

Entwurfsstatik

Projekt: 24-011-RÖD

Ersatzneubau BW 20130
„Rödenbrücke am Damm“
Rödental-Mönchröden

Entwurfsstatik

Bauwerk:

Bauwerk 20130 Brücke „Rödenbrücke am Damm“

Kreis:

Coburg

Ort:

Rödental-Mönchröden

Bauherr / Auftraggeber:

Stadt Rödental

vertreten d. d. 1. Bürgermeister Marco Steiner

Bürgerplatz 1

96472 Rödental

Ersteller:

Büro für Strukturmechanik GmbH

Mohrenstr. 4

96450 Coburg



M. Eng. Bastian Wutschka

Coburg, 17.09.2026

Geprüft:

Dipl.-Ing. (FH) Oliver Schneider

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen.....	5
1.1	Aufgabenstellung / Situation.....	5
1.2	Beschreibung des Bauwerks	6
1.2.1	Bestandsbauwerk	6
1.2.2	Ersatzneubau.....	6
1.3	Technische Vorschriften	7
1.4	Weitere Unterlagen.....	9
1.5	Verwendete Baustoffe	10
1.6	Bodenkennwerte	11
2	Tragsystem und Berechnungsmodell.....	12
2.1	Allgemeines	12
2.2	Bauwerksdarstellungen.....	14
2.3	Achssystem und Modell.....	15
2.4	Kriechen und Schwinden	16
2.5	Auflagerdefinition	16
2.6	Ermüdung.....	16
3	Einwirkungen.....	17
3.1	Ständige Lasten.....	17
3.1.1	Eigenlast	17
3.1.2	Ausbaulast	18
3.1.3	Erddruck	18
3.2	Verkehrslasten	19
3.2.1	Verkehrslast Überbau.....	19
3.2.2	Verkehrslast Hinterfüllung	21
3.2.3	Verkehrslast Geländer.....	21
3.3	Windlast.....	23
3.4	Zwang.....	24
3.4.1	Temperatureinwirkung	24
3.4.2	Mögliche und wahrscheinliche Baugrundbewegung.....	27

BÜRO FÜR STRUKTURMECHANIK

3.5	Kriechen und Schwinden	27
3.6	Außergewöhnliche Einwirkungen	27
4	Einwirkungskombinationen.....	28
5	Bemessung Überbau.....	29
5.1	Längsträger	30
5.1.1	Schnittgrößen	30
5.1.2	Tragfähigkeitsnachweis	33
5.2	Querriegel.....	34
5.2.1	Schnittgrößen	34
5.2.2	Tragfähigkeitsnachweis	37
5.3	Verformung der Gesamtstruktur.....	38
5.3.1	Durchbiegung	38
5.3.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	39
5.4	Auflagerkräfte.....	40
6	Bemessung Stahlbeton.....	43
6.1	Konstruktive Mindestbewehrung.....	43
6.2	Mindestrissbewehrung.....	44
6.3	Gewählte Bewehrung.....	46
7	Bemessung Tiefgründung	47
7.1	Schnittgrößen	47
7.2	Nachweis innere Tragfähigkeit.....	48
7.3	Nachweis äußere Tragfähigkeit.....	48
8	Anhang	49

1 Grundlagen

1.1 Aufgabenstellung / Situation

Aufgrund des unzureichenden Bauwerkszustandes der Bestandsbrücke wurde das Büro für Strukturmechanik mit der Planung eines Ersatzneubaus beauftragt. Die nachfolgenden Darstellungen verdeutlichen die aktuelle Bestandssituation.



Abbildung 1: Luftbild Brücke

1.2 Beschreibung des Bauwerks

1.2.1 Bestandsbauwerk

Das Bauwerk dient der Überführung eines Gehwegs über die Röden. Das Bauwerk ist als Spannbetonfertigteilträger auf flach gegründeten Stahlbeton-Widerlagern ausgebildet und kreuzt die Röden in einem Winkel von ca. 90 gon.

1.2.2 Ersatzneubau

Der Überbau des Ersatzneubau besteht aus 4 parallelen Stahlträgern, welche durch Querriegel miteinander verbunden sind. Die Träger werden über Elastomerlager auf neu zu errichtenden Widerlagern aufgelagert. Die Widerlager bestehen aus einer Stahlbeton Auflagerbank und -Flügeln (unterstrom). Die Gründung erfolgt über Mikropfähle. Ein System der Firma Ischebeck wird Vorbemessen. Der Übergang zum bestehenden Gehweg wird über Schleppplatten realisiert. Der Belag besteht aus GFK-Lamellen. Das Geländer wird als Füllstabgeländer ausgeführt. Die Verbindung zum Überbau erfolgt über eingeschweißte Fahnenbleche in den Querriegelebenen.

Hauptabmessungen (ca.):

- | | | |
|--|---------------|-----------|
| • Lichte Weite Überbau | | 11,20 m |
| • Stützweite Überbau | | 11,60 m |
| • Lichte Höhe Überbau | | 4,90 m |
| • Gesamtbreite Überbau | | 2,70 m |
| • Lichte Breite Gehweg | | 2,50 m |
| • Gesamtbreite Auflagerbank | | 3,10 m |
| • Konstruktionshöhen: | Auflagerbank | 0,80 m |
| | Schleppplatte | 0,25 m |
| • Pfahllänge Vorbemessung | | 6,0-7,5 m |
| • Pfahldurchmesser Vorbemessung (Stahl) | | 0,04 m |
| • Pfahldurchmesser Vorbemessung (Verpressm.) | | 0,135 m |

1.3 Technische Vorschriften

Nachfolgend werden die für die Berechnung und Erstellung der Nachweise verwendeten Normen und technischen Regelwerke aufgeführt:

Grundlagen

DIN EN 1990:2021-10 – Grundlagen der Tragwerksplanung

DIN EN 1990/NA:2021-10 – Nationaler Anhang

DIN EN 1990/NA/A1:2024-05 – Änderung A1

Einwirkungen

DIN EN 1991-1-1:2002-10 – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten

DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 – Nationaler Anhang

DIN EN 1991-1-5:2010-12 – Temperatureinwirkungen

DIN EN 1991-1-5/NA:2010-12 – Nationaler Anhang

DIN EN 1991-2:2023-01 – Verkehrslasten auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken

DIN EN 1991-2/NA:2024-10 – Nationaler Anhang

Stahlbau Bemessung

DIN EN 1993-1-1:2025-04 – Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

DIN EN 1993-1-1/NA:2026-04 – Nationaler Anhang

DIN EN 1993-1-5:2025-04 – Plattenförmige Bauteile

DIN EN 1993-1-5/NA:2026-04 – Nationaler Anhang

DIN EN 1993-1-8:2025-04 – Bemessung von Anschlüssen

DIN EN 1993-1-8/NA:2026-04 – Nationaler Anhang

DIN EN 1993-1-9:2010-12 – Ermüdung

DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12 – Nationaler Anhang

DIN EN 1993-1-10/NA:2016-04 – Nationaler Anhang

DIN EN 1993-2:2010-12 – Stahlbrücken

DIN EN 1993-2/NA:2022-02 – Nationaler Anhang

Stahlbau Ausführung

DIN EN 1090-2:2024-09 – Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken

DIN EN ISO 12944 – Beschichtungssysteme – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme

Stahlbeton

DIN EN 1992-1-1:2025-09 – Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

DIN EN 1992-1-1/NA:2025-09 – Nationaler Anhang

DIN EN 1992-2:2010-12 – Betonbrücken

DIN EN 1992-2/NA:2013-04 – Nationaler Anhang

Geotechnik

DIN EN 1997-1:2009-09 – Allgemeine Regeln

DIN EN 1997-1/NA:2010-12 – Nationaler Anhang

DIN 1054:2021-04 – Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

DIN EN 14199:2015-07 – Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten – Mikropfähle

DIN SPEC 18539:2019-09 – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 14199

EA-Pfähle:2012 – Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“

1.4 Weitere Unterlagen

Gutachten

k2p umwelt-geologie GmbH, Werrastraße 126, 98673 Eisfeld
(Baugrundgutachten vom 11.09.2026)

Zulassungen Pfahlsystem

Z-34.14-209 – System TITAN zur Anwendung als Mikropfahl – Allgemeine bauaufsichtliche

Weitere Normen zur Ausführung der Erd- bzw. Pfahlarbeiten sind den genannten Gutachten und Zulassungen zu entnehmen.

Zulassungen Lager

Z-16.32-408 - ESZ Typ 200

1.5 Verwendete Baustoffe

Beton und Stahlbeton:

Sauberkeitsschicht	C12/15 (unbewehrt)
Auflagerbank (sichere Seite)	C35/45 (XC4, XD1, XF2, WA)
Schleppplatte	C35/45 (XC4, XD1, XF2, XM1, WA)
Betonstahl:	B 500S (B)

Es wird für sämtliche Bauteile in der Bemessung eine Betondeckung von $c_{\text{nom}} = 55 \text{ mm}$ angesetzt. Unter Berücksichtigung der erforderlichen Bewehrungsdurchmesser wird folgender Achsabstand der Bewehrung zur Betonoberfläche (beidseitig) für die Bemessung angesetzt:

Längsbewehrung (As)	$d_1 = 7,5 \text{ cm}$
Querbewehrung (as)	$d_1 = 6,5 \text{ cm}$

Baustahl

Überbau	S235JR
Geländer	S235JR

Für die Stahlbauteile sind folgende Umweltbedingungen / Korrosivitätskategorien gem.

DIN EN ISO 12944-2 zu berücksichtigen:

Außenbereich:	Außenräume mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 60 \%$ (C3, mäßig)
---------------	--

1.6 Bodenkennwerte

Die für die Vorbemessung der Mikropfähle angesetzten Bodenkennwerte basieren auf dem Geotechnischen Bericht vom 11.09.2025 (siehe Kapitel 3). Weitere Bodenkennwerte können dem Baugrundgutachten entnommen werden.

Tabelle 26: Erfahrungswerte zur Pfahlbemessung - Mikropfähle (RKS 1/26 nördl. Widerlager)

Tiefe von bis		Schicht	Spitzenwiderstand der Drucksonde q_c	Scherfestigkeit $c_{u,k}$	Pfahlspitzenendruck $q_{b,k}$			Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$
m	m				[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²] Bez. Pfahlkopfssetzung s/D_s bzw. s/D_b	
					0,02	0,03	0,1	
0,30	1,00	Feinkörnige Auffüllungen - weich Schicht 4.1	-	10 - 20	- ¹⁾	- ¹⁾	(- ¹⁾)	30
1,00	4,00	Gemischtkörnige Auffüllungen - weich Schicht 4.2	-	10 - 20	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	30
4,00	6,50	Sand - locker Schicht 5.1	2 - 4	-	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	95
6,50	8,00	Sand - mitteldicht Schicht 5.2	6 - 10	-	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	135
8,00	10,00	Sandsteinersatz - mitteldicht - dicht Schicht 6	12 - 18	-	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	215
> 10		Sandstein nicht aufgeschlossen	> 25	-	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	255

¹⁾ Pfahlspitzenendruck darf bei Mikropfählen nicht angesetzt werden

Tabelle 27: Erfahrungswerte zur Pfahlbemessung - Mikropfähle (RKS 2/26 südl. Widerlager)

Tiefe von bis		Schicht	Spitzenwiderstand der Drucksonde q_c	Scherfestigkeit $c_{u,k}$	Pfahlspitzenendruck $q_{b,k}$			Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$	
m	m				[kN/m²]	[kN/m²]			
						Bez. Pfahlkopfsetzung s/D_s bzw. s/D_b			
					0,02	0,03	0,1		
0,6	2,00	Feinkörnige Auffüllungen - weich Schicht 4.1	-	10 - 20	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	30	
2,00	5,00	Gemischtkörnige Auffüllungen - weich Schicht 4.2	-	10 - 20	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	30	
5,00	7,50	Sand-Schluff-Gemisch - weich - steif Schicht 5.3	-	20 - 40	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	50	
7,50	10,0	Sandsteinersatz - mitteldicht - dicht Schicht 6	12 - 18	-	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	215	
> 10		Sandstein nicht aufgeschlossen	> 25	-	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	255	

¹⁾ Pfahlspitzenendruck darf bei Mikropfählen nicht angesetzt werden

2 Tragsystem und Berechnungsmodell

2.1 Allgemeines

Der zu erstellenden Überbau wird als Stabwerks-Modelle unter Verwendung des Programmsystems „RStab“ von Dlubal generiert und bemessen .

Zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen und der maßgebenden Nachweise werden die Einzellastfälle miteinander kombiniert. Hierfür werden die Lastfälle und Lastfallkombinationen zunächst (programmintern erforderlichen) Einwirkungen zugeordnet und anschließend nach DIN EN 1990 kombiniert.

Die Überlagerung der Lastfälle erfolgt über die Definition von Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten, die in Lastfallkombinationen eingegeben werden. Über diese Kombinationen ist die Ausgabe der Tragfähigkeit des Tragwerks bzw. der Nachweise der Stahlstruktur möglich.

Lastfallzuordnungen, Bemessungskombination sowie weitere Bemessungsvorgaben sind in den Programmausdrucken zu finden.

Sowohl das Tragsystem als auch erzeugte Berechnungsergebnisse werden mit Hilfe von Plausibilitätsbetrachtungen überprüft.

Die Bemessung weiterer Querschnitte und der maßgebenden Details erfolgt – wenn nicht anders angegeben - mit dem Programmsystem „Harzer Statik Software“. Hierbei werden auf der sicheren Seite liegend die maximalen Schnittkräfte und Auflagerlasten überlagert.

Für die in den Detailnachweisen gewählten Verbindungsmittel, -systeme, etc. gilt, dass diese in Absprache mit dem Aufsteller durch gleichwertige Lösungen ersetzt werden können.

Die Montagevorgaben gem. Hersteller / Zulassung / ETA sind zu beachten.

