

# Unterführung Neubrückstrasse – Anpassung Brückenpfeiler Viadukt Schützenmatt-Neubrückstrasse

## Technische Dokumentation - Bauprojekt

Situation, Einwirkungen, Lastabtrag und Baumassnahmen

6. November 2020 / 1-04





## Impressum

<i>Auftraggeber</i>	Stadt Bern - Tiefbauamt
<i>Projektleiter</i>	Dominic Joray
<i>Berichtsverfasser</i>	Daniel Konradi
<i>Projektnummer</i>	60.0433
<i>Dokument</i>	600433_201103_Anpassung Brückenpfeiler_Technische D_BP.docx

## Änderungsverzeichnis

<i>Version</i>	<i>Datum</i>	<i>Verfasser</i>	<i>Bemerkungen</i>
1-01	02.12.2019	Daniel Konradi d.konradi@bs-ing.ch	Erste Fassung
1-02	06.03.2020	Daniel Konradi d.konradi@bs-ing.ch	Ergänzungen gemäss Anmerkungen SBB
1-03	04.06.2020	Daniel Konradi d.konradi@bs-ing.ch	Anmerkungen Prüfingenieur eingearbeitet
1-04	06.11.2020	Daniel Konradi d.konradi@bs-ing.ch	Ergänzung Ermüdungsnachweis, konstruktive Details angepasst, neue Plannummer



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung, Situation und Grundlagen</b>	<b>4</b>
1.1	Situation und Projektbeschrieb	4
1.2	Grundlagen	6
1.2.1	Normen und gesetzliche Grundlagen	6
1.2.2	Bestandspläne	6
1.2.3	Bauprojektpläne	6
1.2.4	Materialisierung	7
1.3	Abgrenzung	7
<b>2</b>	<b>Einwirkungen und Lastkombinationen</b>	<b>8</b>
2.1	Eigengewicht	8
2.2	Auflast	8
2.3	Bahnverkehr	8
2.3.1	Einflusslänge Anfahrt-/Bremskräfte	8
2.3.2	Normalspurbahnverkehr gemäss SIA 269/1 (2011)	9
	Vertikale Bahnverkehrslasten	9
	Horizontale Bahnverkehrslasten	10
	Einwirkungsgruppe	10
2.3.3	Bahnverkehrslasten gemäss SIA 112 (1935)	11
	Vertikale Bahnverkehrslasten	11
	Horizontale Bahnverkehrslasten	11
2.3.4	Vergleich der massgebenden Bahnverkehrslasten zwischen SIA 269/1 (2011) und SIA 112 (1935)	12
2.4	Lastkombinationen im Grenzzustand Typ 2: Tragwiderstand des Tragwerks	13
<b>3</b>	<b>Lastabtrag, Nachweise und Baumassnahmen</b>	<b>14</b>
3.1	Horizontalkräfte (Funktion als Bremspfeiler)	14
3.2	Vertikalkräfte (lokaler Kraftfluss)	17
3.3	Ermüdung	20
3.4	Bauliche Massnahmen	21
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>22</b>

# 1 Einleitung, Situation und Grundlagen

Im Rahmen des Projektes "Verkehrsmassnahmen Umfeld Henkerbrännli" der Stadt Bern wird die bauliche Anpassung eines Pfeilers der bestehenden SBB-Bahnbrücke nötig. Das erforderliche Lichtraumprofil des geplanten Gehweges bedingt die lokale Verjüngung einer Ecke.

## 1.1 Situation und Projektbeschreibung

Der bestehende Brückenpfeiler befindet sich an der Neubrückstrasse und ist Teil des Viadukts Schützenmatt-Neubrückstrasse aus den 1940er Jahren.

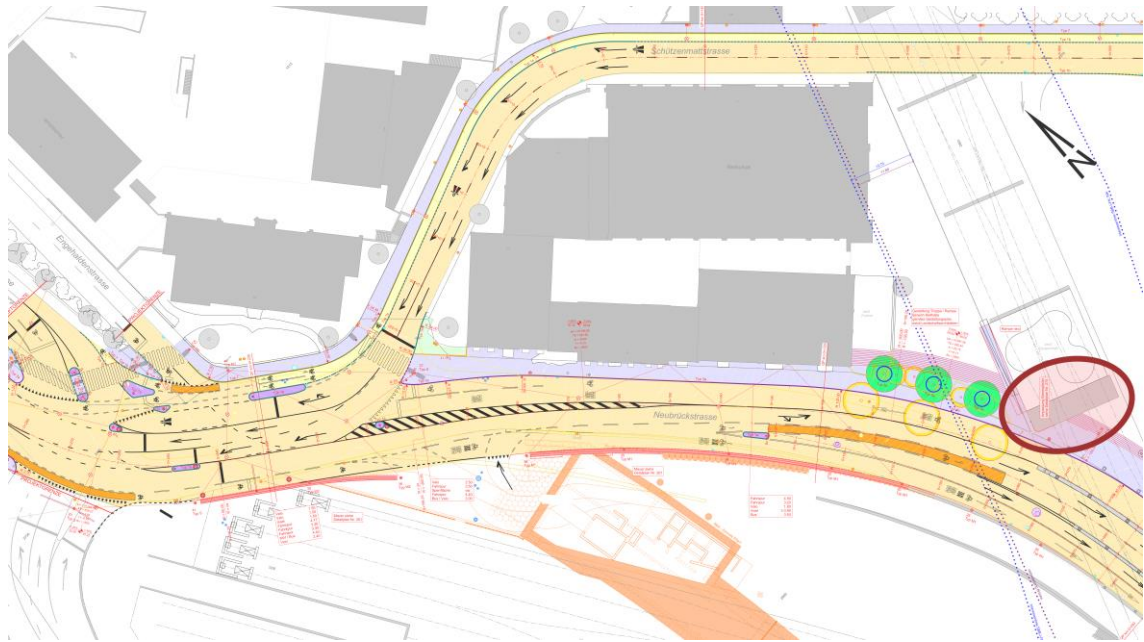


Abbildung 1 Situation Verkehrsmassnahmen im Bereich Neubrückstrasse. SBB-Brückenpfeiler eingekreist (Ausschnitt aus Plan 211)

Der pfahlgegründete Brückenpfeiler hat eine Grundfläche unterhalb der Brückenplatte von 4.70 m x 17.90 m, siehe Abbildung 2. Die Brückenplatte ist als Stahl-Beton-Verbundkonstruktion ausgeführt, auf welcher die Schienen-Swellenkonstruktion in einem Kiesbett gebettet ist. Konstruktiv ist im oberen Pfeilerbereich (= unterhalb der Brückenplatte) ein liegender, 65 cm starker Zugring ausgebildet wie in Abbildung 5 skizziert. Die Stahlträger der Brückenplatte sind im Zugring des Pfeilers verankert, um Horizontalkräfte in den Pfeiler einleiten zu können. Vertikalkräfte werden ebenfalls lokal über die Stahlträger in den Pfeiler eingeleitet.

Die Nutzung der SBB-Brücke bleibt unverändert. Betriebliche Unterbrüche des Bahnverkehrs während den Baumasnahmen sind nicht vorgesehen.

