

# Erneuerung Waldenburgerbahn

## Los 4: Hölstein bis Hirschlang

Auflageprojekt

### Statische Nachrechnung

### A-09 Brücke WB Frenke

Version 2.01 | 03. Mai 2019



Projektverfasser



Astrid Börner

Bauherrschaft  
BLT Baselland Transport AG



Reto Rotzler



Peter Baumann

## Impressum

---

Auftragsnummer WBZU 16-4.00-001

Auftraggeber BLT Baselland Transport AG

Datum 03. Mai 2019

Version 2.01

Autor(en) Michel Tawil

Freigabe BLT

Verteiler BLT, Prüfsingenieur WMM

Datei \\NTMUTTENZ\p\701907\07\_BER\2019-05-03 Dossier PGV\Grundlagedateien\KB bestehend\201 Statische  
Nachrechnung A-09 Brücke Frenke 20190503.docx

Seitenanzahl 20

## **Inhalt**

<b>Änderungsverzeichnis</b>	<b>ii</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Systembeschreibung Brücke</b>	<b>1</b>
2.1 Tragsystem	1
2.2 Systemskizzen	1
<b>3 Belastungen und Einwirkungen Brücke</b>	<b>2</b>
3.1 Ständige Einwirkungen	2
3.2 Veränderliche Einwirkungen	3
3.2.1 Haupteinwirkungen	3
3.2.2 Lasten aus Fahrleitungsmast	3
3.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen	3
<b>4 Baustoffe Brücke</b>	<b>4</b>
4.1 Beton	4
4.2 Bewehrung	4
4.3 Spannstäbe	4
4.4 Baugrund	4
<b>5 Berechnung</b>	<b>4</b>
5.1 Tragsicherheit	4
5.2 Schlussfolgerungen	5
5.3 Weitere Untersuchungen	5
<b>6 Unterschriften</b>	<b>6</b>
<b>Anhang A Statische Nachrechnung der Brücke WB Frenke</b>	<b>A-1</b>
A.1 Statische Nachrechnung der Brücke WB Frenke - Handrechnung	A-1
A.2 Statische Nachrechnung der Brücke WB Frenke - Programm Statik-7	A-8
<b>Anhang B Statik "Neuerstellung Brücke über die Frenke" von 1985</b>	<b>B-1</b>

## Änderungsverzeichnis

REV.	ÄNDERUNG	URHEBER	DATUM	BEMERKUNG
2.0	Erstversion Auflageprojekt	JS	28.02.2019	
2.1	Auflageprojekt definitiv	JS	03.05.2019	
2.2				

## Zusammenfassung

Die heutige Brücke WB Frenke (Objektnummer 1.01, BLT-Arbeitsnummer A-09) liegt ca. bei Bahn-km 8.352 unmittelbar neben der Kantonsstrassen-Brücke (sog. Postbrücke).

Es handelt sich hier um eine einfeldrige Spannbeton-Trogbrücke mit einer Gesamtlänge von 14.0 m und einer Spannweite von ca. 11.5 m. Im Bereich der Widerlager liegt die Brücke schräg auf.

Der Dienstweg für Bahnpersonal verläuft unmittelbar neben dem Gleis auf dem Niveau des westlichen Brückenbalkens. Auf der Wasserseite wird eine Absturzsicherung (Geländer) angebracht.

Im Rahmen des Projektes Erneuerung Waldenburgerbahn muss die statische Tragfähigkeit für die neu definierte Nutzlast überprüft werden. Die Brücke wird für das Schmalspurlastmodell 4 gemäss SIA 261 (2014) nachgerechnet.

### Schlussfolgerungen:

Die WB Frenkenbrücke ist ohne Verstärkungsmassnahmen in der Lage, die Belastungen gemäss Schmalspurlastmodell 4 aufzunehmen.