Die Auflagerbalken werden mit dem Programmsystem „Harzer Statik Software“ nachgewiesen.

Die Mikropfähle werden händisch nachgewiesen.

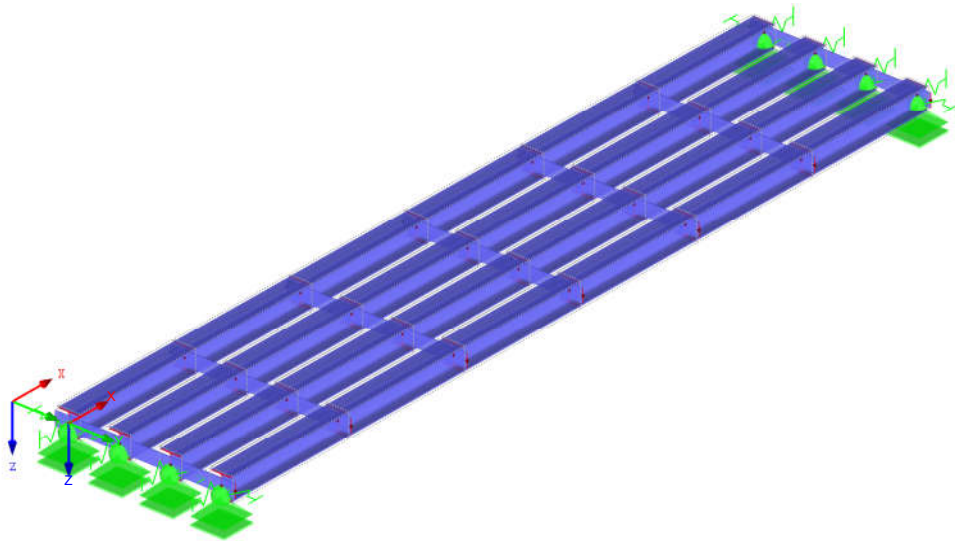


Abbildung 2: Isometrie - Querschnittsdarstellung [RStab]

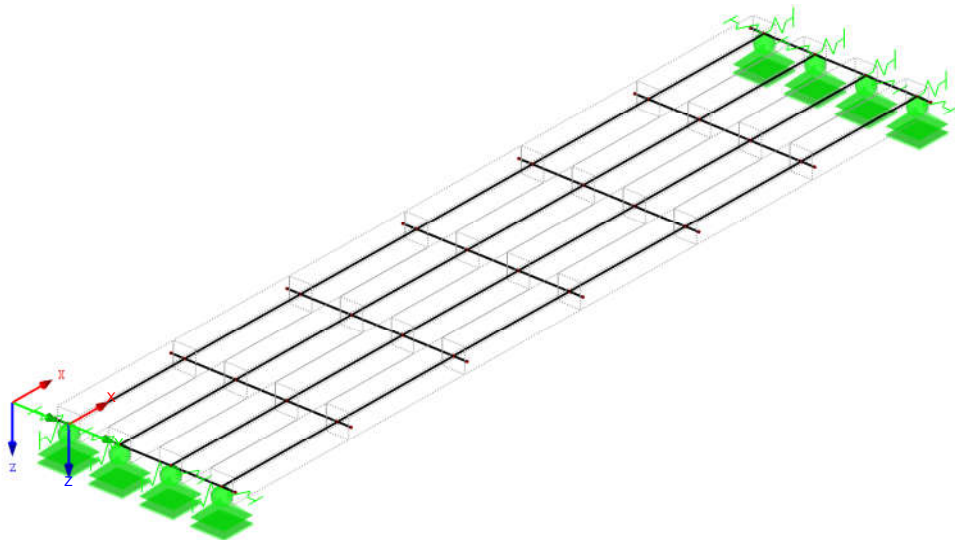
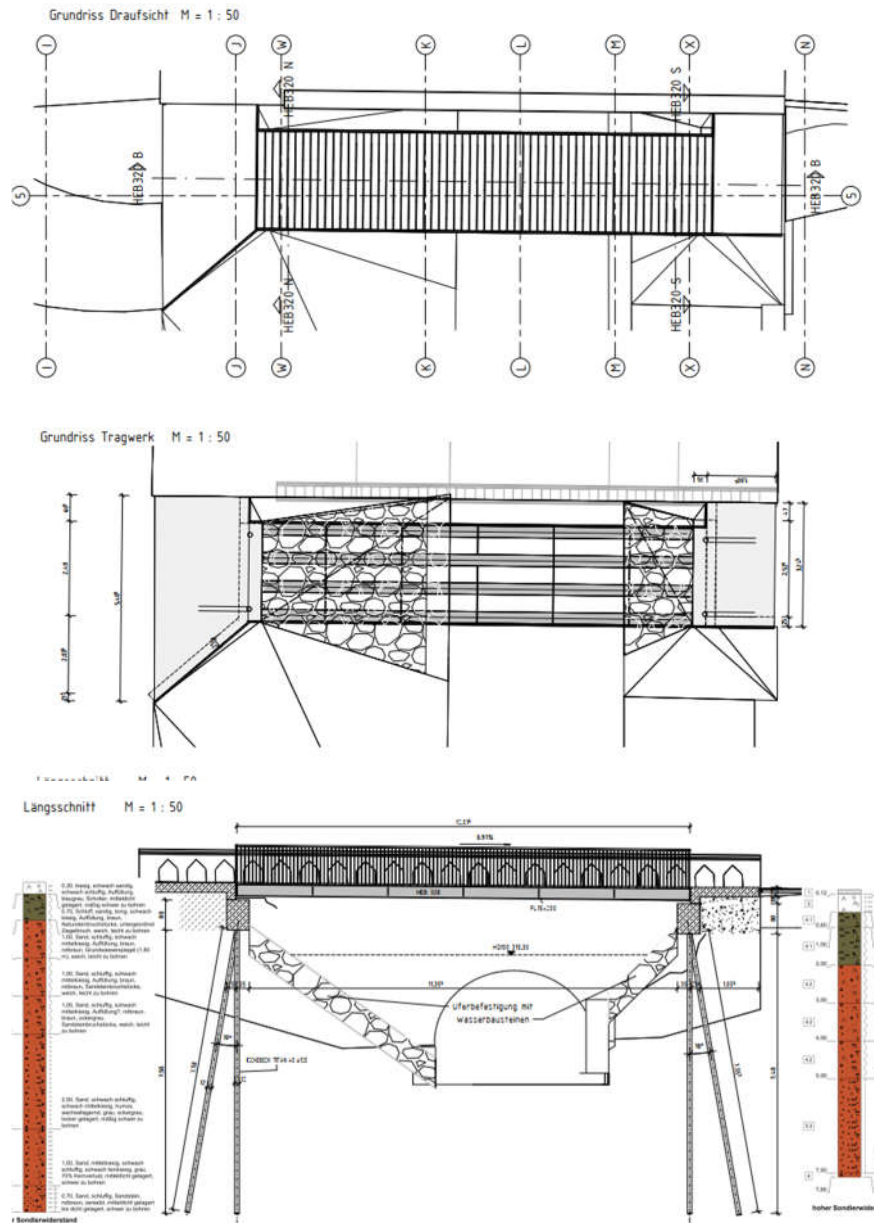


Abbildung 3: Isometrie - Stabdarstellung [RStab]

2.2 Bauwerksdarstellungen

Die nachfolgenden Auszüge aus dem Bauwerksplan geben Aufschluss über die geplanten Bauwerksabmessungen und die äußere Form der Brücke.



2.3 Achssystem und Modell

Die Ausrichtung des 3D- Gesamtmodells wird durch das globale Koordinatensystem definiert. Es liegt folgende Koordinatenausrichtung vor (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

- X-Achse in Brückenlängsrichtung
- Y-Achse in Brückenquerrichtung
- Z-Achse positiv nach unten

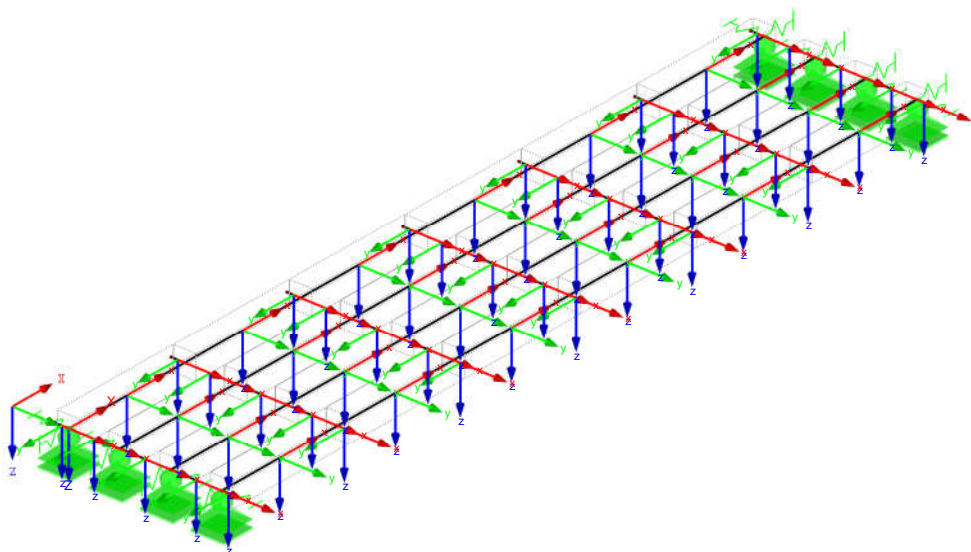


Abbildung 4: Isometrie - Stabachsen[RStab]

2.4 Kriechen und Schwinden

Entfällt.

2.5 Auflagerdefinition

Es wird an jedem Auflagerpunkt der HEB ein Elastomerlager angeordnet. Es wird gewählt:

ESZ Typ 200 140x140x20 mm

Mit einem Schubmodul G von $1,50 \text{ N/mm}^2$ ergibt sich eine horizontale Federsteifigkeit für die Lager zu:

$$C_{u,X} = C_{u,Y} = G \cdot A / t = 1,5 \text{ N/mm}^2 \cdot (140 \text{ mm}^2 / 20 \text{ mm}) = 1470,0 \text{ N/mm} = 1470,0 \text{ kN/m}$$

2.6 Ermüdung

Entfällt.

3 Einwirkungen

Die auf das Brückenbauwerk einwirkenden Lasten werden mit Hilfe des Programmsystems „RStab“ der Berechnung zugeführt (Ausnahme Erddruck und Stahlbetoneigengewicht siehe Kap. 3.1).

Dabei wird die Eigenlast der Baustruktur unter Berücksichtigung der Bauteildimensionen programmintern ermittelt und entsprechend berücksichtigt.

Die Verkehrsbelastung ist d. G. n. DIN EN 1991-2 entnommen und in separaten Lastfällen erfasst.

3.1 Ständige Lasten

3.1.1 Eigenlast

Der Ermittlung des Eigenwichtes der Brückenkonstruktion liegt eine Wichte zugrunde von:

- Stahlbauteile $\gamma = 78,50 \text{ kN/m}^3$
- Stahlbetonbauteile $\gamma = 25,00 \text{ kN/m}^3$

Die Last wird in Lastfall 1 (LF1) der Bemessung zugeführt.

3.1.2 Ausbaulast

Der Belag wird aus GFK hergestellt. Auf der sicheren Seite liegend wird ein 6 cm starker Holzbelag berücksichtigt:

- Holzbauteile $\gamma = 5,00 \text{ kN/m}^3$
- g Belag = $0,06 \text{ m} * 5,00 \text{ kN/m}^3$ $\wedge$ $g = 0,30 \text{ kN/m}^2$

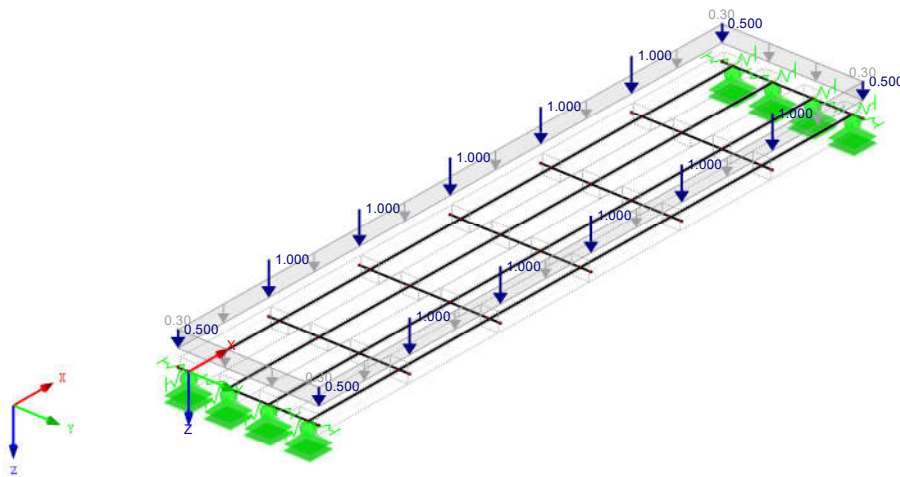
Das Geländer wird mit $0,5 \text{ kN/m}$ berücksichtigt. Bei einem Pfostenabstand von $2,0 \text{ m}$ ergibt sich je Fahnenblech:

- $g' = 0,50 \text{ kN/m}$
- $G \text{ Regelbereich} = g * 2,0 \text{ m}$ $G = 1,00 \text{ kN}$
- $G \text{ Endpfosten} = g * 1,0 \text{ m}$ $G = 0,50 \text{ kN}$

Die Last wird in Lastfall 1 (LF1) der Bemessung zugeführt.

LF1 : G
Belastung [kN/m^2], [kN]

Isometrie



3.1.3 Erddruck

Für die Bemessung der Pfähle wird Erddruck auf die Auflagerbänke angesetzt. Die Vorbemessung ergab, dass der maximale horizontale aktive Erddruck geringer ist, als der Verdichtungserddruck. Es wird der Verdichtungserddruck angesetzt.