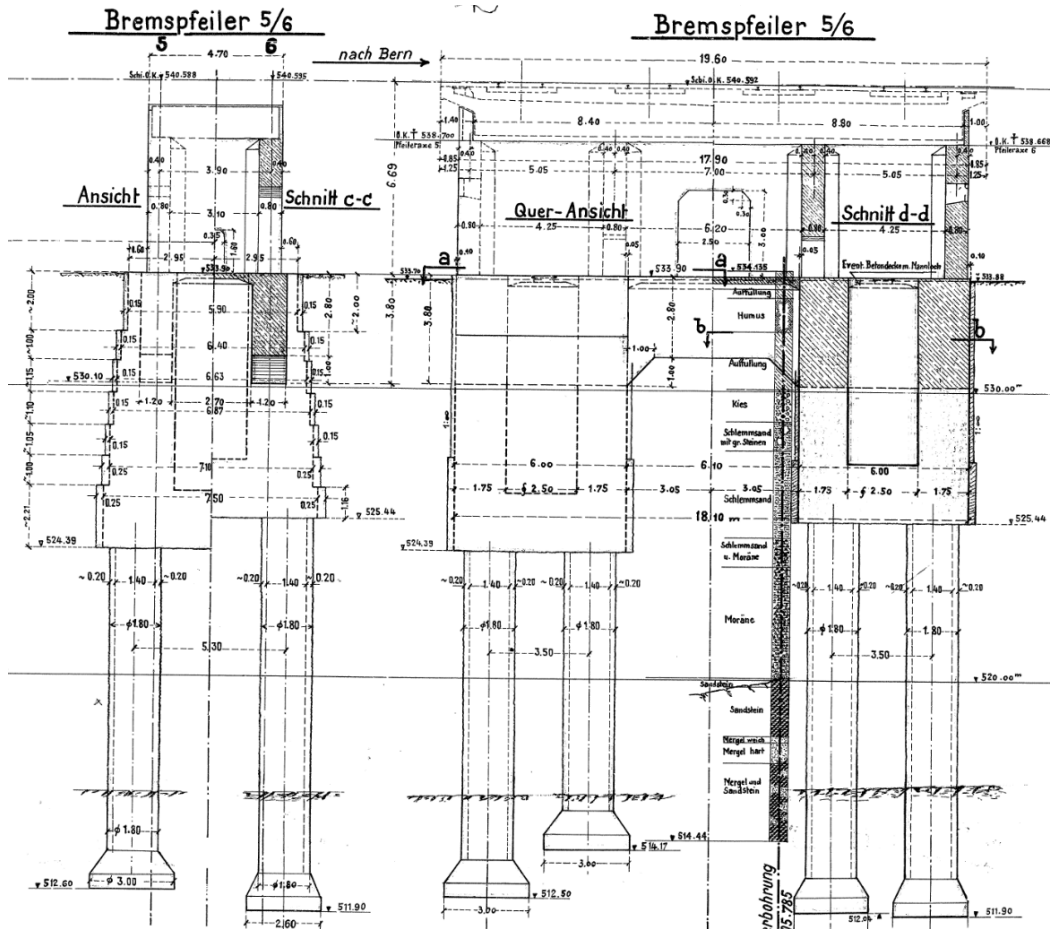


Abbildung 2 Bestehender Brückenpfeiler Unterbau in den zwei Ansichten (Ausschnitt aus Bestandsplan 17.107-16)

Die projektierte Gehwegbreite der Neubrückstrasse von mindestens 2.00 m bedingt einen Einschnitt in den bestehenden Brückenpfeiler gemäss Abbildung 3 (B+S Plan 60.0433-32-315-02). Die südwestliche Ecke des Pfeilers muss dafür um das Stichmass 375 mm verjüngt werden. Dies entspricht einer Querschnittsverkleinerung im Grundriss um 1'405 cm<sup>2</sup>. Im Vergleich zum gesamten Pfeiler wird der Pfeiler-Querschnitt über eine Höhe von rund 2.5 m um 0.5 % verkleinert.

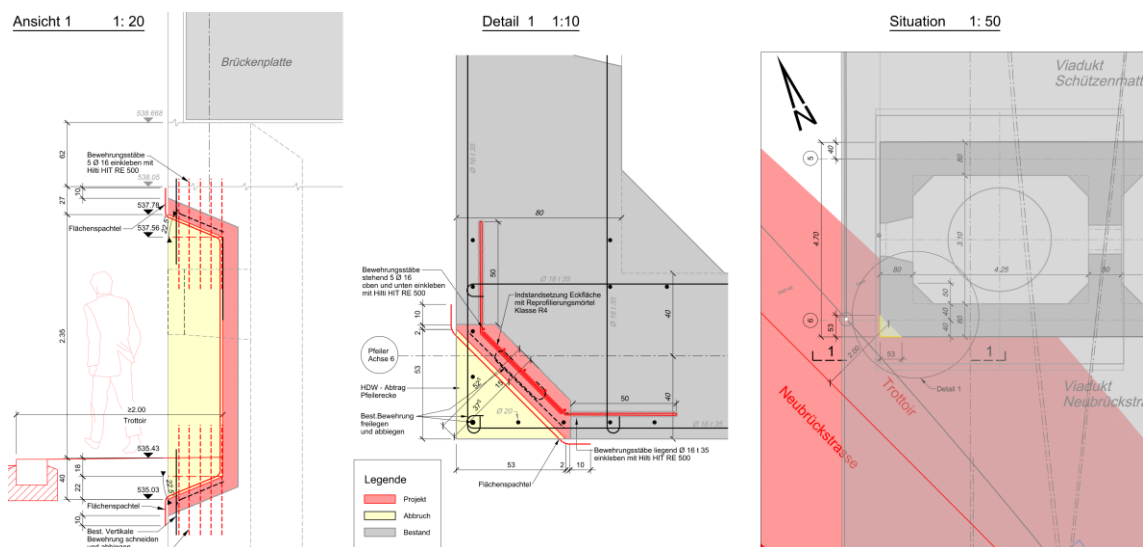


Abbildung 3 Anpassung Brückenpfeiler (Ausschnitt aus Plan 60.0433-32-315-02)



## 1.2 Grundlagen

### 1.2.1 Normen und gesetzliche Grundlagen

Nr.	Abkürzung	Jahr	Beschreibung
01	AB-EBV	2014	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
02	EBG	2018	Eisenbahngesetz
03	SIA 260	2013	Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
04	SIA 261	2014	Einwirkungen auf Tragwerke
05	SIA 261/1	2003	Einwirkungen auf Tragwerke - Ergänzende Festlegungen
06	SIA 262	2013	Betonbau
07	SIA 262/1	2019	Betonbau - Ergänzende Festlegungen
08	SIA 269	2011	Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken
09	SIA 269/1	2011	Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen
10	SIA 269/2	2011	Erhaltung von Tragwerken – Betonbau
11		2012	Weisungen für die Überprüfung von Kunstbauten – Tiefbauamt Graubünden

### 1.2.2 Bestandspläne

Viadukt über die Schützenmatte und Unterführung der Neubrückstrasse: Pläne 17.104-01 bis 17.104-56 aus den Jahren 1939 und 1940.

Insbesondere:

17.104-09	Übersicht Stahlträger Brückenplatte
17.104-13	Bremspfeiler 5/6 – Auflagerrahmen
17.104-16	Bremspfeiler 5/6 – Schalung
17.104-30	Bremspfeiler 5/6 – Bewehrung Pfahlriegel
17.104-31	Bremspfeiler 5/6 – Bewehrung Pfeiler
17.104-38	Bremspfeiler 5/6 – Auflagerdetail Stahlträger

### 1.2.3 Bauprojektpläne

Sämtliche Bauprojektpläne des Projekts Verkehrsmassnahmen Umfeld Henkerbrännli, ING. Nr. 60.0433.