Durch die Erhöhung der Schotterlast kann es vorkommen, dass unter ständigen Lasten keine volle Vorspannung der Brücke vorhanden ist. Dies bedeutet, dass sich auch im Ruhezustand (ohne Belastung durch Lastmodell 4) feine Risse an der Plattenunterkante bilden. Diese Risse haben weder einen Einfluss auf die Tragsicherheit noch auf die Gebrauchstauglichkeit und wurden für die Bemessung berücksichtigt. In regelmässigen Abständen (ca. 5 Jahre) sollte überprüft werden, ob diese Risse einen Einfluss auf die Alterung der Brücke haben.

## 1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes Erneuerung Waldenburgerbahn muss die statische Tragfähigkeit für die neu definierte Nutzlast überprüft werden. Die Brücke wird für das Schmalspurmodell 4 gemäss SIA 261 (2014) nachgerechnet.

Durch die Anhebung des Gleises wird die Stärke des Schotterbettes um 10 cm auf insgesamt 30 cm unter Schwelle erhöht. Die Anhebung des Gleises dient ebenfalls der Gewährleistung des Lichtraumprofils A auf der Brücke.

Der Dienstweg für Bahnpersonal verläuft unmittelbar neben dem Gleis auf dem Niveau des westlichen Brückenbalkens. Auf der Wasserseite wird eine Absturzsicherung (Geländer) angebracht. Erneuert wird ebenfalls das östliche Geländer.

