

# 2 Bauwerke der neuen Ringbahnquerung über die A 100 in Berlin

## Hilfsbrückenkette und Integrales Rahmenbauwerk

13. Fachtagung Konstruktiver Ingenieurbau Berlin

28. September 2017



Dr.-Ing. Thomas Klähne

Klähne Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH

# Gliederung

1. Einführung und Beschreibung der gesamten Baumaßnahme
2. Die Behelfsumfahrung
  1. Beschreibung
  2. Berechnung und Herstellung der Hilfsbrückenkette
3. Die Ringbahnbrücke
  1. Beschreibung
  2. Grundsätzliche Fragestellungen
  3. Berechnungen und Berechnungsergebnisse
4. Schlussfolgerungen

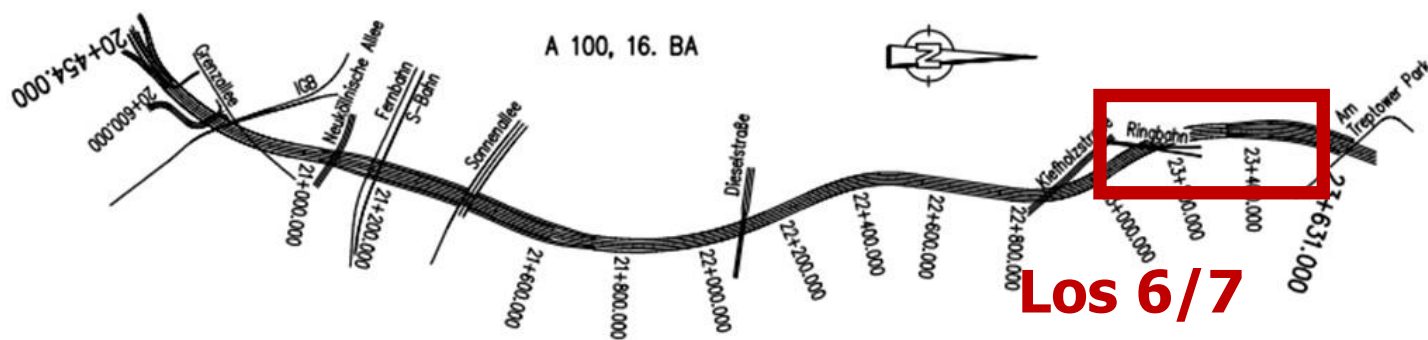
# Einführung



## Allgemeine Angaben / Technische Daten

|                   |  |
|-------------------|--|
| Gesamtlänge:      | ca. 3,2 km   |
| Regelbreite:      | 31,00 m<br>sechsstreifiger Querschnitt<br>mit 2 x 3 Fahrspuren je<br>Richtung und beidseitigen<br>Nothaltestreifen / Notgehwegen |
| Bauwerke:         | 385 m Tunnel Grenzallee<br>2.270 m Trogbauwerke<br>4 Straßenbrücken<br>3 Eisenbahnbrücken<br>2<br>Regenwasserbehandlungsanlagen  |
| temp. Bauwerke:   | 3 Behelfsbrücken<br>6 Hilfsbrücken<br>Zentrales Wassermanagement   |
| Baukosten:        | ca. 500 Mio.€  |
| geplante Bauzeit: | 2013 - 2022  |

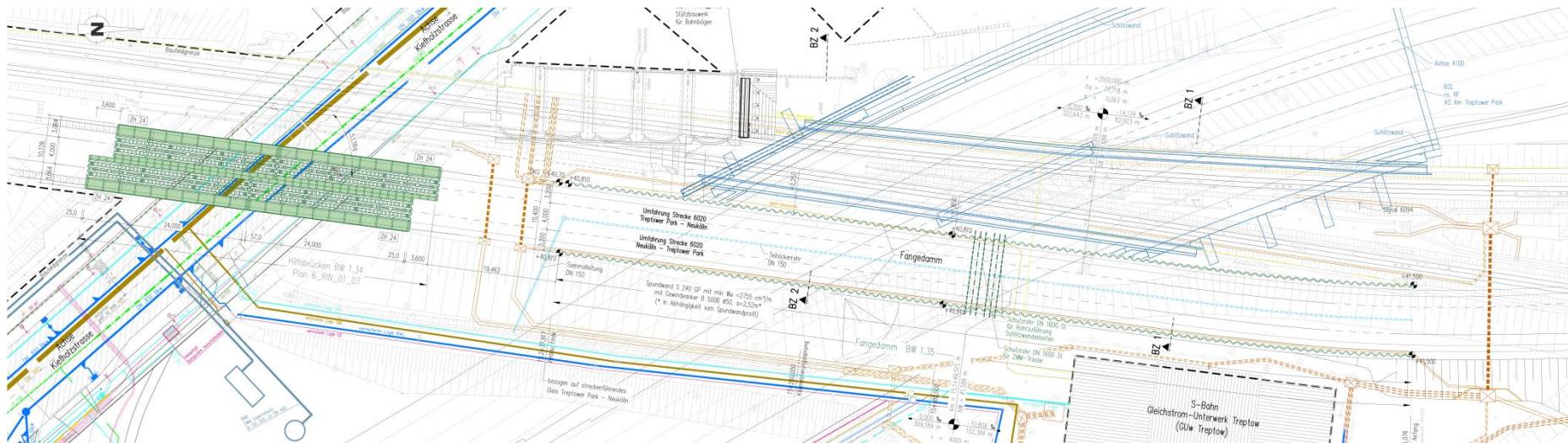
# Einführung





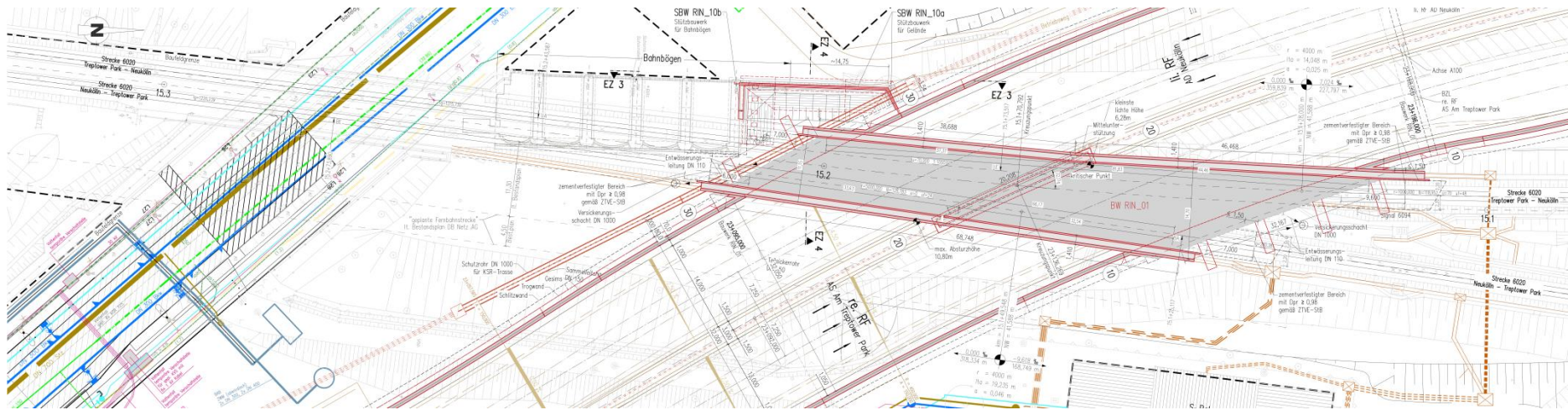
# Einführung - Bauablauf

- Herstellung der bauzeitlichen Umfahrung der S-Bahnstrecke (Hilfsbrückenkette und Fangedamm) + Inbetriebnahme
- Herstellung Stützbauwerke RIN\_10a und RIN\_10b und Sicherung der S-Bahnbögen
- Herstellung Tiefgründung der Ringbahnbrücke EÜ RIN\_01 und teilweise Herstellung Baugrubenwände Dock 25 als Schlitzwände

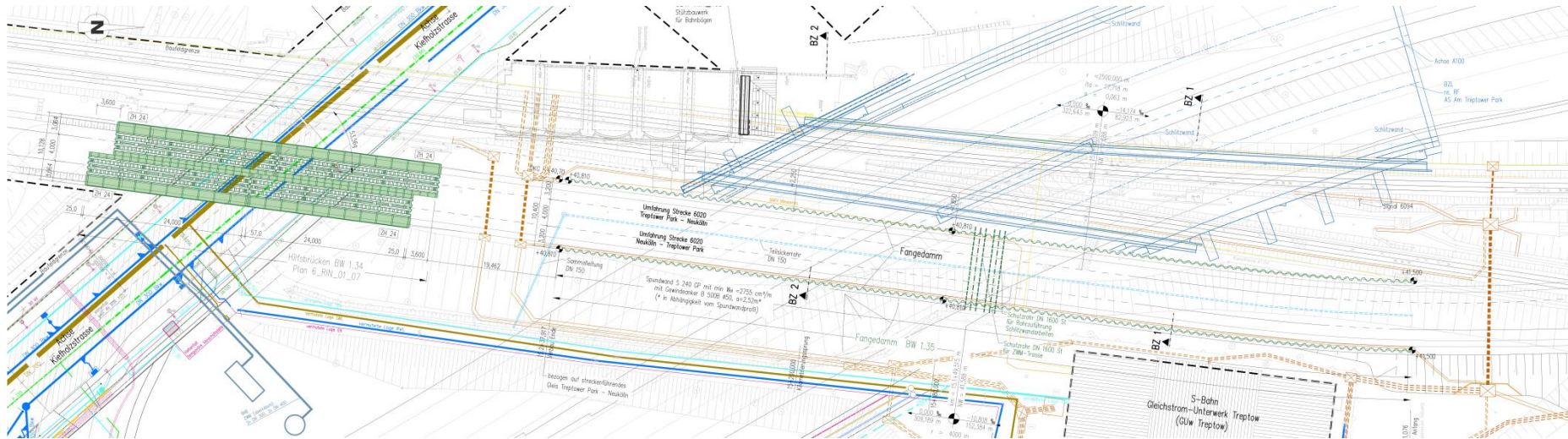


# Einführung - Bauablauf

- Herstellung Baugrube und Trog Dock 26
- Herstellung aufgehende Wände und Überbau Ringbahnbrücke EÜ RIN\_01 + Inbetriebnahme
- Rückbau Fangedamm und Hilfsbrückenkette
- Restliche Herstellung Baugrubenwände Dock 25 als Schlitzwände
- Herstellung Baugrube und Trog Dock 24
- Aushub unter Ringbahnbrücke, Herstellung UWBS und Trog Dock 25



# Behelfsumfahrung - Beschreibung



## Zwillingsträger - Hilfsbrücken:

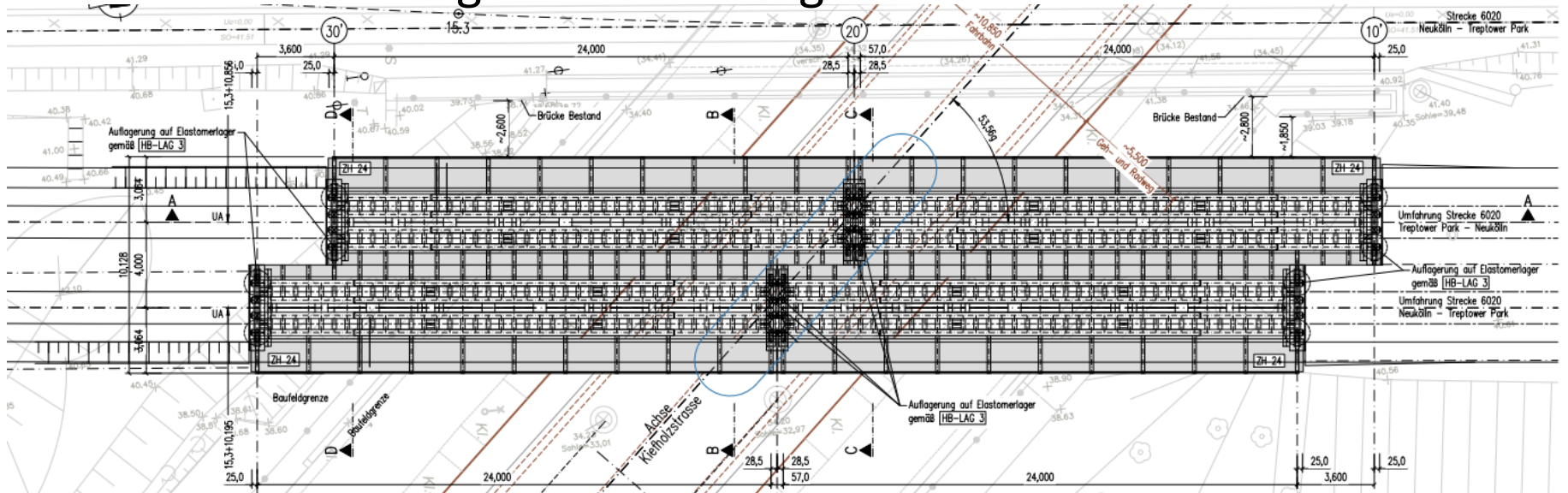
- Länge 24 m,
- HB ZH 24 gemäß RiZ, RiL 804.9050,
- 4 Längsträger HEM 1000 mit Verstärkung,
- Querträger HEB 200 im Abstand von 600 mm