#### 1.2.4 Materialisierung

Material	Bemessungswert	Beschrieb	Grundlage
Beton Bestand	$f_{cd} = 10.9 \text{ N/mm}^2$	Druckfestigkeit Bemessungswert ("hochwertiger" Beton)	SIA 269/2
Beton Neu	$f_{cd} = 20.0 \text{ N/mm}^2$	Druckfestigkeit Bemessungswert (C30/37)	SIA 262
Bewehrungsstahl Bestand	$f_{sd} = 300 \text{ N/mm}^2$	Streckgrenze Bemessungswert ("hochwertig")	SIA 269/2 <sup>1</sup>
Bewehrungsstahl Neu	$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$	Streckgrenze Bemessungswert B500B	SIA 262

Die Streckgrenze des bestehenden Bewehrungsstahls wurde gemäss den in Fussnote <sup>1</sup> beschriebenen Grundlagen angenommen.

#### 1.3 Abgrenzung

Die vorliegende technische Dokumentation untersucht den Bremspfeiler Achse 5/6 hinsichtlich dessen Funktionalität als Bremspfeiler. Sämtliche Tragwerksteile der Brücke, denen keine baulichen Anpassungen unterzogen werden, werden nicht überprüft. Es wird angenommen, dass der Lastabtrag in diesen Tragwerksteilen gewährleistet ist.

---

<sup>1</sup> Bemessungswert Streckgrenze Baustahl für SIA112 (Jahr 1935) gemäss *Anhang A10 in Weisungen für die Überprüfung von Kunstbauten des Tiefbauamts Graubünden*



## 2 Einwirkungen und Lastkombinationen

### 2.1 Eigengewicht

Beschreibung		Wert
Stahlträger	$\gamma_s$	8000 kg/m <sup>3</sup>
Betonplatte 0.61 m	$g_{k,act,Beton}$	15.3 kN/m <sup>2</sup>

### 2.2 Auflast

Beschreibung		Wert
Kiesbett 0.50 m	$g_{k,act,Kies}$	10.0 kN/m <sup>2</sup>

### 2.3 Bahnverkehr

Im Folgenden werden die aktualisierten Bahnverkehrslasten gemäss aktueller Norm SIA 269/1 von 2011 (Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen) und die bei der damaligen Brückendimensionierung angenommen Bahnlasten, welche auf der Norm SIA 112 von 1935 beruhen, aufgeführt und verglichen.

Gemäss SIA 261 – 11.3.1.4 und 11.3.1.6 ist der dynamische Beiwert  $\Phi = 1.00$  für Widerlager und Bremskräfte definiert. Dementsprechend und zur Vergleichbarkeit wird der dynamische Beiwert zu  $\Phi = 1.00$  festgelegt.

#### 2.3.1 Einflusslänge Anfahrt-/Bremskräfte

Die Anfahrt-/Bremskräfte auf den Bremspfeiler Achse 5/6 werden auf einer Länge von  $L = 72\text{m}$  gemäss Abbildung 4 angenommen. Diese Länge ergibt sich aus der Summe der halben Feldlängen zu den benachbarten Widerlagern. Infolge der Schiefe der Widerlagerwand Achse 12 entspricht die halbe mittlere Feldlänge quasi der ganzen Feldlänge im relevanten Gleisbereich zwischen Achse 6 und 12.



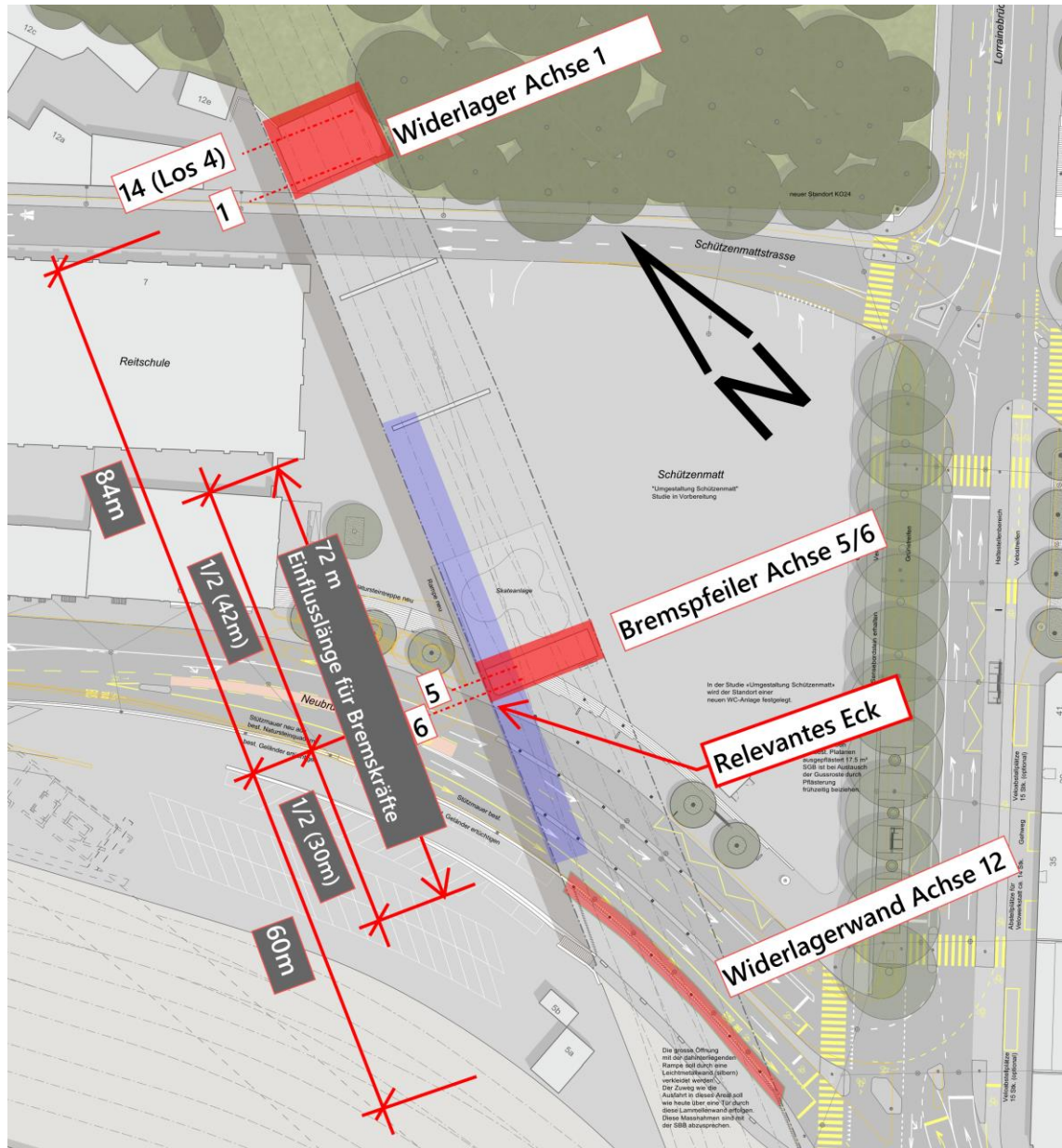


Abbildung 4 Situation des Bremspfeilers mit benachbarten Widerlagern und der angenommenen Einflusslänge für die Anfahrt-/Bremskräfte.

