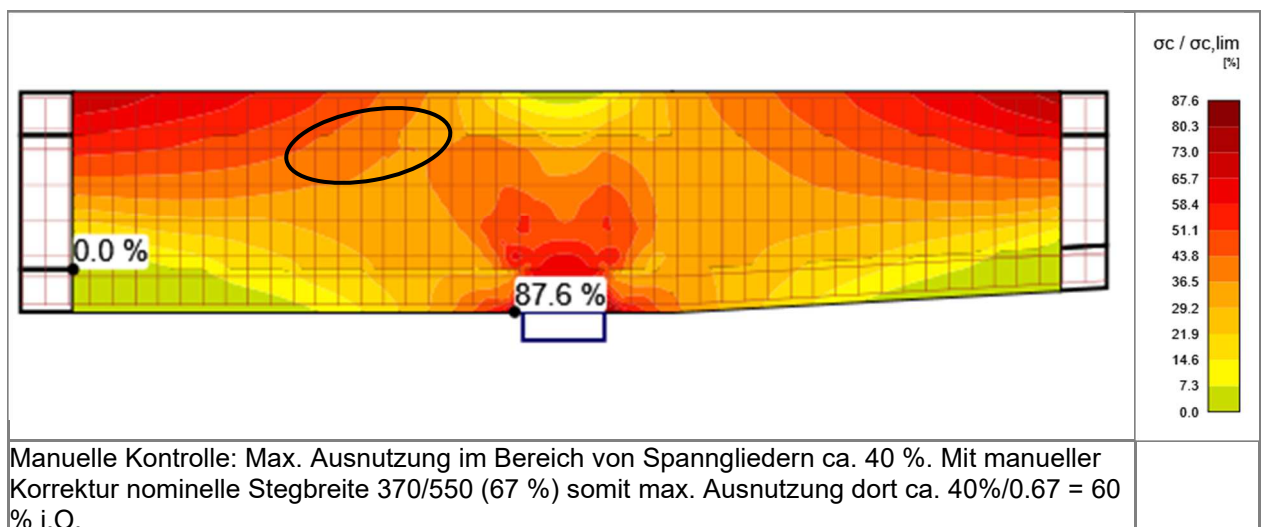
### Detaillierte Ergebnisse zur Betonfestigkeit: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

Bauteil	X [m]	Z [m]	$\sigma_c$ [MPa]	$\epsilon_c$ [1e-4]	$\epsilon_{pl}$ [1e-4]	$k_{c2}$ [-]	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$ [%]	
M1	7.28	-0.94	-16.0	-11.3	-3.2	0.77	87.6	OK
M2	15.31	0.61	-17.9	-9.4	-2.5	1.00	75.5	OK
M2	15.22	0.61	-17.9	-9.4	-2.5	1.00	75.5	OK
M1	0.87	0.61	-17.0	-8.7	-2.2	1.00	71.4	OK
M1	7.84	-0.64	-7.8	-7.6	-1.8	0.51	64.2	OK
M2	9.60	-0.64	-7.2	-2.8	0.0	1.00	30.4	OK

### Detaillierte Ergebnisse der Bewehrungsfestigkeit: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

Bauteil	X [m]	Z [m]	$\sigma_s$ [MPa]	$\epsilon_s$ [1e-4]	$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ [%]	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ [%]	
Bg CD	7.34	-0.64	448.9	59.7	99.8	97.1	OK
Bg DE	8.67	-0.64	446.7	56.3	99.3	91.5	OK
Bg KH	6.67	-0.38	344.1	17.0	77.5	14.4	OK
FBPL	15.21	0.57	-189.3	-9.2	42.1	2.1	OK
uKPun1	0.87	-0.89	149.5	3.0	33.2	1.8	OK
uKPob1	7.97	-0.69	-158.7	-7.7	35.3	1.7	OK
uKPun1	8.74	-0.89	-156.5	-7.6	34.8	1.7	OK
uKPun2	15.12	-0.74	141.6	2.6	31.5	1.6	OK
uKPun2	15.02	-0.74	141.6	2.6	31.5	1.6	OK
STvert	7.96	-0.54	-133.5	-6.5	29.7	1.4	OK
STob	15.22	0.21	-124.9	-6.1	27.7	1.4	OK
uKPob1	0.78	-0.69	108.4	1.5	24.1	0.8	OK
uKPob2	9.72	-0.68	-58.6	-2.9	13.0	0.6	OK
STob	9.33	0.21	-50.0	-2.4	11.1	0.5	OK
STvert	15.22	-0.54	122.7	0.6	27.3	0.5	OK
uKPob2	15.21	-0.54	89.1	0.5	19.8	0.3	OK
FBPL	7.97	0.57	-2.3	-0.1	0.5	0.0	OK

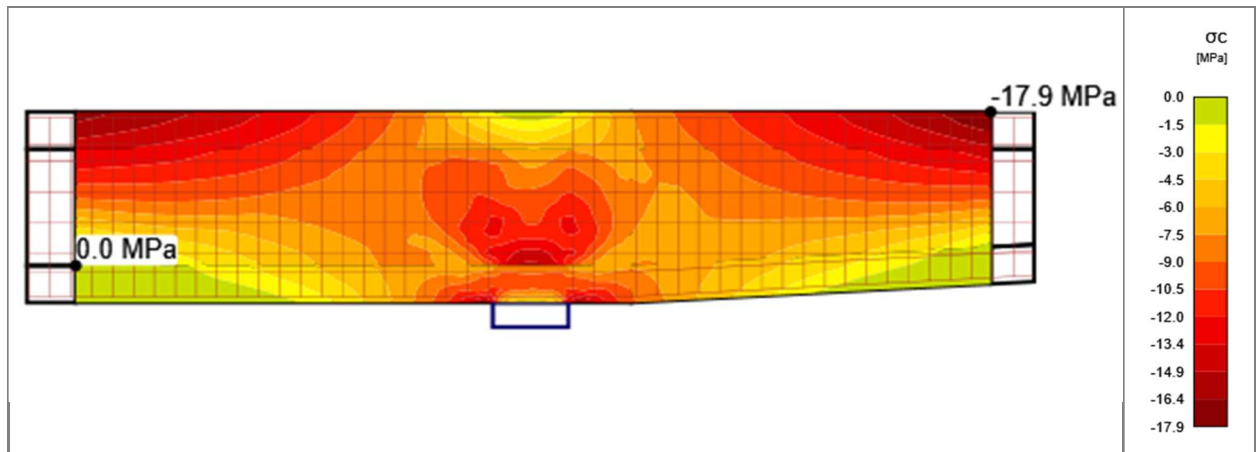
### Verhältnis Spannung / Festigkeit des Betons



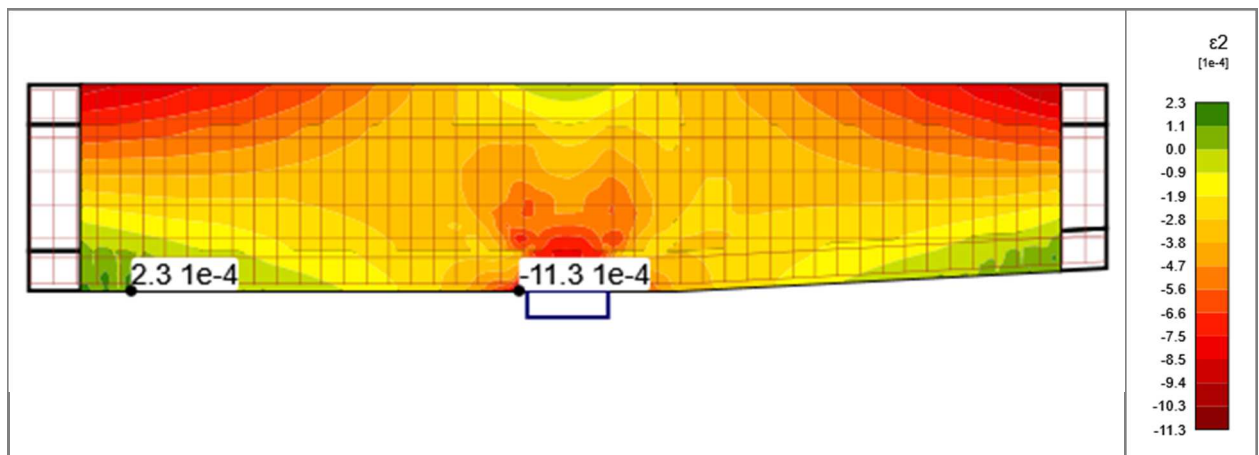




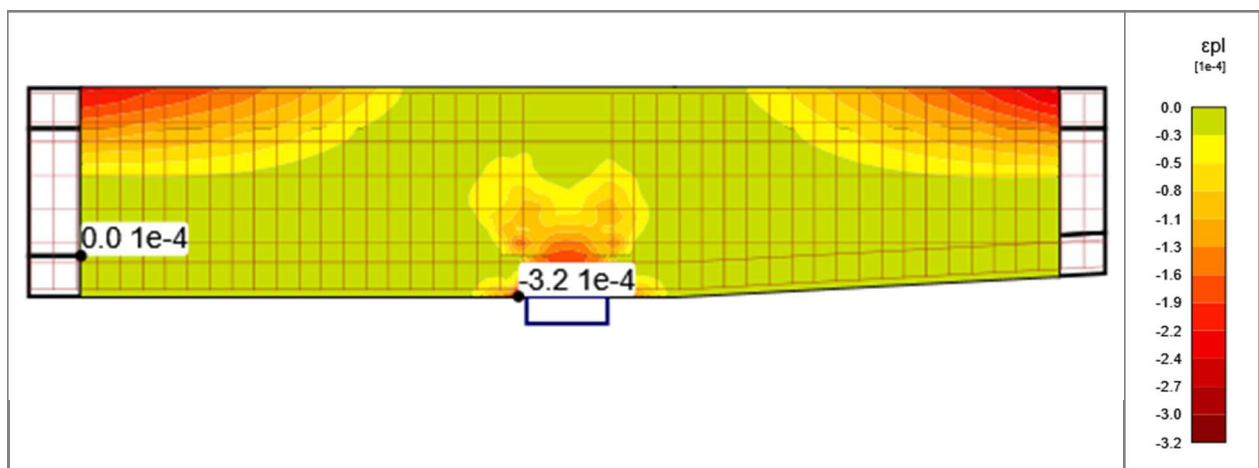
### Beton-Hauptspannung $\sigma_c$



### Beton-Hauptdehnung $\epsilon_c$

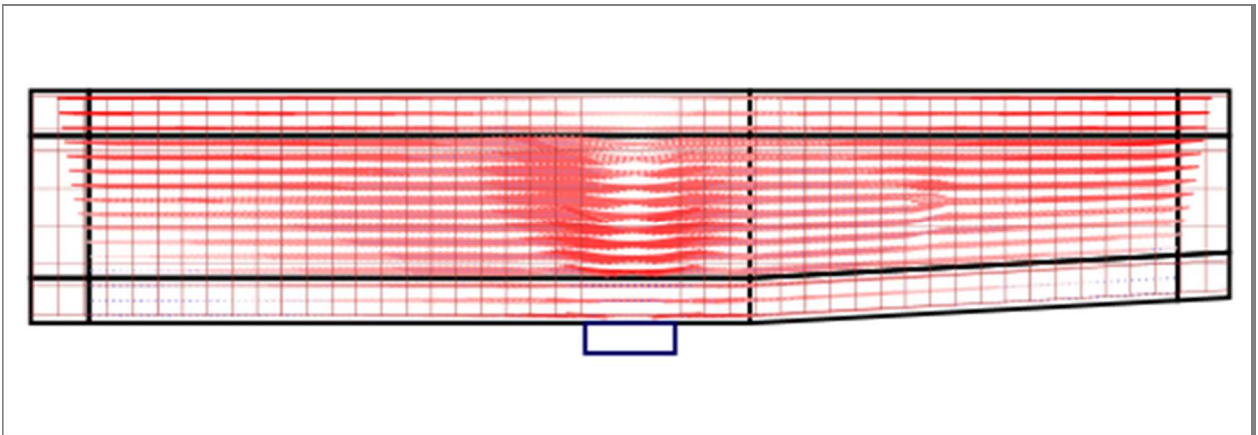


### Plastische Dehnung Beton $\epsilon_{pl}$



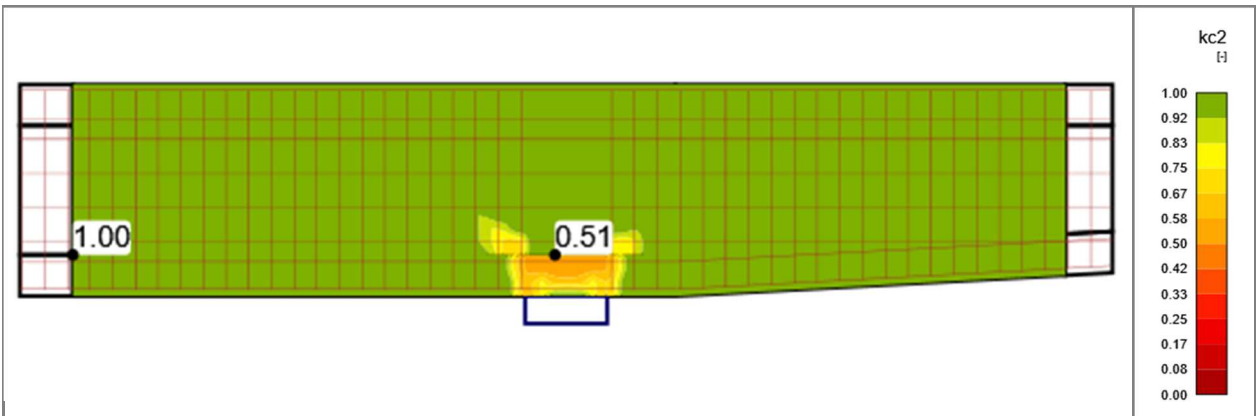


## Richtungen der Hauptspannungen



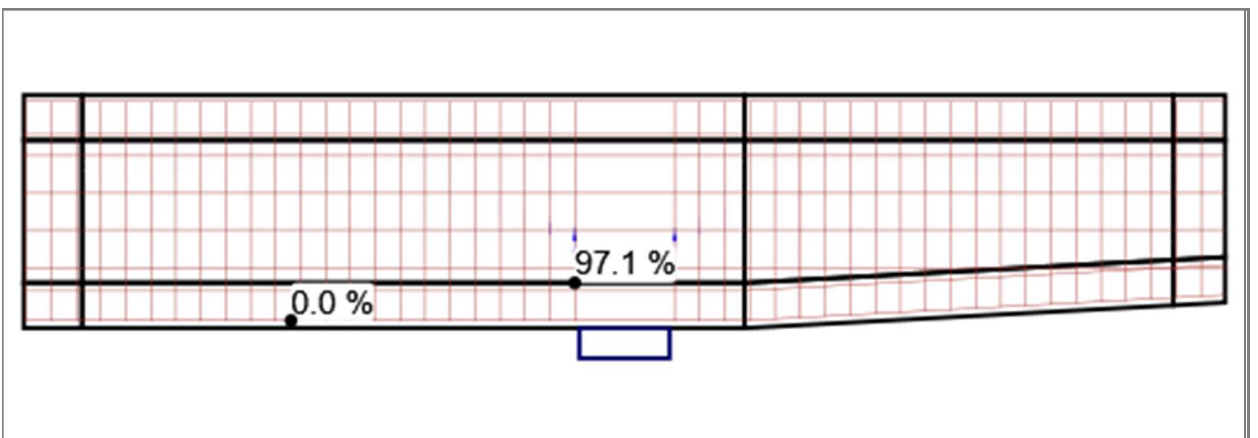
Richtung im Bereich rechts/links vor D ca.  $\alpha = 13^\circ - 16^\circ$

## Reduktionsfaktor $k_{c2}$ für die Druckfestigkeit



D.h. praktisch durchwegs  $k_{c2} = 1.00$ , lediglich im direkten Lagerungsbereich über D Reduktionswerte  $k_{c2}$  von ca. 0.50 – 0.70 (teils modellbedingt).

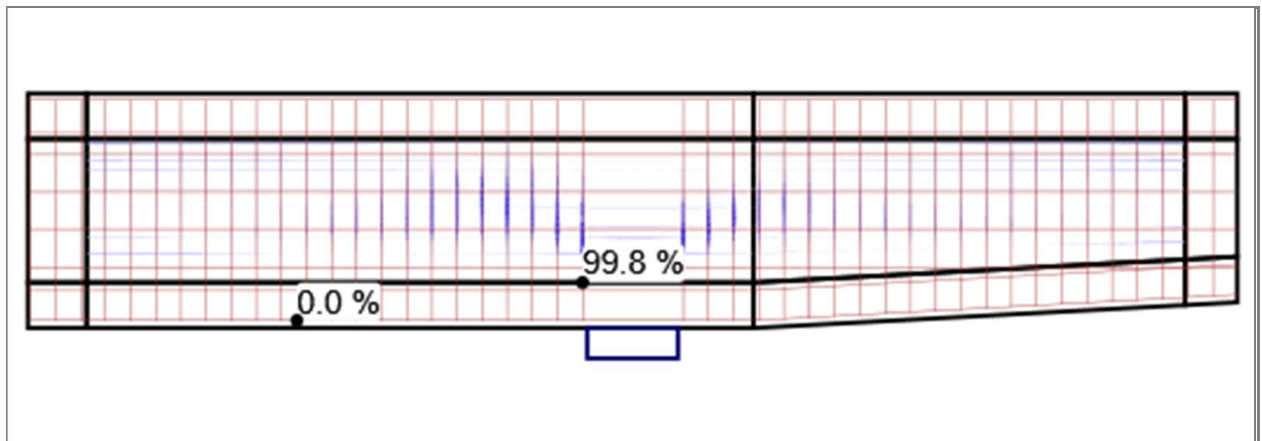
## Verhältnis Dehnung / Grenzdehnung der Bewehrung - $\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ [%]



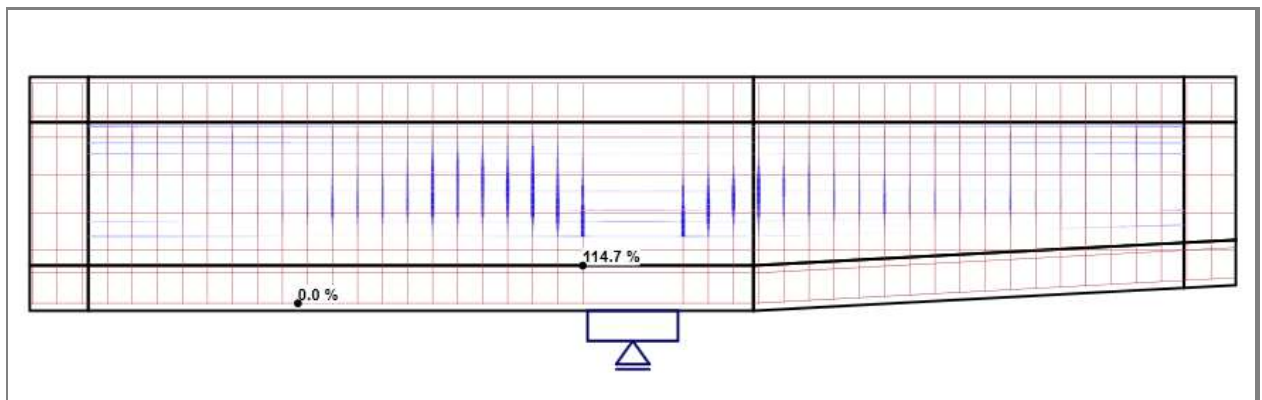




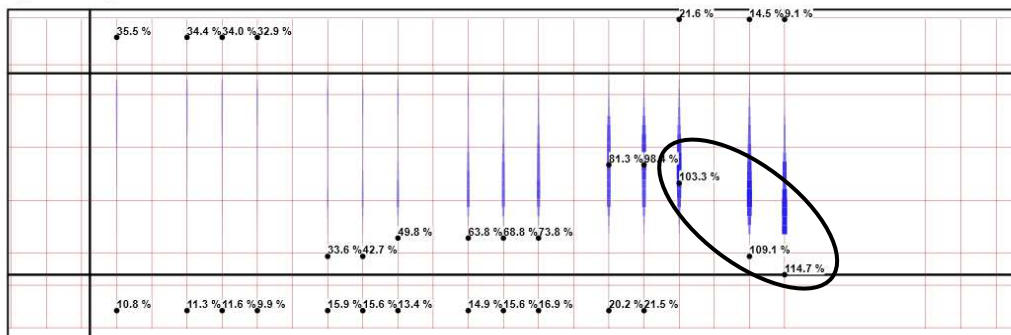
### Verhältnis Spannung / Festigkeit der Bewehrung - $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ [%]



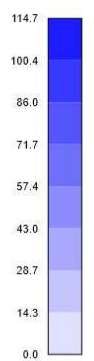
### Verhältnis Spannung / Fließgrenze der Bewehrung - $\sigma_s/\sigma_{s,yield}$ [%]



Ergebnisse für: Bg CD



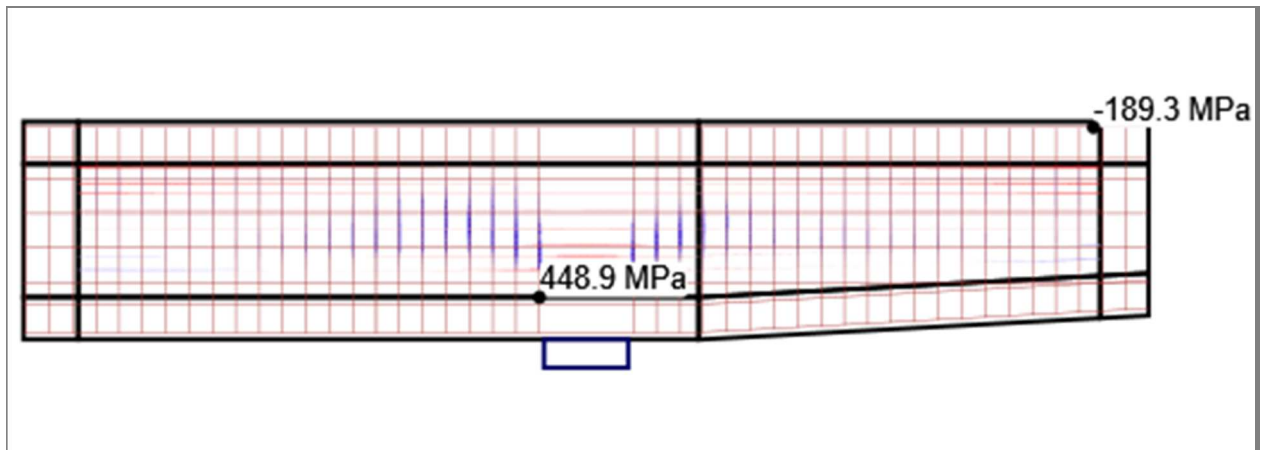
$\sigma_s / \sigma_{s,yield}$   
[%]



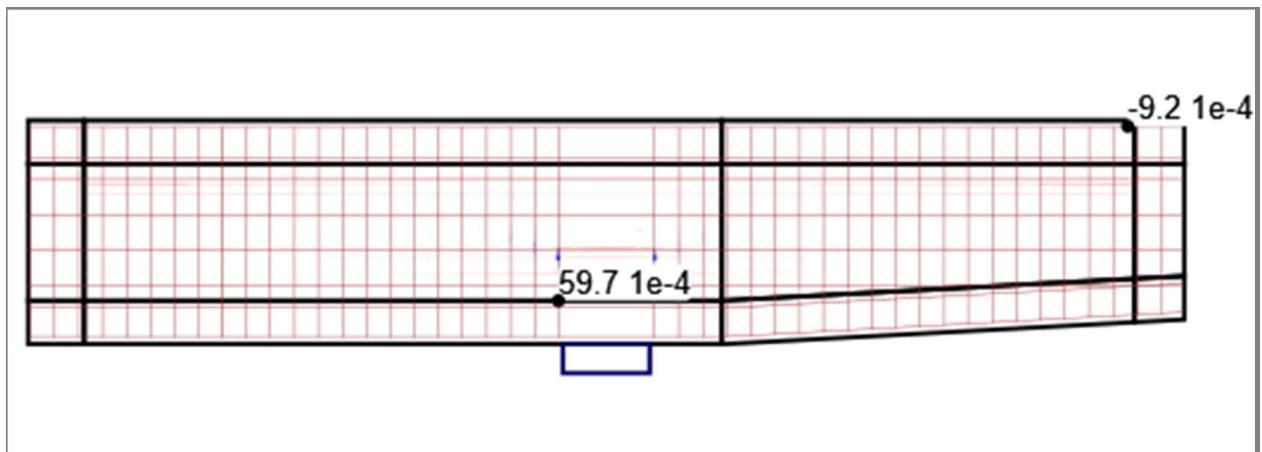
Fließen Bügel v.a. für die ersten 4 – 6 Bügel neben dem Zwischenaufleger D, sonst noch im elastischen Zustand.