Horizontaler Erddruck

$e_x = 15,0 \text{ kN/m}^2$ (Verdichtungserddruck für leichtes Gerät)

3.2 Verkehrslasten

3.2.1 Verkehrslast Überbau

Als vertikale Belastung wird Verkehrslast Gruppe 3 für Fußgänger gemäß DIN EN 1991-2 angesetzt.

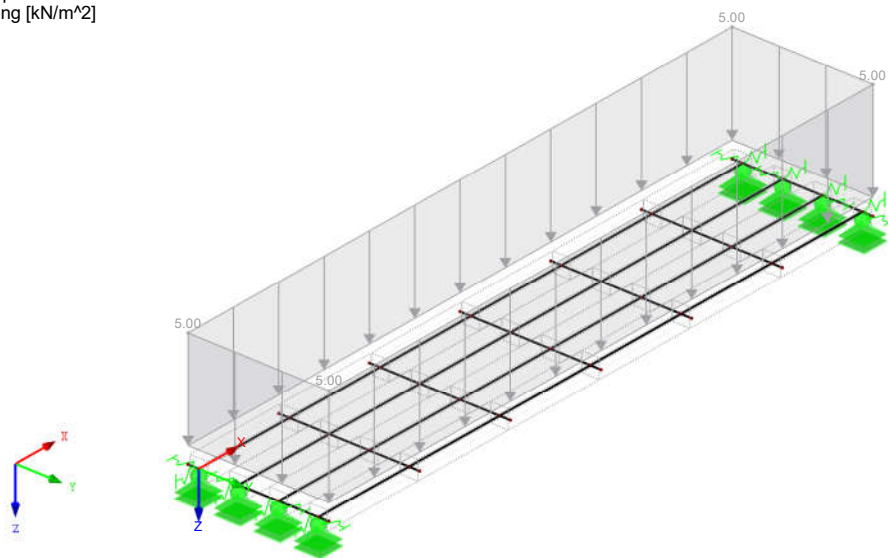
- q_k Gr. 3

$$q_z = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

Die Last wird in Lastfall 10 (LF10) der Bemessung zugeführt.

LF10 : q_z
Belastung [kN/m²]

Isometrie



Zusätzlich ist eine horizontale Verkehrslast i. H. v. 10 % der vertikalen Last in Brückenlängsrichtung anzusetzen. Der Ansatz erfolgt in beide Richtungen.

- $q_{fl,k} = 0,10 \cdot q_k$ Gr. 3
- $q_{+x} = q_{-x} = 0,50 \text{ kN/m}^2$

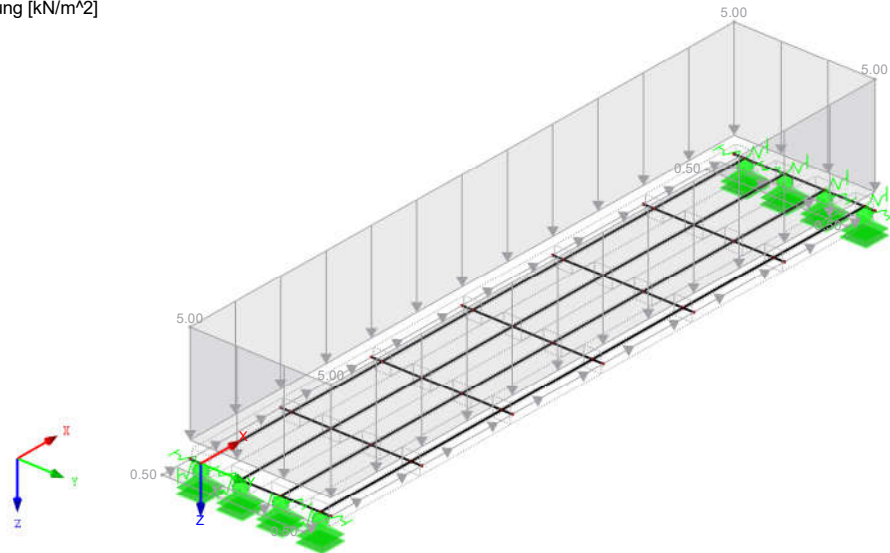
$$q_{fl,k} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

BÜRO FÜR STRUKTURMECHANIK

Die Lasten werden in Lastfall 11 und 12 (LF11, LF12) unter gleichzeitigem Ansatz von q_z der Bemessung zugeführt.

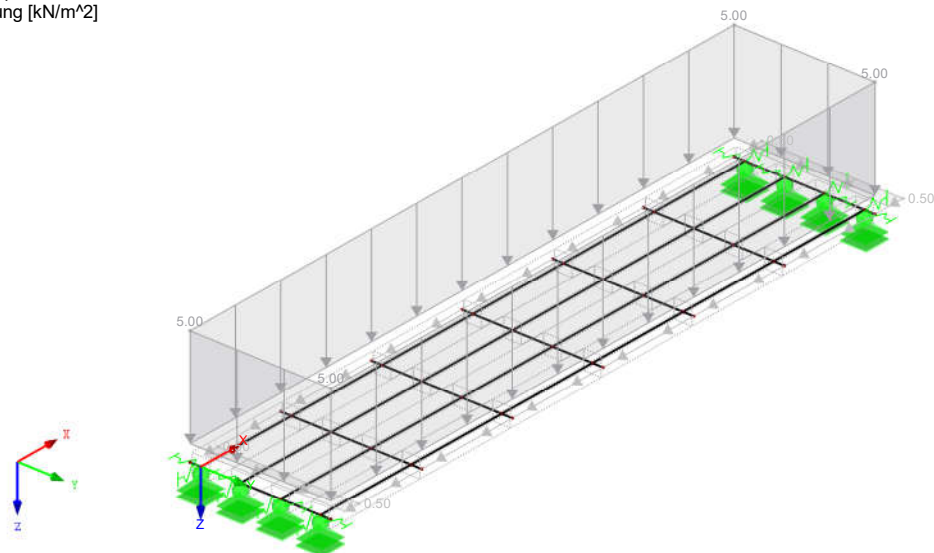
LF11 : $q_z + +x$
Belastung [kN/m^2]

Isometrie



LF12 : $q_z + -x$
Belastung [kN/m^2]

Isometrie



LF10 bis 12 sind nicht zu kombinieren.

3.2.2 Verkehrslast Hinterfüllung

Entfällt. Ausführung Schleppplatte konstruktiv.

3.2.3 Verkehrslast Geländer

Es ist eine horizontale und vertikale Verkehrslast gemäß DIN EN 1991-2 anzusetzen. Der Ansatz erfolgt in und entgegen der Absturzrichtung. Die horizontale wirkt hierbei nur als Torsionsmoment auf den Überbau.

- $q_{fl,k} = 0,10 \cdot q_k \text{ Gr. 3}$ $q_{fl,k} = 0,50 \text{ kN/m}^2$
- $q_{+x} = q_{-x} = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Bei einem Pfostenabstand von 2,0 m ergibt sich je Fahnenblech:

- $q_h' = q_v'$ $q = 1,00 \text{ kN/m}$
- $Q_v \text{ Regelbereich} = q \cdot 2,0 \text{ m}$ $Q = 2,00 \text{ kN}$
- $Q_v \text{ Endpfosten} = q \cdot 1,0 \text{ m}$ $Q = 1,00 \text{ kN}$

Aus der h-Last ergibt sich zusätzlich ein Moment (Hebelarm = H Geländer = 1,30 m).

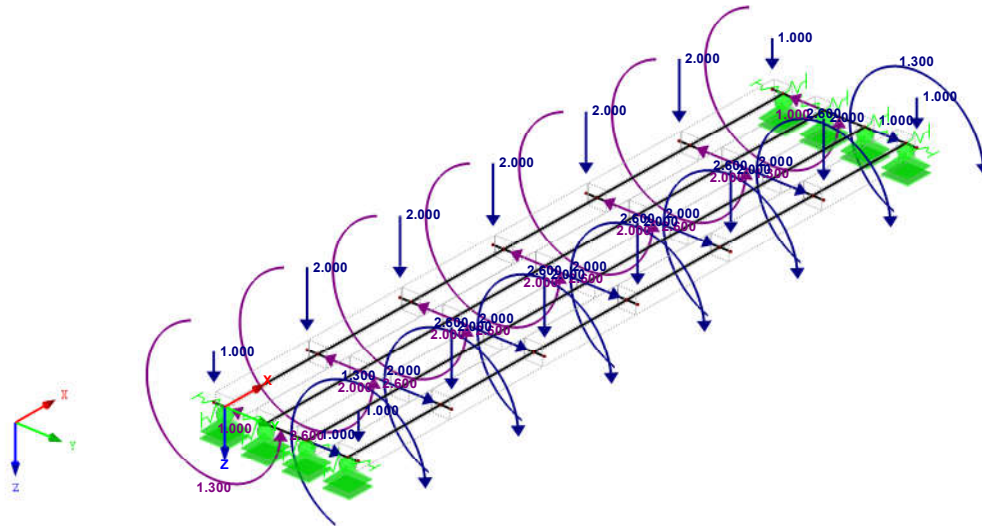
- $M_{Qh} \text{ Regelbereich} = q \cdot 2,0 \text{ m} \cdot 1,30 \text{ m}$ $M_{Qh} = 2,60 \text{ kNm}$
- $M_{Qh} \text{ Endpfosten} = q \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 1,30 \text{ m}$ $M_{Qh} = 1,30 \text{ kNm}$

BÜRO FÜR STRUKTURMECHANIK

Die Lasten werden in Lastfall 13 und 14 (LF11, LF12) in den beiden maßgebenden Belastungsrichtungen der Bemessung zugeführt.

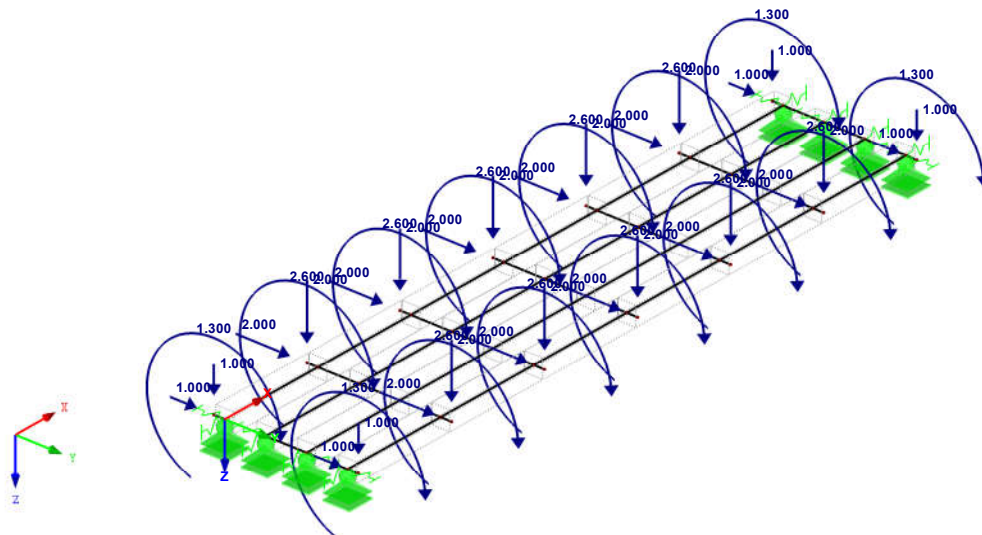
LF13 : Q Gel1
Belastung [kN], [kNm]

Isometrie



LF14 : Q Gel2
Belastung [kN], [kNm]

Isometrie



3.3 Windlast

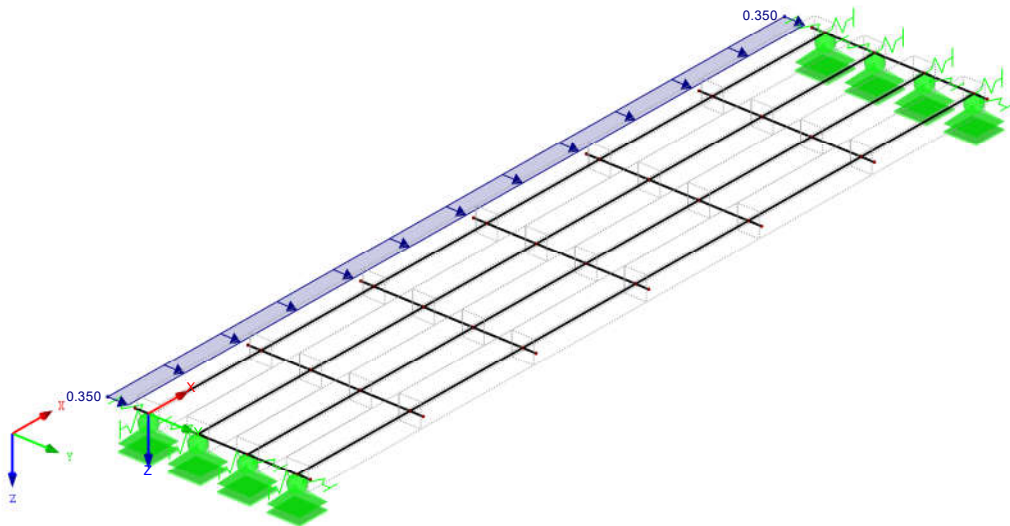
Die Windlast auf den Überbau ist gem. DIN EN 1991-1-4/NA i. A. des Verhältnisses von Überbaubreite b zu Höhe der Windangriffsfläche h zu bestimmen (hier $b/h = 2,7 \text{ m} / \text{ca. } 0,35 \text{ m} = \text{ca. } 7,7$). Für eine Höhe über Gelände $\leq 20 \text{ m}$ gilt:

- $b/h = 7,7 \geq 5,0$
- $w_k =$ $w_k = 0,95 \text{ kN/m}^2$
- $w_k' = h * w_k = 0,35 \text{ m} * 0,95 \text{ kN/m}$ $w_k' = \text{ca. } 0,35 \text{ kN/m}$

Die Lasten werden in Lastfall 20 und 21 (LF20, LF21) in den beiden maßgebenden Belastungsrichtungen der Bemessung zugeführt.