### 2.3.2 Normalspurbahnverkehr gemäss SIA 269/1 (2011)

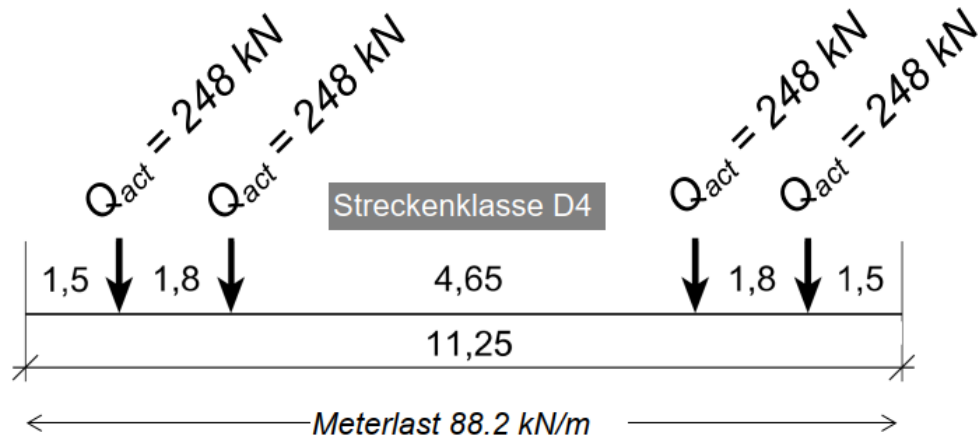
#### Vertikale Bahnverkehrslasten

Streckenklasse: Streckenklasse D4

Nominelle Achslast:  $Q_{act} = Q_{act} \cdot 1.1^2 = 225 \text{ kN} \cdot 1.1 = 248 \text{ kN}$

Die aktualisierten Achslasten sind gemäss nachfolgender Skizze unbegrenzt oft nebeneinander zu setzen. Günstig wirkende Achslasten sind nicht anzusetzen.

<sup>2</sup> 10% Erhöhung zur Berücksichtigung von Achslastüberschreitungen infolge unsachgemässer Beladung



### Horizontale Bahnverkehrslasten

Einwirkung	Formel	Wert	Beschreibung
$QA_{k,act}^3$ (LM1+LM3)	$33 L < 1000 \text{ kN}$	1000 kN	Anfahrkraft (horiz. längs)
$QB_{k,act}$	$22 L < 6600 \text{ kN}$	1584 kN	Bremskraft (horiz. längs)
$QS_{k,act}$	80 kN	80 kN	Schlingerkraft (horiz. quer)
$QZ_{k,act}^4$	$(v^2 * Q_{act}) / (r * g)$	13 kN	Zentrifugalkraft (horiz. quer)

### Einwirkungsgruppe

Als konservative Annahme werden alle 4 Gleise der Bahnbrücke als gleichzeitig belastet angenommen. Für Anfahr-/Bremskräfte werden 2 Gleise mit gleicher Fahrtrichtung angenommen, auf die betroffene Scheibe in Längsrichtung im Eck wirken nur die Kräfte eines Gleises. Die horizontalen Kräfte der übrigen Gleise werden über die weiteren Scheiben abgetragen.

<sup>3</sup> Einflusslänge Anfahr-/Bremskräfte gemäss Kapitel 2.3.1

<sup>4</sup> Annahme Ausbaugeswindigkeit 80 km/h (= 22.22 m/s); Krümmungsradius R = 1000m



### 2.3.3 Bahnverkehrslasten gemäss SIA 112 (1935)

SIA 112 – Normen für die Berechnung, die Ausführung und den Unterhalt der Bauten aus Stahl, Beton und Eisenbeton (1935).

Erster Teil. Belastung für die statischen Berechnungen.

#### Vertikale Bahnverkehrslasten

C. Verkehrslasten für Eisenbahnbrücken.

Art. 3.

Normalspurige Hauptbahnen: Zug von drei Lokomotiven mit einer unbeschränkten Zahl einseitig angehängter Grossgüterwagen.

Achsdrücke gemäss folgendem Ausschnitt aus SIA 112 (1935):

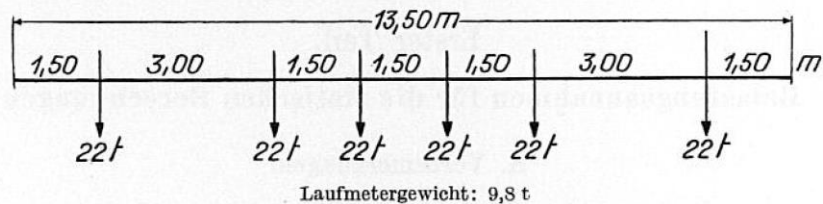
#### C. Verkehrslasten für Eisenbahnbrücken.

Art. 3.

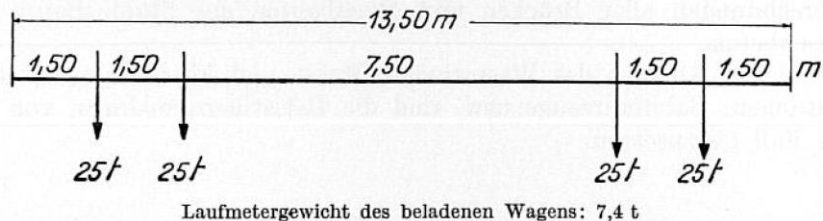
Brücken für Hauptbahnen.

<sup>1</sup> Der Berechnung der Brücken für normalspurige Hauptbahnen ist ein Zug von drei Lokomotiven mit einer unbeschränkten Zahl einseitig angehängter Grossgüterwagen zugrunde zu legen; hierfür gelten die nachfolgenden Lastverteilungen der Achsdrücke:

##### Lokomotive:



##### Grossgüterwagen:



Das Leergewicht des Grossgüterwagens ist zu 20 t, der Achsdruck zu 5 t und das Laufmetergewicht zu 1,48 t anzunehmen.

#### Horizontale Bahnverkehrslasten

E. Fliehkräfte.

Art. 13.

Es ist keine explizite Formel zur Ermittlung der Fliehkräfte angegeben. Mit dem Gleisradius  $R = 1000\text{m}$  sind die Fliehkräfte jedoch vernachlässigbar klein und werden nicht weiter untersucht. Siehe dazu auch ermittelte Zentrifugalkräfte in Kapitel 2.3.1.



*J. Bremskräfte.*

*Art. 22.*

Für Adhäsionsbahnen (= Reibungsbahnen, also keine Zahnradbahnen oder Standseilbahnen) ist die Bremskraft mit 1/7 aller auf der Brücke befindlicher Achslasten anzunehmen. Es wird konservativ angenommen, dass ausschliesslich Lokomotiven für die Bremskräfte wirken.

$$QB_k (\text{SIA 112}) = 1/7 * L * q = 1/7 * 72\text{m} * 98 \text{ kN/m} = 1008 \text{ kN}$$

**2.3.4 Vergleich der massgebenden Bahnverkehrslasten zwischen SIA 269/1 (2011) und SIA 112 (1935)**

Beschreibung	SIA 269/1 (2011)	SIA 112 (1935)	Prozentuale Differenz (SIA 112 / SIA 269)
Vertikallast (Primärlast)	88.2 kN/m	98 kN/m	111.1 %
Vertikallast (Randlast)	88.2 kN/m	74 kN/m	83.9 %
Bremskräfte	1584 kN	1008 kN	63.3 %



## 2.4 Lastkombinationen im Grenzzustand Typ 2: Tragwiderstand des Tragwerks

Folgende Tabelle zeigt die Lastbeiwerte für ständige und vorübergehende Einwirkungen der massgebenden Gefährdungsbilder (GB). Auf eine Reduktion der Kombinationswerte für Eigengewicht wurde verzichtet, da keine ausführliche Aufnahme der vorhandenen Abmessungen durchgeführt wurde.