## Fangedamm:

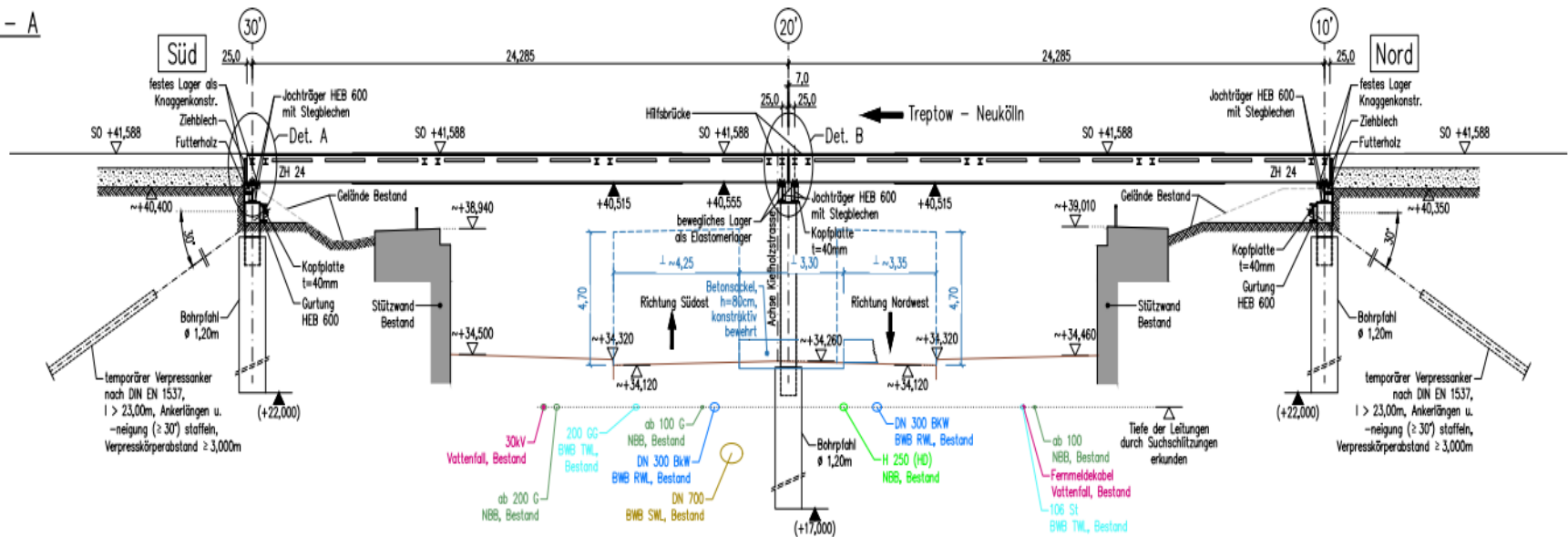
- Länge ca. 130 m
- Breite ca. 10,40 m
- Spundwandprofil VL606 aus S270GP,
- Spundbohlen im Abstand von 2,40 m mit Gewindestangen gegeneinander verspannt,
- Gurtung aus 2xU320, S355 J2



# Behelfsumfahrung - Beschreibung

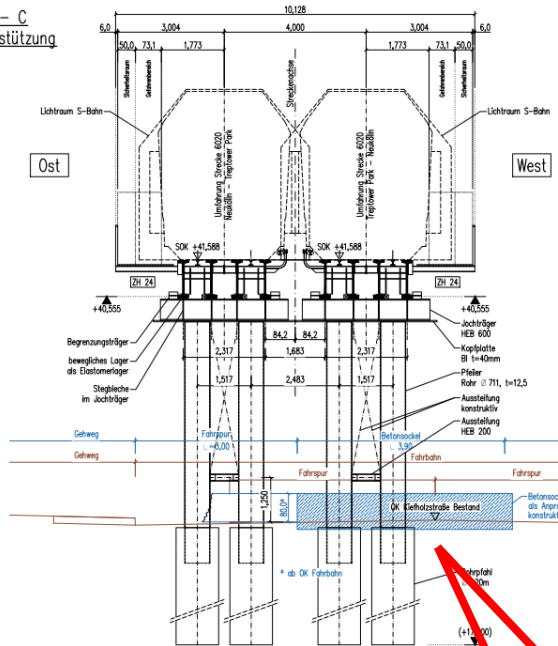


Schnitt A - A  
M 1:100

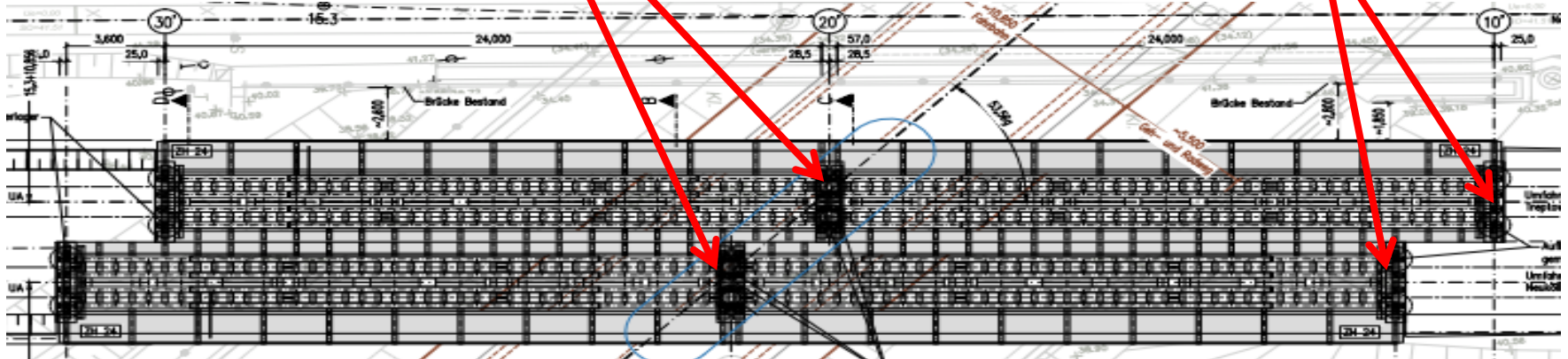
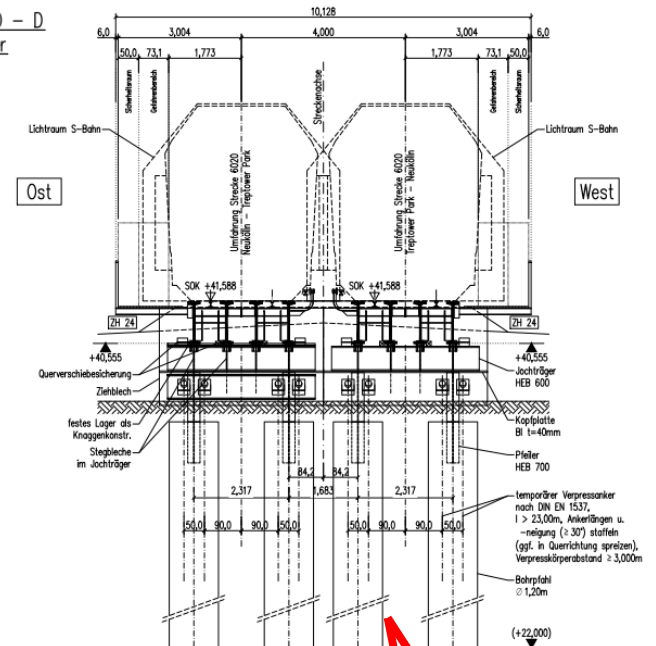


# Behelfsumfahrung - Beschreibung

Schnitt C - C  
Mittelunterstützung  
M 1:50



Schnitt D - D  
Widerlager  
M 1:50





# Hilfsbrückenkette – normative Festlegungen

- Bemessung erfolgt auf Grundlage der Richtlinie 804.4110 und 4111, Eurocodes, DIN EN 1090, DBS 918005
- Richtzeichnungen, Planungs- und Einbauhinweise sind in Modul 804.9050 geregelt
- Hilfsbrücken sind temporäre Baubehelfe – daher keine Nachweise im Grenzzustand der Ermüdung erforderlich
- Als Dauerbehelfe sind Hilfsbrücken nicht zugelassen, anderenfalls ist eine UiG notwendig.
- Hilfsbrückenketten mit mehr als 2 Hilfsbrücken hintereinander oder einer gesamten Hilfsbrückenlänge  $> 30$  m benötigen UiG und ZiE → diese wurde erteilt
- für Zwillingsträgerhilfsbrücken sind nur Elastomerlager und höhenverstellbare Punktkippgleitlager mit eisenbahnspezifischem Verwendbarkeitsnachweis zu verwenden.
- Bei der Verwendung der Hilfsbrücken sind lediglich die Auflagerkonstruktion und Lager zu bemessen. Die Hilfsbrücken selbst sind typengeprüfte, standardisierte, bauaufsichtlich zugelassene Konstruktionen, die abhängig von der Spannweite gewählt werden

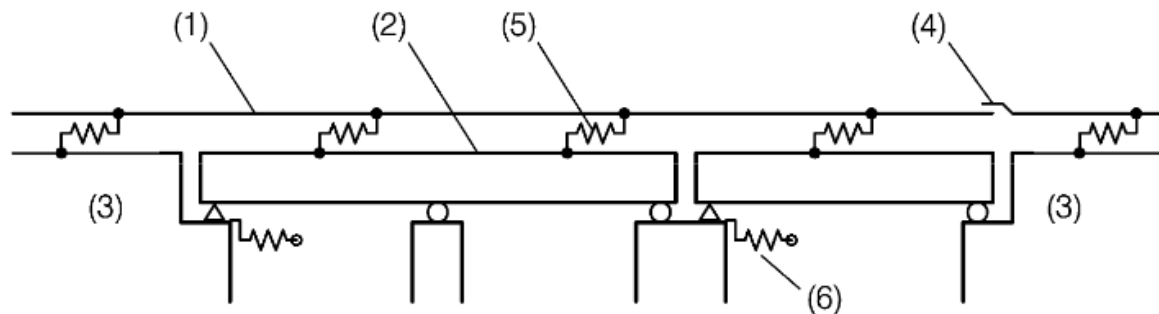
# Hilfsbrückenkette – Schienenspannungsberechnungen

- Auswirkungen des Zusammenwirkens von Brückentragwerken und Oberbau müssen beim Nachweis der Schienen berücksichtigt werden
- Wesentliche Einwirkungen sind Anfahr- und Bremskräfte, Temperaturänderungen und vertikale Verkehrslasten
- Die zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen betragen für Hilfsbrücken  $92 \text{ N/mm}^2$  (Zug) sowie  $72 \text{ N/mm}^2$  (Druck)
- Schienen sind direkt über Rippenplatten auf den Brückenquerträgern i.d.R. fest zu verspannen. Bei Hilfsbrückenketten mit einer Gesamtlänge von mehr als 30 m muss dazu ein Nachweis der Schienenspannungen an den Fugen der Widerlager zum Damm geführt werden. Übersteigen die Schienenlängsspannungen die zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen, sind Schienenbefestigungen mit freiem Durchschub zu verwenden.

# Hilfsbrückenketten – Schienenspannungsberechnungen

## 6.5.4.4 Modellierung und Berechnung des gemeinsamen Gleis-/Tragwerkssystems

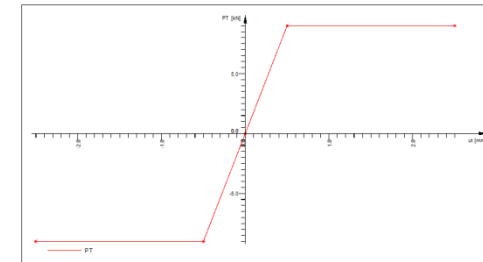
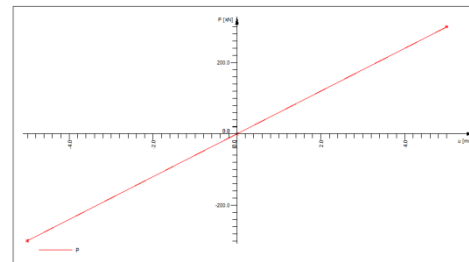
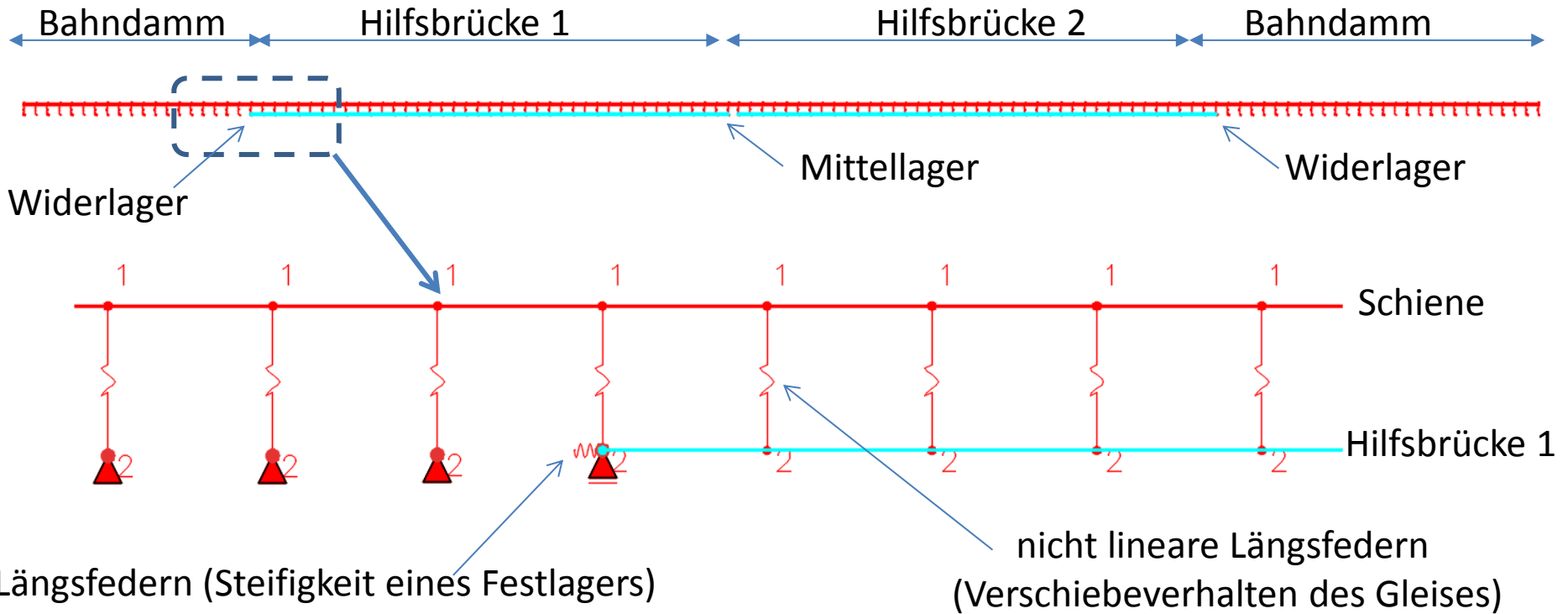
(1) Für die Bestimmung der Lastauswirkungen im gemeinsamen Gleis-/Tragwerkssystem kann ein Modell nach Bild 6.19 verwendet werden.