### Bewehrungsspannung - $\sigma_s$ [MPa]



### Bewehrungsdehnung - $\epsilon_s$ [1e-4]





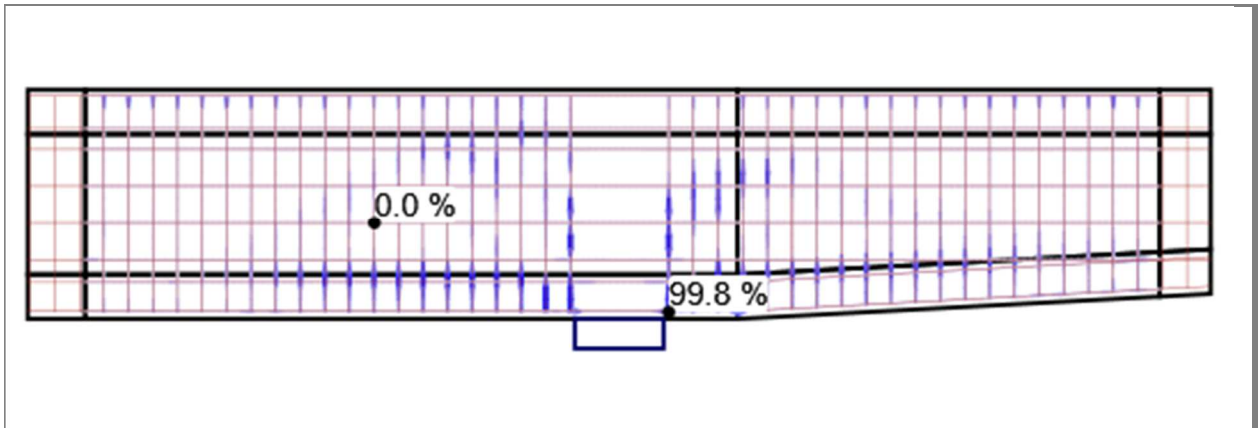
## GZT - Verankerung

### Detaillierte Verankerungsergebnisse - Bewehrung: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

Bauteil	X [m]	Z [m]	T <sub>b</sub> [MPa]	F <sub>a</sub> [kN]	F <sub>tot</sub> [kN]	F <sub>tot</sub> /F <sub>lim</sub> [%]	T <sub>b</sub> /f <sub>bd</sub> [%]	
Bg CD	7.34	-0.46	3.6	86.5	68.9	67.7	99.8	OK
Bg CD	7.34	-0.89	-3.6	86.5	97.0	95.2	99.8	OK
Bg CD	7.34	-0.64	1.5	86.5	101.5	99.8	40.2	OK
Bg CD	7.34	0.57	0.7	86.5	8.1	7.9	20.7	OK
Bg DE	8.67	-0.89	-3.6	85.8	96.4	94.7	99.8	OK
Bg DE	8.67	-0.46	3.6	85.8	64.6	63.5	99.8	OK
Bg DE	8.67	-0.64	1.2	85.8	101.1	99.3	34.1	OK
Bg DE	8.67	0.57	0.8	85.8	8.3	8.2	21.7	OK
uKPun1	9.60	-0.89	3.6	0.0	-28.7	11.3	99.8	OK
uKPun1	8.64	-0.89	-2.2	0.0	-59.9	23.5	60.3	OK
uKPun1	0.87	-0.89	0.0	0.0	84.5	33.2	0.2	OK
uKPun1	8.74	-0.89	0.3	0.0	-88.5	34.8	9.5	OK
uKPun2	9.62	-0.89	-3.6	0.0	-26.7	10.5	99.8	OK
uKPun2	13.67	-0.78	1.0	0.0	20.6	8.1	27.0	OK
uKPun2	15.12	-0.74	-0.2	0.0	80.1	31.5	5.0	OK
uKPun2	9.72	-0.88	0.5	0.0	-38.0	14.9	13.4	OK
uKPob2	9.62	-0.69	-3.6	0.0	-14.1	9.2	99.8	OK
uKPob2	15.02	-0.54	0.8	0.0	16.2	10.6	21.6	OK
uKPob2	15.21	-0.54	-0.2	0.0	30.2	19.8	4.3	OK
uKPob2	9.72	-0.68	0.3	0.0	-19.9	13.0	8.6	OK
uKPob1	9.60	-0.69	3.6	0.0	-13.9	9.1	99.8	OK
uKPob1	7.49	-0.69	-1.0	0.0	-25.9	16.9	29.0	OK
uKPob1	0.78	-0.69	-0.1	0.0	36.8	24.1	2.9	OK
uKPob1	7.97	-0.69	0.0	0.0	-53.8	35.3	1.1	OK
Bg KH	5.34	-0.64	-3.6	19.9	67.5	67.2	99.5	OK
Bg KH	14.68	0.57	3.3	19.9	27.6	27.5	92.3	OK
Bg KH	6.67	-0.38	0.3	19.9	77.8	77.5	8.3	OK
Bg KH	1.36	-0.81	-0.2	19.9	11.4	11.4	5.2	OK
STvert	15.13	-0.54	1.0	0.0	9.5	16.6	28.1	OK
STvert	7.23	-0.54	-0.7	0.0	-8.6	15.0	18.4	OK
STvert	15.22	-0.54	0.1	0.0	15.6	27.3	2.3	OK
STvert	7.96	-0.54	0.0	0.0	-17.0	29.7	0.7	OK
STob	15.31	0.21	-0.1	0.0	-50.2	27.7	3.0	OK
STob	7.42	0.21	0.1	0.0	-22.4	12.4	2.8	OK
STob	9.33	0.21	0.0	0.0	-20.1	11.1	0.1	OK
STob	15.22	0.21	-0.1	0.0	-50.2	27.7	1.5	OK
FBPL	8.93	0.57	-0.1	0.0	-22.0	6.2	4.9	OK
FBPL	6.82	0.57	0.1	0.0	-31.2	8.8	4.7	OK
FBPL	7.97	0.57	0.0	0.0	-1.8	0.5	0.4	OK
FBPL	15.21	0.57	-0.1	0.0	-148.7	42.1	2.9	OK

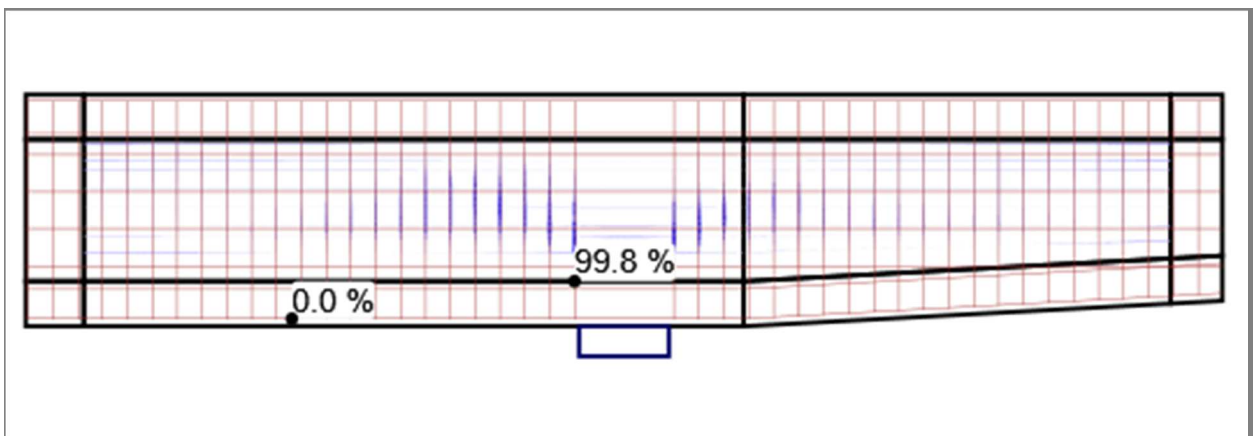


### Nachweiswert der Verbundspannung - $\tau_b/f_{bd}$ [%]

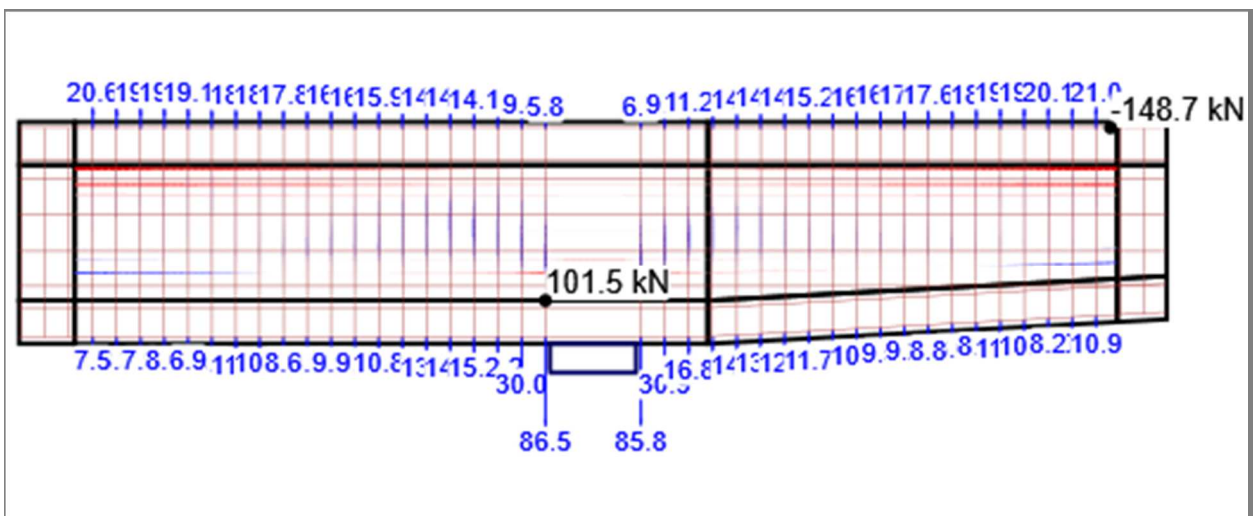


Manuelle Kontrolle: Obere Bügelverankerung in Fahrbahnplatte eher mässig beansprucht (ca. 40 - 50%), somit geringer als effektiver Verankerungswiderstand von ca. 50 – 60% einer vollen Verankerung (siehe Kap. 4) -> i.O.

### Nachweiswert der Kraft - $F_{tot}/F_{lim}$ [%]

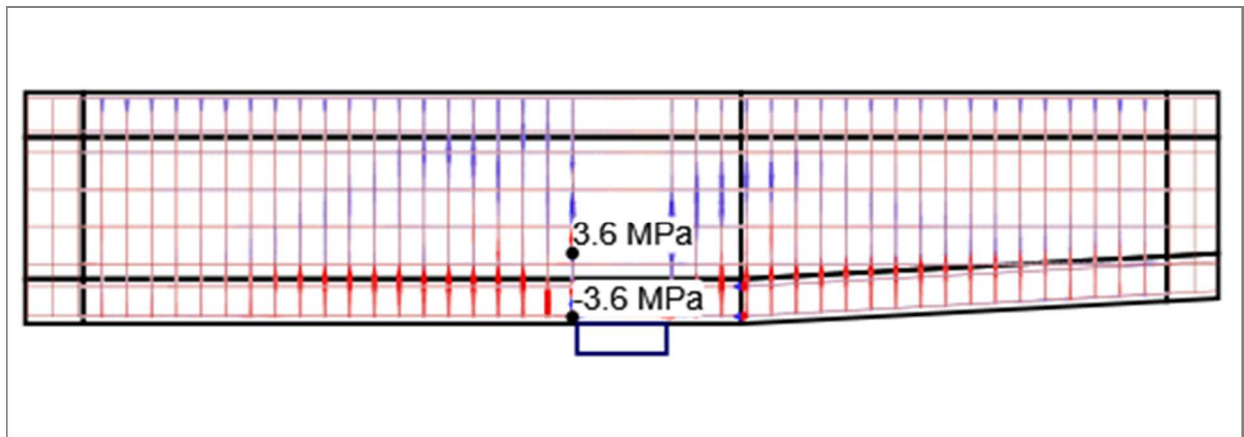


### Gesamtkraft im Stab - $F_{tot}$ [kN]





## Verbundspannung - $\tau_b$ [MPa]







## Anhang 2: Statische Berechnungen Level IV – Querträger

Inhalt:	Seiten
1. Allgemeines	2 – 3
2. Geometrie	4 – 7
3. Lagerung	8
4. Baustoffe	9 – 16
5. Einwirkungen, Grenzzustand Tragsicherheit	17 – 52
6. Resultate (Überprüfungssituation)	53 – 63

### Änderungsindex:

Nr.	Änderung	Auslöser	Datum	Version
0	Erstversion	Abgabe an SV	22.03.2023	0.0

### Vorbemerkungen

Die nachfolgende Dokumentation der durchgeführten Statischen Berechnungen Level IV – Querträger ergänzt und vertieft die Erläuterungen im **Bericht**. Wesentliche Erläuterungen zum Berechnungsverfahren CSFM, zur Modellbildung in IDEA StatiCa Detail, zu den Tragsicherheitsnachweisen und zur Diskussion der Berechnungsergebnisse sind in den **dortigen Kapitel 3.1 – 3.7** zusammengestellt.

Die vorliegende Dokumentation ist auf Basis des automatisierten Berichtes aus **IDEA StatiCa Detail** (Version 22.1.4.1065) erstellt worden, mit punktuellen Ergänzungen und Kommentaren. Die zugrundeliegenden Schnittgrößen aus der Stabstatikanalyse sind dem entsprechenden STATIK-7-Modell entnommen (siehe auch Bericht Detaillierte Überprüfung 2023 [1]).



# 1 Allgemeines

## Erläuterung

Symbol	Erläuterung
$f_{ck}$	Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen
$f_{ctk,0.05}$	Charakteristischer Wert der axialen Betonzugfestigkeit, Quantilwert 5 %
$f_{ctm}$	Mittelwert der axialen Betonzugfestigkeit
$E_{cm}$	Sekantenmodul des Betons
$\nu$	Poissonzahl
$\epsilon_c$	Dehnung des Betons unter Druck unter der Höchstspannung $f_c$
$\epsilon_{cu}$	Grenzstauchung des Betons
$\Phi_{perm}$	Kriechbeiwert für ständige Last
$\Phi_{pres}$	Kriechbeiwert für Vorspannung
$f_{yk}$	Charakteristischer Wert der Streckgrenze der Bewehrung
$E_s$	Elastizitätsmodul des Bewehrungsstahls
$\epsilon_{uk}$	Charakteristische Dehnung des Beton- oder Spannstahls unter Höchstlast
Eigenschaften	W - Breite; H - Höhe; T - Dicke; L - Länge; r - Höhe; $\alpha$ - Neigung
Position	M - Haupt; MP - Hauptpunkt; IP - Einfügepunkt
$\sigma_c$	Extremwert der Druckspannung $\sigma_c$ des Betons im ausgewählten Teilbereich.
$\epsilon_c$	Minimale Druckdehnung $\epsilon_c$ des Betons
$\epsilon_{pl}$	Minimale plastische Druckdehnung $\epsilon_c$ des Betons
$k_{c2}$	Reduktionsfaktor $k_{c2}$ für die Druckfestigkeit
$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$	Verhältnis von Betonspannung zu Betonfestigkeit. Angabe des Ausnutzungsgrads des Materials in Bezug auf die Betonfestigkeit.
$\sigma_s$	Maximalspannung entlang der Länge des Bewehrungsstabes.
$\epsilon_s$	Maximaldehnung entlang der Länge des Bewehrungsstabes.
$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$	Verhältnis von Spannung zu Festigkeit der Bewehrung. Angabe des Ausnutzungsgrads des Materials in Bezug auf die Bewehrungsfestigkeit.
$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$	Verhältnis von Dehnung zu Grenzdehnung des Bewehrung. Angabe des Ausnutzungsgrads des Materials in Bezug auf die Grenzdehnung
$T_b$	Verbundspannung an der Oberfläche des Bewehrungsstabes.
$F_a$	Verankerungskraft, aufgrund einer verhakten Verankerung, an den Stabenden.
$F_{tot}$	Über die Stablänge entwickelte Gesamtkraft. Sie besteht aus der Verankerungskraft (aufgrund verhakter Verankerung) und der Verbundkraft, die auf der Staboberfläche auftretende Verbundspannungen einbindet.
$F_{tot}/F_{lim}$	Verhältnis von Gesamtkraft im Stab zu Grenzwert der Kraft. Es wird der Ausnutzungsgrad des Bewehrungsstabes angegeben. Der Grenzwert der Kraft wird als der kleinere der beiden Werte berechnet: (a) Kraft, berechnet aus der Summe der Grenzankerkraft und der Kraft, die sich vom Stabende bis zum interessierten Punkt entwickelt, bei Annahme der Verbundtragfähigkeit, (b) Zugfestigkeit des Stabes.
$T_b/f_{bd}$	Verhältnis von Verbundspannung zu Verbundtragfähigkeit für die ausgewählten (Gruppe der) Stäbe und den angewendeten Lastanteil. Es wird der Ausnutzungsgrad in Bezug auf die Verbundtragfähigkeit zwischen Bewehrungsstab und angrenzendem Beton angegeben.

## Normeinstellungen

Abschnitt	Name	Wert	Beschreibung
2.4.2.4 (1)	$\gamma_c$	1.50	Teilbeiwert für Beton
2.4.2.4 (1)	$\gamma_s$	1.15	Teilbeiwert für Bewehrung
3.1.6 (1)	$\alpha_{cc}$	1.00	Koeffizient zur Berücksichtigung der langfristigen Auswirkungen auf die Druckfestigkeit und der ungünstigen Art der Lastaufbringung
3.2.7 (2)	$\epsilon_{ud}/\epsilon_{uk}$	0.90	Verhältnis von Bemessungs- zu charakteristischer Dehngrenze.



8.3(2)	$\Phi_{m,min} - \Phi_s \leq 16\text{mm}$ (4.00 $\Phi_s$ )	4.00	Mindestwert des Biegerollendurchmessers, definiert als Vielfaches des Bügeldurchmessers.
8.3(2)	$\Phi_{m,min} - \Phi_s > 16\text{mm}$ (7.00 $\Phi_s$ )	7.00	Mindestwert des Biegerollendurchmessers, definiert als Vielfaches des Bügeldurchmessers.

## Berechnungsannahmen

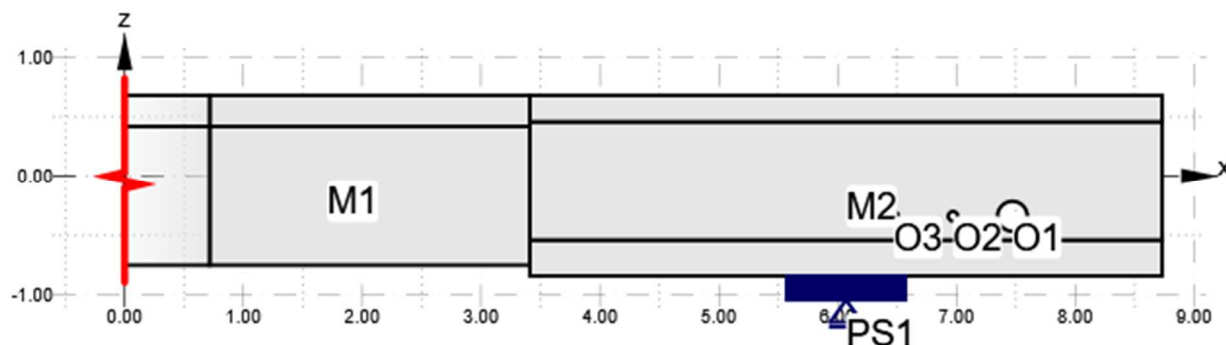
- In den Risszonen muss ein Mindestmaß an Bewehrung vorhanden sein, die mindestens den Zugspannungen vor dem Riss standhält.
- Es wird davon ausgegangen, dass eine Querbewehrung oder eine ausreichende Überlappung vorgesehen ist, um eine vollständige Verankerung der Bügel zu ermöglichen.
- Die Analyse und die Normnachweise für Lagerungsbedingungen werden für die im Projekt angegebenen Lagerbedingungen durchgeführt. Änderungen der Lagerungen in der Bau-/Betriebsphase werden nicht berücksichtigt.



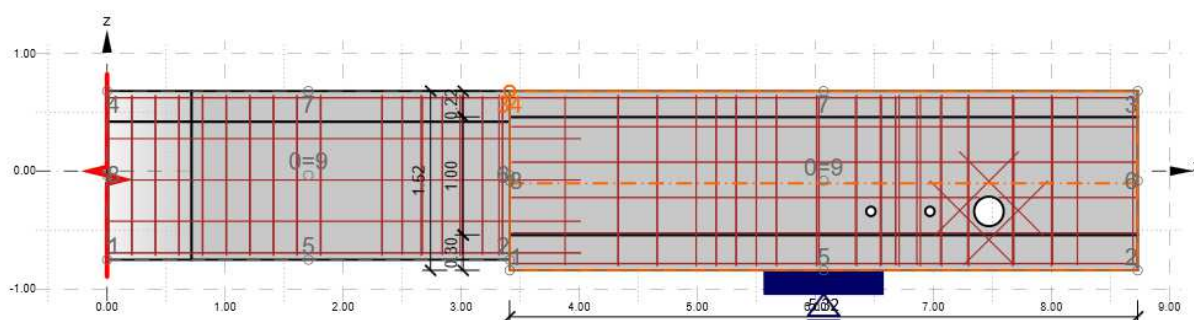
## 2 Geometrie

### Geometrie

- Östliche Hälfte des Querträgers D betrachtet, für 1. Bauetappe inkl. Zwischenstück bis Brückenachse. Umfassend Querträgerbereiche innerhalb des östlichen Hohlkastens sowie zwischen den beiden Hohlkästen. Modelllänge 8.73 m, modelltechnisch bis 50 cm über Brückenachse, leicht in Schiefe von 5.1° gemessen. Mit Zwischenaufleger bei Stahlpendelstütze D<sub>1</sub> in Hohlkastenachse.
- Berücksichtigung der Aussparungen im Querträger für Leitungsdurchführungen (1x Ø 250 mm, 2x Ø 80 mm).



### DRM1 - Geometrie



### Übersichtstabelle

Name	Typ	Eigenschaften	Position
M1	Träger	L: 3.41 m; Querschnitt: 3; Geschnitten an: Anfang	
M2	Träger	L: 5.32 m; Querschnitt: 2;	M: M1; IP: 4; MP: 3
O1	Öffnung	Kreisförmig; D: 0.25 m	M: M2; IP: 0; MP: 2; X: -1.26 m; Z: 0.50 m
O2	Öffnung	Kreisförmig; D: 0.08 m	M: M2; IP: 0; MP: 2; X: -1.76 m; Z: 0.50 m
O3	Öffnung	Kreisförmig; D: 0.08 m	M: M2; IP: 0; MP: 2; X: -2.26 m; Z: 0.50 m
PS1	Punktaufleger	Z	
PS1	Lagerplatte	W: 1.00 m; T: 0.20 m; Material: S 355	M: M2, Kante 1; Vom Ende; X: 2.66 m



## Referenzlinie (Bezugslinie für Schnittgrößen)

Als Referenzlinie ist modellseitig die Schwerachse des eingegebenen Querschnittes des Bereiches M1 berücksichtigt. Sie liegt somit auf der gesamten Länge M1 und M2 678 mm unterhalb OK Fahrbahnplatte.

## Querschnitte

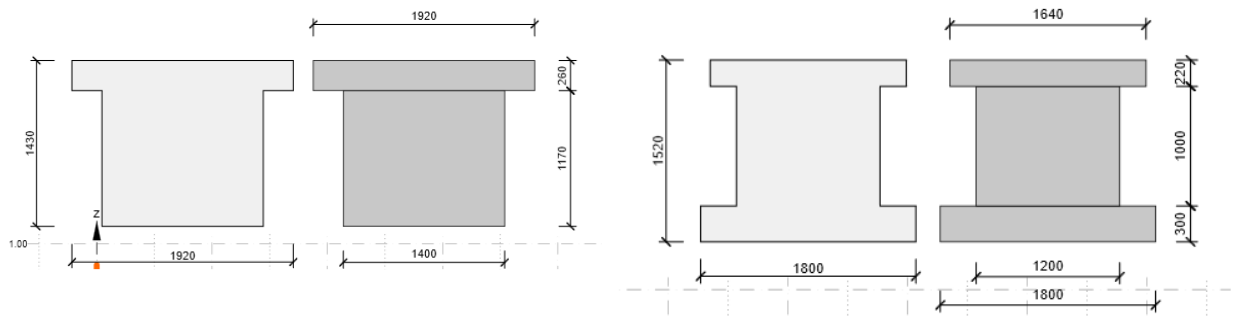
- Modellierter Trägerquerschnitt als symmetrischer I- bzw. T-Querschnitt mit mitwirkenden Anteilen der Fahrbahnplatte und innerhalb Hohlkästen der unteren Kastenplatte. Trägerquerschnitt mit konstanter, mittlerer Trägerhöhe von  $H = 1.52$  m innerhalb Hohlkästen und von  $H = 1.43$  m zwischen den Hohlkästen. Stegbreite von  $1.20$  m innerhalb Hohlkästen und von  $1.40$  m zwischen Hohlkästen. Mitwirkende Breite der Fahrbahnplatte von beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 22$  cm bzw.  $26$  cm, entsprechend der Fahrbahnplattenstärke. Mitwirkende Breite der unteren Kastenplatte innerhalb Hohlkästen von beidseitig  $b_{\text{eff},1} = 30$  cm, entsprechend der Plattenstärke.

Name	Material	Haupt	Abbildung
3 - T-Profil 1430, 1920	C60/75	DRM1: M1	
2 - I-Profil 1520, 1640	C60/75	DRM1: M2	





## Vergleich eingegebene – modellierte Querschnitte



- Die eingegebenen und modellierten Querschnitte sind identisch.
- Stegbreite konstant mit  $b_w = 1.20$  m bzw.  $1.40$  m berücksichtigt. Eine Reduktion des Druckfeldes auf den Nennwert der Stegbreite  $b_{w,nom}$  im Bereich der Spannglieder wird im Modell nicht berücksichtigt. Eine entsprechende, lokale Erhöhung der Druckspannungen aufgrund lokal reduzierter Druckfeldbreite wird anhand der Berechnungsergebnisse manuell kontrolliert.
- Netzgrösse des Berechnungsmodells: Es wird eine genügend feine und praktikable Netzgrösse mit einem Raster von ca.  $7$  cm x  $7$  cm gewählt (Faktor 3 auf Standard-Netzgrösse gemäss Vorgabe IDEA StatiCa Detail / mit Faktor 1 ergäbe sich ein noch leicht feineres Raster von ca.  $5$  cm x  $5$  cm) Im Bereich der Aussparung erfolgt eine automatisch generierte Netzverfeinerung mit Elementgrössen bis ca.  $1.5$  cm x  $1.5$  cm.

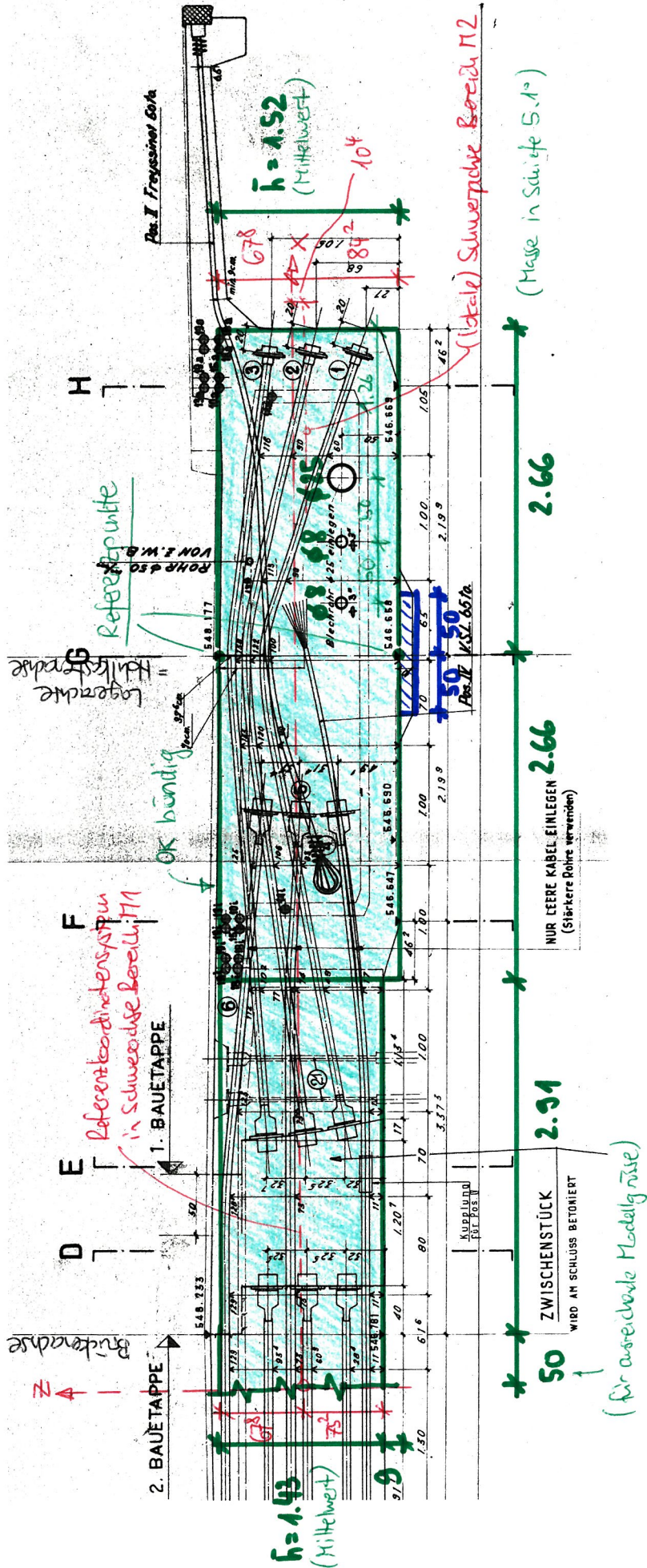
# Modellierte Geometrie des Querschnitts

1:50

Pt 24.3.23

1229-10

ZBBS L4





### 3 Lagerung

- Der betrachtete Querträgerabschnitt ist auf der Stahlpendelstütze  $D_1$  in der Hohlkastenachse direkt gelagert. Dies wird mittels eines 1.00 m breiten Stahlplattenlagers UK Querträger berücksichtigt. Die Lagerung ist am Bauwerk effektiv mittels konischem Kopfgussstück der Pendelstütze von  $\varnothing_{\text{sup}} = 84$  cm (Stärke 24 cm) und darüberliegender Betonlagerfläche von 1.00 m x 1.00 m (zudem keilförmig) ausgebildet.
- Die indirekte Lagerung der Hohlkastenstege mittels des Querträgers (siehe Anhang 1) wird für den Querträger entsprechend als äussere Belastung berücksichtigt, mit identischen Flächenbelastungen im Schnittpunkt Längsträger – Querträger. Diese Belastungen werden auf einer Höhe von 35 cm, 70 cm und 105 cm ab UK Querträger eingeführt und über die Längsträgerstegbreite von 55 cm verteilt. Siehe hierzu auch die indirekten Lagerreaktionen in Anhang 1 bzw. die Flächenbelastungen in Kap. 5. Eine tiefere Höhe ist für den Längsträger günstiger und für den Querträger ungünstiger, und umgekehrt.