Einwirkung	GB 01	GB 02	GB 03	GB 04
Eigenlast <sub>(sup/inf)</sub>	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80
Auflast <sub>(sup/inf)</sub>	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80
Lastmodell 1	1.45	1.45	-	-
Schlinger-/ Zentrifugalkraft	1.45	1.45 * 0.5		
Anfahrt-/Bremskräfte	1.45 * 0.5	1.45		
Lastmodell 3	-	-	1.20	1.20
Schlinger-/ Zentrifugalkraft			1.20	1.20 * 0.5
Anfahrt-/Bremskräfte			1.20 * 0.5	1.20



## 3 Lastabtrag, Nachweise und Baumassnahmen

Es ist geplant den Brückenpfeiler lokal an einem Eck baulich zu verändern. Entsprechend wird nicht der Pfeiler ganzheitlich nachgewiesen, sondern der Kraftfluss im Bereich des Eingriffes aufgezeigt. Der konstruktiv ausgebildete Zugring direkt unter der Brückenplatte wird durch die Baumassnahmen nicht tangiert, da der Einschnitt unterhalb geplant ist.

Die Baumassnahmen beeinträchtigen nicht die Funktion des Pfeilers als Bremspfeiler. Zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit sowie zum Erhalt des Nettoquerschnitts der Bewehrung werden konstruktive Massnahmen getroffen.

Bis zur Ausführung der Reprofilierung ist der Einschnitt im Bauzustand (ca. 2 Wochen) um ca. 720 cm<sup>2</sup> grösser als im Endzustand. Aus Gründen der Verhältnismässigkeit wird dieser Bauzustand nicht weiter betrachtet und wird als vernachlässigbar beachtet.

### 3.1 Horizontalkräfte (Funktion als Bremspfeiler)

Skizziert in Abbildung 5 ist der Abtrag der Bremskräfte in die Unterkonstruktion des Pfeilers. Folgende Betrachtungen gelten analog für Bremskräfte in die entgegengesetzte Richtung. Die Ansicht zeigt den Pfeiler in seiner Schmalseite, also parallel zu den Gleisen. Konstruktiv sind zwei massiv bewehrte Zugringe ausgebildet: 1) Oberer Zugring direkt unterhalb der Brückenplatte in welchem die Stahlträger der Brückenplatte verankert sind und 2) Unterer Zugring resp. Pfahlriegel. Die Wandscheibe zwischen diesen Zugbändern ist annähernd quadratisch (h = 4.8 m, b = 4.7 m). Der geplante Einschnitt des Pfeilers liegt zwischen diesen liegenden Zugringen.

Da sich die Einflusslänge um circa die Hälfte vor resp. hinter dem Bremspfeiler ausdehnt (siehe auch Abbildung 4) kann angenommen werden, dass eine Hälfte der Bremskraft direkt über eine Beton-Druckdiagonale in die Foundation eingeleitet wird. Die andere Hälfte der Bremskräfte muss zunächst über das massiv bewehrte obere Zugband aufgenommen werden und wird dann in derselben Beton-Druckdiagonalen in den unteren Pfahlriegel geleitet. Die Bildung dieser Beton-druckstrebe wird durch den Einschnitt nicht beeinträchtigt.

Für folgende Nachweise sind die massgebenden Faktoren auch in Abbildung 5 skizziert.

Als einwirkende Bremskraft im massgebenden Eckbereich kann angenommen werden, dass die Bremskraft eines einzigen Gleises wirkt. Die Bremskräfte der benachbarten Gleise werden über die jeweils benachbarten Längsscheibe abgetragen.

#### Nachweis oberes Zugband

Einwirkung (design) = Zugkraft in oberem Zugband (= 1/2 gesamten Bremskraft)

$$QB_d = 1.45 \cdot QB_{k,act} \cdot \frac{1}{2} = 1148 \text{ kN}$$

Vorhandener Bewehrungsquerschnitt in oberem Zugband (6 Ø28 + 4 Ø20)

$$A_{S,vorh} = 4951 \text{ mm}^2$$

Streckgrenze Bewehrung (design)

$$f_{sd,act} = 300 \text{ N/mm}^2$$

Max. Zugkraft in Bewehrung aufnehmbar

$$Z_{Rd} = A_{S,vorh} \cdot f_{sd,act} = 1485 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$QB_d = 1148 \text{ kN} < 1485 \text{ kN} = Z_{Rd} \quad \text{i.O.}$$



## Nachweis Beton-Druckdiagonale

Einwirkung (design) horizontal (= gesamte Bremskraft)

$$QB_d = 1.45 \cdot QB_{k,act} = 2297 \text{ kN}$$

Kraft in Diagonale (45° Neigung Diagonale)

$$F_{Ed,diag} = \sqrt{2} \cdot QB_d = 3248 \text{ kN}$$

Betondruckfestigkeit (design)

$$f_{cd,act} = 10.9 \text{ N/mm}^2$$

Abminderungswert Druckfestigkeit (SIA 261 – 4.2.1.4)

$$k_c = 0.55$$

Betondruckfestigkeit in Diagonale

$$f_{cd,diag} = k_c \cdot f_{cd,act} = 6.0 \text{ N/mm}^2$$

Erforderliche Betonfläche zur Ausbildung der Druckdiagonalen

$$A_{c,erf} = \frac{F_{Ed,diag}}{f_{cd,diag}} = 542'000 \text{ mm}^2$$

Dicke bestehende Betonscheibe (entspricht Breite Druckdiagonale)

$$d = 800 \text{ mm}$$

Erforderliche Höhe der Betondruckdiagonale

$$a_{erf} = \frac{A_{c,erf}}{d} = 678 \text{ mm}$$

Nachweis

$$a_{möglich} = 800 \text{ mm} > 678 \text{ mm} = a_{erf} \quad \mathbf{i.O.} \quad (\text{Druckstrebe kann sich geometrisch ausbilden})$$

Durch die Exzentrizität der Krafteinwirkung relativ zu den Pfählen entsteht in der Unterkonstruktion ein Kräftepaar. Die Anschlussbewehrung zwischen Wandscheibe und Pfahlriegel wird durch den geplanten Einschnitt nicht tangiert, da der Einschnitt ca. 1.1m über dem Pfahlriegel beginnt. Zugkräfte können somit auch im Bereich des Einschnittes über die Verankerungslänge der Anschlussbewehrung in den Pfahlriegel eingeleitet werden.

Für den Abtrag der Horizontalkräfte quer zur Gleisachse (Wind-, Schlinger-, Zentrifugalkraft) gelten analoge Betrachtungen wie für die Bremskräfte. Diese Horizontalkräfte sind im Vergleich zur Bremskraft deutlich kleiner. Zudem ist die Lastabtragende Pfeilerwand quer zur Gleisachse um ein Vielfaches länger als die Pfeiler-Schmalseite. Der Lastabtrag der Horizontalkräfte quer zur Gleisachse wird somit durch den Einschnitt nicht behindert und kann ohne spezifischen Nachweis als erfüllt betrachtet werden.