### Legende

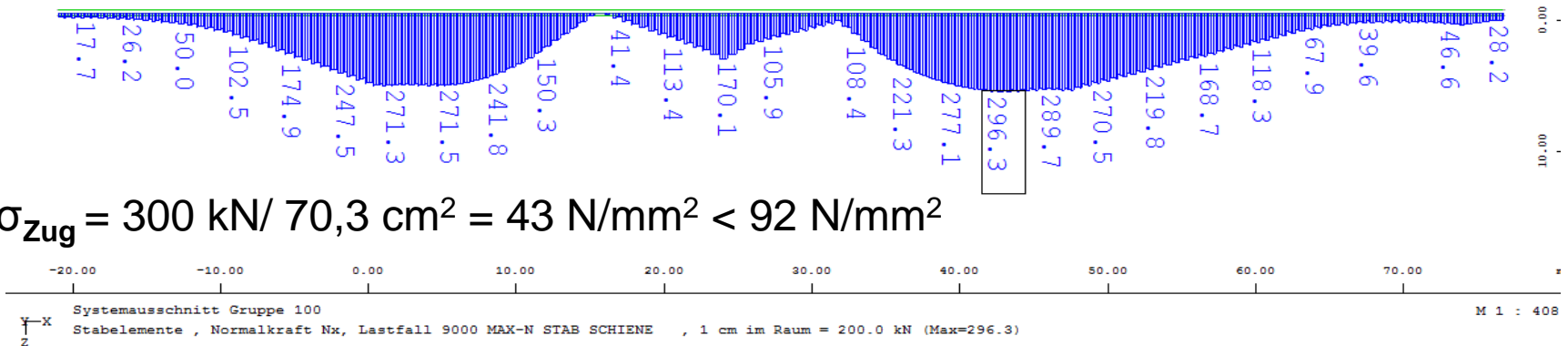
- (1) Gleis
- (2) Überbau (das Bild zeigt einen einzelnen Überbau mit zwei Feldern und einen Einfeldträger)
- (3) Erdbauwerk
- (4) Schienenauszug (wenn vorhanden)
- (5) nicht lineare Längsfedern stellen die Längsbelastung/das Verschiebverhalten des Gleises dar
- (6) Längsfedern stellen die Steifigkeit  $K$  in Längsrichtung eines Festlagers dar, unter Berücksichtigung der Steifigkeit von Gründung, Stützen und Lagern usw.

# Hilfsbrückenketten - Schienenspannungsberechnungen



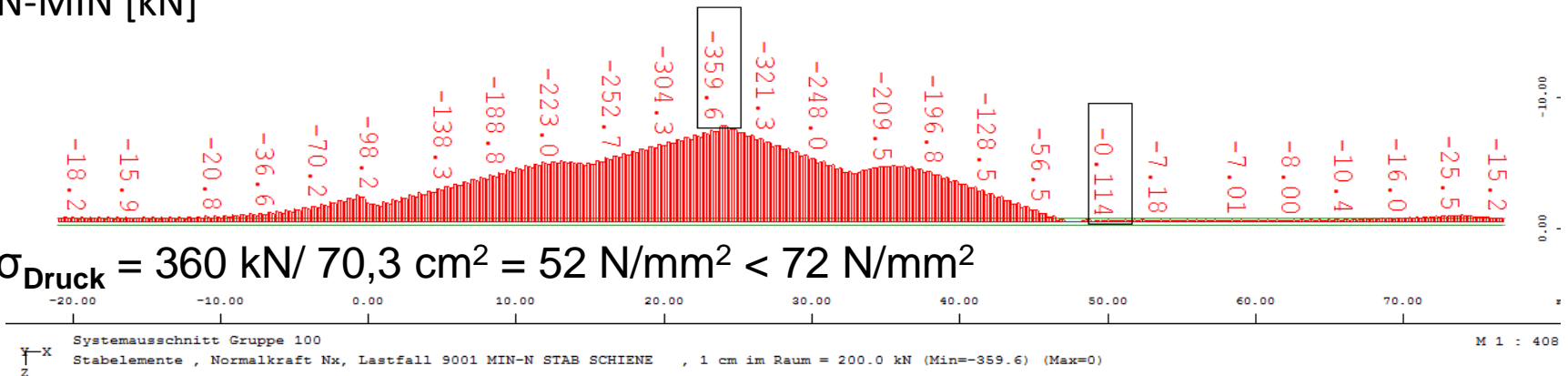
# Hilfsbrückenketten - Schienenspannungsberechnungen

N-MAX [kN]



$$\sigma_{\text{Zug}} = 300 \text{ kN} / 70,3 \text{ cm}^2 = 43 \text{ N/mm}^2 < 92 \text{ N/mm}^2$$

N-MIN [kN]

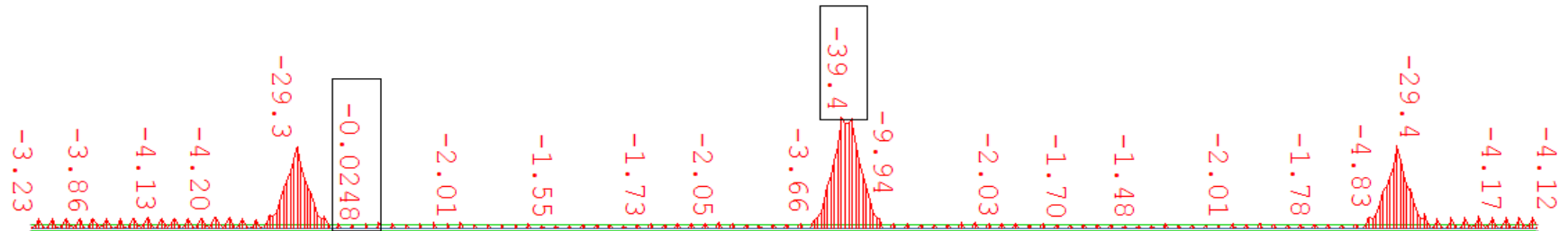


$$\sigma_{\text{Druck}} = 360 \text{ kN} / 70,3 \text{ cm}^2 = 52 \text{ N/mm}^2 < 72 \text{ N/mm}^2$$

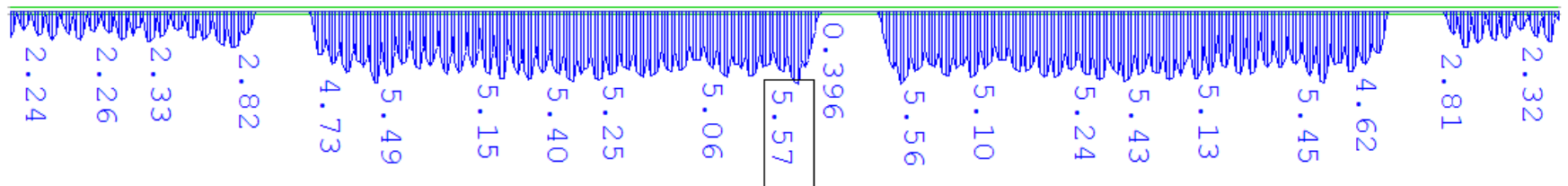


# Hilfsbrückenkette - Schienenspannungsberechnungen

My-MIN [kNm]



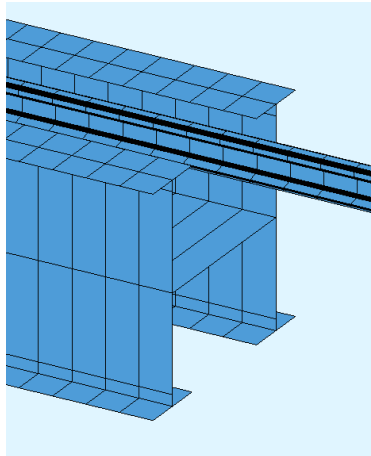
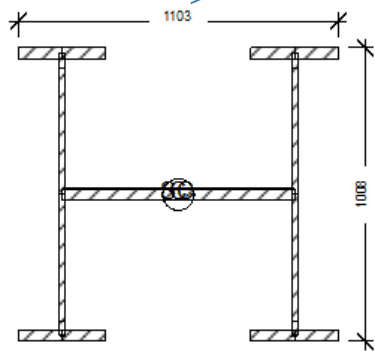
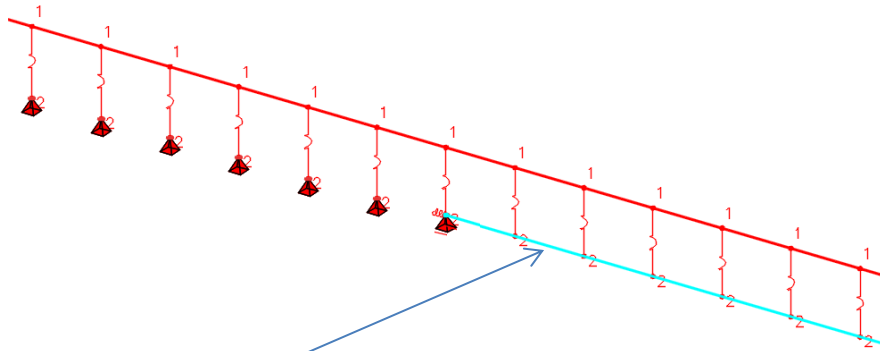
My-MAX [kNm]



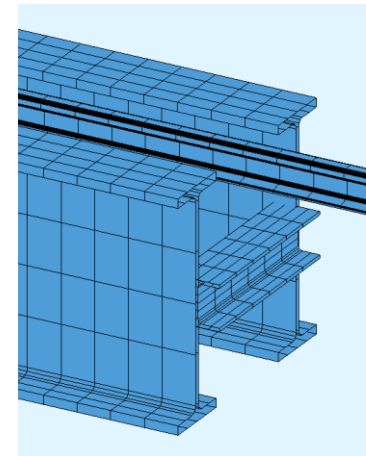
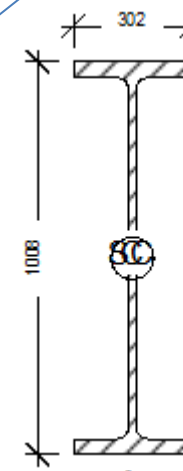
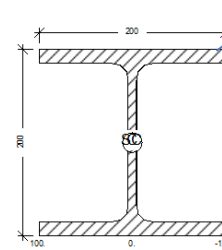
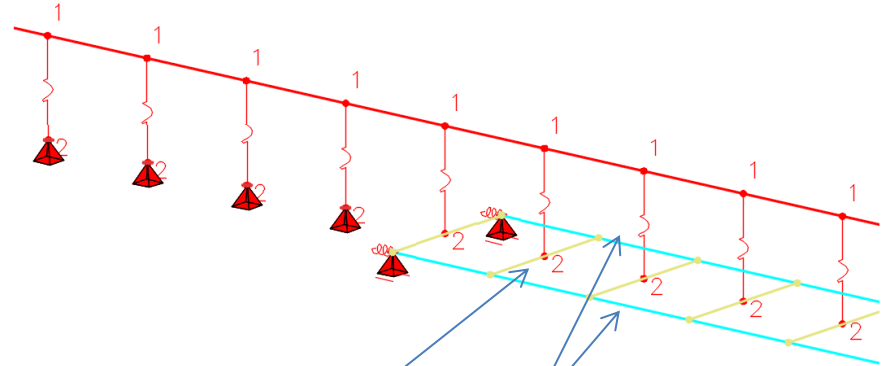
$$\sigma_{\max} = 3940 \text{ kNcm} / 262 \text{ cm}^3 = 150 \text{ N/mm}^2$$

# Hilfsbrückenketten - Schienenspannungsberechnungen

## Model 2D (Einzelstab)



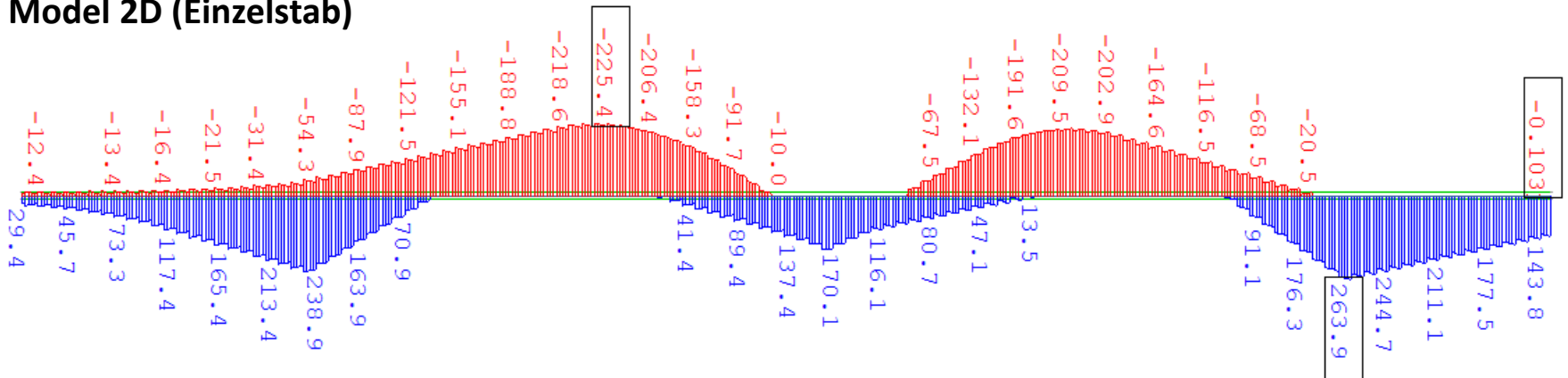
## Model 3D (Trägerrost)