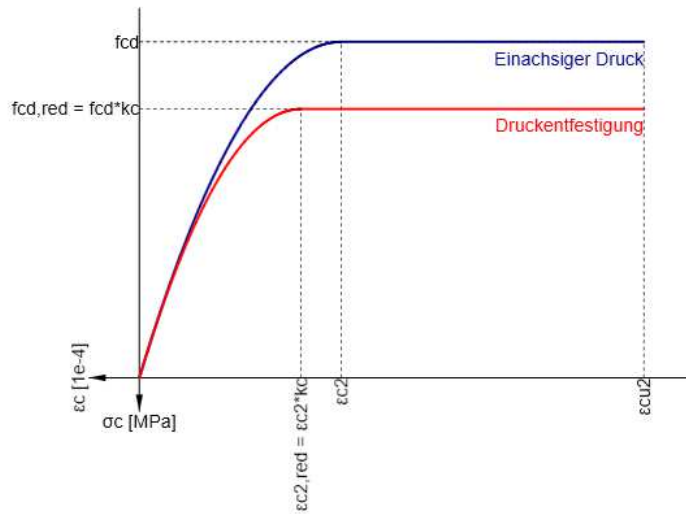
## 4 Baustoffe

### Materialien

#### Beton

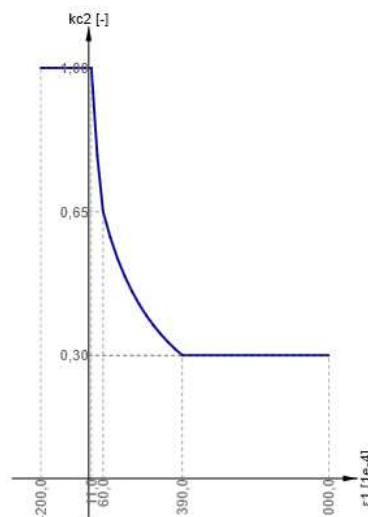
Name	$f_{ck}$ [MPa]	$f_{ctk,0.05}$ [MPa]	$f_{ctm}$ [MPa]	$E_{cm}$ [MPa]	$\nu$ [-]
C60/75	60.0	3.0	4.4	39099.9	0.20
	$\epsilon_{c2} = 22.9 \cdot 10^{-4}, \epsilon_{cu2} = 500.0 \cdot 10^{-4}$ , Diagrammtyp: Parabolisch $\phi_{perm}: 2.50$ $\phi_{pres}: 2.50$				

Spannungs-Dehnungs-Diagramm



Der Reduktionsfaktor  $kc = \eta_{fc} * kc2$  wird für das Verhalten bei Sprödbruch von Beton ( $\eta_{fc} = 0,92$ ) und für die Entfestigung aufgrund von Querkzugbeanspruchung ( $kc2$ ) berücksichtigt.

#### Reduktionsfaktor der Druckfestigkeit



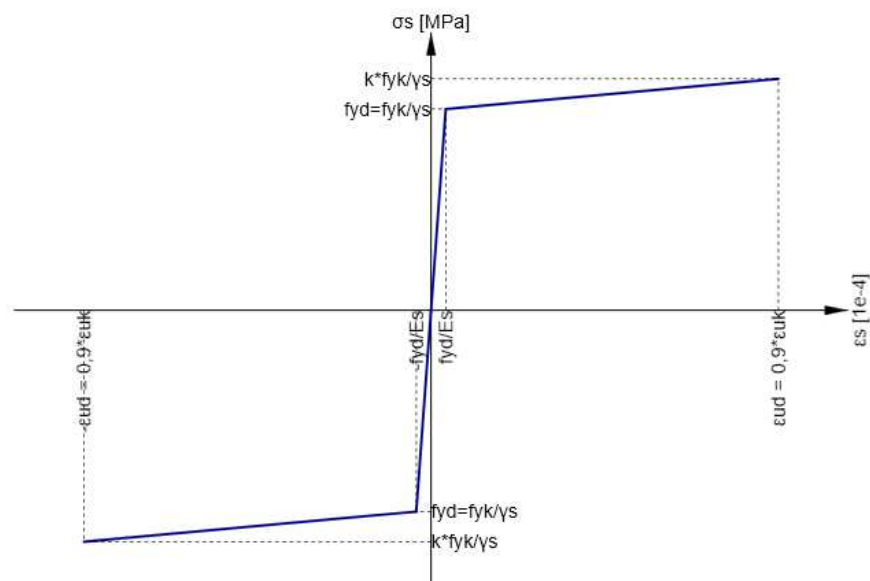


## Bewehrung

Name	$f_{yk}$ [MPa]	k [-]	$E_s$ [MPa]	Masseneinheit [kg/m <sup>3</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [1e-4]	Oberfläche
Box	345,0	1,48	205000,0	7850	500,0	Gerippt
	$\epsilon_{st} = 500,0 \cdot 1e-4, \epsilon_{sc} = 500,0 \cdot 1e-4,$					
Caron	450,0	1,15	205000,0	7850	500,0	Gerippt
	$\epsilon_{st} = 500,0 \cdot 1e-4, \epsilon_{sc} = 500,0 \cdot 1e-4,$					

- Baustoffkennwerte Box-Stahl und Caron-Stahl (gemäss [3], SIA 269/2 und [www.steeldata.ch](http://www.steeldata.ch)). Dehngrenze Box-Stahl reduziert infolge Schweisspunkte (punktuell angeschweisste Querstäbe für Spannliedauflage).

Spannungs-Dehnungs-Diagramm



## Stahl

Name	E [MPa]
S 355	210000,0

(für modellierte Lagerplatte B = 1.00 m, H = 20 cm)

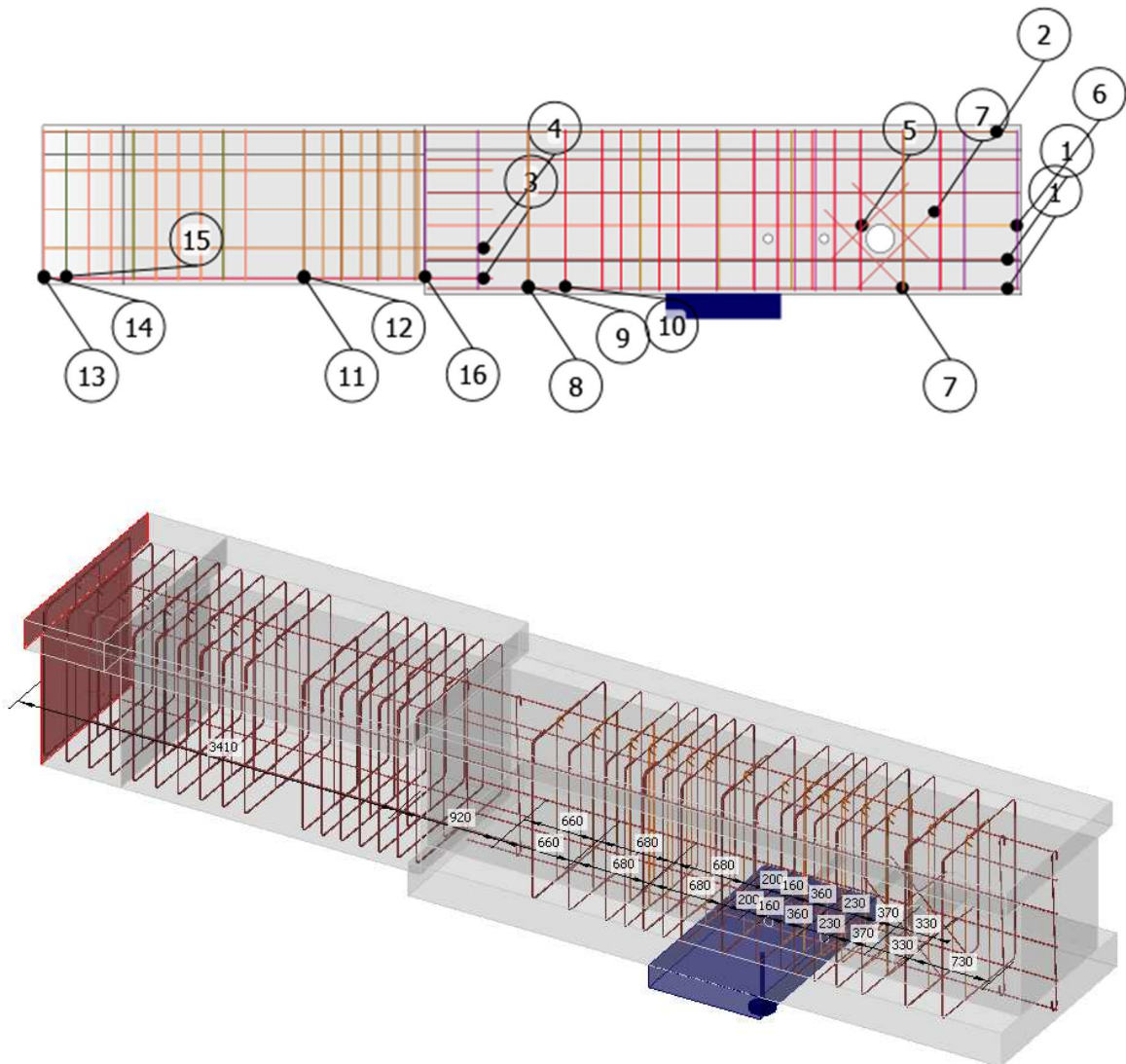






## Materialliste

### Nummerierung der Positionen



### Kurztabelle der Bewehrung

Index	Φ [mm]	Material	Positionen	Länge [mm]	Gewicht [kg]	Gesamtlänge [m]
1	14	Caron	16	5280	6	84.48
2	14	Caron	4	8680	10	34.72
3	15	Caron	4	4010	6	16.04
4	12	Caron	6	4010	4	24.06
5	14	Caron	4	3955	5	15.82
6	14	Caron	4	1155	1	4.62
7	12	Caron	8	1000	1	8.00
8	12	Caron	16	3815	3	61.04
9	16	Box	5	5370	8	26.85
10	12	Caron	11	5308	5	58.38
11	12	Caron	4	3648	3	14.59



12	16	Caron	7	5590	9	39.13
13	12	Caron	10	3635	3	36.35
14	16	Caron	7	5590	9	39.13
15	16	Box	3	5590	9	16.77
16	12	Box	4	1614-1704	1-2	6.73

### Detaillierte Tabellen der Bewehrungsstäbe

Parameter	Wert	Form
Index	1	
Φ [mm]	14	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	16	
Länge [mm]	5280	
Gewicht [kg]	6	
Gesamtlänge [m]	84.48	

Parameter	Wert	Form
Index	2	
Φ [mm]	14	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	4	
Länge [mm]	8680	
Gewicht [kg]	10	
Gesamtlänge [m]	34.72	

Parameter	Wert	Form
Index	3	
Φ [mm]	15	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	4	
Länge [mm]	4010	
Gewicht [kg]	6	
Gesamtlänge [m]	16.04	

Parameter	Wert	Form
Index	4	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	6	
Länge [mm]	4010	
Gewicht [kg]	4	
Gesamtlänge [m]	24.06	



Parameter	Wert	Form
Index	5	
Φ [mm]	14	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	4	
Länge [mm]	3955	
Gewicht [kg]	5	
Gesamtlänge [m]	15.82	

Parameter	Wert	Form
Index	6	
Φ [mm]	14	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	4	
Länge [mm]	1155	
Gewicht [kg]	1	
Gesamtlänge [m]	4.62	

Parameter	Wert	Form
Index	7	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	8	
Länge [mm]	1000	
Gewicht [kg]	1	
Gesamtlänge [m]	8.00	

Parameter	Wert	Form
Index	8	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	16	
Länge [mm]	3815	
Gewicht [kg]	3	
Gesamtlänge [m]	61.04	

Parameter	Wert	Form
Index	9	
Φ [mm]	16	
Material	Box	
Anzahl der Positionen	5	
Länge [mm]	5370	
Gewicht [kg]	8	
Gesamtlänge [m]	26.85	



Parameter	Wert	Form
Index	10	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	11	
Länge [mm]	5308	
Gewicht [kg]	5	
Gesamtlänge [m]	58.38	

Parameter	Wert	Form
Index	11	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	4	
Länge [mm]	3648	
Gewicht [kg]	3	
Gesamtlänge [m]	14.59	

Parameter	Wert	Form
Index	12	
Φ [mm]	16	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	7	
Länge [mm]	5590	
Gewicht [kg]	9	
Gesamtlänge [m]	39.13	

Parameter	Wert	Form
Index	13	
Φ [mm]	12	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	10	
Länge [mm]	3635	
Gewicht [kg]	3	
Gesamtlänge [m]	36.35	

Parameter	Wert	Form
Index	14	
Φ [mm]	16	
Material	Caron	
Anzahl der Positionen	7	
Länge [mm]	5590	
Gewicht [kg]	9	
Gesamtlänge [m]	39.13	





Parameter	Wert	Form
Index	15	
Φ [mm]	16	
Material	Box	
Anzahl der Positionen	3	
Länge [mm]	5590	
Gewicht [kg]	9	
Gesamtlänge [m]	16.77	

Parameter	Wert	Form (Min-Max)
Index	16	
Φ [mm]	12	
Material	Box	
Anzahl der Positionen	4	
Länge [mm]	1614-1704	
Gewicht [kg]	1-2	
Gesamtlänge [m]	6.73	

## Übersichtstabelle

	Φ [mm]	12	14	15	16
Gesamtlänge Φ [m]		209.14	139.64	16.04	121.88
Metergewicht von Φ [kg/m]		1	1	1	2
Gesamtgewicht von Φ [kg]		186	169	22	192
Gesamtgewicht der Stäbe [kg]		569			
Betonvolumen [m3]		18.39			
Gewicht der Bewehrung pro Volumeneinheit des Betons [kg/m3]		31			



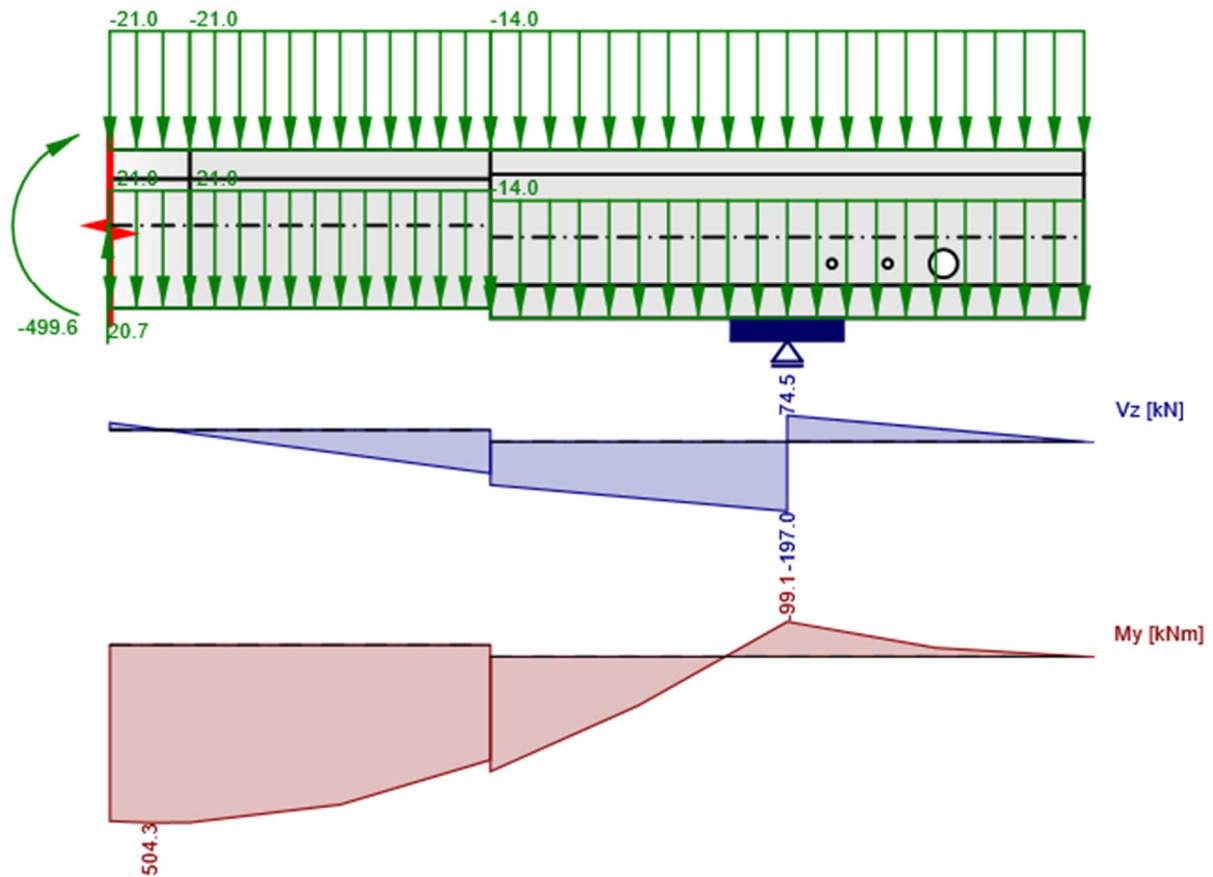
## 5 Einwirkungen, Grenzzustand Tragsicherheit

- Berücksichtigung der massgebenden Lastkombination mit entsprechenden Laststellungen für maximale Querkraft  $V_{zd,max}$  auf Hohlkasten  $CD_1$  vor D aus der Stabstatikanalyse mit STATIK-7 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Neben den ständigen Einwirkungen (Eigenlasten, Auflasten, Vorspannung) werden hierzu die aktualisierten Strassenverkehrslasten als Leiteinwirkung (Lastmodell 1 gemäss SIA 269/1, feldweise) und die nichtmotorisierten Verkehrslasten als Begleiteinwirkung (Menschengedränge auf Gehwegbereichen, feldweise) massgebend. Temperatureinwirkungen werden für die massgebende Lastkombination nicht relevant.
- Die Eigenlasten des Querträgers werden direkt auf den Querträger wirkend berücksichtigt (hälftig auf Oberseite und an Unterseite angreifend). Alle übrigen Einwirkungen werden aus den beidseitig angrenzenden Hohlkastenabschnitten in den Querträger eingeleitet. Dabei werden die entsprechenden, für den Querträger relevanten Hohlkastenschnittgrössen Querkraft  $V_z$  und Torsionsmoment  $T_x$  analog der Modellbildung für den Längsträger berücksichtigt (Umlauftorsion mit entsprechenden Schubflüssen). Die aus beiden Hohlkastenabschnitten wirkenden Längsträgerquerkräfte werden am Querträger überlagert, gleiches gilt für die horizontal und vertikal wirkenden Torsionsschubkräfte.
- Die Vorspannung des Querträgers wird als Einwirkung über entsprechende Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte berücksichtigt (Betrachtung einer Stahlbetonscheibe). Die 15 im Querträgerabschnitt vorhandenen Spannglieder werden mit der plangemässen Spanngliedgeometrie [10] berücksichtigt. Spannglieder nebeneinander mit identischer Ausbildung werden dabei zusammengefasst. Querspannglieder der Fahrbahnplatte werden konservativerweise vernachlässigt. Vereinfacht werden Umlenk- und Reibungskräfte als abschnittsweise konstant modelliert. Die Reibungskräfte und damit der Spannkraftverlauf über den modellierten Querträgerbereich werden händisch ermittelt, unter Konzentration der Reibungskräfte in den Umlenkbereichen. Gemäss [10] werden die Spannglieder i.d.R. für einseitiges Überspannen und Ablassen berücksichtigt (ein Spanngliedtyp ist hingegen beidseitig überspannt und abgelassen). Die Langzeitverluste der Vorspannung werden mit 20 % berücksichtigt (d.h. initiale Spannkkräfte mit Faktor 0.80 abgemindert). Aufgrund der im Wesentlichen statisch bestimmten Lagerung des Querträgers werden Zwängungsschnittgrössen infolge Querträger-Vorspannung (Sekundärschnittgrössen) vernachlässigt. Auf Querschnittsebene setzen sich die Schnittgrössen aus Vorspannung somit ausschliesslich aus einem Eigenspannungsanteil ( $M_{pe}$ ,  $V_{pe}$ ,  $N_{pe}$ ) zusammen, welche jeweils händisch ermittelt werden. Ein möglicher Spannkraftzuwachs im Bruchzustand (dekomprimierte Tragwerksbereiche) wird konservativerweise vernachlässigt.



## Lasten

### EGQT (Eigengewicht Querträger)



### Lastfall EGQT - Ständig

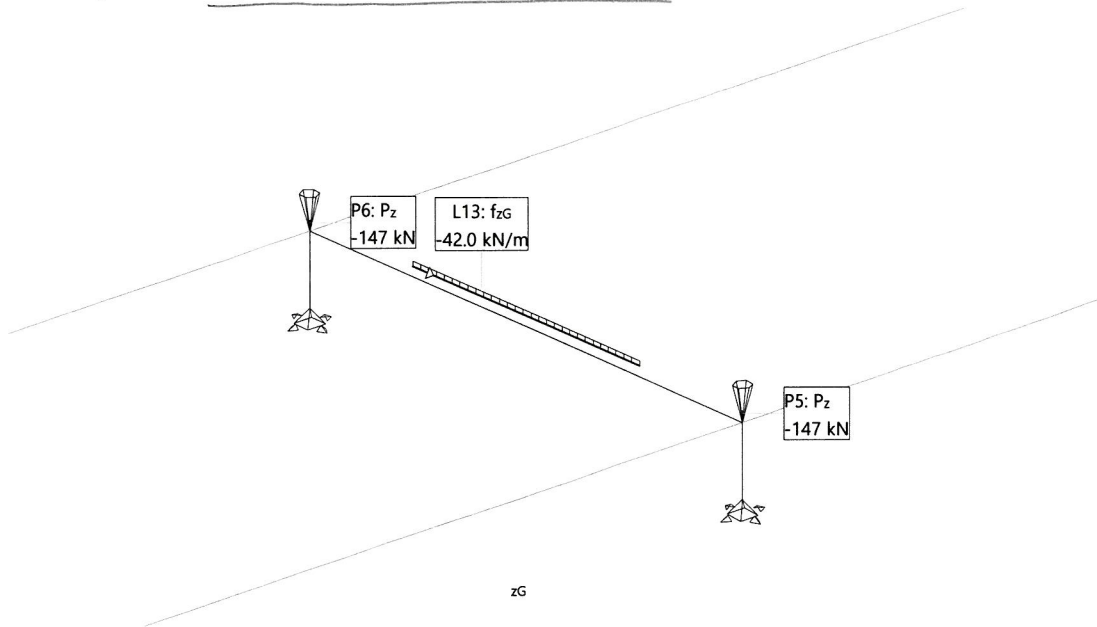
#### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	0.0	-197.0	-99.0
M2	2.66 m (Rechts)	0.0	74.5	-99.1

#### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
EGQT1o	-21.0	-21.0	Global Z	M1: Kante 3 Gesamte Länge	3.41	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, oben angreifend
EGQT1u	-21.0	-21.0	Global Z	M1: Kante 1 Gesamte Länge	3.41	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, unten angreifend
EGQT2o	-14.0	-14.0	Global Z	M2: Kante 3 Gesamte Länge	5.32	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, oben angreifend
EGQT2u	-14.0	-14.0	Global Z	M2: Kante 1 Gesamte Länge	5.32	Bezeichnung Statik: $g_k$ (Anteil) Verteilte Last, unten angreifend

Belastung EG-QTST: Eigengewicht Querträger + Stegverbreiterungen C



- EG QT zwischen Hohlkästen:  $g_k = 42 \text{ kN/m} \rightarrow \text{je } g_k = 21 \text{ kN/m} \text{ oben + unten}$   
angreifend
- EG QT innerhalb Hohlkasten (Ost):  $G_k = 147 \text{ kN}$   
↳ auf Hohlkastenbreite von total 5,3m verteilt:  $g_k = \frac{147}{5,3} = 28 \text{ kN/m}$   
 $\rightarrow \text{je } g_k = 14 \text{ kN/m} \text{ oben + unten angreifend}$

Schnittgrössenvorgabe EGQT:

bei  $D_1$  li/re vom Auflager

Rechts von  $D_1$ : rein aus Gleichgewicht am Beginn, Ermittlung direkt in  
IDEA (automatischer Vorschlag)

$$\hookrightarrow \underline{N_{x,ri} = 0}, \underline{V_{z,ri} = 74,5 \text{ kN}}, \underline{M_{y,ri} = -99 \text{ kNm}}$$

Links von  $D_1$ :  $\underline{N_{x,li} = 0}$  (wie rechts)

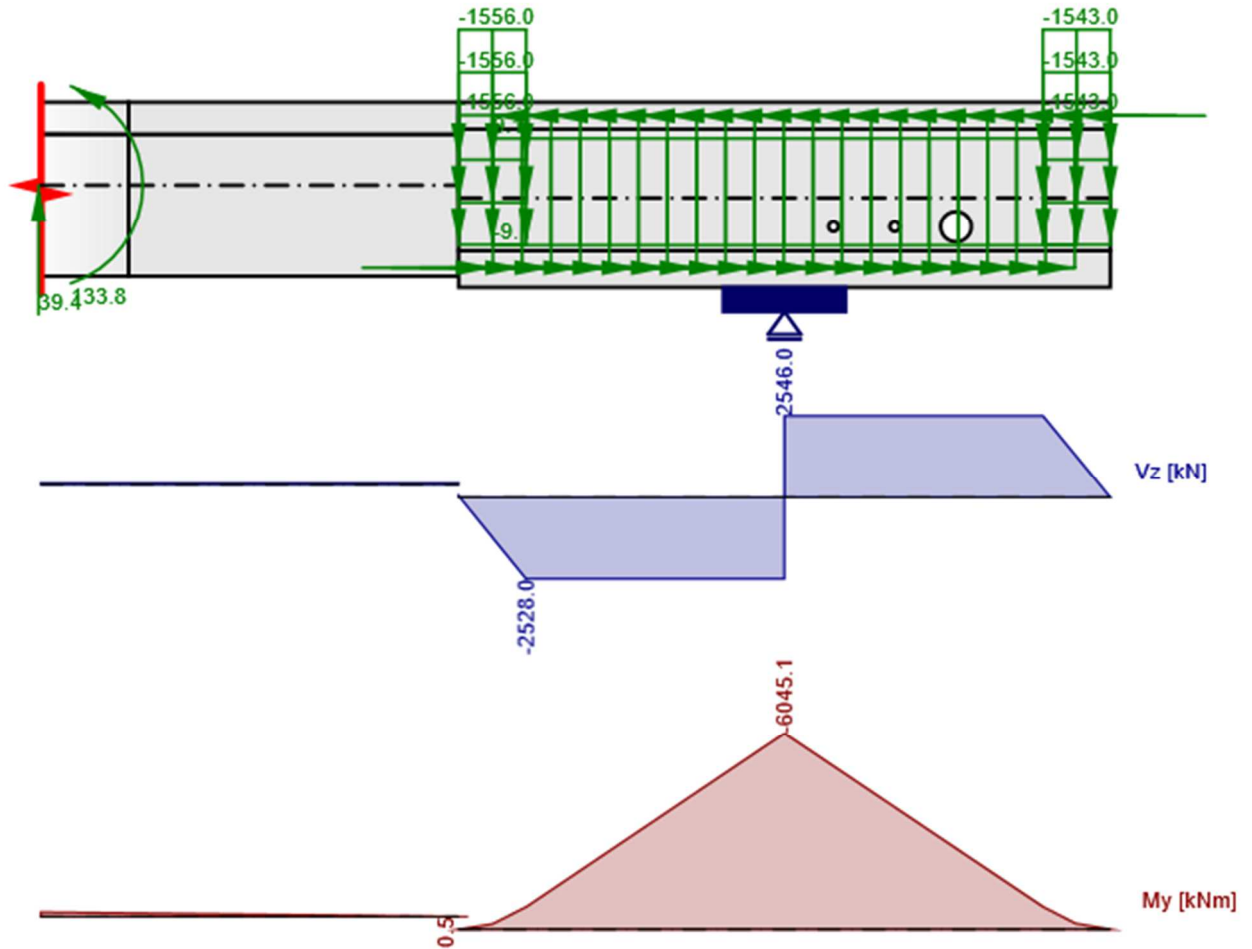
$$\underline{V_{z,li} = -(2,91 \cdot 42 + 2,66 \cdot 28) = -197 \text{ kN}}$$
 (d.h. Querschnitt  
exakt in Brückenachse 50cm von linkem Modellrand)

$$\underline{M_{y,li} = M_{y,ri} = -99 \text{ kNm}}$$

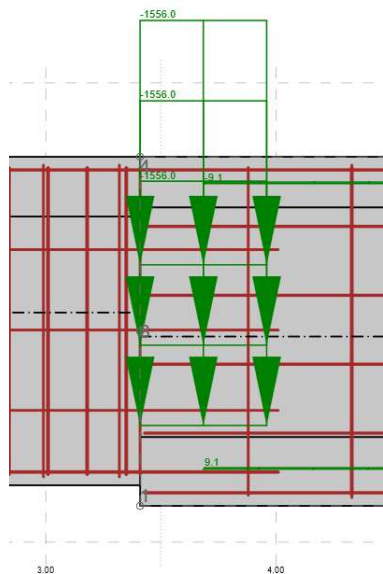




**EGAL** (bestehend, ohne Mehrauflasten)



Zoom Belastungen aus Hohlkasteninnensteg (indirekte Auflagerkräfte) auf Höhen 35 cm, 70 cm und 105 cm ab UK Träger:





## Lastfall EGAL - Ständig

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	0.0	-2528.0	-6045.0
M2	2.66 m (Rechts)	0.0	2546.0	-6045.1

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
FAS1	-1543.0	-1543.0	Global Z	X:8.18;Z:0.208 X:8.73;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>AS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS1	-1556.0	-1556.0	Global Z	X:3.41;Z:0.208 X:3.96;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>IS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
Ho1	-9.1	-9.1	Global X	X:3.69;Z:0.568 X:8.44;Z:0.568	4.75	Bezeichnung Statik: f <sub>H</sub> Längskraft oben aus Torsion
Hu1	9.1	9.1	Global X	X:3.69;Z:-0.682 X:8.44;Z:-0.682	4.75	Bezeichnung Statik: f <sub>H</sub> Längskraft unten aus Torsion
FAS2	-1543.0	-1543.0	Global Z	X:8.18;Z:-0.142 X:8.73;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>AS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS2	-1556.0	-1556.0	Global Z	X:3.41;Z:-0.142 X:3.96;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>IS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FAS3	-1543.0	-1543.0	Global Z	X:8.18;Z:-0.492 X:8.73;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>AS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS3	-1556.0	-1556.0	Global Z	X:3.41;Z:-0.492 X:3.96;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>IS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg

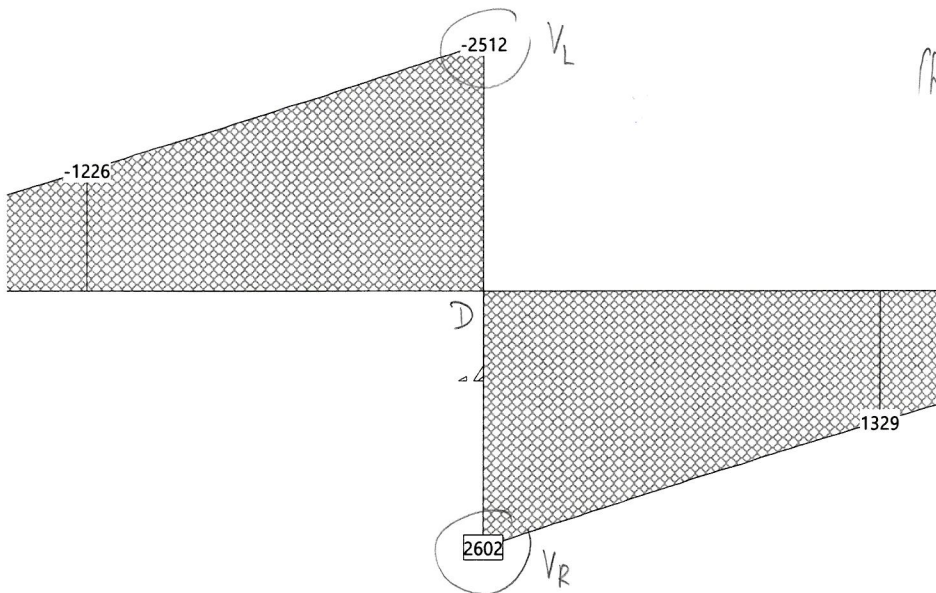
**Resultatkombination**

**Resultatkombination EGAL**

Id Belastung	Faktor	Beschreibung
EG	1.000	Eigengewicht
EG-QTST	1.000	Eigengewicht Querträger + Stegverbreiterungen C
EG-Verb	1.000	Eigengewicht FBPL bei Verbreiterungen
AL-AU	1.000	Auflasten Ausrüstungen (Geländer-Maste-Schutzdach-Leitungen)
AL-BR	1.000	Auflasten Belag + Randsteine
AL-LE	1.000	Auflasten Leitelemente Beton

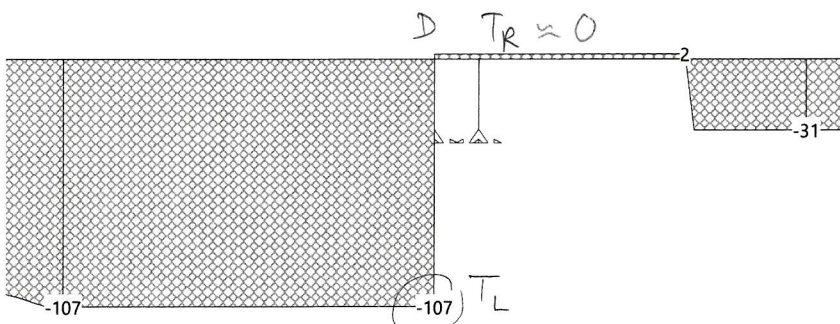
inkl. EG-Querträger, jedoch nur Anteil in  $T_x$  (ohne Einfluss auf  $V_z$ , etc)

Schnittkraft  $V_z$  (Stabachsen) [kN] für: EGAL, selektierte Stäbe



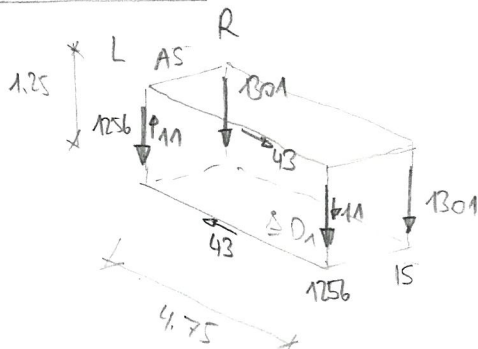
$\frac{V_L}{2} = -1256 \text{ kN}$   
 $\frac{V_R}{2} = +1301 \text{ kN}$

Schnittkraft  $T$  (Stabachsen) [kNm] für: EGAL, selektierte Stäbe



$q_L = \frac{107}{2 \cdot 4.75 \cdot 1.25} = 9.0 \text{ kN/m}$   
 (Schubfluss)  
 $\rightarrow F_v = 9.0 \cdot 1.25 = 11 \text{ kN}$   
 $F_h = 9.0 \cdot 4.75 = 43 \text{ kN}$

am QT wirkt: (auf Bauteilachse)



überlagert:  $f_H = 43/4.75 = 9.1 \text{ kN/m}$  (oben nach innen, unten nach außen wirkt)

$F_{AS} = (1256 - 11) + 1301 = 2546 \text{ kN}$   
 $\rightarrow$  auf  $b = 55 \text{ cm}$ , 3Nähe:  $f_{AS} = 3 \times 1543 \text{ kN/m}$   
 $F_{IS} = (1256 + 11) + 1301 = 2568 \text{ kN}$   
 $\rightarrow$  auf  $b = 55 \text{ cm}$ , 3Nähe:  $f_{IS} = 3 \times 1556 \text{ kN/m}$

Schnittgrössenvorgabe EGAL:

bei  $D_{11}$  li/re vom Auflager

Rechts von  $D_{11}$ : rein aus Gleichgewicht am Kragarm, Ermittlung direkt in IDEA (automatischer Vorschlag)

$$\hookrightarrow \underline{N_{x,1e} = 0}, \underline{V_{z,1e} = 2'546 \text{ kN}}, \underline{M_{y,1e} = -6'045 \text{ kNm}}$$

(FAS)

Links von  $D_{11}$ :  $\underline{N_{x,1l} = 0}$  (wie rechts)

$$\underline{V_{z,1l} = F_{15} - V_{ST} = -2'568 - (-40) = -2'528 \text{ kN}}$$

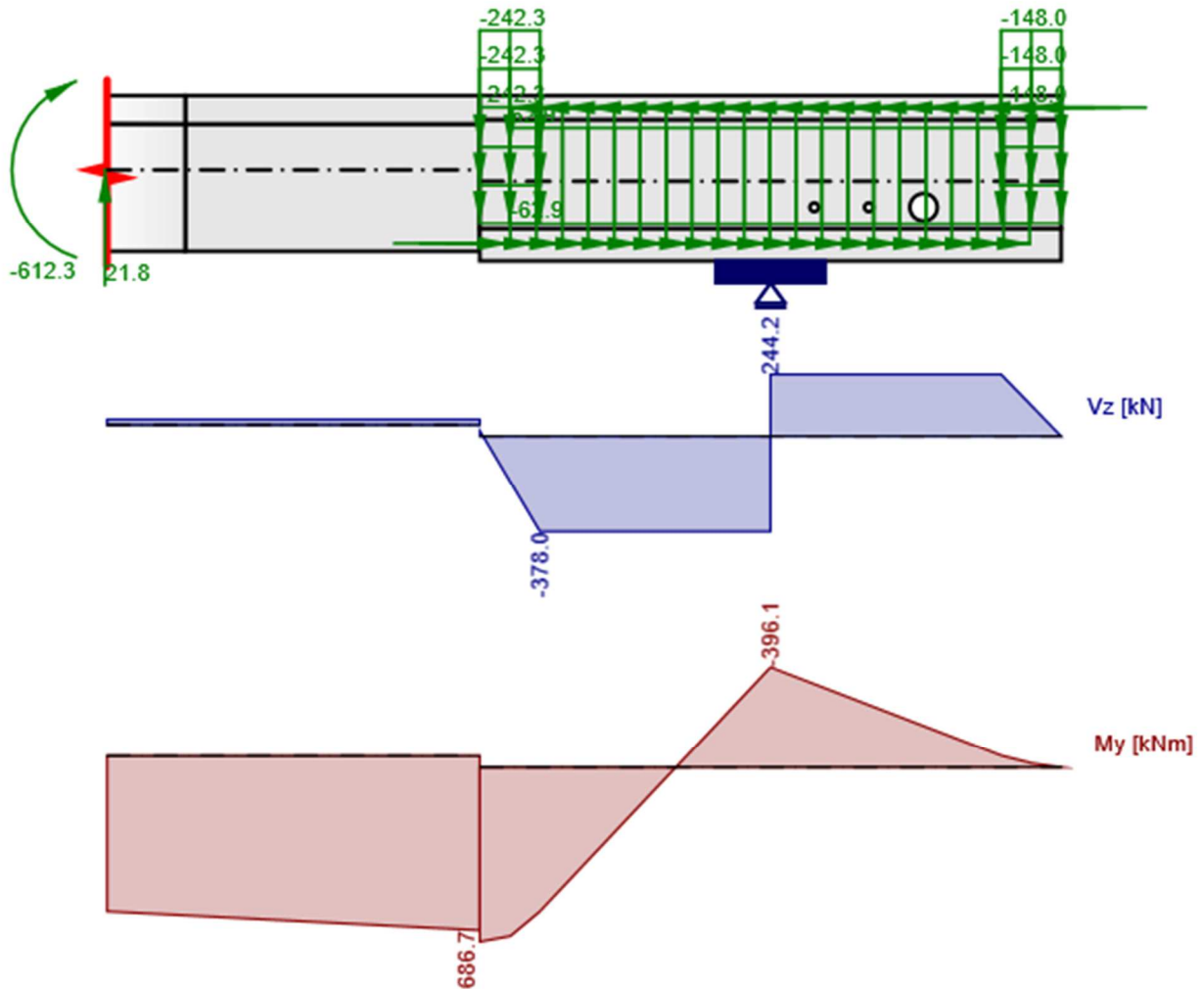
↑ Überbauteil via Querträger an Gesamtstahlmodell (STATIK-7)

$$\underline{M_{y,1l} = M_{y,1e} = -6'045 \text{ kNm}}$$





## AL+ (projektierte Mehraufasten)



## Lastfall AL+ - Ständig

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	0.0	-378.0	-396.0
M2	2.66 m (Rechts)	0.0	244.2	-396.1

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
FIS13	-242.3	-242.3	Global Z	X:3.41;Z:0.208 X:3.96;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>is</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FIS14	-242.3	-242.3	Global Z	X:3.41;Z:-0.142 X:3.96;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>is</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg





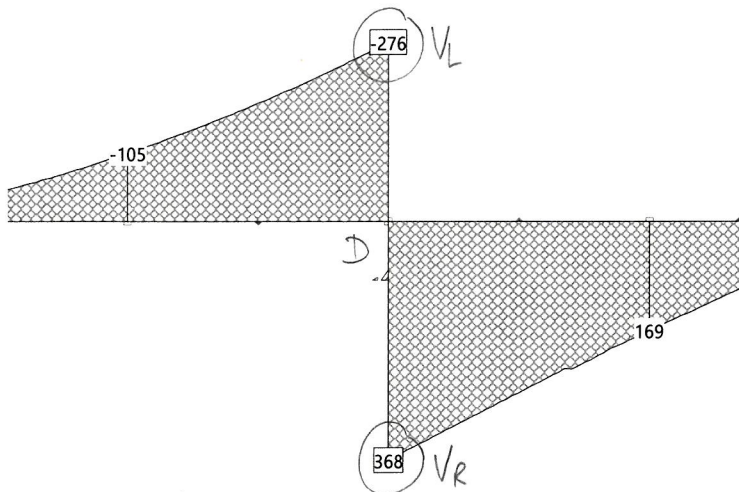
FIS15	-242.3	-242.3	Global Z	X:3.41;Z:-0.492 X:3.96;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{is}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FAS13	-148.0	-148.0	Global Z	X:8.18;Z:0.208 X:8.73;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FAS14	-148.0	-148.0	Global Z	X:8.18;Z:-0.142 X:8.73;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FAS15	-148.0	-148.0	Global Z	X:8.18;Z:-0.492 X:8.73;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
Ho5	-62.9	-62.9	Global X	X:3.69;Z:0.568 X:8.44;Z:0.568	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft oben aus Torsion
Hu5	62.9	62.9	Global X	X:3.69;Z:-0.682 X:8.44;Z:-0.682	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft unten aus Torsion

**Resultatkombination**

**Resultatkombination AL+**

Id Belastung	Faktor	Beschreibung
AL-BG+	1.000	Mehrauflasten Belag + Gehwegverbreiterungen ZBB
AL-LE+	1.000	Mehrauflasten Leitelemente Beton ZBB (v.a. Ost)

Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: AL+, selektierte Stäbe

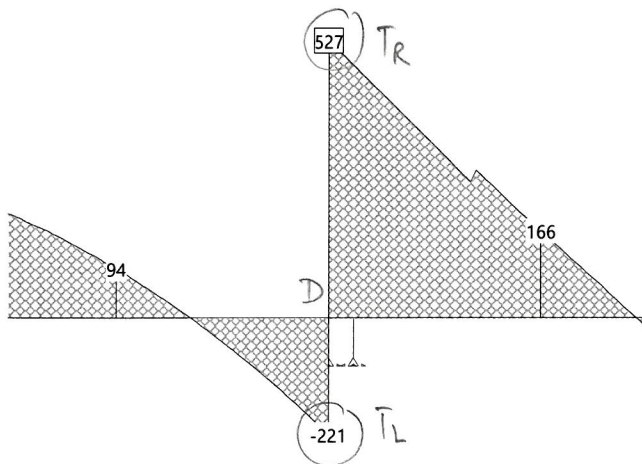


(für 1Hdlkaster)

$$\frac{V_L}{z} = -138 \text{ kN}$$

$$\frac{V_R}{z} = +184 \text{ kN}$$

Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: AL+, selektierte Stäbe



$$q_L = \frac{221}{2.4.75.1.75} = 18.6 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 18.6 \cdot 1.75 = 23 \text{ kN}$$

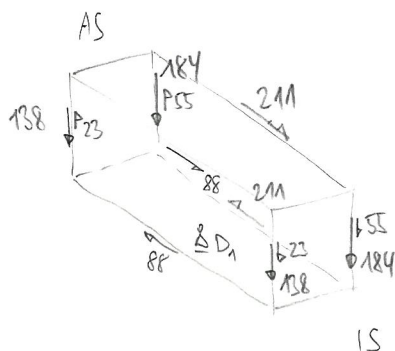
$$F_H = 18.6 \cdot 4.75 = 88 \text{ kN}$$

$$q_R = \frac{527}{2.4.75.1.75} = 44.4 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 44.4 \cdot 1.75 = 55 \text{ kN}$$

$$F_H = 44.4 \cdot 4.75 = 211 \text{ kN}$$

an QT wirdad :



überlagert:  $f_H = (88+211)/4.75 = 62.3 \text{ kN/m}$  (oben/unten)

$$F_{AS} = (138-23) + (184-55) = 244 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \text{auf } b = 55 \text{ cm, 3Hdl: } f_{AS} = 3 \times 148 \text{ kN/m}$$

$$F_{IS} = (138+23) + (184+55) = 400 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \text{auf } b = 55 \text{ cm, 3Hdl: } f_{IS} = 3 \times 242.3 \text{ kN/m}$$

Schnittgrössenvorgabe AL+:

Rechts von D<sub>1</sub> : aus Gleichgewichtssystem, in IDEA

$$\hookrightarrow \underline{N_{x,re} = 0}, \underline{V_{z,re} = 244 \text{ kN}}, \underline{M_{y,re} = -396 \text{ kNm}}$$

Links von D<sub>1</sub> :  $\underline{N_{x,li} = 0}$  (wie rechts)

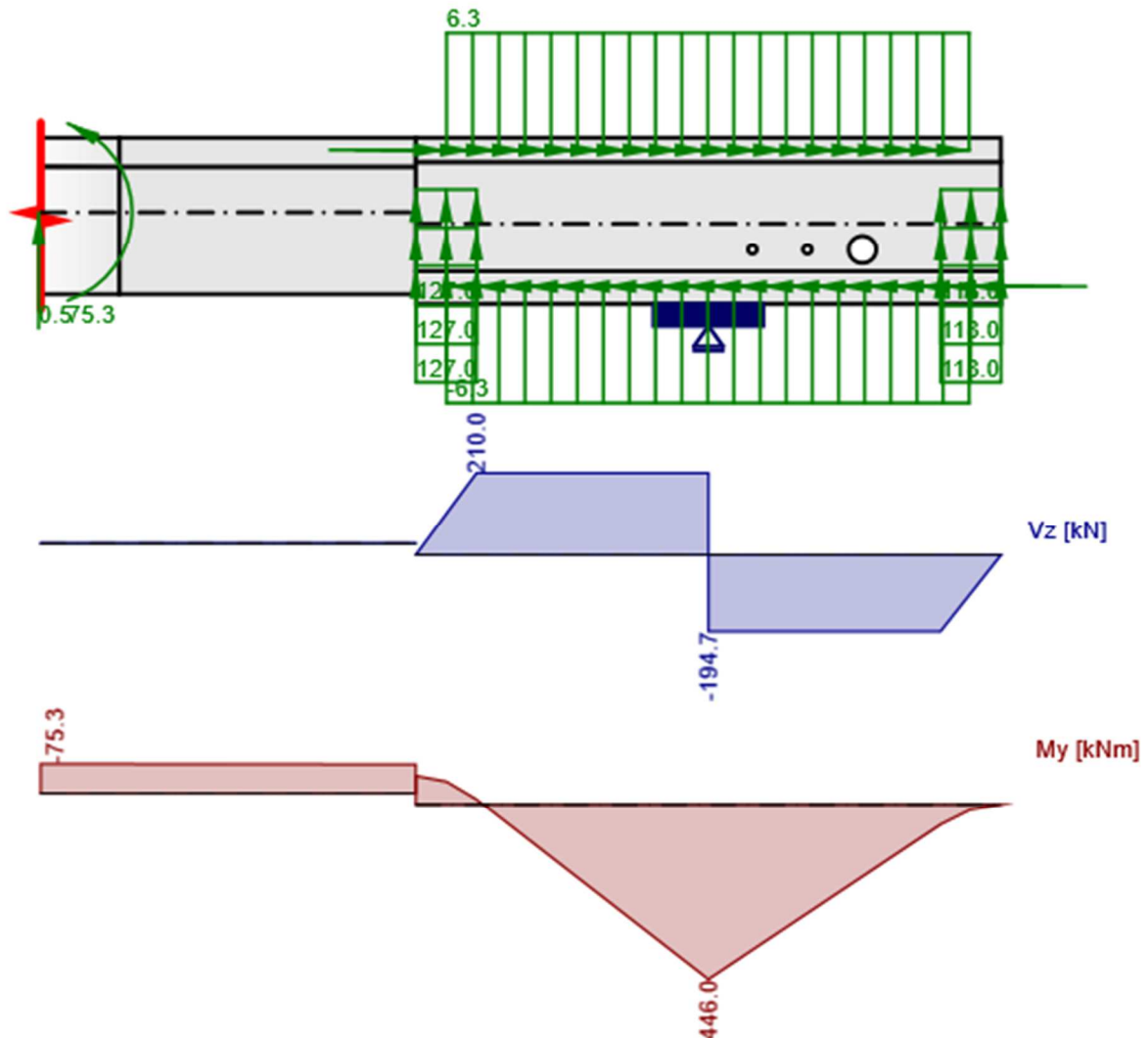
$$\underline{V_{z,li} = F_{15} - V_{kt} = -400 - (-22) = 378 \text{ kN}}$$

↑  
als STATIK.7

$$\underline{M_{y,li} = M_{y,re} = -396 \text{ kNm}}$$



## PTZW (Zwängungsschnittgrößen aus Längsträger-Vorspannung)



### Lastfall PTZW - Ständig

#### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	0.0	210.0	446.0
M2	2.66 m (Rechts)	0.0	-194.7	445.7

#### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
FAS4	118.0	118.0	Global Z	X:8.18;Z:0.208 X:8.73;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>as</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS4	127.0	127.0	Global Z	X:3.41;Z:0.208 X:3.96;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>is</sub> 33.3 % der gesamten indirekten



						Lagerreaktion Innensteg
Ho2	6.3	6.3	Global X	X:3.69;Z:0.568 X:8.44;Z:0.568	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft oben aus Torsion
Hu2	-6.3	-6.3	Global X	X:3.69;Z:-0.682 X:8.44;Z:-0.682	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft unten aus Torsion
FAS5	118.0	118.0	Global Z	X:8.18;Z:-0.142 X:8.73;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS5	127.0	127.0	Global Z	X:3.41;Z:-0.142 X:3.96;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{IS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FAS6	118.0	118.0	Global Z	X:8.18;Z:-0.492 X:8.73;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS6	127.0	127.0	Global Z	X:3.41;Z:-0.492 X:3.96;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{IS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg

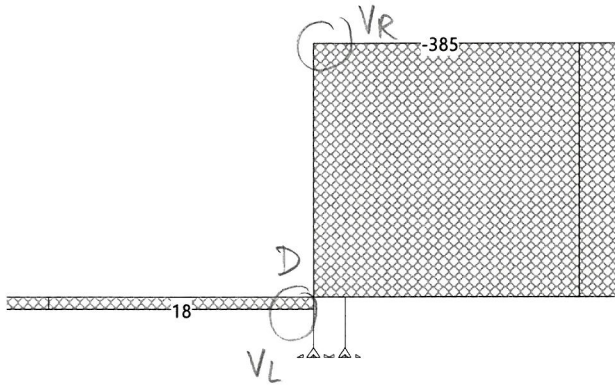


**Resultatkombination**

**Resultatkombination Vorspannung0**

Id Belastung	Faktor	Beschreibung
V1Wa@0	1.000	SG-Gruppe 'V1Wa' BZ: 'Grundzustand'
V1Wi@0	1.000	SG-Gruppe 'V1Wi' BZ: 'Grundzustand'
V2Oa@0	1.000	SG-Gruppe 'V2Oa' BZ: 'Grundzustand'
V2Oi@0	1.000	SG-Gruppe 'V2Oi' BZ: 'Grundzustand'

Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: Vorspannung0, nur Zwängungen, selektierte Stäbe

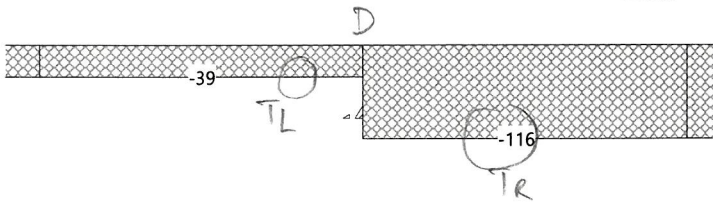


(für 1 Hohlkasten)

$$\frac{V_L}{2} = + 9 \text{ kN}$$

$$\frac{V_R}{2} = - 193 \text{ kN}$$

Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: Vorspannung0, nur Zwängungen, selektierte Stäbe



$$q_L = \frac{39}{2.475 \cdot 1.25} = 3.3 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 3.3 \cdot 1.25 = 4 \text{ kN}$$

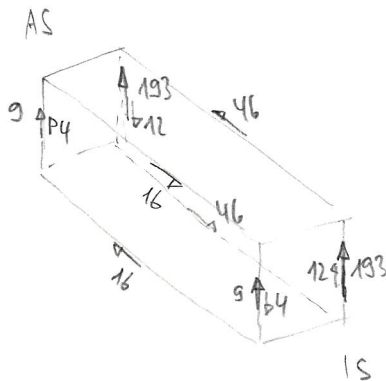
$$F_H = 3.3 \cdot 4.75 = 16 \text{ kN}$$

$$q_R = \frac{116}{2.475 \cdot 1.25} = 9.8 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 9.8 \cdot 1.25 = 12 \text{ kN}$$

$$F_H = 9.8 \cdot 4.75 = 46 \text{ kN}$$

am QT wirkt:



überlagert:  $f_H = (46 - 16) / 4.75 = 6.3 \text{ kN/m}$  (oben/unten)

$$F_{AS} = (9 + 4) + (193 - 12) = 194 \text{ kN (nach oben!)}$$

$$\rightarrow \text{auf } b = 55 \text{ cm, 3 H\u00f6her: } f_{AS} = 3 \times 118 \text{ kN/m (nach oben!)}$$

$$F_{IS} = (9 - 4) + (193 + 12) = 210 \text{ kN (nach oben!)}$$

$$\rightarrow \text{auf } b = 55 \text{ cm, 3 H\u00f6her: } f_{IS} = 3 \times 127 \text{ kN/m (nach oben!)}$$

Schnittgrössenverläufe PTZW:

Rechts von D<sub>A</sub>: aus Gleichgewicht Kräfte, in IDEA

$$\underline{N_{x,re} = 0, V_{z,re} = -195 \text{ kN}, M_{y,re} = 446 \text{ kNm}}$$