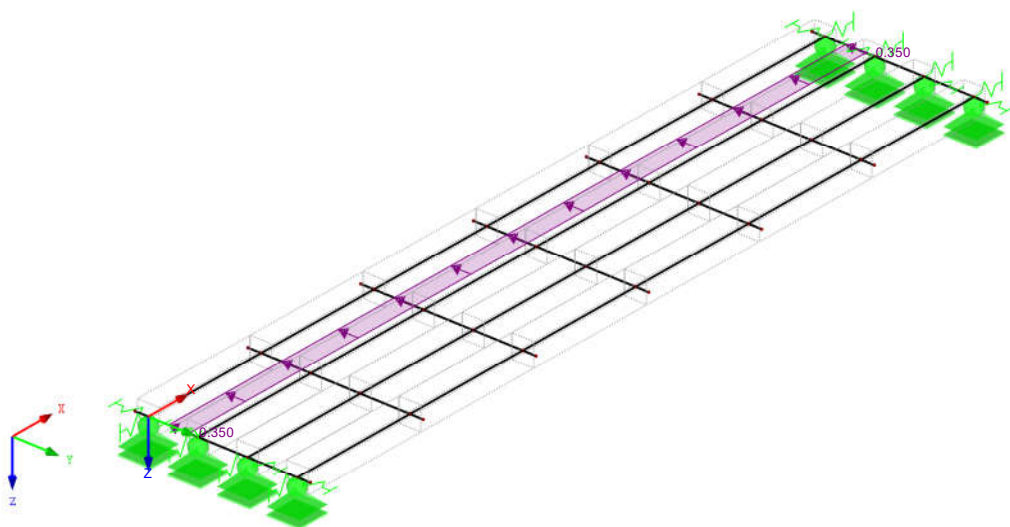
LF20 : W + y
Belastung [kN/m]

Isometrie



LF21 : W - y
Belastung [kN/m]

Isometrie



3.4 Zwang

3.4.1 Temperatureinwirkung

Gemäß DIN EN 1991-1-5:NA betragen die Basiswerte der extremal auftretenden Außenlufttemperatur folgende Werte:

$$T_{\min} = -24 \text{ °C}$$

$$T_{\max} = +37 \text{ °C}$$

Für Brückenüberbauten des Typ 1 (Stahlkonstruktion) werden gemäß DIN EN 1991-1-5, Bild 6.1 nachstehende Temperaturwerte für die Konstruktion angesetzt:

$$T_{e,\min} = T_{\min} - 3 = -24 - 3 = -27 \text{ °C}$$

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 16 = +37 + 16 = +53 \text{ °C}$$

Für die Aufstelltemperatur wird ein Wert von $T_0 = 10 \text{ °C}$ angenommen. Hieraus folgend werden die konstanten Temperaturanteile für eine Erwärmung bzw. Abkühlung mit folgenden Werten ermittelt:

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_{e,\min} - T_0 = -27 - 10 = -37 \text{ K}$$

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = +53 - 10 = +43 \text{ K}$$

Zur Bestimmung der Basiswerte der linear veränderlichen Temperaturanteile ist Typ 1 zu wählen. Gemäß DIN EN 1991-1-5, Tab. 6.1 und unter Ansatz des anzusetzenden Korrekturfaktors k_{sur} , welcher in Abhängigkeit der Belagsdicken – hier auf der sicheren Seite gewählt zu 0 – zu wählen ist, ergibt sich:

$$\Delta T_{M,\text{cool}} = -13 \text{ K} * k_{\text{sur,unten warm}} = -13 \text{ K} * 0,6 = -7,8 \text{ K}$$

$$\Delta T_{M,\text{heat}} = 18 \text{ K} * k_{\text{sur,oben warm}} = 18 \text{ K} * 1,6 = 28,8 \text{ K}$$

Die Lasten werden in den Lastfällen 100 bis 103 (LF100 bis LF103) der Bemessung zugeführt.

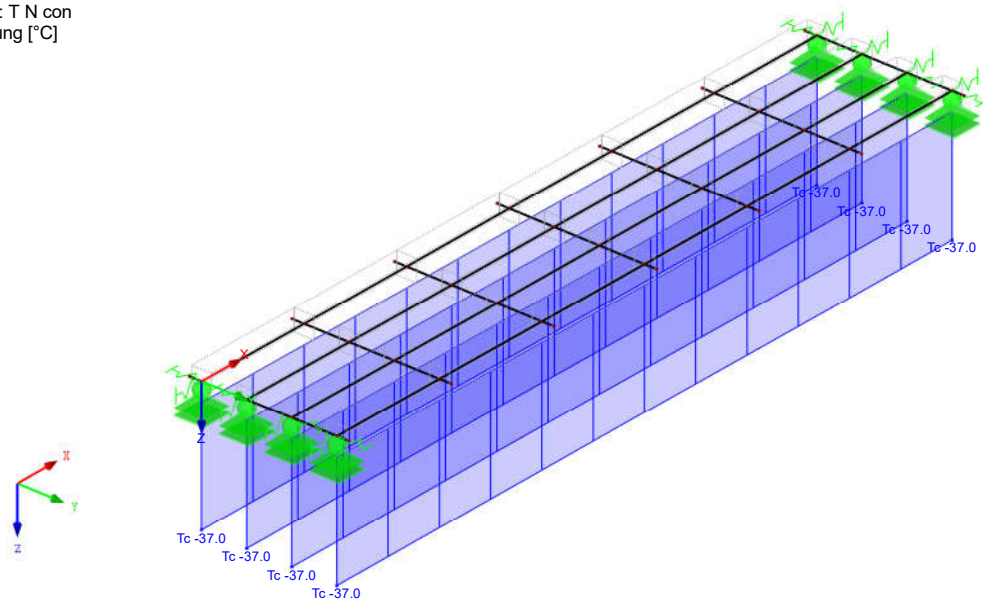
Für die gleichzeitige Berücksichtigung von konstanten und veränderlichen Temperaturanteilen gelten die Lastkombinationen gemäß DIN EN 1991-1-5, 6.1.5.

$$\Delta T_k = 0,35 * \Delta T_N + \Delta T_M \quad \text{bzw.} \quad = \Delta T_N + 0,7 * \Delta T_M$$

Die Kombinationen werden in den Lastfällen 104 bis 107 (LF104 bis LF107) der Bemessung zugeführt.

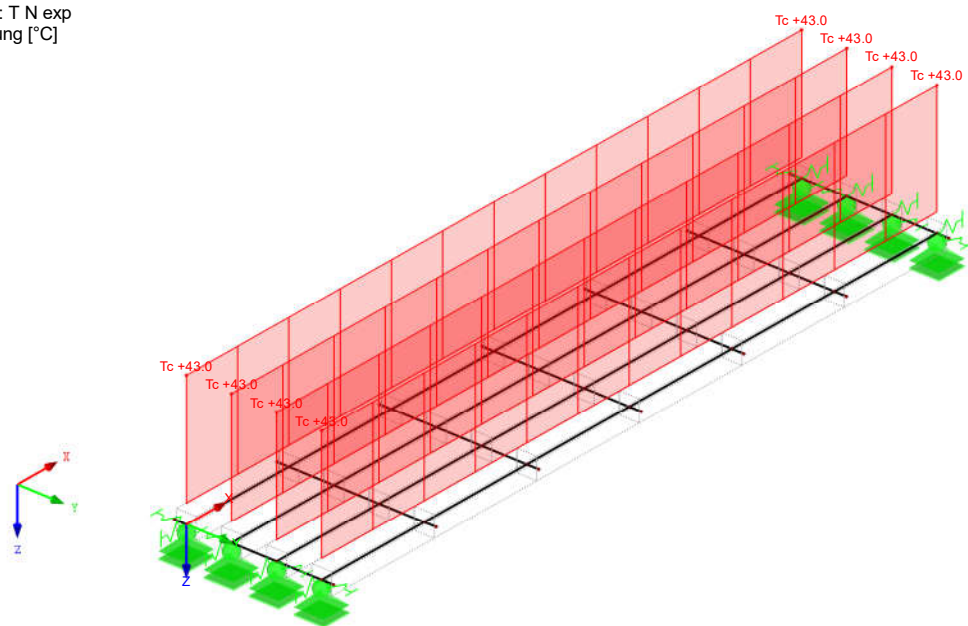
LF100 : T N con
Belastung [°C]

Isometrie



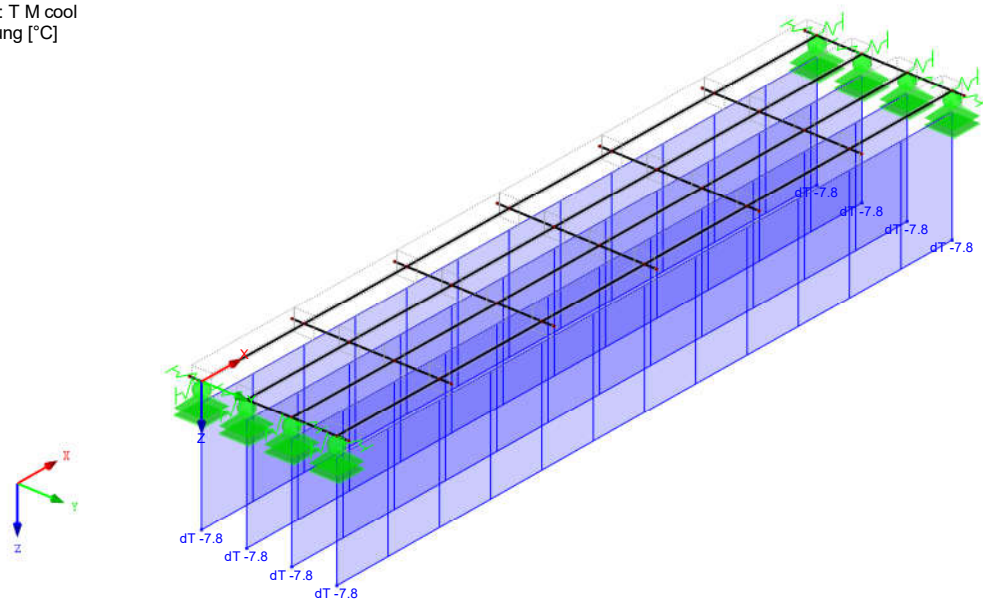
LF101 : T N exp
Belastung [°C]

Isometrie



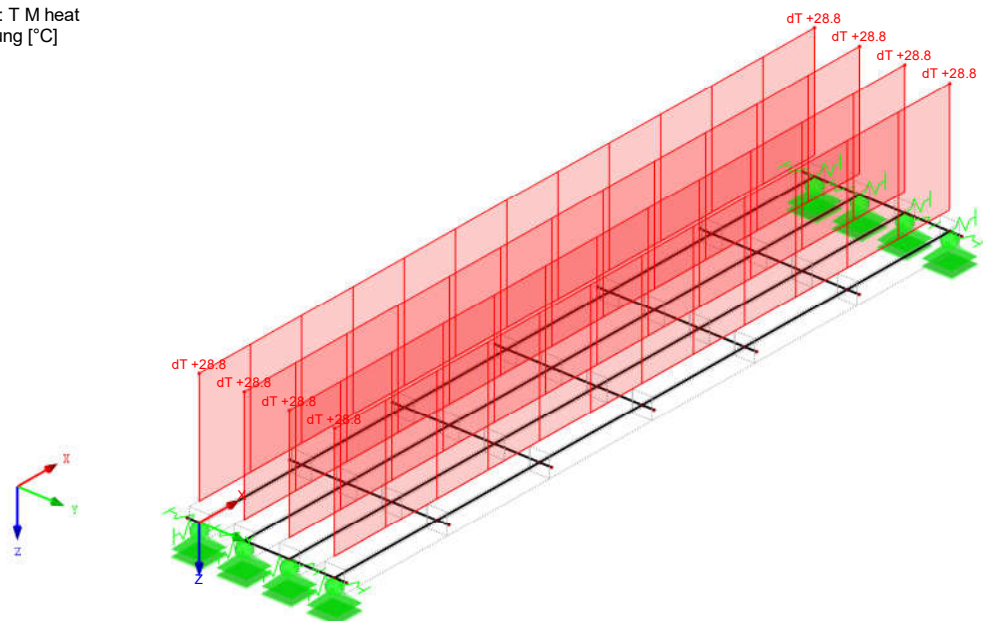
LF102 : T M cool
Belastung [°C]

Isometrie



LF103 : T M heat
Belastung [°C]

Isometrie



3.4.2 Mögliche und wahrscheinliche Baugrundbewegung

Da etwaige Stützensenkungen keine Zwänge bzw. Kräfte auf das 1-Feld-System auslösen, kann auf die Berücksichtigung von Stützensenkungen verzichtet werden.

3.5 Kriechen und Schwinden

Entfällt.

3.6 Außergewöhnliche Einwirkungen

Entfällt.

4 Einwirkungskombinationen

Zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen und der maßgebenden Nachweise werden die Einzellastfälle miteinander kombiniert. Hierfür werden die Lastfälle und Lastfallkombinationen zunächst (programmintern erforderlichen) Einwirkungen zugeordnet und anschließend nach DIN EN 1990 kombiniert. Lastfallzuordnungen, Bemessungskombination sowie weitere Bemessungsvorgaben sind in den Programmausdrucken zu finden.