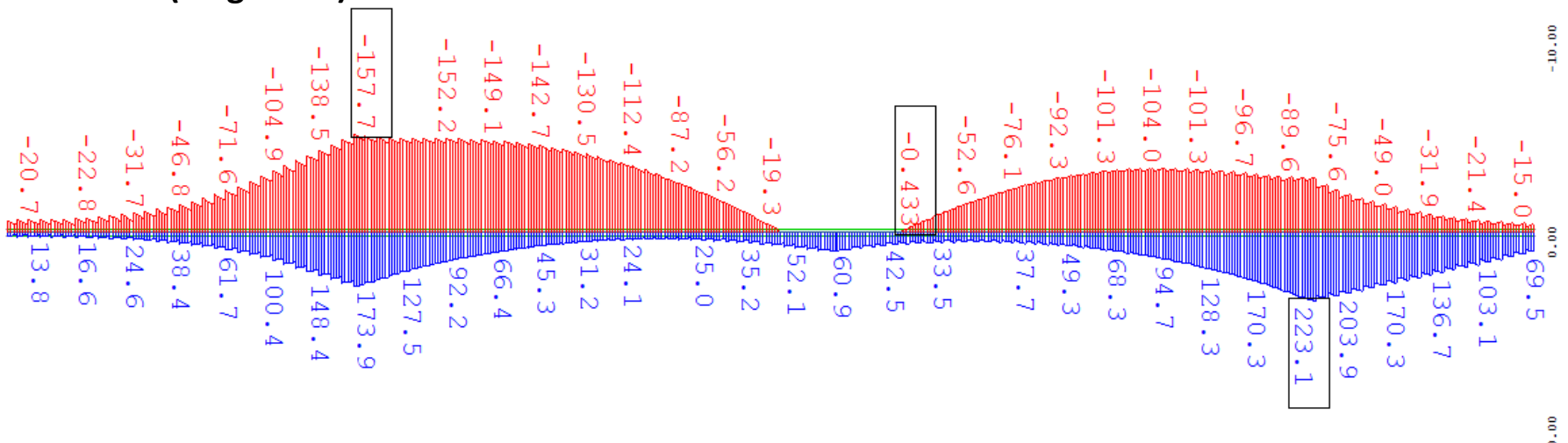
# Hilfsbrückenkette - Schienenspannungsberechnungen

## Normalkräfte aus LM 71

### Model 2D (Einzelstab)



### Model 3D (Trägerrost)



# Hilfsbrückenketten - Schienenstützpunktberechnungen

- Abhebende Schienenstützpunktkräfte entstehen an Trennfugen bei Vertikalversätzen zwischen den Fugenrändern oder bei großen Tangentenwinkeln zwischen Widerlager und Überbau oder zwischen hintereinander liegenden Überbauten
- Maximal aufnehmbare Stützpunktkräfte auf Zug an üblichen Schienenklemmen (Vossloh,..) betragen 12 kN
- Bei höheren Stützpunktkräften auf Zug werden Sonderklemmen verwendet, z.B. Schwihag (bis zu 27 kN)

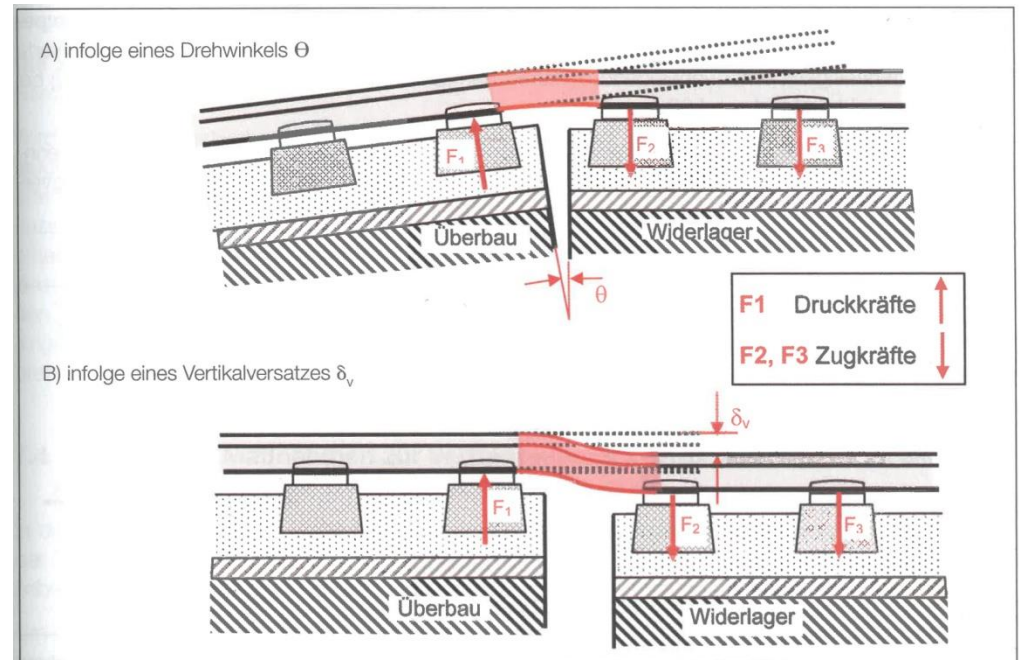


Bild 7.4: Zusätzliche Zwangskräfte in den Schienenstützpunkten an der Trennfuge

Quelle: Pfeifer, Mölter: Handbuch Eisenbahnbrücken

# Hilfsbrückenkette - Berechnung



Wanderschwelle Maurer

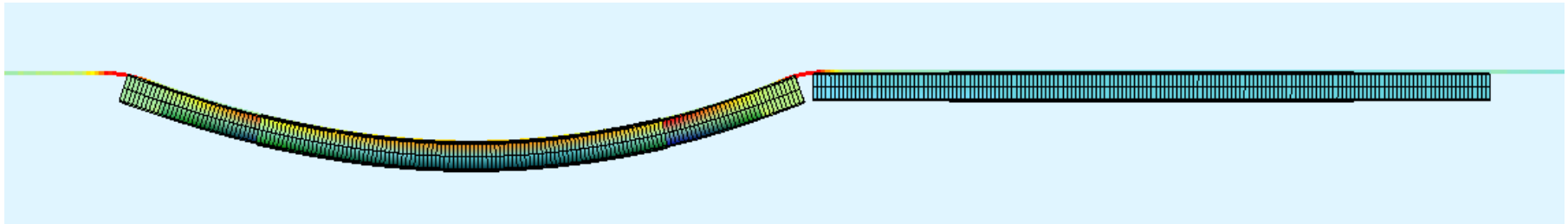
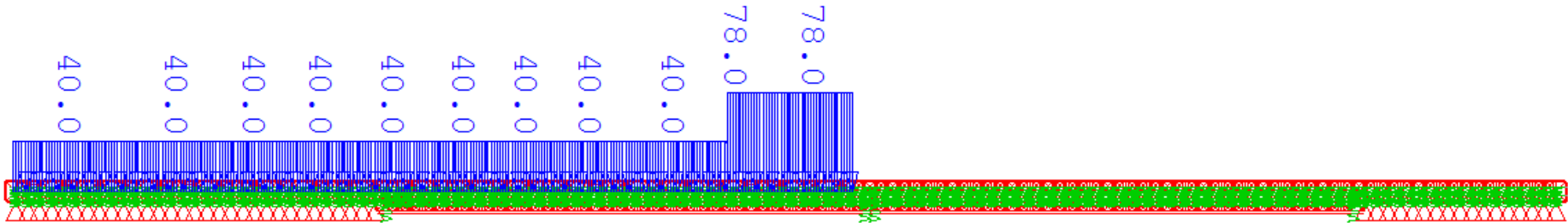


Traverse Hbf. Berlin

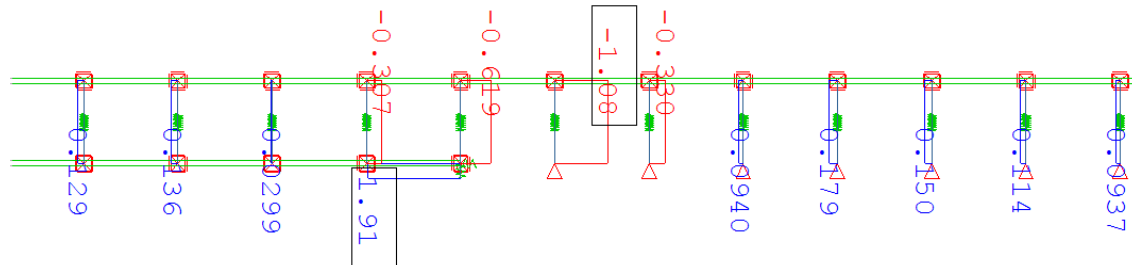
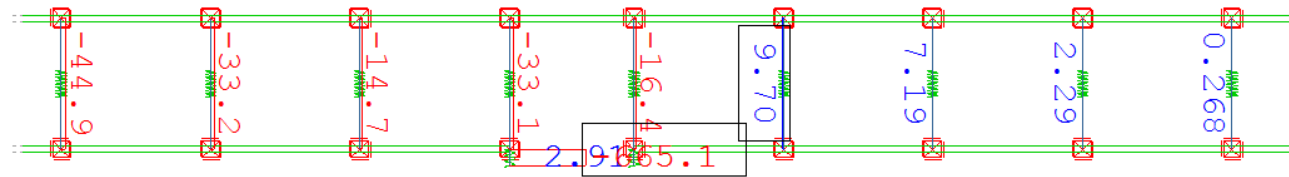
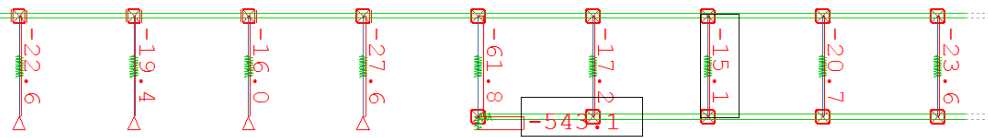
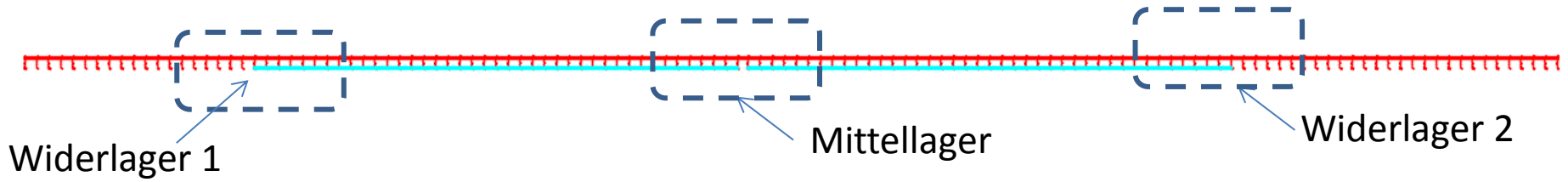


Ausgleichsplatte Stog

# Hilfsbrückenketten – Schienenstützpunktberechnungen (LM 71)



# Hilfsbrückenketten – Schienenstützpunktberechnungen (LM 71)

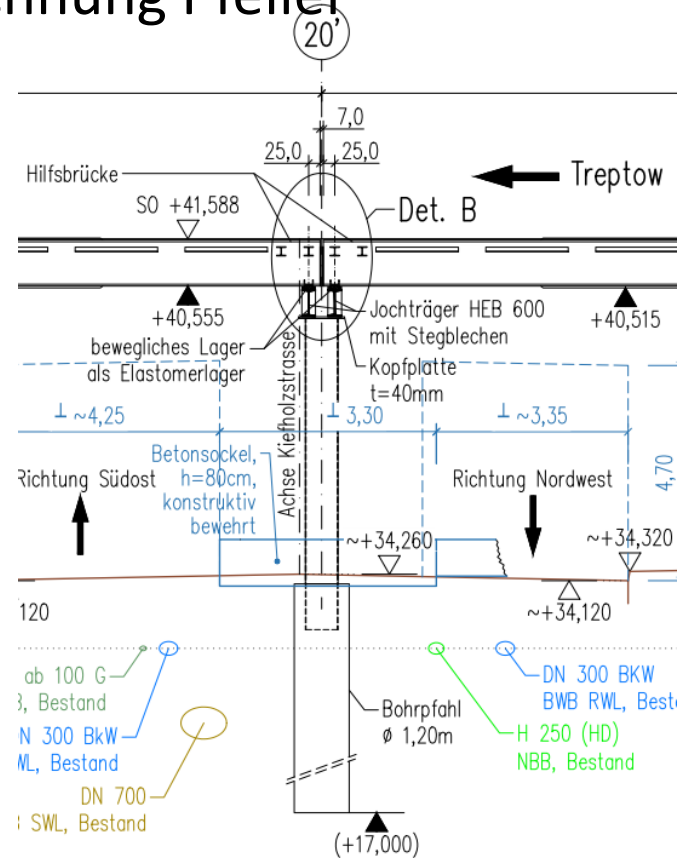
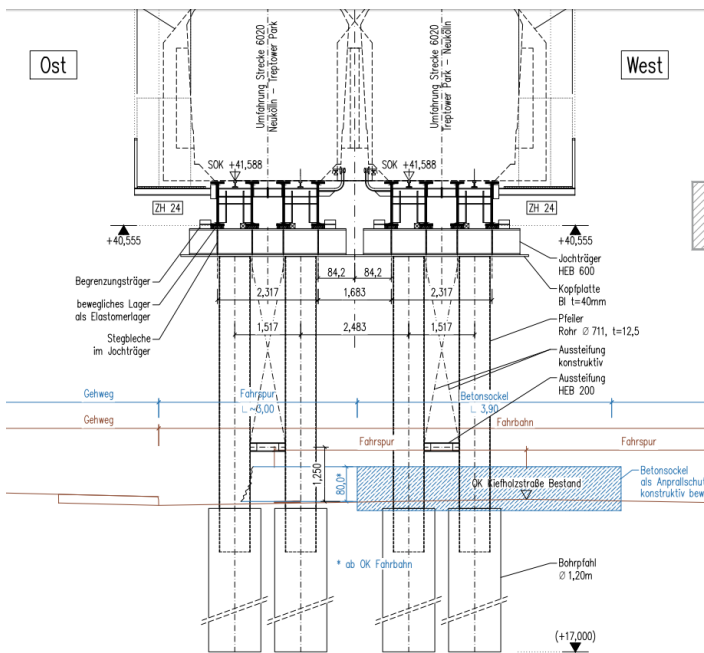


$$F_d = 9,7 \text{ kN} \cdot 0,97 = 9,4 \text{ kN}$$

$$F_d < Z_u / Y_M = 12 \text{ kN}$$

! Nachweis erfüllt.