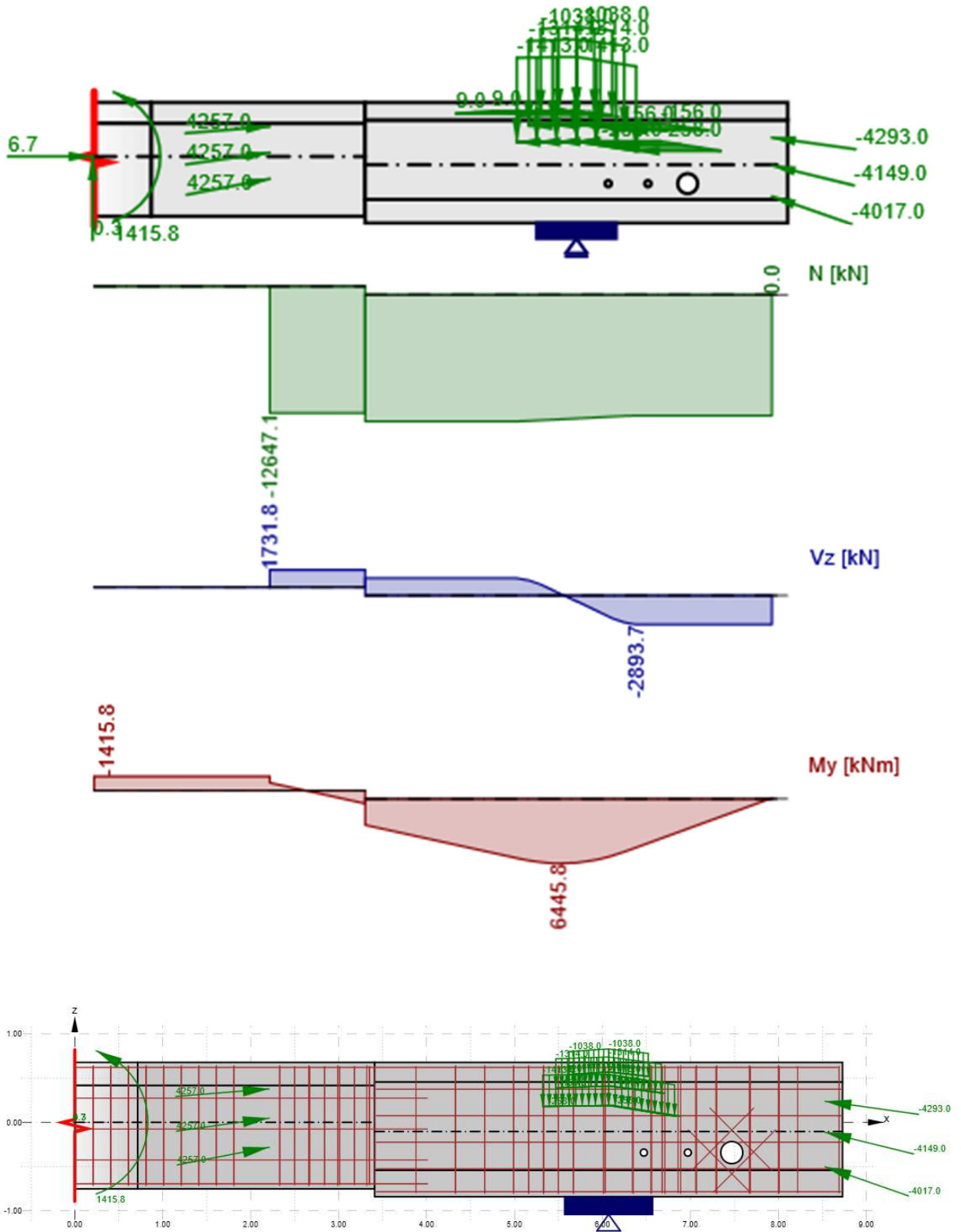
Links von D<sub>A</sub>:  $N_{x,li} = 0$  (wie rechts)

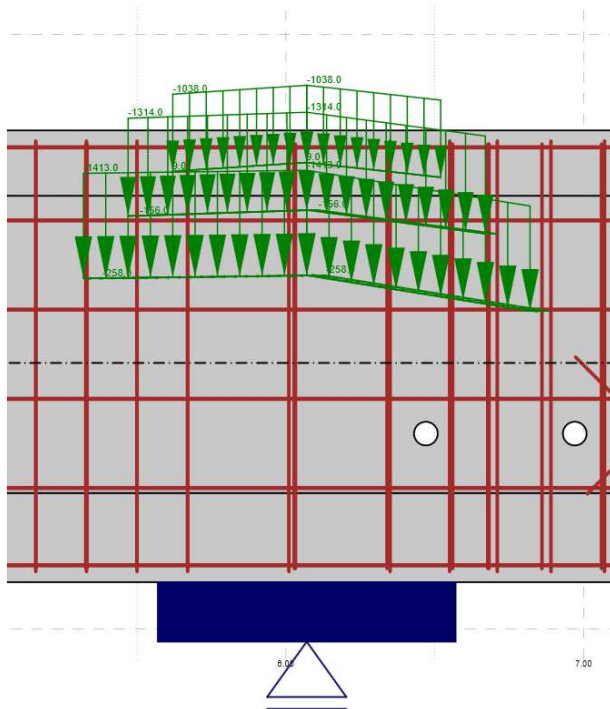
$$\underline{V_{z,li} = F_{10} - V_{QT} = 210 - 0 = 210 \text{ kN}}$$

$$\underline{M_{y,li} = M_{y,re} = 446 \text{ kNm}}$$



**PT123** (Spannglieder Nr. 1, 2 und 3 – jeweils 3 identische Spannglieder nebeneinander zusammengefasst)





## Lastfall PT123 - Ständig

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	-12364.0	-585.0	6376.0
M2	2.66 m (Rechts)	-12363.1	-555.2	6375.9

### Punktlasten

Name	F [kN]	Richtung	$\alpha$ [°]	Haupt	Position [X;Z]	Bemerkungen
An1-A	4257.0	Global X	10.8	M1: MP 1	2.21;0.47	Bezeichnung Statik: P <sub>A</sub> Ankerkraft 1 (3x, nachgelassen)
An1-E	-4017.0	Global X	-19.2	M2: MP 2	-0.2;0.34	Bezeichnung Statik: P <sub>E</sub> Ankerkraft 1 (3x, nachgelassen)
An2-A	4257.0	Global X	8.0	M1: MP 1	2.21;0.8	Bezeichnung Statik: P <sub>A</sub> Ankerkraft 2 (3x, nachgelassen)
An2-E	-4149.0	Global X	-13.7	M2: MP 2	-0.2;0.73	Bezeichnung Statik: P <sub>E</sub> Ankerkraft 2 (3x, nachgelassen)
An3-A	4257.0	Global X	4.6	M1: MP 1	2.21;1.13	Bezeichnung Statik: P <sub>A</sub> Ankerkraft 3 (3x, nachgelassen)
An3-E	-4293.0	Global X	-7.9	M2: MP 2	-0.2;1.08	Bezeichnung Statik: P <sub>E</sub> Ankerkraft 3 (3x, nachgelassen)

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
UL1	-1413.0	-1413.0	Global Z	X:5.32;Z:0.18	1.51	Bezeichnung Statik: u <sub>k</sub>



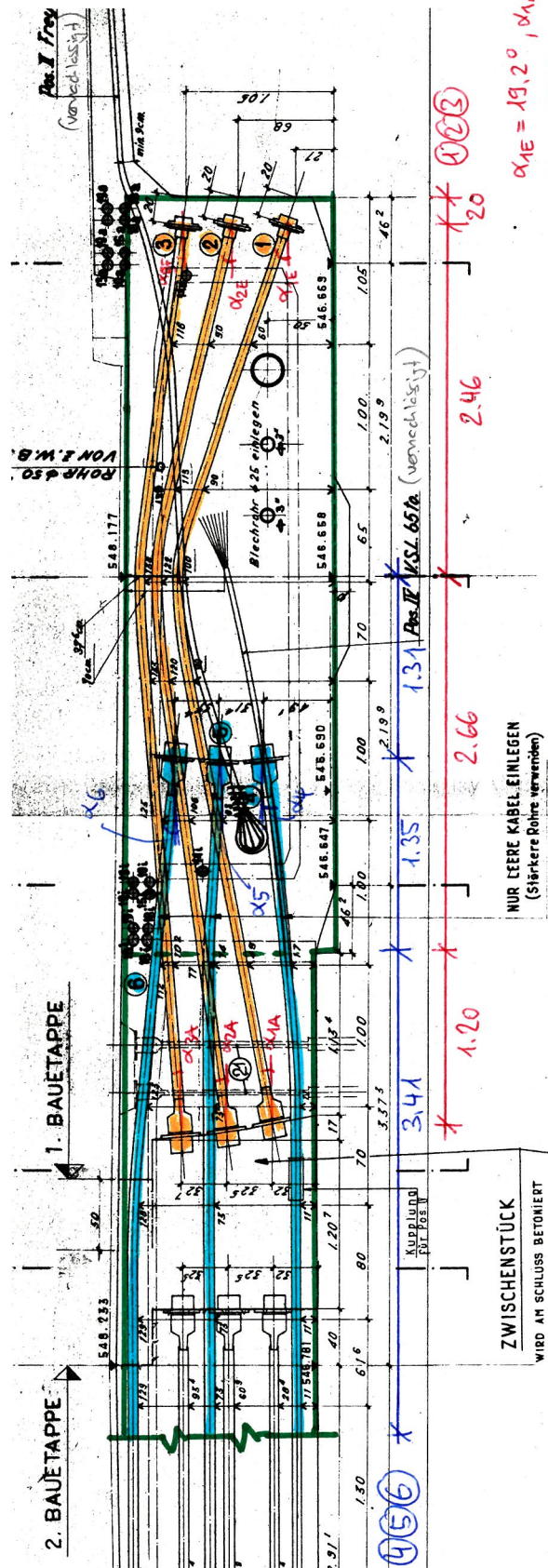


				X:6.07;Z:0.19		vertikale Umlenkraft 1 (3x)
Re1	-258.0	-258.0	Global X	X:5.32;Z:0.18 X:6.07;Z:0.19	1.51	Bezeichnung Statik: $r_k$ horizontale Reibungskraft 1 (3x)
UL2	-1314.0	-1314.0	Global Z	X:5.47;Z:0.39 X:6.07;Z:0.41	1.21	Bezeichnung Statik: $u_k$ vertikale Umlenkraft 2 (3x)
Re2	-156.0	-156.0	Global X	X:5.47;Z:0.39 X:6.07;Z:0.41	1.21	Bezeichnung Statik: $r_k$ horizontale Reibungskraft 2 (3x)
UL3	-1038.0	-1038.0	Global Z	X:5.62;Z:0.54 X:6.07;Z:0.57	0.90	Bezeichnung Statik: $u_k$ vertikale Umlenkraft 3 (3x)
Re3	9.0	9.0	Global X	X:5.62;Z:0.54 X:6.07;Z:0.57	0.90	Bezeichnung Statik: $r_k$ horizontale Reibungskraft 3 (3x)



# Modellbildung Vorspannung Querträger D (aus Kabelplan QT D)

22.3.2023 Pk  
1:50

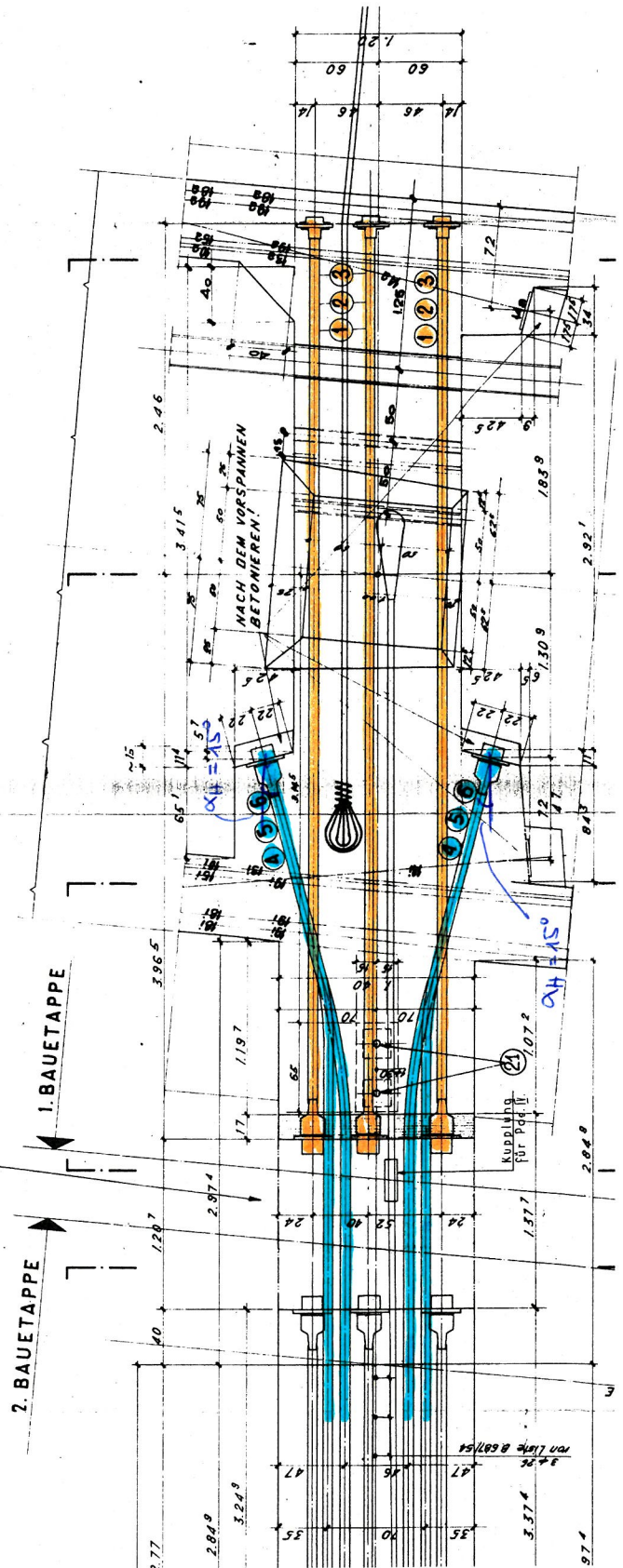


$\alpha_{1E} = 19,2^\circ$ ,  $\alpha_{1A} = 10,8^\circ$   
 $\alpha_{2E} = 13,7^\circ$ ,  $\alpha_{2A} = 8,0^\circ$   
 $\alpha_{3E} = 7,9^\circ$ ,  $\alpha_{3A} = 4,6^\circ$

$\alpha_4 = 6,8^\circ$   
 $\alpha_5 = 3,4^\circ$   
 $\alpha_6 = 6,3^\circ$

1:20

INTALSCHNITT

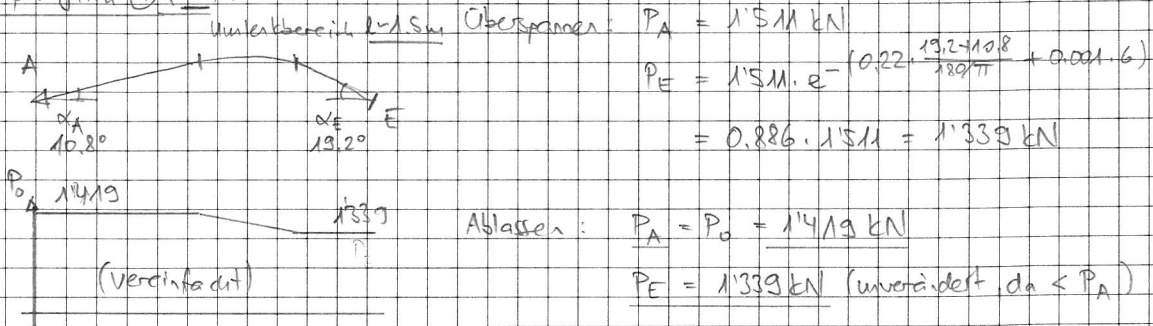




Spannglieder Nr. ①, ②, ③:

- je 3 identische Spannglieder (zusammengefasst)
- beim Innensteg gespannt, beim Anschlag fast verankert
- überspannt auf  $P_U = 1458 \cdot 0,66 \cdot 1570 = 1511 \text{ kN}$  (je Spannglied)
- abgesehen auf  $P_0 = 1458 \cdot 0,62 \cdot 1570 = 1419 \text{ kN}$  ( " )
- Reibungsverluste:  $\mu = 0,22$ ,  $k = 0,001 \text{ 1/m}$ , mit  $P_x = P_0 \cdot e^{-(\mu x + kx^2)}$

Spannglied ① (3x):



Reibungskräfte:  $R_k = 1419 \cdot \cos 10,8^\circ - 1339 \cdot \cos 13,2^\circ = 129 \text{ kN}$

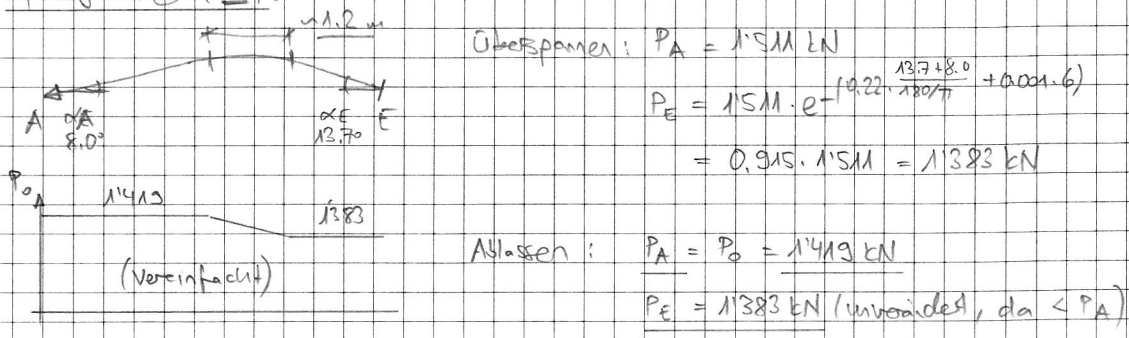
Vereinfacht nur im Umlenkbereich  $l \approx 1,5 \text{ m}$  wirksam:  $r_k = \frac{129}{1,5} = 86 \text{ kN/m}$

Umlenkkräfte:  $U_k = 1419 \cdot \sin 10,8^\circ + 1339 \cdot \sin 13,2^\circ = 706 \text{ kN}$

$\rightarrow$  auf  $l \approx 1,5 \text{ m}$ :  $u_k = \frac{706}{1,5} = 471 \text{ kN/m}$

$\rightarrow$  Werte in IDEA jeweils  $\times 3$  da 3 identische Spannglieder ①

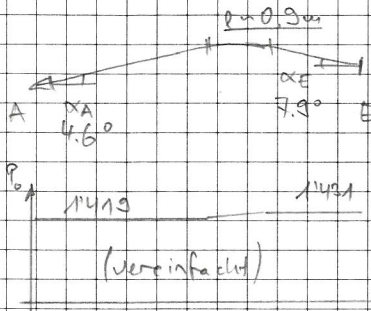
Spannglied ② (3x):



$R_k = 1419 \cdot \cos 8,0^\circ - 1383 \cdot \cos 13,7^\circ = 62 \text{ kN} \rightarrow$  auf  $l = 1,2 \text{ m}$ :  $r_k = \frac{62}{1,2} = 52 \text{ kN/m}$

$U_k = 1419 \cdot \sin 8,0^\circ + 1383 \cdot \sin 13,7^\circ = 525 \text{ kN} \rightarrow$  auf  $l = 1,2 \text{ m}$ :  $u_k = \frac{525}{1,2} = 438 \text{ kN/m}$

Spannglied ③ (Sx):



Überspannen:  $P_A = 1'511 \text{ kN}$

$$P_E = 1'511 \cdot e^{-(0.2 \cdot \frac{7.9 \cdot 4.6}{180/\pi} + 0.001 \cdot 6)}$$

$$= 0.947 \cdot 1'511 = 1'431 \text{ kN}$$

Ärassen:  $P_A = P_a = 1'419 \text{ kN}$

$P_E = 1'431 \text{ kN}$  (unverändert,  $P_E \neq P_A$ )

$$R_k = 1'419 \cdot \cos 4.6^\circ - 1'431 \cdot \cos 7.9^\circ = -3 \text{ kN} \rightarrow \text{auf } l = 0.9 \text{ m} : \underline{r_k} = \frac{-3}{0.9} = \underline{-3 \text{ kN/m}}$$

(negative Reißzug)

$$U_k = 1'419 \cdot \sin 4.6^\circ + 1'431 \cdot \sin 7.9^\circ = 311 \text{ kN} \rightarrow \text{auf } l = 0.9 \text{ m} : \underline{u_k} = \frac{311}{0.9} = \underline{346 \text{ kN/m}}$$

Schnittgrössenangaben PT123:

Rechts von D<sub>1</sub>: aus Gleichgewicht Kräftepaar, in IDEA

$$\hookrightarrow \underline{N_{x,1e}} = -12'364 \text{ kN}, \underline{V_{z,1e}} = -555 \text{ kN}, \underline{M_{y,1e}} = 6'376 \text{ kNm}$$

Links von D<sub>1</sub>:  $\underline{N_{x,1i}} = -12'364 \text{ kN}$  (wie links)

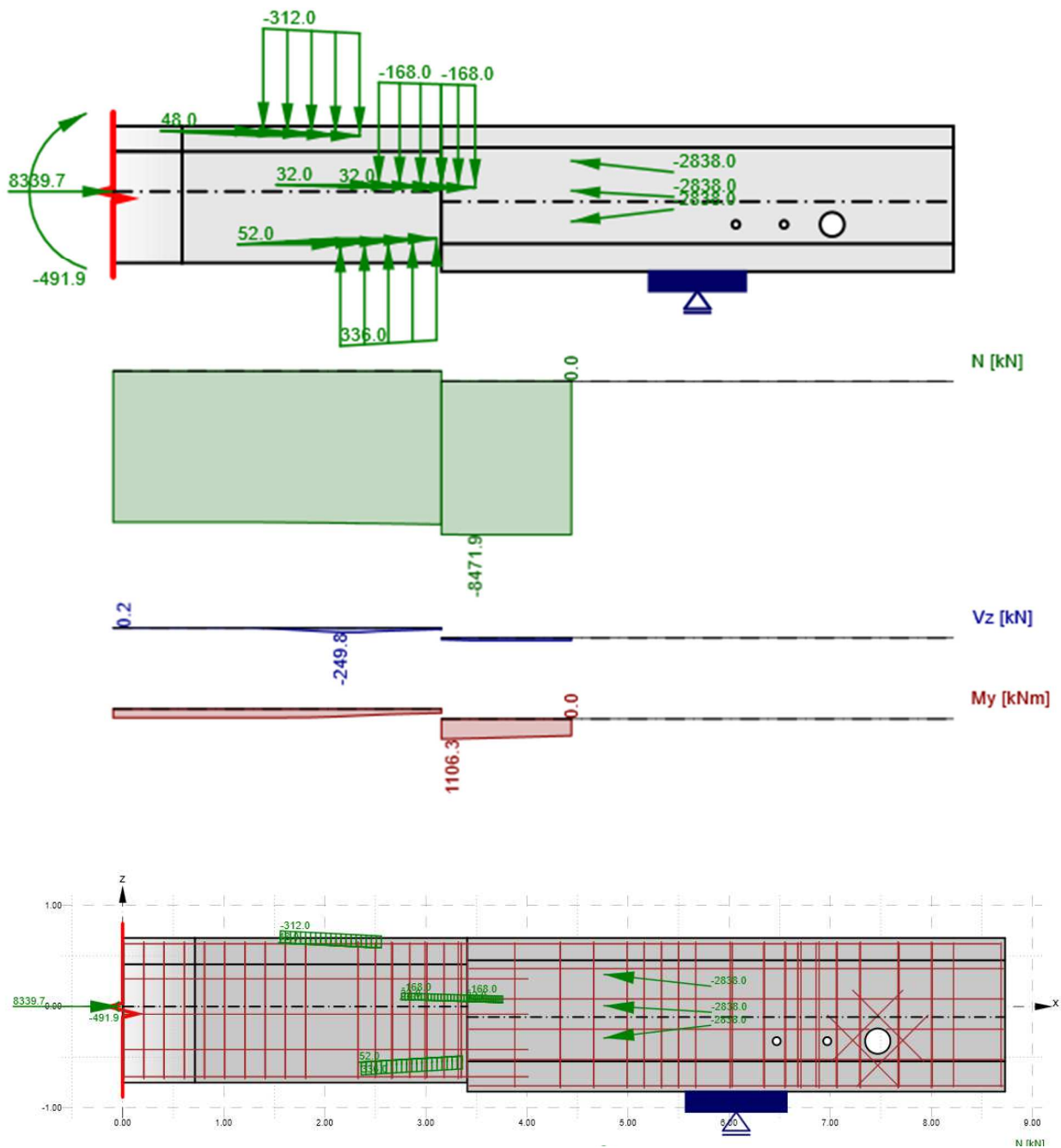
$$\underline{V_{z,1i}} = -585 \text{ kN} \text{ (direkt in IDEA damit, dass } V_{gr} = 0 \text{ in Knotenachse)}$$

$$\underline{M_{y,1i}} = 6'376 \text{ kNm} \text{ (wie links)}$$





**PT456** (Spannglieder Nr. 4, 5 und 6 – jeweils 2 identische Spannglieder nebeneinander zusammengefasst)



## Lastfall PT456 - Ständig

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	0.0	0.0	0.0
M2	2.66 m (Rechts)	0.0	0.0	0.0



## Punktlasten

Name	F [kN]	Richtung	$\alpha$ [°]	Haupt	Position [X;Z]	Bemerkungen
An6-A	-2838.0	Global X	-6.3	M2: MP 1	1.35;1.16	Bezeichnung Statik: P <sub>A</sub> Ankerkraft 6 (2x, nachgelassen)
An5-A	-2838.0	Global X	-3.4	M2: MP 1	1.35;0.85	Bezeichnung Statik: P <sub>A</sub> Ankerkraft 5 (2x, nachgelassen)
An4-A	-2838.0	Global X	6.8	M2: MP 1	1.35;0.53	Bezeichnung Statik: P <sub>A</sub> Ankerkraft 4 (2x, nachgelassen)

## Streckenlasten

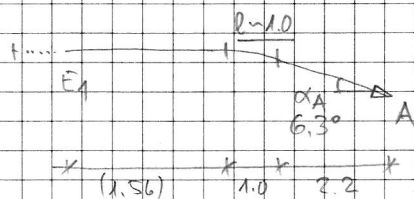
Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
UL6	-312.0	-312.0	Global Z	X:1.56;Z:0.63 X:2.56;Z:0.58	1.00	Bezeichnung Statik: u <sub>k</sub> vertikale Umlenkkraft 6 (2x)
Re6	48.0	48.0	Global X	X:1.56;Z:0.63 X:2.56;Z:0.58	1.00	Bezeichnung Statik: r <sub>k</sub> horizontale Reibungskraft 6 (2x)
UL5	-168.0	-168.0	Global Z	X:2.76;Z:0.07 X:3.76;Z:0.04	1.00	Bezeichnung Statik: u <sub>k</sub> vertikale Umlenkkraft 5 (2x)
Re5	32.0	32.0	Global X	X:2.76;Z:0.07 X:3.76;Z:0.04	1.00	Bezeichnung Statik: r <sub>k</sub> horizontale Reibungskraft 5 (2x)
UL4	336.0	336.0	Global Z	X:2.36;Z:-0.55 X:3.36;Z:-0.49	1.00	Bezeichnung Statik: u <sub>k</sub> vertikale Umlenkkraft 4 (2x)
Re4	52.0	52.0	Global X	X:2.36;Z:-0.55 X:3.36;Z:-0.49	1.00	Bezeichnung Statik: r <sub>k</sub> horizontale Reibungskraft 4 (2x)



Spannglieder Nr. ④, ⑤, ⑥:

- je 2 identische Spannglieder (zusammengefasst)
- ④ beidseitig gespannt, ⑤ + ⑥ beidseitig gespannt und in Baustufe 2 fest verankert
- überspannt  $P_H = 1'511 \text{ kN}$ , abgelesen  $P_0 = 1'419 \text{ kN}$  (je Spannglied)
- $\mu = 0,22$ ,  $k = 0,001 \text{ 1/m}$

Spannglied ⑥ (2x):

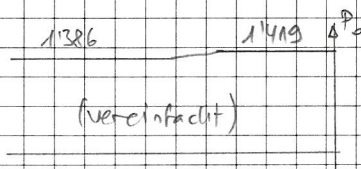


mit  $\alpha_H = 15^\circ$  im Grundriss, verschleift im Umlenkbereich  
 $l = 1,0 \text{ m}$  wirkend

Überspannen:  $P_A = 1'511 \text{ kN}$

$$P_{E1} = 1'511 \cdot e^{-\left(0,22 \cdot \frac{1,5+6,3}{1,82/\pi} + 0,001 \cdot 1,5\right)}$$

$$= 0,917 \cdot 1'511 = 1'386 \text{ kN}$$



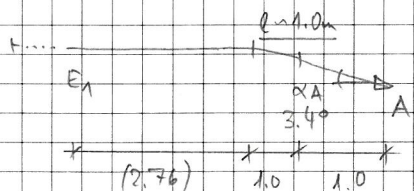
Ablassen:  $P_A = P_0 = 1'419 \text{ kN}$

$P_{E1} = 1'386 \text{ kN}$  (unverändert, da  $< P_A$ )

$$R_k = 1'419 \cdot \cos 6,3^\circ - 1'386 = 24 \text{ kN} \rightarrow \text{auf } l = 1,0 \text{ m} : r_k = \frac{24}{1,0} = 24 \text{ kN/m}$$

$$U_k = 1'419 \cdot \sin 6,3^\circ = 156 \text{ kN} \rightarrow \text{auf } l = 1,0 \text{ m} : u_k = \frac{156}{1,0} = 156 \text{ kN/m}$$

Spannglied ⑤ (2x):

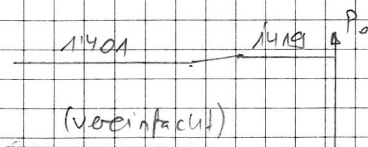


mit  $\alpha_H = 15^\circ$  im Grundriss

Überspannen:  $P_A = 1'511 \text{ kN}$

$$P_{E1} = 1'511 \cdot e^{-\left(0,22 \cdot \frac{1,5+3,4}{1,62/\pi} + 0,001 \cdot 1,5\right)}$$

$$= 0,927 \cdot 1'511 = 1'401 \text{ kN}$$



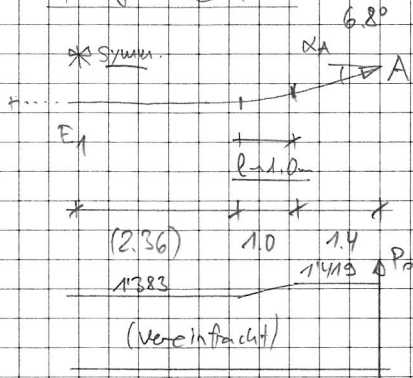
Ablassen:  $P_A = P_0 = 1'419 \text{ kN}$

$P_{E1} = 1'401 \text{ kN}$  (unverändert, da  $< P_A$ )

$$R_k = 1'419 \cdot \cos 3,4^\circ - 1'401 = 16 \text{ kN} \rightarrow \text{auf } l = 1,0 \text{ m} : r_k = \frac{16}{1,0} = 16 \text{ kN/m}$$

$$U_k = 1'419 \cdot \sin 3,4^\circ = 84 \text{ kN} \rightarrow \text{auf } l = 1,0 \text{ m} : u_k = \frac{84}{1,0} = 84 \text{ kN/m}$$

Springglied (4) (2x):



mit  $\alpha_A = 15^\circ$  im Grundriss

Überspannen:  $P_A = 1.5 \text{ MN}$   
 $P_{EA} = 1.5 \cdot 11 \cdot e^{-(0.22 \cdot \frac{1.5 \cdot 6.8}{1.383} + 0.001 \cdot 5)}$   
 $= 0.915 \cdot 1.5 \cdot 11 = 1.383 \text{ kN}$

Ablassen:  $P_A = P_0 = 1.419 \text{ kN}$   
 $P_{EA} = 1.383 \text{ kN}$  (unverändert, da  $< P_A$ )

$R_k = 1.419 \cdot \cos 6.8^\circ - 1.383 = 26 \text{ kN} \rightarrow$  auf  $l = 1.0 \text{ m}$ :  $r_k = \frac{26}{1.0} = 26 \text{ kN/m}$

$U_k = 1.419 \cdot \sin 6.8^\circ = 168 \text{ kN} \rightarrow$  auf  $l = 1.0 \text{ m}$ :  $u_k = \frac{168}{1.0} = 168 \text{ kN/m}$

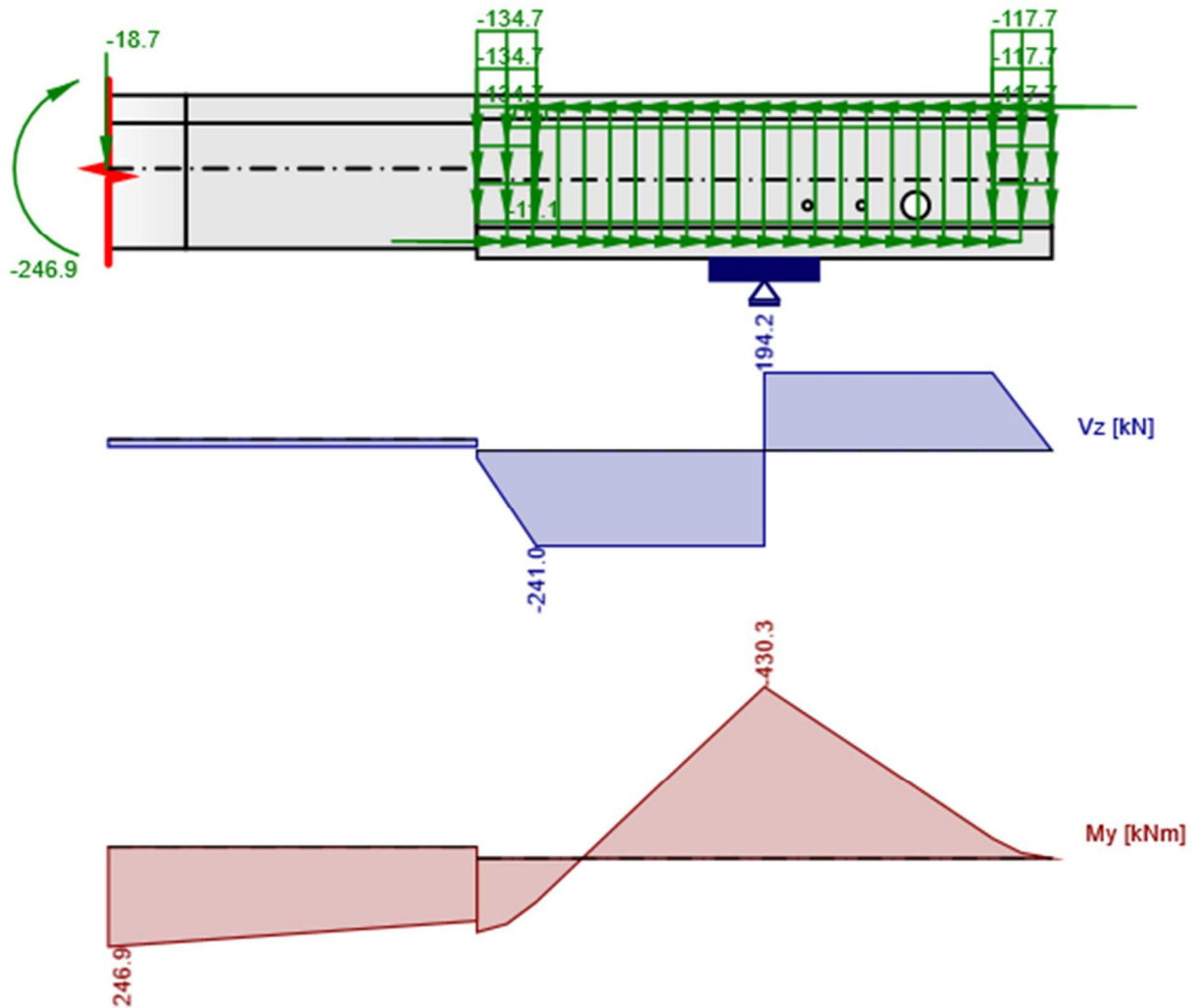
Schnittgrößenvorgaben PT456:

Rechts und links von  $D_1$  ist  $N_{x,ri} = N_{x,re} = V_{z,li} = V_{z,re} = M_{z,ri} = M_{z,re} = 0$

(da Bereich um  $D_1$  entlastet)



## LM1-Achs



## Lastfall LM1-Achs - Veränderlich

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	0.0	-241.0	-430.0
M2	2.66 m (Rechts)	0.0	194.2	-430.3

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
FA57	-117.7	-117.7	Global Z	X:8.18;Z:0.208 X:8.73;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>as</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS7	-134.7	-134.7	Global Z	X:3.41;Z:0.208 X:3.96;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>as</sub> 33.3 % der gesamten indirekten

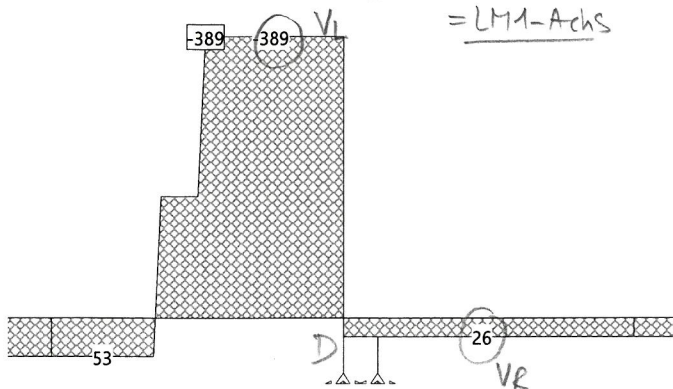




						Lagerreaktion Innensteg
Ho3	-11.1	-11.1	Global X	X:3.69;Z:0.568 X:8.44;Z:0.568	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft oben aus Torsion
Hu3	11.1	11.1	Global X	X:3.69;Z:-0.682 X:8.44;Z:-0.682	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft unten aus Torsion
FAS8	-117.7	-117.7	Global Z	X:8.18;Z:-0.142 X:8.73;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS8	-134.7	-134.7	Global Z	X:3.41;Z:-0.142 X:3.96;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FAS9	-117.7	-117.7	Global Z	X:8.18;Z:-0.492 X:8.73;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS9	-134.7	-134.7	Global Z	X:3.41;Z:-0.492 X:3.96;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg

Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: LM1Q-9o, selektierte Stäbe

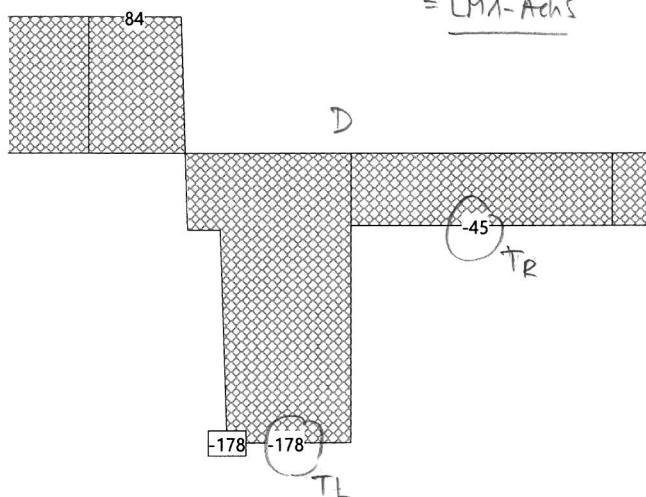
(für 1 Holzkasten)



$$\frac{V_L}{2} = -195 \text{ kN}$$

$$\frac{V_R}{2} = +19 \text{ kN}$$

Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: LM1Q-9o, selektierte Stäbe



$$q_L = \frac{178}{2 \cdot 4,95 \cdot 1,25} = 15 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 15 \cdot 1,25 = 19 \text{ kN}$$

$$F_H = 15 \cdot 4,95 = 71 \text{ kN}$$

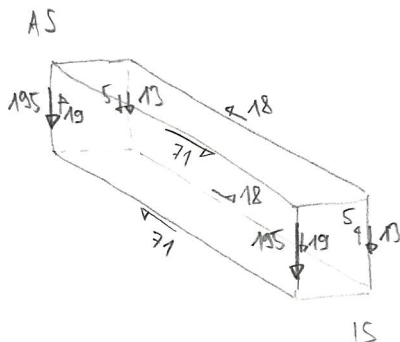
$$q_R = \frac{45}{2 \cdot 4,95 \cdot 1,25} = 3,8 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 3,8 \cdot 1,25 = 5 \text{ kN}$$

$$F_H = 3,8 \cdot 4,95 = 18 \text{ kN}$$

am QT wirkt es:

überlagert:  $f_H = (71 - 18) / 4,95 = 11,1 \text{ kN/m}$  (oben/unten)



$$F_{AS} = (195 - 19) + (13 + 5) = 194 \text{ kN}$$

→ auf  $b = 55 \text{ cm}$ , 3 Höhen:  $f_{AS} = 3 \times 117,7 \text{ kN/m}$

$$F_{IS} = (195 + 19) + (13 - 5) = 222 \text{ kN}$$

→ auf  $b = 55 \text{ cm}$ , 3 Höhen:  $f_{IS} = 3 \times 134,7 \text{ kN/m}$



Schnittgrössenvorgabe LMA-Achse:

Rechts von D<sub>1</sub>: aus Gleichgewicht Kragarm, in IDEA

$$\hookrightarrow N_{x,1r} = 0, V_{z,1r} = 194 \text{ kN}, M_{y,1r} = -430 \text{ kNm}$$

Links von D<sub>1</sub>:  $N_{x,1l} = 0$  (wie rechts)

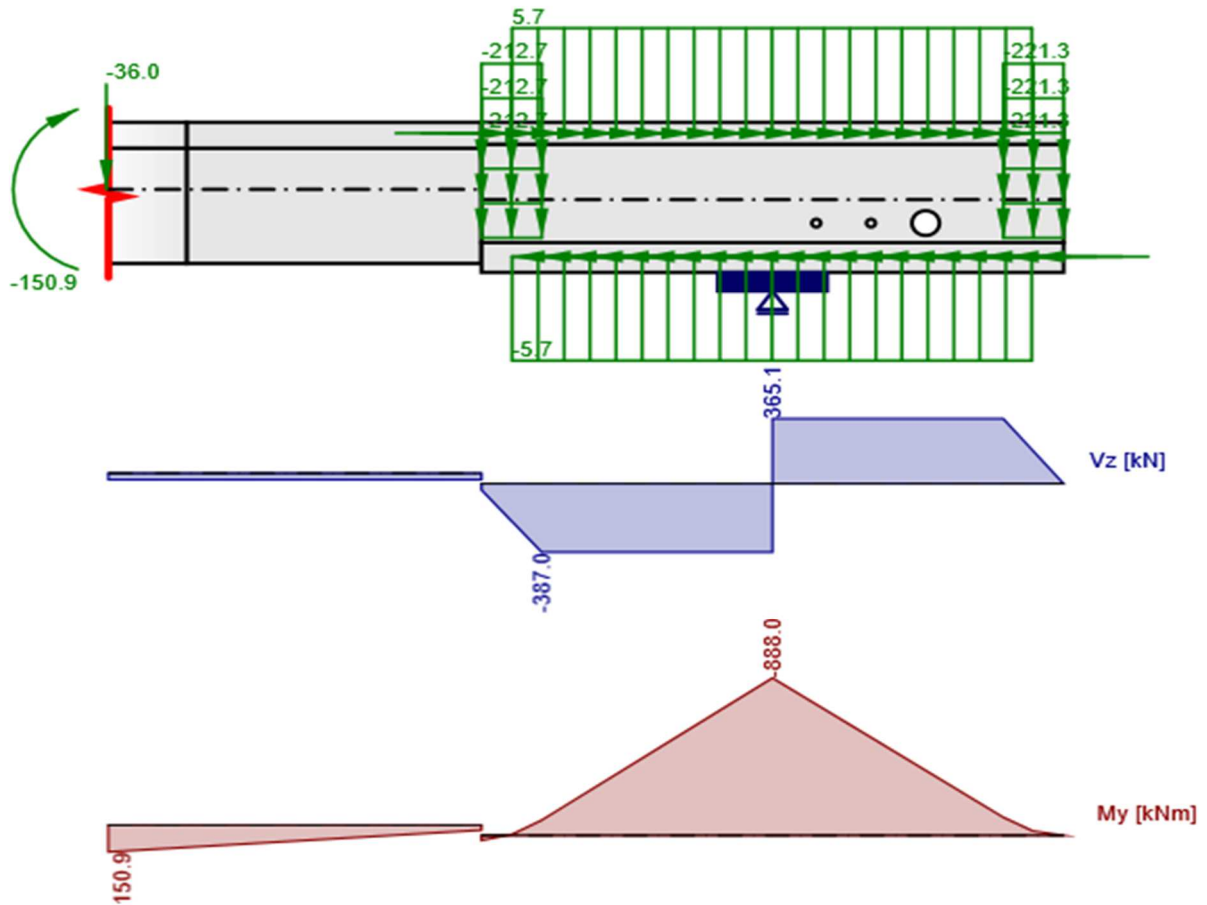
$$V_{z,1l} = F_{15} - V_{QT} = -222 - 19 = -241 \text{ kN}$$

$\downarrow$  aus STATIK-7

$$M_{y,1l} = M_{y,1r} = -430 \text{ kNm}$$



## LM1vert+NiMot



## Lastfall LM1vert+NiMot - Veränderlich

### Schnittgrößen in den Auflagern oder Abschnitten

Bauteil	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M2	2.66 m (Links)	0.0	-387.0	-888.0
M2	2.66 m (Rechts)	0.0	365.1	-887.8

### Streckenlasten

Name	Anfang [kN/m]	Ende [kN/m]	Richtung	Position	Länge [m]	Bemerkungen
FIS10	-212.7	-212.7	Global Z	X:3.41;Z:0.208 X:3.96;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>AS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FAS10	-221.3	-221.3	Global Z	X:8.18;Z:0.208 X:8.73;Z:0.208	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>AS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS11	-212.7	-212.7	Global Z	X:3.41;Z:-0.142 X:3.96;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>AS</sub> 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FAS11	-221.3	-221.3	Global Z	X:8.18;Z:-0.142	0.55	Bezeichnung Statik: f <sub>AS</sub>



				X:8.73;Z:-0.142		33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
FIS12	-212.7	-212.7	Global Z	X:3.41;Z:-0.492 X:3.96;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Innensteg
FAS12	-221.3	-221.3	Global Z	X:8.18;Z:-0.492 X:8.73;Z:-0.492	0.55	Bezeichnung Statik: $f_{AS}$ 33.3 % der gesamten indirekten Lagerreaktion Aussensteg
Ho4	5.7	5.7	Global X	X:3.69;Z:0.568 X:8.44;Z:0.568	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft oben aus Torsion
Hu4	-5.7	-5.7	Global X	X:3.69;Z:-0.682 X:8.44;Z:-0.682	4.75	Bezeichnung Statik: $f_H$ Längskraft unten aus Torsion

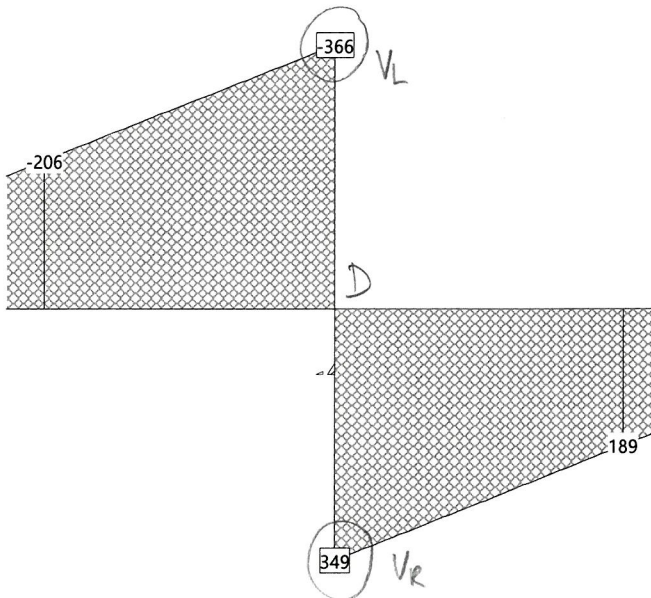
**Resultatkombination**

**Resultatkombination LM1vert+NiMot**

Id Belastung	Faktor	Beschreibung
LM1q-ABo	1.000	Lastmodell 1 verteilte Lasten AB Ost
LM1q-CDo	1.000	Lastmodell 1 verteilte Lasten CD Ost
LM1q-DEo	1.000	Lastmodell 1 verteilte Lasten DE Ost
NiMotABo	0.267	Nichtmot. Verkehr AB Ost ZBB
NiMotCDo	0.267	Nichtmot. Verkehr CD Ost ZBB
NiMotDEo	0.267	Nichtmot. Verkehr DE Ost ZBB

Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: LM1vert+NiMot, selektierte Stäbe

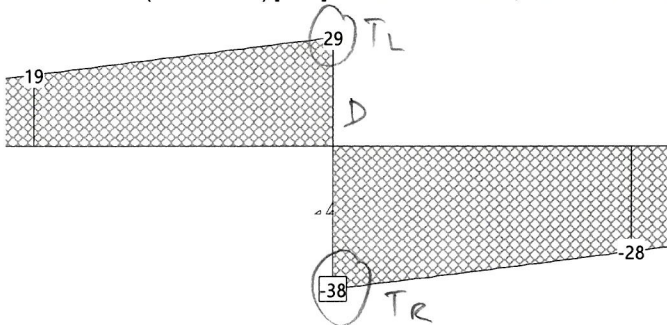
(für 1 Hohlkasten)



$$\frac{V_L}{2} = -183 \text{ kN}$$

$$\frac{V_R}{2} = +175 \text{ kN}$$

Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: LM1vert+NiMot, selektierte Stäbe



$$q_L = \frac{29}{2.475 \cdot 1.25} = 2.4 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 2.4 \cdot 1.25 = 3 \text{ kN}$$

$$F_H = 2.4 \cdot 4.75 = 12 \text{ kN}$$

$$q_R = \frac{38}{2.475 \cdot 1.25} = 3.2 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow F_V = 3.2 \cdot 1.25 = 4 \text{ kN}$$

$$F_H = 3.2 \cdot 4.75 = 15 \text{ kN}$$

am QT wird bed:

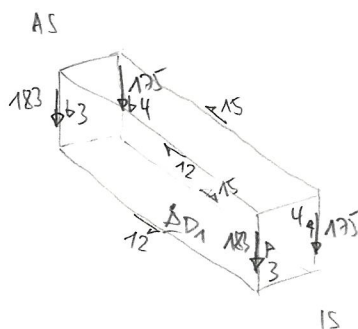
überlagert:  $f_H = (15+12)/4.75 = 5.7 \text{ kN/m}$  (oben/unten)

$$F_{AS} = (183+3) + (175+4) = 365 \text{ kN}$$

→ auf  $b=55\text{cm}$ , 3 Höhen:  $f_{AS} = 3 \times 221.3 \text{ kN/m}$

$$F_{IS} = (183-3) + (175-4) = 351 \text{ kN}$$

→ auf  $b=55\text{cm}$ , 3 Höhen:  $f_{IS} = 3 \times 212.7 \text{ kN/m}$





Schnittgrössenvorgabe LMI Vest + NiMat:

Rechts von D<sub>1</sub>: aus Gleichgewicht Kragarm, in IDEA

$$\rightarrow \underline{N_{x,rc} = 0}, \underline{V_{z,rc} = 365 \text{ kN}}, \underline{M_{y,rc} = -888 \text{ kNm}}$$

Links von D<sub>1</sub>:  $\underline{N_{x,li} = 0}$  (wie rechts)

$$\underline{V_{z,li} = F_{15} - V_{QT} = -351 - 36 = -387 \text{ kN}}$$

↑  
aus STATIK-7

$$\underline{M_{y,li} = M_{y,rc} = -888 \text{ kNm}}$$





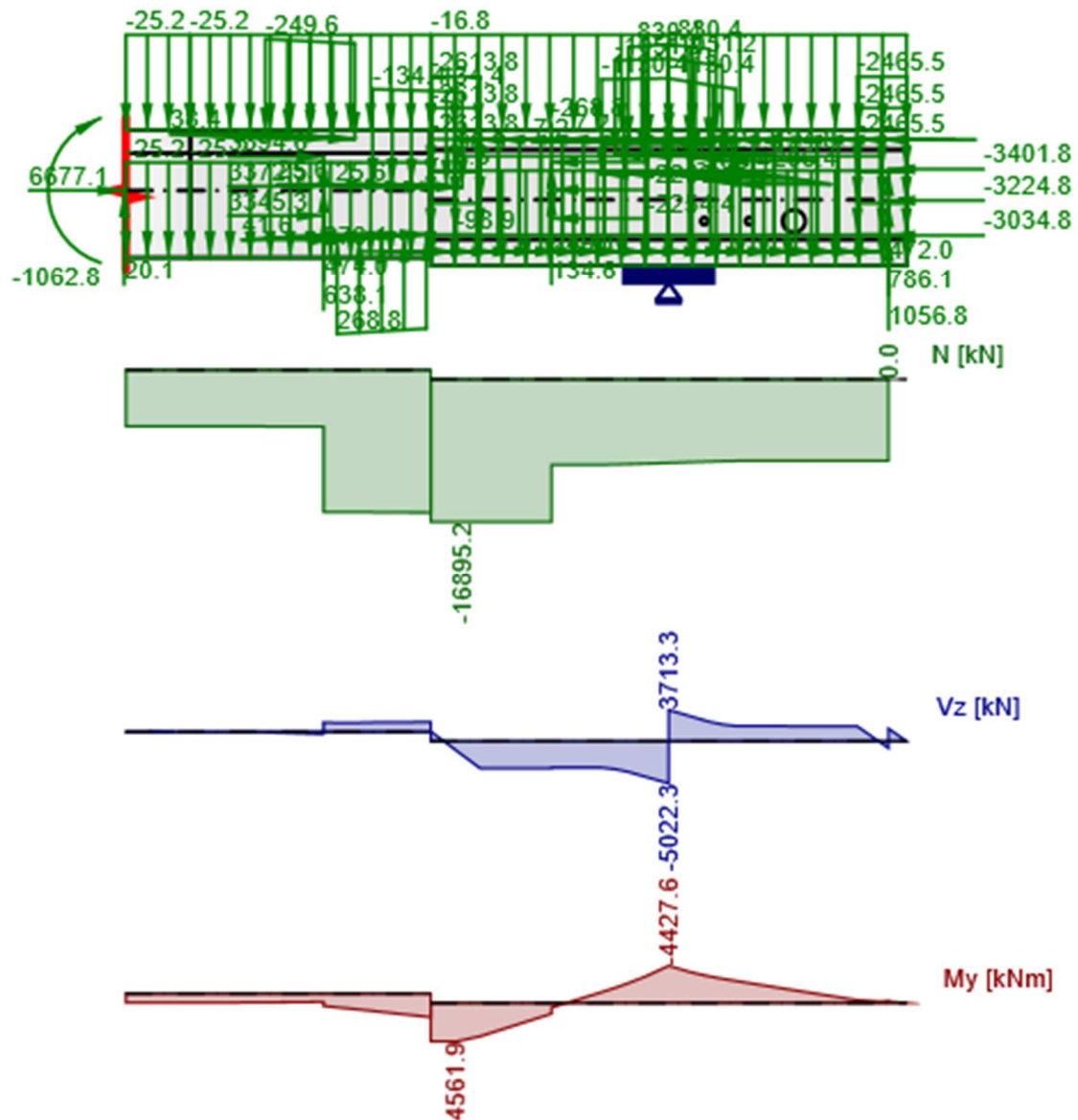
## Kombination

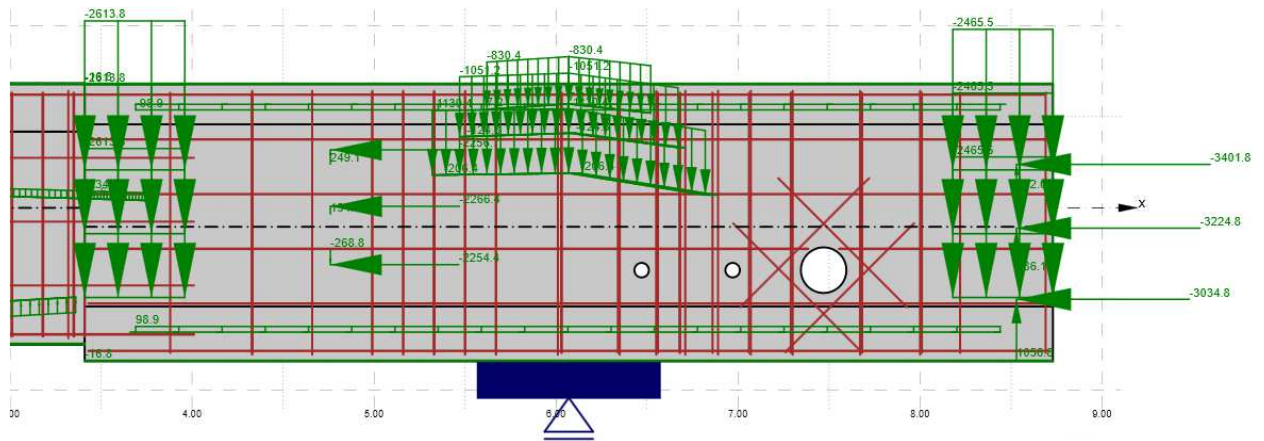
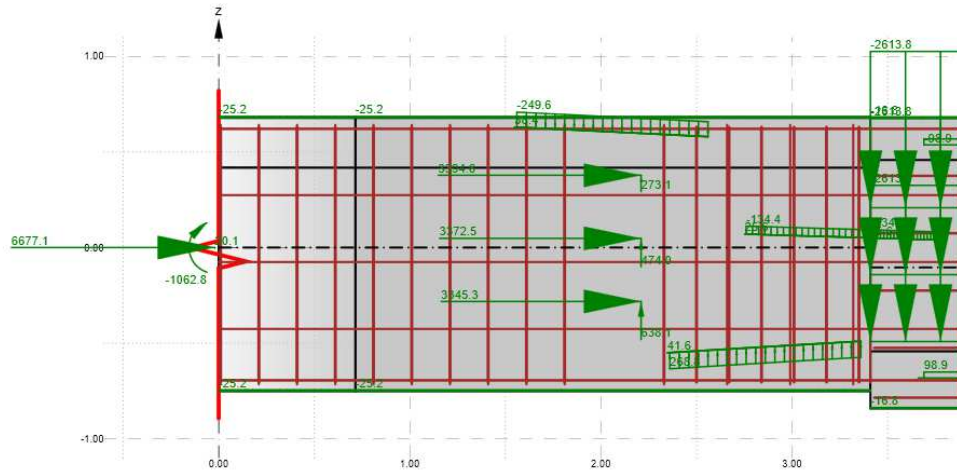
Name	Typ	Inhalt
ULS	ULS	1.20*EGQT + 1.20*EGAL + 0.80*PT123 + 0.80*PT456 + 0.80*PTZW + 1.50*LM1-Achs + 1.50*LM1vert+NiMot + 1.35*AL+