## 2 Systembeschreibung Brücke

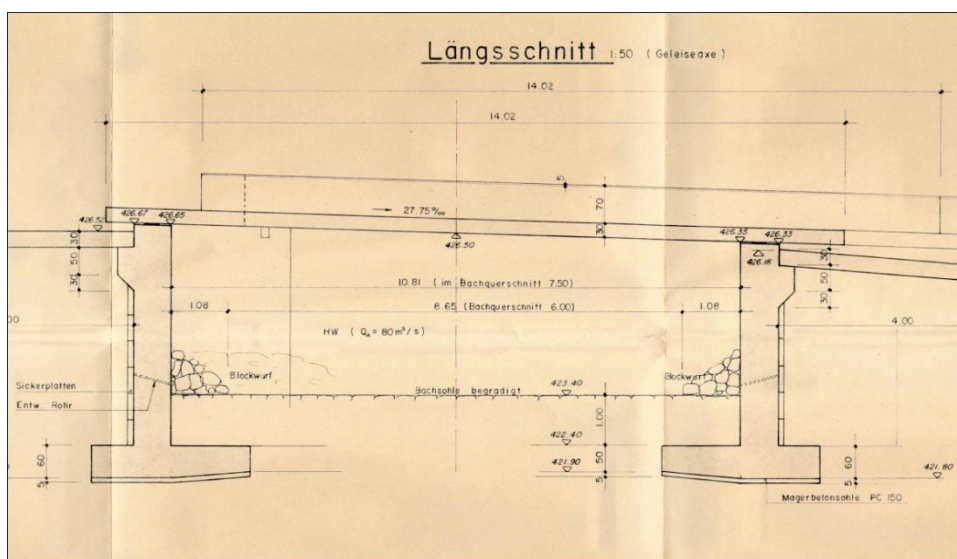
### 2.1 Tragsystem

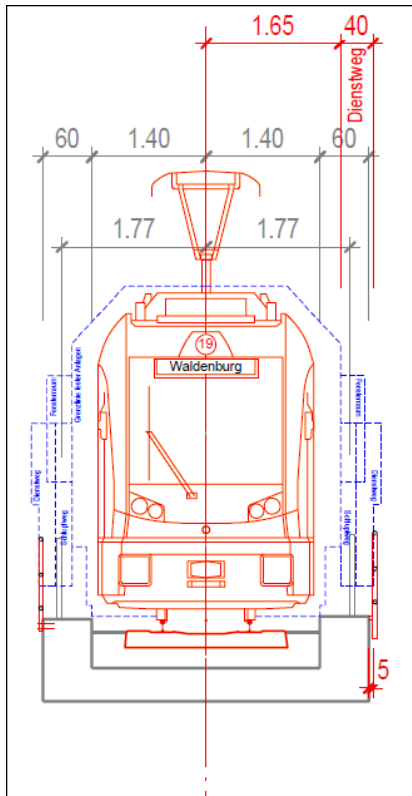
Bei der bestehenden Bahnbrücke über die Frenke handelt es sich um eine einfeldrige Spannbeton-Trogbrücke mit einer Gesamtlänge von 14.0 m und einer Spannweite von ca. 11.5 m. Im Bereich der Widerlager liegt die Brücke schräg auf. Die Brücke hat eine Breite von 4.0 m inkl. der beiden 60 cm dicken Balken beidseits des Trog. Die Balkenhöhe beträgt 1.0 m, die Plattenstärke beträgt 30 cm. Angesichts des Brückenquerschnitts tragen die seitlichen Balken hauptsächlich als Einfeldträger.

Im Prinzip bleiben die geometrischen Randbedingungen bzgl. der neuen Bahnanlage gleich wie heute. Die neue Gleisachse ist nahezu identisch mit der heutigen, die Spurweite wird auf 1000 mm verbreitert.

Die Brücke wurde im Rahmen des Projektes "Frenkebrücke in Hölstein" im Jahre 1985 statisch berechnet und projektiert. Die Schal- und Bewehrungspläne aus dieser Zeit geben Auskunft über weitere Abmessungen.

### 2.2 Systemskizzen





Siehe Unterlagen zum Projekt "Frenkebrücke in Hölstein" vom Ingenieurbüro Blattner von 1984 / 1985.

### 3 Belastungen und Einwirkungen Brücke

#### 3.1 Ständige Einwirkungen

Einwirkungen	Charakteristische Werte	Referenz
Eigenlasten	$\gamma_{\text{Beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$	SIA 261, Tab. 30
Auflasten	Schotterbett, Schwellen, Schienen Um diese Belastung zu quantifizieren wurde von einer gleichmässigen Schotterbetthöhe von 55 cm mit einem Eigengewicht von $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ausgegangen.	
Dienstweg	1.0 m Breite: $g = 2.5 \text{ kN/m}$	
Erddruck	$\gamma_{\text{Erde}} = 20 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 30^\circ$ Bodenkennwerte gemäss bestehende Statik	

### 3.2 Veränderliche Einwirkungen

#### 3.2.1 Haupteinwirkungen

Einwirkungen	Charakteristische Werte	Referenz
Schmalspurbahnverkehr	<p>Lastmodell 4 (zwei Einzellasten von 130 kN in einem Abstand von 1.6 m, davor und danach in einem Abstand von 80 cm eine Linienlast von 25 kN/m (SIA 261, 12.2)</p> <p>Dynamischer Beiwert Längsrichtung:  <math>\varphi = 1.28</math></p> <p>Dynamischer Beiwert Querrichtung:  <math>\varphi = 1.32</math></p>	SIA 261, 12.2 SIA 261, 11.3.1
Schmalspurbahnverkehr	Ermüdung	SIA 262, 4.3.8.1
Temperatur	<p>Es werden nur gleichmässige Temperaturänderungen bei Gebrauchstauglichkeitsnachweisen betrachtet. Bei Tragsicherheitsnachweisen werden keine Temperaturänderungen berücksichtigt.</p> <p>Temperaturänderung            Temperatur-Ausdehnungskoeffizient  <math>\alpha_T = 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}</math>            Konstante Temperaturänderung  <math>\Delta T_1 = \pm 20^\circ\text{C}</math></p> <p>Der lineare Anteil aus kurzfristiger Erwärmung wird nicht berücksichtigt. Der Jahresmittelwert der Ortstemperatur wird zu <math>10^\circ\text{C}</math> angenommen.</p>	SIA 261, 7.2
Dienstweg	<p>Nutzlast mit 1.0 m Breite: 2.5 kN/m            Geländer: <math>q_k = 0.4 \text{ kN/m}</math></p>	SIA 261, 9.2.4 SIA 261, 13.2

#### 3.2.2 Lasten aus Fahrleitungsmast

Keine Fahrleitungsmasten vorhanden.