Die folgenden Bemessungskombinationen werden berücksichtigt:

- Ständige und vorübergehende Kombination
- Charakteristische (seltene) Kombination
- Häufige Kombination
- Quasi-ständige Kombination

5 Bemessung Überbau

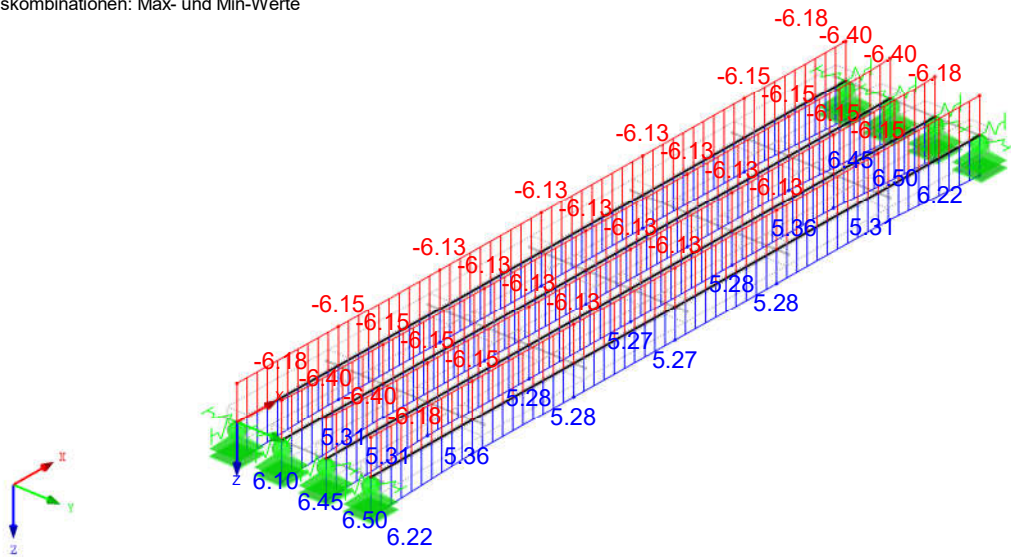
Nachfolgend werden die Ergebnisse der Bemessung zusammengefasst. Weiteres ist dem Anhang zu entnehmen.

5.1 Längsträger

5.1.1 Schnittgrößen

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen N
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

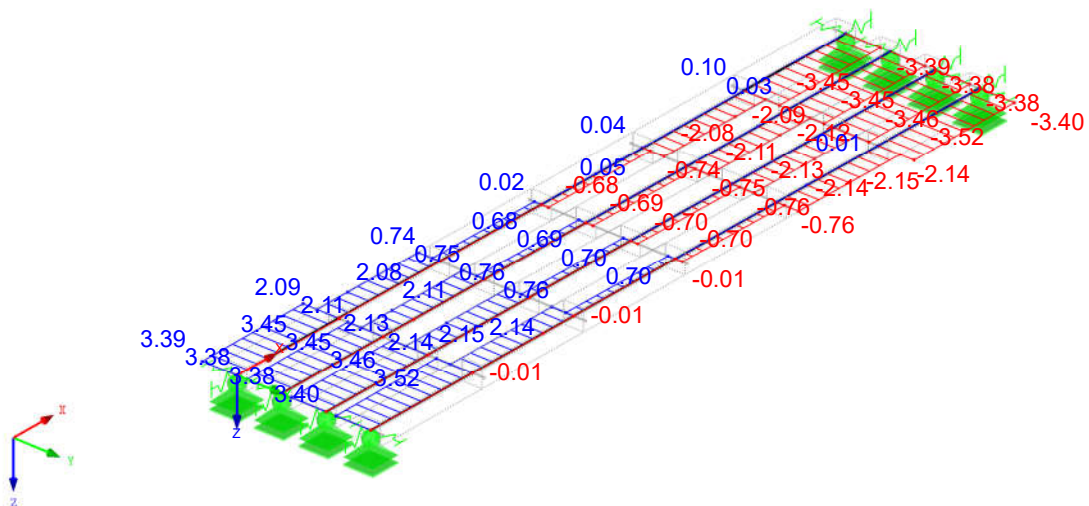
Isometrie



Max N: 6.50, Min N: -6.40 [kN]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen V-y
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

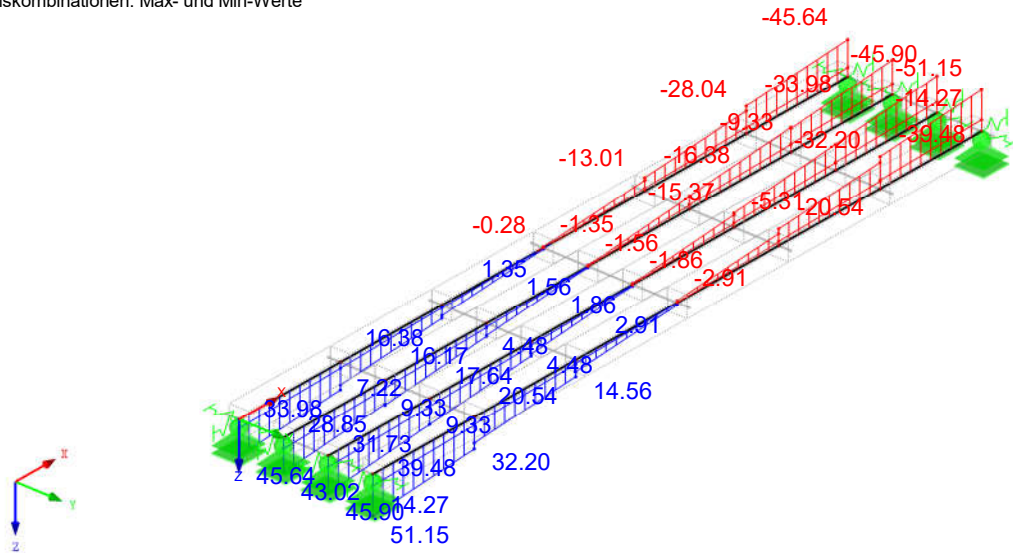
Isometrie



Max V-y: 3.52, Min V-y: -3.52 [kN]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen V-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

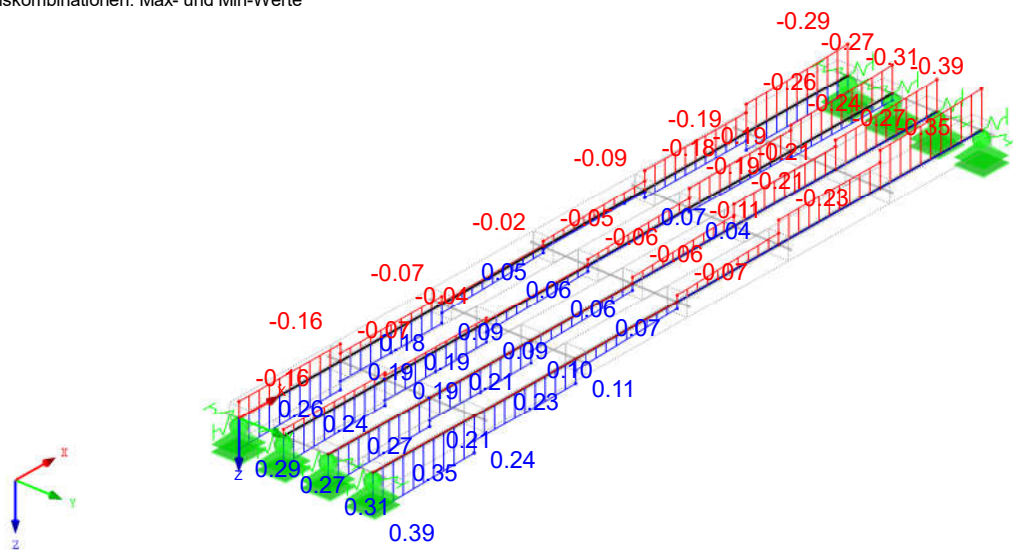
Isometrie



Max V-z: 51.15, Min V-z: -51.15 [kN]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen M-T
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

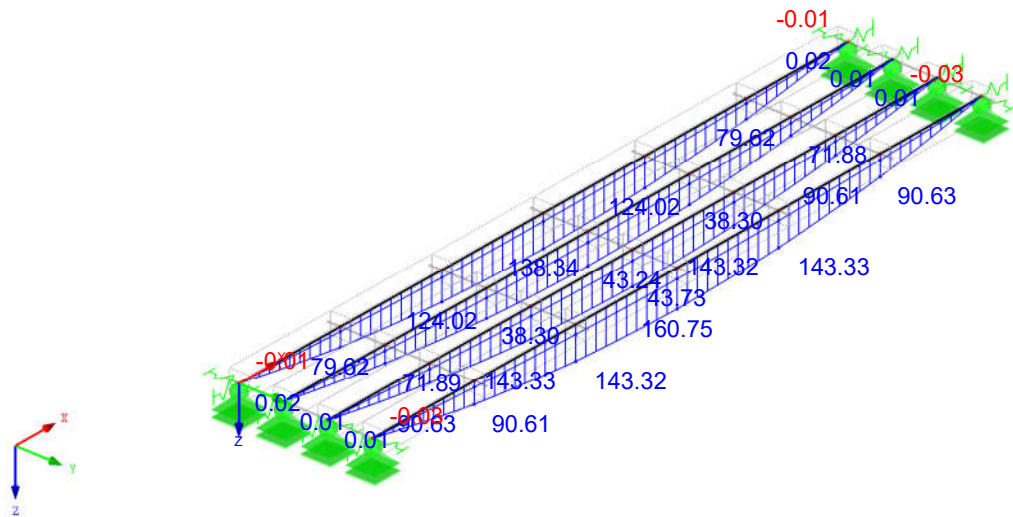
Isometrie



Max M-T: 0.39, Min M-T: -0.39 [kNm]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen M-y
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

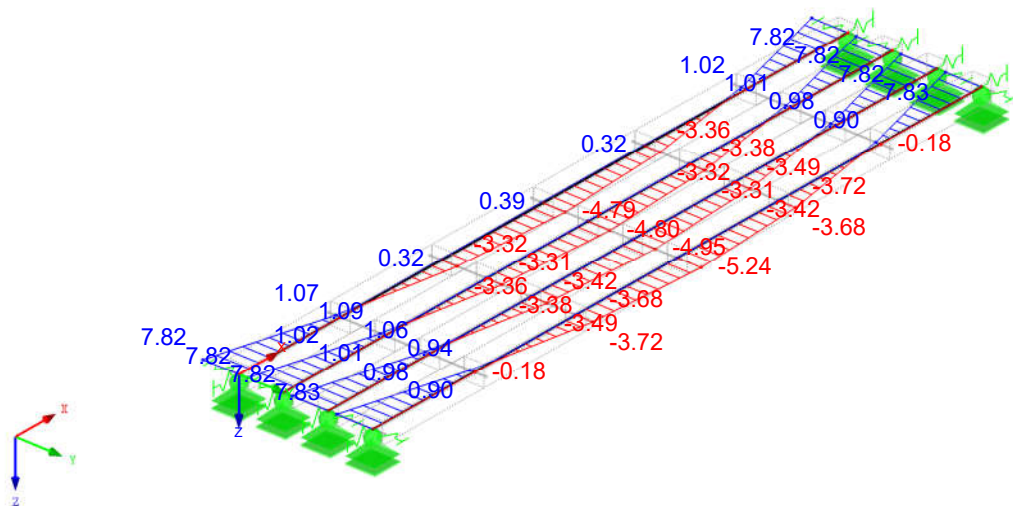
Isometrie



Max M-y: 160.75, Min M-y: -0.03 [kNm]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen M-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

Isometrie

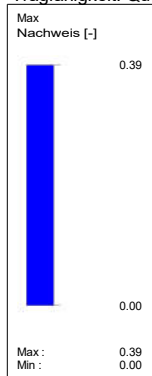
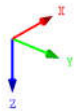
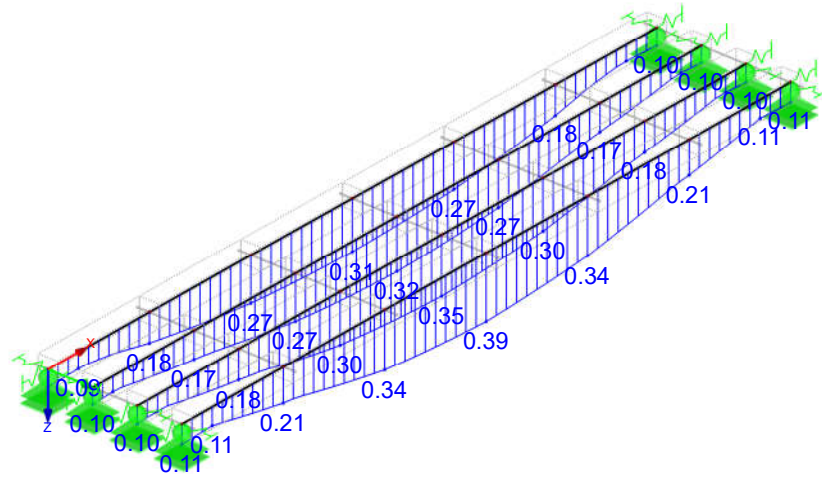


Max M-z: 7.83, Min M-z: -5.24 [kNm]

5.1.2 Tragfähigkeitsnachweis

STAHL EC3 FA1
Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis

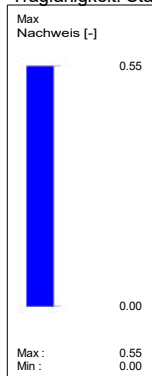
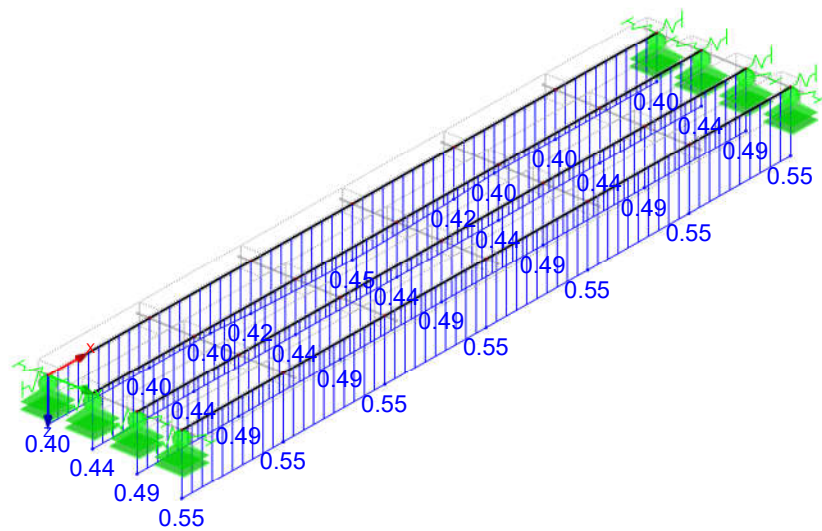
Isometrie