Der Abtrag horizontaler Kräfte wird somit durch die geplanten baulichen Massnahmen nicht beeinträchtigt.



## Bremspfeiler 5/6

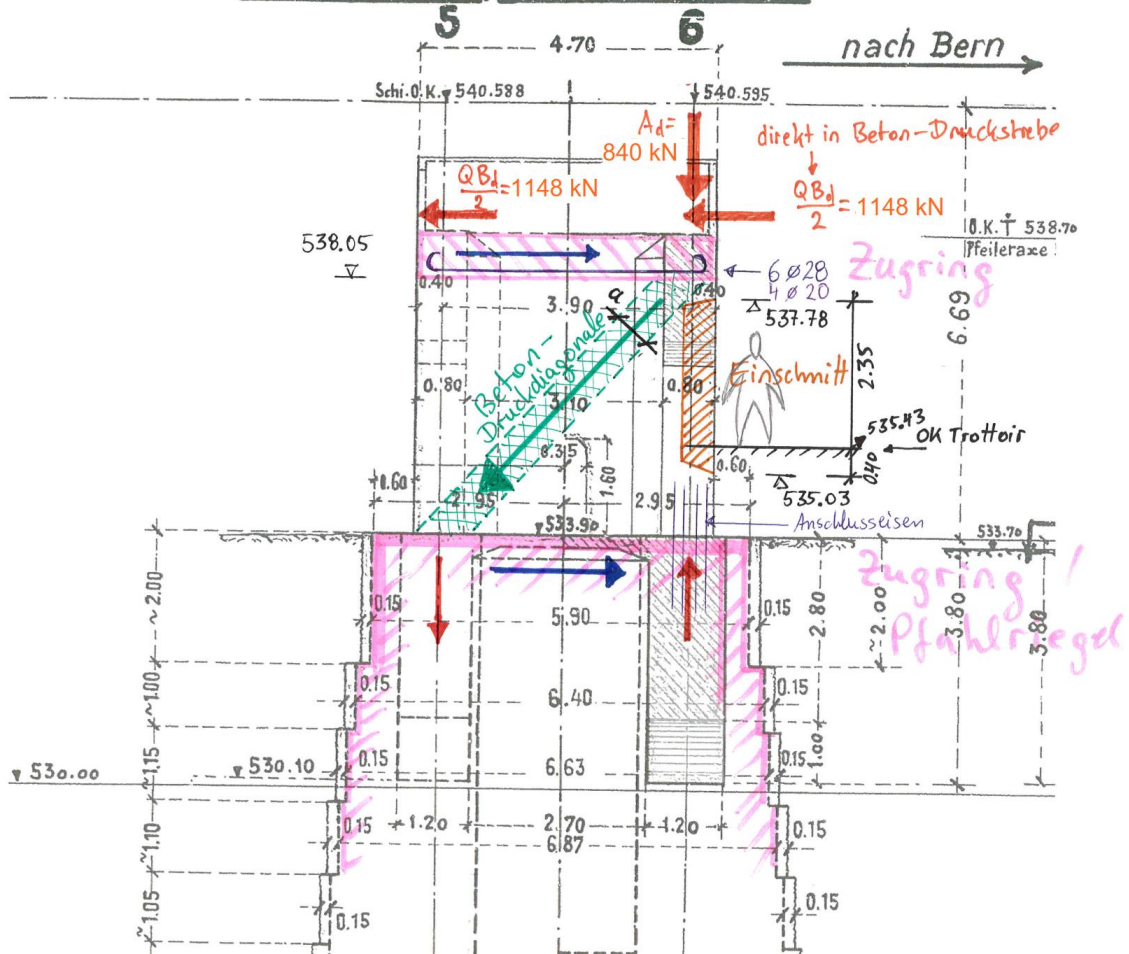


Abbildung 5 Lastabtrag Bremskräfte in Bremspfeiler Schmalseite (skizziert in Bestandsplan 17.107-16)





### 3.2 Vertikalkräfte (lokaler Kraftfluss)

Vertikallasten aus der Brückenplatte werden über einbetonierte, 1/2 HEB 600 Stahlprofile in den Brückenpfeiler eingeleitet, siehe Abbildung 6 und Abbildung 7. Dadurch entsteht ein 30 cm breiter Streifen zur Lasteinleitung. In den Eckbereichen ist die Zone der Lasteinleitung konstruktiv grösser ausgebildet wie in Abbildung 7 skizziert.

Infolge des geplanten Einschnittes muss im betrachteten Eckbereich die Vertikallast geringfügig abgelenkt werden. Die dadurch zusätzlich auftretende horizontale Ablenkraft kann, durch die im oberen Zugring vorhandene Bewehrung, aufgenommen werden.

In Abbildung 8 ist der Kraftverlauf im Eckbereich skizziert. Im Bauzustand muss ca. 1/3 der totalen Vertikallast im Eckbereich abgelenkt werden. Dies ergibt sich durch den Flächenanteil der Lasteinleitzone im Eckbereich welche durch den Einschnitt entfällt. Der Anteil 1/3 ist konservativ, da die gestörte Fläche effektiv kleiner ist als 1/3 der Lasteinleitzone. Die Pfeilerhöhe zwischen Einschnitt und OK Pfeiler beträgt weiterhin ca. 90cm. Die abzulenkende Vertikallast (= 1/3 der totalen Vertikallast) muss demnach um 18° (30cm/90cm) abgelenkt werden. Die dadurch resultierende horizontale Ablenkraft ( $F_{s,d}$ ) kann weiter aufgeteilt werden in die zwei Dimensionen des Pfeilers: Schmal- und Längsseite.

Zur Bestimmung der einwirkenden Vertikalkraft im massgebenden Eckbereich des Brückenpfeilers wurde die Brückenplatte im Statikprogramm CUBUS Statik-7 modelliert.

Massgebende Vertikalkraft  $A_d$  auf den in Abbildung 6 markierten Eckbereich (aus FEM-Modell):

$$A_d = 840 \text{ kN}$$

Horizontale Kraft infolge Ablenkung (total)

$$F_{s,d} = 1/3 \cdot A_d \cdot 30\text{cm}/90\text{cm} = 94 \text{ kN}$$

Horizontale Kraft infolge Ablenkung (je Pfeilerdimension)

$$1/2 F_{s,d} = 47 \text{ kN}$$

Diese Ablenkkräfte müssen mit den Kräften infolge Bremskraft (siehe Kapitel 3.1) superponiert werden.

Nachweis:

$$QB_d + 1/2 F_{s,d} = 1148 \text{ kN} + 47 \text{ kN} = 1195 \text{ kN} < 1485 \text{ kN} = Z_{Rd} \quad \text{i.O.}$$

Die vorhandene liegende Bewehrung im Zugring (6 Ø28 + 4 Ø20) kann die durch den Einschnitt resultierenden zusätzlich auftretenden Kräfte aufnehmen. Die Zugbewehrung wird um 4.1% (47kN) mehrbelastet. Es werden keine baulichen Verstärkungsmassnahmen notwendig.

Der Abtrag vertikaler Lasten wird somit durch den geplanten Einschnitt nicht beeinträchtigt.