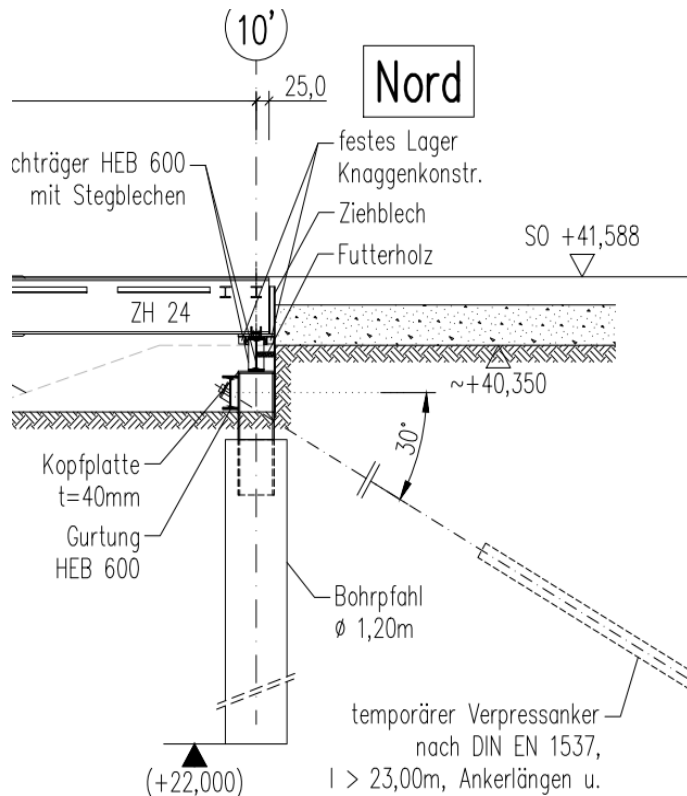
# Hilfsbrückenkette – Berechnung Pfeiler



- Berechnung des Pfeilers als Gesamtsystem aus Gründungspfählen und Stahlkonstruktion
- Bohrpfähle tragen über Mantelreibung und Spitzendruck
- Abminderung der Bodenfedersteifigkeit in Querrichtung nach EA Pfähle, Kap. 8.2.3



# Hilfsbrückenkette – Berechnung Widerlager



- Lagerung der Hilfsbrücken auf Jochträgern
- Aufnahme der horizontalen Beanspruchungen durch Rückverankerung mit temporären, vorgespannten Verpreßankern
- Widerlager durch im Bahndamm eingebrachte Bohrpfähle
- Bemessung als rückverankerte Bohrpfahlwand unter erhöhtem aktivem Erddruck
- Bohrpfähle tragen über Mantelreibung und Spitzendruck
- Abminderung der Bodenfedersteifigkeit in Querrichtung nach EA Pfähle, Kap. 8.2.3

# Hilfsbrücken-kette – Bauausführung Widerlager



# Hilfsbrückenkette – Bauausführung Mittelpfeiler



# Hilfsbrückenkette – Fertiges Bauwerk

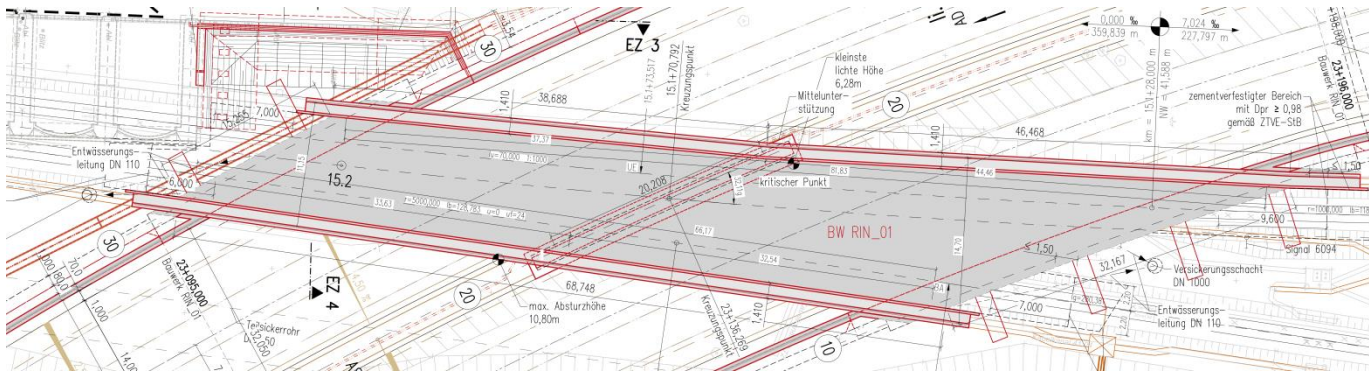


# Ringbahnbrücke - Beschreibung

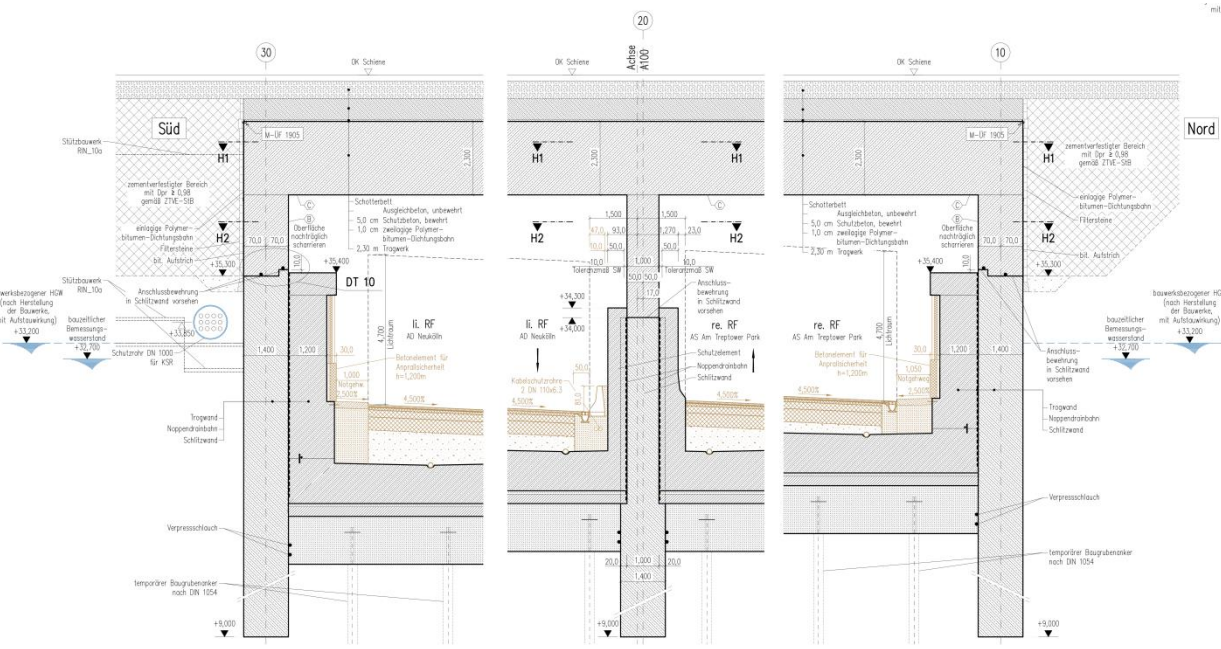


- Schiefwinkliges integrales Bauwerk in Massivbauweise
- Widerlager und Pfeiler sind schlitzwandgegründet mit Schlitzwandbreiten von 1,40 m und – längen von 26 m
- Schlitzwände der Widerlager teilweise als T-Lamellen
- Massive Überbauplatte mit einer Bauhöhe von 2,30 m
- Einzelstützweiten von 35,12 m und 39,26 m, Gesamtstützweite 74,38 m (in Brückenachse)
- Brückenbreite zwischen 11,15 m und 14,70 m
- Kreuzungswinkel mit der A100 beträgt 32,11 gon ( $\cong 28,9^\circ$ )