Max Nachweis: 0.39

STAHL EC3 FA1
Tragfähigkeit: Stabilitätsnachweis

Isometrie



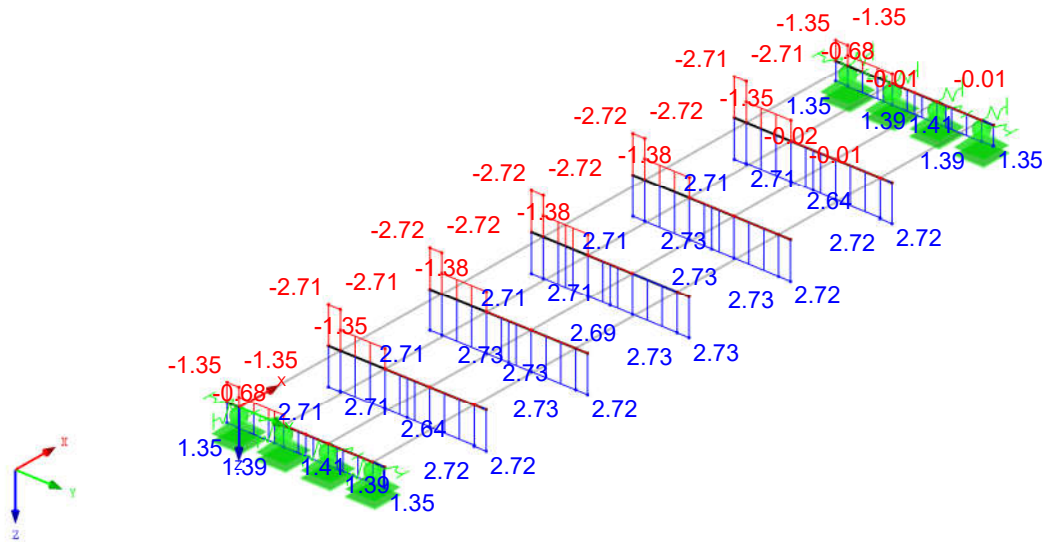
Max Nachweis: 0.55

5.2 Querriegel

5.2.1 Schnittgrößen

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen N
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

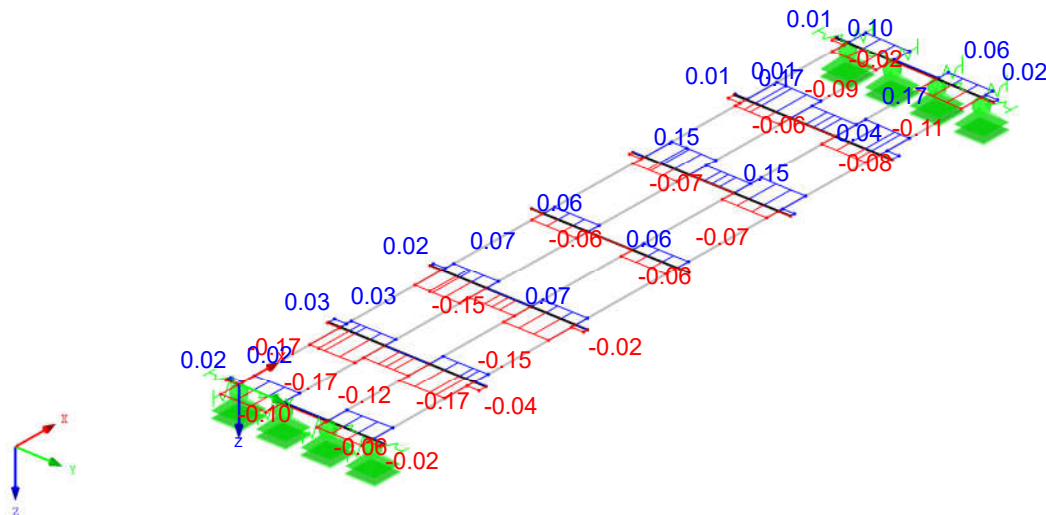
Isometrie



Max N: 2.73, Min N: -2.72 [kN]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen V-y
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

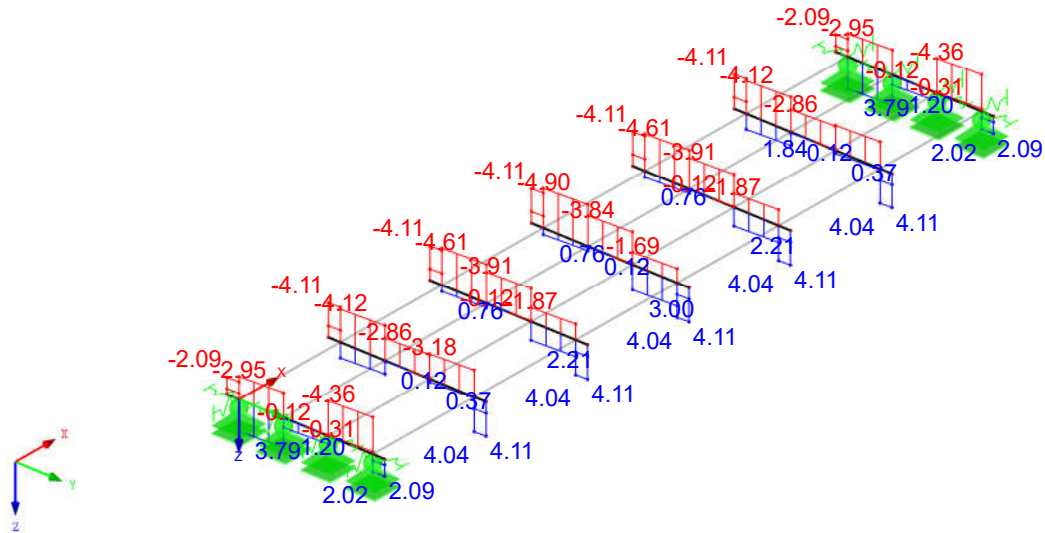
Isometrie



Max V-y: 0.17, Min V-y: -0.17 [kN]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen V-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

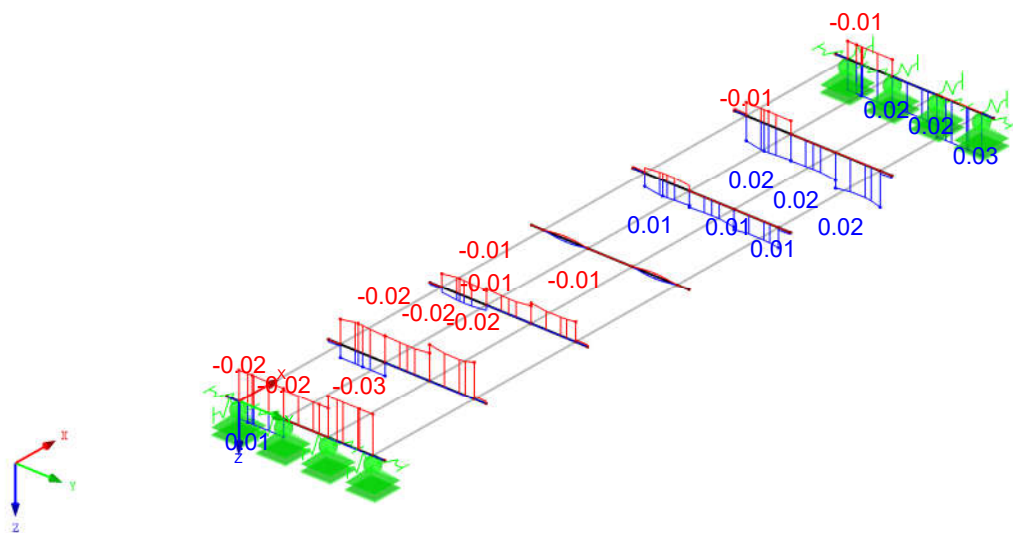
Isometrie



Max V-z: 4.11, Min V-z: -4.90 [kN]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen M-T
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

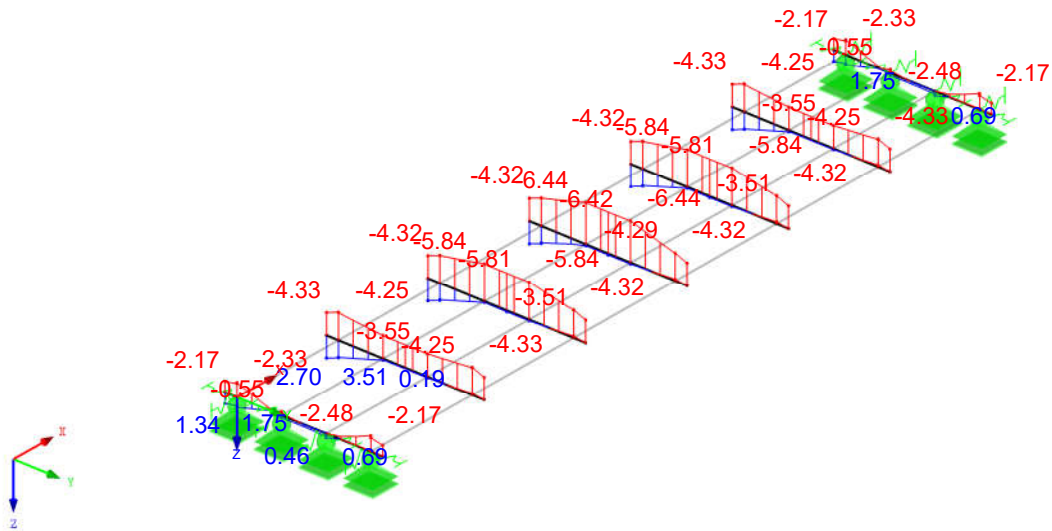
Isometrie



Max M-T: 0.03, Min M-T: -0.03 [kNm]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen M-y
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

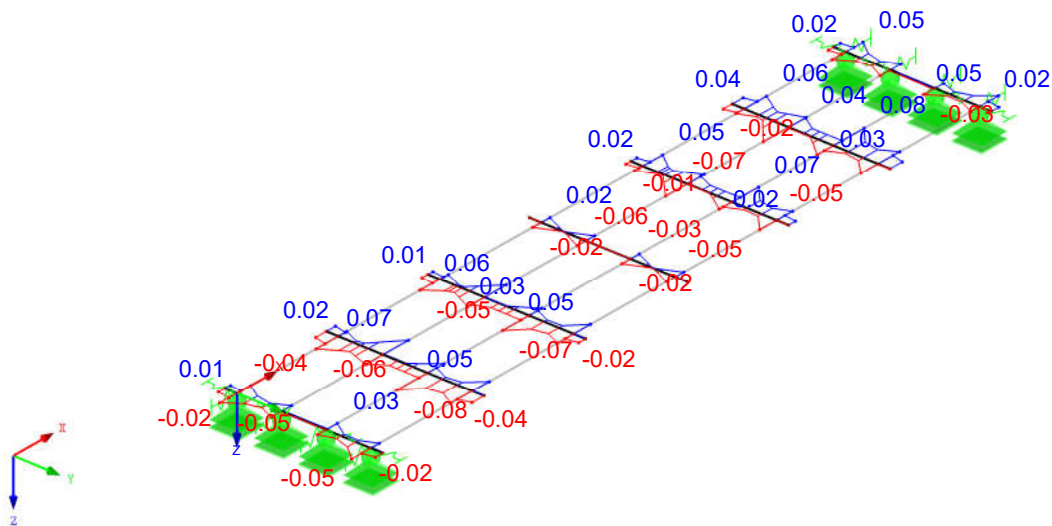
Isometrie



Max $M-y$: 3.51, Min $M-y$: -6.44 [kNm]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Schnittgrößen M-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

Isometrie



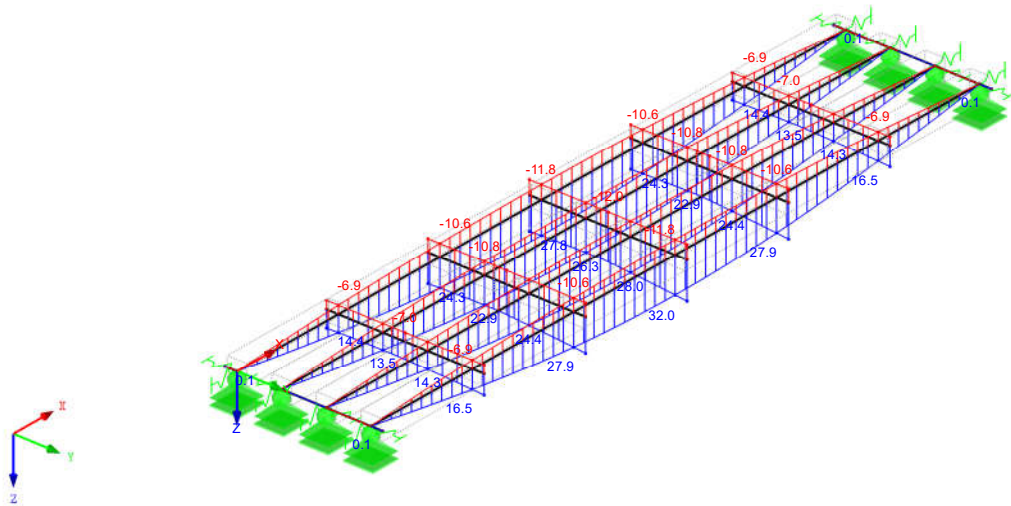
Max $M-z$: 0.08, Min $M-z$: -0.08 [kNm]