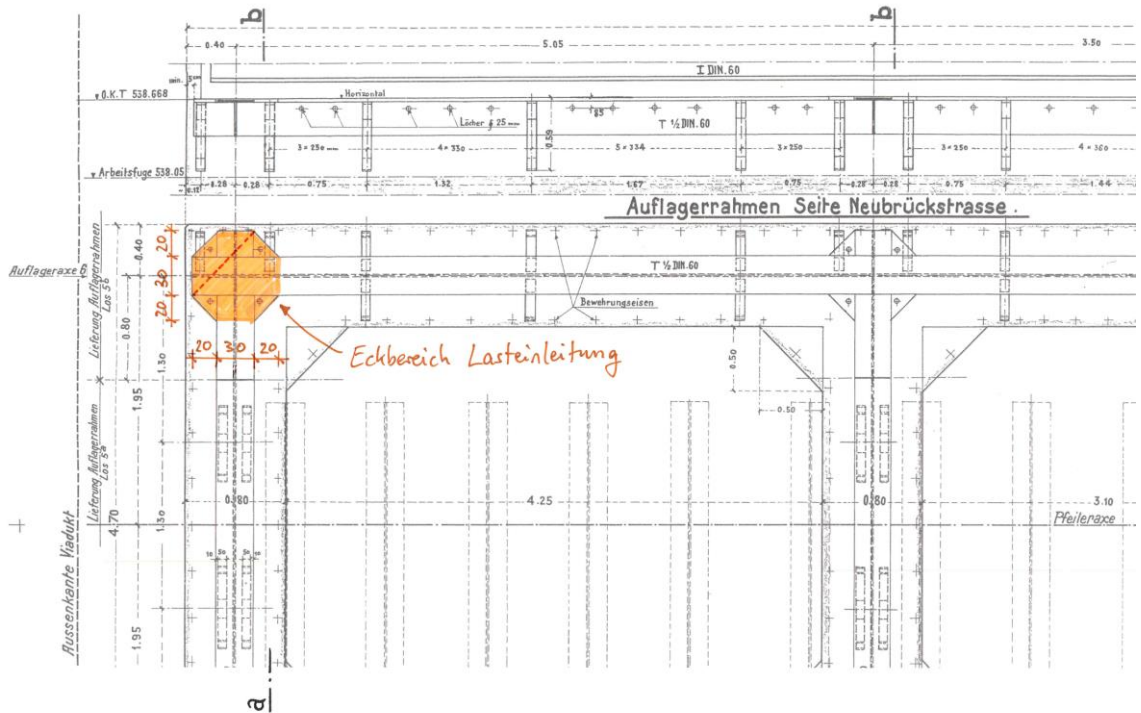


Abbildung 6 Grundriss des Auflagerrahmens im massgebenden Eck des Brückenpfeilers (Ausschnitt aus Plan 17.104-13)

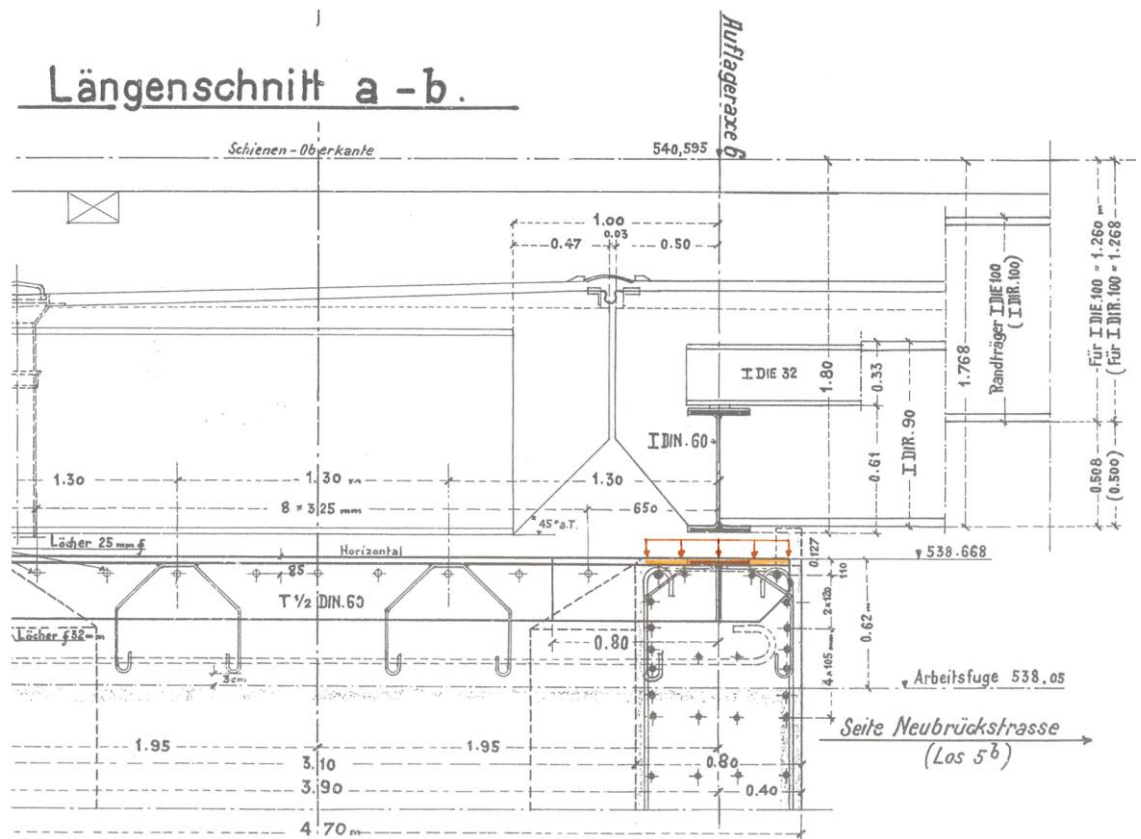


Abbildung 7 Längsschnitt des Auflagerrahmens im massgebenden Eck des Brückenpfeilers (Ausschnitt aus Plan 17.104-13)