# Ringbahnbrücke - Beschreibung



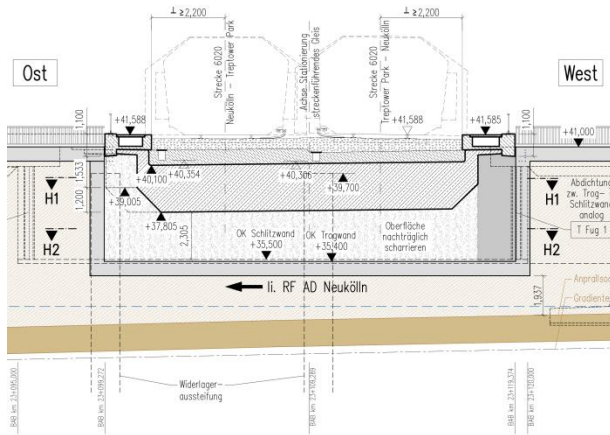
Draufsicht



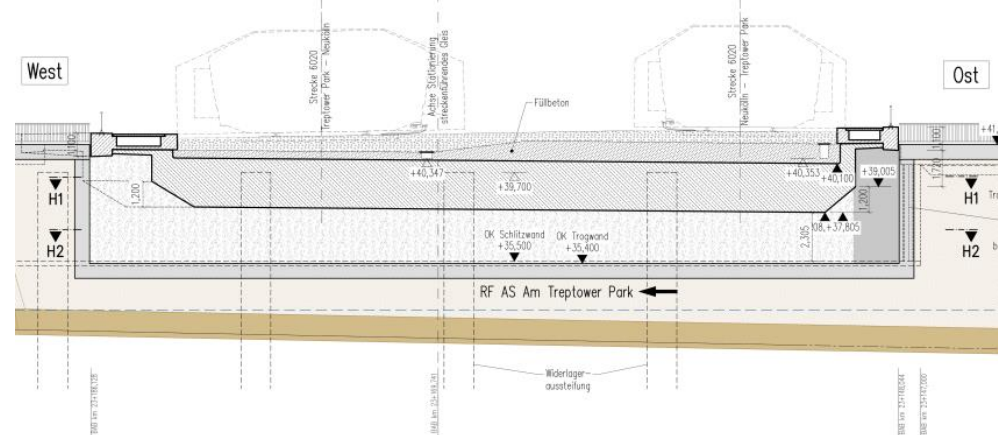
Längsschnitt

# Ringbahnbrücke - Beschreibung

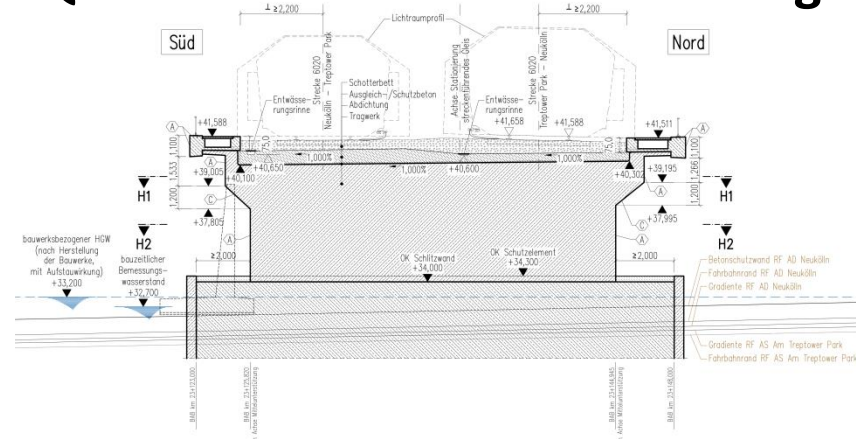
## Querschnitt Richtung Neukölln



## Querschnitt Richtung Treptow

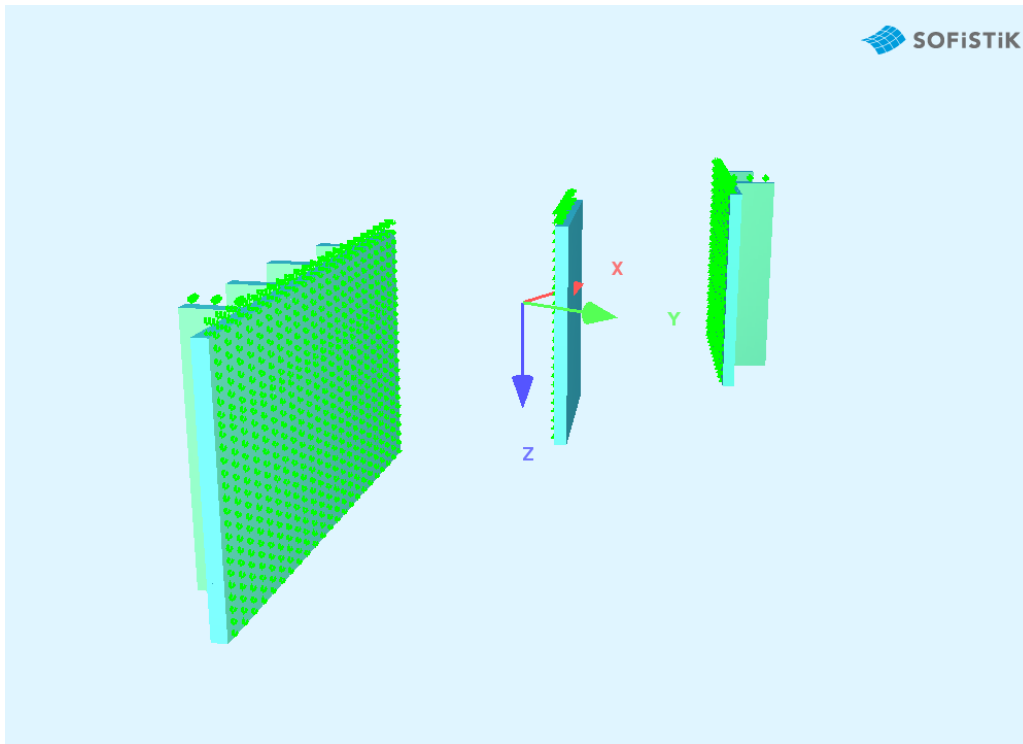


## Querschnitt Mittelunterstützung



# Ringbahnbrücke - Beschreibung

## Bauablauf EÜ RIN 01

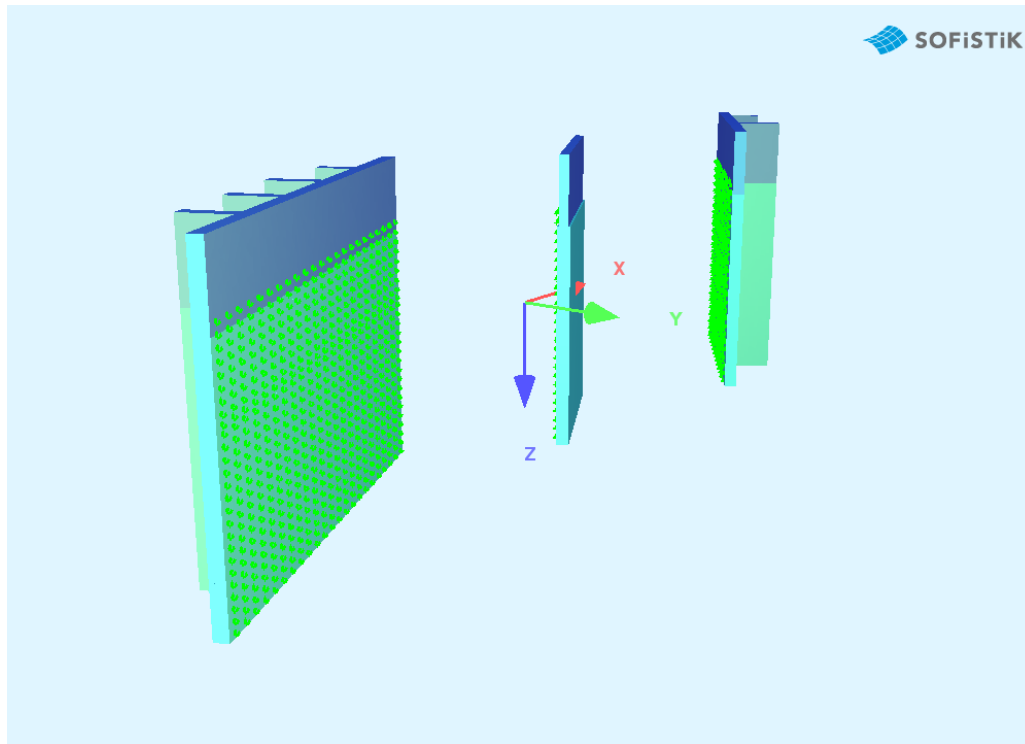


- Herstellen GOK bei +35 m NHN
- Erstellen der Schlitzwandlamellen



# Ringbahnbrücke - Beschreibung

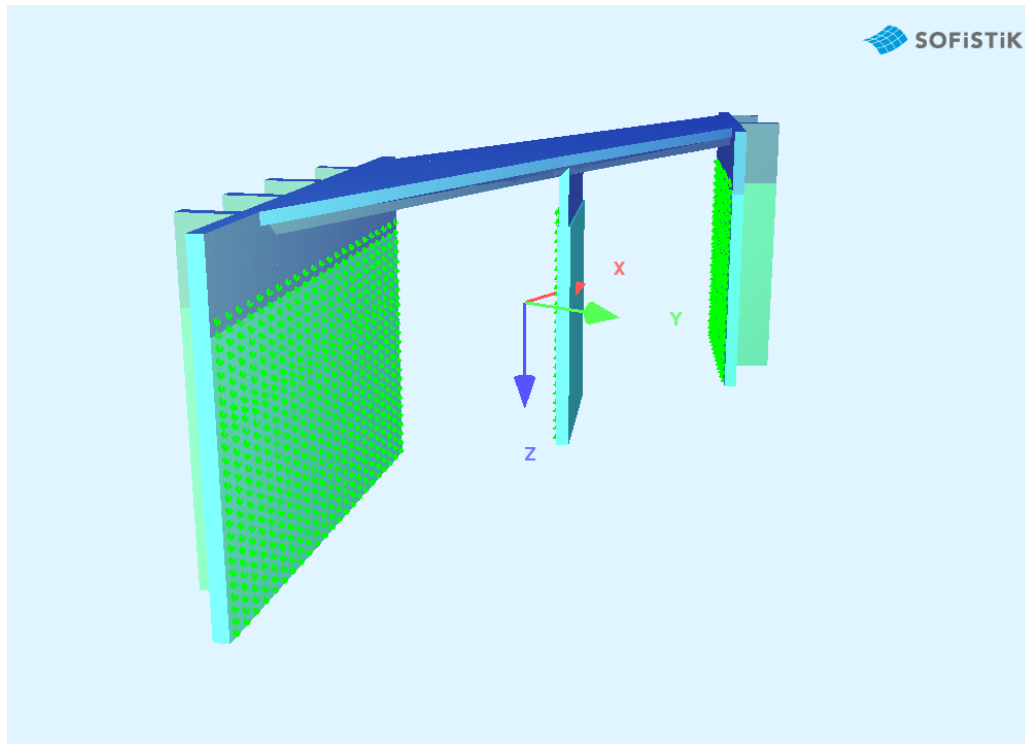
## Bauablauf EÜ RIN 01



- Herstellen GOK bei +35 m NHN
- Erstellen der Schlitzwandlamellen
- Betonieren der aufgehenden Ortbetonwände

# Ringbahnbrücke - Beschreibung

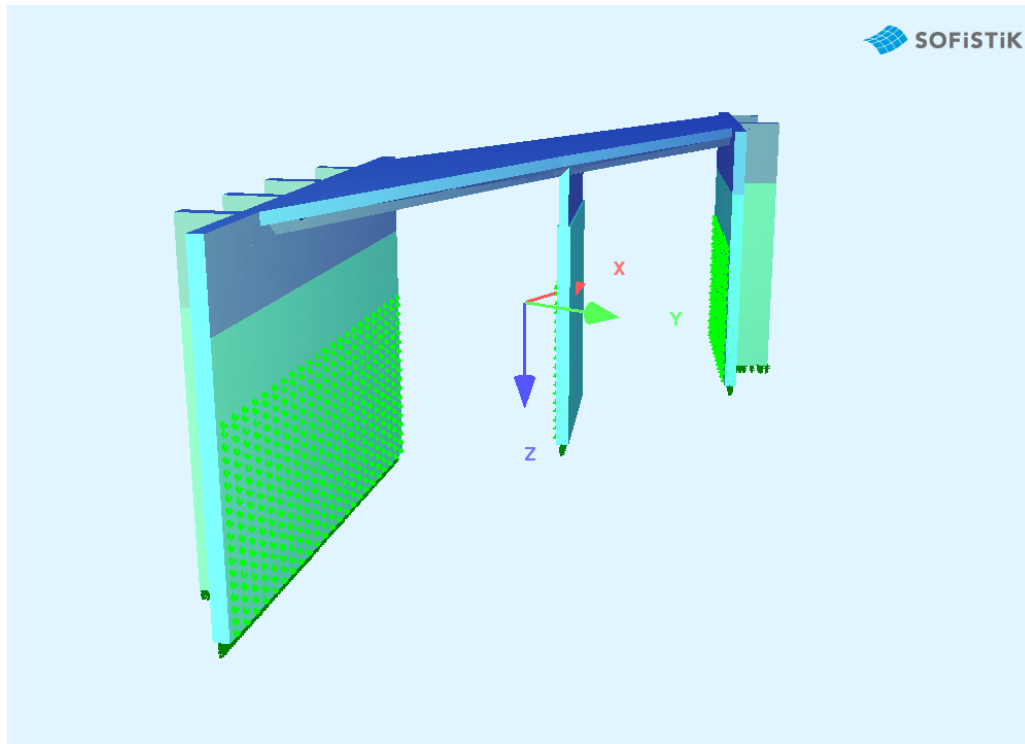
## Bauablauf EÜ RIN 01



- Herstellen GOK bei +35 m NHN
- Erstellen der Schlitzwandlamellen
- Betonieren der aufgehenden Ortbetonwände
- Herstellen des Überbaus und Verlegung des Bahnverkehrs auf EÜ RIN01

# Ringbahnbrücke - Beschreibung

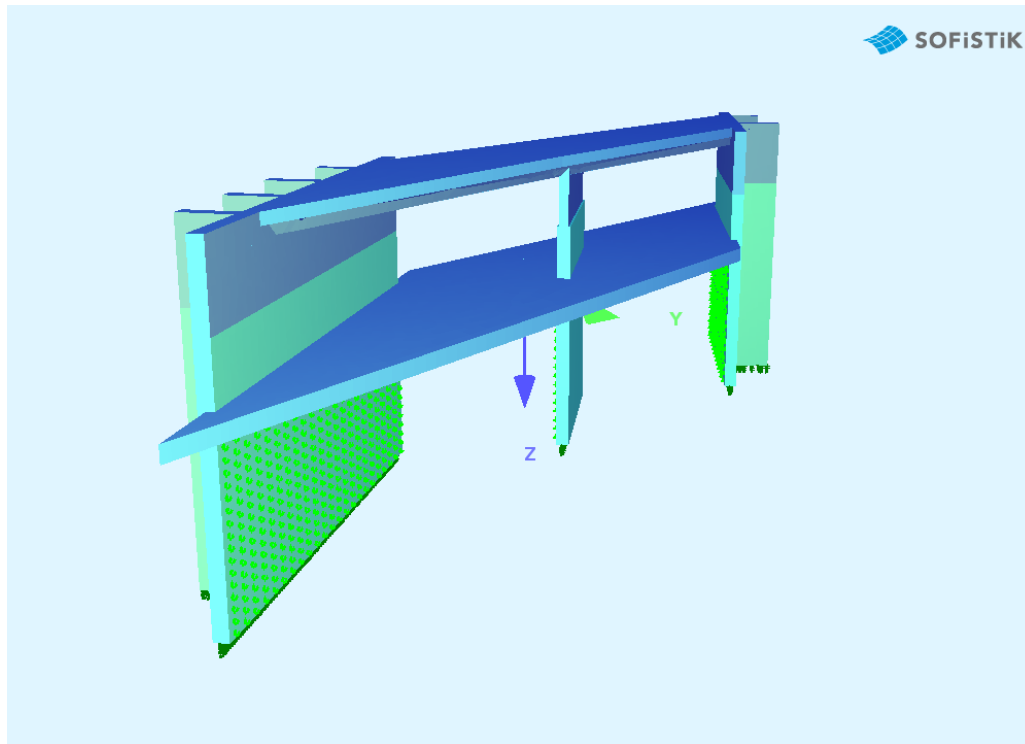
## Bauablauf EÜ RIN 01



- Herstellen GOK bei +35 m NHN
- Erstellen der Schlitzwandlamellen
- Betonieren der aufgehenden Ortbetonwände
- Herstellen des Überbaus und Verlegung des Bahnverkehrs auf EÜ RIN01
- Aushub Baugrube bis ca. 27,5 m NHN

# Ringbahnbrücke - Beschreibung

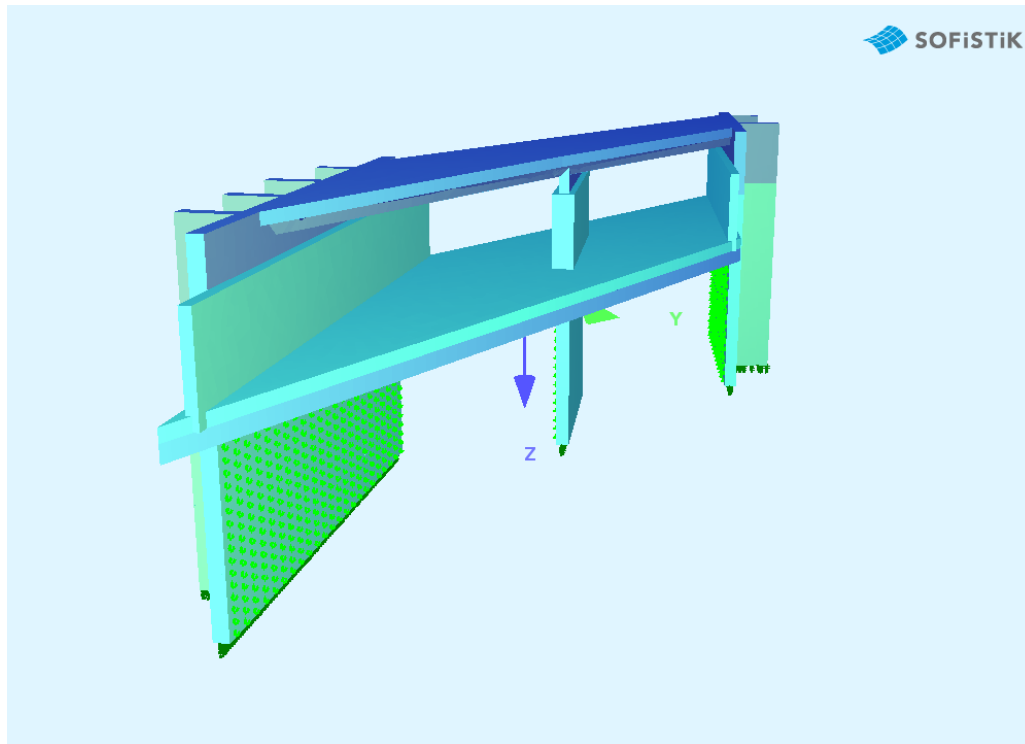
## Bauablauf EÜ RIN 01



- Herstellen GOK bei +35 m NHN
- Erstellen der Schlitzwandlamellen
- Betonieren der aufgehenden Ortbetonwände
- Herstellen des Überbaus und Verlegung des Bahnverkehrs auf EÜ RIN01
- Aushub Baugrube bis ca. 27,5 m NHN
- Herstellen Unterwasserbetonsohle und Lenzen der Baugrube