5.3 Verformung der Gesamtstruktur

5.3.1 Durchbiegung

EK2 : GZG - Charakteristisch
Lokale Verformungen u-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

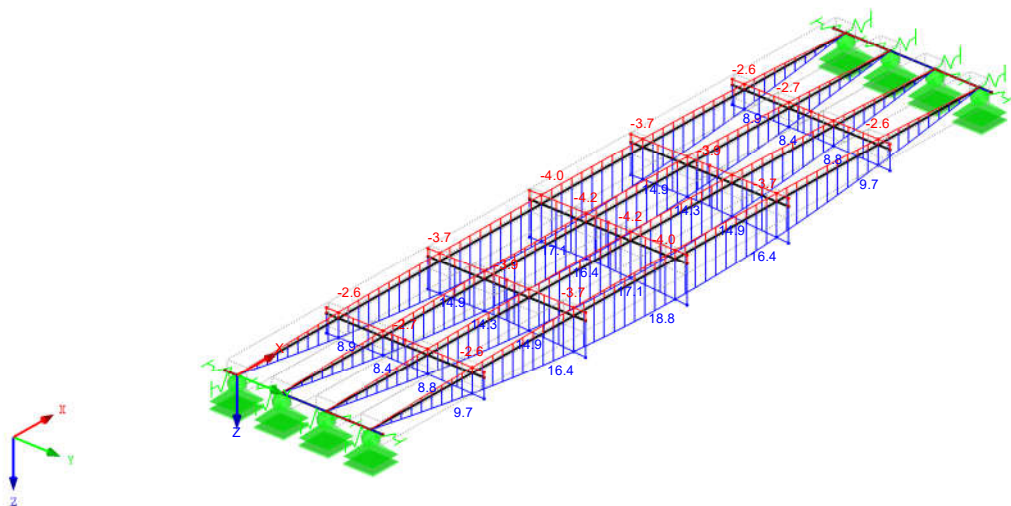
Isometrie



Max u-z: 32.0, Min u-z: -12.0 [mm]

EK3 : GZG - Häufig
Lokale Verformungen u-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

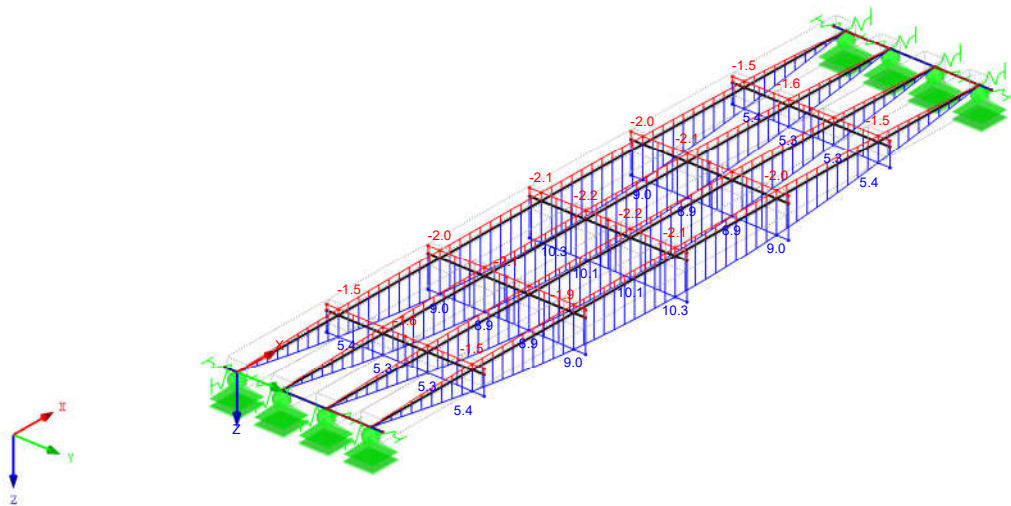
Isometrie



Max u-z: 18.8, Min u-z: -4.2 [mm]

EK4 : GZG - Quasi-ständig
Lokale Verformungen u-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

Isometrie

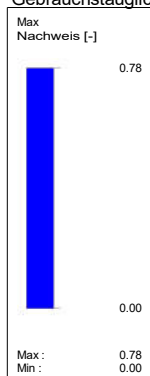
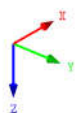


Max u-z: 10.3, Min u-z: -2.2 [mm]

5.3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

STAHL EC3 FA1
Gebrauchstauglichkeit: Verformungen

Isometrie

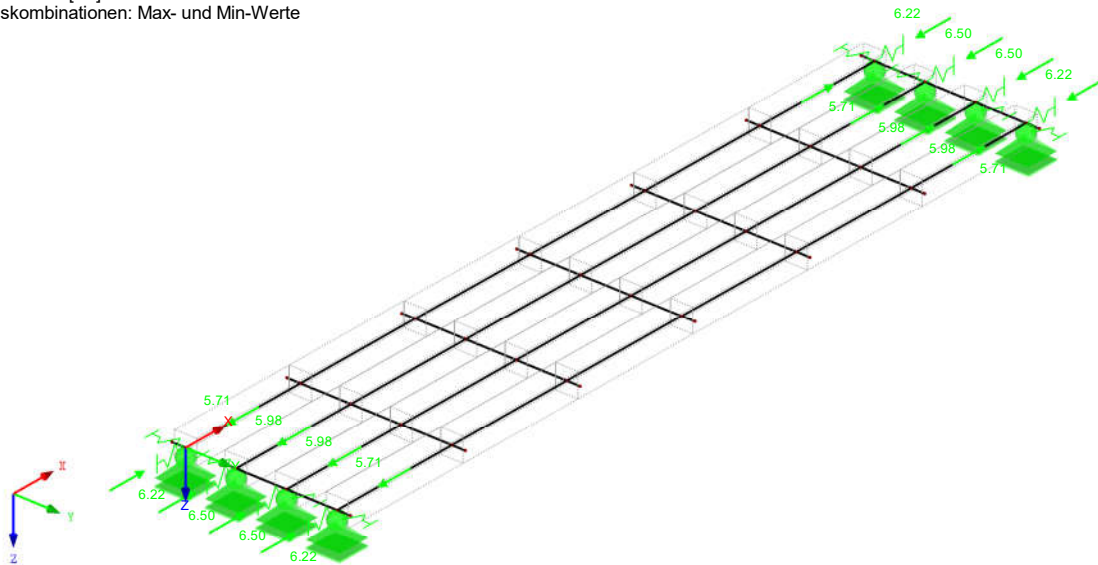


Max Nachweis: 0.78

5.4 Auflagerkräfte

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Lagerreaktionen[kN]
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

Isometrie



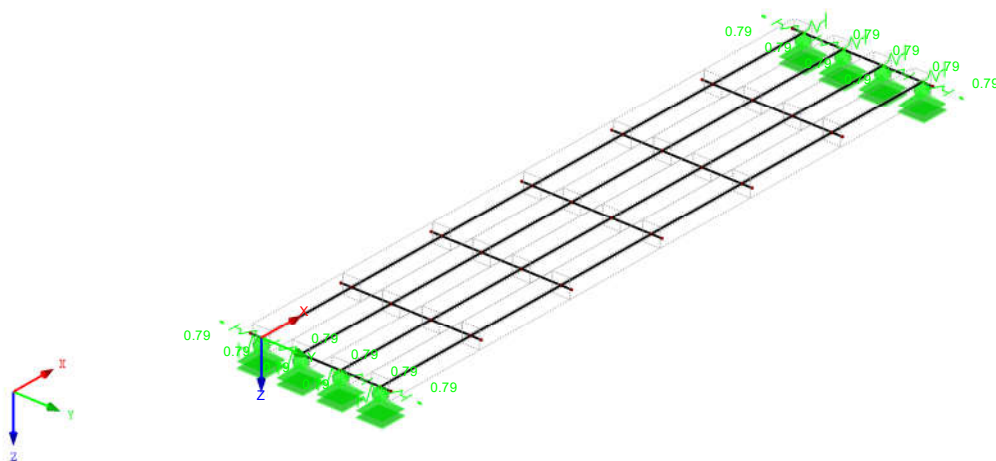
Max P-X: 6.50, Min P-X: -6.50 kN

Summe Auflagerbank:

$$P_x = + 25,44 \text{ kN} / - 23,38 \text{ kN}$$

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Lagerreaktionen[kN]
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

Isometrie



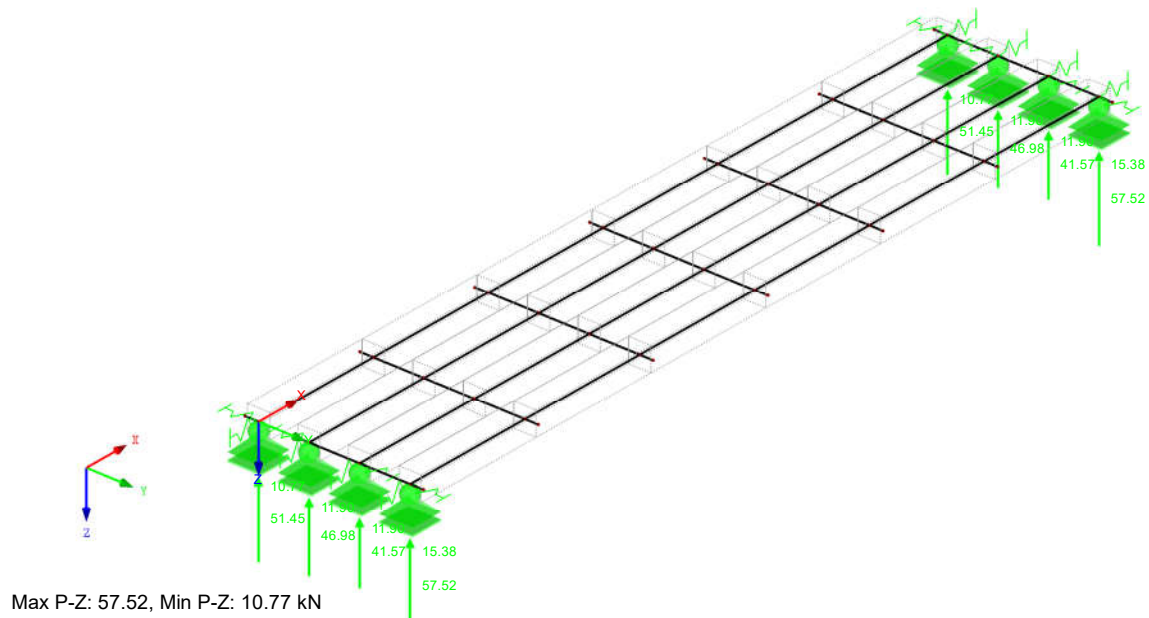
Max P-Y: 0.79, Min P-Y: -0.79 kN

Summe Auflagerbank:

$$P_y = + 3,16 \text{ kN} / - 3,16 \text{ kN}$$

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Lagerreaktionen[kN]
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

Isometrie



Summe Auflagerbank:

$P_z = \min 49,93 \text{ kN} / \max 200,51 \text{ kN}$

Unter Berücksichtigung der charakteristischen (seltenen) Einwirkungskombination (auf der sicheren Seite liegend) ergeben sich nachfolgende dargestellte vertikale Verformungen unter Ansatz eines linear-elastischen Materialverhaltens. Dem Übergang der schlaff bewehrten Konstruktion in den Zustand II und der hiermit einhergehenden Erhöhung der Durchbiegung wird pauschal mit einem Faktor $f_{\text{Zustand II}}$ von 4,0 Rechnung getragen. Die vertikale Gesamtverformung setzt sich aus einem Anteil infolge globaler Setzung und einer lastaffinen Durchbiegung des Bogens zusammen. Die globale Setzung resultiert im Wesentlichen aus der Berücksichtigung einer elastischen Lagerung der Tiefgründung.

Die globale Gesamtverformung beträgt maximal ca. 3,6 mm in Feldmitte. Die Setzungen im Bereich der Pfahlkopfbalken betragen ca. 2,2 mm. Die Differenzverformung u_z beträgt somit ca. 1,4 mm. In Bezug auf eine Stützweite l von 3,5 m bedeutet dies:

$$f_{\text{vorh.}} = (f_{\text{Zustand II}} * u_z) = (4 * 1,4 \text{ mm}) = 5,6 \text{ mm} = l/625 \leq f_{\text{grenz}} = l/250$$

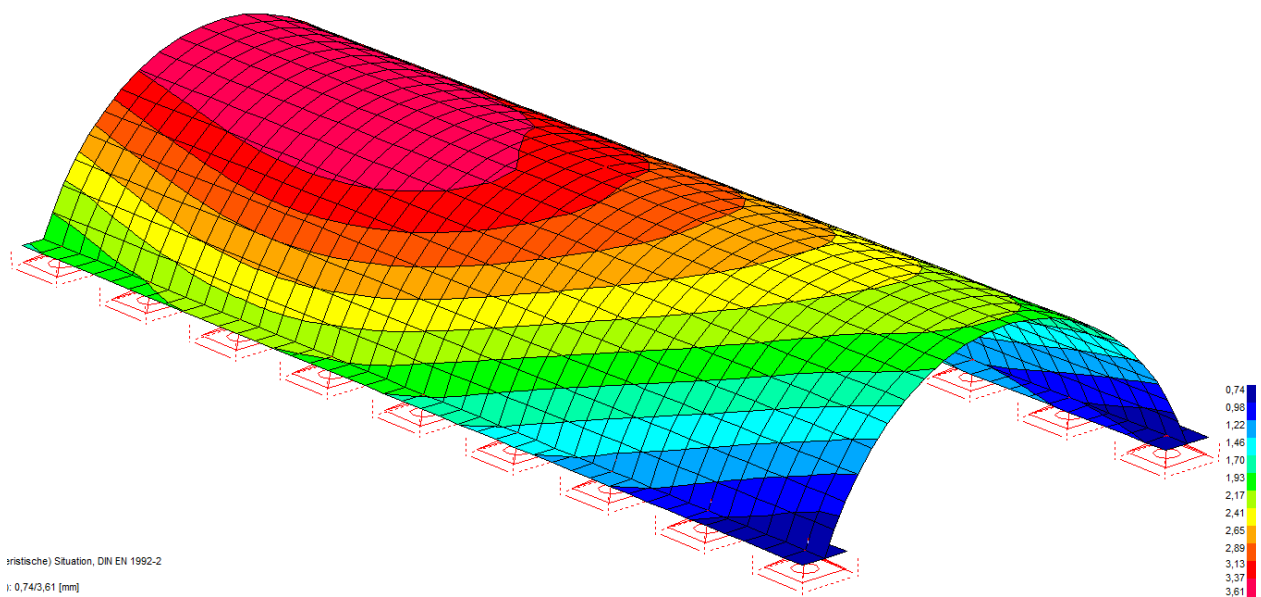


Abbildung 5: Verformung Gesamtstruktur

Anmerkung

Die „einseitige“ Durchbiegung resultiert aus dem (Verkehrs-) Lastansatz an einem Fahrbahnrand und stellt eine Grenzwertbetrachtung dar. Im realen Gebrauch ist von einer mittigen Fahrbahnnutzung auszugehen, woraus sich eine gleichmäßige Verformung ergibt.