### 3.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen

Einwirkungen	Charakteristische Werte	Referenz
Entgleisung, siehe Punkt 3.2.2	<p>Lastmodell 4</p> <p>Dieser Lastfall ist ein aussergewöhnlicher Lastfall. Die Sicherheitsfaktoren, insbesondere jenes des Erddruckes der für die Bemessung am bedeutendsten ist, wird auf 1.0 herunter gesetzt. Dies bewirkt, dass dieser Fall für die Bemessung der Stützmauer nicht massgebend ist.</p>	SIA 261, 12.5



Erdbeben	Bauwerksklasse II Bedeutungsfaktor $\gamma = 1.2$ Erdbebenzone Z2: $a_{g,d} = 1.0 \text{ m/s}^2$ Baugrundklasse gemäss Mikrozonierungskarte	SIA 261 Tabelle 25, 26  Ziffer 16.2.1.2 Tabelle 24
----------	--	---

## 4 Baustoffe Brücke

### 4.1 Beton

Bücke bestehend	Beton BH (PC 300 $\text{kg/m}^2$ )	$f_{cd} = 12.8 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{cd} = 0.88 \text{ N/mm}^2$
-----------------	------------------------------------	---

### 4.2 Bewehrung

Sämtliche Betonteile	Stahl III	$f_{sm} = 550 \text{ N/mm}^2$ $f_{tm} = 580 \text{ N/mm}^2$	$f_{sd} = 390 \text{ N/mm}^2$
----------------------	-----------	--	-------------------------------

### 4.3 Spannstäbe

Sämtliche Betonteile	Dywidag St. 85/105	$F_{pd} = 720 \text{ N/mm}^2$
----------------------	--------------------	-------------------------------

### 4.4 Baugrund

Baugrundkennwerte (gemäss Statik)

$\gamma_K$	=	21 $\text{kN/m}^3$
$\phi'_K$	=	30°
$c'_K$	=	0 $\text{kN/m}^2$

## 5 Berechnung

### 5.1 Tragsicherheit

Zum Zeitpunkt der Nachrechnung der Brückenplatte stand die ursprüngliche statische Berechnung nicht zur Verfügung.

Die neue Bemessung (siehe Statik im Anhang) ergibt folgendes:

1. Die Brücke genügt den Anforderungen der aktuellen Normen für das Lastmodell 4 sowohl für die Tragsicherheit als auch für die Gebrauchstauglichkeit.
2. Unter den ständigen Lasten ist keine volle Vorspannung vorhanden. Dies war auch nicht der Fall als die Brücke gebaut wurde. Für die neue Bemessung wurde nämlich eine Schotterhöhe inkl. Schwellen und Schienen von 55 cm angesetzt (Linienlast von 30.8  $\text{kN/m}$ ).

Im Nachgang zur neuen statischen Bemessung wurde die damalige Statik von 1985 doch noch aufgefunden. Es wurde bei der nachträglichen Überprüfung insbesondere folgendes festgestellt:

- a. Der aktuelle dynamische Beiwert in Längsrichtung ist mit 1.28 quasi gleich wie der damals angesetzte Wert von 1.35.

- b. Die Hauptbelastung des Lastmodells 4 liegt nur ca. 8% über der damals angenommenen Belastung. Nur die Momente erhöhen sich dementsprechend. Die Schubbemessung war sogar beim alten Lastmodell massgebend.
- c. Für die Schotterlast wurde von einer Belastung von  $7 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow 7 * 2.8 = 19.6 \text{ kN/m}$  ausgegangen.