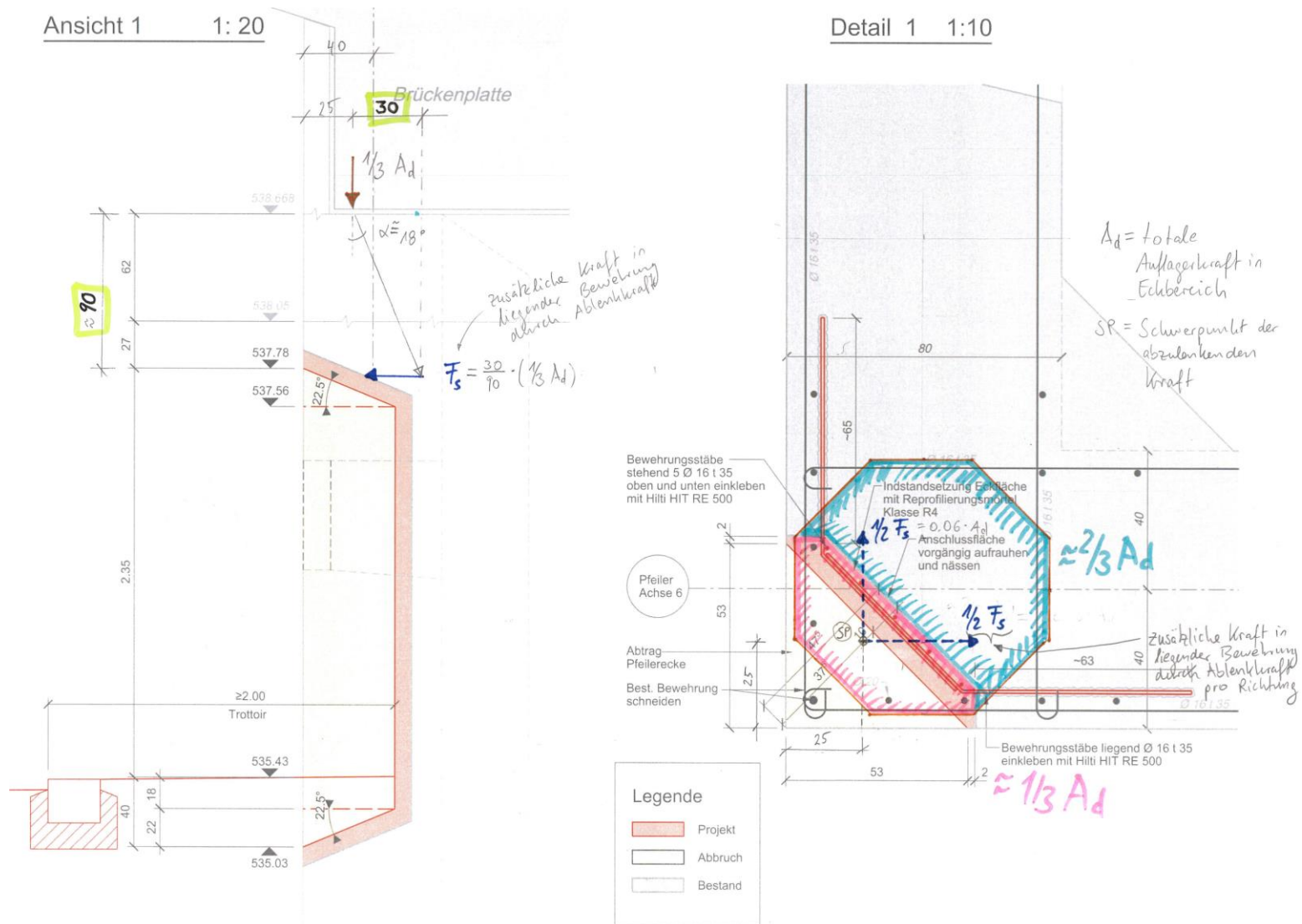


Abbildung 8 Kraftfluss Vertikallasten inkl. Ablenkkräfte im massgebenden Eckbereich



### 3.3 Ermüdung

Der Ermüdungsnachweis wird auf den Nachweis der Bewehrung beschränkt (SIA 269-2, Ziff. 4.5.8.1). Bremskräfte erzeugen im betrachteten Gleisperimeter keine ermüdungsrelevanten Spannungen, da die erwarteten Spannungswechsel infolge Bremskräfte mit weniger als 50'000 angenommen werden kann (SIA 262, Ziff. 4.3.8.1.1 und SIA 261, Ziff. 11.4.2.1). Entsprechend wird der Ermüdungsnachweis nur für die Spannungswechsel in der Bewehrung infolge der, durch die Baumassnahmen entstehenden, Ablenkkräfte geführt.

Überprüfungswert der Ermüdungsfestigkeit gemäss SIA 269-2, Tab. 2:

$$\Delta\sigma_{sd,fat,act} = 150 \text{ N/mm}^2$$

Es wird der Nachweis der Dauerfestigkeit geführt. Die Dauerfestigkeit  $\Delta\sigma_{sd,D}$  ergibt sich gemäss SIA 262, Ziff. 4.3.8.2.3 näherungsweise zu:

$$\Delta\sigma_{sd,D} \cong 120 \text{ N/mm}^2 = 0.8 * 150 \text{ N/mm}^2 = 0.8 * \Delta\sigma_{sd,fat,act}$$

Zur Ermittlung der ermüdungsrelevanten Spannungsdifferenz in der Bewehrung infolge Ablenkkraft werden folgende zwei Lastkombinationen angesetzt:

$Q_{fat,max}$ : Eigenlast, Auflast und Bahnverkehrslast

$Q_{fat,min}$ : Eigenlast und Auflast

Die Spannungsdifferenz in der horizontalen Zuggurt-Bewehrung infolge der ermüdungsrelevanten Einwirkung (Ablenkkraft)  $\Delta\sigma_{sd}(Q_{fat})$  resultiert im vorliegenden Fall zu:

$$\sigma_{sd,max}(Q_{fat}) = \frac{47'000N}{4951 \text{ mm}^2} = 10 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Ablenkkraft in Bewehrung} / \text{Bewehrungs-QS})$$

$$\sigma_{sd,min}(Q_{fat}) = \frac{10'000N}{4951 \text{ mm}^2} = 2 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{mit } A_d = 185 \text{ kN})$$

$$\Delta\sigma_{sd}(Q_{fat}) = 10 \text{ N/mm}^2 - 2 \text{ N/mm}^2 = 8 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis:

$$\Delta\sigma_{sd}(Q_{fat}) = 8 \text{ N/mm}^2 \ll 120 \text{ N/mm}^2 = \Delta\sigma_{sd,D} \quad \text{i.O.}$$

Die Spannungsdifferenz in den Bewehrungsstähen infolge ermüdungsrelevanter Einwirkung ist deutlich unter der Dauerfestigkeit. Die Ermüdungsfestigkeit des Bremspfeilers wird im relevanten Eck durch die geplanten Baumassnahmen nicht beeinträchtigt.



### 3.4 Bauliche Massnahmen

Zur Realisierung des erforderlichen Lichtraumprofils des Gehweges muss der betrachtete Bremspfeiler um das Stichmass 375 mm verjüngt werden. Es wird eine Bauzeit von ca. 2 Wochen angenommen.

Die baulichen Massnahmen sind in chronologischer Reihenfolge wie folgt geplant:

1. Vorarbeiten: Absperrung und Schutzmassnahmen, Abbruch Belag, Aushub
2. Betonabbruch mit Höchstwasserdruck und allenfalls Frässchnitt bis zu einem konstruktiven Stichmass von 525 mm (375 mm geplante Verjüngung + 150 mm nachträgliche Reprofilierung), Abbiegen der bestehenden Bewehrung
3. Klebbewehrung zur Ergänzung horizontal und vertikal ausführen
4. Reprofilierung (ca. 150 mm) ergänzen bis Geometrie Einschnitt Endzustand
5. Flächenspachtel über den gesamten Eckbereich
6. Abschlussarbeiten: Auffüllung, Trottoir erstellen, etc.



## 4 Fazit

Zur Gewährleistung des erforderlichen Lichtraumprofils eines Gehweges im Projekt "Verkehrsmassnahmen Umfeld Henkerbrännli" muss ein bestehender Brückenpfeiler um das Stichmass 375 mm lokal verjüngt werden.

Der bauliche Eingriff beeinträchtigt nicht die statischen Funktionen des Brückenpfeilers. Auch im Bauzustand (ca. 15 cm tieferer Einschnitt) wird die Nutzung der Bahnbrücke nicht behindert. Innerhalb von ca. 2 Wochen können die baulichen Massnahmen umgesetzt werden.

Durch konstruktive Massnahmen wird der Nettoquerschnitt der Bewehrung erhalten oder vergrössert und die Dauerhaftigkeit weiterhin sichergestellt.