6 Bemessung Stahlbeton

Infolge der geringen Lasten und der relativ gleichmäßigen resp. direkten Auflagerung auf den Mikropfählen sind Biege- und Querkraftbemessung nicht maßgebend.

Die Bewehrung ergibt sich aus den konstruktiven Vorgaben und der Rissbreitenbegrenzung.

6.1 Konstruktive Mindestbewehrung

Die konstruktive Mindestoberflächenbewehrung beträgt gemäß DIN EN 1992-2, Kapitel 9.1, NCI:

$$a_{s,min} \geq 0,06 \% \cdot A_{c,eff} \geq \emptyset 10-200 = 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Es ergibt sich in Abhängigkeit der Konstruktionshöhen der einzelnen Bauteile:

Auflagerbank

$$A_{c,eff} = 80,0 \text{ cm} \cdot 65,0 \text{ cm} = 5200,0 \text{ cm}^2$$

$$a_{s,min} \geq 0,06 \% \cdot A_{c,eff} = 0,06 \% \cdot 5200,0 \text{ cm}^2 = 3,12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow a_{s,min} = 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,max} \leq 4 \% \cdot A_{c,eff} = 4,0 \% \cdot 5200,0 \text{ cm}^2/\text{m} = 208,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Schleppplatte t 25,0 cm

$$A_{c,eff} = 25,0 \text{ cm} \cdot 100,0 \text{ cm/m} \cdot 0,5 = 2500,0 \text{ cm}^2$$

$$a_{s,min} \geq 0,06 \% \cdot A_{c,eff} = 0,06 \% \cdot 2500,0 \text{ cm}^2 = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow a_{s,min} = 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,max} \leq 4 \% \cdot A_{c,eff} = 4,0 \% \cdot 2500,0 \text{ cm}^2/\text{m} = 100,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

6.2 Mindestrissbewehrung

Zur Vermeidung von Rissen infolge abfließender Hydratationswärme erfolgt die Ermittlung einer Mindestbewehrung zum „Abbewehren“ von Zwangsschnittgrößen infolge Hydratation. Hierfür gelten allgemein die Vorgaben gemäß DIN EN 1992-2, Kapitel 7.3.2 und Kapitel 7.3.3. Aufgrund der weit verbreiteten Verwendung von schnell erhärtenden Zementsorten (z.B. CEM 32,5R, CEM 42,5R usw.) wird eine Frühfestigkeit von $f_{ct,eff} = 0,65 \cdot f_{ctm}$ (3 - 5 Tage nach Betonage) angesetzt. Für schlaff bewehrte Bauteile gilt es gemäß DIN EN 1992-2:NA, Tabelle 7.101DE eine zulässige Rissbreite von $w_k = 0,20$ mm einzuhalten.

Auflagerbank

Systemwerte :

Beton: C30/37

Betonstahl: B500 (A,B)

Höhe $h = 80,0$ cm

Breite $b = 60,0$ cm

$d1 = 7,5$ cm (Achsabstand Bewehrung)

--> Rissweite $w_k = 0,20$ mm

--> zentrischer Zwang aus abfließender Hydratationswärme

--> Zwang im frühen Betonalter

--> Stabdurchmesser: $\varnothing 16,0$ mm

Nachweise:

$f_{ct,eff} = 1,89$ N/mm² ($f_{ct,eff} = 0,65 \cdot f_{ctm}$)

$A_{c,t} = 0,240$ m²

$k_c = 1,00$

$A_{c,eff} = 0,113$ m²

$k = 0,50$

$\sigma_s = 170,16$ N/mm²

Ermittlung der Stahlspannung über direkte Berechnung, nicht über Tabelle für σ_s !

$\min.A_{s1} = 13,29$ cm²

$\min.A_{s2} = 13,29$ cm²

Schleppplatte t 25,0 cm

Systemwerte :

Beton: C30/37

Betonstahl: B500 (A,B)

Höhe h = 25,0 cm

Breite b = 100,0 cm

d1 = 7,5 cm (Achsabstand Bewehrung)

--> Rissweite $w_k = 0,20$ mm

--> zentrischer Zwang aus abfließender Hydratationswärme

--> Zwang im frühen Betonalter

--> Stabdurchmesser: $\varnothing 12,0$ mm

Nachweise:

$f_{ct,eff} = 1,89 \text{ N/mm}^2$ ($f_{ct,eff} = 0,65 \times f_{ctm}$)

$A_{c,t} = 0,125 \text{ m}^2$

$k_c = 1,00$

$A_{c,eff} = 0,188 \text{ m}^2$

$k = 0,80$

$\sigma_s = 194,16 \text{ N/mm}^2$

Ermittlung der Stahlspannung über direkte Berechnung, nicht über Tabelle für σ_s !

$\min.A_{s1} = 9,71 \text{ cm}^2/\text{m}$ $\min.A_{s2} = 9,71 \text{ cm}^2/\text{m}$

(entspricht $\varnothing 12,0/11,6$ cm)

6.3 Gewählte Bewehrung

Auf Grundlage der Gebrauchstauglichkeitsbemessung wird folgende Bewehrung gewählt:

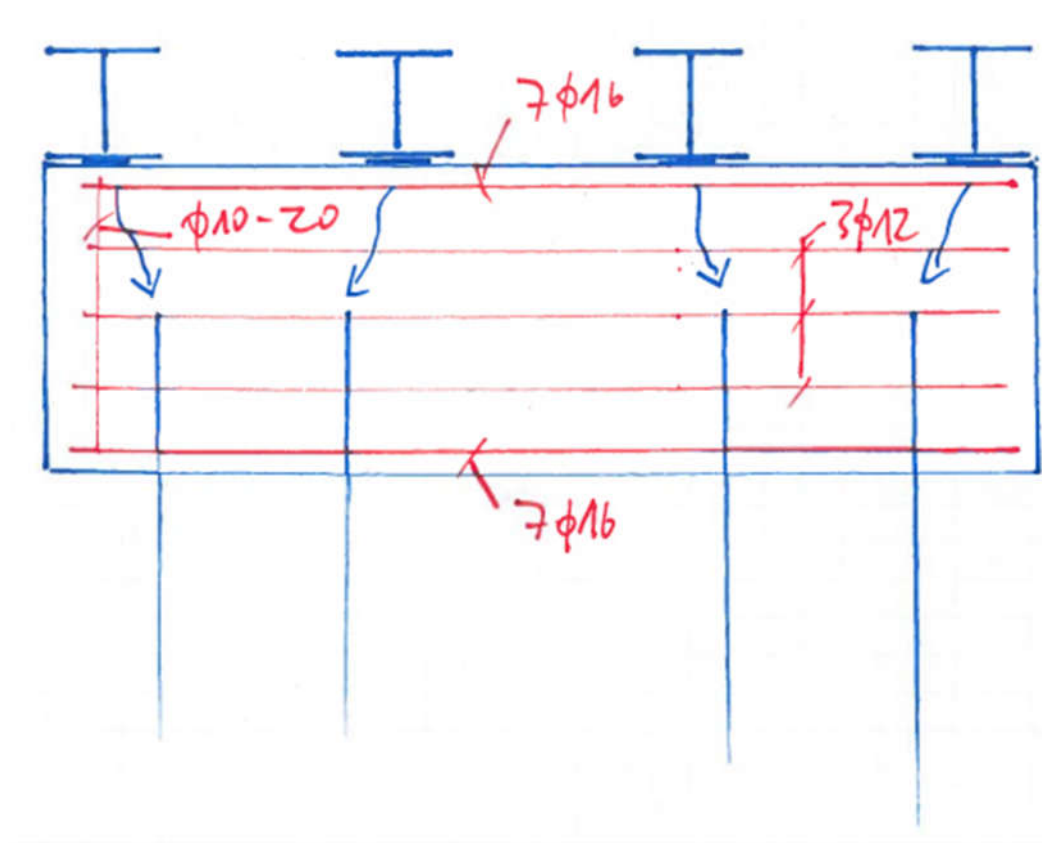
Auflagerbank

$$A_{s \text{ oben}} = 7 \phi 16 = 14,10 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \text{ unten}} = 7 \phi 16 = 14,10 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \text{ Seitenflächen}} = 3 \phi 12 = 3,39 \text{ cm}^2$$

$$a_{sw} = \phi 10-20 = 10,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$



Schleppplatte

$$a_{sx1} = a_{sx2} = a_{sy1} = \phi 12-10 = 11,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

a_{sw} entfällt

7 Bemessung Tiefgründung

Es wird ein Mikropfahl der Fa. Ischebeck vorberechnet ((weitere) technische Daten gem. bauaufsichtlicher Zulassung Z-34.14-209):

Titan 40/20

Nenn Durchmesser Tragglied außen :	D = 40 mm
Nenn Durchmesser Tragglied innen :	D = 20 mm
Wanddicke Tragglied:	10,0 mm
Durchmesser Verpresspfahl:	$D_{PS} = \text{ca. } 115 \text{ mm}$
 Pfahllänge	 L = 7,50 m
 Innere Tragfähigkeit:	 $N_{R,d} = 372 \text{ kN}$

7.1 Schnittgrößen

Es ergeben sich vertikale und horizontale Kräfte auf die Pfähle. Die vertikalen Kräfte werden den senkrechten Pfählen zugeordnet (Druckfahl). Die horizontalen Kräfte werden den um 20° geneigten Pfählen zugeordnet (Zugpfahl).

Auflagerlasten RStab

$$P_x = 25,44 \text{ kN}$$

$$P_z = 200,51 \text{ kN}$$

Eigengewicht Auflagerbank

$$P_{zg,d} = 25,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} \cdot 1,35 = 16,20 \text{ kN}$$

Horizontaler Erddruck

$$e_x = 15,0 \text{ kN/m}^2 \text{ (Verdichtungserddruck für leichtes Gerät)}$$

$$P_{xEd,d} = 15,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} \cdot 1,5 = 46,8 \text{ kN}$$

Druckbelastung

$$N_{d \text{ max}} = (P_z \text{ max} + P_{zg,d}) / 2 = 108,36 \text{ kN}$$

Zugbelastung

$$N_{d \text{ min}} = (P_x + P_{xEd,d}) / 2 / \sin 20^\circ = 105,61 \text{ kN (nicht maßg.)}$$

7.2 Nachweis innere Tragfähigkeit

$$N_{R,d} = 372 \text{ kN} > N_{d \text{ max}} = 108,6 \text{ kN}$$

$$\eta = \text{ca. } 30 \%$$

7.3 Nachweis äußere Tragfähigkeit

Für den Nachweis ist der Pfahlwiderstand auf Basis der Kennwerte gem. Kap. **Fehler!**

Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zu ermitteln. Bei Mikropfählen wird hierbei nur die Pfahlmantelreibung berücksichtigt, Anteile aus Pfahlspitzenwiderstand werden nicht angesetzt. Es ergeben sich für die beiden Widerlager folgende Widerstände in Abhängigkeit der Einbindelängen L_i in den jeweiligen Böden:

Widerstand Widerlager Nord

Schicht	qsk,i	U = (DPS+a) * pi	ys	Rd,i	L,i	Rsd,i
Nr.	kN/m²	m	-	kN/m	M	kN
4.2	30,00	14,00	1,40	9,09	2,50	22,73
5,1	95,00	0,42	1,40	28,78	2,50	71,95
5,2	135,00	0,42	1,40	40,90	1,50	61,35
6´	215,00	0,42	1,40	65,13	1,00	65,13
6	255,00	0,42	1,40	77,25	0,00	0,00
Summe Pfahl						221,15

Widerstand Widerlager Süd

Schicht	qsk,i	U = (DPS+a) * pi	ys	Rd,i	L,i	Rsd,i
Nr.	kN/m²	m	-	kN/m	M	kN
4.1	30,00	0,42	1,40	9,09	0,50	4,54
4.2	30,00	0,42	1,40	9,09	3,00	27,26
5.3	50,00	0,42	1,40	15,15	2,50	37,87
6´	215,00	0,42	1,40	65,13	1,50	97,70
6	255,00	0,42	1,40	77,25	0,00	0,00
Summe Pfahl						167,37

Nachweis

$$R_{d,min} = 167,4 \text{ kN} = > N_{d \text{ max}} = 108,6 \text{ kN}$$

$$\eta = \text{ca. } 65 \%$$

8 Anhang

A) Bemessungsprotokoll Überbau

A) Bemessungsprotokoll Überbau