In der damaligen Statik von 1985 wurde der Ermüdungsnachweis nicht erbracht. Der Ermüdungsnachweis wurde nun gemäss der aktuellen Norm überprüft. Die Ermüdungssicherheit ist gegeben, siehe Anhang A, Seiten 5 und 6.

## 5.2 Schlussfolgerungen

Die WB Frenkenbrücke ist ohne Verstärkungsmassnahmen in der Lage, die Belastungen gemäss Schmalspurlastmodell 4 aufzunehmen.

Durch die Erhöhung der Schotterlast kann es vorkommen, dass unter ständigen Lasten keine volle Vorspannung der Brücke vorhanden ist. Dies bedeutet, dass sich auch im Ruhezustand (= ohne Belastung durch Lastmodell 4) feine Risse an der Plattenunterkante bilden. Diese Risse haben weder einen Einfluss auf die Tragsicherheit noch auf die Gebrauchstauglichkeit und wurden für die Bemessung berücksichtigt. In regelmässigen Abständen (ca. 5 Jahre) sollte überprüft werden, ob diese Risse einen Einfluss auf die Alterung der Brücke haben.

## 5.3 Weitere Untersuchungen

Wir weisen darauf hin, dass zusätzlich zu dieser statischen Beurteilung eine Zustandsuntersuchung der Brücke stattfinden sollte. In dieser ist zu untersuchen, wie gut die Substanz der Brücke noch ist (z.B. anhand Feststellung der Karbonatisierungstiefen). Nur mit diesen Informationen kann zuverlässig auf eine Restlebensdauer der Brücke geschlossen und / oder auf allfällige Sanierungsmassnahmen hingewiesen werden.

## 6 Unterschriften

Ort:

Datum:

Unterschrift:

### Der Projektverfasser

IG Zugkunft  
c/o Basler & Hofmann AG  
Bachweg 1  
8133 Esslingen

Esslingen, .....

### Der Prüferingenieur

WMM Ingenieure AG  
Florenz-Strasse 1D  
4142 Münchenstein

Münchenstein, .....

## **Anhang A Statische Nachrechnung der Brücke WB Frenke**

### **A.1 Statische Nachrechnung der Brücke WB Frenke - Handrechnung**

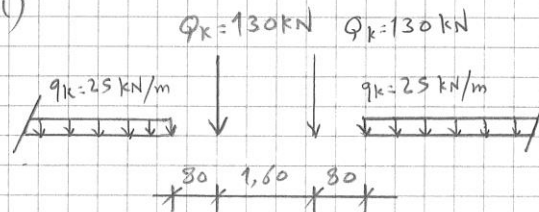
701907

Waldenburgerbahn, Freilegebrücke in Hölstein 23.08.17 TAM 1

Statische Überprüfung der Brücke unter Lastmodell 4, Schmalspurbahnverkehr gemäss SIA 261, § 12.2:

Einwirkungen: (Vertikal)

Lastmodell 4



Dynamischer Beiwert gemäss Ziffer 11.3.1

$$\varphi = \frac{1,44}{\sqrt{l_e - 0,2}} + 0,82 \quad (1 \leq \varphi \leq 1,67)$$

$l_e = 11,3$  (in Längsrichtung)

$$\Rightarrow \varphi_{\text{Längsrichtung}} = \frac{1,44}{\sqrt{11,3 - 0,2}} + 0,82 = 1,28$$

$l_e = 2 \times 3,2 + 3 = 9,4$  m

$$\Rightarrow \varphi_{\text{Querschnitt}} = \frac{1,44}{\sqrt{9,4 - 0,2}} + 0,82 = 1,32$$

Zu berücksichtigende Exzentrisitäten:

Ziffer 11.2.6.1: Glass: + 100 mm

Ziffer 12.2.6.2: Last:  $\pm \frac{1}{18} \cdot 1000 \text{ mm} = \pm 56 \text{ mm}$  }  $\Rightarrow \pm 156 \text{ mm}$