Die Last- und Reduktionsbeiwerte werden gemäss [1] berücksichtigt. Für die untersuchte, massgebende Lastkombination sind dies folgende:

- Eigenlasten, Auflasten (bestehend):  $\gamma_{G,act} = 1.20$
- Mehrauflasten (projektiert):  $\gamma_G = 1.35$
- Vorspannung:  $\gamma_P = 1.00$  (inkl. Langzeitverluste von 20 %, d.h. Faktor von 0.80)
- Strassenverkehr:  $\gamma_Q = 1.50$  (Leiteinwirkung)
- Nichtmotorisierter Verkehr:  $\psi_0 = 0.40$  (Begleiteinwirkung)

## ULS







## 6 Resultate (Überprüfungssituation)

Nachfolgend sind die Resultate der Berechnung IDEA StatiCa Detail für die untersuchte Überprüfungssituation dargestellt. Die Resultate sind i.d.R. massstäblich (nicht-überhöht) dargestellt.

### Ergebnisse

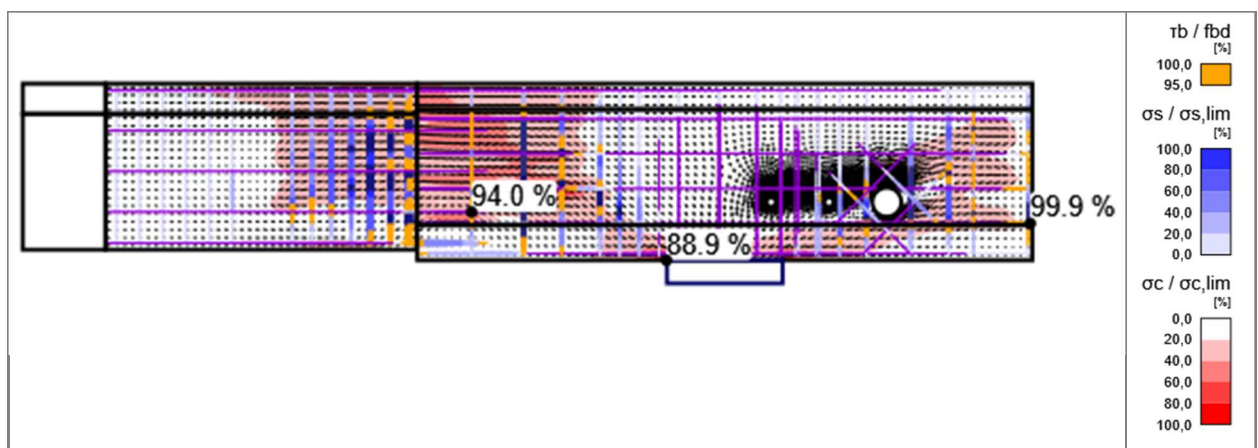
#### Übersicht

#### Übersichtstabelle

Nachweisposition	Kombination	Stufe	Position	
GZT	ULS	G100.0%, V100.0%	Bewehrungsfestigkeit	✓
Nachweisposition	Position	Ausnutzung		
Betonfestigkeit	M2	$\sigma_c / \sigma_{c,lim}$ : 88.9%		✓
Bewehrungsfestigkeit	KH150,152	$\epsilon_s / \epsilon_{s,lim}$ : 68.9%, $\sigma_s / \sigma_{s,lim}$ : 94.0%		✓
Verankerungslänge	St801-802	$\tau_b / f_{bd}$ : 99.9%		✓

#### GZT - Übersicht

#### Spannungsverlauf



Über Streckgrenze	Druck	Erläuterungen
		Dicke proportional zur Kraft

#### Übersicht der Lagerreaktionen und angewendeten Lasten: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

Typ	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>z</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]
Summe der Lagerreaktionen	-0.5	8735.5	53024.3
Summe der angewendeten Lasten	0.7	-8735.6	-53025.9
Kontrolle des Gleichgewichts	0.2	-0.2	-1.6



## GZT - Tragfähigkeit

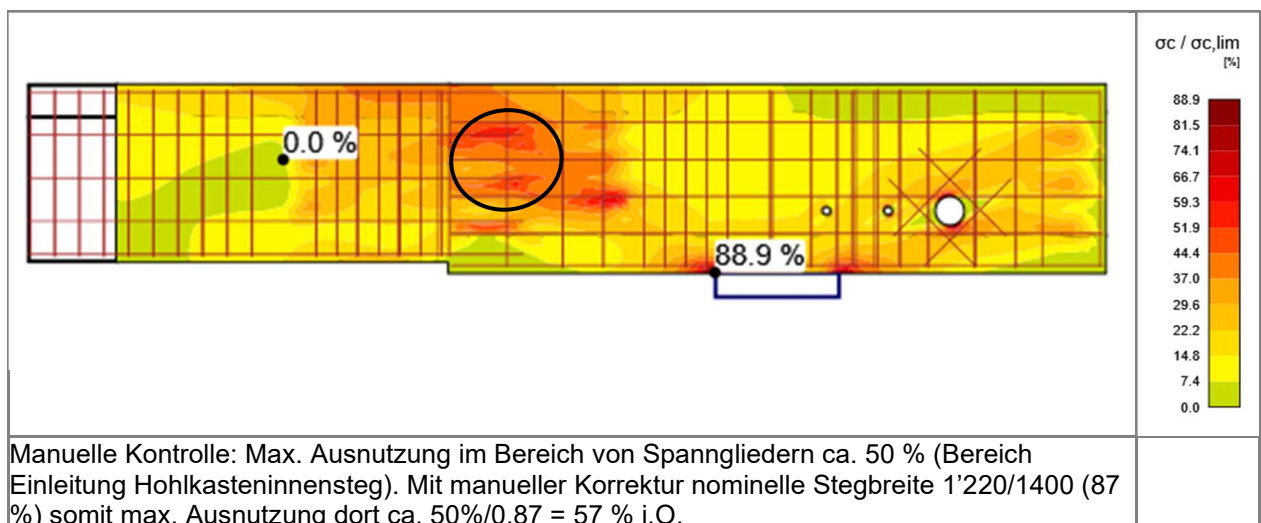
### Detaillierte Ergebnisse der Betonfestigkeit: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

Bauteil	X [m]	Z [m]	$\sigma_c$ [MPa]	$\epsilon_c$ [1e-4]	$\epsilon_{pl}$ [1e-4]	$k_{c2}$ [-]	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$ [%]	
M2	5.56	-0.84	-28.2	-11.0	-3.3	1.00	88.9	OK
M2	3.75	-0.47	-9.1	-5.8	-1.0	0.54	52.7	OK
M1	3.01	0.68	-13.7	-4.3	-0.4	1.00	43.2	OK
M1	3.41	-0.40	-4.9	-2.0	0.0	0.69	22.4	OK

### Detaillierte Ergebnisse der Bewehrungsfestigkeit: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

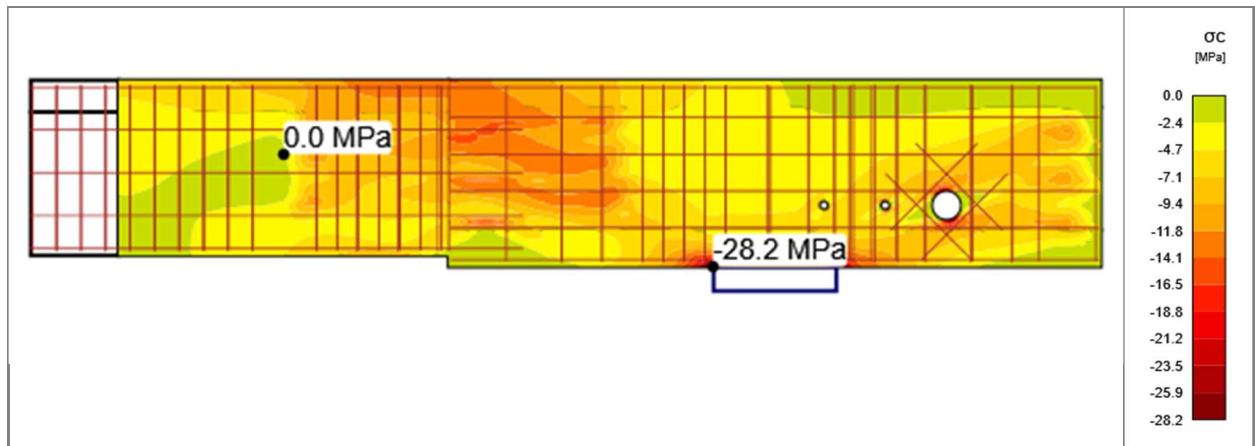
Bauteil	X [m]	Z [m]	$\sigma_s$ [MPa]	$\epsilon_s$ [1e-4]	$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ [%]	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ [%]	
KH150,152	3.88	-0.43	417.5	80.9	94.0	68.9	OK
Bg75-76	4.66	-0.20	436.3	40.2	97.0	65.4	OK
Bg77	4.66	-0.20	436.3	40.2	97.0	65.4	OK
Bg74	3.35	-0.42	431.1	33.6	95.8	54.7	OK
Bg78	3.32	-0.07	430.5	32.9	95.7	53.5	OK
Bg71-73	4.33	-0.16	375.0	37.4	84.5	31.8	OK
St80-81(17)	3.48	-0.69	267.9	6.9	59.5	5.9	OK
St804b	7.76	-0.38	219.9	7.2	48.9	3.7	OK
St804b	7.74	-0.35	219.3	7.6	48.7	3.5	OK
Bg13	1.81	-0.23	148.5	1.1	33.0	1.8	OK
St79	3.97	-0.79	145.5	2.8	32.3	1.7	OK
St801-802	4.84	-0.23	149.5	2.4	33.2	1.7	OK
Bg10	1.81	-0.26	138.4	1.0	30.8	1.6	OK
St85	3.60	0.27	-110.4	-5.4	24.5	1.2	OK
St38,91-93	3.47	0.62	-85.7	-4.2	19.0	0.9	OK
St804a	7.89	-0.17	98.2	1.7	21.8	0.8	OK
Bg6	1.61	-0.26	84.7	0.3	19.1	0.3	OK
St38,91-93	8.34	0.62	61.3	0.3	13.6	0.2	OK
St85	3.33	-0.43	17.4	0.1	3.9	0.1	OK

### Verhältnis Spannung / Festigkeit des Betons

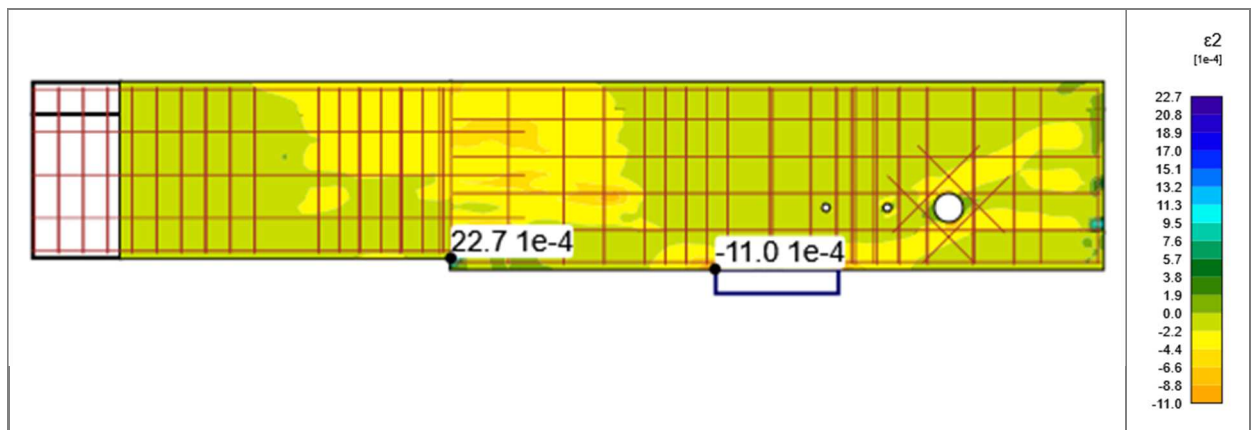




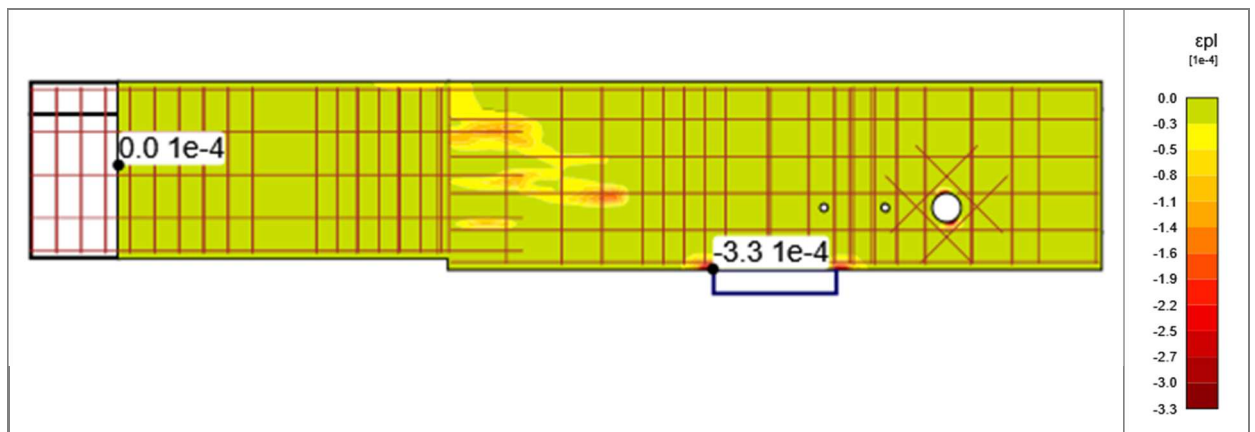
### Beton-Hauptspannung $\sigma_c$



### Beton-Hauptdehnung $\epsilon_c$



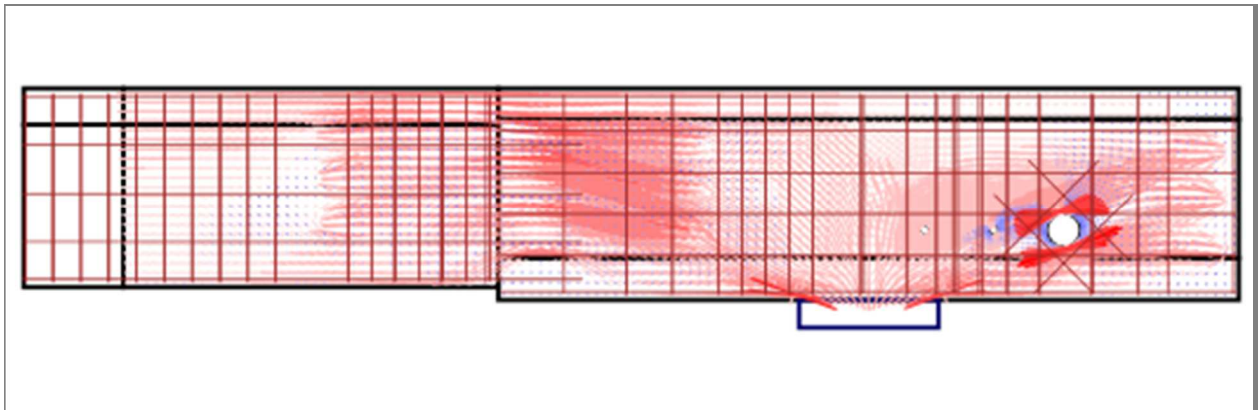
### Plastische Dehnung Beton $\epsilon_{pl}$



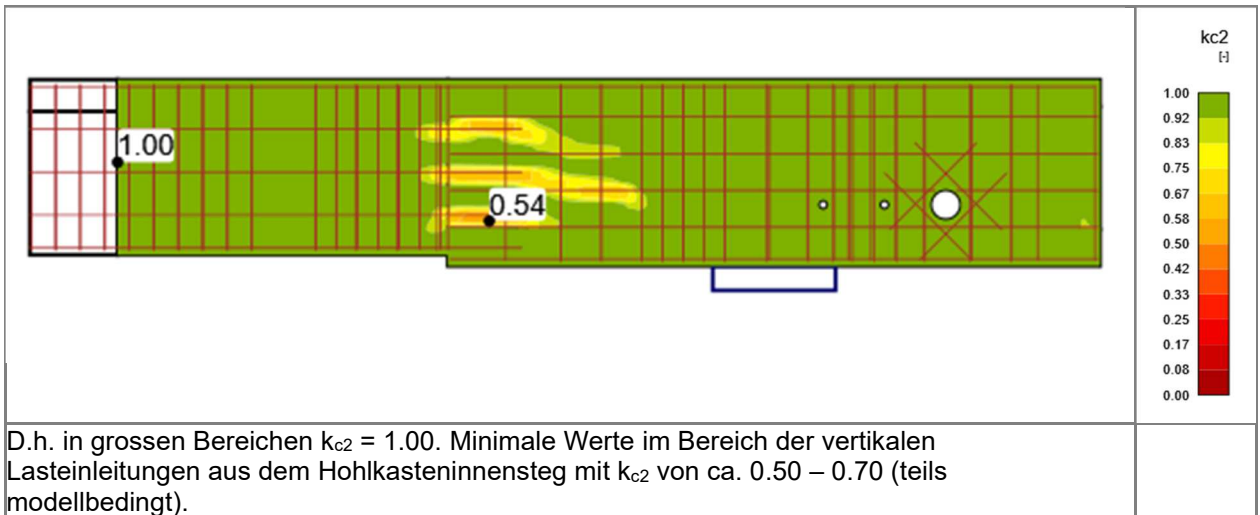




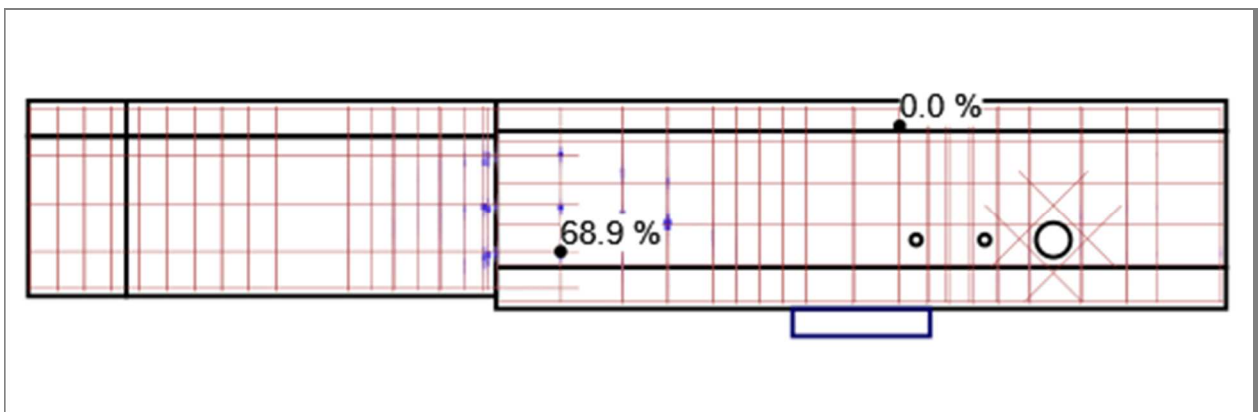
## Richtungen der Hauptspannungen



## Reduktionsfaktor $k_{c2}$ für die Druckfestigkeit

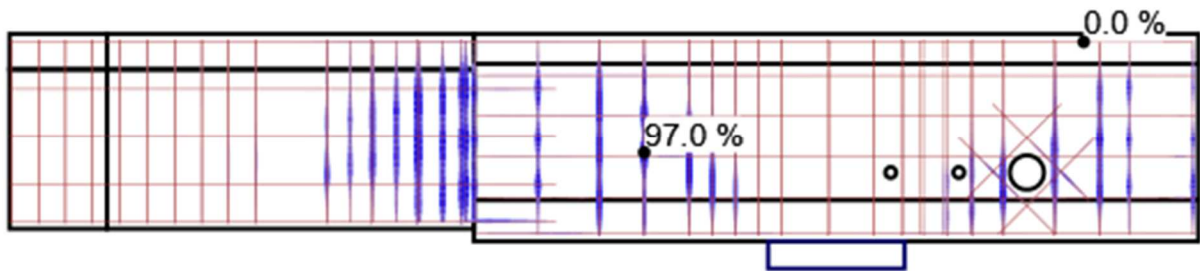


## Verhältnis Dehnung / Grenzdehnung der Bewehrung - $\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ [%]

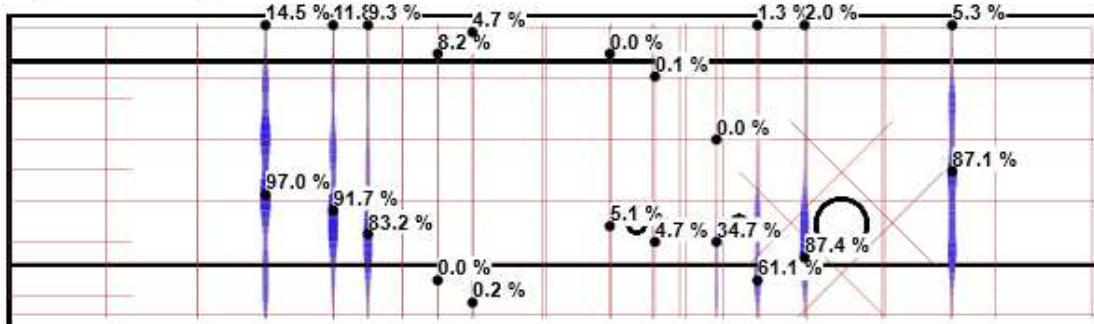




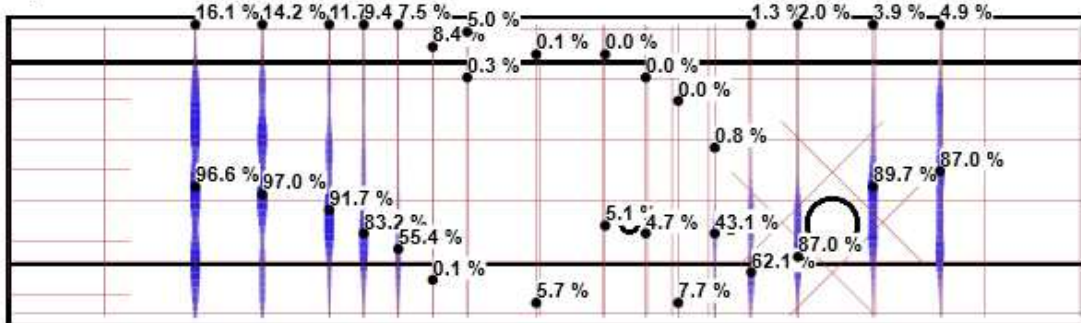
## Verhältnis Spannung / Festigkeit der Bewehrung - $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ [%]