# Ringbahnbrücke - Beschreibung

## Bauablauf EÜ RIN 01



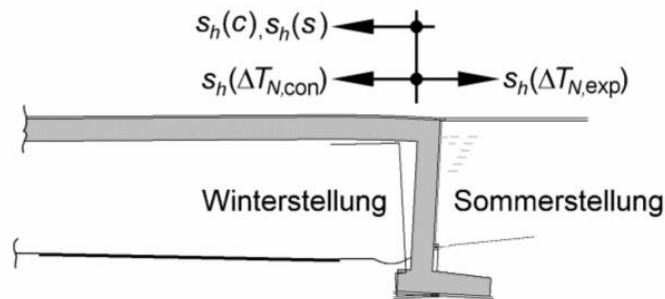
- Herstellen GOK bei +35 m NHN
- Erstellen der Schlitzwandlamellen
- Betonieren der aufgehenden Ortbetonwände
- Herstellen des Überbaus und Verlegung des Bahnverkehrs auf EÜ RIN01
- Aushub Baugrube bis ca. 27,5 m NHN
- Herstellen Unterwasserbetonsohle und Lenzen der Baugrube
- Herstellen der Autobahntröge



# Ringbahnbrücke – Grundsätzliche Fragestellungen

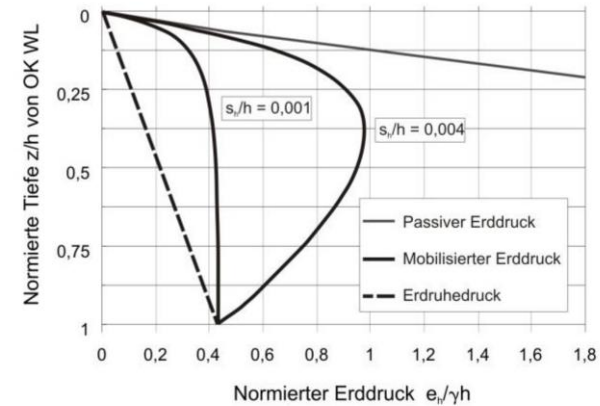
## Integrale Bauweise

### Belastungen, Bettungen



**Bild 2.5.1:** Widerlagerbewegungen infolge Längenänderungen des Überbaus  
 Horizontale Kopfpunktverschiebung:  $s_h$   
 Verschiebungen aus:  
 Kriechen, Schwinden:  $s_h(c)$ ,  $s_h(s)$   
 Temperatur:  $s_h(\Delta T_{N,con})$ ,  $s_h(\Delta T_{N,exp})$

### Erddruckannahmen



**Bild 2.5.2:** Verteilung des normierten Erddrucks  $e_{ph,mob}(z)/(\gamma \cdot z) = K_{ph,mob}(z) \cdot z/h$  über die Wandhöhe  $h$  für eine relative Kopfverschiebung von  $s_h = 0,001 \cdot h$  und  $s_h = 0,004 \cdot h$  (vgl. auch [4])

# Ringbahnbrücke – Grundsätzliche Fragestellungen

## Schiefwinkeligkeit

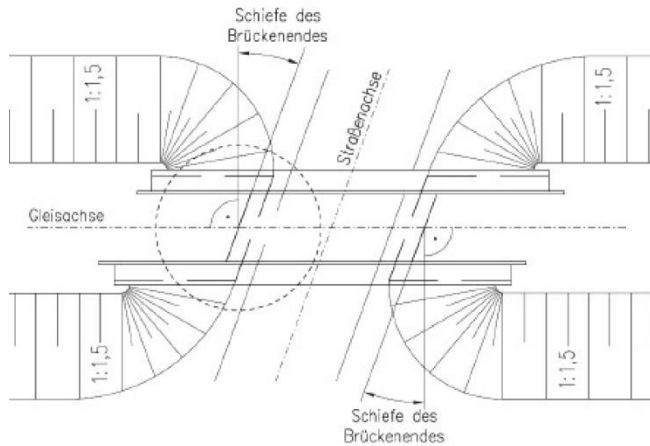
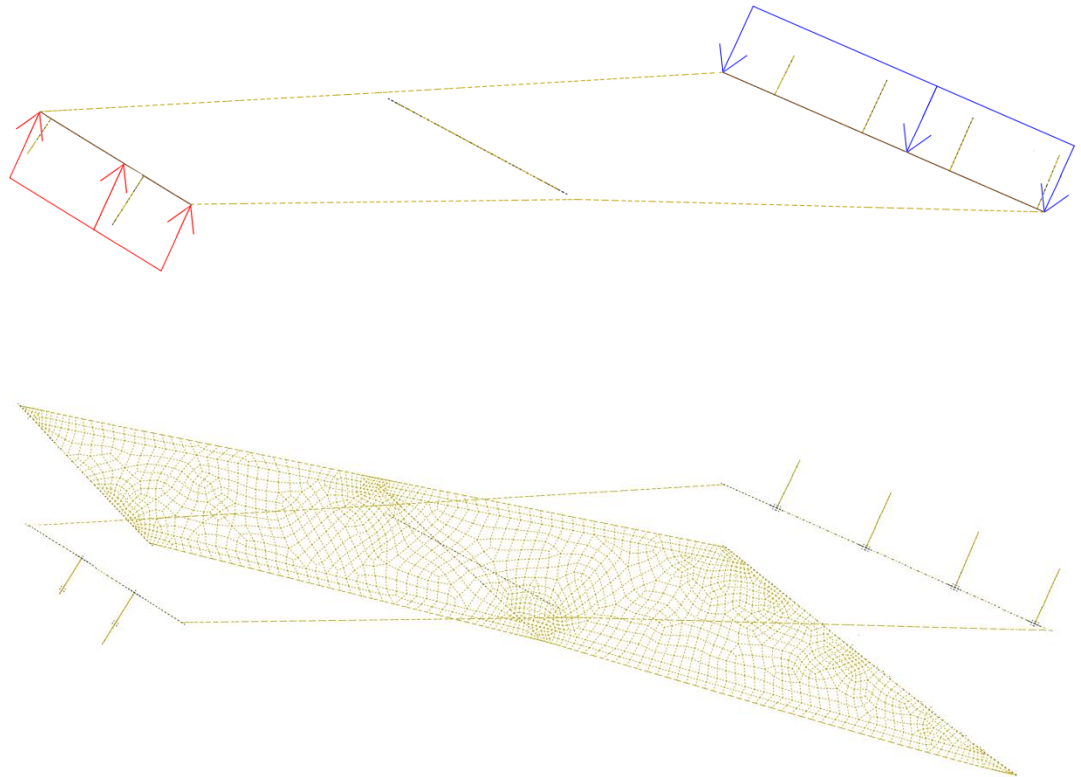


Bild 1: Auszug aus Ril 804.1101 Abs. 2(13) Bild 2

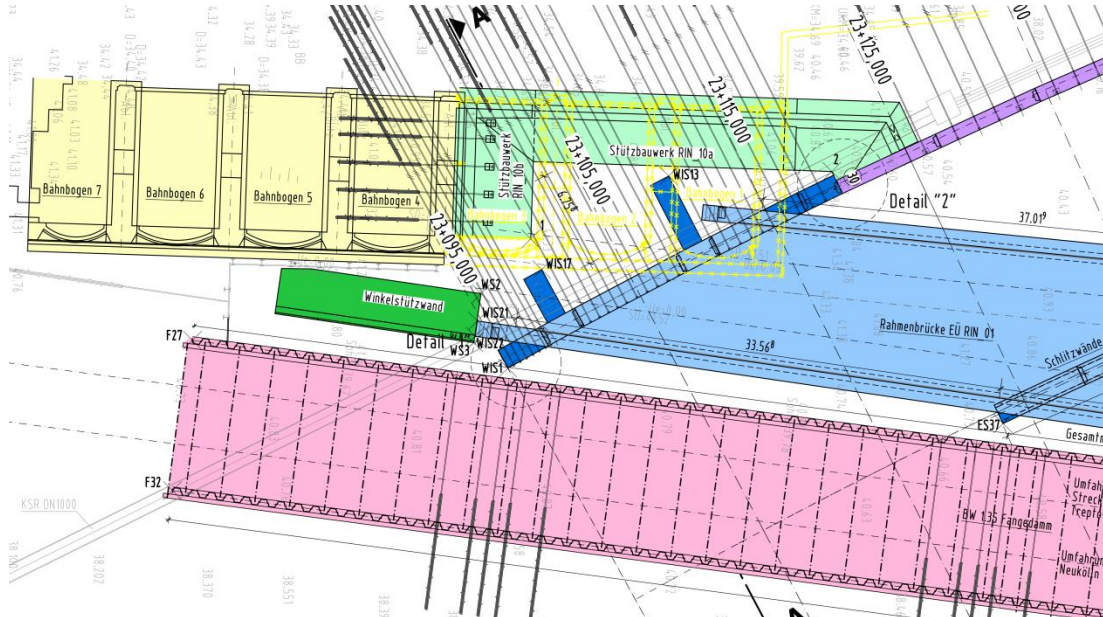
## Verdrehung des Überbaus





# Ringbahnbrücke – Grundsätzliche Fragestellungen

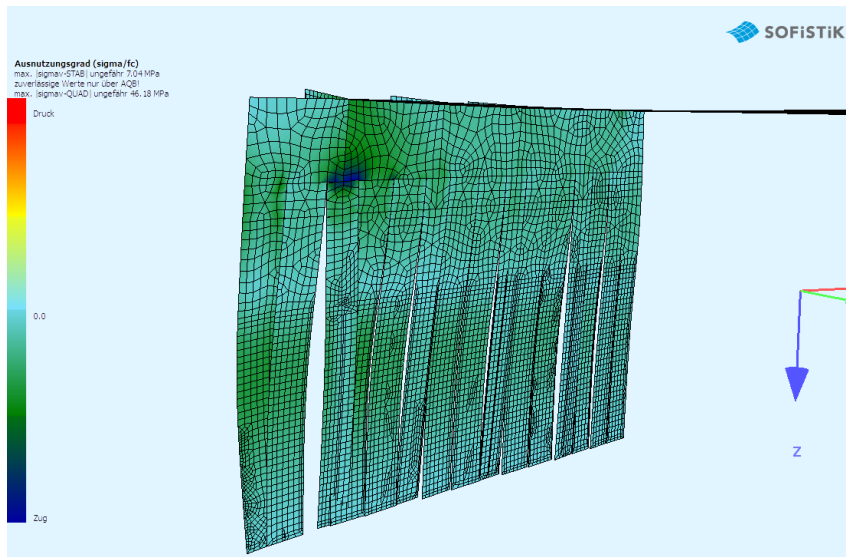
## Angrenzende Bauteile



- Bahnbögen (Bestand)
- Stützwände RIN 10a und 10b
- Fangedamm
- Baubehelfe

# Ringbahnbrücke – Grundsätzliche Fragestellungen

## Schlitzwände



- Schlitzwände der Widerlager werden als T-Lamellen ausgebildet
- Schlitzwandlamellen haben eine Breite von 1,40 m
- Zwischen den Schlitzwandlamellen existiert eine Bauteilfuge, in der praktisch nur Reibungskräfte übertragen werden können
- Modellierung ohne diesen Reibschluss führt zu horizontalen rechnerischen Versätzen in diesen Fugen von bis zu 13 mm
- Problematik der Gebrauchstauglichkeit dieser Gründung

# Ringbahnbrücke – Grundsätzliche Fragestellungen

## Notwendigkeit UiG und ZiE nach Rili 804, Modul 804.0101 (6)



- Integrales Bauwerk – Klärung von Bettungs- und Baugrundannahmen für Endzustand und Bauzustände
- Überschreitung der zulässigen Schiefe von Tragwerken
- Verwendung von T-Lamellen als Unterbau- und Gründungselemente
- Verträglichkeit von Querverformungen für das Gleis
- Tragwirkung von nicht zur Brücke gehörenden Elementen (angrenzende Schlitzwände, Trog der Autobahn, Stützbauwerke )

### Fachtechnische Stellungnahme

#### 1. Anlass / Ausgangssituation

Mit Schreiben [1] vom 26.07.2016 beantragt die DB Netz AG, Regionalbereich Ost, eine Unternehmensinterne Genehmigung (UiG) für die Überschreitung der zulässigen Schiefe von Tragwerken.

Der 16. Bauabschnitt der A 100 ist Bestandteil des mittleren Straßenrings im Land Berlin. Die Weiterführung des Straßenrings der A 100, 16. Bauabschnitt (BA) wird als Neubaustrecke zwischen dem Autobahndreieck (AD) Neukölln und der Anschlussstelle (AS) am Treptower Park geplant. Die neue Linienführung der A 100 hat zur Folge, dass Gleisanlagen der DB Netz AG und der S-Bahn gekreuzt werden. Die Gleisanlagen werden durch neue Brückenbauwerke überführt. Im vorliegenden Fall handelt es sich um ein tiefgegründetes integrales schiefwinkliges Rahmenbauwerk in Stahlbetonbauweise.