Schotterbett:

inkl. Schwellen und Schienen:  $d = 55 \text{ cm}$

$g = 2,8 \text{ m} \cdot 0,55 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 = 30,8 \text{ kN/m}$

Eigengewicht:

$g = (2 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m} + 2,8 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}) \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 51 \text{ kN/m}$

701907

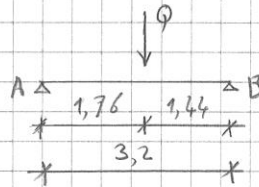
Waldenburgerbahn, Stenkenbrücke in Hölstein 23.08.17 TAM 2

Dienststeg

Nutzlast gemäß Ziffer 9.2.4:  $2,5 \text{ kN/m}^2$  mit  $1,0 \text{ m}$  breite:  $2,5 \text{ kN/m}$

Eigengewicht:  $0,5 \text{ kN/m}^2$  :  $0,5 \text{ kN/m}$

Einfluss der Exzentrizität von  $\pm 156 \text{ mm}$  auf die Lastverteilung:



$$\frac{V_B \cdot 3,2}{Q \cdot 1,76} = 1 \Rightarrow V_B = \frac{1,76 \cdot Q}{3,2} = 0,55 \cdot Q$$

$\Rightarrow$  Zunahme von 10%

$\Rightarrow$  Für die Bemessung werden die Nutzlasten nicht nur mit dem dynamischen Beiwert von 1,28 erhöht sondern auch noch um 1,1 infolge exzentrizität

$$p_{k,ext.} = 130 \cdot 1,28 \cdot 1,1 = 183 \text{ kN}$$

$$q_{k,ext.} = 25 \cdot 1,28 \cdot 1,1 = 35 \text{ kN/m}$$

701907.1.31

Waldenburgerbahn, Sienkerbrücke s. Hölstein 23.08.17 TAM 3

Ergebnisse der Bemesslung:

Je Brückenhälfte:

$M_d = 1830 \text{ kN.m}$

Stahl III  $\Rightarrow f_{cd} = 390 \text{ N/mm}^2$

Dynidag Spannstahl  $\Rightarrow f_{pd} = 720 \text{ N/mm}^2$

Berechnung von  $M_{Rd}$

Bemesslung:  $\left. \begin{array}{l} 2 \phi 22 \\ 7 \phi 26 \end{array} \right\} \times 2: A_s = (2 \cdot \pi \cdot 11^2 + 7 \cdot \pi \cdot 13^2) \cdot 2 = 8'950 \text{ mm}^2$   
 je Balken  
 je Balken 2 Dynidag Spannstab  $\phi 36: 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 18^2 = 4'070 \text{ mm}^2$   
 $\left. \begin{array}{l} 15 \phi 14 \\ 14 \phi 16 \end{array} \right\} A_i = 15 \cdot \pi \cdot 7^2 + 14 \cdot \pi \cdot 8^2 = 5'120 \text{ mm}^2$

Statische Höhe:  $0,85 \cdot 1'000 = 850 \text{ mm}$

$M_{Rd} = ((8'950 + 5'120) \cdot 390 + 4'070 \cdot 720) \cdot 850$   
 $= 7'160 \text{ kN.m}$  [5'470 kN.m ohne Berücksichtigung der Längsreifen in der Platte]

$M_{Rd} = 7'530 \text{ kN.m} \geq M_d = 1'830 \text{ kN.m}$   
 [5'790 kN.m]

Durchbiegung:

unter Verkehrslast und noch ohne Berücksichtigung der Vorspannung:

$w_{\phi} = 3 \text{ mm} \leq \frac{l}{800} = 14 \text{ mm}$

Genies. SIA 260 Tabelle 14  
 Geschwindigkeit  $v \leq 80 \text{ km/h}$

Kontrolle Druckfläche in oberem Teil der Brüstungen:

$N_d = \frac{1830 \text{ kN.m}}{2 \cdot 0,85} = 1'080 \text{ kN}$

$h_{\text{Druck}} = \frac{1'080 \cdot 10^3}{800 \cdot 12,8} = 141 \text{ mm}$  ( $f_{cd} = 12,8 \text{ N/mm}^2$ )

Statische Höhe:  $1'000 - \frac{141}{2} \cdot 30 = 14 \cdot 26 = 860 \text{ mm}$  (angenähert: 850 mm)

707907

Waldenburgerbahn, Freckenbrücke in Hölstein 24.08.17 TAM 4

Einfluss der Vorspannung auf die Dauerhaftigkeit des Bauwerks:

Vorspannkraft:  $P_0 = 670 \text{ kN}$  je Kabel

15% für Verluste  $\Rightarrow P_{00} = 670 \cdot 0,85 = 570 \text{ kN}$

Umlenkkraft:

$$w = \frac{8 f P}{l^2} = \frac{8 \cdot (0,5 - 0,06) \cdot 4 \cdot 570}{11,3^2} = 63 \text{ kN/m}$$

Last infolge Eigengewicht:  $g = 51 \text{ kN/m}$

infolge Schotterbett:  $g' = 31 \text{ kN/m}$

$\Rightarrow$  Keine volle Vorspannung in Zukunft-Momenten knapp erfüllt.

Kontrollierte Schieb:

$V_d = 1160 \text{ kN}$  abzüglich Vorspannung  $0,9 \cdot 570 \cdot \sin 15^\circ = 531 \text{ kN} \Rightarrow V_d = 629 \text{ kN}$

$$A_{s, \text{min}} = \frac{629 \cdot 10^3 \cdot 150}{2 \cdot 850 \cdot 390} = 142 \text{ mm}^2 \quad (\text{Vorhanden: } \phi 14 \cdot A_s = 2 \cdot \pi \cdot 7^2 = 308 \text{ mm}^2)$$

Biegung in Querrichtung:

$$g = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow M_{d, g} = \frac{7,5 \cdot 2,4^2}{8} \cdot 1,35 = 7,3 \text{ kN.m}$$

$g'$  infolge im Kl. Glas und Schotter:  $0,55 \cdot 20 = 11 \text{ kN/m}^2$

$$M_{d, g'} = \frac{11 \cdot 2,4^2}{8} \cdot 1,35 = 10,7 \text{ kN.m}$$

$q$ : Bei Einzelknoten verteilt auf 3,2m

$$q_1 = \frac{2 \cdot 103}{2,4 \cdot 3,2} = 47,7 \text{ kN/m}^2$$

$$M_d = \frac{47,7 \cdot 2,4^2}{8} \cdot 1,35 = 52 \text{ kN.m}$$

$q$ : Bei Linsenlast verteilt

$$q_d = \frac{2 \cdot 35}{2,4} = 29,2 \text{ kN/m}^2$$

$$M_d = \frac{29,2 \cdot 2,4^2}{8} = 21 \text{ kN.m}$$

$$\Rightarrow M_{d, \text{Gesamt}} = 70 \text{ kN.m} \leq M_{Rd} = 0,9 \cdot 270 \cdot 1'026,390 = 97 \text{ kN.m}$$

$$\text{Durchbiegung: } w_q = \frac{15}{384} \cdot \frac{47,7 \cdot 2'400^4}{30 \cdot 10^6 \cdot (10000 - 300^2)} = 0,3 \text{ mm} \leq \frac{l}{800} = 3 \text{ mm}$$



701907

Waldenburgerbahn, Frankensbrücke Hölstein 15.06.2019 TAM 5

Erweichung:

Gemäss Art. 4.3.8.1.4 sind zur Berücksichtigung des unterschiedlichen  
Verbandverhaltens von Betonstahl und Spannstahl die Spannungen im  
Betonstahl mit folgendem Faktor zu erhöhen:

$$k_e = \frac{\lambda_s \lambda_p}{\lambda_s \lambda_p \sqrt{\varepsilon(\phi_s)}} \cdot \frac{1}{\phi_p}$$

$$\lambda_s = 8'950 + 5'120 = 14'070 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 4'070 \text{ mm}$$

$$\phi_p = \sqrt{\lambda_p} = \sqrt{16 \cdot 10^2} = 32 \text{ mm}$$

$$\phi_s = 26 \text{ mm (grösster Durchmesser)}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\gamma_{itr}} = \frac{1}{2,6} = 0,38$$

$$k_e = \frac{14'070 + 4'070}{14'070 + 4'070} \cdot \frac{1}{\sqrt{0,38 \cdot \frac{26}{32}}} = 1,11$$

Maximale Momente differenz:

$$\Delta M_{d,d} = 1'174 \text{ kNm}$$

$$\Delta \sigma_{s,d} = 1,11 \cdot \frac{1'174 \cdot 10^4}{850 \cdot (14'070 + 4'070)} = 84 \text{ N/mm}^2$$

Gemäss Tabelle 13 der SIA 261:

$$\Delta \sigma_{s,d} = 84 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_{st,ft} = 120 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_{s,d} = 84 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_{ps,ft} = 145 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Spannstahl im Verbund})$$

Da die Spannstäbe injiziert sind und sich die Verankerungen am Anfang  
und Ende der Einfeldträger befinden sind keine Spannungswechsel  
im Bereich der Verankerungen zu erwarten.

701907 Waldenburgerbahn, Frankenbergbrücke Hölstein 15.06.2019 TAM 6

Erweiterungsmassnahme im Beton:

$$|\sigma_{ed}|_{max} \leq 0,5 k_e f_{cd} + 0,45 |\sigma_{ed}|_{min} \leq 0,9 k_e f_{cd}$$

$$k_e = 1,0 \quad f_{cd} = 12,8 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{2 \cdot h \cdot B^3 + h_e \cdot b^3}{3} - (2 \cdot h \cdot B + h_e \cdot b) \cdot e_s^2 \quad A = 2,8 \cdot 0,3 + 2,1 \cdot 0,06 = 2,04 \text{ m}^2$$

$$e_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot h \cdot B^2 + h_e \cdot b^2}{2 \cdot h \cdot B + h_e \cdot b}$$

$h = 600 \text{ mm}$   
 $B = 1000 \text{ mm}$   
 $b = 300 \text{ mm}$   
 $H = 4000 \text{ mm}$   
 $h_e = H - 2h = 2800 \text{ mm}$

$$e_s = 356 \text{ mm}$$

$$I = 167 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$W_u = \frac{I}{e_s} = \frac{167 \cdot 10^9}{356} = 469 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_o = \frac{I}{e_o} = \frac{167 \cdot 10^9}{664} = 259 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{ed,max} = 2580 - 1000 = 1580 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{ed,max} = \frac{4,570 \cdot 10^3}{2,04 \cdot 10^2} + \frac{1580 \cdot 10^6}{469 \cdot 10^6} = 1,1 + 6,1 = 7,2 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{ed,min} = 1310 - 1000 = 310 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{ed,min} = \frac{4,570 \cdot 10^3}{2,04 \cdot 10^2} + \frac{310 \cdot 10^6}{469 \cdot 10^6} = 1,1 + 1,2 = 2,3 \text{ N/mm}^2$$

$$|\sigma_{ed}|_{max} = 7,2 \text{ N/mm}^2 \leq 0,5 \cdot 12,8 + 0,45 \cdot 2,3 = 7,4 \text{ N/mm}^2 \leq 0,9 \cdot k_e \cdot f_{cd} = 11,5 \text{ N/mm}^2$$

## **A.2 Statische Nachrechnung der Brücke WB Frenke - Programm Statik-7**

## **Anhang B Statik "Neuerstellung Brücke über die Frenke" von 1985**