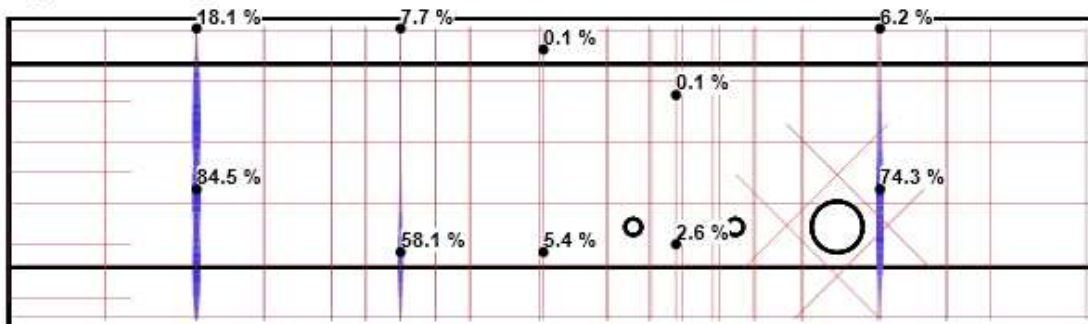
Ergebnisse für: Bg75-76



Ergebnisse für: Bg77

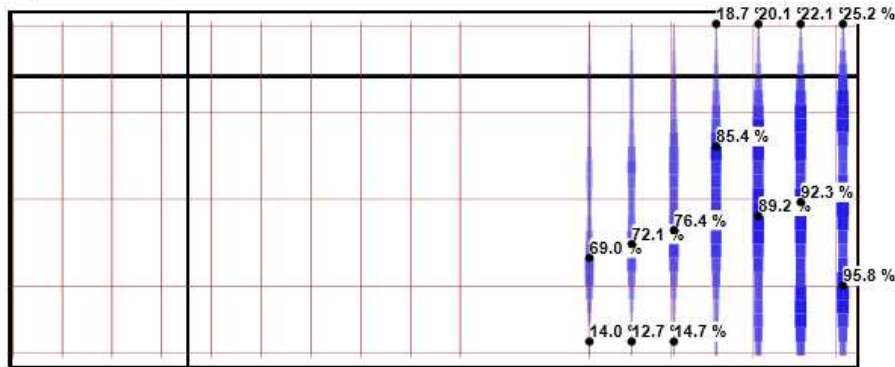


Ergebnisse für: Bg71-73

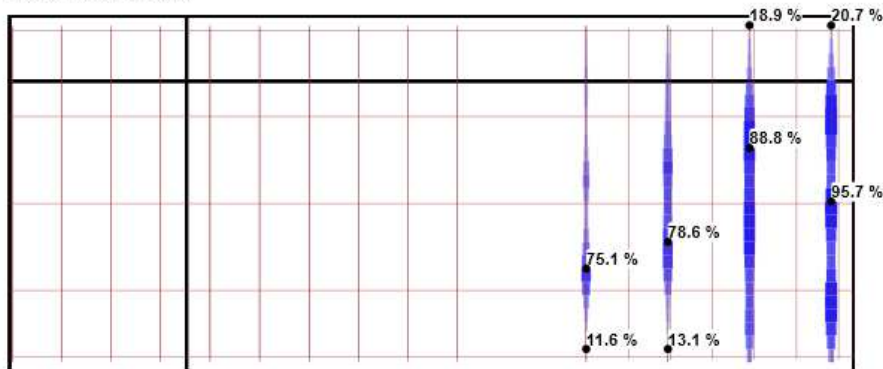




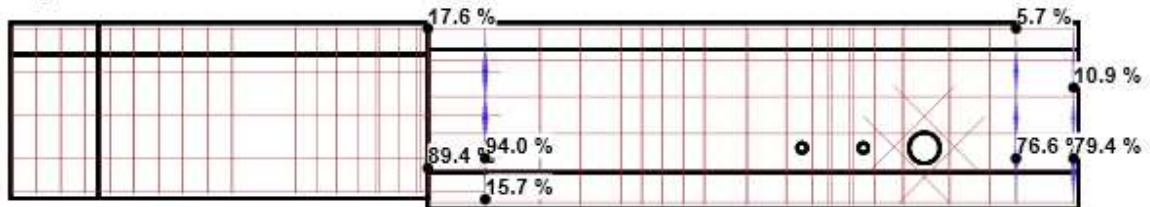
Ergebnisse für: Bg74



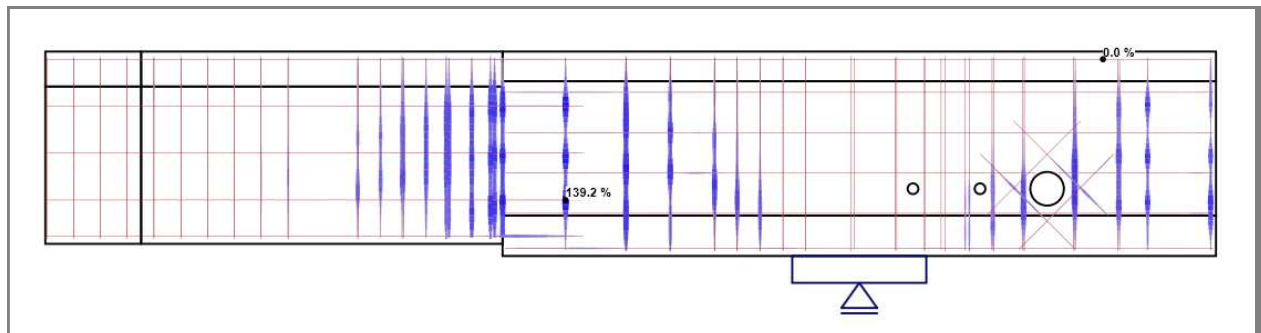
Ergebnisse für: Bg78



Ergebnisse für: KH150,152

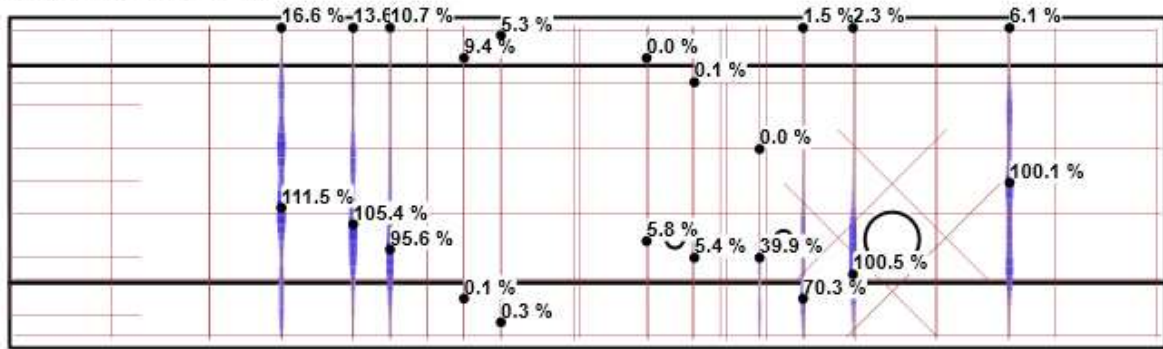


**Verhältnis Spannung / Fließgrenze der Bewehrung -  $\sigma_s/\sigma_{s,yield}$  [%]**

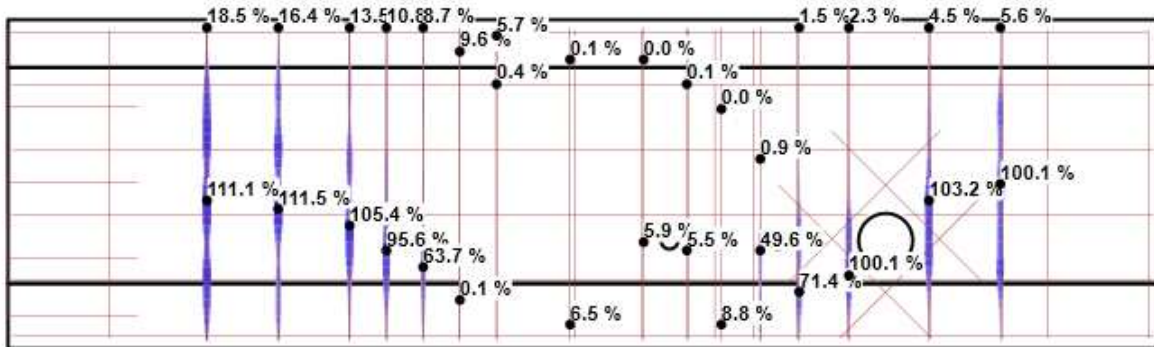




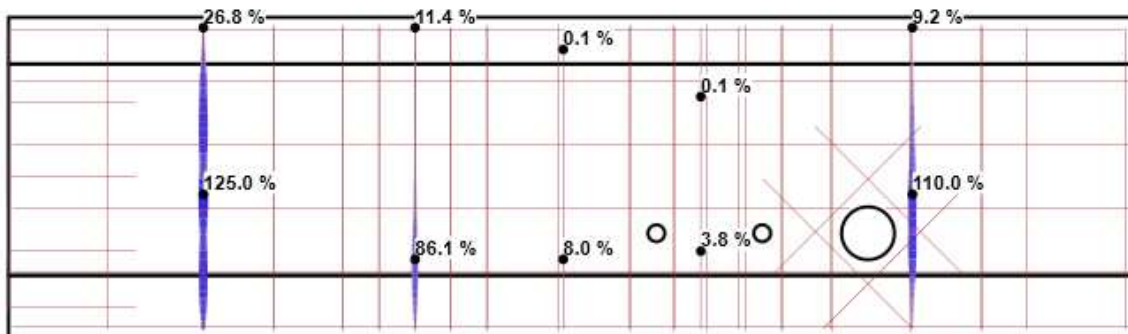
Ergebnisse für: Bg75-76



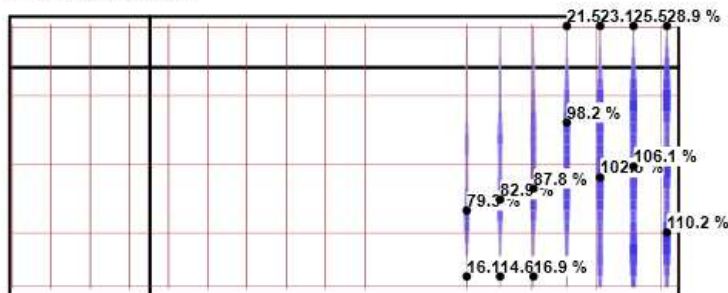
Ergebnisse für: Bg77



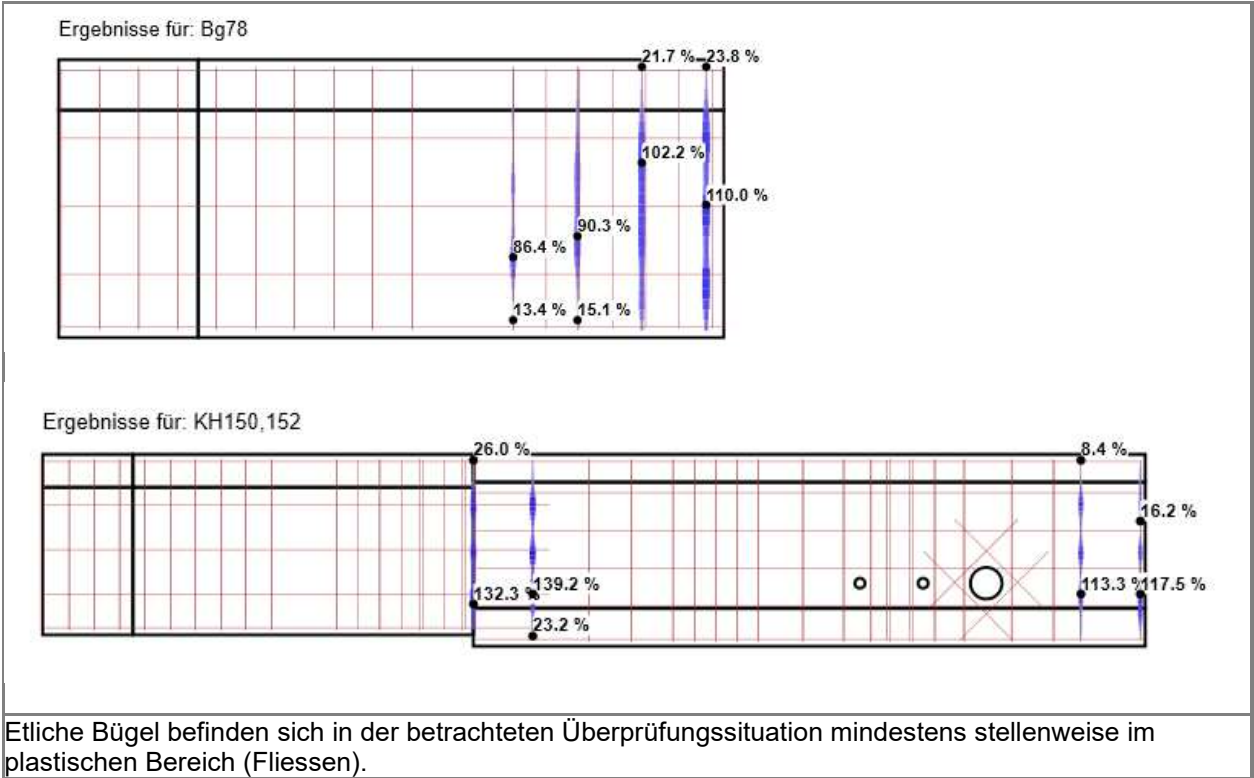
Ergebnisse für: Bg71-73



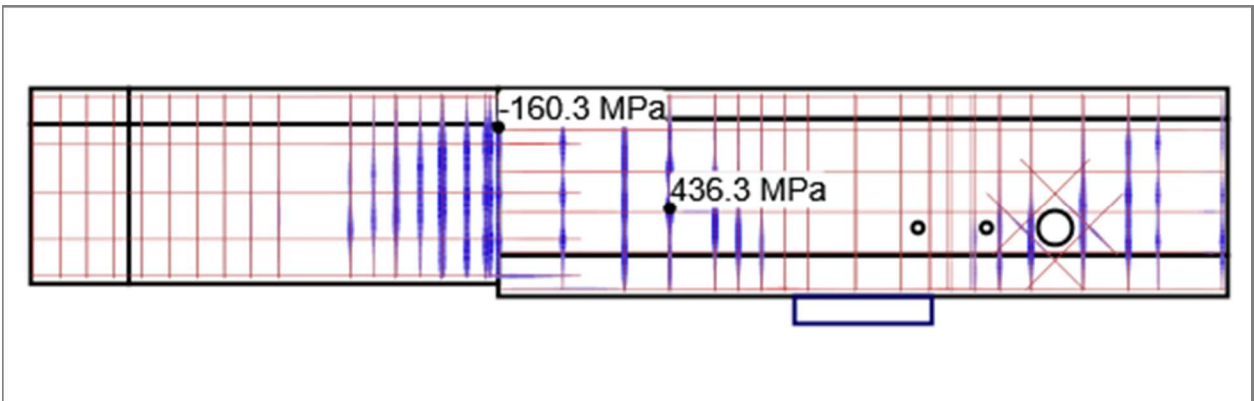
Ergebnisse für: Bg74



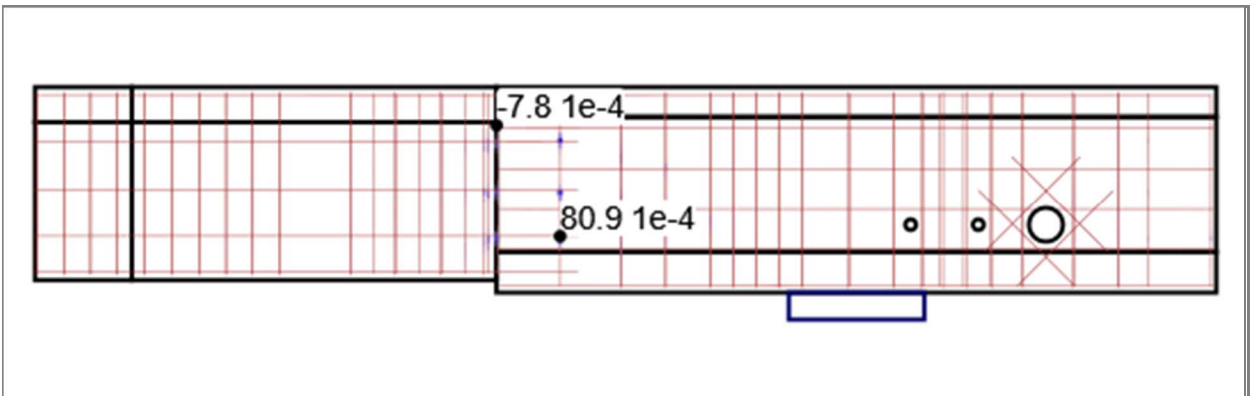




**Bewehrungsspannung -  $\sigma_s$  [MPa]**



**Bewehrungsdehnung -  $\epsilon_s$  [1e-4]**







## GZT - Verankerung

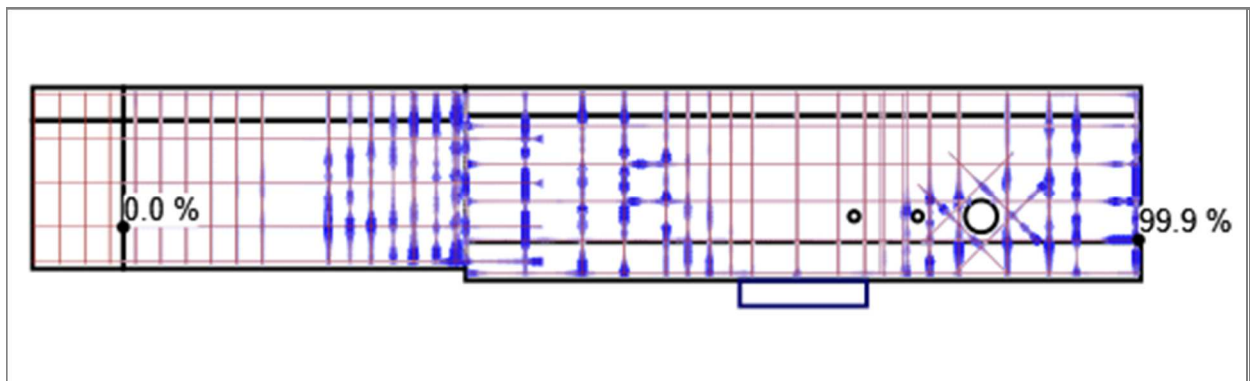
### Detaillierte Verankerungsergebnisse - Bewehrung: ULS, Laststufe: G100.0%, V100.0%

Bauteil	X [m]	Z [m]	T <sub>b</sub> [MPa]	F <sub>a</sub> [kN]	F <sub>tot</sub> [kN]	F <sub>tot</sub> /F <sub>lim</sub> [%]	T <sub>b</sub> /f <sub>bd</sub> [%]	
St801-802	8.71	-0.53	-4.6	0.2	16.1	50.8	99.9	OK
St801-802	8.55	-0.53	4.6	0.2	37.2	23.5	99.8	OK
St801-802	4.84	-0.23	0.7	0.2	92.1	33.2	15.1	OK
St801-802	3.82	0.37	0.0	0.2	-53.5	19.3	0.6	OK
St801-802	8.59	-0.53	4.6	0.2	79.4	83.6	99.8	OK
St79	3.43	-0.79	4.6	0.2	31.4	50.4	99.8	OK
St79	4.28	-0.79	-3.2	0.2	65.2	23.5	70.4	OK
St79	3.97	-0.79	-0.1	0.2	89.6	32.3	1.3	OK
St79	5.45	-0.79	-1.0	0.2	-64.1	23.1	21.6	OK
St79	3.51	-0.79	2.1	0.2	65.3	52.4	45.5	OK
St804b	7.92	-0.54	-4.6	0.1	7.9	54.9	99.8	OK
St804b	7.19	-0.30	4.6	0.1	35.7	35.1	99.8	OK
St804b	7.93	-0.54	-4.6	0.1	0.7	57.2	99.8	OK
St804b	7.76	-0.38	0.0	0.1	49.7	61.9	1.0	OK
St804b	7.33	0.05	0.0	0.1	-2.1	2.1	0.4	OK
St804b	7.87	-0.49	-2.7	0.1	21.1	76.4	58.9	OK
Bg77	4.66	-0.27	-4.6	30.8	97.7	96.0	99.8	OK
Bg77	4.66	-0.12	4.6	30.8	73.9	72.6	99.8	OK
Bg77	4.66	-0.31	-4.6	30.8	84.5	83.0	99.8	OK
Bg77	4.66	-0.20	0.5	30.8	98.7	97.0	12.0	OK
Bg77	6.01	-0.73	-0.1	30.8	-5.8	5.7	1.6	OK
Bg75-76	4.66	-0.27	-4.6	28.0	97.7	96.0	99.8	OK
Bg75-76	4.66	-0.12	4.6	28.0	73.9	72.6	99.8	OK
Bg75-76	4.66	-0.31	-4.6	28.0	84.5	83.0	99.8	OK
Bg75-76	4.66	-0.20	0.5	28.0	98.7	97.0	12.0	OK
Bg75-76	6.34	-0.35	-0.1	28.0	-5.2	5.1	1.3	OK
KH150,152	3.88	-0.39	4.6	32.3	37.3	74.2	99.7	OK
KH150,152	3.88	-0.47	-4.6	32.3	47.2	94.0	99.7	OK
KH150,152	3.88	-0.43	4.6	32.3	47.2	94.0	99.7	OK
KH150,152	3.41	0.40	-4.6	32.3	-18.1	36.1	99.7	OK
Bg74	3.35	-0.03	4.6	103.0	139.7	77.2	99.8	OK
Bg74	3.18	-0.65	-4.6	103.0	141.7	78.3	99.8	OK
Bg74	3.35	-0.42	1.1	103.0	173.3	95.8	23.4	OK
Bg74	2.50	-0.65	-1.4	103.0	23.0	12.7	30.7	OK
St80-81(17)	4.01	-0.69	-4.6	0.2	28.9	50.4	99.8	OK
St80-81(17)	3.41	-0.69	4.6	0.2	118.9	37.4	99.8	OK
St80-81(17)	3.48	-0.69	-0.4	0.2	189.4	59.5	8.1	OK
St80-81(17)	2.69	-0.69	0.0	0.2	-27.0	8.5	0.2	OK
St80-81(17)	3.88	-0.69	-1.9	0.2	77.8	67.8	41.8	OK
Bg78	3.32	-0.39	4.6	36.9	75.6	74.3	99.8	OK
Bg78	3.32	0.42	4.6	36.9	60.1	59.0	99.8	OK
Bg78	3.32	-0.61	-4.6	36.9	83.4	81.9	99.8	OK
Bg78	3.32	-0.07	2.5	36.9	97.4	95.7	54.3	OK
Bg78	2.33	-0.66	-1.1	36.9	11.8	11.6	24.3	OK
St804a	7.97	-0.09	-4.6	0.1	6.6	50.5	99.8	OK
St804a	7.86	-0.19	2.2	0.1	17.6	33.7	47.9	OK
St804a	7.89	-0.17	2.1	0.1	22.2	56.6	45.6	OK
St804a	7.54	-0.52	-0.1	0.1	-11.4	11.2	1.9	OK



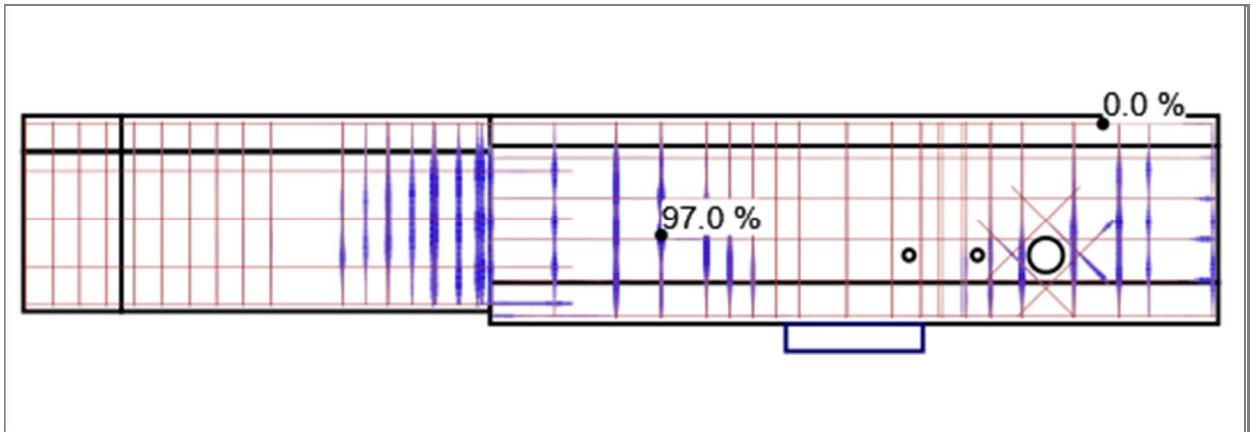
St804a	7.91	-0.14	-1.0	0.1	18.6	71.0	20.9	OK
St85	4.01	0.27	4.6	0.0	-5.3	5.2	99.8	OK
St85	3.41	-0.43	-1.7	0.0	3.0	2.9	37.2	OK
St85	3.33	-0.43	0.9	0.0	3.9	3.9	20.4	OK
St85	3.60	0.27	-0.1	0.0	-25.0	24.5	1.1	OK
Bg71-73	7.68	-0.54	-4.6	66.0	109.7	61.4	99.7	OK
Bg71-73	4.33	0.46	4.6	66.0	77.9	43.6	99.7	OK
Bg71-73	4.33	-0.79	-4.6	66.0	74.2	41.6	99.7	OK
Bg71-73	4.33	-0.16	2.0	66.0	150.8	84.5	43.3	OK
Bg71-73	6.03	-0.47	0.0	66.0	-9.7	5.4	0.8	OK
St38,91-93	8.68	0.62	-2.6	0.0	10.5	23.1	56.1	OK
St38,91-93	8.06	0.62	0.8	0.0	9.0	3.2	16.6	OK
St38,91-93	8.34	0.62	0.1	0.0	37.8	13.8	1.3	OK
St38,91-93	3.47	0.62	0.0	0.0	-52.8	19.0	0.8	OK
St38,91-93	8.57	0.62	-0.5	0.0	23.4	25.7	9.9	OK
Bg10	1.81	-0.14	1.6	11.1	41.4	22.9	34.0	OK
Bg10	1.81	-0.42	-1.5	11.1	44.0	24.3	33.4	OK
Bg10	1.81	-0.26	0.1	11.1	55.7	30.8	2.8	OK
Bg10	1.21	-0.09	0.0	11.1	3.8	2.1	1.0	OK
Bg13	1.81	-0.12	1.5	7.0	21.4	21.0	32.7	OK
Bg13	1.81	-0.39	-1.4	7.0	28.2	27.7	31.1	OK
Bg13	1.81	-0.23	0.5	7.0	33.6	33.0	11.2	OK
Bg13	1.21	-0.07	-0.1	7.0	1.7	1.7	1.1	OK
Bg6	1.61	0.63	1.3	10.9	13.8	7.7	28.3	OK
Bg6	1.61	-0.70	-1.0	10.9	11.3	6.3	22.5	OK
Bg6	1.61	-0.26	0.1	10.9	34.1	19.1	2.2	OK
Bg6	0.81	-0.65	-0.3	10.9	4.9	2.8	7.1	OK

### Nachweiswert der Verbundspannung - $\tau_b/f_{bd}$ [%]

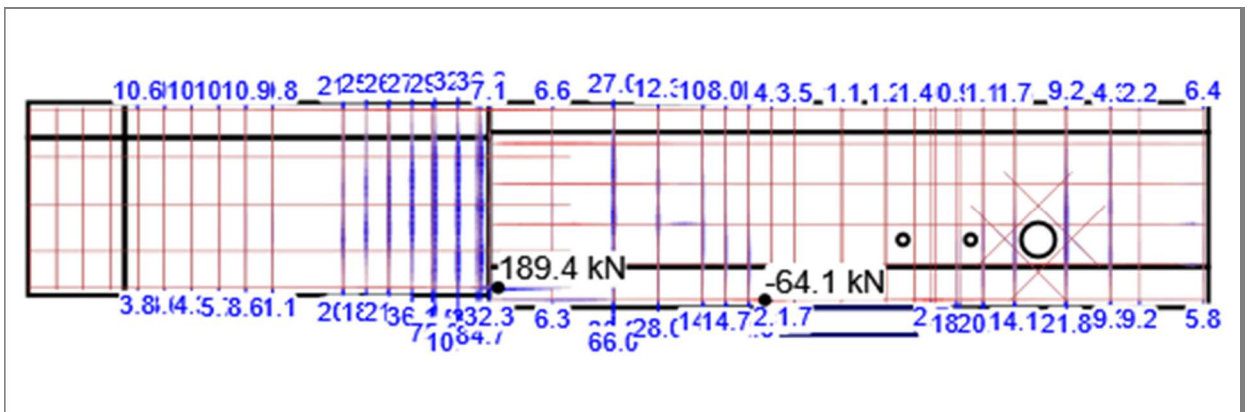




### Nachweiswert der Kraft - $F_{tot}/F_{lim}$ [%]



### Gesamtkraft im Stab - $F_{tot}$ [kN]



### Verbundspannung - $\tau_b$ [MPa]