Nach Rili 804.1101 Abs. 2(13) ist eine Schiefe zwischen Rahmenbauwerk und Gleisachse von maximal  $30^\circ$  zulässig. Bis zu diesem Winkel darf der rechtwinklige Abschluss anstelle von brückenbautechnischen Maßnahmen auch durch das Herstellen von schiefesten und steifen stabilisierten Bodenkörpern aus bindemittelbehandelten Böden nach Rili 836.4106 mit rechtwinklig zur Gleisachse liegender Abschlusskante ausgebildet werden.

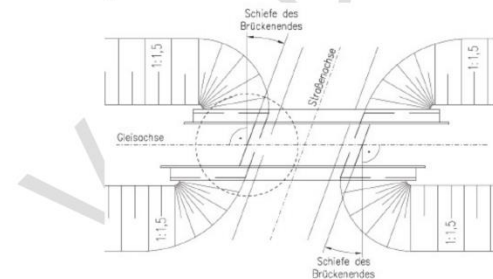


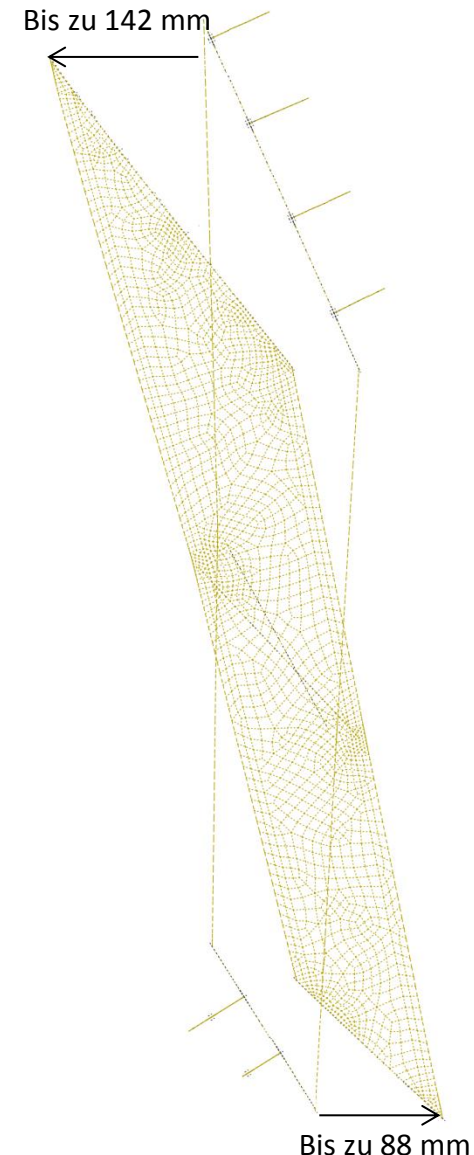
Bild 1: Auszug aus Rili 804.1101 Abs. 2(13) Bild 2

Die Schiefe des vorliegenden Brückenbauwerks beträgt  $61^\circ$ . Somit ist gemäß Rili 804.0101 A01 eine UiG erforderlich.

# Ringbahnbrücke – Berechnungen

## Berechnungsergebnisse auf Grundlage des Sondervorschlags

- Horizontale Verformungen am Überbau von bis zu 142 mm (quer zum Gleis)
- Bewehrungsmengen von bis zu  $200 \text{ cm}^2/\text{m}$ , in der Mittelunterstützung bereichsweise sogar  $300 \text{ cm}^2/\text{m}$  (Druckbewehrung)
- Fazit des Aufstellers: Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit erforderlich: Langsamfahrstrecke, Brückenmonitoring



# Ringbahnbrücke – Berechnungen

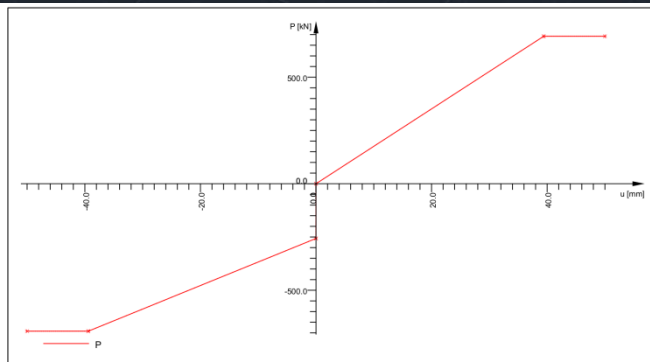
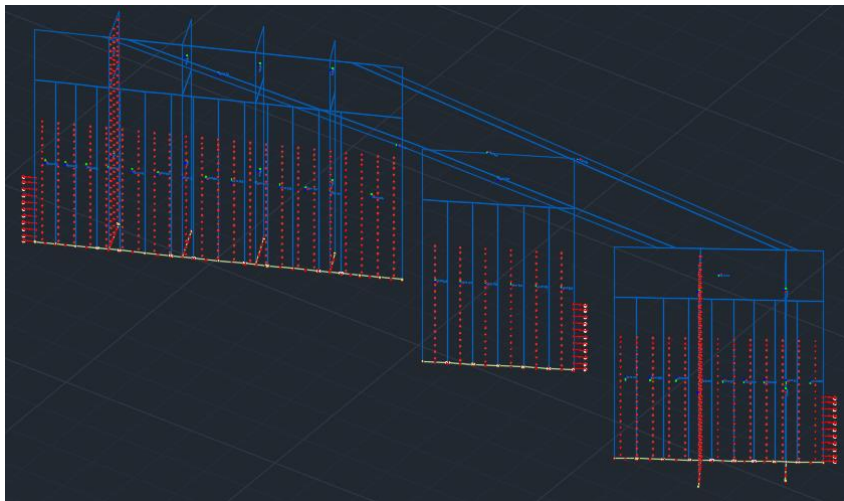
## Konstruktionsänderungen zur Sicherung der Gebrauchstauglichkeit



- Temporäre Anker während der Bauzeit
- Abbruch Bahnbogen 3 (Bauwerksinteraktion)
- Abstützen des Brückenbauwerks auf den Autobahntrog
- Anordnung eines Schwertes in der Mitte des Autobahntroges zum Abtrag der horizontalen Erddruckkräfte
- Änderung Anordnung der Schlitzwandlamellen

# Ringbahnbrücke – Berechnungen

## Prüfseitiges Berechnungsmodell



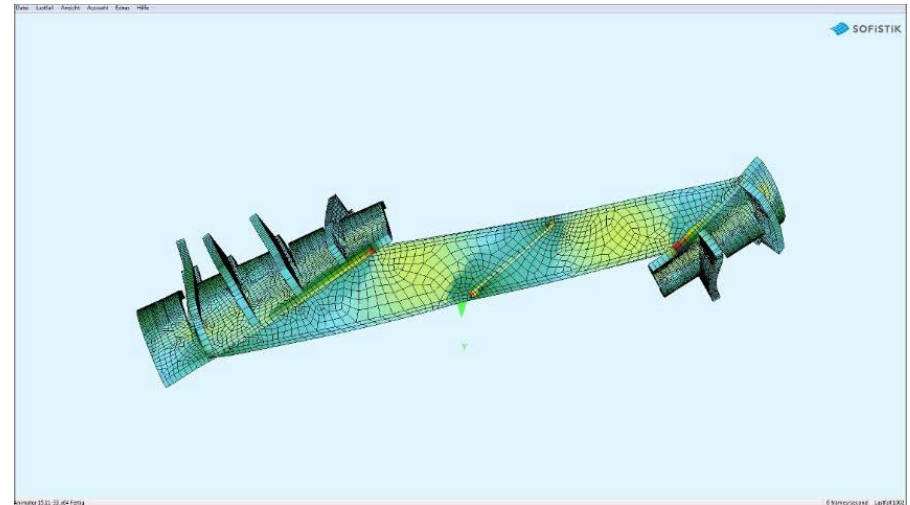
- FEM-Faltwerk
- 113 unterschiedliche bilineare Feder-Arbeitslinien
- Bilineares Federmodell deckt Bettungsmodulverfahren nach EAB EB 102 ab
- Nicht-lineare Berechnung der Verformungen



# Ringbahnbrücke – Berechnungen

## Ergebnisse der Verformungsberechnungen

- Vorgabe des Aufstellers: Trogsohle verformt sich maximal um 30 mm
- Maximal errechnete Verformung am Überbau: 60 mm
- Verformung in Realität wahrscheinlich kleiner
- 3-Dimensionales Baugrundmodell liefert ggf. genauere und kleinere Werte

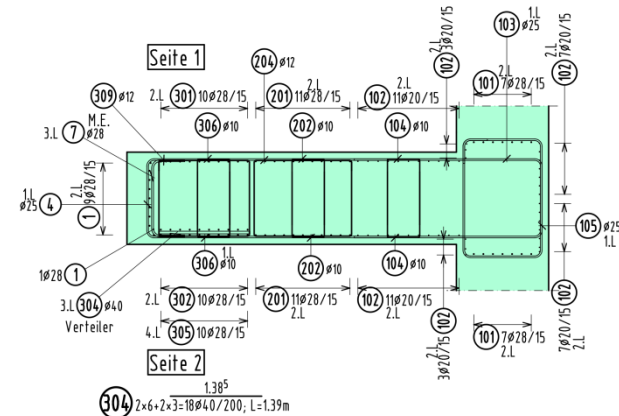
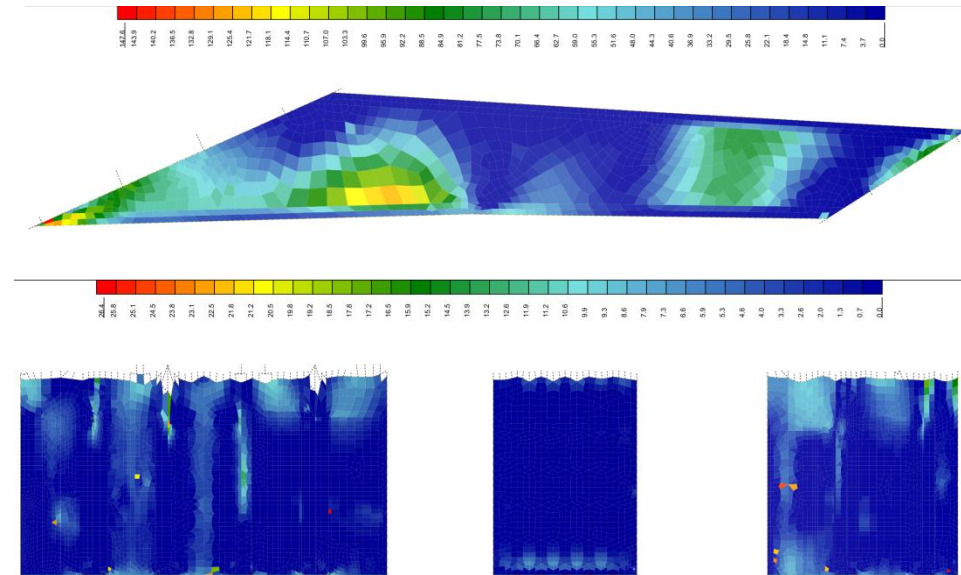




# Ringbahnbrücke – Berechnungen

## Ergebnisse: Bewehrungsgehalte

- Bewehrungsmengen in den ebenen Schlitzwandlamellen erreichen Werte von bis zu  $85 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Bewehrungsmengen in den T-Lamellen erreichen Werte von bis zu  $160 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Bewehrungsmengen im Überbau erreichen Werte von bis zu  $150 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Bewehrungsführung in den Rahmenecken und Bauteilübergängen schwierig



# Beteiligte

- Bauherr: Land Berlin, Senatsverwaltung für Umwelt , Verkehr und Klimaschutz
- Genehmigungsbehörde: Eisenbahn-Bundesamt
- Betreiber: Deutsche Bahn AG
- Bauvorlageberechtigter: Hr. Guske, Krebs und Kiefer Ingenieure GmbH
- Entwurfsverfasser: Leonhardt, Andrä und Partner beratende Ingenieure AG
- Auftragnehmer: Arge Heitkamp GmbH und Bemo Tunneling
- Aufsteller: EHS Beratende Ingenieure GmbH, Lohfelden
- Baugrundgutachter: GUD Consult GmbH
- Geotechnischer Prüfer: Dr. Vogt, Baugrund Dresden Ingenieurgesellschaft mbH
- Bautechnischer Prüfer: Dr. Klähne, Klähne Ingenieure GmbH
- ZiE-Gutachter: Prof. Dr. Maurer, TU Dortmund; Dr. Raithel, Kempfert und Partner
- Bauüberwachung Bahn: VIC GmbH, Potsdam

# Schlussfolgerungen

- Das Genehmigungsprocedere gestaltet sich durch das Zusammenspiel verschiedenster Beteiligten sehr zeitaufwändig und kompliziert.
- Bei komplexen Bauwerksentwürfen ist es fragwürdig, ob im Rahmen der Entwurfsplanung alle auftretenden Probleme erkannt werden können (insbesondere auch, da Regelungen hinsichtlich UiG und ZiE Interpretationen zulassen). Gegebenenfalls sollten Teile der Genehmigungs- und Ausführungsplanung vor der Vergabe ausgeführt werden.
- Bei integralen Bauwerken haben die Baugrund- und Bettungsannahmen einen erheblichen Einfluss auf Schnittgrößen und Verformungen. Durch genauere Abbildungen des Baugrundes lassen sich die rechnerischen Verformungen deutlich reduzieren.
- Bei integralen Bauwerken mit hoher Schiefe sind die Verformungen infolge Rotation des Bauwerks sind nicht zu unterschätzen.
- Das Zusammenspiel zwischen konstruktivem Ingenieurbau und Oberbau erfordert Spezialkenntnisse des jeweilig anderen Gebietes. Wünschenswert sind einheitliche Bemessungsregeln für Schienenspannungs- und Schienenstützpunktberechnungen.

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Dr.-Ing. Thomas Klähne  
Klähne Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH