

# Belegarbeit Stahlbrückenbau

Revision: 01

Studienfach: Stahlbrücken I

Konsulent: Dr.-Ing. Holger Flederer

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Andreas Tröger  
Weidaweg 1  
06122 Halle (Saale)  
Tel: 0345 / 4789548  
E-Mail: atroeger@gmx.de

Der Beleg umfasst: 186 Seiten  
Seiten Anlage zum Beleg  
1 Zeichnung

Halle (Saale), den 14.12.2010



Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 Vorbemerkungen</b>	5
1.1 Beschreibung des Tragwerkes	5
1.2 Maßgebende Vorschriften und Rechenannahmen	7
1.3 Geometrisches System (Übersicht)	11
1.4 Längs- und Querschnitte	12
1.5 Materialkennwerte	14
1.6 Hinweise zum Herstellungs- und Montageverfahren	15
<b>2 Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte</b>	16
2.1 Berechnungsgrundlagen	16
2.1.1 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems	16
2.1.2 System für DV-Berechnung mit Stab- und Knotenbezeichnung	16
2.1.3 Programmbeschreibung zur DV-Berechnung	16
2.2 Plattenquerschnitt	16
2.3 Einwirkungen in Querrichtung	17
2.3.1 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	17
2.3.2 Maßgebende Bemessungswerte	25
2.3.3 Querschnittswerte	27
2.3.4 Nachweis der Tragfähigkeit	28
2.3.5 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit / Rissbreitenbeschränkung	35
<b>3 Haupttragwerk</b>	37
3.1 Berechnungsgrundlagen	37
3.1.1 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems	37
3.1.2 System für DV-Berechnung mit Stab- und Knotenbezeichnung	38
3.1.3 Programmbeschreibung zur DV-Berechnung	40
3.2 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	41
3.2.1 Ständige Einwirkungen	41
3.2.2 Temperatureinwirkungen und Windlasten	42
3.2.3 Verkehrslasten	44
3.3 Querschnittsgrößen	52
3.3.1 Ermittlung der mittragenden Gurtbreiten	52
3.3.2 Ermittlung der Querschnittsgrößen	52
3.4 Schnittgrößenermittlung	66
3.4.1 Charakteristische Werte der Schnittgrößen	66
3.4.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit	75
3.4.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	77
3.4.4 Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	80
3.5 Nachweise	91
3.5.1 Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	91
3.5.2 Nachweis der Verbundsicherung	159
3.5.3 Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	170

Bauteil:		Seite:
Block:		3
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

<b>4 Verbände</b>	175
<b>5 Schotte</b>	176
<b>6 Gehwegkonstruktionen</b>	177
<b>7 Zusammenstellung der Belastbarkeitswerte b71</b>	178
<b>8 Lager</b>	179
8.1 Lagerungsplan	179
8.2 Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen	179
<b>9 Höhenkoten für die Einrüstung des Tragwerks</b>	186

Bauteil:		Seite:
Block:		4
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 1 Vorbemerkungen

### 1.1 Beschreibung des Tragwerkes

Bei dem Brückenbauwerk handelt es sich um einen Ersatzneubau für die eingleisige Eisenbahnstrecke zwischen km 486,195 und km 533,495 über ein Tal. Die Strecke verläuft im Grundriss gerade. Das Längsgefälle beträgt 0,3 %. Der Überbau wird als Stahlverbundtragwerk mit oberliegender Fahrbahn ausgeführt. Die Stützweite des Überbaus beträgt 47,30 m.

Im Rahmen des Vorentwurfes wurden drei verschiedene Hauptträgerquerschnitte untersucht: Stahl-Hohlkasten, Hohlkasten-Verbundbrücke und Fachwerk-Verbundbrücke

Die Ausführung des Überbaus als Stahl-Hohlkasten bietet den Vorteil eines geringen Gewichtes und der damit verbundenen geringen Beanspruchung der vorhandenen Widerlager, jedoch sind als Nachteile die starken Schallabstrahlungen durch den Stahlüberbau, die arbeitsintensive Fertigung und die hohen Materialkosten zu nennen.

Durch die Stahlverbundbauweise können die Kosten für die Fertigung und den Korrosionsschutz gesenkt werden. Die Ausführung der Fahrbahnplatte als Betonplatte verringert die Schallemissionen bei Zugüberfahrten und erhöht die Biegesteifigkeit des Tragwerkes was insbesondere im Hinblick auf die strengen Verformungsbeschränkungen von Vorteil ist.

Durch die Ausführung des Überbaus als Fachwerk-Verbundbrücke werden der Materialaufwand und die Arbeitskosten gegenüber einer Hohlkasten-Verbundbrücke minimiert. Der aufgelöste Querschnitt verleiht dem Überbau eine schlanke Erscheinung, die durch eine entsprechende Farbgestaltung noch verstärkt werden kann. Der Durchblick durch das Tal wird weniger beeinträchtigt.

Das Haupttragwerk wird durch zwei Einfeld-Fachwerkträger aus Baustahl S355 gebildet, welche durch aufgeschweißte Kopfbolzendübel am Obergurt schubfest mit der Stahlbetonplatte verbunden sind. Die Stahlbetonplatte wird aus Beton C35/45 hergestellt und schlaff bewehrt. Zwischen den Fachwerkträgern wird die Stahlbetonplatte in konstanter Dicke ausgeführt. An den Kragarmen, die zur Auflagerung der Kappen dienen, verjüngt sich die Stahlbetonplatte. Die Fachwerkträger werden als Strebenfachwerk ausgeführt. Für die Gurte werden geschweißte Kastenquerschnitte verwendet. Die Diagonalen werden als geschweißte I-Profile ausgeführt. Die Untergurtnoten der Fachwerkträger sind durch Querträger biegesteif miteinander verbunden, so dass Streben und Querträger einen Halbrahmen bilden, der zur Stabilisierung des Fachwerkobergurtes im Bauzustand dient. Die Untergurtebene wird durch einen Horizontalverband stabilisiert.

Als Entwurfsvorgabe erfolgt die Bemessung des Überbaus für die Lastmodelle 71 und SW/2. Die Entwurfsgeschwindigkeit beträgt 200 km/h. Der Ermüdungsnachweis wird für die Verkehrszusammensetzung EC-Mix, eine Streckentonnage von 18 Mio. t/Jahr und eine Nutzungsdauer von  $t_{nd} = 100$  Jahren geführt.

Die Lagerung des Überbaus erfolgt zwängungsarm mit dem Festpunkt bei km 486,195. Ein Schienenauszug ist bei einer Brückenlänge von  $L < 60$  m nicht erforderlich [9]. Da es sich bei dem Überbau um einen Ersatzneubau handelt, werden die vorhandenen Widerlager genutzt. Der Nachweis der Widerlager ist jedoch nicht Bestandteil dieser statischen Berechnung.

Es wird ein Schotteroberbau entsprechend RiL 804 ausgeführt. Zur Verbesserung der Bettung werden Unterschottermatten eingebaut.

An die Fahrbahn angrenzend werden Randkappen mit aufgesetztem Kabeltrog gemäß der Konstruktionsrichtzeichnungen der DB Netz AG [9] ausgeführt. Der Randweg wird auf beiden Seiten der Brücke für den Einsatz eines Brückenbesichtigungsfahrzeuges auf 1,20m verbreitert. Oberleitungsmasten werden aufgrund der kurzen Stützweite nicht auf dem Überbau angeordnet ( $L < 50$ m) [9].

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Beschreibung des Tragwerkes	5
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Die Entwässerung des Überbaus erfolgt über ein geschlossenes Entwässerungssystem. In den Drittelpunkten der Stützweite werden Einläufe neben dem Gleis angeordnet. Die Randwege werden mit einem Gefälle von 2,5 % nach innen hergestellt. Die Entwässerungsleitung wird zwischen den Fachwerkhauptträgern im Gefälle von 1,0 % zum Widerlager bei km 486,195 geführt. Blitzschutzmaßnahmen sind gemäß DIN V VDE V 0185-3 auszuführen [9].

### Änderungen in Revision 01

Es werden zusätzliche Nachweise für das Haupttragwerk geführt.

Der Endquerträger wird als zusätzliche Position aufgenommen und dimensioniert.

Die Querschnittswerte des Verbundquerschnittes werden mit der vorhandenen Längsbewehrung neu berechnet. Die Exzentrizität zwischen der Schwereachse des Verbundquerschnittes und dem Anschluss der Fachwerkstreben wird verringert. Die Bauhöhe des Fachwerkträgers bleibt jedoch konstant

Die Ermüdungssicherheit des Fachwerkobergurtes im Endzustand (Verbundquerschnitt) wird unter Berücksichtigung einer möglichen Rissbildung nachgewiesen.

Die Nachweise für die Verbundsicherung (Kopfbolzendübel) werden geführt. In diesem Zusammenhang wird zur Erhöhung der Längsschubtragfähigkeit des Betongurtes, die untere Querbewehrung verstärkt.

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfolgen die Nachweise der Spannungsbegrenzungen und der Verformungen des Überbaus.

Die Lagerkräfte und Lagerverformungen werden im Abschnitt 8 zusammengestellt.

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Beschreibung des Tragwerkes	6
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## **1.2 Maßgebende Vorschriften und Rechenannahmen**

### **Technische Vorschriften**

- |     |                           |  |
|-----|---------------------------|--|
| [1] | DIN-Fachbericht 100: 2001 | Beton  |
| [2] | DIN-Fachbericht 101: 2009 | Einwirkungen auf Brücken   |
| [3] | DIN-Fachbericht 102: 2009 | Betonbrücken   |
| [4] | DIN-Fachbericht 103: 2009 | Stahlbrücken   |
| [5] | DIN-Fachbericht 104: 2009 | Verbundbrücken   |
| [6] | ZTV-ING: 2003             | Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten |
| [7] | DIN 1055-1: 2002          | Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1  |
| [8] | DIN 1055-9: 2003          | Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 9  |
| [9] | Richtlinie 804: 2003      | Eisenbahnbrücken   |

### **Literaturhinweise**

- [20] Pfeifer R.-H., Mölter T.M.: Handbuch Eisenbahnbrücken, Eurailpress, Hamburg, 2008
- [21] Novák B., Gabler M.: Leitfaden zum DIN Fachbericht 101 - Einwirkungen auf Brücken, Ernst & Sohn, Berlin, 2003
- [22] König G. et al: Leitfaden zum DIN Fachbericht 102 - Betonbrücken, Ernst & Sohn, Berlin, 2003
- [23] Sedlacek G.: Leitfaden zum DIN Fachbericht 103 - Stahlbrücken, Ernst & Sohn, Berlin, 2003
- [24] Hanswille G., Stranghöfner N.: Leitfaden zum DIN Fachbericht 104 - Verbundbrücken, Ernst & Sohn, Berlin, 2003
- [25] Kuhlmann U. (Hrsg.): Stahlbau Kalender 2010, Ernst & Sohn, Berlin, 2010

### **Zusammenstellung der Programme**

R-STAB 7.1 von Dlubal

Bautext 2010

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Maßgebende Vorschriften und Rechenannahmen	7
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Aufgabenstellung

### Aufgabenstellung für die Belegarbeit im Fachgebiet Stahl- und Stahlverbundbrückenbau

Dresden, den 12.05.10

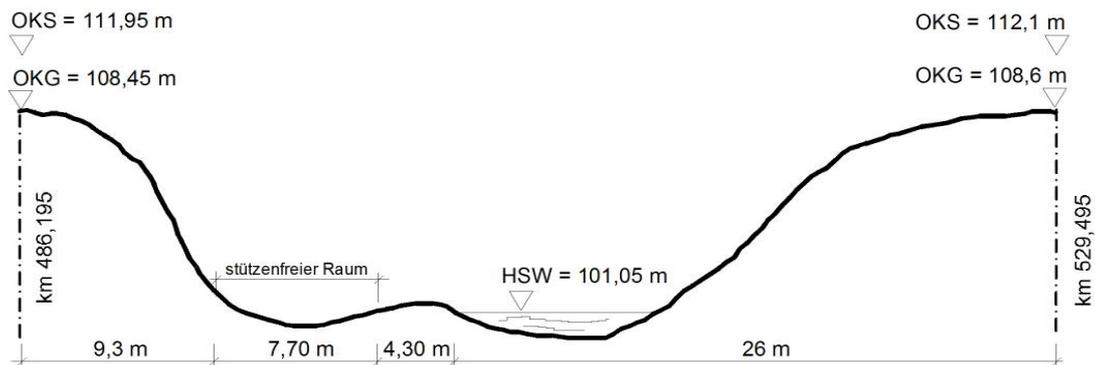
Name des Bearbeiters:

Andreas Tröger

#### **Kurzbeschreibung**

Für eine eingleisige Eisenbahnstrecke ist der Ersatzneubau eines Stahl- oder Stahl-Beton-Verbund-Überbaus zu entwerfen (Geländeschnitt siehe unten).

Die Gestaltung des Überbaus ist für die angegebenen Geländebeziehungen, Belastungen, Werkstoffe und Abmessungen nach konstruktiven, gestalterischen und technologischen Gesichtspunkten zu entwickeln. Im Grundriss verläuft die Strecke im Bereich des Brückenbauwerks gerade. Der anstehende Baugrund gestattet als Gründungsempfehlung Flachgründungen.



- Skizze nicht exakt maßstäblich -

#### **Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen**

Bemessung: nach RiL 804, DIN FB 103 ggfs. 104

Belastung: DIN FB 101, Lastmodelle 71 und SW/2

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Maßgebende Vorschriften und Rechenannahmen	8
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Entwurfsgeschwindigkeit:	$v_e \leq 200$ km/h
Lichttraumprofil:	GC nach RiL 800.0130, Strecke elektrifiziert
Verkehrstyp:	EC-Mix
Streckentonnage:	18 Mio t / Jahr
vorgesehene Nutzungsdauer:	$t_{nd} = 100$ Jahre
Rohrleitungen / Kabel:	-
Bauart:	Stahl- oder Stahlverbundbauweise

### **Vorschriften**

RiL 804 und DIN-Fachberichte in Verbindung mit den zugehörigen Folgenormen, Richtlinien und Richtzeichnungen, ZTV-ING

### **Arbeitsumfang**

1. Anfertigung des Tragwerksentwurfs
2. Grobplanung eines Montageverfahrens
3. Erläuterungsbericht mit Kurzbeschreibung des Montagevorganges
- 4.1 Statische Untersuchung der tragenden Bauteile des Überbaus für Eigen- und Verkehrslasten – Dimensionierung und Nachweis der Haupttragglieder im GZT (ausgeschlossen sind Untersuchungen von Bauzuständen und Baugrundbewegungen)
- 4.2 Untersuchung ausgewählter, spezieller Problempunkte in Abhängigkeit vom gewählten Tragwerk, Montageverfahren etc. in Absprache mit dem Betreuer
- 4.3 Ausführungszeichnungen (Darstellung des Geländes darf jeweils entfallen)
  - Ansicht oder Längsschnitt 1:500 bzw. 1:100
  - schematischer Grundriss
  - Brückenquerschnitt (Feld- und Stützenbereich) 1:10 oder 1:25
  - Ausgewählte Detailpunkte nach Absprache

**Betreuer** Dr.-Ing. Holger Flederer, Bey 121b, Tel. (0351) 463 32819

**Bearbeitungsablauf** Vorkonsultation zur Abstimmung des Ausführungsentwurfes  
Abschlussgespräch („Belegverteidigung“)

**Abgabetermin** spätestens 1 Woche vor dem Abschlussgespräch,  
Termin entsprechend den Festlegungen für die Zulassung zur  
Fachabschlussprüfung Stahlbau

### **Formelle Anmerkungen**

Die Statik ist in prüffähiger Form abzugeben, zugrunde gelegte Normen bzw. Vorschriften müssen vermerkt werden. Der Bemessung der Bauteile sollte jeweils eine Skizze des statischen Systems und der Belastung vorangestellt werden.

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Maßgebende Vorschriften und Rechenannahmen	9
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Bei der Nutzung von Ingenieursoftware sind die Ergebnisausdrucke im Anlagenteil abzuheften. Die Nachweisführung erfolgt im Hauptteil der Statik; es muss eindeutig erkennbar sein, aus welchen Lasten / Lastkombinationen die jeweils angesetzte Schnittgrößen resultieren (bei Querverweisen Gliederungspunkt und Seitenzahl angeben).

Zeichnungen sind nach den Richtlinien der entsprechenden DIN anzufertigen und als CAD-Plot (oder äquivalent) vorzulegen. Bei Abgabe des Beleges werden die Zeichnungen normgerecht gefaltet im Anlagenteil abgeheftet (Abgabe von Zeichnungskopien ist bei der Vorlage der Originale möglich). Für die Darstellungen sind geeignete Maßstäbe zu wählen. Die dazu oben gemachten Angaben sind als Empfehlungen zu betrachten.

Dem Beleg ist eine Selbstständigkeitserklärung des Bearbeiters bzgl. der Anfertigung beizufügen.

Dr.-Ing. Holger Flederer

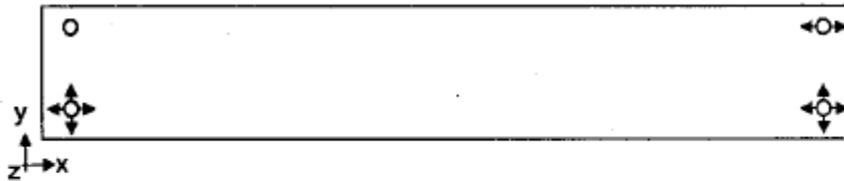
Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Maßgebende Vorschriften und Rechenannahmen	10
Vorgang:		Rev 01

Verfasser: Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:	
Bauwerk: Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 1.3 Geometrisches System (Übersicht)

Die Überbau wird als Fachwerk-Verbundbrücke mit obenliegender Fahrbahn und einer Stützweite von 47,30 m ausgeführt.

Im Grundriss verläuft die Strecke im Bereich des Brückenbauwerks gerade.



O quer- und längsfestes Lager

◄○► einachsig verschiebbares Lager

◄○► zweiaxsig verschiebbares Lager

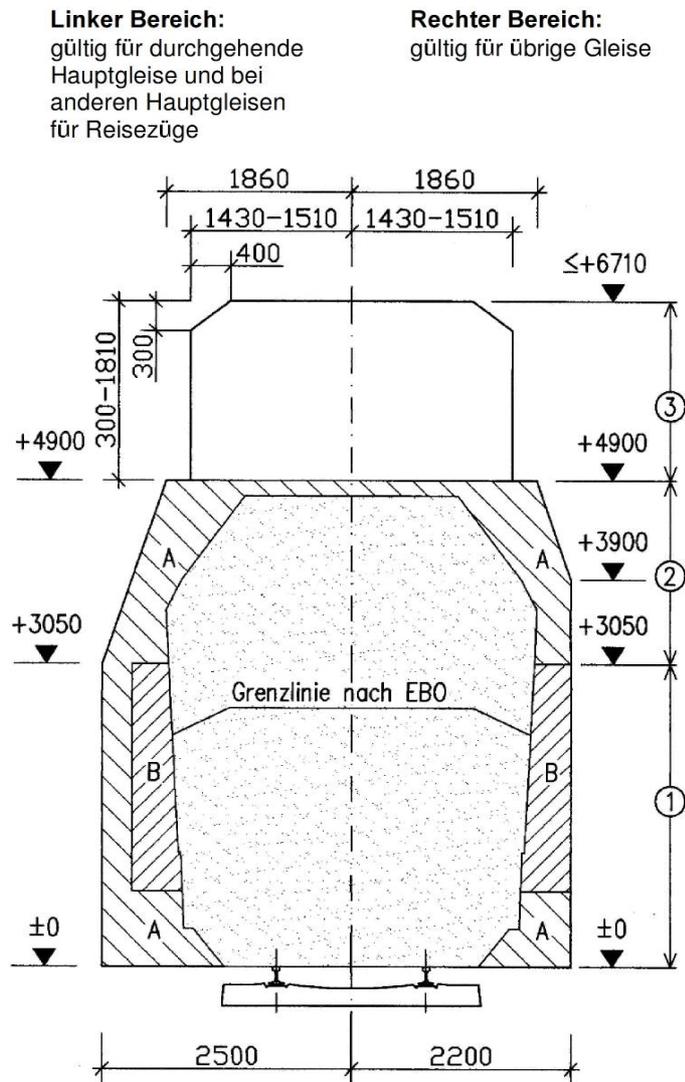
Bild 1: Lagerschema

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Geometrisches System (Übersicht)	11
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 1.4 Längs- und Querschnitte

Gemäß Aufgabenstellung ist das Lichtraumprofil nach M 800.0130 freizuhalten



- Bereich (1): Lichtraumprofil nach EBO
- Bereich (2): Lichtraumprofil nach M 800.0130
- Bereich (3): Lichtraumprofil für Oberleitung nach M 997.0101 Anh. 2

**Bild 2: Regellichträume, die für Fahrzeuge und Oberleitung freizuhalten sind, nach [9]**

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Längs- und Querschnitte	12
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Entwurfsparameter zur Gestaltung des Brückendecks gemäß RIL 804.1101 A 01

Entwurfsgeschwindigkeit:	$v_e \leq 200$ km/h
Gefahrenbereich:	$a_{gef} = 3,00$ m
Sicherheitsraum:	$b_{Geh} = 0,80$ m
Randweg (Bbfzg)	$b_{Rw} = 1,20$ m
Lichtraumprofilabstand:	$a_{LR} = 2,50$ m
Abstand Geländer:	$a_{Gel} = 3,80$ m
Schotterbettdicke unter Schwelle	$h_{Schotter} = 0,30$ m
Fahrbahnhöhe:	$h_{FB} = 0,75$ m
Geländerhöhe:	$h_{Gel} = 1,10$ m

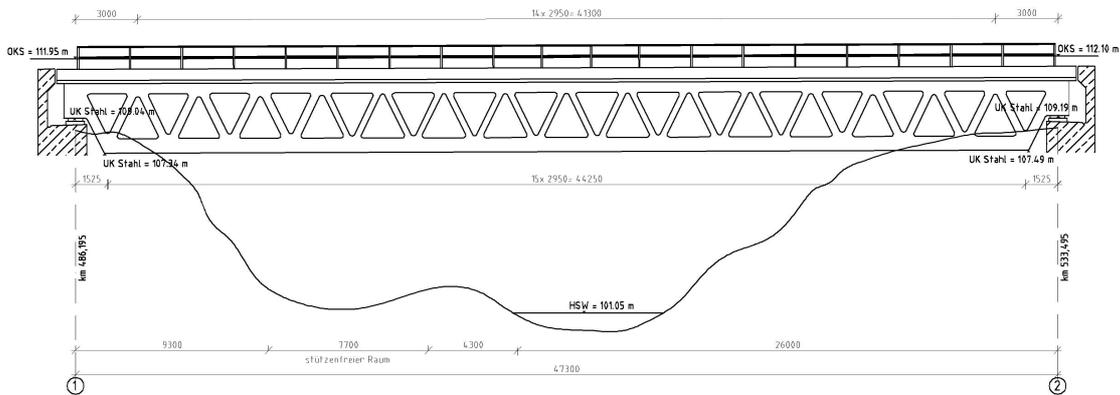


Bild 3: Längsschnitt des Tragwerkes

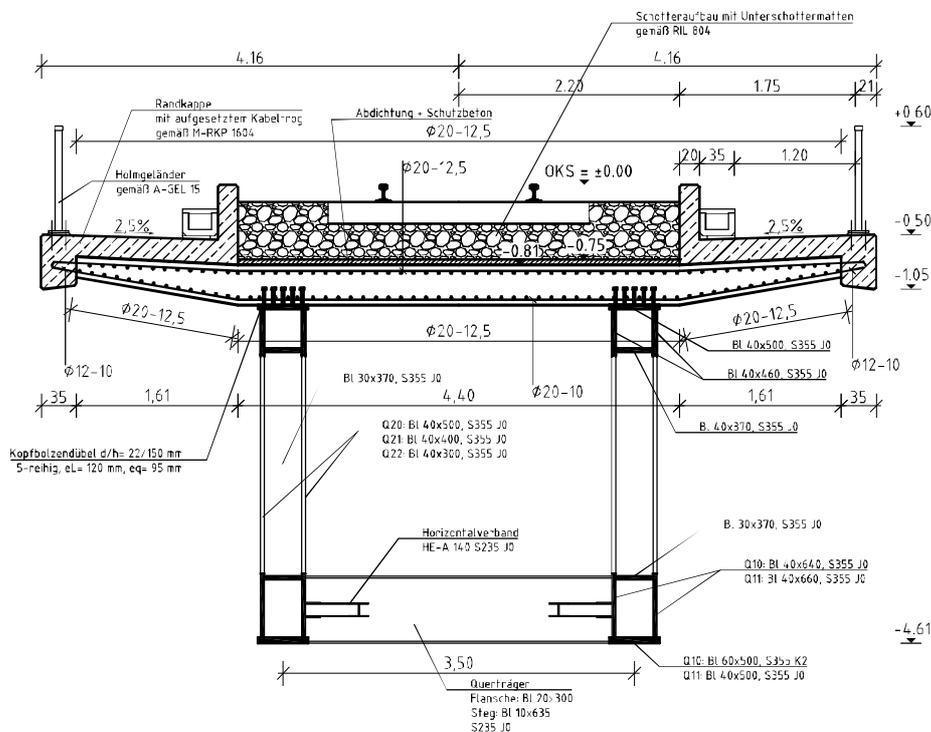


Bild 4: Querschnitt des Tragwerkes

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Längs- und Querschnitte	13
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 1.5 Materialkennwerte

Baustoffeigenschaften nach [3], [4] und [5]

### **Baustahl**

S 235	$t \leq 40 \text{ mm}$	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$
S 355	$t \leq 40 \text{ mm}$	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$
	$t \leq 80 \text{ mm}$	$f_y = 335 \text{ N/mm}^2$	$f_u = 470 \text{ N/mm}^2$

Die Wahl der Stahlgütegruppe erfolgt nach [4] Tab. II-2.2.b bei den Nachweisen der Einzelbauteile

Elastizitätsmodul:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Temperaturdehnzahl:	$\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

### **Beton**

Betonfestigkeitsklasse: C 35/45

Festigkeitswerte:  
 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$

Elastizitätsmodul:	$E = 29900 \text{ N/mm}^2$
Temperaturdehnzahl:	$\alpha_T = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

### **Betonstahl**

Betonstahlsorte: BSt 500 S (B)

Festigkeitswerte:  
 $f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{tk} = 550 \text{ N/mm}^2$

Elastizitätsmodul:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Temperaturdehnzahl:	$\alpha_T = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

### **Verbundmittel**

Kopfbolzendübel:  
 $d = 22 \text{ mm}$   
 $h = 175 \text{ mm}$

Festigkeitswerte:  $f_{uk} = 450 \text{ N/mm}^2$

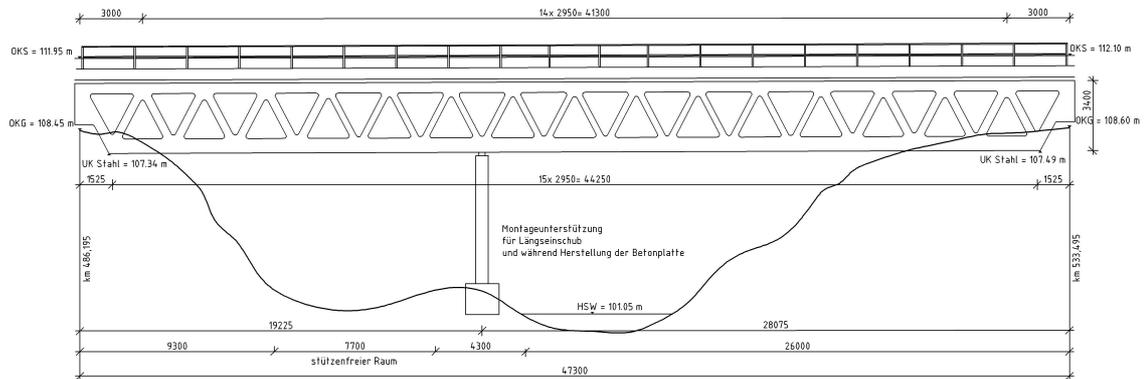
Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Materialkennwerte	14
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 1.6 Hinweise zum Herstellungs- und Montageverfahren

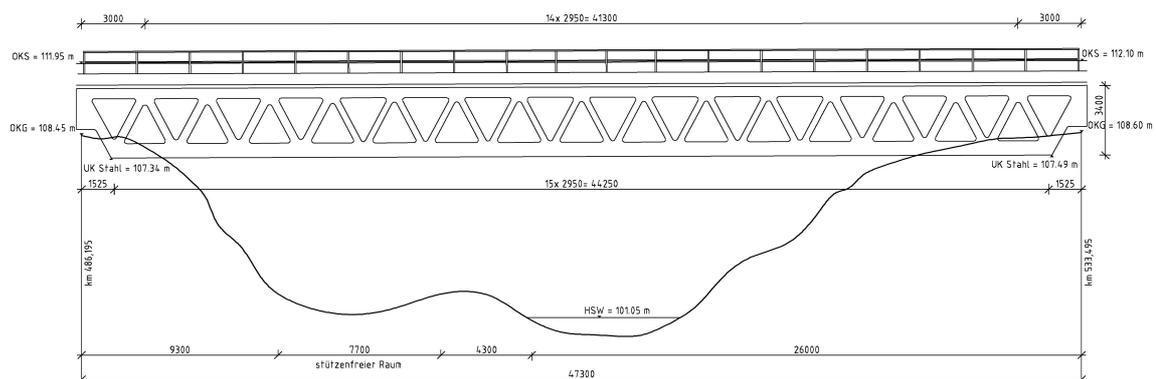
Die Herstellung und Montage des Überbaus erfolgt in folgenden Schritten:

1. Der neue Überbau wird neben dem vorhandenen Überbau errichtet und in einer Sperrpause quer verschoben. Für die Montage des Überbaus werden Gründungen neben den vorhandenen Widerlagern und eine Hilfsstütze bei km 504,595 erforderlich.



**Bild 5: Montage des Tragwerkes**

2. Die Stahl-Hauptträger werden im Werk vorgefertigt und auf die Baustelle transportiert. Für den Transport müssen die Hauptträger in der Höhe evt. geteilt werden ( $h < 3,50\text{m}$ ). In Längsrichtung erfolgt ein Baustellenstoß im Bereich der Hilfsunterstützung und ggf. ein zweiter Stoß, sofern kein Sondertransport eingesetzt wird. Die Querträger und der Verband am Fachwerkuntergurt werden auf der Baustelle eingeschweißt. Das Stahl-Haupttragwerk wird auf einem Vormontageplatz links von km 486,195 montiert und längs über die Hilfsstütze verschoben.
3. Einbau der Schalung und Betonieren der Fahrbahnplatte. Nach dem Erhärten des Betons wird die Hilfsunterstützung freigesetzt und die Schalung abgebaut.
4. Einbau der Kappen, Geländer, Versorgungleitungen und der Schotterfahrbahn incl. Schwellen und Schienen.



**Bild 6: Montage des Tragwerkes**

5. In einer Sperrpause wird der vorhandene Überbau von der Strecke getrennt und verschoben. Der neue Überbau wird quer eingeschoben und an die Strecke angeschlossen.

Bauteil:	Vorbemerkungen	Seite:
Block:	Hinweise zum Herstellungs- und Montageverfahren	15
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 2 Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte

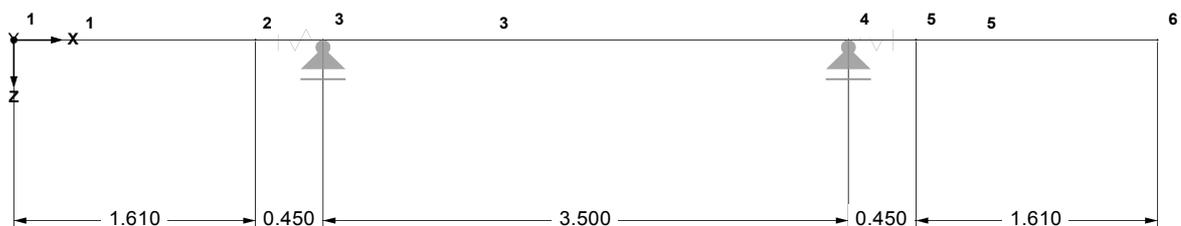
### 2.1 Berechnungsgrundlagen

#### 2.1.1 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems

Das statische System für die Bemessung der Fahrbahnplatte in Querrichtung ist ein Einfeldträger mit beidseitigem Kragarm. Es wird ein 1,0 m breiter Brückenabschnitt betrachtet. Im Bereich der Kragarme besitzt der Querschnitt eine linear veränderliche Höhe. Die beiden Auflager werden durch die Fachwerkträger gebildet. Die horizontale Nachgiebigkeit des Querrahmens wird durch horizontale Ersatzfedern abgebildet.

#### 2.1.2 System für DV-Berechnung mit Stab- und Knotenbezeichnung

Die Modellierung erfolgt mit Stabwerkselementen mit dem Programm RSTAB von Dlubal. Die Berechnung erfolgt an einem ebenen System.



**Bild 7: System für DV-Berechnung**

#### 2.1.3 Programmbeschreibung zur DV-Berechnung

RSTAB  
Version: 7.02.0791

Ing.-Software Dlubal GmbH  
Am Zellweg 2  
D-93464 Tiefenbach

Statikprogramm zur Berechnung von ebenen und räumlichen Stabwerken. RSTAB bildet die Basis eines modularen Softwaresystems: Dieses Grundmodul ermittelt Schnittgrößen, Verformungen und Lagerreaktionen. Für die folgende Bemessung stehen Zusatzmodule bereit, die die material- und normspezifischen Gegebenheiten berücksichtigen.

## 2.2 Plattenquerschnitt

Für die Bemessung in Querrichtung wird ein Brückenabschnitt von 1,0 m Länge betrachtet. Die Fahrbahnplatte wird als Rechteckquerschnitt idealisiert und besitzt im Bereich der Kragarme eine linear veränderliche Höhe.

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Berechnungsgrundlagen	16
Vorgang:	Darstellung und Beschreibung des statischen Systems	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 2.3 Einwirkungen in Querrichtung

### 2.3.1 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen

Alle Einwirkungen werden für einen 1,0 m breiten Plattenstreifen zusammengestellt.

#### 2.3.1.1 Ständige Einwirkungen

##### **Konstruktionseigengewicht Beton**

$$g_{\text{Beton}} = 25,0 \cdot 0,20 = 5,0 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{Beton}} = 25,0 \cdot 0,40 = 10,0 \text{ kN/m}$$

##### **Eigengewicht der Fahrbahn**

Ermittlung nach DIN-Fb 101 M1.1 für durchgehendes Schotterbett und Regelquerschnitt 1 Gleis; Fahrbahnbreite: 4,40 m; Geschwindigkeit:  $v < 200 \text{ km/h}$

$$\begin{aligned} \text{Schutzbeton:} & 25 \cdot 0,06 & = & 1,5 \text{ kN/m} \\ \text{Fahrbahn Regelausführung:} & 60,0/4,4 & = & 13,6 \text{ kN/m} \\ & & & \\ & & & g_{k,\text{Fahrbahn}} = \underline{15,1 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

##### **Eigengewicht der Kappen**

Randkappen mit aufgesetztem Kabeltrog gemäß Richtzeichnung [9] M-RKP 1604

Last je Kappe:

$$\begin{aligned} \text{Kappenbeton:} & 25 \cdot 0,67 & = & 16,8 \text{ kN} \\ \text{Kabelkanal:} & & & 2,0 \text{ kN} \\ \text{Geländer:} & & & 1,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### **Einwirkungen aus Oberleitungs- und Signallasten**

Bei einer Brückenlänge  $L < 50 \text{ m}$  werden im Regelfall keine Oberleitungs- und Signalmasten auf der Brücke vorgesehen.

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	17
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.1.2 Temperatureinwirkungen und Windlasten

#### Temperatureinwirkungen

Sind in Plattenquerrichtung vernachlässigbar.

#### Windlasten

Ansatz als horizontale Linienlast in Brückenquerrichtung.

Aufgrund fehlender Angaben werden die Einwirkungen ungünstig für Windzone 3 und 4 (Küstennähe) und  $z_e < 20$  m ermittelt

*mit Verkehr auf dem Überbau*

$b = 8,32$  m

$d = 3,71 + 4,00 = 7,71$  m

$b/d = 1,1$

$w = 2,95$  kN/m<sup>2</sup>

Wind auf Verkehrsband

$w = 2,95 \cdot 4,0 = 11,8$  kN

$M_w = w \cdot 2,0 = 23,6$  kNm

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	18
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.1.3 Verkehrslasten

Gemäß Aufgabenstellung ist das Brückentragwerk für die Lastmodelle 71 und SW/2 gemäß DIN-Fb 101 zu bemessen.

#### Lastmodell 71

Das Lastmodell 71 stellt den statischen Anteil der Einwirkungen aus normalem Eisenbahnverkehr dar. Beiwert  $\alpha = 1,0$

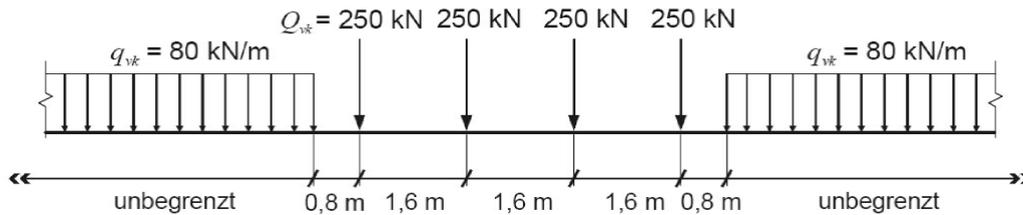


Bild 8: Lastmodell 71 [2]

Die seitliche Exzentrizität ist durch das Verhältnis der Radlasten von 1,25 : 1,00 zu berücksichtigen.

$$e_0 = \frac{143,5}{18} = 8,0 \text{ cm}$$

Die geometrisch mögliche Gleislage entspricht der Planung. Daher keine zusätzliche Exzentrizität zu berücksichtigen.

#### Lastmodell SW/2

Das Lastmodell SW/2 stellt den statischen Anteil von Schwerverkehr dar.

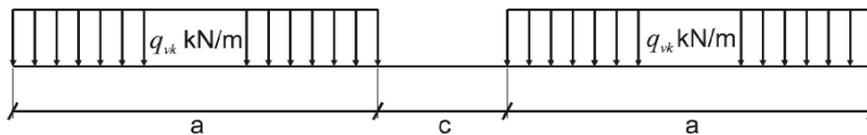


Bild 9: Lastmodell SW/2 [2]

$$\begin{aligned}
 q_{vk} &= 150 \text{ kN/m} \\
 a &= 25,0 \text{ m} \\
 c &= 7,0 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	19
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Lastverteilung in Längsrichtung durch Schiene, Schwellen und Schotter

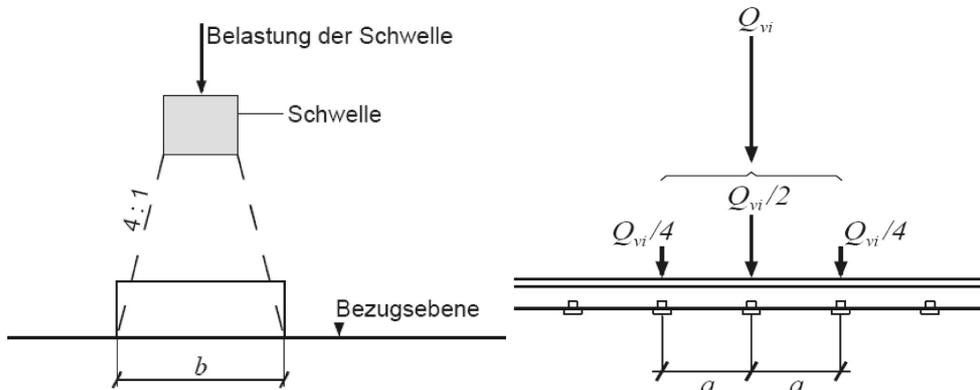


Bild 10: Lastverteilung in Längsrichtung [2]

Betonschwellen B70/W mit Abstand  $a = 65 \text{ cm}$  und Breite  $b = 30 \text{ cm}$   
 Längsverteilung unter der Schwelle unter der Neigung 4:1

Lastverteilungsbreite der Einzellast in Höhe OK Fahrbahnplatte:

$$\begin{aligned}
 a &= & 0,65 \text{ m} \\
 b &= & 0,30 + 2 \cdot 0,35/4 = & 0,47 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Lastverteilung in Querrichtung durch Schwellen und Schotter

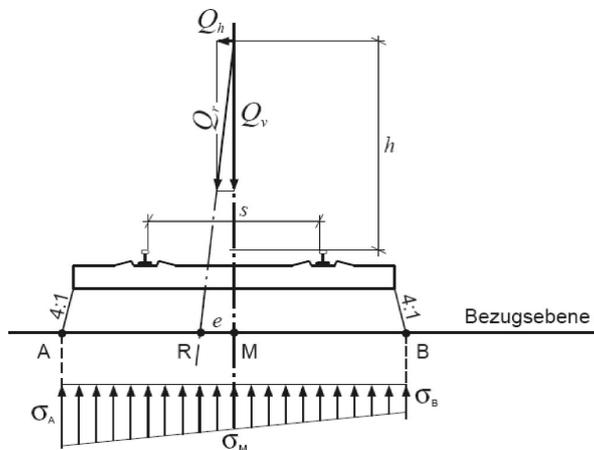


Bild 11: Lastverteilung in Querrichtung [2]

### Belastung der Gehwege

Auf den Dienstgehwegen ist mit einer Flächenlast von  $5,0 \text{ kN/m}^2$  zu rechnen  
 Gehwegbreite  $b = 1,20 \text{ m}$ .

Last je Gehweg infolge Personen:

$$q_{vk} = 5,00 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	20
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Last infolge Brückenbesichtigungsfahrzeug

Ansatz auf einem Gehweg gemäß RiL 804.2101

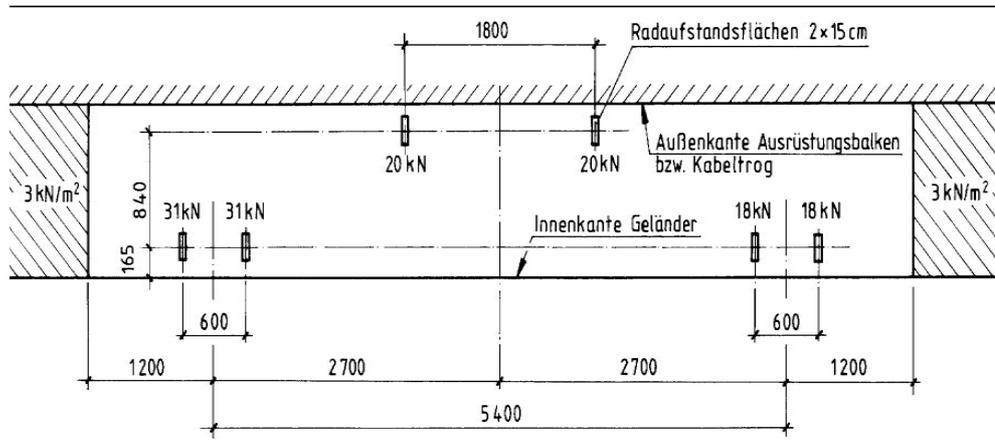


Bild 12: Last infolge Brückenbesichtigungsfahrzeug [9]

## Dynamische Einwirkungen

Die Ergebnisse der Lastmodelle 71 und SW/2 sind mit dem dynamischen Beiwert  $\Phi$  zu multiplizieren

Auf eine dynamische Berechnung darf verzichtet werden, wenn für ein Tragwerk die erste Eigenfrequenz der Biegeschwingung  $n_0$  innerhalb der nachfolgenden Grenzen liegt und die Voraussetzungen für diesen vereinfachten Nachweis erfüllt sind [9].

Voraussetzungen:  $v_0 < 200$  km/h; EFT mit  $L > 40$  m

Die Eigenfrequenz liegt innerhalb der Grenzwerte (siehe Abschnitt 3). Der dynamische Beiwert  $\Phi$  kann verwendet werden.

Es wird vom Regelfall "sorgfältig unterhaltene Gleise" ausgegangen

Fahrbahnplatte aus Beton:

$$L_{\Phi} = 2 \cdot 3,500 = 7,00 \text{ m}$$

$$\Phi_2 = 1,44 / (\sqrt{L_{\Phi}} - 0,2) + 0,82 = \underline{1,41}$$

## Seitenstoß

Einzellast in Höhe OK Schiene

$$Q_{Sk} = 100 \text{ kN}$$

Verteilung auf 4,0 m Länge:

$$q_{sk} = Q_{Sk} / 4 = 25,0 \text{ kN}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	21
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.1.4 Außergewöhnliche Einwirkungen

#### Einwirkungen infolge Entgleisung gemäß [8]

Bemessungssituation I:

Die Fahrzeuge verbleiben im Gleisbereich auf der Brücke

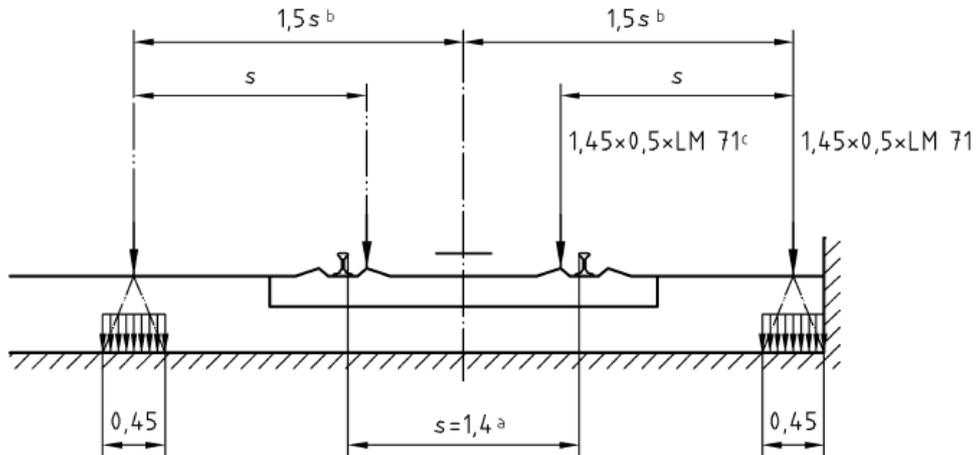


Bild 13: Bemessungssituation I [2]

$$Q_{A1,d} = 1,45 \cdot 0,5 \cdot 250 / 1,6 = 113,28 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{l} \text{Exzentrizität zur Gleisachse} \\ e = 2,1 - 1,4 / 2 = 1,40 \text{ m} \end{array}$$

Bemessungssituation II:

Die Fahrzeuge verbleiben auf ihrer Kante im Gleisbereich liegen

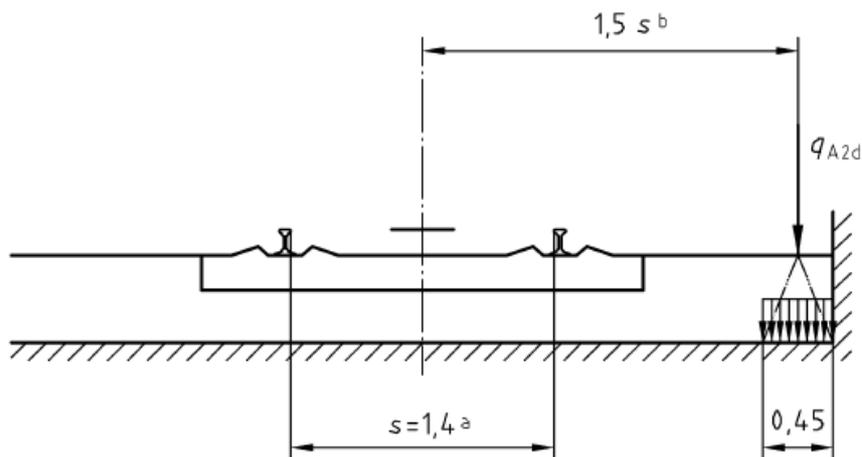


Bild 14: Bemessungssituation II [2]

$$Q_{A2,d} = 1,45 \cdot 80 = 116,00 \text{ kN}$$

Ansatz auf 20 m Länge

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	22
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.1.5 Verkehrslastgruppen

Die Einwirkungen aus vertikalen und horizontalen Verkehrslasten werden in Gruppen kombiniert. Der Ansatz erfolgt gemäß DIN-Fb 101 IV-6.8.2

Für eine eingleisige Strecke sind die folgenden Lastgruppen für die Bemessung in Querrichtung zu berücksichtigen:

$$\text{Lastgruppe 12} \quad 1,0 \cdot Q_{LM71} + 1,0 \cdot Q_{Sk}$$

$$\text{Lastgruppe 17} \quad 1,0 \cdot Q_{SW/2} + 1,0 \cdot Q_{Sk}$$

### 2.3.1.6 Einwirkungskombinationen

Teilsicherheitsbeiwerte gemäß [2]  
Dynamischer Beiwert  $\Phi_2 = 1,41$  (siehe 3.2.3)

#### **Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Ständige, vorübergehende Bemessungssituation:

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß}) + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$1,00 \cdot G_k + 1,45 \cdot (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß}) + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,20 \cdot 1,41 \cdot Q_{k,SW/2} + 1,45 \cdot Q_{k,Seitenstoß} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$1,00 \cdot G_k + 1,20 \cdot 1,41 \cdot Q_{k,SW/2} + 1,45 \cdot Q_{k,Seitenstoß} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß}) + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind}$$

Außergewöhnliche Bemessungssituation:

$$1,00 \cdot G_k + A_{d1} + 0,50 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$1,00 \cdot G_k + A_{d2} + 0,50 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

#### **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Seltene Bemessungssituation:

$$G_k + (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß}) + 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$G_k + (1,41 \cdot Q_{k,SW/2} + Q_{k,Seitenstoß}) + 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$G_k + Q_{k,Gehweg} + 0,8 \cdot (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß}) + 0,9 \cdot Q_{k,Wind}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	23
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Häufige Bemessungssituation:

$$G_k + 0,8 \cdot (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß})$$

$$G_k + 0,8 \cdot (1,41 \cdot Q_{k,SW/2} + Q_{k,Seitenstoß})$$

$$G_k + 0,5 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

Nicht-häufige Bemessungssituation

$$G_k + (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß}) + 0,5 \cdot Q_{k,Wind} + 0,5 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$G_k + (1,41 \cdot Q_{k,SW/2} + Q_{k,Seitenstoß}) + 0,5 \cdot Q_{k,Wind} + 0,5 \cdot Q_{k,Gehweg}$$

$$G_k + 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 0,8 \cdot (1,41 \cdot Q_{k,LM71} + Q_{k,Seitenstoß}) + 0,5 \cdot Q_{k,Wind}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	24
Vorgang:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.2 Maßgebende Bemessungswerte

#### Kragarmplattenende

Schnittgröße Kombination	N [kN/m]		V <sub>z</sub> [kN/m]		M <sub>y</sub> [kNm/m]	
	max	min	max	min	max	min
GZT - S/V 1			80	-80		
GZT - S/V 2			80	-80		
GZT - S/V 3			80	-80		
GZT - S/V 4			80	-80		
GZT - S/V 5			95	-95		
GZT - A 1			35	-35		
GZT - A 2			35	-35		
GZG - Selten 1			55	55		
GZG - Selten 2			55	55		
GZG - Selten 3			65	-65		
GZG - Häufig 1						
GZG - Häufig 2						
GZG - Häufig 3			35	-35		
GZG - Nicht-häufig 1			35	-35		
GZG - Nicht-häufig 2			35	-35		
GZG - Nicht-häufig 3			55	-55		

#### Kragarmplatte am Auflager

Schnittgröße Kombination	N [kN/m]		V <sub>z</sub> [kN/m]		M <sub>y</sub> [kNm/m]	
	max	min	max	min	max	min
GZT - S/V 1	55		135	-135		-270
GZT - S/V 2	55		120	-120		-250
GZT - S/V 3	55		135	-135		-270
GZT - S/V 4	55		120	-120		-250
GZT - S/V 5	50		155	-155		-300
GZT - A 1			190	-75		-135
GZT - A 2			190	-75		-135
GZG - Selten 1	40		95	-95		-185
GZG - Selten 2	40		95	-95		-185
GZG - Selten 3	35		110	-110		-205
GZG - Häufig 1	20		45	-45		-65
GZG - Häufig 2	20		45	-45		-65
GZG - Häufig 3			75	-75		-110
GZG - Nicht-häufig 1	35		75	-75		-140
GZG - Nicht-häufig 2	35		75	-75		-140
GZG - Nicht-häufig 3	30		95	-95		-175

**Tabelle 1+2: Bemessungswerte**

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	25
Vorgang:	Maßgebende Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Platte zwischen den Hauptträgern

Schnittgröße Kombination	N [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]	
	max	min	max	min	max	min
GZT - S/V 1	30		145	-175	140	-270
GZT - S/V 2	30		135	-160	145	-255
GZT - S/V 3	30		125	-150	115	-270
GZT - S/V 4	30		115	-140	115	-255
GZT - S/V 5	25		125	-150	115	-300
GZT - A 1			60	-115	65	-135
GZT - A 2			30	-35		-35
GZG - Selten 1	20		105	-120	100	-185
GZG - Selten 2	20		100	-115	95	-185
GZG - Selten 3	20		90	-105	80	-205
GZG - Häufig 1	10		90	-100	75	-65
GZG - Häufig 2	10		85	-95	70	-65
GZG - Häufig 3			30	-30		-110
GZG - Nicht-häufig 1	20		105	-110	95	-140
GZG - Nicht-häufig 2	20		100	-110	90	-140
GZG - Nicht-häufig 3	15		90	-100	75	-175

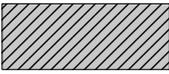
**Tabelle 3: Bemessungswerte**

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	26
Vorgang:	Maßgebende Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.3 Querschnittswerte

Für den 1,0 m breiten Plattenquerschnitt sind die Querschnittswerte nachfolgend aufgeführt.

Rechteck 1000/200					
Rechteck 1000/200					
	<b>■ QUERSCHNITTSWERTE</b>				<b>Rechteck 1000/200</b>
	Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	
	Profilbreite	b	1000.0	mm	
	Profilhöhe	h	200.0	mm	
	Querschnittsfläche	A	2000.00	cm <sup>2</sup>	
	Schubfläche	A <sub>y</sub>	1666.67	cm <sup>2</sup>	
	Schubfläche	A <sub>z</sub>	1666.67	cm <sup>2</sup>	
	Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	66666.70	cm <sup>4</sup>	
	Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	1.667E+06	cm <sup>4</sup>	
	Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	57.7	mm	
	Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	288.7	mm	
	Querschnittsgewicht	G	500.0	kg/m	
	Mantelfläche	U	2.400	m <sup>2</sup> /m	
	Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	233071.00	cm <sup>4</sup>	
	Widerstandsmoment für Torsion	W <sub>t</sub>	11600.00	cm <sup>3</sup>	
	Widerstandsmoment	W <sub>u,max</sub>	6666.67	cm <sup>3</sup>	
	Widerstandsmoment	W <sub>u,min</sub>	-6666.67	cm <sup>3</sup>	
Rechteck 1000/400					
Rechteck 1000/400					
	<b>■ QUERSCHNITTSWERTE</b>				<b>Rechteck 1000/400</b>
	Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	
	Profilbreite	b	1000.0	mm	
	Profilhöhe	h	400.0	mm	
	Querschnittsfläche	A	4000.00	cm <sup>2</sup>	
	Schubfläche	A <sub>y</sub>	3333.33	cm <sup>2</sup>	
	Schubfläche	A <sub>z</sub>	3333.33	cm <sup>2</sup>	
	Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	533333.00	cm <sup>4</sup>	
	Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	3.333E+06	cm <sup>4</sup>	
	Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	115.5	mm	
	Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	288.7	mm	
	Querschnittsgewicht	G	1000.0	kg/m	
	Mantelfläche	U	2.800	m <sup>2</sup> /m	
	Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	1.597E+06	cm <sup>4</sup>	
	Widerstandsmoment für Torsion	W <sub>t</sub>	41040.00	cm <sup>3</sup>	
	Widerstandsmoment	W <sub>u,max</sub>	26666.70	cm <sup>3</sup>	
	Widerstandsmoment	W <sub>u,min</sub>	-26666.70	cm <sup>3</sup>	

**Bild 15: Querschnittswerte Plattenstreifen**

Betondeckung des Überbaus nach [3]:

min c= 40 mm  
nom c= 45 mm

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	27
Vorgang:	Querschnittswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 2.3.4 Nachweis der Tragfähigkeit

### 2.3.4.1 Bemessung für Biegung an der Fahrbahnplatte

#### Fahrbahnplatte am Kragarmanschnitt

Maximales Moment im GZT

$$m_{Ed} = -300 \text{ kNm/m}$$

$$n_{Ed} = 55 \text{ kN/m}$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$h = 0,40 \text{ m}$$

$$d = h - 0,055 = 0,345 \text{ m}$$

Anwendung der  $\omega$ -Tafel

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 35,0 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2$$

$$\mu_{Ed} = -m_{Ed} / (1000 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 0,127$$

$$\omega = 0,137$$

$$a_{s, \text{oben}} = (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot 1000 + n_{Ed}) / 43,5 = \underline{\underline{22,8 \text{ cm}^2/\text{m}}}$$

#### Fahrbahnplatte zwischen den Hauptträgern

Maximales Moment im GZT

$$m_{Ed} = 145 \text{ kNm/m}$$

$$n_{Ed} = 30 \text{ kN/m}$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$h = 0,40 \text{ m}$$

$$d = h - 0,055 = 0,345 \text{ m}$$

Anwendung der  $\omega$ -Tafel

$$\mu_{Ed} = m_{Ed} / (1000 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 0,062$$

$$\omega = 0,064$$

$$a_{s, \text{unten}} = (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot 1000 + n_{Ed}) / 43,5 = \underline{\underline{10,7 \text{ cm}^2/\text{m}}}$$

#### Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens

Rissmoment im Zustand I:

$$f_{ctk0,05} = 2,2 \text{ MN/m}^2$$

$$M_{cr} = f_{ctk0,05} \cdot b \cdot h^2 / 6 \cdot 1000 = 58,7 \text{ kNm}$$

Mindestbewehrung:

$$\min A_s = M_{cr} / (50 \cdot 0,9 \cdot d) = \underline{\underline{3,78 \text{ cm}^2/\text{m}}}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	28
Vorgang:	Nachweis der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

gewählt:
Bewehrung der Fahrbahnplatte (in Brückenquerrichtung)
oben: $\varnothing 20 - 12,5 \text{ cm} \quad a_s = 25,1 \text{ cm}^2/\text{m} > 22,8 \text{ cm}^2/\text{m}$
unten: $\varnothing 20 - 10 \text{ cm} \quad a_s = 31,4 \text{ cm}^2/\text{m} > 10,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ (maßgebend ist das Längsschubversagen des Betongurtes siehe 3.5.2.5)

### 2.3.4.2 Bemessung für Querkraft an der Fahrbahnplatte

#### Fahrbahnplatte am Kragarmende

Bemessungswert der Querkraft im GZT

$$V_{Ed} = 95 \text{ kN/m}$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$h = 0,20 \text{ m}$$

$$d = h - 0,055 = 0,145 \text{ m}$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{200 / (1000 \cdot d)} = 2,17 > 2$$

$$\kappa = 2,0$$

$$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$$

Längsbewehrungsgrad

$$A_{sI} = 25,10 \text{ cm}^2$$

$$\rho_I = A_{sI} / (b \cdot d \cdot 10000) = 0,0173 < 0,02$$

Querkrafttragfähigkeit

$$V_{Rd,ct} = (0,1 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_I \cdot f_{ck})^{0,333}) \cdot b \cdot d \cdot 1000 = \underline{\underline{113,7 \text{ kN/m}}}$$

--> keine Querkraftbewehrung am Kragarmende erforderlich

#### Fahrbahnplatte am Kragarmanschnitt

Bemessungswert der Querkraft im GZT

$$V_{Ed} = 155 \text{ kN/m}$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$h = 0,40 \text{ m}$$

$$d = h - 0,055 = 0,345 \text{ m}$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{200 / (1000 \cdot d)} = 1,76 < 2$$

$$\sigma_{cd} = 55 / (1000 \cdot b \cdot d) = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	29
Vorgang:	Nachweis der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Längsbewehrungsgrad

$$A_{sI} = 25,10 \text{ cm}^2$$

$$\rho_I = \frac{A_{sI}}{b \cdot d \cdot 10000} = 0,0073 < 0,02$$

Querkrafttragfähigkeit

$$V_{Rd,ct} = (0,1 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_I \cdot f_{ck})^{0,333} - 0,12 \cdot \sigma_{cd}) \cdot b \cdot d \cdot 1000 = \underline{\underline{172,0 \text{ kN/m}}}$$

--> keine Querkraftbewehrung am Kragarmanschnitt erforderlich

### Fahrbahnplatte zwischen den Hauptträgern

Bemessungswert der Querkraft im GZT

$$V_{Ed} = 175 \text{ kN/m}$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$h = 0,40 \text{ m}$$

$$d = h - 0,055 = 0,345 \text{ m}$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{200 / (1000 \cdot d)} = 1,76 < 2$$

$$\sigma_{cd} = 30 / (1000 \cdot b \cdot d) = 0,09 \text{ N/mm}^2$$

Längsbewehrungsgrad

$$A_{sI} = 31,42 \text{ cm}^2$$

$$\rho_I = \frac{A_{sI}}{b \cdot d \cdot 10000} = 0,0091 < 0,02$$

Querkrafttragfähigkeit

$$V_{Rd,ct} = (0,1 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_I \cdot f_{ck})^{0,333} - 0,12 \cdot \sigma_{cd}) \cdot b \cdot d \cdot 1000 = \underline{\underline{188,5 \text{ kN/m}}}$$

--> keine Querkraftbewehrung zwischen den Hauptträgern erforderlich

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	30
Vorgang:	Nachweis der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.4.3 Nachweis gegen Ermüdung an der Fahrbahnplatte

#### Nachweis des Betons unter Druckbeanspruchung

Der Nachweis wird für die Fahrbahnplatte zwischen den Hauptträgern geführt.

Nach [3] ist für den vereinfachten Nachweis die häufige Einwirkungskombination zu betrachten.

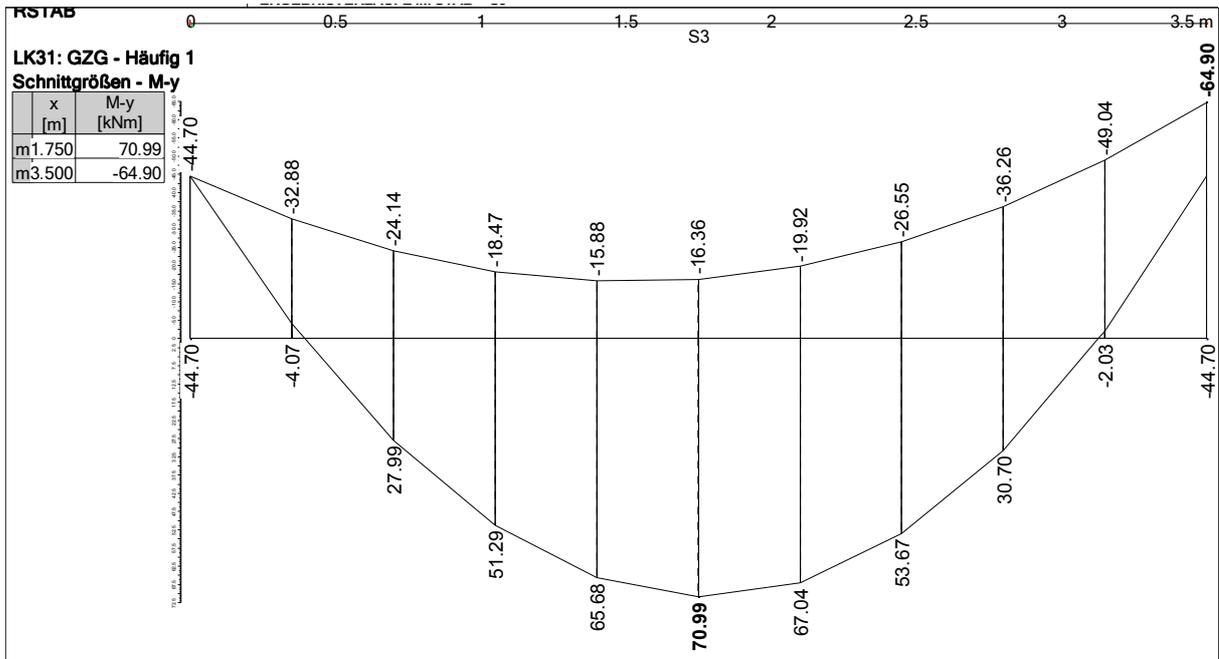


Bild 16: Momentenverlauf unter der häufigen Einwirkungskombination und LM 71

$$M_{Ed,max} = 75 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,min} = -20 \text{ kNm}$$

Die Betonspannungen sind im Zustand II zu ermitteln.

$$\alpha_e = 10$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = h - 5,500 = 34,5 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = 31,4 \text{ cm}^2$$

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b \cdot (-1 + \sqrt{1 + (2 \cdot b \cdot d) / (\alpha_e \cdot A_{s1})})} = 11,9 \text{ cm}$$

$$z = d - x / 3 = 30,5 \text{ cm}$$

$$\sigma_{cd} = -2 \cdot M_{Ed,max} \cdot 100 / (b \cdot x \cdot z) = -0,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd,fat} = 1 \cdot 19,83 \cdot (1 - 35 / 250) = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = -10 \cdot \sigma_{cd} / f_{cd,fat} = \underline{\underline{0,24 < 0,50}}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	31
Vorgang:	Nachweis der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Nachweis des Betons unter Querkraftbeanspruchung

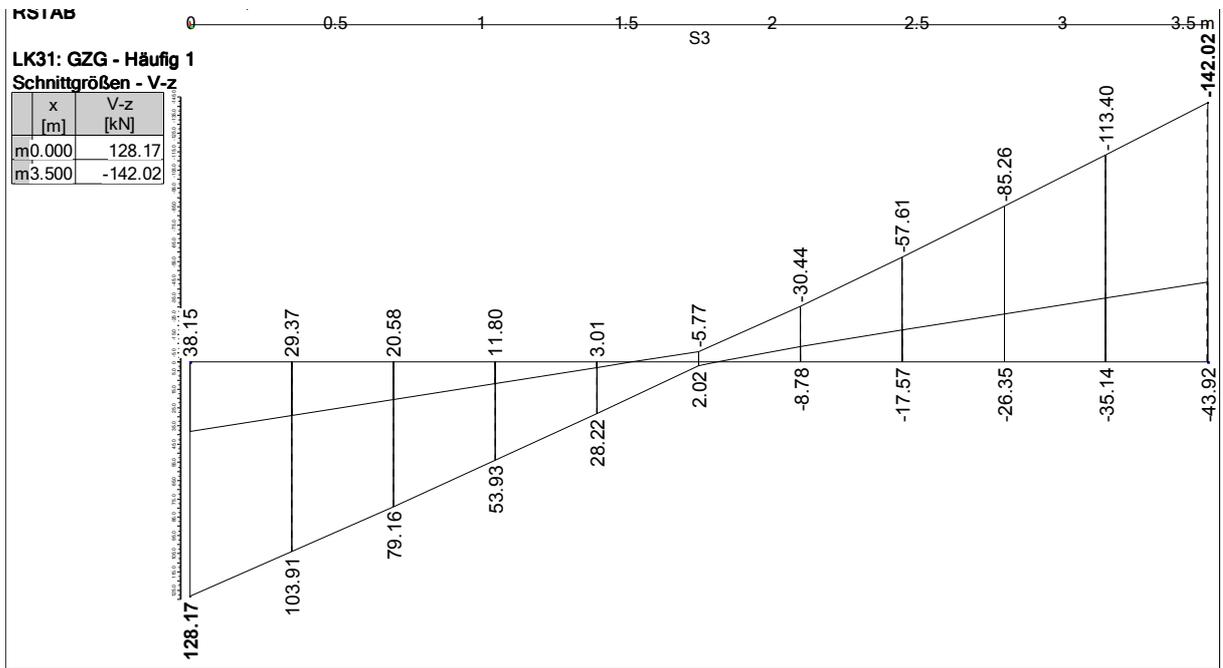


Bild 17: Querkraftverlauf unter der häufigen Einwirkungskombination und LM 71

$$V_{Ed,max} = 145 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,min} = 45 \text{ kN}$$

$$\tan\Theta = 1,0$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = h - 5,500 = 34,5 \text{ cm}$$

$$\sigma_{cd,V} = V_{Ed,max} / (b \cdot 0,9 \cdot d) \cdot (1/\tan\Theta + \tan\Theta) = 0,09 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd,fat} = 1 \cdot 19,83 \cdot (1 - 35/250) = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = 10 \cdot \sigma_{cd,V} / (0,7 \cdot 0,75 \cdot f_{cd,fat}) = \underline{\underline{0,10 < 0,50}}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	32
Vorgang:	Nachweis der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Nachweis des Betonstahls

Die schädigungsäquivalente Schwingbreite für Betonstahl ist nach [3] Anhang 106 zu ermitteln.

$$\Delta\sigma_{S, \text{equ}} = \lambda_S \cdot \Delta\sigma_{S,71}$$

Dabei ist  $\Delta\sigma_{S,71}$  die Schwingbreite infolge LM 71 in der nicht-häufigen Kombination und  $\lambda_S$  ein Korrekturfaktor.

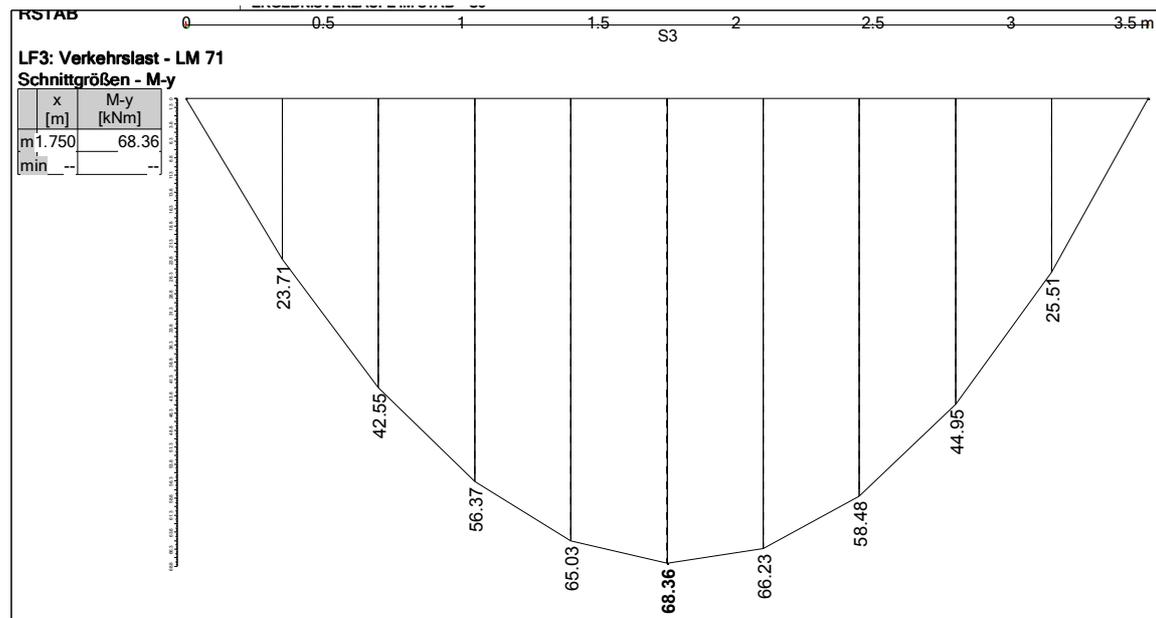


Bild 18: Momentenverlauf infolge LM 71

$$M_d = 1,0 \cdot 1,41 \cdot 68,4 = 96,4 \text{ kNm}$$

Die Betonstahlspannungen sind im Zustand II zu ermitteln.

$$\begin{aligned} \alpha_e &= 10 \\ b &= 100 \text{ cm} \\ h &= 40 \text{ cm} \\ d &= h - 5,500 = 34,5 \text{ cm} \\ A_{s1} &= 31,4 \text{ cm}^2 \\ x &= \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot (-1 + \sqrt{1 + (2 \cdot b \cdot d) / (\alpha_e \cdot A_{s1})}) = 11,9 \text{ cm} \\ z &= d - x/3 = 30,5 \text{ cm} \\ \Delta\sigma_{S,71} &= M_d \cdot 100 / (z \cdot A_{s1}) = 10,07 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	33
Vorgang:	Nachweis der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Korrekturfaktor  $\lambda_S$ :

$\lambda_{S1}$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 3,50 m

$$\lambda_{S1} = 0,84$$

$\lambda_{S2}$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol=  $18 \cdot 10^6$  t;  $k_2=9$

$$\lambda_{S2} = 0,96$$

$\lambda_{S3}$  - Nutzungsdauer:  $N_{\text{years}} = 100$ ;  $k_2=9$

$$\lambda_{S3} = 1,00$$

$\lambda_{S4}$  - Anzahl der Gleise: 1

$$\lambda_{S4} = 1,00$$

Nachweis:

$$\lambda_S = \lambda_{S1} * \lambda_{S2} * \lambda_{S3} * \lambda_{S4} = 0,81$$

$$\Delta\sigma_{S, \text{equ}} = \lambda_S * \Delta\sigma_{S,71} = 8,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{Rsk} = 17,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = \Delta\sigma_{S, \text{equ}} * 1,15 / \Delta\sigma_{Rsk} = \underline{\underline{0,54 < 1,0}}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	34
Vorgang:	Nachweis der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 2.3.5 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit / Rissbreitenbeschränkung

### 2.3.5.1 Begrenzung der Spannungen

Die Betondruckspannungen sind unter der nicht-häufigen Kombination auf  $0,6 f_{ck}$  zu begrenzen. Die Nachweise erfolgen für den Zustand II.

$$M_{Ed,max} = 95 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,min} = -175 \text{ kNm}$$

Die Betonspannungen sind im Zustand II zu ermitteln.

$$\alpha_e = 10$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = h - 5,500 = 34,5 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = 25,1 \text{ cm}^2$$

$$x = \alpha_e \cdot A_{s1} / b \cdot (-1 + \sqrt{1 + (2 \cdot b \cdot d) / (\alpha_e \cdot A_{s1})}) = 10,9 \text{ cm}$$

$$z = d - x / 3 = 30,9 \text{ cm}$$

$$\sigma_{cd} = -2 \cdot M_{Ed,min} \cdot 100 / (b \cdot x \cdot z) = 1,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 0,6 \cdot 3,5 = 2,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = \sigma_{cd} / \sigma_{Rd} = \underline{\underline{0,50 < 1,0}}$$

Die Zugspannungen in der Betonstahlbewehrung sollten unter der nicht-häufigen Einwirkungskombination den Wert  $0,8 f_{yk}$  nicht überschreiten.

$$\sigma_s = -M_{Ed,min} \cdot 100 / (z \cdot A_{s1}) = 22,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 0,8 \cdot 50,0 = 40,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = \sigma_s / \sigma_{Rd} = \underline{\underline{0,56 < 1,0}}$$

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	35
Vorgang:	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit / Rissbreitenbeschränkung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 2.3.5.2 Nachweis der Rissbreitenbeschränkung

#### Begrenzung der Rissbreite

Für die Anforderungsklasse D ist die häufige Kombination zu verwenden.

$$M_{Ed,max} = 75 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,min} = -110 \text{ kNm}$$

Stahlspannung

$$\sigma_s = -M_{Ed,min} \cdot 100 / (z \cdot A_{s1}) = 14,2 \text{ kN/cm}^2$$

Grenzdurchmesser  $d_s^* = 28 \text{ mm}$

$$f_{ct} = 3,20 \text{ N/mm}^2$$

$$d_s = 28,0 \cdot f_{ct} / 3,0 = 29,9 \text{ mm}$$

Höchstwerte der Stababstände:  $\lim s_1 = 200 \text{ mm} > 125 \text{ mm} = \text{vorh } s_1$

#### Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite

Die Fahrbahnplatte wird durch die Hauptträger in ihren Verformungen behindert. Die Mindestbewehrung wird daher für eine Beanspruchung aus zentrischem Zwang ermittelt.

Zugspannung am Querschnittsrand:

$$f_{ct} = 0,5 \cdot 3,2 = 1,60 \text{ N/mm}^2$$

Beiwerte:

$$k_c = 1,00$$

$$k = 0,74$$

Fläche der Zugzone:

$$h_t = 0,40 \text{ m}$$

$$A_{ct} = 1,00 \cdot h_t = 0,40 \text{ m}^2$$

Rissbreite  $w_k = 0,2 \text{ mm}$

Grenzdurchmesser  $d_s^* = 28 \text{ mm}$

$$\sigma_s = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$d_s = 28 \cdot k_c \cdot k \cdot h_t / (4 \cdot 0,055) \cdot f_{ct} / 3,0 = 20,1 \text{ mm}$$

Mindestbewehrung:

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct} \cdot A_{ct} \cdot 10000 / \sigma_s = \underline{\underline{29,60 \text{ cm}^2/\text{m}}}$$

Diese Bewehrung ist auf die Plattenoberseite und -unterseite aufzuteilen.

In Brückenquerrichtung wird diese Bewehrung nicht maßgebend gegenüber der statisch erforderlichen Biegebewehrung ( $\varnothing 20-12,5$ ;  $a_s = 25,1 \text{ cm}^2/\text{m}$  oben und  $\varnothing 20-10$  unten).

Bauteil:	Fahrbahnkonstruktion / Fahrbahnplatte	Seite:
Block:	Einwirkungen in Querrichtung	36
Vorgang:	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit / Rissbreitenbeschränkung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### **3 Haupttragwerk**

#### **3.1 Berechnungsgrundlagen**

##### **3.1.1 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems**

Das Haupttragwerk wird mit räumlichen Stabwerkselementen modelliert. In Abhängigkeit von der Belastungsgeschichte und den Querschnittswerten der Verbundquerschnitte (Kriecheinflüsse) werden unterschiedliche Systeme modelliert:

<b>Positionsname</b>	<b>Beschreibung</b>
TUD-Stahlbrücke_00	Stahlträgerereigengewicht, Betonierlasten, Wind im Bauzustand
TUD-Stahlbrücke_01	Abbinden und Ausschalen der Fahrbahnplatte
TUD-Stahlbrücke_02	Freisetzen der Hilfsstützen
TUD-Stahlbrücke_03	Ausbaulasten zu $t=0$
TUD-Stahlbrücke_04	Ausbaulasten zu $t=\infty$
TUD-Stahlbrücke_05	Temperatur und Wind
TUD-Stahlbrücke_06	Verkehrslasten
TUD-Stahlbrücke_07	Zwangsschnittgrößen aus Kriechen
TUD-Stahlbrücke_08	Zwangsschnittgrößen aus Schwinden
TUD-Stahlbrücke_10	Bemessungskombinationen Stahlbauteile
TUD-Stahlbrücke_11	Bemessungskombinationen Verbundträger
TUD-Stahlbrücke_D	Dynamische Berechnung

Die Stab- und Knotennummerierung, sowie die Material- und Querschnittsnummern sind in allen Systemen identisch. Damit können die Schnittkräfte verschiedener Positionen superponiert werden (Superkombinationen in RSTAB).

Der exzentrische Anschluss der Fachwerkdiagonalen an den Obergurt (Verbundquerschnitt) erfolgt über fiktive Koppelstäbe, die den Schwerachsenversatz zwischen dem Strebenschnittpunkt und dem Verbundquerschnitt abbilden.

Die Anschlüsse der Fachwerkdiagonalen an die Gurte erfolgt biegesteif, um die auftretenden Nebenspannungen bei der Bemessung zu berücksichtigen.

Entsprechend der Auslastung werden die Querschnitte über die Länge des Fachwerkträgers abgestuft. Der Fachwerkträgeruntergurt wird durch einen Horizontalverband aus Walzprofilen stabilisiert. Der Fachwerkträgerobergurt ist, außer im Bauzustand (TUD-Stahlbrücke\_00), durch die Stahlbetonplatte horizontal unverschieblich gehalten. Die Modellierung der Stahlbetonplatte erfolgt durch einen Verband aus Fachwerkstäben.

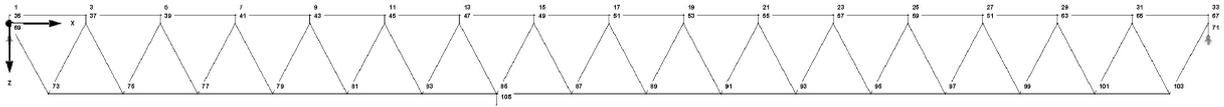
Die Berechnung erfolgt nach Theorie I. Ordnung. Stabilitätsnachweise werden mit dem Ersatzstabverfahren geführt. Nur für das System im Bauzustand erfolgt eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Berechnungsgrundlagen	37
Vorgang:	Darstellung und Beschreibung des statischen Systems	Rev 01

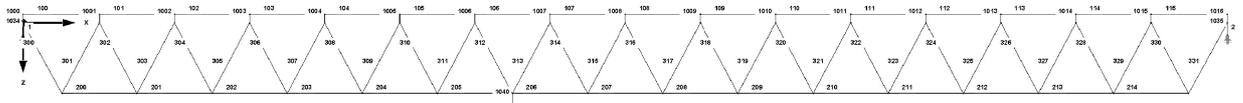
Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**3.1.2 System für DV-Berechnung mit Stab- und Knotenbezeichnung**

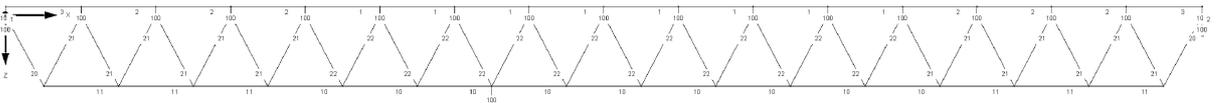
Die Modellierung erfolgt mit räumlichen Stabwerkselementen mit dem Programm R-STAB von Dlubal.



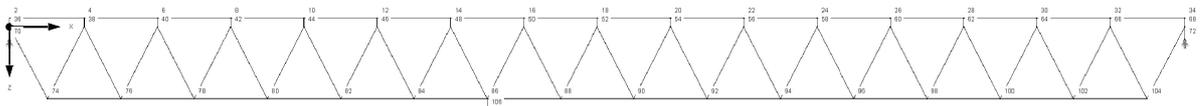
**Bild 19: Fachwerkträger 1; Knotennummern**



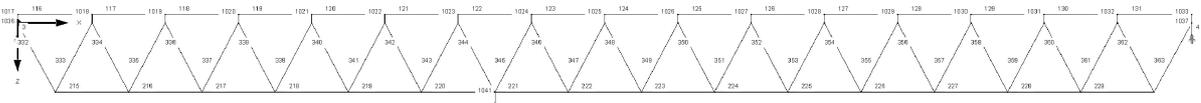
**Bild 20: Fachwerkträger 1; Stabnummern**



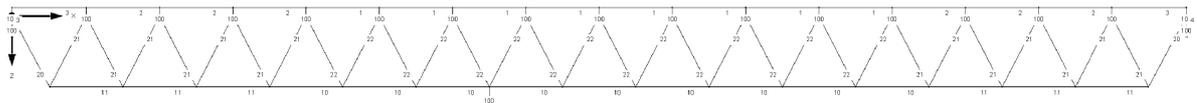
**Bild 21: Fachwerkträger 1; Querschnittsnummern**



**Bild 22: Fachwerkträger 2; Knotennummern**



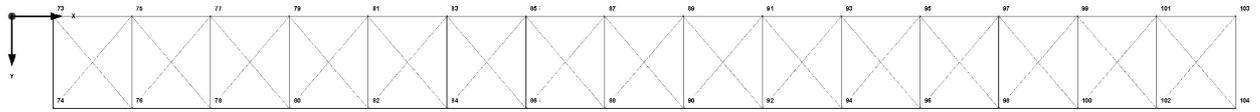
**Bild 23: Fachwerkträger 2; Stabnummern**



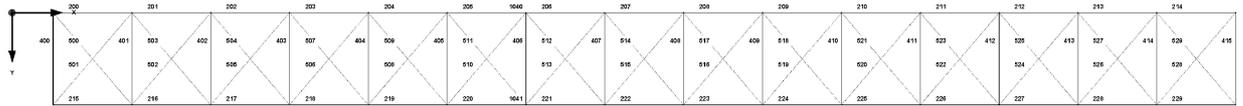
**Bild 24: Fachwerkträger 2; Querschnittsnummern**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Berechnungsgrundlagen	38
Vorgang:	System für DV-Berechnung mit Stab- und Knotenbezeichnung	Rev 01

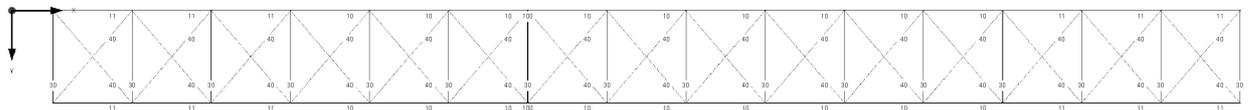
Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010



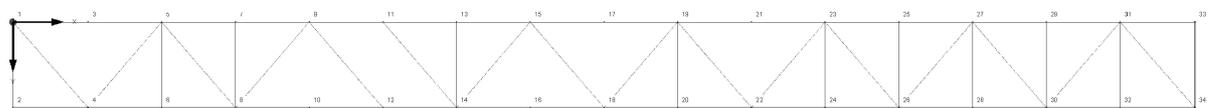
**Bild 25: Horizontalverband am Fachwerkträgeruntergurt; Knotennummern**



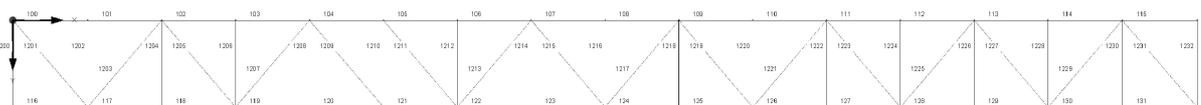
**Bild 26: Horizontalverband am Fachwerkträgeruntergurt; Stabnummern**



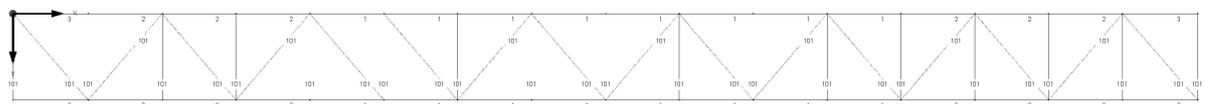
**Bild 27: Horizontalverband am Fachwerkträgeruntergurt; Querschnittsnummern**



**Bild 28: Horizontalverband am Fachwerkträgerobergurt; Knotennummern**



**Bild 29: Horizontalverband am Fachwerkträgerobergurt; Stabnummern**



**Bild 30: Horizontalverband am Fachwerkträgerobergurt; Querschnittsnummern**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Berechnungsgrundlagen	39
Vorgang:	System für DV-Berechnung mit Stab- und Knotenbezeichnung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### **3.1.3 Programmbeschreibung zur DV-Berechnung**

RSTAB

Version: 7.02.0791

Ing.-Software Dlubal GmbH

Am Zellweg 2

D-93464 Tiefenbach

Statikprogramm zur Berechnung von ebenen und räumlichen Stabwerken.

RSTAB bildet die Basis eines modularen Softwaresystems: Dieses Grundmodul ermittelt Schnittgrößen, Verformungen und Lagerreaktionen. Für die folgende Bemessung stehen Zusatzmodule bereit, die die material- und normspezifischen Gegebenheiten berücksichtigen.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Berechnungsgrundlagen	40
Vorgang:	Programmbeschreibung zur DV-Berechnung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.2 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen

#### 3.2.1 Ständige Einwirkungen

##### **Konstruktionseigengewicht des Überbaus**

Eigengewicht Baustahl zzgl. 15 % Zuschlag für Kopfbolzen, Anschlüsse, Steifen

$$\gamma_{\text{Stahl}} = 1,15 \cdot 78,5 = 90,28 \text{ kN/m}^3$$

Eigengewicht Frischbeton

$$g_{\text{Beton}} = 26,0 \cdot 2,73 = 71,0 \text{ kN/m}$$

##### **Ausbaulasten**

Schalung

$$g_{k,\text{Schalung}} = 0,8 \cdot 7,62 = 6,1 \text{ kN/m}$$

Abbinden und Ausschalen

$$g_{k,\text{Ausschalen}} = -1,0 \cdot 2,73 - 0,8 \cdot 7,62 = -8,8 \text{ kN/m}$$

Eigengewicht der Fahrbahn

Ermittlung nach DIN-Fb 101 M1.1 für durchgehendes Schotterbett und Regelquerschnitt 1 Gleis; Fahrbahnbreite: 4,40 m; Geschwindigkeit:  $v < 200 \text{ km/h}$

$$\text{Schutzbeton: } 25 \cdot 0,06 \cdot 4,4 = 6,6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Fahrbahn Regelausführung: } 60,0 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,\text{Fahrbahn}} = \underline{66,6 \text{ kN/m}}$$

##### **Eigengewicht der Kappen**

Randkappen mit aufgesetztem Kabeltrog gemäß Richtzeichnung [9] M-RKP 1604

Last je Kappe:

$$\text{Kappenbeton: } 25 \cdot 0,67 = 16,8 \text{ kN/m}$$

$$\text{Kabelkanal: } 2,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{Geländer: } 1,0 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,\text{Kappe}} = \underline{19,8 \text{ kN/m}}$$

##### **Einwirkungen aus Oberleitungs- und Signallasten**

Bei einer Brückenlänge  $L < 50 \text{ m}$  werden im Regelfall keine Oberleitungs- und Signalmasten auf der Brücke vorgesehen.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	41
Vorgang:	Ständige Einwirkungen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.2.2 Temperatureinwirkungen und Windlasten

#### Temperaturwirkungen

Der Überbau wird in die Gruppe 2 eingestuft.

##### *konstanter Temperaturanteil*

$$T_{e,min} = -20 \text{ K}$$

$$T_{e,max} = 41 \text{ K}$$

$$T_0 = 10 \text{ K}$$

$$\Delta T_{N,neg} = T_{e,min} - T_0 = -30 \text{ K}$$

$$\Delta T_{N,pos} = T_{e,max} - T_0 = 31 \text{ K}$$

##### *linearer Temperaturunterschied in der Fahrbahnkonstruktion (vertikal)*

$$\Delta T_{M,pos} = 0,80 \cdot 15 = 12,0 \text{ K}$$

$$\Delta T_{M,neg} = 1,2 \cdot -18 = -21,6 \text{ K}$$

Gleichzeitige Wirkung des konstanten und linearen Temperaturunterschiedes

$$\Delta T_M + 0,35 \cdot \Delta T_N$$

$$0,75 \cdot \Delta T_M + \Delta T_N$$

Unterschiede der konstanten Temperaturanteile zwischen verschiedenen Bauteilen

Temperaturdifferenz zwischen Fachwerkobergurt und -untergurt:

$$\Delta T = 15 \text{ K}$$

#### Lagerlängskräfte infolge Temperaturänderungen

Ansatz gemäß DIN-Fb 101 K2.3

Für Brücken mit durchgehenden, verschweißten Schienen über beide Überbauenden und festen

Lagern an einem Überbauende

$$F_{Tk} = 8 \cdot 47,3 = 378 \text{ kN}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	42
Vorgang:	Temperatureinwirkungen und Windlasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Windlasten

Ansatz als horizontale Linienlast in Brückenquerrichtung.

Aufgrund fehlender Angaben werden die Einwirkungen ungünstig für Windzone 3 und 4 (Küstennähe) und  $z_e < 20$  m ermittelt

*ohne Verkehr auf dem Überbau*

$b = 8,32$  m

$d = 4,61$  m

$b/d = 1,8$

$$w_1 = 2,70 \text{ kN/m}^2$$

*mit Verkehr auf dem Überbau*

$b = 8,32$  m

$d = 4,61 + 4,00 = 8,61$  m

$b/d = 1,03$

$$w_2 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

Wind auf Verkehrsband

$$w_2 = 3,00 \cdot 4,0 = 12,0 \text{ kN/m}$$

$$M_{w2} = w_2 \cdot 2,0 = 24,0 \text{ kNm/m}$$

Wind auf Obergurt

$$w_1 = 2,7 \cdot 0,9 = 2,43 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = 3,00 \cdot 0,9 = 2,70 \text{ kN/m}$$

Wind auf Untergurt

$$w_1 = 2,7 \cdot 0,7 = 1,89 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = 3,00 \cdot 0,7 = 2,10 \text{ kN/m}$$

(20 % auf verschatteten Untergurt)

Wind auf Diagonalen

$$w_1 = 2,7 \cdot 0,4 = 1,08 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = 3,00 \cdot 0,4 = 1,20 \text{ kN/m}$$

(50 % auf verschattete Diagonalen)

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	43
Vorgang:	Temperatureinwirkungen und Windlasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

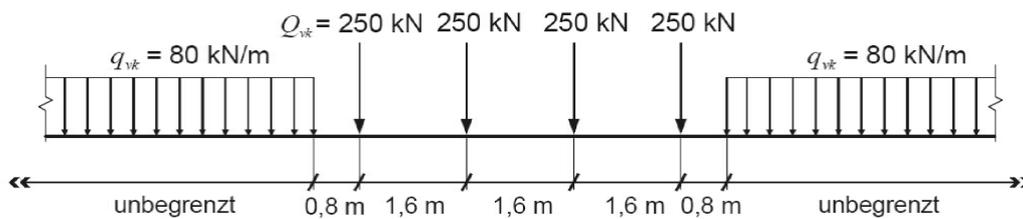
### 3.2.3 Verkehrslasten

#### 3.2.3.1 Einwirkungen infolge Zugverkehr

Gemäß Aufgabenstellung ist das Brückentragwerk für die Lastmodelle 71 und SW/2 gemäß DIN-Fb 101 zu bemessen.

#### **Lastmodell 71**

Das Lastmodell 71 stellt den statischen Anteil der Einwirkungen aus normalem Eisenbahnverkehr dar. Beiwert  $\alpha = 1,0$

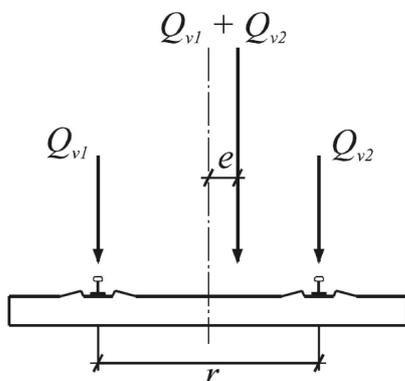


**Bild 31: Lastmodell 71 [2]**

Die seitliche Exzentrizität ist durch das Verhältnis der Radlasten von 1,25 : 1,00 zu berücksichtigen.

$$e_0 = \frac{143,5}{18} = 8,0 \text{ cm}$$

Die geometrisch mögliche Gleislage entspricht der Planung. Daher keine zusätzliche Exzentrizität zu berücksichtigen.



**Bild 32: Exzentrizität der Radlasten [2]**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	44
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Lastmodell SW/2

Das Lastmodell SW/2 stellt den statischen Anteil von Schwerverkehr dar.

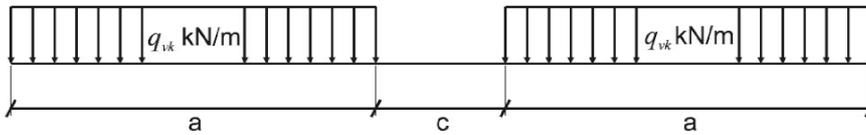


Bild 33: Lastmodell SW/2 [2]

$q_{vk} =$	150 kN/m
$a =$	25,0 m
$c =$	7,0 m

### Lastmodell "Unbelasteter Zug"

Wird durch eine vertikale gleichmäßig verteilte Belastung berücksichtigt

$q_{vk} =$	12,5 kN/m
------------	-----------

### Lastverteilung in Längsrichtung durch Schiene, Schwellen und Schotter

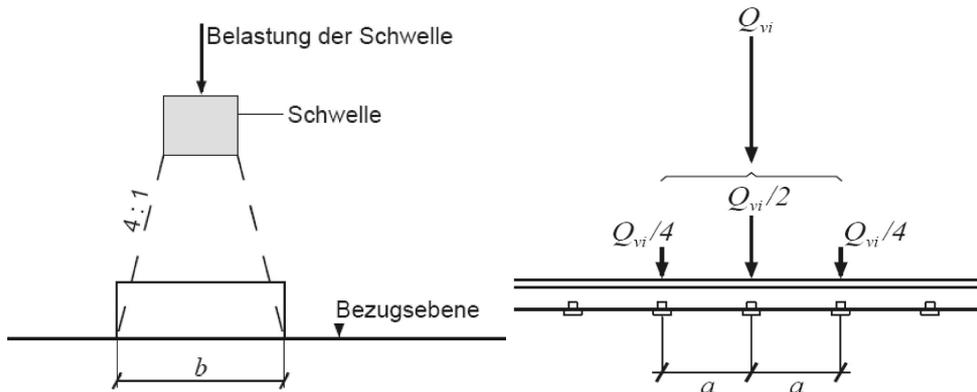


Bild 34: Lastverteilung in Längsrichtung [2]

Betonschwellen B70/W mit Abstand  $a = 65$  cm und Breite  $b = 30$  cm  
Längsverteilung unter der Schwelle unter der Neigung 4:1

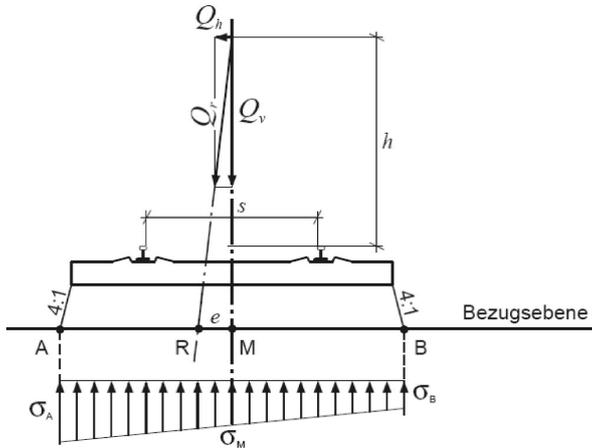
Lastverteilungsbreite der Einzellast in Höhe OK Fahrbahnplatte:

$a =$			$0,65$ m
$b =$	$0,30 + 2 \cdot 0,35/4$	$=$	$0,47$ m

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	45
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Lastverteilung in Querrichtung durch Schwellen und Schotter



**Bild 35: Lastverteilung in Querrichtung [2]**

### Belastung der Gehwege

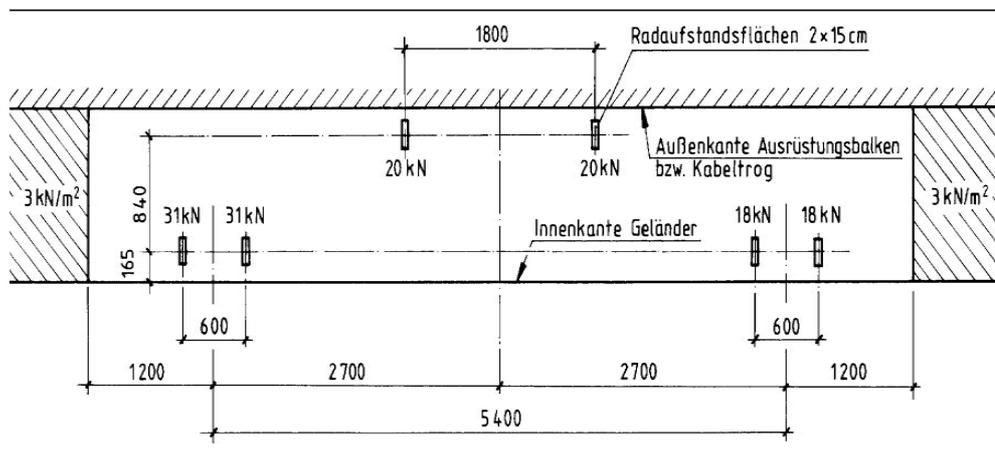
Auf den Dienstgehwegen ist mit einer Flächenlast von  $5,0 \text{ kN/m}^2$  zu rechnen  
 Gehwegbreite  $b = 1,20 \text{ m}$ .

Last je Gehweg infolge Personen:

$$q_{VK} = 5,00 \cdot 1,2 = 6,00 \text{ kN/m}$$

Last infolge Brückenbesichtigungsfahrzeug:

Ansatz auf einem Gehweg gemäß RiL 804.2101 Bild 6:



**Bild 36: Last infolge Brückenbesichtigungsfahrzeug [9]**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	46
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Dynamische Einwirkungen

Die Ergebnisse der Lastmodelle 71 und SW/2 sind mit dem dynamischen Beiwert  $\Phi$  zu multiplizieren

Auf eine dynamische Berechnung darf verzichtet werden, wenn für ein Tragwerk die erste Eigenfrequenz der Biegeschwingung  $n_0$  innerhalb der nachfolgenden Grenzen liegt und die Voraussetzungen für diesen vereinfachten Nachweis erfüllt sind [9].

Voraussetzungen:  $v_0 < 200$  km/h; EFT mit  $L > 40$  m

Grenzen der Eigenfrequenzen:

$$\begin{aligned}
 L &= && 47,30 \text{ m} \\
 n_{0,\text{oben}} &= & 94,76 \cdot L^{-0,748} &= & 5,29 \text{ Hz} \\
 n_{0,\text{unten}} &= & 23,58 \cdot L^{-0,592} &= & 2,40 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Die Eigenfrequenz der Brücke wird unter ständigen Einwirkungen ohne quasi-ständige Verkehrslasten berechnet. Es wird der Kurzzeit-E-Modul  $E_0$  verwendet.

Vereinfacht ergibt sich mit der Durchbiegung

$$\begin{aligned}
 \delta_0 &= && 54,0 \text{ mm} \\
 n_0 &= & 17,75 / \sqrt{\delta_0} &= & 2,42 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Die Eigenfrequenz liegt innerhalb der Grenzwerte. Der dynamische Beiwert  $\Phi$  kann verwendet werden.

Es wird vom Regelfall "sorgfältig unterhaltene Gleise" ausgegangen

Der Beiwert  $\Phi_2$  wird für die einzelnen Haupttragelemente nachfolgend bestimmt.

Fahrbahnplatte aus Beton in Querrichtung:

$$\begin{aligned}
 L_\Phi &= & 2 \cdot 3,500 &= & 7,00 \text{ m} \\
 \Phi_2 &= & 1,44 / (\sqrt{L_\Phi} - 0,2) + 0,82 &= & \mathbf{1,41}
 \end{aligned}$$

Hauptträger / Lager:

$$\begin{aligned}
 L_\Phi &= && 47,30 \text{ m} \\
 \Phi_2 &= & 1,44 / (\sqrt{L_\Phi} - 0,2) + 0,82 &= & \mathbf{1,04}
 \end{aligned}$$

## Zentrifugallasten

Treten bei gerader Gleisführung nicht auf.

## Seitenstoß

Einzellast in Höhe OK Schiene

$$Q_{Sk} = 100 \text{ kN}$$

Verteilung auf 4,0 m Länge:

$$q_{sk} = Q_{Sk} / 4 = 25,0 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	47
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Einwirkungen aus Anfahren und Bremsen

Werden in Höhe OK Schiene in Längsrichtung des Gleises angesetzt

Anfahrkraft bei LM 71 und LM SW/2:

$$Q_{\text{Iak}} = 33 \cdot L = 1561 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{Iak}} = 1000 \text{ kN}$$

Bremskraft bei LM 71

$$Q_{\text{Ibk}} = 20 \cdot L = 946 \text{ kN}$$

Bremskraft bei LM SW/2:

$$Q_{\text{Ibk}} = 35 \cdot (L-7) = 1411 \text{ kN}$$

Die Schienen laufen über beide Überbauenden ungestoßen durch. Die Voraussetzungen für die vereinfachten Nachweise nach DIN-Fb 101 K.2.4 sind erfüllt.

Aus dem Zusammenwirken zwischen Brückentragwerk und dem Oberbau wird nur ein Teil der Längskräfte aus Anfahren und Bremsen auf die Brückenlager übertragen.

$$\text{Reduktionsfaktor } \xi = 0,50$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	48
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

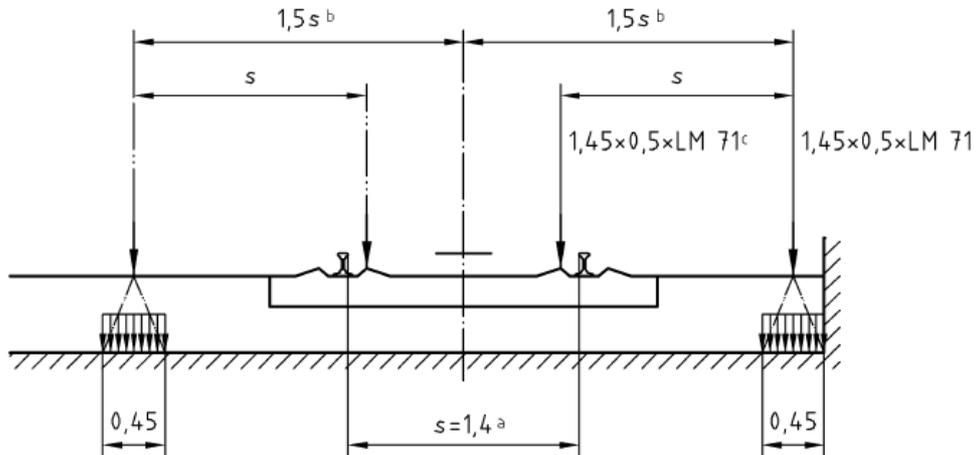
Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.2.3.2 Außergewöhnliche Einwirkungen

#### Einwirkungen infolge Entgleisung gemäß [8]

Bemessungssituation I:

Die Fahrzeuge verbleiben im Gleisbereich auf der Brücke

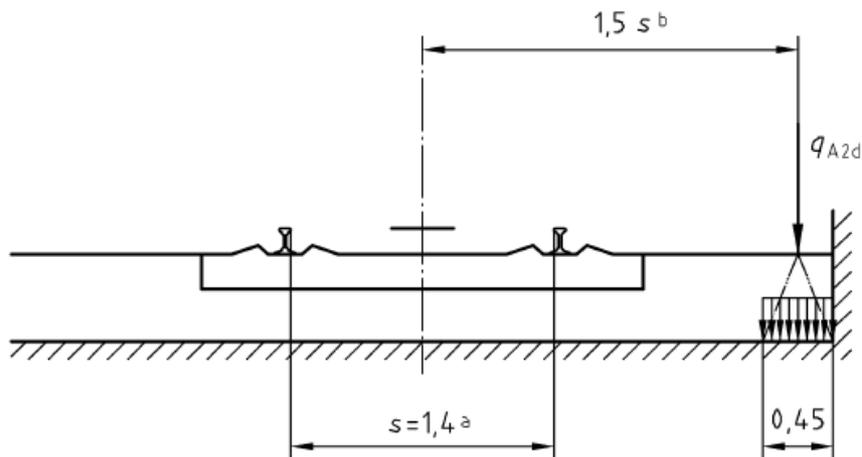


**Bild 37: Bemessungssituation I [2]**

$$\begin{aligned}
 Q_{A1,d} &= 1,45 \cdot 0,5 \cdot 250 & = & 181,25 \text{ kN} \\
 q_{A1,d} &= 1,45 \cdot 0,5 \cdot 80 & = & 58,00 \text{ kN/m} \\
 \text{Exzentrizität zur Gleisachse} & & & \\
 e &= 2,1 - 1,4/2 & = & 1,40 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Bemessungssituation II:

Die Fahrzeuge verbleiben auf ihrer Kante im Gleisbereich liegen



**Bild 38: Bemessungssituation II [2]**

$$\begin{aligned}
 q_{A2,d} &= 1,45 \cdot 80 & = & 116,00 \text{ kN/m} \\
 \text{Ansatz auf 20 m Länge} & & &
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	49
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.2.3.3 Lastgruppen und andere repräsentative mehrkomponentige Einwirkungen

Die Einwirkungen aus vertikalen und horizontalen Verkehrslasten werden in Gruppen kombiniert. Der Ansatz erfolgt gemäß DIN-Fb 101 IV-6.8.2

Gleise			Lastgruppe			Vertikallasten			Horizontallasten			Kommentar
1	2	≥ 3	n-Gleise auf Überbau	Lastgruppe	belast. Gleis	LM 71 <sup>1)</sup> SW/0 <sup>1),2)</sup>	SW/2 <sup>1),3)</sup>	Unbel. Zug	Anfahren und Bremsen <sup>1)</sup>	Zentrifugalkräfte <sup>1)</sup>	Seitenstoß	
			1	11	Gl. 1	1			1 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup>	max. vertikal 1
			1	12	Gl. 1	1			0,5 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup>	max. vertikal 2
			1	13	Gl. 1	1 <sup>4)</sup>			1	0,5 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup>	max. in Längsrichtung
			1	14	Gl. 1	1 <sup>4)</sup>			0,5 <sup>5)</sup>	1	1	max. in Querrichtung
			1	15	Gl. 1			1		1 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup>	Querstabilität
			1	16	Gl. 1		1		1 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup>	SW/2
			1	17	Gl. 1		1		0,5 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup>	SW/2
			2	21	Gl. 1 Gl. 2	1 1			1 <sup>5)</sup> 1 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	max. vertikal 1
			2	22	Gl. 1 Gl. 2	1 1			0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup> 1 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup> 1 <sup>5)</sup>	max. vertikal 2
			2	23	Gl. 1 Gl. 2	1 <sup>4)</sup> 1 <sup>4)</sup>			1 1	0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	max. in Längsrichtung
			2	24	Gl. 1 Gl. 2	1 <sup>4)</sup> 1 <sup>4)</sup>			0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	1 1	1 <sup>4)</sup> 1 <sup>4)</sup>	max. in Querrichtung
			2	26	Gl. 1 Gl. 2	1	1		1 <sup>5)</sup> 1 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	SW/2
			2	27	Gl. 1 Gl. 2	1	1		0,5 <sup>5)</sup> 0,5 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup> 1 <sup>5)</sup>	1 <sup>5)</sup> 1 <sup>5)</sup>	SW/2
			≥ 3	31	Gl. <i>i</i>	0,75			0,75 <sup>5)</sup>	0,75 <sup>5)</sup>	0,75 <sup>5)</sup>	zusätzlicher Lastfall

 Dominante Einwirkungen

 Für die Bemessung einer eingleisigen Brücke.

 Für die Bemessung einer zweigleisigen Brücke; d.h. alle Lastgruppen von 11 bis 27. Jedes Gleis muss entweder als Gl. 1 oder Gl. 2 angenommen werden.

 Für die Bemessung einer Brücke mit drei oder mehr Gleisen; d.h. alle Lastgruppen von 11 bis 31. Jedes einzelne Gleis muss als Gleis 1, ein zweites als Gleis 2 angenommen werden. Die übrigen Gleise bleiben unbelastet. Zusätzlich sind alle Gleise *i* gemäß Lastgruppe 31 zu belasten.

<sup>1)</sup> Alle relevanten Faktoren ( $\alpha, \Phi, f$ , etc.) müssen berücksichtigt werden.

<sup>2)</sup> SW/0 ist nur bei Durchlaufträgern zu berücksichtigen.

<sup>3)</sup> SW/2 braucht nur berücksichtigt zu werden, wenn die Brücke hierfür vorgesehen ist.

<sup>4)</sup> Günstig wirkende Einwirkungen sind in der Regel zu vernachlässigen. Da eine Wirkung von Horizontallasten ohne Vertikallasten nicht möglich ist, müssen Vertikallasten > 0 vorhanden sein. Als oberer Wert für einen Reduktionsfaktor darf 0,5 angesetzt werden.

<sup>5)</sup> In günstigen Fällen müssen diese nicht-dominanten Werte zu null gesetzt werden.

**Bild 39: Definition der Lastgruppen [2]**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	50
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Für eine eingleisige Strecke sind die folgenden Lastgruppen zu berücksichtigen:

Lastgruppe 11	$1,0 \cdot \Phi \cdot Q_{LM71} + 1,0 \cdot Q_{Iak/Ibk} + 0,5 \cdot Q_{Sk}$
Lastgruppe 12	$1,0 \cdot \Phi \cdot Q_{LM71} + 0,5 \cdot Q_{Iak/Ibk} + 1,0 \cdot Q_{Sk}$
Lastgruppe 13	$0,5 \cdot \Phi \cdot Q_{LM71} + 1,0 \cdot Q_{Iak/Ibk} + 0,5 \cdot Q_{Sk}$
Lastgruppe 14	$0,5 \cdot \Phi \cdot Q_{LM71} + 0,5 \cdot Q_{Iak/Ibk} + 1,0 \cdot Q_{Sk}$
Lastgruppe 15	$1,0 \cdot Q_{unbeladen} + 1,0 \cdot Q_{Iak/Ibk} + 1,0 \cdot Q_{Sk}$
Lastgruppe 16	$1,0 \cdot \Phi \cdot Q_{SW/2} + 1,0 \cdot Q_{Iak/Ibk} + 0,5 \cdot Q_{Sk}$
Lastgruppe 17	$1,0 \cdot \Phi \cdot Q_{SW/2} + 0,5 \cdot Q_{Iak/Ibk} + 1,0 \cdot Q_{Sk}$

### 3.2.3.4 Lastmodelle für Ermüdungsberechnungen

Die Lastmodelle zur Berechnung der schädigungsäquivalenten Schwingbreite für Nachweise gegen Ermüdung sind in den DIN-Fachberichten 102, 103 und 104 angegeben.

Nach DIN-Fachbericht 102 ist die schädigungsäquivalente Schwingbreite für Betonstahl nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$\Delta\sigma_{S, equ} = \lambda_S \cdot \Delta\sigma_{S, 71}$$

Dabei ist die Schwingbreite infolge Lastmodell 71 in der nicht-häufigen Einwirkungskombination einschließlich des dynamischen Faktors zu verwenden.

Für Beton unter Druckspannung wird die schädigungsäquivalente Schwingbreite nach folgenden Gleichungen ermittelt:

$$\begin{aligned} \max|\sigma_{cd, equ}| &= |\sigma_{c, perm}| + \lambda_c \cdot (\max|\sigma_{c, 71}| - |\sigma_{c, perm}|) \\ \min|\sigma_{cd, equ}| &= |\sigma_{c, perm}| - \lambda_c \cdot (|\sigma_{c, perm}| - \min|\sigma_{c, 71}|) \end{aligned}$$

Dabei ist die betragsmäßige Betondruckspannung unter der nicht-häufigen Kombination ohne Lastmodell 71 und die größte bzw. kleinste Druckspannung unter der nicht-häufigen Kombination einschließlich des dynamischen Faktors zu verwenden.

Nach DIN-Fachbericht 103 sind für den vereinfachten Ermüdungsnachweis von Eisenbahnbrücken die charakteristischen Lasten nach Lastmodell 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes zu verwenden.

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_P &= |\sigma_{P, max} - \sigma_{P, min}| \\ \Delta\sigma_{E, 2} &= \lambda \cdot \Phi \cdot \Delta\sigma_P \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	51
Vorgang:	Verkehrslasten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.3 Querschnittsgrößen

#### 3.3.1 Ermittlung der mittragenden Gurtbreiten

Die mitwirkende Breite des Betongurtes wird für die Schnittgrößenermittlung und den Nachweis der Querschnittstragfähigkeit benötigt.

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum b_{ei}$$

$L_e =$				47,30 m
$b_{ei} =$	$L_e/8$	=		5,91 m
$b_0 =$				0,34 m
$b_1 =$				1,89 m
$b_2 =$				1,58 m
$b_{\text{eff}} =$	$b_0 + b_1 + b_2$	=		<u>3,81 m</u>

An den Endauflagern beträgt die mittragende Breite des Betongurtes:

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum \beta_i \cdot b_{ei}$$

$\beta_1 =$	$0,55 + 0,025 \cdot L_e / b_1$	=		1,18
$\beta_2 =$	$0,55 + 0,025 \cdot L_e / b_2$	=		1,30
$\beta_i =$				1,00

Die volle geometrische Gurtbreite ist mittragend.

#### 3.3.2 Ermittlung der Querschnittsgrößen

Die Querschnittsgrößen des Verbundquerschnittes sind abhängig von der betrachteten Einwirkung und dem betrachteten Zeitpunkt t. Die Einflüsse aus Kriechen und Schwinden, der Belastungsgeschichte und der Rissbildung des Betons sind zu berücksichtigen.

##### 3.3.2.1 Kriech- und Schwindbeiwerte

Die Beiwerte werden nach DIN-Fachbericht 102 ermittelt.

Wirksame Bauteildicke  $h_0$ :

$A_c =$	$4,4 \cdot 0,4 + 2 \cdot 1,61 \cdot 0,3$	=		2,73 m <sup>2</sup>
$u =$	$2 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot (4,4 + 2 \cdot 1,62)$	=		11,86 m
$h_0 =$	$2 \cdot A_c / u \cdot 1000$	=		460 mm

Aufgrund der Abdichtung an der Plattenoberseite wurde der Querschnittsumfang mit 50 % der oberen Plattenabmessung berechnet.

Relative Luftfeuchte: RH= 80 %  
Zementfestigkeitsklasse: 32,5R; 42,5N  
Beton: C 35/45

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	52
Vorgang:	Ermittlung der mittragenden Gurtbreiten	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Endkriechzahlen

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 * \beta_c(t, t_0)$$

$t_0 = 28$  d: Aufbringen der Ausbaulasten

$$\begin{aligned} \varphi_{RH} &= 1,18 \\ \varphi_{0,28d} &= \varphi_{RH} * 2,56 * 0,488 = 1,47 \\ \beta_c(\infty) &= 1,00 \\ \varphi(\infty, 28d) &= \varphi_{0,28d} * 1,0 = \underline{1,5} \end{aligned}$$

$t_0 = 1$  d: Schwinden

$$\begin{aligned} \varphi_{0,1d} &= \varphi_{RH} * 2,56 * 0,909 = 2,75 \\ \beta_c(\infty) &= 1,00 \\ \varphi(\infty, 1d) &= \varphi_{0,1d} * 1,0 = \underline{2,8} \end{aligned}$$

### Endschwindmaß

$$\varepsilon_{CS\infty} = \varepsilon_{cas\infty} + \varepsilon_{cds\infty}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cas0} &= -700 * (4,3/10,3)^{2,5} * 10^{-6} = -79 * 10^{-6} \\ \beta_{as}(\infty) &= 1,00 \\ \varepsilon_{cds0} &= 0,00066 * 0,5969 = 394 * 10^{-6} \\ \beta_{RH} &= -0,756 \\ \beta_{ds}(\infty) &= 1,00 \\ \varepsilon_{cs}(\infty) &= \varepsilon_{cas0} * 1,0 + \varepsilon_{cds0} * \beta_{RH} * 1,0 = \underline{-0,38 * 10^{-3}} \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	53
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.3.2.2 Reduktionszahlen

Das Kriechen des Betons wird mit Hilfe der Reduktionszahlen  $n_L$  erfasst

$$n_L = n_0 \cdot (1 + \psi_L \cdot \varphi_t)$$

$$E_a = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{cm} = 2990 \text{ kN/cm}^2$$

Kurzzeitlasten:  $\psi = 0$

$$n_0 = E_a / E_{cm} = 7,02$$

ständige Einwirkungen:  $\psi_p = 1,1$

$$n_p = n_0 \cdot (1 + 1,1 \cdot 1,5) = 18,60$$

zeitabhängige sekundäre Einwirkungen:  $\psi_{pT} = 0,55$

$$n_{pT} = n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 1,5) = 12,81$$

Schwinden:  $\psi_s = 0,55$

$$n_s = n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 2,8) = 17,83$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	54
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.3.2.3 Querschnittswerte der Baustahlquerschnitte

#### Obergurt Q 1; Q 2; Q 3

■ KASTENN(B) 500/40/40/500/370/40/25/0/0

■ QUERSCHNITTSWERTE KASTEN(B) 500/40/40/500/370/40/25/0/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Gurtbreite oben	$b_o$	500.0	mm
Gurtbreite unten	$b_u$	370.0	mm
Gurtstärke oben	$t_o$	40.0	mm
Gurtstärke unten	$t_u$	40.0	mm
Stegdicke	$s$	40.0	mm
Profilhöhe	$h$	500.0	mm
Überlappung unten	$u$	25.0	mm
Schweißnahtdicke oben	$a_o$	0.0	mm
Schweißnahtdicke unten	$a_u$	0.0	mm
Querschnittsfläche	$A$	716.00	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	$A_y$	284.33	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	$A_z$	307.68	cm <sup>2</sup>
Kernfläche	$A_k$	1783.50	cm <sup>2</sup>
Schwerpunktstand	$e_z$	238.4	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	$I_y$	233862.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	$I_z$	213694.00	cm <sup>4</sup>
Polares Trägheitsmoment	$I_p$	447555.00	cm <sup>4</sup>
Polares Trägheitsmoment	$I_{p,M}$	447715.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	$i_y$	180.7	mm
Trägheitsradius	$i_z$	172.8	mm
Hauptachsenträgheitsradius	$i_u$	180.7	mm
Hauptachsenträgheitsradius	$i_v$	172.8	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_p$	250.0	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_{p,M}$	250.1	mm
Querschnittsgewicht	$G$	562.1	kg/m
Mantelfläche	$U$	2.050	m <sup>2</sup> /m
Torsionsträgheitsmoment	$I_t$	305035.00	cm <sup>4</sup>
Torsionsträgheitsmoment St. Venant	$I_{t,StVen}$	3887.38	cm <sup>4</sup>
Torsionsträgheitsmoment Bredt	$I_{t,Bredt}$	301148.00	cm <sup>4</sup>
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	$z_M$	-4.6	mm
Wölbwiderstand bezogen auf M	$I_{\omega}$	245738.00	cm <sup>6</sup>
Wölbträgheitsradius	$i_{\omega,M}$	7.4	mm
Abklingfaktor	$\lambda$	0.069195	1/mm
Widerstandsmoment	$W_{y,max}$	8939.93	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	$W_{y,min}$	-9809.30	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	$W_z$	-8547.75	cm <sup>3</sup>
Wölbwiderstandsmoment	$W_{\omega}$	2410.15	cm <sup>4</sup>
Statisches Moment	$S_{y,max}$	2971.38	cm <sup>3</sup>
Statisches Moment	$S_{z,max}$	2868.35	cm <sup>3</sup>
Wölbordinate	$\omega_{max}$	101.96	cm <sup>2</sup>
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit $\omega$ )	$S_{\omega,max}$	969.15	cm <sup>4</sup>
Kindem'sche Querschnittsstrecke	$r_{y,Kindem}$	0.0	mm
Querschnittsstrecke	$r_{M,z}$	9.1	mm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	$f_z$	-0.9	mm
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y,max}$	11885.50	cm <sup>3</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z,max}$	11413.00	cm <sup>3</sup>
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y,max}$	1.329	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z,max}$	1.335	
Knicklinie nach DIN	$KL_{y,DIN}$	c	
Knicklinie nach DIN	$KL_{z,DIN}$	c	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	c	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	$KL_{y,EN,S460}$	c	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	$KL_{z,EN,S460}$	c	

Bild 40: Querschnittswerte Obergurt Q 1; Q 2; Q 3

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	55
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Untergurt Q 10; Q 11

■ KASTENN(B) 500/60/40/700/370/30/25/0/0

■ QUERSCHNITTSWERTE

KASTEN(B) 500/60/40/700/370/30/25/0/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	
Gurtbreite oben	$b_o$	500.0	mm	
Gurtdicke oben	$t_o$	60.0	mm	
Stegdicke	$s$	40.0	mm	
Profilhöhe	$h$	700.0	mm	
Gurtbreite unten	$b_u$	370.0	mm	
Gurtdicke unten	$t_u$	30.0	mm	
Überlappung unten	$u$	25.0	mm	
Schweißnahtdicke oben	$a_o$	0.0	mm	
Schweißnahtdicke unten	$a_u$	0.0	mm	
Querschnittsfläche	$A$	923.00	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	$A_y$	280.66	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	$A_z$	460.89	cm <sup>2</sup>	
Kernfläche	$A_k$	2583.00	cm <sup>2</sup>	
Schwerpunktabstand	$e_z$	299.9	mm	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	$I_y$	571070.00	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	$I_z$	291014.00	cm <sup>4</sup>	
Polares Trägheitsmoment	$I_p$	862084.00	cm <sup>4</sup>	
Polares Trägheitsmoment	$I_{p,M}$	882807.00	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsradius	$i_y$	248.7	mm	
Trägheitsradius	$i_z$	177.6	mm	
Hauptachsenträgheitsradius	$i_u$	248.7	mm	
Hauptachsenträgheitsradius	$i_v$	177.6	mm	
Polarer Trägheitsradius	$i_p$	305.6	mm	
Polarer Trägheitsradius	$i_{p,M}$	309.3	mm	
Querschnittsgewicht	$G$	724.6	kg/m	
Mantelfläche	$U$	2.450	m <sup>2</sup> /m	
Torsionsträgheitsmoment	$I_t$	519800.00	cm <sup>4</sup>	
Torsionsträgheitsmoment St. Venant	$I_{t,StVen}$	6577.47	cm <sup>4</sup>	
Torsionsträgheitsmoment Bredt	$I_{t,Bredt}$	513222.00	cm <sup>4</sup>	
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	$Z_M$	-49.3	mm	
Wölbwiderstand bezogen auf M	$I_{\omega}$	7.461E+06	cm <sup>6</sup>	
Wölbträgheitsradius	$i_{\omega,M}$	29.1	mm	
Abklingfaktor	$\lambda$	0.016393	1/mm	
Widerstandsmoment	$W_{y,max}$	14273.70	cm <sup>3</sup>	
Widerstandsmoment	$W_{y,min}$	-19041.20	cm <sup>3</sup>	
Widerstandsmoment	$W_z$	-11640.60	cm <sup>3</sup>	
Wölbwiderstandsmoment	$W_{\omega}$	35159.50	cm <sup>4</sup>	
Statisches Moment	$S_{y,max}$	5196.18	cm <sup>3</sup>	
Statisches Moment	$S_{z,max}$	4576.72	cm <sup>3</sup>	
Wölbordinate	$\omega_{max}$	212.21	cm <sup>2</sup>	
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit $\omega$ )	$S_{\omega,max}$	10355.00	cm <sup>4</sup>	
Kindem'sche Querschnittsstrecke	$r_{y,Kindem}$	75.4	mm	
Querschnittsstrecke	$r_{M,z}$	173.9	mm	
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	$f_z$	-38.0	mm	
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y,max}$	20683.70	cm <sup>3</sup>	
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z,max}$	15272.80	cm <sup>3</sup>	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y,max}$	1.449		
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z,max}$	1.312		
Knicklinie nach DIN	$KL_{y,DIN}$	c		
Knicklinie nach DIN	$KL_{z,DIN}$	c		
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	c		
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	$KL_{y,EN,S460}$	c		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	$KL_{z,EN,S460}$	c		

Bild 41: Querschnittswerte Untergurt Q 10

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	56
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

■ KASTENN(B) 500/40/40/700/370/30/25/0/0

■ QUERSCHNITTSWERTE

KASTEN(B) 500/40/40/700/370/30/25/0/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Gurtbreite oben	$b_o$	500.0	mm
Gurtdicke oben	$t_o$	40.0	mm
Stegdicke	$s$	40.0	mm
Profilhöhe	$h$	700.0	mm
Gurtbreite unten	$b_u$	370.0	mm
Gurtdicke unten	$t_u$	30.0	mm
Überlappung unten	$u$	25.0	mm
Schweißnahtdicke oben	$a_o$	0.0	mm
Schweißnahtdicke unten	$a_u$	0.0	mm
Querschnittsfläche	$A$	839.00	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	$A_y$	226.74	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	$A_z$	466.64	cm <sup>2</sup>
Kernfläche	$A_k$	2624.00	cm <sup>2</sup>
Schwerpunktabstand	$e_z$	324.9	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	$I_y$	513326.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	$I_z$	276926.00	cm <sup>4</sup>
Polares Trägheitsmoment	$I_p$	790252.00	cm <sup>4</sup>
Polares Trägheitsmoment	$I_{p,M}$	797087.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	$i_y$	247.4	mm
Trägheitsradius	$i_z$	181.7	mm
Hauptachsenträgheitsradius	$i_u$	247.4	mm
Hauptachsenträgheitsradius	$i_v$	181.7	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_p$	306.9	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_{p,M}$	308.2	mm
Querschnittsgewicht	$G$	658.6	kg/m
Mantelfläche	$U$	2.450	m <sup>2</sup> /m
Torsionsträgheitsmoment	$I_t$	496782.00	cm <sup>4</sup>
Torsionsträgheitsmoment St. Venant	$I_{t,StVen}$	4236.72	cm <sup>4</sup>
Torsionsträgheitsmoment Bredt	$I_{t,Bredt}$	492546.00	cm <sup>4</sup>
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	$z_M$	-29.3	mm
Wölbwiderstand bezogen auf M	$I_{\omega}$	3.404E+06	cm <sup>6</sup>
Wölbträgheitsradius	$i_{\omega,M}$	20.7	mm
Abklingfaktor	$\lambda$	0.023726	1/mm
Widerstandsmoment	$W_{y,max}$	13686.30	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	$W_{y,min}$	-15797.80	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	$W_z$	-11077.00	cm <sup>3</sup>
Wölbwiderstandsmoment	$W_{\omega}$	16367.70	cm <sup>4</sup>
Statisches Moment	$S_{y,max}$	4668.56	cm <sup>3</sup>
Statisches Moment	$S_{z,max}$	3885.45	cm <sup>3</sup>
Wölbordinate	$\omega_{max}$	207.96	cm <sup>2</sup>
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit $\omega$ )	$S_{\omega,max}$	6224.34	cm <sup>4</sup>
Kindem'sche Querschnittsstrecke	$r_{y,Kindem}$	25.2	mm
Querschnittsstrecke	$r_{M,z}$	83.9	mm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	$f_z$	-10.6	mm
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y,max}$	18683.50	cm <sup>3</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z,max}$	14350.80	cm <sup>3</sup>
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y,max}$	1.365	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z,max}$	1.296	
Knicklinie nach DIN	$KL_{y,DIN}$		c
Knicklinie nach DIN	$KL_{z,DIN}$		c
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$		c
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$		c
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	$KL_{y,EN,S460}$		c
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	$KL_{z,EN,S460}$		c

Bild 42: Querschnittswerte Untergurt Q 11

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	57
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Diagonalen Q 20; Q 21; Q 22

■ IS 450/500/30/40/0

■ QUERSCHNITTSWERTE

IS 450/500/30/40/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	
Profilhöhe	h	450.0	mm	
Profilbreite	b	500.0	mm	
Stegdicke	s	30.0	mm	
Flanschdicke	t	40.0	mm	
Schweißnahtdicke	a	0.0	mm	
Querschnittsfläche	A	511.00	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	A <sub>y</sub>	400.00	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	A <sub>z</sub>	111.00	cm <sup>2</sup>	
Plastic Shear area	A <sub>pl,y</sub>	400.00	cm <sup>2</sup>	
Plastic Shear area	A <sub>pl,z</sub>	123.00	cm <sup>2</sup>	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	181297.00	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	83416.60	cm <sup>4</sup>	
Polares Trägheitsmoment	I <sub>p</sub>	264713.00	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	188.4	mm	
Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	127.8	mm	
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	227.6	mm	
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 Steghöhe)	i <sub>zg</sub>	137.0	mm	
Querschnittsgewicht	G	401.1	kg/m	
Mantelfläche	U	2.840	m <sup>2</sup> /m	
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	2394.82	cm <sup>4</sup>	
Wölbwiderstand bezogen auf M	I <sub>ω</sub>	3.502E+07	cm <sup>6</sup>	
Abklingfaktor	λ	0,000514	1/mm	
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub>	8057.63	cm <sup>3</sup>	
Widerstandsmoment	W <sub>z</sub>	3336.66	cm <sup>3</sup>	
Wölbwiderstandsmoment	W <sub>ω</sub>	68333.30	cm <sup>4</sup>	
Statisches Moment	S <sub>y,max</sub>	4613.38	cm <sup>3</sup>	
Statisches Moment	S <sub>z,max</sub>	1248.83	cm <sup>3</sup>	
Wölbordinate	ω <sub>max</sub>	512.50	cm <sup>2</sup>	
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	S <sub>ω,max</sub>	25625.00	cm <sup>4</sup>	
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,y,max</sub>	9226.75	cm <sup>3</sup>	
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,z,max</sub>	5083.25	cm <sup>3</sup>	
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W <sub>pl,ω</sub>	102500.00	cm <sup>4</sup>	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,y,max</sub>	1.145		
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,z,max</sub>	1.523		
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,ω</sub>	1.500		
Knicklinie nach DIN	KL <sub>y,DIN</sub>	b		
Knicklinie nach DIN	KL <sub>z,DIN</sub>	c		
Knicklinie nach EN	KL <sub>y,EN</sub>	b		
Knicklinie nach EN	KL <sub>z,EN</sub>	c		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>y,EN,S460</sub>	b		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>z,EN,S460</sub>	c		

**Bild 43: Querschnittswerte Diagonalen Q 20**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	58
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

■ IS 450/400/30/40/0

■ QUERSCHNITTSWERTE

IS 450/400/30/40/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	450.0	mm
Profilbreite	b	400.0	mm
Stegdicke	s	30.0	mm
Flanschdicke	t	40.0	mm
Schweißnahtdicke	a	0.0	mm
Querschnittsfläche	A	431.00	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	A <sub>y</sub>	320.00	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	A <sub>z</sub>	111.00	cm <sup>2</sup>
Plastic Shear area	A <sub>pl,y</sub>	320.00	cm <sup>2</sup>
Plastic Shear area	A <sub>pl,z</sub>	123.00	cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	147570.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	42749.90	cm <sup>4</sup>
Polares Trägheitsmoment	I <sub>p</sub>	190320.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	185.0	mm
Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	99.6	mm
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	210.1	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 Steghöhe)	i <sub>zg</sub>	108.2	mm
Querschnittsgewicht	G	338.3	kg/m
Mantelfläche	U	2.440	m <sup>2</sup> /m
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	1968.16	cm <sup>4</sup>
Wölbwiderstand bezogen auf M	I <sub>ω</sub>	1.793E+07	cm <sup>6</sup>
Abklingfaktor	λ	0.000651	1/mm
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub>	6558.66	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W <sub>z</sub>	2137.50	cm <sup>3</sup>
Wölbwiderstandsmoment	W <sub>ω</sub>	43733.30	cm <sup>4</sup>
Statisches Moment	S <sub>y,max</sub>	3793.38	cm <sup>3</sup>
Statisches Moment	S <sub>z,max</sub>	798.83	cm <sup>3</sup>
Wölbordinate	ω <sub>max</sub>	410.00	cm <sup>2</sup>
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	S <sub>ω,max</sub>	16400.00	cm <sup>4</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,y,max</sub>	7586.75	cm <sup>3</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,z,max</sub>	3283.25	cm <sup>3</sup>
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W <sub>pl,ω</sub>	65600.00	cm <sup>4</sup>
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,y,max</sub>	1.157	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,z,max</sub>	1.536	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,ω</sub>	1.500	
Knicklinie nach DIN	KL <sub>y,DIN</sub>	b	
Knicklinie nach DIN	KL <sub>z,DIN</sub>	c	
Knicklinie nach EN	KL <sub>y,EN</sub>	b	
Knicklinie nach EN	KL <sub>z,EN</sub>	c	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>y,EN,S460</sub>	b	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>z,EN,S460</sub>	c	

**Bild 44: Querschnittswerte Diagonalen Q 21**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	59
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

■ IS 450/300/30/40/0

■ QUERSCHNITTSWERTE

IS 450/300/30/40/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	450.0	mm
Profilbreite	b	300.0	mm
Stegdicke	s	30.0	mm
Flanschdicke	t	40.0	mm
Schweißnahtdicke	a	0.0	mm
Querschnittsfläche	A	351.00	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	A <sub>y</sub>	240.00	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	A <sub>z</sub>	111.00	cm <sup>2</sup>
Plastic Shear area	A <sub>pl,y</sub>	240.00	cm <sup>2</sup>
Plastic Shear area	A <sub>pl,z</sub>	123.00	cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	113843.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	18083.30	cm <sup>4</sup>
Polares Trägheitsmoment	I <sub>p</sub>	131927.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	180.1	mm
Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	71.8	mm
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	193.9	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 Steghöhe)	i <sub>zg</sub>	79.6	mm
Querschnittsgewicht	G	275.5	kg/m
Mantelfläche	U	2.040	m <sup>2</sup> /m
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	1541.53	cm <sup>4</sup>
Wölbwiderstand bezogen auf M	I <sub>ω</sub>	7.565E+06	cm <sup>6</sup>
Abklingfaktor	λ	0.000887	1/mm
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub>	5059.70	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W <sub>z</sub>	1205.55	cm <sup>3</sup>
Wölbwiderstandsmoment	W <sub>ω</sub>	24600.00	cm <sup>4</sup>
Statisches Moment	S <sub>y,max</sub>	2973.38	cm <sup>3</sup>
Statisches Moment	S <sub>z,max</sub>	448.83	cm <sup>3</sup>
Wölbordinate	ω <sub>max</sub>	307.50	cm <sup>2</sup>
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	S <sub>ω,max</sub>	9225.00	cm <sup>4</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,y,max</sub>	5946.75	cm <sup>3</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,z,max</sub>	1883.25	cm <sup>3</sup>
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W <sub>pl,ω</sub>	36900.00	cm <sup>4</sup>
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,y,max</sub>	1.175	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,z,max</sub>	1.562	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,ω</sub>	1.500	
Knicklinie nach DIN	KL <sub>y,DIN</sub>	b	
Knicklinie nach DIN	KL <sub>z,DIN</sub>	c	
Knicklinie nach EN	KL <sub>y,EN</sub>	b	
Knicklinie nach EN	KL <sub>z,EN</sub>	c	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>y,EN,S460</sub>	b	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>z,EN,S460</sub>	c	

**Bild 45: Querschnittswerte Diagonalen Q 22**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	60
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Querträger Q 30

■ IS 675/300/10/20/0

### ■ QUERSCHNITTSWERTE

IS 675/300/10/20/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	675.0	mm
Profilbreite	b	300.0	mm
Stegdicke	s	10.0	mm
Flanschdicke	t	20.0	mm
Schweißnahtdicke	a	0.0	mm
Querschnittsfläche	A	183.50	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	A <sub>y</sub>	120.00	cm <sup>2</sup>
Schubfläche	A <sub>z</sub>	63.50	cm <sup>2</sup>
Plastic Shear area	A <sub>pl,y</sub>	120.00	cm <sup>2</sup>
Plastic Shear area	A <sub>pl,z</sub>	65.50	cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	150085.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	9005.29	cm <sup>4</sup>
Polares Trägheitsmoment	I <sub>p</sub>	159090.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	286.0	mm
Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	70.1	mm
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	294.4	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 Steghöhe)	i <sub>cg</sub>	78.7	mm
Querschnittsgewicht	G	144.0	kg/m
Mantelfläche	U	2.530	m <sup>2</sup> /m
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	175.11	cm <sup>4</sup>
Wölbwiderstand bezogen auf M	I <sub>ω</sub>	9.653E+06	cm <sup>6</sup>
Abklingfaktor	λ	0.000265	1/mm
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub>	4446.96	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W <sub>z</sub>	600.35	cm <sup>3</sup>
Wölbwiderstandsmoment	W <sub>ω</sub>	19650.00	cm <sup>4</sup>
Statisches Moment	S <sub>y,max</sub>	2469.03	cm <sup>3</sup>
Statisches Moment	S <sub>z,max</sub>	224.96	cm <sup>3</sup>
Wölbordinate	ω <sub>max</sub>	491.25	cm <sup>2</sup>
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	S <sub>ω,max</sub>	7368.75	cm <sup>4</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,y,max</sub>	4938.06	cm <sup>3</sup>
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,z,max</sub>	915.88	cm <sup>3</sup>
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W <sub>pl,ω</sub>	29475.00	cm <sup>4</sup>
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,y,max</sub>	1.110	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,z,max</sub>	1.526	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,ω</sub>	1.500	
Knicklinie nach DIN	KL <sub>y,DIN</sub>	b	
Knicklinie nach DIN	KL <sub>z,DIN</sub>	c	
Knicklinie nach EN	KL <sub>y,EN</sub>	b	
Knicklinie nach EN	KL <sub>z,EN</sub>	c	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>y,EN,S460</sub>	b	
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>z,EN,S460</sub>	c	

**Bild 46: Querschnittswerte Querträger Q 30**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	61
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Horizontalverband Q 40

HE-A 140		HE-A 140		
QUERSCHNITTSWERTE				
Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	
Profilhöhe	h	133.0	mm	
Profilbreite	b	140.0	mm	
Stegdicke	t <sub>s</sub>	5.5	mm	
Flanschdicke	t <sub>g</sub>	8.5	mm	
Ausrundungsradius	r	12.0	mm	
Querschnittsfläche	A	31.40	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	A <sub>y</sub>	19.85	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	A <sub>z</sub>	6.25	cm <sup>2</sup>	
Wirksame Schubfläche nach EC 3	A <sub>v,y</sub>	24.76	cm <sup>2</sup>	
Wirksame Schubfläche nach EC 3	A <sub>v,z</sub>	10.11	cm <sup>2</sup>	
Stegfläche	A <sub>Steg</sub>	6.38	cm <sup>2</sup>	
Plastische Schubfläche	A <sub>pl,y</sub>	23.80	cm <sup>2</sup>	
Plastische Schubfläche	A <sub>pl,z</sub>	6.85	cm <sup>2</sup>	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	1030.00	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	389.00	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	57.3	mm	
Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	35.2	mm	
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	67.2	mm	
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 Steghöhe)	i <sub>zg</sub>	37.5	mm	
Volumen	V	3140000.0	mm <sup>3</sup> /m	
Querschnittsgewicht	G	24.6	kg/m	
Mantelfläche	U	0.794	m <sup>2</sup> /m	
Profilfaktor	A <sub>m</sub> /V	252.866	1/m	
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	8.16	cm <sup>4</sup>	
Wölbwiderstand	I <sub>ω</sub>	15060.00	cm <sup>6</sup>	
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub>	155.00	cm <sup>3</sup>	
Widerstandsmoment	W <sub>z</sub>	55.60	cm <sup>3</sup>	
Wölbwiderstandsmoment	W <sub>ω</sub>	345.61	cm <sup>4</sup>	
Statisches Moment	S <sub>y,max</sub>	86.70	cm <sup>3</sup>	
Statisches Moment	S <sub>z,max</sub>	20.83	cm <sup>3</sup>	
Wölbordinate	ω <sub>max</sub>	43.58	cm <sup>2</sup>	
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	S <sub>ω,max</sub>	129.64	cm <sup>4</sup>	
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,y</sub>	173.40	cm <sup>3</sup>	
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,z</sub>	84.85	cm <sup>3</sup>	
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W <sub>pl,ω</sub>	518.54	cm <sup>4</sup>	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,y</sub>	1.119		
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,z</sub>	1.526		
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,ω</sub>	1.500		
Knicklinie nach DIN	KL <sub>y,DIN</sub>	b		
Knicklinie nach DIN	KL <sub>z,DIN</sub>	c		
Knicklinie nach EN	KL <sub>y,EN</sub>	b		
Knicklinie nach EN	KL <sub>z,EN</sub>	c		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>y,EN,S460</sub>	a		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>z,EN,S460</sub>	a		
Flanschlochdurchmesser	d <sub>L</sub>	21.0	mm	
Flanschlochabstand	w	81.0	mm	
Flanschlochabstand	w <sub>1</sub>	76.0	mm	
Vollplastische Normalkraft nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	N <sub>pl,d</sub>	685.400	kN	
Vollplastische Querkraft nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	V <sub>pl,z,d</sub>	86.260	kN	
Vollplastisches Biegemoment nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	M <sub>pl,y,d</sub>	37.850	kNm	
Vollplastische Querkraft nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	V <sub>pl,y,d</sub>	299.800	kN	
Vollplastisches Biegemoment nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	M <sub>pl,z,d</sub>	18.510	kNm	
Vollplast. primäres Torsionsmoment nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	M <sub>pl,xp,d</sub>	1.466	kNm	
Vollplast. sekundäres Torsionsmoment nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	M <sub>pl,xs,d</sub>	18.660	kNm	
Vollplastisches Wölbmoment nach DIN 18800-1 für f <sub>y,d</sub> = 21,82 kN/cm <sup>2</sup>	M <sub>pl,ω,d</sub>	1.131	kNm <sup>2</sup>	
Vollplastische Querkraft nach EC 3 für f <sub>y,d</sub> = 21,36 kN/cm <sup>2</sup>	V <sub>pl,z,d</sub> (EC 3)	124.900	kN	
(c/t)-Verhältnis (Gurt)	(c/t) <sub>Gurt</sub>	6.500		
(c/t)-Verhältnis (Steg)	(c/t) <sub>Steg</sub>	16.700		

Bild 47: Querschnittswerte Horizontalverband Q 40

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	62
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Endquerträger Q 50

■ IS 1265/400/40/40/0

■ QUERSCHNITTSWERTE

IS 1265/400/40/40/0

Querschnittwert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	
Profilhöhe	h	1265.0	mm	
Profilbreite	b	400.0	mm	
Stegdicke	s	40.0	mm	
Flanschdicke	t	40.0	mm	
Schweißnahtdicke	a	0.0	mm	
Querschnittsfläche	A	794.00	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	A <sub>y</sub>	320.00	cm <sup>2</sup>	
Schubfläche	A <sub>z</sub>	474.00	cm <sup>2</sup>	
Plastic Shear area	A <sub>pl,y</sub>	320.00	cm <sup>2</sup>	
Plastic Shear area	A <sub>pl,z</sub>	490.00	cm <sup>2</sup>	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>y</sub>	1.756E+06	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I <sub>z</sub>	43298.70	cm <sup>4</sup>	
Polares Trägheitsmoment	I <sub>p</sub>	1.799E+06	cm <sup>4</sup>	
Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	470.2	mm	
Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	73.8	mm	
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	476.0	mm	
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 Steghöhe)	i <sub>zg</sub>	91.8	mm	
Querschnittsgewicht	G	623.3	kg/m	
Mantelfläche	U	4.050	m <sup>2</sup> /m	
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	4212.49	cm <sup>4</sup>	
Wölbwiderstand bezogen auf M	I <sub>ω</sub>	1.601E+08	cm <sup>6</sup>	
Abklingfaktor	λ	0.000319	1/mm	
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub>	27756.50	cm <sup>3</sup>	
Widerstandsmoment	W <sub>z</sub>	2164.93	cm <sup>3</sup>	
Wölbwiderstandsmoment	W <sub>ω</sub>	130667.00	cm <sup>4</sup>	
Statisches Moment	S <sub>y,max</sub>	16821.10	cm <sup>3</sup>	
Statisches Moment	S <sub>z,max</sub>	797.38	cm <sup>3</sup>	
Wölbordinate	ω <sub>max</sub>	1225.00	cm <sup>2</sup>	
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	S <sub>ω,max</sub>	49000.00	cm <sup>4</sup>	
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,y,max</sub>	33642.20	cm <sup>3</sup>	
Plastisches Widerstandsmoment	W <sub>pl,z,max</sub>	3674.00	cm <sup>3</sup>	
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W <sub>pl,ω</sub>	196000.00	cm <sup>4</sup>	
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,y,max</sub>	1.212		
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,z,max</sub>	1.697		
Plastischer Formbeiwert	α <sub>pl,ω</sub>	1.500		
Knicklinie nach DIN	KL <sub>y,DIN</sub>	b		
Knicklinie nach DIN	KL <sub>z,DIN</sub>	c		
Knicklinie nach EN	KL <sub>y,EN</sub>	b		
Knicklinie nach EN	KL <sub>z,EN</sub>	c		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>y,EN,S460</sub>	b		
Knicklinie nach EN für Stahl S 460	KL <sub>z,EN,S460</sub>	c		

**Bild 48: Querschnittswerte Endquerträger Q 50**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	63
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.3.2.3 Querschnittswerte der Verbundquerschnitte

#### Verbundquerschnitt Q 1; Q 2; Q 3:

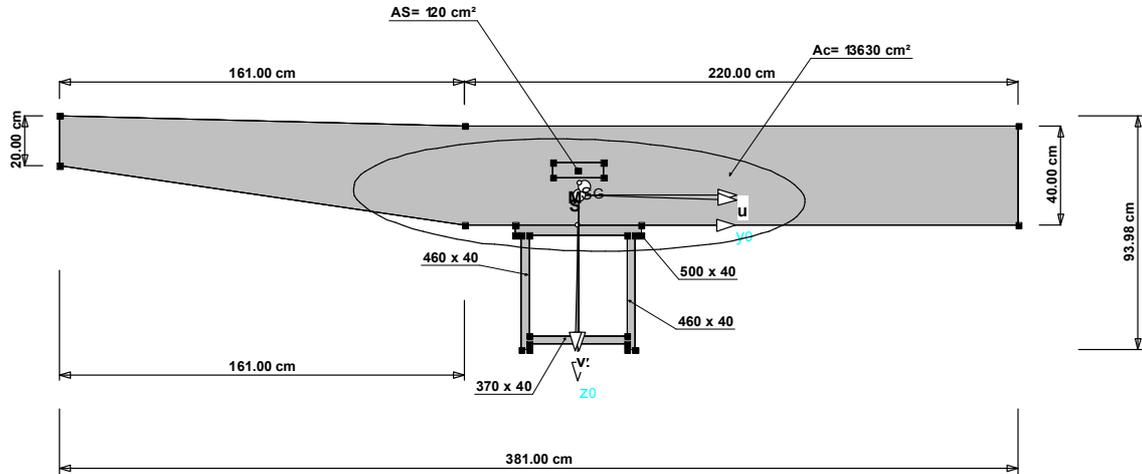


Bild 49: Verbundquerschnitt Q 1; Q 2; Q 3 ( $A_s = 190 \text{ cm}^2$  Rev. 01)

Betonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_c &= 220 \cdot 40 + 161 \cdot 30 &= & 13630 \text{ cm}^2 \\
 z_c & & & -22,2 \text{ cm} \\
 I_c & & & 1769270 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_a &= 2 \cdot 46 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 37 \cdot 4 &= & 716 \text{ cm}^2 \\
 z_a & & & 23,8 \text{ cm} \\
 I_a & & & 233862 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Bewehrungsstahlquerschnitt ( $\varnothing 20$ -12,5 cm oben + unten):

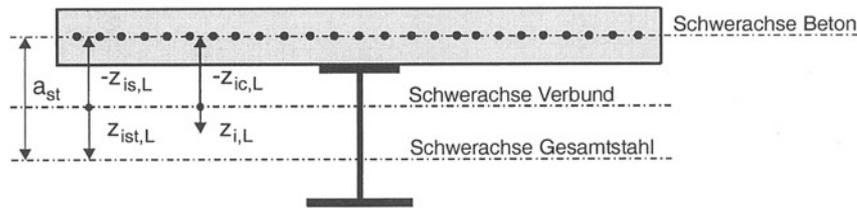
$$\begin{aligned}
 A_s & & & 190 \text{ cm}^2 \\
 \rho_s &= A_s / A_c \cdot 100 &= & 1,394 \% \\
 z_s & & & -22,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Gesamtstahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_{St} &= A_a + A_s &= & 906 \text{ cm}^2 \\
 z_{St} &= (A_a \cdot z_a + A_s \cdot z_s) / (A_{St}) &= & 14,2 \text{ cm} \\
 I_{St} &= I_a + A_a \cdot (z_{St} - z_a)^2 + A_s \cdot (z_{St} - z_s)^2 &= & 551591 \text{ cm}^4 \\
 a_{St} &= z_{St} - z_c &= & 36,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	64
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010



**Bild 50: Definition Schwerachsen [25]**

Verbundquerschnittswerte für Kurzzeitlasten mit  $n_0$

$$\begin{aligned}
 n_0 &= E_a/E_{cm} &= & 7,02 \\
 A_{c,0} &= A_c/n_0 &= & 1941,6 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,0} &= I_c/n_0 &= & 252033 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,0} &= A_{St}+A_{c,0} &= & 2847,6 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,0} &= -A_{St} \cdot a_{St}/A_{i,0} &= & -11,6 \text{ cm} \\
 I_{i,0} &= I_{St}+I_{c,0}+A_{St} \cdot A_{c,0} \cdot a_{St}^2/A_{i,0} &= & 1622111 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für ständige Einwirkungen mit  $n_p$

$$\begin{aligned}
 n_p &= n_0 \cdot (1+1,1 \cdot 1,5) &= & 18,60 \\
 A_{c,p} &= A_c/n_p &= & 732,8 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,p} &= I_c/n_p &= & 95122 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,p} &= A_{St}+A_{c,p} &= & 1638,8 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,p} &= -A_{St} \cdot a_{St}/A_{i,p} &= & -20,1 \text{ cm} \\
 I_{i,p} &= I_{St}+I_{c,p}+A_{St} \cdot A_{c,p} \cdot a_{St}^2/A_{i,p} &= & 1183486 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für zeitabhängige sekundäre Einwirkungen mit  $n_{pT}$

$$\begin{aligned}
 n_{pT} &= n_0 \cdot (1+0,55 \cdot 1,5) &= & 12,81 \\
 A_{c,pT} &= A_c/n_{pT} &= & 1064,0 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,pT} &= I_c/n_{pT} &= & 138116 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,pT} &= A_{St}+A_{c,pT} &= & 1970,0 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,pT} &= -A_{St} \cdot a_{St}/A_{i,pT} &= & -16,7 \text{ cm} \\
 I_{i,pT} &= I_{St}+I_{c,pT}+A_{St} \cdot A_{c,pT} \cdot a_{St}^2/A_{i,pT} &= & 1338052 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für Schwinden mit  $n_s$

$$\begin{aligned}
 n_s &= n_0 \cdot (1+0,55 \cdot 2,8) &= & 17,83 \\
 A_{c,s} &= A_c/n_s &= & 764,4 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,s} &= I_c/n_s &= & 99230 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,s} &= A_{St}+A_{c,s} &= & 1670,4 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,s} &= -A_{St} \cdot a_{St}/A_{i,s} &= & -19,7 \text{ cm} \\
 I_{i,s} &= I_{St}+I_{c,s}+A_{St} \cdot A_{c,s} \cdot a_{St}^2/A_{i,s} &= & 1200148 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Querschnittsgrößen	65
Vorgang:	Ermittlung der Querschnittsgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.4 Schnittgrößenermittlung

#### 3.4.1 Charakteristische Werte der Schnittgrößen

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt rechnergestützt linear elastisch mit dem Programm R-STAB der Firma Dlubal.

Aufgrund des Bauablaufes und der zeit- und lastfallabhängigen Querschnittswerte sind unterschiedliche statische Systeme zu untersuchen.

Nachfolgend werden die Systeme und Lastfälle beschrieben. Die maßgebenden Schnittkräfte werden tabellarisch lastfallweise zusammengestellt.

Die Eingabedaten der einzelnen Systeme und Lastfälle sind in der Anlage zur Statik dokumentiert.

#### **Übersicht der verwendeten Lastfälle**

<b>Lastfall</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Steifigkeit</b>
1	Konstruktionseigengewicht Baustahl	$E_a I_a$
2	Konstruktionseigengewicht Frischbeton	$E_a I_a$
3	Schalung	$E_a I_a$
4	Abbinden und Ausschalen	$E_a I_{i,0}$
5	Freisetzen der Hilfsstützen	$E_a I_{i,0}$
6	Eigengewicht der Fahrbahn und Kappen $t=0$	$E_a I_{i,0}$
7	Eigengewicht der Fahrbahn und Kappen $t=\infty$	$E_a I_{i,p}$
10	Temperatur - konstant Erwärmung	$E_a I_{i,0}$
11	Temperatur - konstant Abkühlung	$E_a I_{i,0}$
12	Temperatur - konstant UG +15 K	$E_a I_{i,0}$
13	Temperatur - konstant UG -15 K	$E_a I_{i,0}$
14	Temperatur - linear OG +12 K	$E_a I_{i,0}$
15	Temperatur - linear OG -22 K	$E_a I_{i,0}$
16	Temperatur - Lagerlängskraft $P_{tk}$	$E_a I_{i,0}$
20	Wind mit Verkehr in +y	$E_a I_{i,0}$
21	Wind mit Verkehr in -y	$E_a I_{i,0}$
22	Wind im Bauzustand in +y	$E_a I_{i,0}$
23	Wind im Bauzustand in -y	$E_a I_{i,0}$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	66
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Lastfall	Beschreibung	Steifigkeit
30	Verkehrslast - LM 71, links, e=0 cm	$E_a I_{i,0}$
31	Verkehrslast - LM 71, mitte, e=0 cm	$E_a I_{i,0}$
32	Verkehrslast - LM 71, rechts, e=0 cm	$E_a I_{i,0}$
33	Verkehrslast - LM 71, links, e=+8 cm	$E_a I_{i,0}$
34	Verkehrslast - LM 71, mitte, e=+8 cm	$E_a I_{i,0}$
35	Verkehrslast - LM 71, rechts, e=+8 cm	$E_a I_{i,0}$
40	Verkehrslast - LM SW/2, links	$E_a I_{i,0}$
41	Verkehrslast - LM SW/2, mitte	$E_a I_{i,0}$
42	Verkehrslast - LM SW/2, mitte	$E_a I_{i,0}$
43	Verkehrslast - LM SW/2, mitte	$E_a I_{i,0}$
44	Verkehrslast - LM SW/2, rechts	$E_a I_{i,0}$
50	Verkehrslast - Gehweg Personenlast, links	$E_a I_{i,0}$
51	Verkehrslast - Gehweg Personenlast, rechts	$E_a I_{i,0}$
52	Verkehrslast - Gehweg Bbf, links, links	$E_a I_{i,0}$
53	Verkehrslast - Gehweg Bbf, links, mitte	$E_a I_{i,0}$
54	Verkehrslast - Gehweg Bbf, links, rechts	$E_a I_{i,0}$
55	Verkehrslast - Gehweg Bbf, rechts, links	$E_a I_{i,0}$
56	Verkehrslast - Gehweg Bbf, rechts, mitte	$E_a I_{i,0}$
57	Verkehrslast - Gehweg Bbf, rechts, rechts	$E_a I_{i,0}$
60	Verkehrslast - LM unbelasteter Zug	$E_a I_{i,0}$
70	Verkehrslast - Seitenstoß in +y	$E_a I_{i,0}$
71	Verkehrslast - Seitenstoß in -y	$E_a I_{i,0}$
72	Verkehrslast - Anfahren und Bremsen LM 71 +x	$E_a I_{i,0}$
73	Verkehrslast - Anfahren und Bremsen LM 71 -x	$E_a I_{i,0}$
74	Verkehrslast - Anfahren und Bremsen LM SW/2+x	$E_a I_{i,0}$
75	Verkehrslast - Anfahren und Bremsen LM SW/2 -x	$E_a I_{i,0}$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	67
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Lastfall	Beschreibung	Steifigkeit
80	Außergewöhnlich - Situation I, links, e=+1,40 m	$E_a I_{i,0}$
81	Außergewöhnlich - Situation I, mitte, e=+1,40 m	$E_a I_{i,0}$
82	Außergewöhnlich - Situation I, rechts, e=+1,40 m	$E_a I_{i,0}$
83	Außergewöhnlich - Situation I, links, e=-1,40 m	$E_a I_{i,0}$
84	Außergewöhnlich - Situation I, mitte, e=-1,40 m	$E_a I_{i,0}$
85	Außergewöhnlich - Situation I, rechts, e=-1,40 m	$E_a I_{i,0}$
90	Außergewöhnlich - Situation II, links, e=+2,10 m	$E_a I_{i,0}$
91	Außergewöhnlich - Situation II, mitte, e=+2,10 m	$E_a I_{i,0}$
92	Außergewöhnlich - Situation II, rechts, e=+2,10 m	$E_a I_{i,0}$
93	Außergewöhnlich - Situation II, links, e=-2,10 m	$E_a I_{i,0}$
94	Außergewöhnlich - Situation II, mitte, e=-2,10 m	$E_a I_{i,0}$
95	Außergewöhnlich - Situation II, rechts, e=-2,10 m	$E_a I_{i,0}$
100	Zwang - Kriechen, Betonierlasten	$E_a I_{i,PT}$
101	Zwang - Kriechen, Betonierlasten	$E_a I_{i,PT}$
102	Zwang - Kriechen, Ausbaulasten	$E_a I_{i,PT}$
103	Zwang - Kriechen, Ausbaulasten	$E_a I_{i,PT}$
105	Zwang - Schwinden	$E_a I_{i,S}$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	68
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### **3.4.1.1 Stahlträgereigengewicht, Betonierlasten und Wind im Bauzustand**

Das Konstruktionseigengewicht des Baustahls, des Frischbetons und der Schalung wirken auf den Stahlquerschnitt des Überbaus.

In diesem Zustand wird der Überbau durch die Hilfsstütze unterstützt.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_a$

LF 1 - Konstruktionseigengewicht Baustahl

LF 2 - Konstruktionseigengewicht Frischbeton

LF 3 - Schalung

LF 22 / 23 - Wind im Bauzustand in +y/-y

### **3.4.1.2 Abbinden und Ausschalen der Fahrbahnplatte**

Die Einwirkungen aus Abbinden und Ausschalen wirken auf den Verbundquerschnitt.

In diesem Zustand wird der Überbau noch durch die Hilfsstütze unterstützt.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,0}$

LF 4 - Abbinden und Ausschalen

### **3.4.1.3 Freisetzen der Hilfsstützen**

Die Auflagerkraft der Hilfsstützen aus den Lastfällen 1-4 wird beim Entfernen der Lager als äußere Last in den Lagerknoten angesetzt.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,0}$

LF 5 - Freisetzen der Hilfsstützen

### **3.4.1.4 Ausbaulasten zum Zeitpunkt $t=0$**

Das Eigengewicht der Fahrbahn und der Kappen wird aufgebracht.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,0}$

LF 6 - Eigengewicht der Fahrbahn und der Kappen,  $t=0$

### **3.4.1.5 Ausbaulasten zum Zeitpunkt $t=\infty$**

Die Schnittgrößen infolge der Ausbaulasten zum Zeitpunkt  $t=\infty$ , sind unter Berücksichtigung der Kriecheinflüsse zu ermitteln.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,p}$

LF 7 - Eigengewicht der Fahrbahn und der Kappen,  $t=\infty$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	69
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### **3.4.1.6 Temperatur und Wind**

Konstante und lineare Temperatureinwirkungen werden betrachtet und die Beanspruchungen infolge Wind in Brückenquerrichtung wird untersucht.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,0}$

LF 10 - Temperatur - konstant Erwärmung  
 LF 11 - Temperatur - konstant Abkühlung  
 LF 12 - Temperatur - konstant UG +15 K  
 LF 13 - Temperatur - konstant UG -15 K  
 LF 14 - Temperatur - linear OG +12 K  
 LF 15 - Temperatur - linear OG -22 K  
 LF 16 - Temperatur - Lagerlängskraft  $P_{tk}$   
 LF 20/21 - Wind mit Verkehr in +y/-y

### **3.4.1.7 Verkehrslasten**

Einwirkungen infolge Zugverkehr und Brückenunterhaltung.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,0}$

LF 30-32 - Verkehrslast - LM 71,  $e=0$  cm  
 LF 33-35 - Verkehrslast - LM 71,  $e=+8$  cm  
 LF 40-44 - Verkehrslast - LM SW/2  
 LF 50-51 - Verkehrslast - Gehweg Personenlast  
 LF 52-57 - Verkehrslast - Gehweg Bbf  
 LF 60 - Verkehrslast - LM unbeladener Zug  
 LF 70/71 - Verkehrslast - Seitenstoß +y/-y  
 LF 72/73 - Verkehrslast - Anfahren und Bremsen LM 71 +x/-x  
 LF 74/75 - Verkehrslast - Anfahren und Bremsen LM SW/2 +x/-x  
 LF 80-82 - Außergewöhnlich - Situation I,  $e=+1,40$  m  
 LF 83-85 - Außergewöhnlich - Situation I,  $e=-1,40$  m  
 LF 90-92 - Außergewöhnlich - Situation II,  $e=+2,10$  m  
 LF 93-95 - Außergewöhnlich - Situation II,  $e=-2,10$  m

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	70
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.4.1.8 Zwangsschnittgrößen aus Kriechen

Sekundäre Zwangsschnittgrößen aus dem Kriechen infolge der auf den Verbundquerschnitt wirkenden Betonier- und Ausbaulasten.

Die auf den Verbundquerschnitt wirkenden Betonierlasten ergeben sich aus der Superposition der Lastfälle 4 und 5.

Die zeitlich veränderlichen Zwangsschnittgrößen werden mit Hilfe von äquivalenten Temperaturlastfällen berechnet. Die Krümmungsänderung wird durch einen Temperaturunterschied  $\Delta t_{cr}$  erfasst.

Analog dazu werden Dehnungsänderungen durch eine Temperaturschwankung  $\Delta T$  berücksichtigt. Aus dem Versatz der Schwerachsen  $\Delta z = z_{ic,0} - z_{ic,p} = 0,085$  m resultiert eine zusätzliche Momentenbeanspruchung.

#### LF 100-101 - Kriechen infolge Betonierlasten

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,PT}$

Krümmungsänderung:

$$\Delta \kappa_{cr} = M_{P,0} / (E_a \cdot I_{i,P}) \cdot (1 - I_{i,P} / I_{i,0}) = \alpha_T \cdot \Delta t_{cr} / h$$

$$\Delta t_{cr} = M_{P,0} / (E_a \cdot I_{i,P}) \cdot (1 - I_{i,P} / I_{i,0}) \cdot h / \alpha_T$$

$$\Delta t_{cr} = 0,008 \cdot M_{P,0}$$

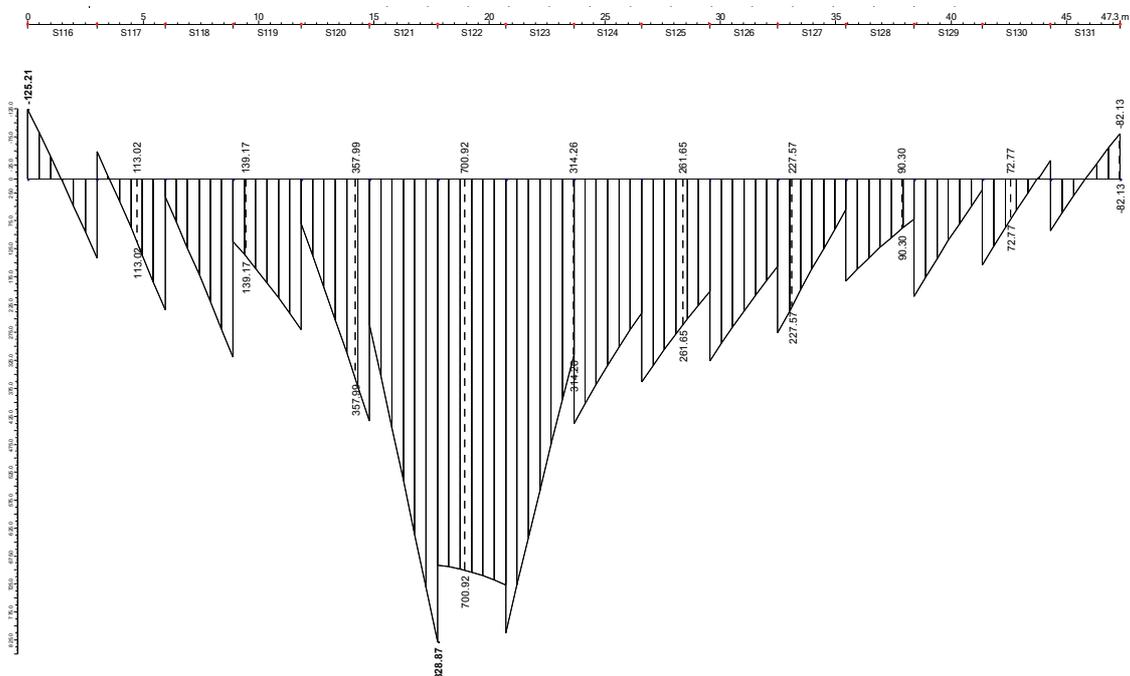


Bild 51: Momentenverlauf  $M_{p,0}$  infolge Betonierlasten auf den Verbundquerschnitt

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	71
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

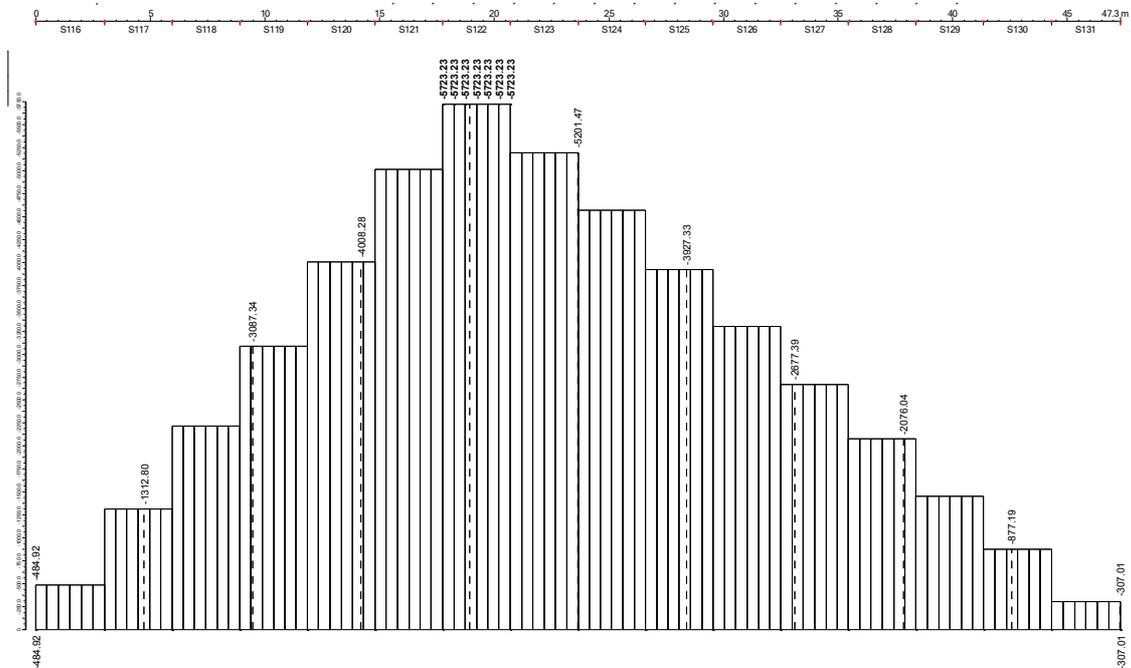
Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Dehnungsänderung:

$$\Delta \varepsilon_{cr} = N_{P,0} / (E_a \cdot A_{i,P}) \cdot (1 - A_{i,P} / A_{i,0}) = \alpha_T \cdot \Delta T_{cr}$$

$$\Delta T_{cr} = N_{P,0} / (E_a \cdot A_{i,P}) \cdot (1 - A_{i,P} / A_{i,0}) / \alpha_T$$

$$\Delta T_{cr} = 0,001 \cdot N_{P,0}$$



**Bild 52: Normalkraftverlauf  $N_{p,0}$  infolge Betonierlasten auf den Verbundquerschnitt**

Zwang infolge Versatz der Schwerachsen:

$$\Delta z = -(z_{ic,0} - z_{ic,p}) = -0,085 \text{ m}$$

$$\Delta M_{P,0} = N_{P,0} \cdot \Delta z$$

$$\Delta t_{cr} = \Delta M_{P,0} / (E_a \cdot I_{i,P}) \cdot h / \alpha_T$$

$$\Delta t_{cr} = -0,0026 \cdot N_{P,0}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	72
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### LF 102-103 - Kriechen infolge Ausbaulasten

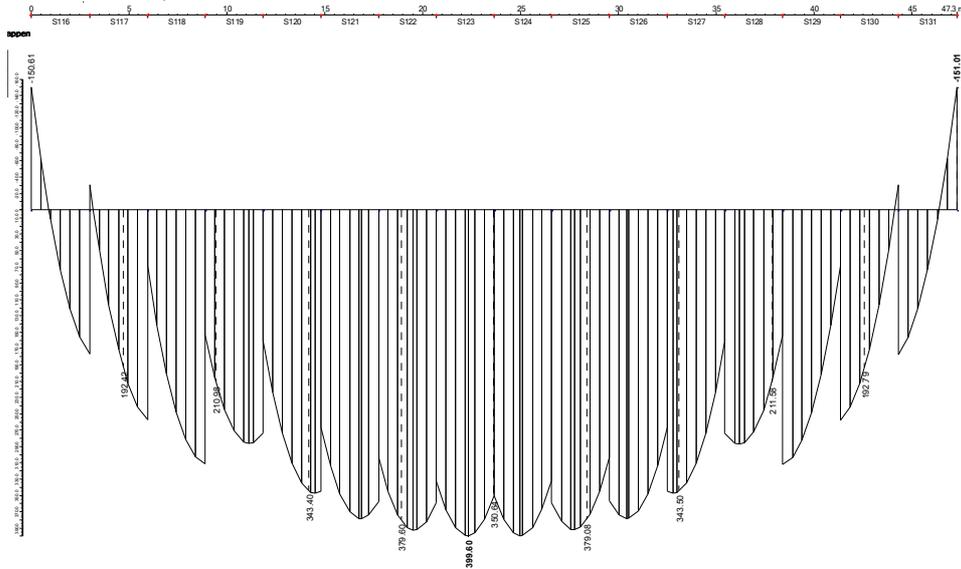
Vorgehen analog zu Lastfall 100-101.

Die auf den Verbundquerschnitt wirkenden Ausbaulasten sind mit Lastfall 6 definiert.

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,PT}$

Krümmungsänderung:

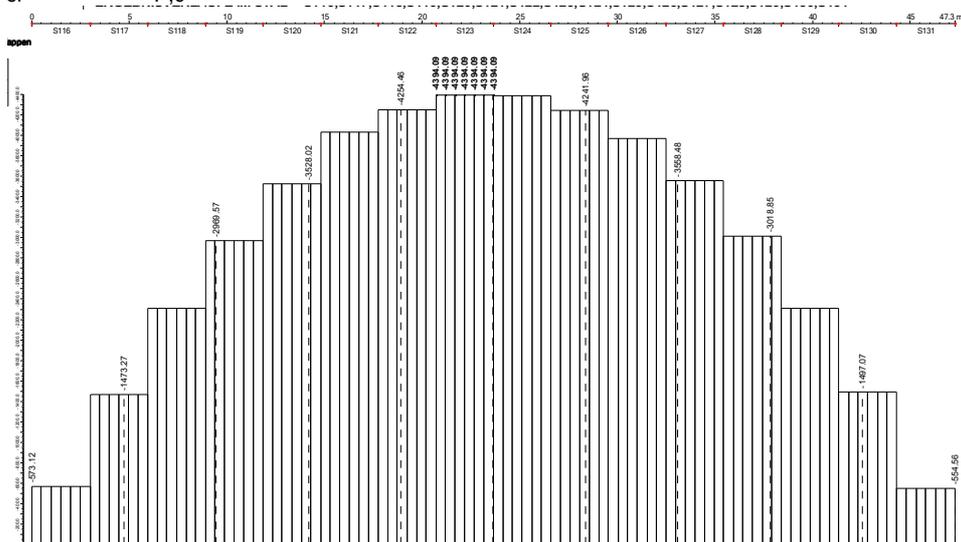
$$\Delta t_{cr} = 0,008 * M_{P,0}$$



**Bild 53: Momentenverlauf  $M_{p,0}$  infolge Ausbaulasten auf den Verbundquerschnitt**

Dehnungsänderung:

$$\Delta T_{cr} = 0,001 * N_{P,0}$$



**Bild 54: Normalkraftverlauf infolge Ausbaulasten auf den Verbundquerschnitt**

Zwang infolge Versatz der Schwerachsen:

$$\Delta t_{cr} = -0,0026 * N_{P,0}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	73
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.4.1.9 Zwangsschnittgrößen aus Schwinden

Schwinden des Betons ruft Eigenspannungen im Querschnitt und Krümmungen des Verbundquerschnittes hervor.

LF 105 - Schwinden

Schwindkraft:

$$N_{sh} = -\varepsilon_{cs,\infty} \cdot E_a / n_s \cdot A_c$$

$$N_{sh} = 0,00038 \cdot 21000 / 17,83 \cdot 13630 = 6100 \text{ kN}$$

Schwindmoment:

$$M_{sh} = -N_{sh} \cdot z_{ic,S} / 100 = 1202 \text{ kNm}$$

Die zeitlich veränderlichen Zwangsschnittgrößen werden mit Hilfe von äquivalenten Temperaturlastfällen berechnet. Die Krümmungsänderung wird durch einen Temperaturunterschied  $\Delta t_{cr}$  erfasst. Analog dazu werden Dehnungsänderungen durch eine Temperaturschwankung  $\Delta T$  berücksichtigt.

Krümmungsänderung:

$$\Delta \kappa_{cr} = M_{sh} / (E_a \cdot I_{i,S}) = \alpha_T \cdot \Delta t_{sh} / h$$

$$\Delta t_{sh} = M_{sh} / (E_a \cdot I_{i,S}) \cdot h / \alpha_T$$

$$\Delta t_{sh} = 6100 \cdot 100 / (21000 \cdot 1200000) \cdot 90 / 10^{-5} = 42,9 \text{ K}$$

(Unterseite wärmer als Oberseite)

Dehnungsänderung:

$$\Delta \varepsilon_{sh} = N_{sh} / (E_a \cdot A_{i,S}) = \alpha_T \cdot \Delta T_{sh}$$

$$\Delta T_{sh} = -N_{sh} / (E_a \cdot A_{i,S} \cdot \alpha_T)$$

$$\Delta T_{sh} = -6100 / (21000 \cdot 1670 \cdot 10^{-5}) = -17,4 \text{ K}$$

Steifigkeit des Fachwerkobergurtes:  $E_a I_{i,S}$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	74
Vorgang:	Charakteristische Werte der Schnittgrößen	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### **3.4.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit**

Teilsicherheitsbeiwerte gemäß [2]

Dynamischer Beiwert  $\Phi_2 = 1,04$  ist bereits bei Lastgruppen  $Q_{k,gr1}$  berücksichtigt

In den Kombinationen werden die Ergebnisse verschiedener Positionen (Bauzustände) überlagert. Im Programm RSTAB werden dafür "Superkombinationen" (SK) definiert (siehe Ausdruckprotokoll).

#### **Ständige, vorübergehende Bemessungssituation**

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Zeitpunkt:  $t = 0$  d (Bauzustand)

$$1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind}$$

Zeitpunkt:  $t = 28$  d (Nutzungsbeginn); SK 1-7

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr11} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr12} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr13} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr14} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur}$$

$$1,00 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr15} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,20 \cdot Q_{k,gr16} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,20 \cdot Q_{k,gr17} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur}$$

Zeitpunkt:  $t = \infty$  (Endzustand); SK 11-17

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr11} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,0 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr12} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,0 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr13} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,0 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr14} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,0 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

$$1,00 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr15} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,0 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,20 \cdot Q_{k,gr16} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,0 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,20 \cdot Q_{k,gr17} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,0 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	75
Vorgang:	Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$\gamma_{GA} * G_k + A_d + \psi_{11} * Q_{k1} + \sum \psi_{2i} * Q_{ki}$$

Zeitpunkt  $t = 28$  (Nutzungsbeginn); SK 21-24

$$1,00 * G_k + A_{d1} + 0,50 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$1,00 * G_k + A_{d1} + 0,50 * Q_{k,Wind} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$1,00 * G_k + A_{d2} + 0,50 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$1,00 * G_k + A_{d2} + 0,50 * Q_{k,Wind} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

Zeitpunkt:  $t = \infty$  (Endzustand); SK 25-28

$$1,00 * G_k + A_{d1} + 0,50 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$1,00 * G_k + A_{d1} + 0,50 * Q_{k,Wind} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$1,00 * G_k + A_{d2} + 0,50 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$1,00 * G_k + A_{d2} + 0,50 * Q_{k,Wind} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	76
Vorgang:	Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.4.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Teilsicherheitsbeiwerte gemäß [2]

Dynamischer Beiwert  $\Phi_2 = 1,04$  ist bereits bei Lastgruppen  $Q_{k,gr1}$  berücksichtigt

In den Kombinationen werden die Ergebnisse verschiedener Positionen (Bauzustände) überlagert. Im Programm RSTAB werden dafür "Superkombinationen" (SK) definiert (siehe Ausdruckprotokoll).

#### **Seltene Bemessungssituation**

$$G_k + Q_{k1} + \sum \psi_{0i} * Q_{ki}$$

Zeitpunkt:  $t = 28$  d (Nutzungsbeginn); SK 31-37

$$G_k + Q_{k,gr11} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr12} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr13} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,8 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr14} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr15} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr16} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,8 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr17} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,8 * Q_{k,Temperatur}$$

Zeitpunkt:  $t = \infty$  (Endzustand); SK 41-47

$$G_k + Q_{k,gr11} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr12} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr13} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,8 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr14} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr15} + 0,9 * Q_{k,Wind} + 0,8 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr16} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,8 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr17} + 0,8 * Q_{k,Gehweg} + 0,8 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	77
Vorgang:	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Häufige Bemessungssituation

$$G_k + \psi_{11} * Q_{k1} + \sum \psi_{2i} * Q_{ki}$$

Zeitpunkt:  $t = 28 \text{ d}$  (Nutzungsbeginn); SK 51-57

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr11} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr12} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr13} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr14} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr15} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr16} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr17} + 0,5 * Q_{k,Temperatur}$$

Zeitpunkt:  $t = \infty$  (Endzustand); SK 61-67

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr11} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr12} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr13} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr14} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr15} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr16} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + 0,8 * Q_{k,gr17} + 0,5 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	78
Vorgang:	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Nicht-häufige Bemessungssituation

$$G_k + \psi_1' * Q_{k1} + \sum \psi_{1i} * Q_{ki}$$

Zeitpunkt:  $t = 28 \text{ d}$  (Nutzungsbeginn); SK 71-77

$$G_k + Q_{k,gr11} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr12} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr13} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,6 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr14} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr15} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr16} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,6 * Q_{k,Temperatur}$$

$$G_k + Q_{k,gr17} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,6 * Q_{k,Temperatur}$$

Zeitpunkt:  $t = \infty$  (Endzustand); SK 81-87

$$G_k + Q_{k,gr11} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr12} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr13} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,6 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr14} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr15} + 0,5 * Q_{k,Wind} + 0,6 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr16} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,6 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr17} + 0,5 * Q_{k,Gehweg} + 0,6 * Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	79
Vorgang:	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.4.4 Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte

Q 1 - Verbundträger

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Auf Baustahlquerschnitt	1300	-1400	90	-100	60	-150
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	-6200	-10000	300	-240	1190	210
10-15	Temperatur - Kombination 1	230	-360			600	-1050
10-15	Temperatur - Kombination 2	300	-400			580	-920
20-21	Wind mit Verkehr	1050	-1050	15	-15	10	-10
22-23	Wind im Bauzustand	60	-60	5	-5	10	-10
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	-2550	-4500	150	-150	440	120
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	-2600	-4500	150	-150	440	120
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	-1100	-2400	80	-80	220	60
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	-1200	-2400	80	-80	230	60
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbeladener Zug	-30	-880	30	-30	60	15
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	-3550	-5600	210	-200	510	110
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	-3550	-5550	210	-190	510	110
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	-400	-500	20	-20	45	15
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	-70	-460	60	-90	80	0
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	-1550	-3400	170	-170	380	80
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	-800	-3950	240	-240	440	5
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	-190	-330	50	-70	-590	-1140
105	Zwang - Schwinden	-370	-370			-1260	-1260
<b>GZT</b>							
<b>S<sub>d</sub></b>	t= 0d	<b>1800</b>	<b>-1950</b>	<b>110</b>	<b>-130</b>	<b>85</b>	<b>-210</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= 28d	<b>-6050</b>	<b>-21300</b>	<b>730</b>	<b>-650</b>	<b>2760</b>	<b>-930</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= unendlich	<b>-6700</b>	<b>-22000</b>	<b>640</b>	<b>-620</b>	<b>10</b>	<b>-3150</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe außergewöhnlich	<b>-6850</b>	<b>-14500</b>	<b>610</b>	<b>-500</b>	<b>1800</b>	<b>-2290</b>
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3; yF= 1,35	1755	-1890	122	-135	81	-203
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6; yF= 1,35	-8370	-13500	405	-324	1607	284
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	1500	-8900	290	-330	1370	-1130
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Außergewöhnlich LF 80-95	-800	-3950	240	-240	440	5
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103; yF= 1,35	-257	-446	68	-95	-797	-1539
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105; yF= 1,0	-370	-370	0	0	-1260	-1260
<b>GZG Selten</b>							
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= 28d	<b>-6500</b>	<b>-15350</b>	<b>560</b>	<b>-490</b>	<b>2090</b>	<b>-640</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= unendlich	<b>-7050</b>	<b>-16000</b>	<b>500</b>	<b>-440</b>	<b>-270</b>	<b>-2610</b>
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	1300	-1400	90	-100	60	-150
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-6200	-10000	300	-240	1190	210
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	1000	-6300	230	-230	1030	-840
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-190	-330	50	-70	-590	-1140
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-370	-370	0	0	-1260	-1260
<b>GZG Häufig</b>							
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= 28d	<b>-7250</b>	<b>-13750</b>	<b>510</b>	<b>-440</b>	<b>1790</b>	<b>-320</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= unendlich	<b>-7850</b>	<b>-14400</b>	<b>450</b>	<b>-390</b>	<b>-580</b>	<b>-2290</b>
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	1300	-1400	90	-100	60	-150
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-6200	-10000	300	-240	1190	210
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	150	-4650	170	-160	710	-530
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-190	-330	50	-70	-590	-1140
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-370	-370	0	0	-1260	-1260
<b>GZG Nicht-häufig</b>							
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= 28d	<b>-6800</b>	<b>-15150</b>	<b>560</b>	<b>-480</b>	<b>1960</b>	<b>-430</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= unendlich	<b>-7400</b>	<b>-15800</b>	<b>500</b>	<b>-440</b>	<b>-400</b>	<b>-2400</b>
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	1300	-1400	90	-100	60	-150
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-6200	-10000	300	-240	1190	210
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	580	-6050	220	-200	890	-630
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-190	-330	50	-70	-590	-1140
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-370	-370	0	0	-1260	-1260
<b>Ermüdung Nicht-häufig</b>							
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= unendlich; T positiv	<b>-7850</b>	<b>-14000</b>	<b>400</b>	<b>270</b>	<b>-1070</b>	<b>-1770</b>
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	1300	-1400	90	-100	60	-150
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-6200	-10000	300	-240	1190	210
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Veränderlich LM 71 + Temperatur pos	130	-4050	140	-140	780	350
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-190	-330	50	-70	-590	-1140
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-370	-370			-1260	-1260
<b>Ermüdung Nicht-häufig</b>							
<b>S<sub>d</sub></b>	Summe t= unendlich; T negativ	<b>-7950</b>	<b>-14200</b>	<b>400</b>	<b>270</b>	<b>-1400</b>	<b>-2400</b>
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	1300	-1400	90	-100	60	-150
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-6200	-10000	300	-240	1190	210
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Veränderlich LM 71 + Temperatur neg	-110	-4300	140	-140	-130	-630
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-190	-330	50	-70	-590	-1140
<b>S<sub>d,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-370	-370	0	0	-1260	-1260

Tabelle 4: Schnittgrößen - Fachwerkobergurt Q 1

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	80
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Q 2 - Verbundträger

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min
1-3 4-6	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl Ständig - Auf Verbundquerschnitt	-200 -2300	-1450 -6200	80 270	-70 -240	60 500	-30 -80
10-15 10-15	Temperatur - Kombination 1 Temperatur - Kombination 2	220 300	-360 -400	30 25	-30 -25	650 640	-1120 -990
20-21 22-23	Wind mit Verkehr Wind im Bauzustand	780 30	-780 -30	15 5	-15 -5	10 5	-10 -5
30-35; 70-73 30-35; 70-73 30-35; 70-73 30-35; 70-73 60; 70-73 40-44; 70-71; 74-75 40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 11 - LM 71 Lastgruppe 12 - LM 71 Lastgruppe 13 - LM 71 Lastgruppe 14 - LM 71 Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug Lastgruppe 16 - LM SW/2 Lastgruppe 17 - LM SW/2	-800 -1000 -240 -400 200 -950 -1200	-3150 -3000 -1750 -1650 -750 -4300 -4100	210 210 110 110 30 260 250	-210 -210 -110 -110 -30 -250 -250	290 290 150 150 40 400 400	-60 -50 -40 -30 -30 -100 -80
50-51 52-57	Verkehr - Gehweg, Personenlast Verkehr - Gehweg, Bbf	-170 20	-350 -290	20 40	-20 -70	40 80	-5 -20
80-85 90-95	Außergewöhnlich - Situation 1 Außergewöhnlich - Situation 2	-500 -160	-2400 -2750	230 290	-230 -290	260 350	-40 -40
100-103 105	Zwang - Kriechen, ständige Lasten Zwang - Schwinden	-70 -360	-190 -370	60 50	-70 -50	-180 -1250	-700 -1380
<b>GZT</b>	<b>t= 0d</b>	<b>-250</b>	<b>-1950</b>	<b>110</b>	<b>-100</b>	<b>90</b>	<b>-40</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	<b>Summe t= 28d</b>	<b>-2250</b>	<b>-14800</b>	<b>850</b>	<b>-780</b>	<b>2000</b>	<b>-1450</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	<b>Summe t= unendlich</b>	<b>-2750</b>	<b>-15400</b>	<b>800</b>	<b>-750</b>	<b>-10</b>	<b>-3110</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	<b>Summe außergewöhnlich</b>	<b>-2750</b>	<b>-10250</b>	<b>650</b>	<b>-600</b>	<b>1240</b>	<b>-2280</b>
<b>S<sub>a,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3; yF= 1,35	-270	-1958	108	-95	81	-41
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6; yF= 1,35	-3105	-8370	365	-324	675	-108
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	1300	-6100	400	-390	1170	-1330
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Außergewöhnlich LF 80-95	-160	-2750	290	-290	350	-40
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103; yF= 1,35	-95	-257	81	-95	-243	-945
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105; yF= 1,0	-360	-370	50	-50	-1250	-1380
<b>GZG Selten</b>	<b>Summe t= 28d</b>	<b>-2500</b>	<b>-11250</b>	<b>630</b>	<b>-580</b>	<b>1530</b>	<b>-1090</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	<b>Summe t= unendlich</b>	<b>-2950</b>	<b>-11800</b>	<b>610</b>	<b>-570</b>	<b>-300</b>	<b>-2670</b>
<b>S<sub>a,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	-200	-1450	80	-70	60	-30
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-2300	-6200	270	-240	500	-80
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	900	-4850	300	-290	910	-990
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-70	-190	60	-70	-180	-700
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-360	-370	50	-50	-1250	-1380
<b>GZG Häufig</b>	<b>Summe t= 28d</b>	<b>-2900</b>	<b>-10000</b>	<b>550</b>	<b>-500</b>	<b>1240</b>	<b>-730</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	<b>Summe t= unendlich</b>	<b>-3350</b>	<b>-10550</b>	<b>530</b>	<b>-490</b>	<b>-580</b>	<b>-2320</b>
<b>S<sub>a,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	-200	-1450	80	-70	60	-30
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-2300	-6200	270	-240	500	-80
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	250	-3600	220	-210	620	-640
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-70	-190	60	-70	-180	-700
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-360	-370	50	-50	-1250	-1380
<b>GZG Nicht-häufig</b>	<b>Summe t= 28d</b>	<b>-2750</b>	<b>-11050</b>	<b>620</b>	<b>-570</b>	<b>1400</b>	<b>-860</b>
<b>S<sub>d</sub></b>	<b>Summe t= unendlich</b>	<b>-3200</b>	<b>-11600</b>	<b>600</b>	<b>-560</b>	<b>-430</b>	<b>-2450</b>
<b>S<sub>a,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	-200	-1450	80	-70	60	-30
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-2300	-6200	270	-240	500	-80
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Veränderlich LF 10-57	600	-4650	290	-280	780	-770
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-70	-190	60	-70	-180	-700
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-360	-370	50	-50	-1250	-1380
<b>Ermüdung Nicht-häufig</b>	<b>Summe t= unendlich; T positiv</b>	<b>-3450</b>	<b>-9750</b>	<b>520</b>	<b>300</b>	<b>-1060</b>	<b>-1710</b>
<b>S<sub>a,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	-200	-1450	80	-70	60	-30
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-2300	-6200	270	-240	500	-80
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Veränderlich LM 71 + Temperatur pos	110	-2650	210	-210	640	350
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-70	-190	60	-70	-180	-700
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-360	-370	50	-50	-1250	-1380
<b>Ermüdung Nicht-häufig</b>	<b>Summe t= unendlich; T negativ</b>	<b>-3600</b>	<b>-9900</b>	<b>530</b>	<b>310</b>	<b>-1480</b>	<b>-2380</b>
<b>S<sub>a,Ed</sub></b>	Ständig LF 1-3	-200	-1450	80	-70	60	-30
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Ständig LF 4-6	-2300	-6200	270	-240	500	-80
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Veränderlich LM 71 + Temperatur neg	-70	-2900	220	-220	-270	-700
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Kriechen LF 100-103	-70	-190	60	-70	-700	-700
<b>S<sub>v,Ed</sub></b>	Schwinden LF 105	-360	-370	50	-50	-1250	-1380

Tabelle 5: Schnittgrößen - Fachwerkobergurt Q 2

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	81
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**Q 3 - Verbundträger**

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>v</sub> [kN]		M <sub>v</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	-150	-400	90	-80	40	-50
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	-850	-1100	280	-240	320	-280
10-15	Temperatur - Kombination 1	150	-240	340	-340	640	-1110
10-15	Temperatur - Kombination 2	220	-280	290	-290	630	-980
20-21	Wind mit Verkehr	240	-240	15	-15	10	-10
22-23	Wind im Bauzustand	15	-15	5	-5	5	-5
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	-30	-950	340	-240	240	-440
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	-200	-750	290	-230	190	-290
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	200	-700	230	-120	230	-360
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	10	-500	170	-120	120	-220
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	370	-500	140	-110	280	-310
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	60	-1300	420	-270	300	-600
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	-200	-1050	340	-270	250	-400
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	-60	-70	30	-30	20	-20
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	30	-100	30	-30	50	-30
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	-110	-650	280	-280	210	-170
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	10	-850	350	-350	270	-220
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	-30	-40	60	-70	-10	-200
105	Zwang - Schwinden	-240	-250	420	-420	-130	-1380
<b>GZT</b>							
S <sub>d</sub>	t= 0d	-220	-550	120	-110	60	-60
S <sub>d</sub>	Summe t= 28d	-130	-3700	1190	-1000	1430	-1250
S <sub>d</sub>	Summe t= unendlich	-400	-4000	920	-1020	70	-2590
S <sub>d</sub>	Summe außergewöhnlich	-950	-2500	790	-750	880	-1890
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 1-3; yF= 1,35	-203	-540	122	-108	54	-68
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 4-6; yF= 1,35	-1148	-1485	378	-324	432	-378
S <sub>v,Ed</sub>	Veränderlich LF 10-57	1100	-2100	750	-610	1050	-1210
S <sub>v,Ed</sub>	Außergewöhnlich LF 80-95	10	-850	350	-350	270	-220
S <sub>v,Ed</sub>	Kriechen LF 100-103; yF= 1,35	-41	-54	81	-95	-14	-270
S <sub>v,Ed</sub>	Schwinden LF 105; yF= 1,0	-240	-250	420	-420	-130	-1380
<b>GZG Selten</b>							
S <sub>d</sub>	Summe t= 28d	-450	-2800	920	-730	1090	-990
S <sub>d</sub>	Summe t= unendlich	-700	-3100	790	-860	-80	-2220
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 1-3	-150	-400	90	-80	40	-50
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 4-6	-850	-1100	280	-240	320	-280
S <sub>v,Ed</sub>	Veränderlich LF 10-57	750	-1600	590	-440	800	-890
S <sub>v,Ed</sub>	Kriechen LF 100-103	-30	-40	60	-70	-10	-200
S <sub>v,Ed</sub>	Schwinden LF 105	-240	-250	420	-420	-130	-1380
<b>GZG Häufig</b>							
S <sub>d</sub>	Summe t= 28d	-800	-2400	760	-600	820	-810
S <sub>d</sub>	Summe t= unendlich	-1050	-2700	650	-710	-160	-1880
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 1-3	-150	-400	90	-80	40	-50
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 4-6	-850	-1100	280	-240	320	-280
S <sub>v,Ed</sub>	Veränderlich LF 10-57	400	-1200	430	-310	530	-560
S <sub>v,Ed</sub>	Kriechen LF 100-103	-30	-40	60	-70	-10	-200
S <sub>v,Ed</sub>	Schwinden LF 105	-240	-250	420	-420	-130	-1380
<b>GZG Nicht-häufig</b>							
S <sub>d</sub>	Summe t= 28d	-600	-2700	870	-690	950	-960
S <sub>d</sub>	Summe t= unendlich	-850	-3000	710	-790	-100	-2000
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 1-3	-150	-400	90	-80	40	-50
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 4-6	-850	-1100	280	-240	320	-280
S <sub>v,Ed</sub>	Veränderlich LF 10-57	650	-1500	540	-400	660	-680
S <sub>v,Ed</sub>	Kriechen LF 100-103	-30	-40	60	-70	-10	-200
S <sub>v,Ed</sub>	Schwinden LF 105	-240	-250	420	-420	-130	-1380
<b>Ermüdung Nicht-häufig</b>							
S <sub>d</sub>	Summe t= unendlich; T positiv	-1400	-2050	480	310	-770	-1320
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 1-3	-150	-400	90	-80	40	-50
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 4-6	-850	-1100	280	-240	320	-280
S <sub>v,Ed</sub>	Veränderlich LM 71 + Temperatur pos	70	-550	340	-340	550	-100
S <sub>v,Ed</sub>	Kriechen LF 100-103	-30	-40	60	-70	-10	-200
S <sub>v,Ed</sub>	Schwinden LF 105	-240	-250	420	-420	-130	-1380
<b>Ermüdung Nicht-häufig</b>							
S <sub>d</sub>	Summe t= unendlich; T negativ	-1450	-2200	680	420	-1150	-1990
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 1-3	-150	-400	90	-80	40	-50
S <sub>v,Ed</sub>	Ständig LF 4-6	-850	-1100	280	-240	320	-280
S <sub>v,Ed</sub>	Veränderlich LM 71 + Temperatur neg	0	-700	230	-230	-60	-670
S <sub>v,Ed</sub>	Kriechen LF 100-103	-30	-40	60	-70	-10	-200
S <sub>v,Ed</sub>	Schwinden LF 105	-240	-250	420	-420	-130	-1380

**Tabelle 6: Schnittgrößen - Fachwerkobergurt Q 3**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	82
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Q10 - Untergurt

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	1450	-950	190	-190	460	-110		
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	9850	5750	150	-170	-90	-640		
10-15	Temperatur - Kombination 1	350	-200			30	-35		
10-15	Temperatur - Kombination 2	350	-200			70	-80		
20-21	Wind mit Verkehr	350	-350			5	-5	10	-10
22-23	Wind im Bauzustand	190	-190	10	-10	25	-25	90	-90
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	4450	2600	20	-20	-50	-150		
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	4450	2600	20	-20	-50	-150		
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	2250	1250	10	-10	-25	-75		
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	2300	1250	10	-10	-25	-75		
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	650	250	5	-5	-5	-20		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	5400	3400	30	-30	-40	-180		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	5400	3400	30	-30	-50	-180		
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	500	380			-10	-15		
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	470	60	5	-5	0	-25	5	-5
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	3500	1450	15	-15	-25	-130	20	-20
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	4050	750	30	-30	-5	-150	30	-30
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	350	180	5	-5	-30	-70		
105	Zwang - Schwinden	400	350			-90	-90		
<b>GZT</b>									
S <sub>d</sub>	t= 0d	2250	-1500	270	-270	650	-150	140	-140
S <sub>d</sub>	t= 28d	20450	6500	110	-110	-75	-730	20	-20
S <sub>d</sub>	t= unendlich	21200	7100	110	-110	-200	-880	20	-20
S <sub>d</sub>	außergewöhnlich	14450	6800	90	-90	-110	-640	35	-35
<b>GZG Selten</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	15400	6650	80	-80	-90	-550	15	-15
S <sub>d</sub>	t= unendlich	16050	7200	85	-85	-210	-690	15	-15
<b>GZG Häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	13800	6950	75	-75	-120	-480	5	-5
S <sub>d</sub>	t= unendlich	14450	7500	80	-80	-230	-620	5	-5
<b>GZG Nicht-häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	15150	6800	80	-80	-110	-530	10	-10
S <sub>d</sub>	t= unendlich	15800	7350	90	-90	-220	-670	10	-10

Tabelle 7: Schnittgrößen - Fachwerkuntergurt Q 10

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	83
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**Q 11 - Untergurt**

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	1400	300	70	-40	60	-100		
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	5400	1650	100	-120	170	-220		
10-15	Temperatur - Kombination 1	350	-210	30	-30	50	-70	5	-5
10-15	Temperatur - Kombination 2	320	-210	35	-35	80	-100	15	-15
20-21	Wind mit Verkehr	210	-210	5	-5	10	-10	10	-10
22-23	Wind im Bauzustand	170	-170			5	-5	40	-40
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	2600	700	70	-70	100	-120	5	-5
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	2550	750	70	-70	90	-110	5	-5
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	1350	300	40	-40	60	-70	5	-5
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	1300	350	40	-40	50	-60	5	-5
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelastener Zug	450	10	10	-20	30	-30		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	3550	850	90	-100	130	-160		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	3500	900	90	-90	120	-150		
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	310	120	10	-10	10	-15		
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	260	-30	10	-10	15	-20	10	-10
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	2150	300	70	-70	90	-120	30	-30
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	2600	100	90	-90	110	-150	40	-40
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	170	50	10	-10	5	-40		
105	Zwang - Schwinden	450	350	60	-60	30	-140		
<b>GZT</b>									
S <sub>d</sub>	t= 0d	2100	350	90	-50	80	-140	60	-60
S <sub>d</sub>	t= 28d	12750	1900	370	-370	490	-640	25	-30
S <sub>d</sub>	t= unendlich	13300	2400	430	-440	520	-780	25	-30
S <sub>d</sub>	außergewöhnlich	9300	2100	330	-330	370	-610	45	-45
<b>GZG Selten</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	9800	2000	280	-290	370	-490	20	-20
S <sub>d</sub>	t= unendlich	10350	2500	340	-350	410	-630	20	-20
<b>GZG Häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	8800	2150	250	-250	320	-430	10	-10
S <sub>d</sub>	t= unendlich	9300	2600	310	-310	350	-560	10	-10
<b>GZG Nicht-häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	9650	2100	270	-280	360	-470	15	-15
S <sub>d</sub>	t= unendlich	10150	2550	330	-340	390	-610	15	-15

**Tabelle 8: Schnittgrößen - Fachwerkuntergurt Q 11**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	84
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**Q 20 - Diagonalen**

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>y</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	770	350	30	-20			40	-60
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	2250	1850	50	-70			110	-120
10-15	Temperatur - Kombination 1	400	-230	40	-40	20	-20	50	-80
10-15	Temperatur - Kombination 2	350	-230	40	-40	60	-60	60	-80
20-21	Wind mit Verkehr	80	-80	5	-5	30	-30	5	-5
22-23	Wind im Bauzustand	15	-15			90	-90	5	-5
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	1250	800	40	-50	5	-5	70	-90
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	1200	850	40	-40	5	-5	70	-80
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	700	350	20	-30	5	-5	50	-60
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	650	400	20	-30	5	-5	40	-50
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	300	10	10	-20	5	-5	30	-40
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	1750	950	50	-70	5	-5	100	-130
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	1650	1000	50	-60	5	-5	90	-110
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	140	140	5	-5			10	-10
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	210	-60	5	-5	40	-40	10	-10
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	1350	230	40	-40	140	-140	60	-70
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	1700	0	50	-50	200	-200	80	-90
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	70	60					5	-5
105	Zwang - Schwinden	500	450	40	-40			30	-100
<b>GZT</b>									
S <sub>d</sub>	t= 0d	1100	450	50	-30	130	-130	60	-70
S <sub>d</sub>	t= 28d	6300	2200	230	-240	140	-150	370	-440
S <sub>d</sub>	t= unendlich	6850	2800	260	-280	140	-150	400	-540
S <sub>d</sub>	außergewöhnlich	5200	2400	200	-200	240	-240	270	-380
<b>GZG Selten</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	4850	2300	170	-190	100	-110	280	-340
S <sub>d</sub>	t= unendlich	5400	2800	210	-230	100	-110	310	-440
<b>GZG Häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	4200	2450	150	-160	35	-40	240	-290
S <sub>d</sub>	t= unendlich	4750	3000	190	-200	30	-40	270	-390
<b>GZG Nicht-häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	4700	2350	160	-180	70	-80	270	-320
S <sub>d</sub>	t= unendlich	5250	2900	200	-220	70	-80	300	-420

**Tabelle 9: Schnittgrößen - Fachwerkdiagonalen Q 20**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	85
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**Q 21 - Diagonalen**

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>y</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	500	-650	15	-10			25	-25
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	1950	-2050	40	-50	5	-5	75	-75
10-15	Temperatur - Kombination 1	200	-350	5	-5	5	-5	10	-10
10-15	Temperatur - Kombination 2	210	-320	5	-5	15	-15	10	-10
20-21	Wind mit Verkehr	80	-80			15	-15	5	-5
22-23	Wind im Bauzustand	15	-15			25	-25		
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	950	-1150	20	-20	5	-5	40	-40
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	900	-1100	20	-20	5	-5	40	-40
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	500	-650	10	-10	5	-5	20	-20
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	500	-600	10	-10	5	-5	20	-20
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelastener Zug	150	-250	5	-5	5	-5	10	-10
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	1300	-1600	30	-30	5	-5	50	-50
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	1300	-1550	30	-30	5	-5	50	-50
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	110	-130	5	-5			5	-5
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	130	-170	5	-5	20	-20	5	-5
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	950	-1150	20	-20	70	-70	40	-40
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	1100	-1450	30	-30	100	-100	50	-50
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	70	-70	5	-5			5	-5
105	Zwang - Schwinden	20	-400	10	-10			10	-15
<b>GZT</b>									
S <sub>d</sub>	t= 0d	700	-950	30	-10	45	-45	30	-30
S <sub>d</sub>	t= 28d	4500	-5700	110	-110	55	-55	180	-190
S <sub>d</sub>	t= unendlich	4500	-6200	110	-110	55	-55	170	-185
S <sub>d</sub>	außergewöhnlich	3300	-4550	80	-80	115	-115	130	-135
<b>GZG Selten</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	3500	-4400	85	-85	40	-40	140	-140
S <sub>d</sub>	t= unendlich	3450	-4850	80	-80	40	-40	130	-150
<b>GZG Häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	3100	-3850	80	-80	15	-15	120	-130
S <sub>d</sub>	t= unendlich	3050	-4300	70	-70	15	-15	120	-130
<b>GZG Nicht-häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	3450	-4250	90	-90	30	-30	140	-140
S <sub>d</sub>	t= unendlich	3400	-4750	80	-80	30	-30	130	-140

**Tabelle 10: Schnittgrößen - Fachwerkdagonalen Q 21**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	86
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**Q 22 - Diagonalen**

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>y</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	800	-950	15	-15			25	-20
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	1550	-1600	15	-20	5	-5	35	-40
10-15	Temperatur - Kombination 1					5	-5		
10-15	Temperatur - Kombination 2	5	-5			10	-10	5	-5
20-21	Wind mit Verkehr	40	-40			15	-15		
22-23	Wind im Bauzustand	40	-40			40	-40		
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	550	-550	10	-10	5	-5	15	-15
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	550	-550	10	-10	5	-5	15	-15
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	300	-300	5	-5			10	-10
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	300	-300	5	-5			10	-10
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	80	-80						
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	800	-800	10	-10	5	-5	15	-20
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	800	-800	10	-10	5	-5	15	-20
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	60	-60						
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	90	-100			15	-15		
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	500	-550	10	-10	60	-60	10	-10
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	900	-950	10	-10	100	-100	20	-20
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	70	-70					5	-5
105	Zwang - Schwinden	0	-5					5	-5
<b>GZT</b>									
S <sub>d</sub>	t= 0d	1100	-1300	20	-20	50	-55	30	-30
S <sub>d</sub>	t= 28d	2600	-2550	40	-40	55	-60	55	-60
S <sub>d</sub>	t= unendlich	2650	-2600	35	-35	55	-60	50	-60
S <sub>d</sub>	außergewöhnlich	2100	-2150	30	-30	110	-110	40	-50
<b>GZG Selten</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	2000	-2000	30	-30	40	-40	40	-50
S <sub>d</sub>	t= unendlich	2050	-2000	30	-30	40	-40	40	-45
<b>GZG Häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	1750	-1750	30	-30	15	-15	40	-40
S <sub>d</sub>	t= unendlich	1800	-1800	25	-25	15	-15	30	-40
<b>GZG Nicht-häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	1950	-1950	30	-30	30	-30	40	-50
S <sub>d</sub>	t= unendlich	2000	-2000	30	-30	30	-30	35	-45

**Tabelle 11: Schnittgrößen - Fachwerkdagonalen Q 22**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	87
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**Q 30 - Querträger**

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	20	-30	5	-5	5	-5		
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	-20	-180			0	-5		
10-15	Temperatur - Kombination 1	10	-10			10	-10		
10-15	Temperatur - Kombination 2	25	-25			20	-20		
20-21	Wind mit Verkehr	0	-5	15	-15	20	-20		
22-23	Wind im Bauzustand	100	-100	50	-50	110	-110	10	-10
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	-10	-80	10	-10	20	-20		
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	-10	-80	10	-10	20	-20		
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	-5	-40	5	-5	10	-10		
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	-5	-40	5	-5	10	-10		
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	0	-10	5	-5	5	-5		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	-10	-100	5	-5	5	-5		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	-10	-100	5	-5	5	-5		
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	0	-10						
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	0	-10	30	-30	50	-50	5	-5
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	-5	-60	110	-110	180	-180	15	-15
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	-5	-60	160	-160	260	-260	20	-20
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	0	-10						
105	Zwang - Schwinden	-5	-10						
<b>GZT</b>									
S <sub>d</sub>	t= 0d	180	-150	60	-60	140	-100	15	-15
S <sub>d</sub>	t= 28d	0	-380	50	-70	110	-120	10	-10
S <sub>d</sub>	t= unendlich	-10	-390	50	-70	110	-120	10	-10
S <sub>d</sub>	außergewöhnlich	-15	-260	170	-170	290	-300	25	-25
<b>GZG Selten</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	-10	-290	40	-50	80	-80	10	-10
S <sub>d</sub>	t= unendlich	-10	-300	40	-50	80	-80	10	-10
<b>GZG Häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	-15	-260	10	-15	20	-30		
S <sub>d</sub>	t= unendlich	-20	-270	10	-15	20	-30		
<b>GZG Nicht-häufig</b>									
S <sub>d</sub>	t= 28d	-10	-280	30	-40	60	-60	5	-5
S <sub>d</sub>	t= unendlich	-15	-290	30	-40	60	-60	5	-5

**Tabelle 12: Schnittgrößen - Querträger Q 30**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	88
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

#### Q 40 - Verbandsdiagonalen

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]	
		max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	20	-15
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	130	20
10-15	Temperatur - Kombination 1	5	-5
10-15	Temperatur - Kombination 2	10	-5
20-21	Wind mit Verkehr	15	-15
22-23	Wind im Bauzustand	60	-60
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	60	0
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	60	0
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	30	-5
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	30	-5
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	10	-5
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	70	10
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	70	10
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	10	0
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	40	-40
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	150	-120
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	220	-190
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten	5	0
105	Zwang - Schwinden	5	5
<b>GZT</b>			
$S_d$	t= 0d	100	-90
$S_d$	t= 28d	270	-20
$S_d$	t= unendlich	270	-20
$S_d$	außergewöhnlich	330	-170
<b>GZG Selten</b>			
$S_d$	t= 28d	200	-10
$S_d$	t= unendlich	210	-5
<b>GZG Häufig</b>			
$S_d$	t= 28d	180	25
$S_d$	t= unendlich	180	30
<b>GZG Nicht-häufig</b>			
$S_d$	t= 28d	190	5
$S_d$	t= unendlich	200	10

Tabelle 13: Schnittgrößen - Horizontalverbandsdiagonalen Q 40

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	89
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

**Q50 - Endquerträger**

Lastfall Nr	Beschreibung	N [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min
1-3 4-6	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl Ständig - Auf Verbundquerschnitt	5	5					-5	
10-15 10-15	Temperatur - Kombination 1 Temperatur - Kombination 2	290	-290			160	-160		
20-21 22-23	Wind mit Verkehr Wind im Bauzustand	250	-250	80	-80	180	-180		
30-35; 70-73 30-35; 70-73 30-35; 70-73 30-35; 70-73 60; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71 Lastgruppe 12 - LM 71 Lastgruppe 13 - LM 71 Lastgruppe 14 - LM 71 Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	30	-30	20	-20	40	-40		
40-44; 70-71; 74-75 40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2 Lastgruppe 17 - LM SW/2	40	-40	20	-20	40	-40		
50-51 52-57	Verkehr - Gehweg, Personenlast Verkehr - Gehweg, Bbf	30	-30	110	-110	200	-200		
80-85 90-95	Außergewöhnlich - Situation 1 Außergewöhnlich - Situation 2	30	-30	160	-160	290	-290		
100-103 105	Zwang - Kriechen, ständige Lasten Zwang - Schwinden								
<b>GZT</b>									
S <sub>d</sub>		1300	-1300	160	-170	850	-840	20	-20
S <sub>d</sub>	Lagerwechsel			6400	-6400	4800	-4800		
S <sub>d</sub>	außergewöhnlich	600	-600	200	-200	600	-610	30	-30
<b>GZG Selten</b>									
S <sub>d</sub>		900	-900	110	-120	610	-600	15	-15
<b>GZG Häufig</b>									
S <sub>d</sub>		450	-450	15	-20	260	-270	5	-5
<b>GZG Nicht-häufig</b>									
S <sub>d</sub>		650	-650	70	-80	430	-420	10	-10

**Tabelle 14: Schnittgrößen - Endquerträger Q 50**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Schnittgrößenermittlung	90
Vorgang:	Zusammenstellung der maßgebenden Bemessungswerte	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5 Nachweise

#### 3.5.1 Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit

##### 3.5.1.1 Fachwerkuntergurt Q 10

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile. Der Querschnitt wird im Endzustand auf Biegung und Zug beansprucht. Im Bauzustand erfolgt jedoch eine Beanspruchung auf Biegung und Druck im Bereich der Hilfsstütze.

Stege:

$$\text{vorh } d/t_w = 585/40 = 14,6 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

Flansche:

$$\text{vorh } b/t_f = 370/30 = 12,3 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 585/40 = 14,6 < 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

$N_d =$	21200 kN
$V_{zd} =$	270 kN
$M_{yd} =$	-880 kNm
$M_{zd} =$	20 kNm

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$\sigma_{xd} =$	$N_d/923 + M_{yd} \cdot 100 / -19041 + M_{zd} \cdot 100 / 11640$	=	27,8 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rd} =$	33,5/1,0	=	33,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\sigma_{xd} / \sigma_{Rd}$	=	<b><u>0,83 &lt; 1,0</u></b>
$\tau_d =$	$V_{zd} / 460$	=	0,6 kN/cm <sup>2</sup>
$\tau_{Rd} =$	$33,5 / (1,0 \cdot \sqrt{3})$	=	19,3 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\tau_d / \tau_{Rd}$	=	<b><u>0,03 &lt; 1,0</u></b>

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	91
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Endzustand wird der Querschnitt auf Biegung und Zug beansprucht. Dabei stehen alle Querschnittsfasern unter Zugspannungen. Der Stabilitätsnachweis ist daher nur für den Bauzustand zu führen. Die Schnittgrößenermittlung erfolgt dabei nach Theorie II. Ordnung, so dass der Stabilitätsnachweis als Spannungsnachweis geführt wird

Schnittgrößen im Bauzustand (Theorie II. Ordnung):

$$\begin{aligned}
 N_d &= -1500 \text{ kN} \\
 V_{zd} &= 270 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= 650 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= 140 \text{ kNm} \\
 \sigma_{xd} &= N_d/923 + M_{yd} * 100 / -19041 + M_{zd} * 100 / -11640 = -6,2 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{Rd} &= 33,5/1,0 = 33,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= -\sigma_{xd} / \sigma_{Rd} = \underline{\underline{0,19 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

### Werkstoffermüdung

Für den vereinfachten Ermüdungsnachweis werden die charakteristischen Lasten des LM 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes angesetzt

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}
 \gamma_{Ff} &= 1,00 \\
 \gamma_{Mf} &= 1,25
 \end{aligned}$$

Schnittgrößen unter LM 71 (LF 30-35):

$$\begin{aligned}
 N_d &= 4200 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -140 \text{ kNm} \\
 \sigma_{p,max} &= N_d/923 + M_{yd} * 100 / -19041 = 5,3 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{p,min} &= 0,0 \text{ kN/cm}^2 \\
 \Delta\sigma_p &= \text{ABS}(\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}) = 5,3 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

Anpassungsbeiwert  $\lambda$

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L = 47,3 m

$$\lambda_1 = 0,64$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol =  $18 \cdot 10^6$  t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer:  $N_{years} = 100$

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	92
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0,60$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\Phi_2 = 1,04$$

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda * \Phi_2 * \Delta\sigma_p = 3,3 \text{ kN/cm}^2$$

Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit:

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 8 --> Kerbgruppe 80

Quernähte mit stählerner Wurzelunterlage: Detail 9 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 1 --> Kerbgruppe 56

Nichttragende Schweißnähte: Detail 2 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 3, 5 --> Kerbgruppe 71

Tragende Schweißnähte: Detail 1 --> Kerbgruppe 71

$$\Delta\sigma_C = 5,6 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,74 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	93
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.2 Fachwerkuntergurt Q 11

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile. Der Querschnitt wird im End- und Bauzustand auf Biegung und Zug beansprucht.

Stege:

$$\text{vorh } d/t_w = 605/40 = 15,1 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

Flansche:

$$\text{vorh } b/t_f = 370/30 = 12,3 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 605/40 = 15,1 < 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

$N_d =$	13300 kN
$V_{zd} =$	440 kN
$M_{yd} =$	-780 kNm
$M_{zd} =$	30 kNm

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$\sigma_{xd} =$	$N_d/839 + M_{yd} \cdot 100 / -15800 + M_{zd} \cdot 100 / 11077$	=	21,1 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rd} =$	35,5/1,0	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\sigma_{xd} / \sigma_{Rd}$	=	<b><u>0,59 &lt; 1,0</u></b>
$\tau_d =$	$V_{zd} / 467$	=	0,9 kN/cm <sup>2</sup>
$\tau_{Rd} =$	$35,5 / (1,0 \cdot \sqrt{3})$	=	20,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\tau_d / \tau_{Rd}$	=	<b><u>0,04 &lt; 1,0</u></b>

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	94
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Endzustand wird der Querschnitt auf Biegung und Zug beansprucht. Die auftretenden Druckspannungen sind sehr gering. Der Stabilitätsnachweis ist daher nur für den Bauzustand zu führen. Die Schnittgrößenermittlung erfolgt dabei nach Theorie II. Ordnung, so dass der Stabilitätsnachweis als Spannungsnachweis geführt wird

Schnittgrößen im Bauzustand (Theorie II. Ordnung):

$$\begin{aligned}
 N_d &= 2100 \text{ kN} \\
 V_{zd} &= 90 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -140 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= 60 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{xd} &= N_d/839 + M_{yd} * 100 / -15800 + M_{zd} * 100 / 11077 &= & 3,9 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{Rd} &= 35,5/1,0 &= & 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= \sigma_{xd} / \sigma_{Rd} &= & \underline{\underline{0,11 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

### Werkstoffermüdung

Für den vereinfachten Ermüdungsnachweis werden die charakteristischen Lasten des LM 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes angesetzt

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}
 \gamma_{Ff} &= 1,00 \\
 \gamma_{Mf} &= 1,25
 \end{aligned}$$

Schnittgrößen unter LM 71 (LF 30-35):

$$\begin{aligned}
 N_d &= 2400 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -105 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{p,max} &= N_d/839 + M_{yd} * 100 / -15800 &= & 3,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{p,min} &= &= & 0,0 \text{ kN/cm}^2 \\
 \Delta\sigma_p &= \text{ABS}(\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}) &= & 3,5 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

Anpassungsbeiwert  $\lambda$

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 47,3 m

$$\lambda_1 = 0,64$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol=  $18 \cdot 10^6$  t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer:  $N_{years} = 100$

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	95
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0,60$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\Phi_2 = 1,04$$

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda * \Phi_2 * \Delta\sigma_p = 2,2 \text{ kN/cm}^2$$

Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit:

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 8 --> Kerbgruppe 80

Quernähte mit stählerner Wurzelunterlage: Detail 9 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 1 --> Kerbgruppe 56

Nichttragende Schweißnähte: Detail 2 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 3, 5 --> Kerbgruppe 71

Tragende Schweißnähte: Detail 1 --> Kerbgruppe 71

$$\Delta\sigma_C = 5,6 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,49 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	96
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.3 Fachwerkdiagonalen Q 20

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile.  
Die Diagonalen werden auf Biegung und Druck beansprucht

Steg:

$$\text{vorh } d/t_w = 360/30 = 12 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

Flansche:

$$\text{vorh } c/t_f = 230/40 = 5,8 < 9 \cdot 0,81 = 7,3$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 360/30 = 12 < 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

$N_d =$	6850 kN
$V_{yd} =$	280 kN
$M_{yd} =$	150 kNm
$M_{zd} =$	-540 kNm

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$\sigma_{xd} =$	$N_d/511 + M_{yd} \cdot 100/8057 + M_{zd} \cdot 100/-3337$	=	31,4 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rd} =$	35,5/1,0	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\sigma_{xd}/\sigma_{Rd}$	=	<b><u>0,88 &lt; 1,0</u></b>
$\tau_d =$	$V_{yd}/400$	=	0,7 kN/cm <sup>2</sup>
$\tau_{Rd} =$	$35,5/(1,0 \cdot \sqrt{3})$	=	20,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\tau_d/\tau_{Rd}$	=	<b><u>0,03 &lt; 1,0</u></b>

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	97
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Bau- und Endzustand wird der Querschnitt auf Biegung und Zug beansprucht.

Schnittgrößen im Bauzustand (Theorie II. Ordnung):

$$\begin{aligned}
 N_d &= 450 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -130 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= 70 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Randspannung:

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = M_{yd} \cdot 100 / 8057 + 0,8 \cdot N_d / 511 = -0,9 \text{ kN/cm}^2$$

Ersatzmoment:

$$M_{\text{eff,Ed}} = \sigma_{\text{com,Ed}} \cdot 8057 / 100 = -72,5 \text{ kNm}$$

Ideale Biegedrillknickmoment:

$$\begin{aligned}
 N_{ki,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 83417 / 340^2 = 149560 \text{ kN} \\
 c &= \sqrt{((3,5 \cdot 10^7 + 0,039 \cdot 340^2 \cdot 2395) / 83417)} = 23,4 \text{ cm} \\
 z_p &= 0,0 \text{ cm} \\
 \zeta &= 1,0 \\
 M_{cr} &= \zeta \cdot N_{ki,z} \cdot (\sqrt{(c^2 + 0,25 \cdot z_p^2)} + 0,5 \cdot z_p) / 100 = 34997 \text{ kNm} \\
 \lambda_{LT} &= \sqrt{(9227 \cdot 35,5 / (100 \cdot M_{cr}))} = \underline{\underline{0,31 < 0,4}}
 \end{aligned}$$

Kein Biegedrillknicknachweis erforderlich!

Schnittgrößen im Endzustand:

$$\begin{aligned}
 N_d &= 2200 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -150 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= -540 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Randspannung:

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = M_{yd} \cdot 100 / 8057 + 0,8 \cdot N_d / 511 = 1,6 \text{ kN/cm}^2$$

Kein Stabilitätsnachweis aufgrund der Zugkraft erforderlich.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	98
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung

Für den vereinfachten Ermüdungsnachweis werden die charakteristischen Lasten des LM 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes angesetzt

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}\gamma_{Ff} &= 1,00 \\ \gamma_{Mf} &= 1,25\end{aligned}$$

Schnittgrößen unter LM 71 (LF 30-35):

$$\begin{aligned}N_d &= 1150 \text{ kN} \\ M_{yd} &= -15 \text{ kNm} \\ M_{zd} &= -65 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{p,max} &= N_d/511 + M_{yd} * 100 / -8058 + M_{zd} * 100 / -3337 &= 4,4 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{p,min} &= &= 0,0 \text{ kN/cm}^2 \\ \Delta\sigma_p &= \text{ABS}(\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}) &= 4,4 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Anpassungsbeiwert  $\lambda$

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L = 47,3 m

$$\lambda_1 = 0,64$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol =  $18 * 10^6$  t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer:  $N_{years} = 100$

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0,60$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= 1,04 \\ \Delta\sigma_{E2} &= \lambda * \Phi_2 * \Delta\sigma_p = 2,7 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit:

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 8 --> Kerbgruppe 80

Quernähte: Detail 7 --> Kerbgruppe 80

Nichttragende Schweißnähte: Detail 2 --> Kerbgruppe 71

Tragende Schweißnähte: Detail 7 --> Kerbgruppe 80

$$\Delta\sigma_C = 7,1 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,48 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	99
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.4 Fachwerkdiagonalen Q 21

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile.  
Die Diagonalen werden auf Biegung und Druck beansprucht

Steg:

$$\text{vorh } d/t_w = 360/30 = 12 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

Flansche:

$$\text{vorh } c/t_f = 180/40 = 4,5 < 9 \cdot 0,81 = 7,3$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 360/30 = 12 < 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

$N_d =$	-6200 kN
$V_{yd} =$	110 kN
$M_{yd} =$	-55 kNm
$M_{zd} =$	-185 kNm

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$\sigma_{xd} =$	$N_d/431 + M_{yd} \cdot 100/6559 + M_{zd} \cdot 100/2138$	=	-23,9 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rd} =$	35,5/1,0	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$-\sigma_{xd}/\sigma_{Rd}$	=	<b><u>0,67 &lt; 1,0</u></b>
$\tau_d =$	$V_{yd}/320$	=	0,3 kN/cm <sup>2</sup>
$\tau_{Rd} =$	$35,5/(1,0 \cdot \sqrt{3})$	=	20,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\tau_d/\tau_{Rd}$	=	<b><u>0,01 &lt; 1,0</u></b>

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	100
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Bau- und Endzustand wird der Querschnitt auf Biegung und Druck beansprucht.

Schnittgrößen im Endzustand:

$$\begin{aligned}
 N_d &= -6200 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -55 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= -185 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Ideale Verzweigungslast:

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 147570 / 340^2 &= & 264581 \text{ kN} \\
 N_{cr,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 42750 / 340^2 &= & 76647 \text{ kN} \\
 \lambda_y &= \sqrt{(431 \cdot 35,5 / N_{cr,y})} &= & 0,24 \\
 \chi_y & & & 0,98 \\
 \lambda_z &= \sqrt{(431 \cdot 35,5 / N_{cr,z})} &= & 0,45 \\
 \chi_z & & & 0,86
 \end{aligned}$$

Bemessungswiderstand gegen Knicken:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot 1 \cdot 431 \cdot 35,5 / 1,1 = 11962 \text{ kN}$$

Biegeknicknachweis:

$$\begin{aligned}
 k_y &= 1 - (-0,29 \cdot N_d) / (\chi_y \cdot 431 \cdot 35,5) &= & 1,12 \\
 k_z &= 1 - (-0,27 \cdot N_d) / (\chi_z \cdot 431 \cdot 35,5) &= & 1,13 \\
 \eta &= -N_d / N_{b,Rd} - k_y \cdot M_{yd} / 2448 - k_z \cdot M_{zd} / 1060 &= & \underline{\underline{0,74 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Ideale Biegedrillknickmoment:

$$\begin{aligned}
 N_{ki,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 42750 / 340^2 &= & 76647 \text{ kN} \\
 c &= \sqrt{((17,90 \cdot 10^6 + 0,039 \cdot 340^2 \cdot 1968) / 42750)} &= & 25,0 \text{ cm} \\
 z_p & & & 0,0 \text{ cm} \\
 \zeta & & & 1,5 \\
 M_{cr} &= \zeta \cdot N_{ki,z} \cdot (\sqrt{(c^2 + 0,25 \cdot z_p^2)} + 0,5 \cdot z_p) / 100 &= & 28743 \text{ kNm} \\
 \lambda_{LT} &= \sqrt{(7587 \cdot 35,5 / (100 \cdot M_{cr}))} &= & \underline{\underline{0,31 < 0,4}}
 \end{aligned}$$

Kein Biegedrillknicknachweis erforderlich!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	101
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung

Für den vereinfachten Ermüdungsnachweis werden die charakteristischen Lasten des LM 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes angesetzt

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}\gamma_{Ff} &= 1,00 \\ \gamma_{Mf} &= 1,25\end{aligned}$$

Schnittgrößen unter LM 71 (LF 30-35):

$$\begin{aligned}N_d &= -1050 \text{ kN} \\ M_{yd} &= -5 \text{ kNm} \\ M_{zd} &= -35 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{p,max} &= N_d/431 + M_{yd} * 100/6559 + M_{zd} * 100/2138 &= -4,1 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{p,min} &= -0,2 * \sigma_{p,max} &= 0,8 \text{ kN/cm}^2 \\ \Delta\sigma_p &= \text{ABS}(\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}) &= 4,9 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Anpassungsbeiwert  $\lambda$

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 12,0 m

$$\lambda_1 = 0,83$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol=  $18 * 10^6$  t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer:  $N_{years} = 100$

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0,78$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= 1,04 \\ \Delta\sigma_{E2} &= \lambda * \Phi_2 * \Delta\sigma_p = 4,0 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit:

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 8 --> Kerbgruppe 80

Quernähte: Detail 7 --> Kerbgruppe 80

Nichttragende Schweißnähte: Detail 2 --> Kerbgruppe 71

Tragende Schweißnähte: Detail 7 --> Kerbgruppe 80

$$\Delta\sigma_C = 7,1 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,70 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	102
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.5 Fachwerkdiagonalen Q 22

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile.  
Die Diagonalen werden auf Biegung und Druck beansprucht

Steg:

$$\text{vorh } d/t_w = 360/30 = 12 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

Flansche:

$$\text{vorh } c/t_f = 130/40 = 3,3 < 9 \cdot 0,81 = 7,3$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 360/30 = 12 < 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

$N_d =$	-2600 kN
$V_{yd} =$	35 kN
$M_{yd} =$	-60 kNm
$M_{zd} =$	-60 kNm

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$\sigma_{xd} =$	$N_d/351 + M_{yd} \cdot 100/5060 + M_{zd} \cdot 100/1205$	=	-13,6 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rd} =$	35,5/1,0	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$-\sigma_{xd}/\sigma_{Rd}$	=	<b><u>0,38 &lt; 1,0</u></b>
$\tau_d =$	$V_{yd}/240$	=	0,1 kN/cm <sup>2</sup>
$\tau_{Rd} =$	$35,5/(1,0 \cdot \sqrt{3})$	=	20,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\tau_d/\tau_{Rd}$	=	<b><u>0,00 &lt; 1,0</u></b>

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	103
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Bau- und Endzustand wird der Querschnitt auf Biegung und Druck beansprucht.

Schnittgrößen im Endzustand:

$$\begin{aligned}
 N_d &= -2600 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -60 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= -60 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Ideale Verzweigungslast:

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 113843 / 340^2 &= & 204111 \text{ kN} \\
 N_{cr,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 18083 / 340^2 &= & 32421 \text{ kN} \\
 \lambda_y &= \sqrt{(351 \cdot 35,5 / N_{cr,y})} &= & 0,25 \\
 \chi_y & & & 0,98 \\
 \lambda_z &= \sqrt{(351 \cdot 35,5 / N_{cr,z})} &= & 0,62 \\
 \chi_z & & & 0,78
 \end{aligned}$$

Bemessungswiderstand gegen Knicken:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot 1 \cdot 351 \cdot 35,5 / 1,1 = 8836 \text{ kN}$$

Biegeknicknachweis:

$$\begin{aligned}
 k_y &= 1 - (-0,27 \cdot N_d) / (\chi_y \cdot 351 \cdot 35,5) &= & 1,06 \\
 k_z &= 1 - (-0,55 \cdot N_d) / (\chi_z \cdot 351 \cdot 35,5) &= & 1,15 \\
 \eta &= -N_d / N_{b,Rd} - k_y \cdot M_{yd} / 1919 - k_z \cdot M_{zd} / 607 &= & \underline{\underline{0,44 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Ideale Biegedrillknickmoment:

$$\begin{aligned}
 N_{ki,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 18083 / 340^2 &= & 32421 \text{ kN} \\
 c &= \sqrt{((7,57 \cdot 10^6 + 0,039 \cdot 340^2 \cdot 1542) / 18083)} &= & 28,3 \text{ cm} \\
 z_p & & & 0,0 \text{ cm} \\
 \zeta & & & 1,5 \\
 M_{cr} &= \zeta \cdot N_{ki,z} \cdot (\sqrt{(c^2 + 0,25 \cdot z_p^2)} + 0,5 \cdot z_p) / 100 &= & 13763 \text{ kNm} \\
 \lambda_{LT} &= \sqrt{(5947 \cdot 35,5 / (100 \cdot M_{cr}))} &= & \underline{\underline{0,39 < 0,4}}
 \end{aligned}$$

Kein Biegedrillknicknachweis erforderlich!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	104
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung

Für den vereinfachten Ermüdungsnachweis werden die charakteristischen Lasten des LM 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes angesetzt

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}\gamma_{Ff} &= 1,00 \\ \gamma_{Mf} &= 1,25\end{aligned}$$

Schnittgrößen unter LM 71 (LF 30-35):

$$\begin{aligned}N_d &= 550 \text{ kN} \\ M_{yd} &= -5 \text{ kNm} \\ M_{zd} &= -15 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{p,max} &= N_d/351 + M_{yd} * 100 / -5060 + M_{zd} * 100 / -1205 &= & 2,9 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{p,min} &= -0,4 * \sigma_{p,max} &= & -1,2 \text{ kN/cm}^2 \\ \Delta\sigma_p &= \text{ABS}(\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}) &= & 4,1 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Anpassungsbeiwert  $\lambda$ :

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 15,0 m

$$\lambda_1 = 0,76$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol=  $18 * 10^6$  t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer:  $N_{years} = 100$

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0,71$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= 1,04 \\ \Delta\sigma_{E2} &= \lambda * \Phi_2 * \Delta\sigma_p = 3,0 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit:

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 8 --> Kerbgruppe 80

Quernähte: Detail 7 --> Kerbgruppe 80

Nichttragende Schweißnähte: Detail 2 --> Kerbgruppe 71

Tragende Schweißnähte: Detail 7 --> Kerbgruppe 80

$$\Delta\sigma_C = 7,1 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,53 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	105
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.6 Querträger am Fachwerkuntergurt Q 30

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile.  
Die Querträger werden auf Biegung und Druck beansprucht

Steg:

$$\text{vorh } d/t_w = 625/10 = 62,5 < 42/(0,67+0,33 \cdot -0,5) = 83$$

Flansche:

$$\text{vorh } c/t_f = 140/20 = 7,0 < 9$$

--> Querschnittsklasse 3

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 625/10 = 62,5 < 72$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

$N_d =$	-260 kN
$V_{zd} =$	170 kN
$M_{yd} =$	-300 kNm
$M_{zd} =$	-25 kNm

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$\sigma_{xd} =$	$N_d/183,5 + M_{yd} \cdot 100/4447 + M_{zd} \cdot 100/600$	=	-12,3 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rd} =$	23,5/1,0	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$-\sigma_{xd}/\sigma_{Rd}$	=	<b><u>0,52 &lt; 1,0</u></b>
$\tau_d =$	$V_{zd}/63,5$	=	2,7 kN/cm <sup>2</sup>
$\tau_{Rd} =$	$23,5/(1,0 \cdot \sqrt{3})$	=	13,6 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\tau_d/\tau_{Rd}$	=	<b><u>0,20 &lt; 1,0</u></b>

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	106
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Bau- und Endzustand wird der Querschnitt auf Biegung und Druck beansprucht.

Schnittgrößen im Endzustand:

$$\begin{aligned}
 N_d &= -260 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -300 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= -25 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Ideale Verzweigungslast:

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 150085 / 350^2 &= & 253933 \text{ kN} \\
 N_{cr,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 9005 / 350^2 &= & 15236 \text{ kN} \\
 \lambda_y &= \sqrt{(183,5 \cdot 23,5 / N_{cr,y})} &= & 0,13 \\
 \chi_y &= & & 1,00 \\
 \lambda_z &= \sqrt{(183,5 \cdot 23,5 / N_{cr,z})} &= & 0,53 \\
 \chi_z &= & & 0,82
 \end{aligned}$$

Bemessungswiderstand gegen Knicken:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot 1 \cdot 183,5 \cdot 23,5 / 1,1 = 3215 \text{ kN}$$

Biegeknicknachweis:

$$\begin{aligned}
 k_y &= 1 - (-0,23 \cdot N_d) / (\chi_y \cdot 183,5 \cdot 23,5) &= & 1,01 \\
 k_z &= 1 - (-0,95 \cdot N_d) / (\chi_z \cdot 183,5 \cdot 23,5) &= & 1,07 \\
 \eta &= -N_d / N_{b,Rd} - k_y \cdot M_{yd} / 950 - k_z \cdot M_{zd} / 128 &= & \underline{\underline{0,61 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Ideale Biegedrillknickmoment:

$$\begin{aligned}
 N_{ki,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 9005 / 350^2 &= & 15236 \text{ kN} \\
 c &= \sqrt{((9,65 \cdot 10^6 + 0,039 \cdot 350^2 \cdot 175) / 9005)} &= & 34,1 \text{ cm} \\
 z_p &= & & 0,0 \text{ cm} \\
 \zeta &= & & 1,5 \\
 M_{cr} &= \zeta \cdot N_{ki,z} \cdot (\sqrt{(c^2 + 0,25 \cdot z_p^2)} + 0,5 \cdot z_p) / 100 &= & 7793 \text{ kNm} \\
 \lambda_{LT} &= \sqrt{(4447 \cdot 23,5 / (100 \cdot M_{cr}))} &= & \underline{\underline{0,37 < 0,4}}
 \end{aligned}$$

Kein Biegedrillknicknachweis erforderlich!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	107
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung

Für den vereinfachten Ermüdungsnachweis werden die charakteristischen Lasten des LM 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes angesetzt

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}\gamma_{Ff} &= 1,00 \\ \gamma_{Mf} &= 1,25\end{aligned}$$

Schnittgrößen unter LM 71 (LF 30-35):

$$\begin{aligned}N_d &= -80 \text{ kN} \\ M_{yd} &= -15 \text{ kNm} \\ M_{zd} &= -2 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{p,max} &= N_d/183,5 + M_{yd} \cdot 100/4447 + M_{zd} \cdot 100/600 &= -1,1 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{p,min} &= &= 0,0 \text{ kN/cm}^2 \\ \Delta\sigma_p &= \text{ABS}(\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}) &= 1,1 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Anpassungsbeiwert  $\lambda$

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 3,0 m

$$\lambda_1 = 1,35$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol=  $18 \cdot 10^6$  t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer:  $N_{years} = 100$

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1,27$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= 1,04 \\ \Delta\sigma_{E2} &= \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,5 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit:

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 5 --> Kerbgruppe 100

Tragende Schweißnähte: Detail 1 -> Kerbgruppe 80

Nichttragende Schweißnähte: Detail 1 --> Kerbgruppe 56

$$\Delta\sigma_C = 5,6 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\eta = \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,33 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	108
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.7 Horizontalverbandsdiagonalen am Fachwerkuntergurt Q 40

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile.  
Die Verbandsdiagonalen werden auf Druck und Zug beansprucht

Steg:

$$\text{vorh } d/t_w = 92/5,5 = 16,7 < 33$$

Flansche:

$$\text{vorh } c/t_f = 55/8,5 = 6,5 < 9$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 92/5,5 = 16,7 < 72$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

$$N_d = 330 \text{ kN}$$

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$$\begin{aligned} \sigma_{xd} &= N_d/31,4 &= 10,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{Rd} &= 23,5/1,0 &= 23,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \eta &= \sigma_{xd}/\sigma_{Rd} &= \underline{\underline{0,45 < 1,0}} \end{aligned}$$

#### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Bau- und Endzustand wird der Querschnitt auf Druck und Zug beansprucht.

Schnittgrößen im Endzustand:

$$N_d = -170 \text{ kN}$$

Ideale Verzweigungslast:

$$\begin{aligned} N_{cr,y} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 1030/460^2 &= 1009 \text{ kN} \\ N_{cr,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 389/230^2 &= 1524 \text{ kN} \\ \lambda_y &= \sqrt{(31,4 \cdot 23,5/N_{cr,y})} &= 0,86 \\ \chi_y & &= 0,68 \\ \lambda_z &= \sqrt{(31,4 \cdot 23,5/N_{cr,z})} &= 0,70 \\ \chi_z & &= 0,72 \end{aligned}$$

Bemessungswiderstand gegen Knicken:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot 1 \cdot 31,4 \cdot 23,5/1,1 = 483 \text{ kN}$$

Biegeknicknachweis:

$$\eta = -N_d/N_{b,Rd} = \underline{\underline{0,35 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	109
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.8 Endquerträger Q 50

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile.  
Die Endquerträger wird auf Schub und Biegung beansprucht

Steg:

$$\text{vorh } d/t_w = 1185/40 = 29,6 < 33$$

Flansche:

$$\text{vorh } c/t_f = 180/40 = 4,5 < 9$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 1185/40 = 29,6 < 72$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4)

Lagerwechsel:

$$\begin{aligned} V_{zd} &= 6400 \text{ kN} \\ M_{yd} &= 4800 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$$\begin{aligned} \sigma_{xd} &= M_{yd} \cdot 100 / 27757 &= 17,3 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{Rd} &= 35,5 / 1,0 &= 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \eta &= \sigma_{xd} / \sigma_{Rd} &= \underline{\underline{0,49 < 1,0}} \\ \tau_d &= V_{zd} / 474,0 &= 13,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \tau_{Rd} &= 35,5 / (1,0 \cdot \sqrt{3}) &= 20,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \eta &= \tau_d / \tau_{Rd} &= \underline{\underline{0,66 < 1,0}} \end{aligned}$$

#### Bauteilbeanspruchbarkeit

Ideale Biegedrillknickmoment:

$$\begin{aligned} N_{ki,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 43299 / 350^2 &= 73259 \text{ kN} \\ c &= \sqrt{((160,00 \cdot 10^6 + 0,039 \cdot 350^2 \cdot 4212) / 43299)} &= 64,5 \text{ cm} \\ z_p &= 0,0 \text{ cm} \\ \zeta &= 1,1 \\ M_{cr} &= \zeta \cdot N_{ki,z} \cdot (\sqrt{(c^2 + 0,25 \cdot z_p^2)} + 0,5 \cdot z_p) / 100 &= 51977 \text{ kNm} \\ \lambda_{LT} &= \sqrt{(33642 \cdot 35,5 / (100 \cdot M_{cr}))} &= \underline{\underline{0,48 < 0,4}} \end{aligned}$$

Kein Biegedrillknicknachweis erforderlich!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	110
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.9 Fachwerkobergurt - Stahlquerschnitt im Bauzustand Q 1-3

#### Klassifizierung des Querschnittes

Die Einstufung erfolgt nach der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Querschnittsteile. Der Querschnitt wird auf Biegung und Druck beansprucht

Stege:

$$\text{vorh } d/t_w = 395/40 = 9,9 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

Flansche:

$$\text{vorh } b/t_f = 370/40 = 9,3 < 33 \cdot 0,81 = 26,7$$

--> Querschnittsklasse 1

Untersuchung des Schubbeulens:

$$\text{vorh } h_w/t_w = 395/40 = 9,9 < 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

#### Maßgebende Schnittgrößen (siehe 3.4.4, t= 0 d)

$N_d =$	-1950 kN
$V_{zd} =$	130 kN
$M_{yd} =$	-210 kNm
$M_{zd} =$	-40 kNm

#### Querschnittsbeanspruchbarkeit

$\sigma_{xd} =$	$N_d/716 + M_{yd} \cdot 100/8940 + M_{zd} \cdot 100/8548$	=	-5,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rd} =$	35,5/1,0	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$-\sigma_{xd}/\sigma_{Rd}$	=	<b><u>0,15 &lt; 1,0</u></b>
$\tau_d =$	$V_{zd}/308$	=	0,4 kN/cm <sup>2</sup>
$\tau_{Rd} =$	$35,5/(1,0 \cdot \sqrt{3})$	=	20,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\eta =$	$\tau_d/\tau_{Rd}$	=	<b><u>0,02 &lt; 1,0</u></b>

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	111
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Bauteilbeanspruchbarkeit

Im Bauzustand wird der Querschnitt auf Biegung und Druck beansprucht.

Schnittgrößen im Bauzustand:

$$\begin{aligned}
 N_d &= -1950 \text{ kN} \\
 M_{yd} &= -210 \text{ kNm} \\
 M_{zd} &= -40 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Ideale Verzweigungslast:

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 233862 / 295^2 &= & 556973 \text{ kN} \\
 N_{cr,z} &= \pi^2 \cdot 21000 \cdot 213694 / 1615^2 &= & 16981 \text{ kN} \\
 \lambda_y &= \sqrt{(716 \cdot 35,5 / N_{cr,y})} &= & 0,21 \\
 \chi_y &= & & 1,00 \\
 \lambda_z &= \sqrt{(716 \cdot 35,5 / N_{cr,z})} &= & 1,22 \\
 \chi_z &= & & 0,47
 \end{aligned}$$

Bemessungswiderstand gegen Knicken:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot 1 \cdot 716 \cdot 35,5 / 1,1 = 10860 \text{ kN}$$

Biegeknicknachweis:

$$\begin{aligned}
 k_y &= 1 - (-0,04 \cdot -N_d) / (\chi_y \cdot 716 \cdot 35,5) &= & 1,00 \\
 k_z &= 1 - (-1,87 \cdot -N_d) / (\chi_z \cdot 716 \cdot 35,5) &= & 1,31 \\
 \eta &= -N_d / N_{b,Rd} - k_y \cdot M_{yd} / 3835 - k_z \cdot M_{zd} / 3683 &= & \underline{\underline{0,25 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	112
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.10 Fachwerkobergurt - Verbundquerschnitt Q 1

#### Querschnittswerte

Betonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_c &= 220 \cdot 40 + 161 \cdot 30 & = & 13630 \text{ cm}^2 \\
 z_c & & = & -22,2 \text{ cm} \\
 I_c & & = & 1769270 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_a &= 2 \cdot 46 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 37 \cdot 4 & = & 716 \text{ cm}^2 \\
 z_a & & = & 23,8 \text{ cm} \\
 I_a & & = & 233862 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Bewehrungsstahlquerschnitt ( $\varnothing 20$ -12,5 cm oben + unten):

$$\begin{aligned}
 A_s & & = & 190 \text{ cm}^2 \\
 \rho_s &= A_s / A_c \cdot 100 & = & 1,394 \% \\
 z_s & & = & -22,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Gesamtstahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_{St} &= A_a + A_s & = & 906 \text{ cm}^2 \\
 z_{St} &= (A_a \cdot z_a + A_s \cdot z_s) / (A_{St}) & = & 14,2 \text{ cm} \\
 I_{St} &= I_a + A_a \cdot (z_{St} - z_a)^2 + A_s \cdot (z_{St} - z_s)^2 & = & 551591 \text{ cm}^4 \\
 a_{St} &= z_{St} - z_c & = & 36,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für Kurzzeitlasten mit  $n_0$

$$\begin{aligned}
 n_0 &= E_a / E_{cm} & = & 7,02 \\
 A_{c,0} &= A_c / n_0 & = & 1941,6 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,0} &= I_c / n_0 & = & 252033 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,0} &= A_{St} + A_{c,0} & = & 2847,6 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,0} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,0} & = & -11,6 \text{ cm} \\
 I_{i,0} &= I_{St} + I_{c,0} + A_{St} \cdot A_{c,0} \cdot a_{St}^2 / A_{i,0} & = & 1622111 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für ständige Einwirkungen mit  $n_p$

$$\begin{aligned}
 n_p &= n_0 \cdot (1 + 1,1 \cdot 1,5) & = & 18,60 \\
 A_{c,p} &= A_c / n_p & = & 732,8 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,p} &= I_c / n_p & = & 95122 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,p} &= A_{St} + A_{c,p} & = & 1638,8 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,p} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,p} & = & -20,1 \text{ cm} \\
 I_{i,p} &= I_{St} + I_{c,p} + A_{St} \cdot A_{c,p} \cdot a_{St}^2 / A_{i,p} & = & 1183486 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	113
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Verbundquerschnittswerte für zeitabhängige sekundäre Einwirkungen mit  $n_{pT}$

$$\begin{aligned}
 n_{pT} &= n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 1,5) &= & 12,81 \\
 A_{c,pT} &= A_c / n_{pT} &= & 1064,0 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,pT} &= I_c / n_{pT} &= & 138116 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,pT} &= A_{St} + A_{c,pT} &= & 1970,0 \text{ cm}^2 \\
 z_{i,c,pT} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,pT} &= & -16,7 \text{ cm} \\
 I_{i,pT} &= I_{St} + I_{c,pT} + A_{St} \cdot A_{c,pT} \cdot a_{St}^2 / A_{i,pT} &= & 1338052 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für Schwinden mit  $n_S$

$$\begin{aligned}
 n_S &= n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 2,8) &= & 17,83 \\
 A_{c,S} &= A_c / n_S &= & 764,4 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,S} &= I_c / n_S &= & 99230 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,S} &= A_{St} + A_{c,S} &= & 1670,4 \text{ cm}^2 \\
 z_{i,c,S} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,S} &= & -19,7 \text{ cm} \\
 I_{i,S} &= I_{St} + I_{c,S} + A_{St} \cdot A_{c,S} \cdot a_{St}^2 / A_{i,S} &= & 1200148 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

### Klassifizierung des Querschnittes

Der Stahlquerschnitt erfüllt die Bedingungen für die Querschnittsklasse 1.

Aufgrund der Normalkraftbeanspruchung des Verbundquerschnittes wird die Momenten Tragfähigkeit elastisch ermittelt.

Im ersten Schritt wird überprüft, ob zum Zeitpunkt  $t = \infty$ , ein ungerissener Betonquerschnitt vorliegt. Nach [5] darf die Spannung in der Randfaser unter den charakteristischen Schnittgrößen den Wert  $2 \cdot f_{ctm}$  nicht überschreiten.

Der Nachweis erfolgt mit den Extremwerten der Schnittkräfte und liegt damit auf der sicheren Seite.

Seltene Einwirkungskombination  $t = \infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned}
 N_{vp,d} &= -6200 \text{ kN} \\
 M_{vp,d} &= 210 \text{ kNm} \\
 N_{v0,d} &= 1000 \text{ kN} \\
 M_{v0,d} &= -840 \text{ kNm} \\
 N_{vpT,d} &= -190 \text{ kN} \\
 M_{vpT,d} &= -1140 \text{ kNm} \\
 N_{vS,d} &= -370 \text{ kN} \\
 M_{vS,d} &= -1260 \text{ kNm} \\
 N_{sh} &= 6100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	114
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Spannungen im Betonquerschnitt:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$$\sigma_{c,p} = N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) = -0,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,p} = M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) = -0,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) = 0,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) = 0,22 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) = 0,23 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{vs,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})) = -0,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,22 \text{ kN/cm}^2$$

**Betonrandspannung oben = 0,39 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$$\sigma_{c,p} = N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) = -0,20 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,p} = M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) = 0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) = 0,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) = -0,08 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) = -0,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{vs,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

**Betonrandspannung unten = -0,04 kN/cm<sup>2</sup>**

Grenzspannung  $2 \cdot f_{ctm} = 2 \cdot 0,32 = \underline{\underline{0,64 \text{ kN/cm}^2}}$

Die Schnittgrößenermittlung kann gemäß [5] mit dem ungerissenen Querschnitt erfolgen.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	115
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Querschnittsbeanspruchbarkeit

Die Querschnittstragfähigkeit wird mit den Teilschnittgrößen des Baustahlquerschnittes und des bewehrten Betonquerschnittes für die Zeitpunkte  $t=28$  d und  $t=\infty$  nachgewiesen.

GZT:  $t=28$  d ; max N; max M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned} N_{a,d} &= 1755 \text{ kN} \\ M_{a,d} &= 81 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{v0,d} &= -8370 + 1500 = -6870 \text{ kN} \\ M_{v0,d} &= 1607 + 1370 = 2977 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Teilschnittgrößen:

$$\begin{aligned} M_{c0,d} &= M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0} = 463 \text{ kNm} \\ N_{c0,d} &= M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * A_{c,0} / A_{i,0} = -8818 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{St0,d} &= M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0} = 1012 \text{ kNm} \\ N_{St0,d} &= M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * A_{St} / A_{i,0} = 1938 \text{ kN} \end{aligned}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned} \sigma_{a,d,unten} &= N_{a,d} / 716 + M_{a,d} * 100 / 8940 = 3,4 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{St,d,unten} &= N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * 35,8 / I_{St} = 8,7 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{xd} &= \sigma_{a,d,unten} + \sigma_{St,d,unten} = 12,1 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{Rd} &= 35,5 / 1,0 = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \eta &= \sigma_{xd} / \sigma_{Rd} = \underline{\underline{0,34 < 1,0}} \end{aligned}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -4,5 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$\begin{aligned} b &= 3,81 \text{ m} \\ h &= 0,36 \text{ m} \\ f_{cd} &= 0,85 * 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2 \\ \mu_{Ed} &= M_{c0,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) = 0,05 \\ \nu_{Ed} &= N_{c0,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) = -0,32 \\ \omega &= 0,000 \\ A_{s,tot} &= \omega * b * h * 10000 / 21,9 = \underline{\underline{0 \text{ cm}^2}} \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	116
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

GZT:  $t=28$  d ; min N; max M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned}
 N_{a,d} &= & -1890 \text{ kN} \\
 M_{a,d} &= & 81 \text{ kNm} \\
 N_{v0,d} &= & -13500-8900 & = & -22400 \text{ kN} \\
 M_{v0,d} &= & 1607+1370 & = & 2977 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Teilschnittgrößen:

$$\begin{aligned}
 M_{c0,d} &= & M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0} & = & 463 \text{ kNm} \\
 N_{c0,d} &= & M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * A_{c,0} / A_{i,0} & = & -19407 \text{ kN} \\
 M_{St0,d} &= & M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0} & = & 1012 \text{ kNm} \\
 N_{St0,d} &= & M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * A_{St} / A_{i,0} & = & -3003 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{a,d,oben} &= & N_{a,d} / 716 + M_{a,d} * 100 / -9809 & = & -3,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,oben} &= & N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * -14,2 / I_{St} & = & -5,9 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xd} &= & \sigma_{a,d,oben} + \sigma_{St,d,oben} & = & -9,4 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{Rd} &= & 35,5 / 1,0 & = & 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= & -\sigma_{xd} / \sigma_{Rd} & = & \underline{\underline{0,26 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -10,0 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 b &= & 3,81 \text{ m} \\
 h &= & 0,36 \text{ m} \\
 f_{cd} &= & 0,85 * 35 / 1,5 & = & 19,8 \text{ MN/m}^2 \\
 \mu_{Ed} &= & M_{c0,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) & = & 0,05 \\
 \nu_{Ed} &= & N_{c0,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) & = & -0,71 \\
 \omega &= & 0,000 \\
 A_{s,tot} &= & \omega * b * h * 10000 / 21,9 & = & \underline{\underline{0 \text{ cm}^2}}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	117
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

GZT:  $t=\infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{a,d} =$	1755 kN
$M_{a,d} =$	-203 kNm
$N_{vp,d} =$	-8370 kN
$M_{vp,d} =$	284 kNm
$N_{v0,d} =$	1500 kN
$M_{v0,d} =$	-1130 kNm
$N_{vpT,d} =$	-257 kN
$M_{vpT,d} =$	-1539 kNm
$N_{vS,d} =$	-370 kN
$M_{vS,d} =$	-1260 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Teilschnittgrößen:

$M_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{c,p} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{c,p} / I_{i,p}$	=	80 kNm
$N_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{c,p} / I_{i,p} * z_{ic,p} + N_{vp,d} * (A_{c,p} / A_{i,p} - 8,5 * z_{ic,p} * A_{c,p} / I_{i,p})$	=	-4982 kN
$M_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{St} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{St} / I_{i,p}$	=	464 kNm
$N_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{St} / I_{i,p} * 16,3 + N_{vp,d} * (A_{St} / A_{i,p} - 8,5 * 16,3 * A_{St} / I_{i,p})$	=	-3385 kN
$M_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0}$	=	-176 kNm
$N_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * (A_{c,0} / A_{i,0})$	=	2592 kN
$M_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0}$	=	-384 kNm
$N_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * (A_{St} / A_{i,0})$	=	-1088 kN
$M_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{c,pT} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{c,pT} / I_{i,pT}$	=	-158 kNm
$N_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{c,pT} / I_{i,pT} * z_{ic,pT} + N_{vpT,d} * (A_{c,pT} / A_{i,pT} - 5,1 * z_{ic,pT} * A_{c,pT} / I_{i,pT})$	=	1888 kN
$M_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{St} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{St} / I_{i,pT}$	=	-629 kNm
$N_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{St} / I_{i,pT} * 19,7 + N_{vpT,d} * (A_{St} / A_{i,pT} - 5,1 * 19,7 * A_{St} / I_{i,pT})$	=	-2154 kN
$M_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{c,S} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	-102 kNm
$N_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{c,S} / I_{i,S} * z_{ic,S} + N_{vS,d} * (A_{c,S} / A_{i,S} - 8,1 * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1374 kN
$M_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{St} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{St} / I_{i,S}$	=	-565 kNm
$N_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{St} / I_{i,S} * 16,7 + N_{vS,d} * (A_{St} / A_{i,S} - 8,1 * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1751 kN
$M_{csh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	99 kNm
$N_{csh,d} =$	$N_{sh} * (1 - A_{c,S} / A_{i,S} - z_{ic,S} * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1801 kN
$M_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{St} / I_{i,S}$	=	552 kNm
$N_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * (A_{St} / A_{i,S} + z_{ic,S} * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1794 kN

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	118
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

$$\begin{aligned}
 M_{c,d} &= M_{cp,d} + M_{c0,d} + M_{cpT,d} + M_{cS,d} + M_{csh,d} &= & -257 \text{ kNm} \\
 N_{c,d} &= N_{cp,d} + N_{c0,d} + N_{cpT,d} + N_{cS,d} + N_{csh,d} &= & 2673 \text{ kN} \\
 \\ 
 M_{St,d} &= M_{Stp,d} + M_{St0,d} + M_{StpT,d} + M_{StS,d} + M_{Stsh,d} &= & -562 \text{ kNm} \\
 N_{St,d} &= N_{Stp,d} + N_{St0,d} + N_{StpT,d} + N_{StS,d} + N_{Stsh,d} &= & -10172 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{a,d,oben} &= N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / -9809 &= & 4,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{a,d,unten} &= N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / 8939 &= & 0,2 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,oben} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -14,2 / I_{St} &= & -9,8 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,unten} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * 35,8 / I_{St} &= & -14,9 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xd} &= \sigma_{a,d,unten} + \sigma_{St,d,unten} &= & -14,7 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{Rd} &= 35,5 / 1,0 &= & 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= -\sigma_{xd} / \sigma_{Rd} &= & \underline{\underline{0,41 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -7,5 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 b &= 3,81 \text{ m} \\
 h &= 0,36 \text{ m} \\
 f_{cd} &= 0,85 * 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2 \\
 \\ 
 \mu_{Ed} &= -M_{c,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) = 0,03 \\
 \nu_{Ed} &= N_{c,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) = 0,10 \\
 \omega &= 0,200 \\
 A_{s,tot} &= \omega * b * h * 10000 / 21,9 = \underline{\underline{125 \text{ cm}^2}}
 \end{aligned}$$

Alternativer Nachweis am gerissenen Querschnitt:

$$\begin{aligned}
 N_{a,d} &= 1755 \text{ kN} \\
 M_{a,d} &= -203 \text{ kNm} \\
 N_{v,d} &= -6700 - N_{a,d} = -8455 \text{ kN} \\
 M_{v,d} &= -3150 - M_{a,d} = -2947 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Transformation der Verbundchnittgrößen auf die Schwereachse des Stahlquerschnittes

$$\begin{aligned}
 N_{St,d} &= N_{v,d} = -8455 \text{ kN} \\
 M_{St,d} &= M_{v,d} - N_{v,d} * (a_{St} + z_{ic,0}) / 100 = -850 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{St,d,oben} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -14,2 / I_{St} = -7,1 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,unten} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * 35,8 / I_{St} = -14,8 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -3,7 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	119
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

GZT:  $t=\infty$ ; min N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{a,d} =$	-1890 kN
$M_{a,d} =$	-203 kNm
$N_{vp,d} =$	-13500 kN
$M_{vp,d} =$	284 kNm
$N_{v0,d} =$	-8900 kN
$M_{v0,d} =$	-1130 kNm
$N_{vpT,d} =$	-446 kN
$M_{vpT,d} =$	-1539 kNm
$N_{vS,d} =$	-370 kN
$M_{vS,d} =$	-1260 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Teilschnittgrößen:

$M_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{c,p} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{c,p} / I_{i,p}$	=	115 kNm
$N_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{c,p} / I_{i,p} * z_{ic,p} + N_{vp,d} * (A_{c,p} / A_{i,p} - 8,5 * z_{ic,p} * A_{c,p} / I_{i,p})$	=	-7818 kN
$M_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{St} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{St} / I_{i,p}$	=	667 kNm
$N_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{St} / I_{i,p} * 16,3 + N_{vp,d} * (A_{St} / A_{i,p} - 8,5 * 16,3 * A_{St} / I_{i,p})$	=	-5677 kN
$M_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0}$	=	-176 kNm
$N_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * (A_{c,0} / A_{i,0})$	=	-4499 kN
$M_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0}$	=	-384 kNm
$N_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * (A_{St} / A_{i,0})$	=	-4397 kN
$M_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{c,pT} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{c,pT} / I_{i,pT}$	=	-157 kNm
$N_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{c,pT} / I_{i,pT} * z_{ic,pT} + N_{vpT,d} * (A_{c,pT} / A_{i,pT} - 5,1 * z_{ic,pT} * A_{c,pT} / I_{i,pT})$	=	1773 kN
$M_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{St} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{St} / I_{i,pT}$	=	-625 kNm
$N_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{St} / I_{i,pT} * 19,7 + N_{vpT,d} * (A_{St} / A_{i,pT} - 5,1 * 19,7 * A_{St} / I_{i,pT})$	=	-2228 kN
$M_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{c,S} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	-102 kNm
$N_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{c,S} / I_{i,S} * z_{ic,S} + N_{vS,d} * (A_{c,S} / A_{i,S} - 8,1 * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1374 kN
$M_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{St} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{St} / I_{i,S}$	=	-565 kNm
$N_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{St} / I_{i,S} * 16,7 + N_{vS,d} * (A_{St} / A_{i,S} - 8,1 * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1751 kN
$M_{csh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	99 kNm
$N_{csh,d} =$	$N_{sh} * (1 - A_{c,S} / A_{i,S} - z_{ic,S} * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1801 kN
$M_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{St} / I_{i,S}$	=	552 kNm
$N_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * (A_{St} / A_{i,S} + z_{ic,S} * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1794 kN

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	120
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

$$\begin{aligned}
 M_{c,d} &= M_{cp,d} + M_{c0,d} + M_{cpT,d} + M_{cS,d} + M_{csh,d} &= & -221 \text{ kNm} \\
 N_{c,d} &= N_{cp,d} + N_{c0,d} + N_{cpT,d} + N_{cS,d} + N_{csh,d} &= & -7369 \text{ kN} \\
 M_{St,d} &= M_{Stp,d} + M_{St0,d} + M_{StpT,d} + M_{StS,d} + M_{Stsh,d} &= & -355 \text{ kNm} \\
 N_{St,d} &= N_{Stp,d} + N_{St0,d} + N_{StpT,d} + N_{StS,d} + N_{Stsh,d} &= & -15847 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{a,d,oben} &= N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / -9809 &= & -0,6 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{a,d,unten} &= N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / 8939 &= & -4,9 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,oben} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -14,2 / I_{St} &= & -16,6 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,unten} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * 35,8 / I_{St} &= & -19,8 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xd} &= \sigma_{a,d,unten} + \sigma_{St,d,unten} &= & -24,7 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{Rd} &= 35,5 / 1,0 &= & 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= -\sigma_{xd} / \sigma_{Rd} &= & \underline{\underline{0,70 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

#### Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -15,1 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 b &= 3,81 \text{ m} \\
 h &= 0,36 \text{ m} \\
 f_{cd} &= 0,85 * 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2 \\
 \mu_{Ed} &= -M_{c,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) = 0,02 \\
 \nu_{Ed} &= N_{c,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) = -0,27 \\
 \omega &= 0,000 \\
 A_{s,tot} &= \omega * b * h * 10000 / 21,9 = \underline{\underline{0 \text{ cm}^2}}
 \end{aligned}$$

#### Querkrafttragfähigkeit

$$\begin{aligned}
 V_{z,d} &= 730 \text{ kN} \\
 \tau_d &= V_{z,d} / 308 = 0,4 \text{ kN/cm}^2 \\
 \tau_{Rd} &= 35,5 / (1,0 * \sqrt{3}) = 20,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= \tau_d / \tau_{Rd} = \underline{\underline{0,02 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	121
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung - Ermüdungsnachweis des Baustahls

### Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 6 --> Kerbgruppe 100

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 8 --> Kerbgruppe 80

Quernähte: Mit stählerner Wurzelunterlage: Detail 9 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 2 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 5 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 6 --> Kerbgruppe 71

$$\Delta\sigma_C = 7,1 \text{ kN/cm}^2$$

### Schnittgrößen für Ermüdungsnachweis

Für den Ermüdungsnachweis nach [5] werden die Schnittgrößen der nicht-häufigen Einwirkungskombination mit dem Lastmodell 71 verwendet. Die maximalen Schnittgrößen sollten getrennt für die maximalen und minimalen Beanspruchungen aus Temperatur ermittelt werden [5]. Die maximalen Momente treten bei negativer Temperaturbeanspruchung auf.

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned} \gamma_{Ff} &= 1,00 \\ \gamma_{Mf} &= 1,25 \end{aligned}$$

Im ersten Schritt wird überprüft, ob zum Zeitpunkt  $t=\infty$ , ein ungerissener Betonquerschnitt unter maximaler und minimaler Momentenbeanspruchung vorliegt. Der Nachweis erfolgt mit den Extremwerten der Schnittkräfte und liegt damit auf der sicheren Seite.

Ermüdung - Nicht-häufige Einwirkungskombination mit LM 71, negativer Temperaturbeanspruchung  $t=\infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned} N_{vp,d} &= -6200 \text{ kN} \\ M_{vp,d} &= 210 \text{ kNm} \\ N_{v0,d} &= -110 \text{ kN} \\ M_{v0,d} &= -630 \text{ kNm} \\ N_{vpT,d} &= -190 \text{ kN} \\ M_{vpT,d} &= -1140 \text{ kNm} \\ N_{vS,d} &= -370 \text{ kN} \\ M_{vS,d} &= -1260 \text{ kNm} \\ N_{sh} &= 6100 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	122
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Spannungen im Betonquerschnitt unter minimaler Momentenbeanspruchung:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$$\begin{aligned} \sigma_{c,p} &= N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) &= -0,29 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,p} &= M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) &= -0,04 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) &= -0,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) &= 0,16 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) &= -0,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) &= 0,23 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= N_{sh}/A_c - N_{sh} / (n_S \cdot A_{i,S}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= 0,03 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,S} &= N_{vS,d} \cdot (1/(n_S \cdot A_{i,S}) - 8,1 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S})) &= -0,02 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,S} &= M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= 0,22 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

**Betonrandspannung oben = 0,27 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$$\begin{aligned} \sigma_{c,p} &= N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) &= -0,20 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,p} &= M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) &= 0,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) &= -0,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) &= -0,06 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) &= -0,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) &= -0,04 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= N_{sh}/A_c - N_{sh} / (n_S \cdot A_{i,S}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= 0,26 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,S} &= N_{vS,d} \cdot (1/(n_S \cdot A_{i,S}) - 8,1 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S})) &= -0,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,S} &= M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= -0,01 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

**Betonrandspannung oben = -0,08 kN/cm<sup>2</sup>**

Unter maximaler Normalkraft- und minimaler Momentenbeanspruchung ist der Querschnitt teilweise gerissen!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	123
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Einwirkungskombination mit LM 71, negativer Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ ; max N; max M (siehe 3.4.4)

$N_{vp,d} =$	-6200 kN
$M_{vp,d} =$	1190 kNm
$N_{v0,d} =$	-110 kN
$M_{v0,d} =$	-130 kNm
$N_{vpT,d} =$	-190 kN
$M_{vpT,d} =$	-590 kNm
$N_{vS,d} =$	-370 kN
$M_{vS,d} =$	-1260 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Spannungen im Betonquerschnitt unter maximaler Momentenbeanspruchung:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	=	-0,29 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	=	-0,20 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	=	0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	=	0,12 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	=	-0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,22 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = -0,13 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	=	-0,20 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	=	0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	=	-0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,26 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = -0,00 kN/cm<sup>2</sup>**

Unter maximaler Normalkraft- und Momentenbeanspruchung ist der Querschnitt nicht gerissen!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	124
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Die Spannungsschwingbreite wird mit den Schnittgrößen der nicht-häufigen Einwirkungskombination mit dem Lastmodell 71 und positiver bzw. negativer Temperaturdifferenz ermittelt.

Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, positive Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = 130 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = 780 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0} = 265 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0}) = 1122 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -14,2 / I_{St} = 0,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot 35,8 / I_{St} = 3,0 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -4050 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = 350 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0} = 119 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0}) = -804 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -14,2 / I_{St} = -1,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot 35,8 / I_{St} = -0,1 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{p,oben} = \text{ABS}(0,6+1,2) = 1,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{p,unten} = \text{ABS}(3,0+0,1) = 3,1 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	125
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, negative Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -110 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -130 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0} = -44 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0}) = -215 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -14,2 / I_{St} = -0,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot 35,8 / I_{St} = -0,5 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -4300 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -630 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0} = -214 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0}) = -2241 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -14,2 / I_{St} = -1,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot 35,8 / I_{St} = -3,9 \text{ kN/cm}^2$$

max N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -110 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -630 \text{ kNm}$$

Transformation der Verbundchnittgrößen auf die Schwereachse des Stahlquerschnittes

$$N_{St,d} = N_{v0,d} = -110 \text{ kN}$$

$$M_{St,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (a_{St} + z_{ic,0}) / 100 = -603 \text{ kNm}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d} / A_{St} + M_{St,d} \cdot 100 \cdot -14,2 / I_{St} = 1,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{St,d,unten} = N_{St,d} / A_{St} + M_{St,d} \cdot 100 \cdot 35,8 / I_{St} = -4,0 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{p,oben} = \text{ABS}(1,4 + 1,9) = 3,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{p,unten} = \text{ABS}(-0,5 + 4,0) = 3,5 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	126
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Anpassungsbeiwert  $\lambda$

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 47,3 m

$$\lambda_1 = 0,64$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol= 18\*10<sup>6</sup> t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer: N<sub>years</sub> = 100

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0,60$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\Phi_2 = 1,04$$

$$\Delta\sigma_{E2,oben} = \lambda * \Phi_2 * 3,3 = 2,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E2,unten} = \lambda * \Phi_2 * 3,5 = 2,2 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\Delta\sigma_C = 7,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2,oben} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,37 < 1,0}}$$

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2,unten} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,39 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	127
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung - Ermüdungsnachweis des Betonstahls

Die schädigungsäquivalente Schwingbreite für Betonstahl ist nach [3] Anhang 106 zu ermitteln.

$$\Delta\sigma_{S, \text{equ}} = \lambda_S \cdot \Delta\sigma_{S,71}$$

Dabei ist  $\Delta\sigma_{S,71}$  die Schwingbreite infolge LM 71 in der nicht-häufigen Kombination und  $\lambda_S$  ein Korrekturfaktor.

Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{F, \text{fat}}$	1,00
$\gamma_{Ed, \text{fat}}$	1,00
$\gamma_{s, \text{fat}}$	1,15

Für maximale Normalkraft- und minimale Momentenbeanspruchung liegt bei negativer Temperaturbeanspruchung ein gerissener Querschnitt vor. Für alle anderen Kombinationen ist der Querschnitt ungerissen (siehe Ermüdungsnachweis Baustahl).

### Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, positive Temperaturbeanspruchung $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$N_{v0,d}$			130 kN
$M_{v0,d}$			780 kNm
$M_{St0,d}$	$M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0}$	=	265 kNm
$N_{St0,d}$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0})$	=	1122 kN

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,d} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = -0,5 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{v0,d}$			-4050 kN
$M_{v0,d}$			350 kNm
$M_{St0,d}$	$M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0}$	=	119 kNm
$N_{St0,d}$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0})$	=	-804 kN

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,d} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = -1,7 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{s,71} = \text{ABS}(-0,5 + 1,7) = 1,2 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	128
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, negative Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -110 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -130 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0} = -44 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0}) = -215 \text{ kN}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,d} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = 0,1 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -4300 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -630 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot I_{St} / I_{i,0} = -214 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{St} / I_{i,0} \cdot 24,8 + N_{v0,d} \cdot (A_{St} / A_{i,0}) = -2241 \text{ kN}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,d} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = -1,1 \text{ kN/cm}^2$$

max N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -110 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -630 \text{ kNm}$$

Transformation der Verbundchnittgrößen auf die Schwereachse des Stahlquerschnittes

$$N_{St,d} = N_{v0,d} = -110 \text{ kN}$$

$$M_{St,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (a_{St} + z_{ic,0}) / 100 = -603 \text{ kNm}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,2} = N_{St,d} / A_{St} + M_{St,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = 3,9 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungen aus Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen

$$\alpha_{St} = A_{St} \cdot I_{St} / (A_a \cdot I_a) = 2,98$$

$$\beta = 0,40$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 0,01394$$

$$\sigma_{s,d} = \sigma_{s,2} + \beta \cdot 0,32 / (\alpha_{St} \cdot \rho_s) = 7,0 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{s,71} = \text{ABS}(7,0 + 1,1) = 8,1 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	129
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Korrekturfaktor  $\lambda_S$ :

$\lambda_{S1}$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr;  $L > 20$  m

$$\lambda_{S1} = 0,65$$

$\lambda_{S2}$  - Jährliches Verkehrsaufkommen:  $\text{Vol} = 18 \cdot 10^6$  t;  $k_2 = 9$

$$\lambda_{S2} = 0,96$$

$\lambda_{S3}$  - Nutzungsdauer:  $N_{\text{years}} = 100$ ;  $k_2 = 9$

$$\lambda_{S3} = 1,00$$

$\lambda_{S4}$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_{S4} = 1,00$$

$$\lambda_S = \lambda_{S1} * \lambda_{S2} * \lambda_{S3} * \lambda_{S4} = 0,62$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\Phi_2 = 1,04$$

$$\Delta\sigma_{S,\text{equ}} = \lambda_S * \Phi_2 * 8,2 = 5,3 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\Delta\sigma_{\text{Rsk}} = 17,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = \Delta\sigma_{S,\text{equ}} * 1,15 / \Delta\sigma_{\text{Rsk}} = \underline{\underline{0,35 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	130
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung - Ermüdungsnachweis des Stahlbetons

Es wird der vereinfachte Ermüdungsnachweis nach [3] Kapitel II-4.3.7.4 geführt. Die Bemessungswerte der Betondruckspannung sind in der häufigen Einwirkungskombination zu ermitteln.

Maximale Druckspannung in der häufigen Einwirkungskombination:  $t = \infty$ ; min N; max M (siehe 3.4.4)

$N_{vp,d} =$	-10000 kN
$M_{vp,d} =$	1190 kNm
$N_{v0,d} =$	-4650 kN
$M_{v0,d} =$	710 kNm
$N_{vpT,d} =$	-330 kN
$M_{vpT,d} =$	-590 kNm
$N_{vS,d} =$	-370 kN
$M_{vS,d} =$	-1260 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Spannungen im Betonquerschnitt:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	=	-0,47 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	=	-0,20 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	=	-0,23 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	=	-0,18 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	=	-0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	=	0,12 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh} / A_c - N_{sh} / (n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	=	-0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,22 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = -0,75 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	=	-0,32 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	=	0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	=	-0,23 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	=	0,07 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	=	-0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh} / A_c - N_{sh} / (n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,26 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = -0,26 kN/cm<sup>2</sup>**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	131
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Minimale Druckspannung in der häufigen Einwirkungskombination:  $t = \infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{vp,d} =$	-6200 kN
$M_{vp,d} =$	210 kNm
$N_{v0,d} =$	150 kN
$M_{v0,d} =$	-530 kNm
$N_{vpT,d} =$	-190 kN
$M_{vpT,d} =$	-1140 kNm
$N_{vS,d} =$	-370 kN
$M_{vS,d} =$	-1260 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Spannungen im Betonquerschnitt:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	= -0,29 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	= -0,04 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	= 0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	= 0,14 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	= -0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	= 0,23 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	= -0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,22 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = 0,27 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	= -0,20 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	= 0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	= 0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	= -0,05 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	= -0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	= -0,04 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,26 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	= -0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= -0,01 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = -0,05 kN/cm<sup>2</sup>**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	132
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Nachweis:

Maximale Druckspannung am oberen Querschnittsrand:

$$\sigma_{cd,max} = -0,75 \text{ kN/cm}^2$$

Minimale Druckspannung am oberen Querschnittsrand

$$\sigma_{cd,min} = 0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd,fat} = 1 \cdot 19,83 \cdot (1 - 35/250) = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = -10 \cdot \sigma_{cd,max} / f_{cd,fat} = \underline{\underline{0,44 < 0,50}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	133
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.11 Fachwerkobergurt - Verbundquerschnitt Q 2

#### Querschnittswerte

Betonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_c &= 220 \cdot 40 + 161 \cdot 30 & = & 13630 \text{ cm}^2 \\
 z_c & & & -22,2 \text{ cm} \\
 I_c & & & 1769270 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_a &= 2 \cdot 46 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 37 \cdot 4 & = & 716 \text{ cm}^2 \\
 z_a & & & 23,8 \text{ cm} \\
 I_a & & & 233862 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Bewehrungsstahlquerschnitt ( $\varnothing 16$ -12,5 cm oben + unten):

$$\begin{aligned}
 A_s & & & 190 \text{ cm}^2 \\
 \rho_s &= A_s / A_c \cdot 100 & = & 1,394 \% \\
 z_s & & & -22,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Gesamtstahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 A_{St} &= A_a + A_s & = & 906 \text{ cm}^2 \\
 z_{St} &= (A_a \cdot z_a + A_s \cdot z_s) / (A_{St}) & = & 14,2 \text{ cm} \\
 I_{St} &= I_a + A_a \cdot (z_{St} - z_a)^2 + A_s \cdot (z_{St} - z_s)^2 & = & 551591 \text{ cm}^4 \\
 a_{St} &= z_{St} - z_c & = & 36,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für Kurzzeitlasten mit  $n_0$

$$\begin{aligned}
 n_0 &= E_a / E_{cm} & = & 7,02 \\
 A_{c,0} &= A_c / n_0 & = & 1941,6 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,0} &= I_c / n_0 & = & 252033 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,0} &= A_{St} + A_{c,0} & = & 2847,6 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,0} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,0} & = & -11,6 \text{ cm} \\
 I_{i,0} &= I_{St} + I_{c,0} + A_{St} \cdot A_{c,0} \cdot a_{St}^2 / A_{i,0} & = & 1622111 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für ständige Einwirkungen mit  $n_p$

$$\begin{aligned}
 n_p &= n_0 \cdot (1 + 1,1 \cdot 1,5) & = & 18,60 \\
 A_{c,p} &= A_c / n_p & = & 732,8 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,p} &= I_c / n_p & = & 95122 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,p} &= A_{St} + A_{c,p} & = & 1638,8 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,p} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,p} & = & -20,1 \text{ cm} \\
 I_{i,p} &= I_{St} + I_{c,p} + A_{St} \cdot A_{c,p} \cdot a_{St}^2 / A_{i,p} & = & 1183486 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	134
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Verbundquerschnittswerte für zeitabhängige sekundäre Einwirkungen mit  $n_{pT}$

$$\begin{aligned}
 n_{pT} &= n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 1,5) &= & 12,81 \\
 A_{c,pT} &= A_c / n_{pT} &= & 1064,0 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,pT} &= I_c / n_{pT} &= & 138116 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,pT} &= A_{St} + A_{c,pT} &= & 1970,0 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,pT} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,pT} &= & -16,7 \text{ cm} \\
 I_{i,pT} &= I_{St} + I_{c,pT} + A_{St} \cdot A_{c,pT} \cdot a_{St}^2 / A_{i,pT} &= & 1338052 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für Schwinden mit  $n_S$

$$\begin{aligned}
 n_S &= n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 2,8) &= & 17,83 \\
 A_{c,S} &= A_c / n_S &= & 764,4 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,S} &= I_c / n_S &= & 99230 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,S} &= A_{St} + A_{c,S} &= & 1670,4 \text{ cm}^2 \\
 z_{ic,S} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,S} &= & -19,7 \text{ cm} \\
 I_{i,S} &= I_{St} + I_{c,S} + A_{St} \cdot A_{c,S} \cdot a_{St}^2 / A_{i,S} &= & 1200148 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

### Klassifizierung des Querschnittes

Der Stahlquerschnitt erfüllt die Bedingungen für die Querschnittsklasse 1.

Aufgrund der Normalkraftbeanspruchung des Verbundquerschnittes wird die Momenten Tragfähigkeit elastisch ermittelt.

Im ersten Schritt wird überprüft, ob zum Zeitpunkt  $t = \infty$ , ein ungerissener Betonquerschnitt vorliegt. Nach [5] darf die Spannung in der Randfaser unter den charakteristischen Schnittgrößen den Wert  $2 \cdot f_{ctm}$  nicht überschreiten.

Der Nachweis erfolgt mit den Extremwerten der Schnittkräfte und liegt damit auf der sicheren Seite.

Seltene Einwirkungskombination  $t = \infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned}
 N_{vp,d} &= -2300 \text{ kN} \\
 M_{vp,d} &= -80 \text{ kNm} \\
 N_{v0,d} &= 900 \text{ kN} \\
 M_{v0,d} &= -990 \text{ kNm} \\
 N_{vpT,d} &= -70 \text{ kN} \\
 M_{vpT,d} &= -700 \text{ kNm} \\
 N_{vS,d} &= -360 \text{ kN} \\
 M_{vS,d} &= -1380 \text{ kNm} \\
 N_{sh} &= 6100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	135
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Spannungen im Betonquerschnitt:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$$\sigma_{c,p} = N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) = -0,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,p} = M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) = 0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) = 0,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) = 0,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) = -0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) = 0,14 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{vs,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})) = -0,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,24 \text{ kN/cm}^2$$

**Betonrandspannung oben = 0,60 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$$\sigma_{c,p} = N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) = -0,07 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,p} = M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) = -0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) = 0,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) = -0,09 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) = -0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) = -0,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{vs,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = -0,02 \text{ kN/cm}^2$$

**Betonrandspannung unten = 0,10 kN/cm<sup>2</sup>**

Grenzspannung  $2 \cdot f_{ctm} = 2 \cdot 0,32 = \underline{\underline{0,64 \text{ kN/cm}^2}}$

Die Schnittgrößenermittlung kann gemäß [5] mit dem ungerissenen Querschnitt erfolgen.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	136
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Querschnittsbeanspruchbarkeit

Die Querschnittstragfähigkeit wird mit den Teilschnittgrößen des Baustahlquerschnittes und des bewehrten Betonquerschnittes für die Zeitpunkte  $t=28$  d und  $t=\infty$  nachgewiesen.

GZT:  $t=28$  d ; max N; max M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned} N_{a,d} &= -270 \text{ kN} \\ M_{a,d} &= 81 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{v0,d} &= -3105 + 1300 = -1805 \text{ kN} \\ M_{v0,d} &= 864 + 1170 = 2034 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Teilschnittgrößen:

$$\begin{aligned} M_{c0,d} &= M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0} = 316 \text{ kNm} \\ N_{c0,d} &= M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * A_{c,0} / A_{i,0} = -4055 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{St0,d} &= M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0} = 692 \text{ kNm} \\ N_{St0,d} &= M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * A_{St} / A_{i,0} = 2243 \text{ kN} \end{aligned}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned} \sigma_{a,d,unten} &= N_{a,d} / 716 + M_{a,d} * 100 / 8940 = 0,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{St,d,unten} &= N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * 35,8 / I_{St} = 7,0 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{xd} &= \sigma_{a,d,unten} + \sigma_{St,d,unten} = 7,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{Rd} &= 35,5 / 1,0 = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \eta &= \sigma_{xd} / \sigma_{Rd} = \underline{\underline{0,21 < 1,0}} \end{aligned}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -2,1 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$\begin{aligned} b &= 3,81 \text{ m} \\ h &= 0,36 \text{ m} \\ f_{cd} &= 0,85 * 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2 \\ \mu_{Ed} &= M_{c0,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) = 0,03 \\ \nu_{Ed} &= N_{c0,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) = -0,15 \\ \omega &= 0,000 \\ A_{s,tot} &= \omega * b * h * 10000 / 21,9 = \underline{\underline{0 \text{ cm}^2}} \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	137
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

GZT:  $t=28$  d ; min N; max M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned}
 N_{a,d} &= & -1960 \text{ kN} \\
 M_{a,d} &= & 81 \text{ kNm} \\
 N_{v0,d} &= & -8370-6100 & = & -14470 \text{ kN} \\
 M_{v0,d} &= & 864+1170 & = & 2034 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Teilschnittgrößen:

$$\begin{aligned}
 M_{c0,d} &= & M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0} & = & 316 \text{ kNm} \\
 N_{c0,d} &= & M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * A_{c,0} / A_{i,0} & = & -12690 \text{ kN} \\
 M_{St0,d} &= & M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0} & = & 692 \text{ kNm} \\
 N_{St0,d} &= & M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * A_{St} / A_{i,0} & = & -1786 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{a,d,oben} &= & N_{a,d} / 716 + M_{a,d} * 100 / -9809 & = & -3,6 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{a,d,unten} &= & N_{a,d} / 716 + M_{a,d} * 100 / 8940 & = & -1,8 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,oben} &= & N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * -14,2 / I_{St} & = & -3,8 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,unten} &= & N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * 35,8 / I_{St} & = & 2,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xd} &= & \sigma_{a,d,oben} + \sigma_{St,d,oben} & = & -7,4 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{Rd} &= & 35,5 / 1,0 & = & 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= & -\sigma_{xd} / \sigma_{Rd} & = & \underline{\underline{0,21 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -6,5 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 b &= & 3,81 \text{ m} \\
 h &= & 0,36 \text{ m} \\
 f_{cd} &= & 0,85 * 35 / 1,5 & = & 19,8 \text{ MN/m}^2 \\
 \mu_{Ed} &= & M_{c0,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) & = & 0,03 \\
 \nu_{Ed} &= & N_{c0,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) & = & -0,47 \\
 \omega &= & & = & 0,000 \\
 A_{s,tot} &= & \omega * b * h * 10000 / 21,9 & = & \underline{\underline{0 \text{ cm}^2}}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	138
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

GZT:  $t=\infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{a,d} =$	-270 kN
$M_{a,d} =$	-41 kNm
$N_{vp,d} =$	-3105 kN
$M_{vp,d} =$	-108 kNm
$N_{v0,d} =$	1300 kN
$M_{v0,d} =$	-1330 kNm
$N_{vpT,d} =$	-95 kN
$M_{vpT,d} =$	-945 kNm
$N_{vS,d} =$	-360 kN
$M_{vS,d} =$	-1380 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Teilschnittgrößen:

$M_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{c,p} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{c,p} / I_{i,p}$	=	13 kNm
$N_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{c,p} / I_{i,p} * z_{ic,p} + N_{vp,d} * (A_{c,p} / A_{i,p} - 8,5 * z_{ic,p} * A_{c,p} / I_{i,p})$	=	-1582 kN
$M_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{St} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{St} / I_{i,p}$	=	73 kNm
$N_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{St} / I_{i,p} * 16,3 + N_{vp,d} * (A_{St} / A_{i,p} - 8,5 * 16,3 * A_{St} / I_{i,p})$	=	-1522 kN
$M_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0}$	=	-207 kNm
$N_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * (A_{c,0} / A_{i,0})$	=	2733 kN
$M_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0}$	=	-452 kNm
$N_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * (A_{St} / A_{i,0})$	=	-1429 kN
$M_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{c,pT} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{c,pT} / I_{i,pT}$	=	-97 kNm
$N_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{c,pT} / I_{i,pT} * z_{ic,pT} + N_{vpT,d} * (A_{c,pT} / A_{i,pT} - 5,1 * z_{ic,pT} * A_{c,pT} / I_{i,pT})$	=	1197 kN
$M_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{St} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{St} / I_{i,pT}$	=	-388 kNm
$N_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{St} / I_{i,pT} * 19,7 + N_{vpT,d} * (A_{St} / A_{i,pT} - 5,1 * 19,7 * A_{St} / I_{i,pT})$	=	-1298 kN
$M_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{c,S} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	-112 kNm
$N_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{c,S} / I_{i,S} * z_{ic,S} + N_{vS,d} * (A_{c,S} / A_{i,S} - 8,1 * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1530 kN
$M_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{St} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{St} / I_{i,S}$	=	-621 kNm
$N_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{St} / I_{i,S} * 16,7 + N_{vS,d} * (A_{St} / A_{i,S} - 8,1 * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1898 kN
$M_{csh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	99 kNm
$N_{csh,d} =$	$N_{sh} * (1 - A_{c,S} / A_{i,S} - z_{ic,S} * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1801 kN
$M_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{St} / I_{i,S}$	=	552 kNm
$N_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * (A_{St} / A_{i,S} + z_{ic,S} * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1794 kN

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	139
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

$$M_{c,d} = M_{cp,d} + M_{c0,d} + M_{cpT,d} + M_{cS,d} + M_{csh,d} = -304 \text{ kNm}$$

$$N_{c,d} = N_{cp,d} + N_{c0,d} + N_{cpT,d} + N_{cS,d} + N_{csh,d} = 5679 \text{ kN}$$

$$M_{St,d} = M_{Stp,d} + M_{St0,d} + M_{StpT,d} + M_{StS,d} + M_{Stsh,d} = -836 \text{ kNm}$$

$$N_{St,d} = N_{Stp,d} + N_{St0,d} + N_{StpT,d} + N_{StS,d} + N_{Stsh,d} = -7941 \text{ kN}$$

#### Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{a,d,oben} = N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / -9809 = 0,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a,d,unten} = N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / 8939 = -0,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -14,2 / I_{St} = -6,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{St,d,unten} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * 35,8 / I_{St} = -14,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{xd} = \sigma_{a,d,unten} + \sigma_{St,d,unten} = -15,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 35,5 / 1,0 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = -\sigma_{xd} / \sigma_{Rd} = \underline{\underline{0,42 < 1,0}}$$

#### Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -3,2 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$b = 3,81 \text{ m}$$

$$h = 0,36 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 0,85 * 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2$$

$$\mu_{Ed} = -M_{c,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) = 0,03$$

$$\nu_{Ed} = N_{c,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) = 0,21$$

$$\omega = 0,300$$

$$A_{s,tot} = \omega * b * h * 10000 / 21,9 = \underline{\underline{188 \text{ cm}^2}}$$

#### Alternativer Nachweis am gerissenen Querschnitt:

$$N_{a,d} = -270 \text{ kN}$$

$$M_{a,d} = -41 \text{ kNm}$$

$$N_{v,d} = -2750 - N_{a,d} = -2480 \text{ kN}$$

$$M_{v,d} = -3110 - M_{a,d} = -3069 \text{ kNm}$$

#### Transformation der Verbundchnittgrößen auf die Schwereachse des Stahlquerschnittes

$$N_{St,d} = N_{v,d} = -2480 \text{ kN}$$

$$M_{St,d} = M_{v,d} - N_{v,d} * (a_{St} + z_{ic,0}) / 100 = -2454 \text{ kNm}$$

#### Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -14,2 / I_{St} = 3,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{St,d,unten} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * 35,8 / I_{St} = -18,7 \text{ kN/cm}^2$$

#### Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = 13,5 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	140
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

GZT:  $t=\infty$ ; min N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{a,d} =$	-1958 kN
$M_{a,d} =$	-41 kNm
$N_{vp,d} =$	-8370 kN
$M_{vp,d} =$	-108 kNm
$N_{v0,d} =$	-6100 kN
$M_{v0,d} =$	-1330 kNm
$N_{vpT,d} =$	-257 kN
$M_{vpT,d} =$	-945 kNm
$N_{vS,d} =$	-370 kN
$M_{vS,d} =$	-1380 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Teilschnittgrößen:

$M_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{c,p} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{c,p} / I_{i,p}$	=	49 kNm
$N_{cp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{c,p} / I_{i,p} * z_{ic,p} + N_{vp,d} * (A_{c,p} / A_{i,p} - 8,5 * z_{ic,p} * A_{c,p} / I_{i,p})$	=	-4494 kN
$M_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * I_{St} / I_{i,p} - N_{vp,d} * 0,085 * I_{St} / I_{i,p}$	=	281 kNm
$N_{Stp,d} =$	$M_{vp,d} * 100 * A_{St} / I_{i,p} * 16,3 + N_{vp,d} * (A_{St} / A_{i,p} - 8,5 * 16,3 * A_{St} / I_{i,p})$	=	-3874 kN
$M_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{c,0} / I_{i,0}$	=	-207 kNm
$N_{c0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{c,0} / I_{i,0} * z_{ic,0} + N_{v0,d} * (A_{c,0} / A_{i,0})$	=	-2313 kN
$M_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * I_{St} / I_{i,0}$	=	-452 kNm
$N_{St0,d} =$	$M_{v0,d} * 100 * A_{St} / I_{i,0} * 24,8 + N_{v0,d} * (A_{St} / A_{i,0})$	=	-3783 kN
$M_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{c,pT} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{c,pT} / I_{i,pT}$	=	-96 kNm
$N_{cpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{c,pT} / I_{i,pT} * z_{ic,pT} + N_{vpT,d} * (A_{c,pT} / A_{i,pT} - 5,1 * z_{ic,pT} * A_{c,pT} / I_{i,pT})$	=	1099 kN
$M_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * I_{St} / I_{i,pT} - N_{vpT,d} * 0,051 * I_{St} / I_{i,pT}$	=	-384 kNm
$N_{StpT,d} =$	$M_{vpT,d} * 100 * A_{St} / I_{i,pT} * 19,7 + N_{vpT,d} * (A_{St} / A_{i,pT} - 5,1 * 19,7 * A_{St} / I_{i,pT})$	=	-1361 kN
$M_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{c,S} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	-112 kNm
$N_{cS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{c,S} / I_{i,S} * z_{ic,S} + N_{vS,d} * (A_{c,S} / A_{i,S} - 8,1 * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1525 kN
$M_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * I_{St} / I_{i,S} - N_{vS,d} * 0,081 * I_{St} / I_{i,S}$	=	-620 kNm
$N_{StS,d} =$	$M_{vS,d} * 100 * A_{St} / I_{i,S} * 16,7 + N_{vS,d} * (A_{St} / A_{i,S} - 8,1 * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1903 kN
$M_{csh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{c,S} / I_{i,S}$	=	99 kNm
$N_{csh,d} =$	$N_{sh} * (1 - A_{c,S} / A_{i,S} - z_{ic,S} * z_{ic,S} * A_{c,S} / I_{i,S})$	=	1801 kN
$M_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * z_{ic,S} / 100 * I_{St} / I_{i,S}$	=	552 kNm
$N_{Stsh,d} =$	$-N_{sh} * (A_{St} / A_{i,S} + z_{ic,S} * 16,7 * A_{St} / I_{i,S})$	=	-1794 kN

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	141
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

$$\begin{aligned}
 M_{c,d} &= M_{cp,d} + M_{c0,d} + M_{cpT,d} + M_{cS,d} + M_{csh,d} &= & -267 \text{ kNm} \\
 N_{c,d} &= N_{cp,d} + N_{c0,d} + N_{cpT,d} + N_{cS,d} + N_{csh,d} &= & -2382 \text{ kN} \\
 M_{St,d} &= M_{Stp,d} + M_{St0,d} + M_{StpT,d} + M_{StS,d} + M_{Stsh,d} &= & -623 \text{ kNm} \\
 N_{St,d} &= N_{Stp,d} + N_{St0,d} + N_{StpT,d} + N_{StS,d} + N_{Stsh,d} &= & -12715 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{a,d,oben} &= N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / -9809 &= & -2,3 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{a,d,unten} &= N_{a,d}/716 + M_{a,d} * 100 / 8939 &= & -3,2 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,oben} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -14,2 / I_{St} &= & -12,4 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{St,d,unten} &= N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * 35,8 / I_{St} &= & -18,1 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xd} &= \sigma_{a,d,unten} + \sigma_{St,d,unten} &= & -21,3 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{Rd} &= 35,5 / 1,0 &= & 35,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= -\sigma_{xd} / \sigma_{Rd} &= & \underline{\underline{0,60 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

#### Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{St,d,oben} = N_{St,d}/A_{St} + M_{St,d} * 100 * -36,4 / I_{St} = -9,9 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis Stahlbetonquerschnitt:

$$\begin{aligned}
 b &= 3,81 \text{ m} \\
 h &= 0,36 \text{ m} \\
 f_{cd} &= 0,85 * 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2 \\
 \mu_{Ed} &= -M_{c,d} / (1000 * b * h^2 * f_{cd}) = 0,03 \\
 \nu_{Ed} &= N_{c,d} / (1000 * b * h * f_{cd}) = -0,09 \\
 \omega &= 0,000 \\
 A_{s,tot} &= \omega * b * h * 10000 / 21,9 = \underline{\underline{0 \text{ cm}^2}}
 \end{aligned}$$

#### Querkrafttragfähigkeit

$$\begin{aligned}
 V_{z,d} &= 850 \text{ kN} \\
 \tau_d &= V_{z,d} / 308 = 0,4 \text{ kN/cm}^2 \\
 \tau_{Rd} &= 35,5 / (1,0 * \sqrt{3}) = 20,5 \text{ kN/cm}^2 \\
 \eta &= \tau_d / \tau_{Rd} = \underline{\underline{0,02 < 1,0}}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	142
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung - Ermüdungsnachweis des Baustahls

### Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 6 --> Kerbgruppe 100

Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte: Detail 8 --> Kerbgruppe 80

Quernähte: Mit stählerner Wurzelunterlage: Detail 9 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 2 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 5 --> Kerbgruppe 71

Nichttragende Schweißnähte: Detail 6 --> Kerbgruppe 71

$$\Delta\sigma_C =$$

**7,1 kN/cm<sup>2</sup>**

### Schnittgrößen für Ermüdungsnachweis

Für den Ermüdungsnachweis nach [5] werden die Schnittgrößen der nicht-häufigen Einwirkungskombination mit dem Lastmodell 71 verwendet. Die maximalen Schnittgrößen sollten getrennt für die maximalen und minimalen Beanspruchungen aus Temperatur ermittelt werden [5]. Die maximalen Momente treten bei negativer Temperaturbeanspruchung auf.

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_{Ff} = 1,00$$

$$\gamma_{Mf} = 1,25$$

Im ersten Schritt wird überprüft, ob zum Zeitpunkt  $t=\infty$ , ein ungerissener Betonquerschnitt unter maximaler und minimaler Momentenbeanspruchung vorliegt.

Der Nachweis erfolgt mit den Extremwerten der Schnittkräfte und liegt damit auf der sicheren Seite.

Ermüdung - Nicht-häufige Einwirkungskombination mit LM 71, negativer Temperaturbeanspruchung  $t=\infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{vp,d}$	-2300 kN
$M_{vp,d}$	-80 kNm
$N_{v0,d}$	-70 kN
$M_{v0,d}$	-700 kNm
$N_{vpT,d}$	-70 kN
$M_{vpT,d}$	-700 kNm
$N_{vS,d}$	-360 kN
$M_{vS,d}$	-1380 kNm
$N_{sh}$	6100 kN

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	143
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Spannungen im Betonquerschnitt unter minimaler Momentenbeanspruchung:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$$\begin{aligned} \sigma_{c,p} &= N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) &= -0,11 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,p} &= M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) &= 0,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) &= -0,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) &= 0,18 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) &= -0,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) &= 0,14 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= N_{sh}/A_c - N_{sh} / (n_S \cdot A_{i,S}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= 0,03 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= N_{vs,d} \cdot (1/(n_S \cdot A_{i,S}) - 8,1 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S})) &= -0,02 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= 0,24 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

**Betonrandspannung oben = 0,47 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$$\begin{aligned} \sigma_{c,p} &= N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) &= -0,07 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,p} &= M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) &= -0,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) &= -0,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,0} &= M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) &= -0,07 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) &= -0,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,pT} &= M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) &= -0,02 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= N_{sh}/A_c - N_{sh} / (n_S \cdot A_{i,S}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= 0,26 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= N_{vs,d} \cdot (1/(n_S \cdot A_{i,S}) - 8,1 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S})) &= -0,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{c,s} &= M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,S} + z_c) / (n_S \cdot I_{i,S}) &= -0,02 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

**Betonrandspannung oben = 0,07 kN/cm<sup>2</sup>**

Unter maximaler Normalkraft- und minimaler Momentenbeanspruchung ist der Querschnitt gerissen!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	144
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Einwirkungskombination mit LM 71, negativer Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ ; max N; max M (siehe 3.4.4)

$N_{vp,d} =$	-2300 kN
$M_{vp,d} =$	640 kNm
$N_{v0,d} =$	-70 kN
$M_{v0,d} =$	-270 kNm
$N_{vpT,d} =$	-70 kN
$M_{vpT,d} =$	-700 kNm
$N_{vS,d} =$	-360 kN
$M_{vS,d} =$	-1250 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Spannungen im Betonquerschnitt unter maximaler Momentenbeanspruchung:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	= -0,11 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	= -0,11 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	= -0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	= 0,07 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	= -0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	= 0,14 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	= -0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,22 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = 0,22 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	= -0,07 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	= 0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	= -0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	= -0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	= -0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	= -0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,26 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	= -0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	= -0,01 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = 0,13 kN/cm<sup>2</sup>**

Unter maximaler Normalkraft- und Momentenbeanspruchung ist der Querschnitt gerissen!

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	145
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, positive Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = 110 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = 640 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = 613 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = 110 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot -14,2 = -1,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot 35,8 = 4,1 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -2650 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = 350 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = 1007 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = -2650 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot -14,2 = -5,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot 35,8 = 3,6 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{p,oben} = \text{ABS}(-1,5 + 5,5) = \underline{\underline{4,0 \text{ kN/cm}^2}}$$

$$\Delta\sigma_{p,unten} = \text{ABS}(4,1 - 3,6) = \underline{\underline{0,5 \text{ kN/cm}^2}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	146
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, negative Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -70 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -270 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = -253 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = -70 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot -14,2 = 0,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot 35,8 = -1,7 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -2900 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -700 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = 19 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = -2900 \text{ kN}$$

Spannungen im Baustahlquerschnitt:

$$\sigma_{d,oben} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot -14,2 = -3,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{d,unten} = \frac{N_{St0,d}}{A_{St}} + \frac{M_{St0,d}}{I_{St}} \cdot 100 \cdot 35,8 = -3,1 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{p,oben} = \text{ABS}(0,6 + 3,2) = \underline{\underline{3,8 \text{ kN/cm}^2}}$$

$$\Delta\sigma_{p,unten} = \text{ABS}(-1,7 + 3,1) = \underline{\underline{1,4 \text{ kN/cm}^2}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	147
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Anpassungsbeiwert  $\lambda$

$\lambda_1$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 47,3 m

$$\lambda_1 = 0,64$$

$\lambda_2$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol= 18\*10<sup>6</sup> t

$$\lambda_2 = 0,94$$

$\lambda_3$  - Nutzungsdauer: N<sub>years</sub> = 100

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_4$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0,60$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\Phi_2 = 1,04$$

$$\Delta\sigma_{E2,oben} = \lambda * \Phi_2 * 4,0 = 2,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E2,unten} = \lambda * \Phi_2 * 1,4 = 0,9 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\Delta\sigma_C = 7,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2,oben} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,44 < 1,0}}$$

$$\eta = \gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2,unten} / (\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}) = \underline{\underline{0,16 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	148
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Werkstoffermüdung - Ermüdungsnachweis des Betonstahls

Die schädigungsäquivalente Schwingbreite für Betonstahl ist nach [3] Anhang 106 zu ermitteln.

$$\Delta\sigma_{S,eq} = \lambda_S \cdot \Delta\sigma_{S,71}$$

Dabei ist  $\Delta\sigma_{S,71}$  die Schwingbreite infolge LM 71 in der nicht-häufigen Kombination und  $\lambda_S$  ein Korrekturfaktor.

Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{F,fat}$	1,00
$\gamma_{Ed,fat}$	1,00
$\gamma_{s,fat}$	1,15

Der Nachweis erfolgt am gerissenen Querschnitt.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	149
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, positive Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = 110 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = 640 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = 613 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = 110 \text{ kN}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,2} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = -3,9 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungen aus Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen

$$\alpha_{St} = A_{St} \cdot I_{St} / (A_a \cdot I_a) = 2,98$$

$$\beta = 0,40$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 0,01394$$

$$\sigma_{s,d} = \sigma_{s,2} + \beta \cdot 0,32 / (\alpha_{St} \cdot \rho_s) = -0,8 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -2650 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = 350 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = 1007 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = -2650 \text{ kN}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,2} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = -9,6 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungen aus Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen

$$\alpha_{St} = A_{St} \cdot I_{St} / (A_a \cdot I_a) = 2,98$$

$$\beta = 0,40$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 0,01394$$

$$\sigma_{s,d} = \sigma_{s,2} + \beta \cdot 0,32 / (\alpha_{St} \cdot \rho_s) = -6,5 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{s,71} = \text{ABS}(-0,8 + 6,5) = 5,7 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	150
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, negative Temperaturbeanspruchung  $t = \infty$ :

max N; max M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -70 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -270 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = -253 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = -70 \text{ kN}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,2} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = 1,6 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungen aus Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen

$$\alpha_{St} = A_{St} \cdot I_{St} / (A_a \cdot I_a) = 2,98$$

$$\beta = 0,40$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 0,01394$$

$$\sigma_{s,d} = \sigma_{s,2} + \beta \cdot 0,32 / (\alpha_{St} \cdot \rho_s) = 4,7 \text{ kN/cm}^2$$

min N; min M (siehe 3.4.4)

$$N_{v0,d} = -2900 \text{ kN}$$

$$M_{v0,d} = -700 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen:

$$M_{St0,d} = M_{v0,d} - N_{v0,d} \cdot (z_{ic,0} + a_{St}) / 100 = 19 \text{ kNm}$$

$$N_{St0,d} = N_{v0,d} = -2900 \text{ kN}$$

Spannungen im Betonstahlquerschnitt:

$$\sigma_{s,2} = N_{St0,d} / A_{St} + M_{St0,d} \cdot 100 \cdot -36,4 / I_{St} = -3,3 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungen aus Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen

$$\alpha_{St} = A_{St} \cdot I_{St} / (A_a \cdot I_a) = 2,98$$

$$\beta = 0,40$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 0,01394$$

$$\sigma_{s,d} = \sigma_{s,2} + \beta \cdot 0,32 / (\alpha_{St} \cdot \rho_s) = -0,2 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma_{s,71} = \text{ABS}(4,7 + 0,2) = 4,9 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	151
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Korrekturfaktor  $\lambda_S$ :

$\lambda_{S1}$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr;  $L > 20$  m

$$\lambda_{S1} = 0,65$$

$\lambda_{S2}$  - Jährliches Verkehrsaufkommen:  $\text{Vol} = 18 \cdot 10^6$  t;  $k_2 = 9$

$$\lambda_{S2} = 0,96$$

$\lambda_{S3}$  - Nutzungsdauer:  $N_{\text{years}} = 100$ ;  $k_2 = 9$

$$\lambda_{S3} = 1,00$$

$\lambda_{S4}$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_{S4} = 1,00$$

$$\lambda_S = \lambda_{S1} \cdot \lambda_{S2} \cdot \lambda_{S3} \cdot \lambda_{S4} = 0,62$$

Ermüdungswirksame Spannungsschwingbreite:

$$\Phi_2 = 1,04$$

$$\Delta\sigma_{S,\text{equ}} = \lambda_S \cdot \Phi_2 \cdot 5,7 = 3,7 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\Delta\sigma_{\text{Rsk}} = 17,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = \Delta\sigma_{S,\text{equ}} \cdot 1,15 / \Delta\sigma_{\text{Rsk}} = \underline{\underline{0,24 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	152
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Werkstoffermüdung - Ermüdungsnachweis des Stahlbetons

Es wird der vereinfachte Ermüdungsnachweis nach [3] Kapitel II-4.3.7.4 geführt. Die Bemessungswerte der Betondruckspannung sind in der häufigen Einwirkungskombination zu ermitteln.

Maximale Druckspannung in der häufigen Einwirkungskombination:  $t = \infty$ ; min N; max M (siehe 3.4.4)

$N_{vp,d} =$	-6200 kN
$M_{vp,d} =$	640 kNm
$N_{v0,d} =$	-3600 kN
$M_{v0,d} =$	620 kNm
$N_{vpT,d} =$	-190 kN
$M_{vpT,d} =$	-180 kNm
$N_{vS,d} =$	-370 kN
$M_{vS,d} =$	-1250 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Spannungen im Betonquerschnitt:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	=	-0,29 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	=	-0,11 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	=	-0,18 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	=	-0,16 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	=	0,04 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh} / A_c - N_{sh} / (n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	=	-0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,22 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = -0,48 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}))$	=	-0,20 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})$	=	0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	=	-0,18 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0})$	=	0,06 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh} / A_c - N_{sh} / (n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	0,26 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}))$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})$	=	-0,01 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = -0,09 kN/cm<sup>2</sup>**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	153
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Minimale Druckspannung in der häufigen Einwirkungskombination:  $t = \infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$N_{vp,d} =$	-2300 kN
$M_{vp,d} =$	-80 kNm
$N_{v0,d} =$	250 kN
$M_{v0,d} =$	-640 kNm
$N_{vpT,d} =$	-70 kN
$M_{vpT,d} =$	-700 kNm
$N_{vS,d} =$	-360 kN
$M_{vS,d} =$	-1380 kNm
$N_{sh} =$	6100 kN

Spannungen im Betonquerschnitt:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c)/(n_p \cdot I_{i,p}))$	= -0,11 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c)/(n_p \cdot I_{i,p})$	= 0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	= 0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c)/(n_0 \cdot I_{i,0})$	= 0,17 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c)/(n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	= -0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c)/(n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	= 0,14 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c)/(n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,03 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c)/(n_s \cdot I_{i,s}))$	= -0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c)/(n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,24 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = 0,47 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$\sigma_{c,p} =$	$N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c)/(n_p \cdot I_{i,p}))$	= -0,07 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,p} =$	$M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c)/(n_p \cdot I_{i,p})$	= -0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0}))$	= 0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,0} =$	$M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c)/(n_0 \cdot I_{i,0})$	= -0,06 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c)/(n_{pT} \cdot I_{i,pT}))$	= -0,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,pT} =$	$M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c)/(n_{pT} \cdot I_{i,pT})$	= -0,02 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c)/(n_s \cdot I_{i,s})$	= 0,26 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$N_{vS,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c)/(n_s \cdot I_{i,s}))$	= -0,01 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,s} =$	$M_{vS,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c)/(n_s \cdot I_{i,s})$	= -0,02 kN/cm <sup>2</sup>

**Betonrandspannung oben = 0,09 kN/cm<sup>2</sup>**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	154
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Nachweis:

Maximale Druckspannung am oberen Querschnittsrand:

$$\sigma_{cd,max} = -0,48 \text{ kN/cm}^2$$

Minimale Druckspannung am oberen Querschnittsrand

$$\sigma_{cd,min} = 0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd,fat} = 1 \cdot 19,83 \cdot (1 - 35/250) = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = -10 \cdot \sigma_{cd,max} / f_{cd,fat} = \underline{\underline{0,28 < 0,50}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	155
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.1.12 Fachwerkobergurt - Verbundquerschnitt Q 3

#### Querschnittswerte

Betonquerschnitt:

$$A_c = 220 \cdot 40 + 161 \cdot 30 = 13630 \text{ cm}^2$$

$$z_c = -22,2 \text{ cm}$$

$$I_c = 1769270 \text{ cm}^4$$

Baustahlquerschnitt:

$$A_a = 2 \cdot 46 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 37 \cdot 4 = 716 \text{ cm}^2$$

$$z_a = 23,8 \text{ cm}$$

$$I_a = 233862 \text{ cm}^4$$

Bewehrungsstahlquerschnitt ( $\varnothing 16$ -12,5 cm oben + unten):

$$A_s = 190 \text{ cm}^2$$

$$\rho_s = A_s / A_c \cdot 100 = 1,394 \%$$

$$z_s = -22,2 \text{ cm}$$

Gesamtstahlquerschnitt:

$$A_{St} = A_a + A_s = 906 \text{ cm}^2$$

$$z_{St} = (A_a \cdot z_a + A_s \cdot z_s) / A_{St} = 14,2 \text{ cm}$$

$$I_{St} = I_a + A_a \cdot (z_{St} - z_a)^2 + A_s \cdot (z_{St} - z_s)^2 = 551591 \text{ cm}^4$$

$$a_{St} = z_{St} - z_c = 36,4 \text{ cm}$$

Verbundquerschnittswerte für Kurzzeitlasten mit  $n_0$

$$n_0 = E_a / E_{cm} = 7,02$$

$$A_{c,0} = A_c / n_0 = 1941,6 \text{ cm}^2$$

$$I_{c,0} = I_c / n_0 = 252033 \text{ cm}^4$$

$$A_{i,0} = A_{St} + A_{c,0} = 2847,6 \text{ cm}^2$$

$$z_{ic,0} = -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,0} = -11,6 \text{ cm}$$

$$I_{i,0} = I_{St} + I_{c,0} + A_{St} \cdot A_{c,0} \cdot a_{St}^2 / A_{i,0} = 1622111 \text{ cm}^4$$

Verbundquerschnittswerte für ständige Einwirkungen mit  $n_p$

$$n_p = n_0 \cdot (1 + 1,1 \cdot 1,5) = 18,60$$

$$A_{c,p} = A_c / n_p = 732,8 \text{ cm}^2$$

$$I_{c,p} = I_c / n_p = 95122 \text{ cm}^4$$

$$A_{i,p} = A_{St} + A_{c,p} = 1638,8 \text{ cm}^2$$

$$z_{ic,p} = -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,p} = -20,1 \text{ cm}$$

$$I_{i,p} = I_{St} + I_{c,p} + A_{St} \cdot A_{c,p} \cdot a_{St}^2 / A_{i,p} = 1183486 \text{ cm}^4$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	156
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Verbundquerschnittswerte für zeitabhängige sekundäre Einwirkungen mit  $n_{pT}$

$$\begin{aligned}
 n_{pT} &= n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 1,5) &= & 12,81 \\
 A_{c,pT} &= A_c / n_{pT} &= & 1064,0 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,pT} &= I_c / n_{pT} &= & 138116 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,pT} &= A_{St} + A_{c,pT} &= & 1970,0 \text{ cm}^2 \\
 z_{i,c,pT} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,pT} &= & -16,7 \text{ cm} \\
 I_{i,pT} &= I_{St} + I_{c,pT} + A_{St} \cdot A_{c,pT} \cdot a_{St}^2 / A_{i,pT} &= & 1338052 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Verbundquerschnittswerte für Schwinden mit  $n_S$

$$\begin{aligned}
 n_S &= n_0 \cdot (1 + 0,55 \cdot 2,8) &= & 17,83 \\
 A_{c,S} &= A_c / n_S &= & 764,4 \text{ cm}^2 \\
 I_{c,S} &= I_c / n_S &= & 99230 \text{ cm}^4 \\
 A_{i,S} &= A_{St} + A_{c,S} &= & 1670,4 \text{ cm}^2 \\
 z_{i,c,S} &= -A_{St} \cdot a_{St} / A_{i,S} &= & -19,7 \text{ cm} \\
 I_{i,S} &= I_{St} + I_{c,S} + A_{St} \cdot A_{c,S} \cdot a_{St}^2 / A_{i,S} &= & 1200148 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

### Klassifizierung des Querschnittes

Der Stahlquerschnitt erfüllt die Bedingungen für die Querschnittsklasse 1.

Aufgrund der Normalkraftbeanspruchung des Verbundquerschnittes wird die Momenten Tragfähigkeit elastisch ermittelt.

Im ersten Schritt wird überprüft, ob zum Zeitpunkt  $t = \infty$ , ein ungerissener Betonquerschnitt vorliegt. Nach [5] darf die Spannung in der Randfaser unter den charakteristischen Schnittgrößen den Wert  $2 \cdot f_{ctm}$  nicht überschreiten.

Der Nachweis erfolgt mit den Extremwerten der Schnittkräfte und liegt damit auf der sicheren Seite.

Seltene Einwirkungskombination  $t = \infty$ ; max N; min M (siehe 3.4.4)

$$\begin{aligned}
 N_{vp,d} &= -850 \text{ kN} \\
 M_{vp,d} &= -280 \text{ kNm} \\
 N_{v0,d} &= 750 \text{ kN} \\
 M_{v0,d} &= -890 \text{ kNm} \\
 N_{vpT,d} &= -30 \text{ kN} \\
 M_{vpT,d} &= -200 \text{ kNm} \\
 N_{vS,d} &= -240 \text{ kN} \\
 M_{vS,d} &= -1380 \text{ kNm} \\
 N_{sh} &= 6100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	157
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Spannungen im Betonquerschnitt:

Rand oben  $z_c =$  -17,8 cm

$$\sigma_{c,p} = N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) = -0,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,p} = M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) = 0,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) = 0,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) = 0,23 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) = -0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) = 0,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{vs,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,24 \text{ kN/cm}^2$$

**Betonrandspannung oben = 0,58 kN/cm<sup>2</sup>**

Rand unten  $z_c =$  22,2 cm

$$\sigma_{c,p} = N_{vp,d} \cdot (1/(n_p \cdot A_{i,p}) - 8,5 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p})) = -0,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,p} = M_{vp,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,p} + z_c) / (n_p \cdot I_{i,p}) = -0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = N_{v0,d} \cdot (1/(n_0 \cdot A_{i,0})) = 0,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,0} = M_{v0,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,0} + z_c) / (n_0 \cdot I_{i,0}) = -0,08 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = N_{vpT,d} \cdot (1/(n_{pT} \cdot A_{i,pT}) - 5,1 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT})) = -0,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,pT} = M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,pT} + z_c) / (n_{pT} \cdot I_{i,pT}) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{sh}/A_c - N_{sh}/(n_s \cdot A_{i,s}) + N_{sh} \cdot 19,7 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = 0,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = N_{vs,d} \cdot (1/(n_s \cdot A_{i,s}) - 8,1 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s})) = -0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,s} = M_{vs,d} \cdot 100 \cdot (z_{ic,s} + z_c) / (n_s \cdot I_{i,s}) = -0,02 \text{ kN/cm}^2$$

**Betonrandspannung unten = 0,15 kN/cm<sup>2</sup>**

Grenzspannung  $2 \cdot f_{ctm} = 2 \cdot 0,32 = \underline{0,64 \text{ kN/cm}^2}$

Die Schnittgrößenermittlung kann gemäß [5] mit dem ungerissenen Querschnitt erfolgen.

### Querschnittsbeanspruchbarkeit

Aufgrund der geringen Beanspruchung erübrigt sich ein Nachweis der Tragfähigkeit. Der Querschnitt entspricht der Position Q 1 bzw. Q 2.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	158
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.2 Nachweis der Verbundsicherung

#### 3.5.2.1 Tragfähigkeit der Kopfbolzendübel

Kopfbolzendübel:

d=	22 mm
h=	175 mm
f <sub>u</sub> =	450 N/mm <sup>2</sup>
α=	1,0

Die Grenzscherkraft der Kopfbolzendübel ergibt sich aus dem jeweils kleineren Wert der nachfolgenden Tragfähigkeiten P<sub>Rd</sub>.

f <sub>ck</sub> =	35 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>cm</sub> =	29900 N/mm <sup>2</sup>

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / (4 \cdot 1,25 \cdot 1000) = 109 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 0,25 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{(f_{ck} \cdot E_{cm})} / (1,25 \cdot 1000) = \underline{\underline{99 \text{ kN}}}$$

#### 3.5.2.2 Nachweis der Verbundsicherung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die vorhandene Längsschubkraft wird mit den Querschnittsgrößen des ungerissenen Querschnittes berechnet.

Es werden die Längsschubkräfte infolge der Querkraft im Verbundquerschnitt und infolge der Einleitung von konzentrierten Längsschubkräften an den Knotenpunkten des Fachwerkes ermittelt.

#### **Längsschubkraft infolge Querkraft**

Die maximale Querkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit tritt im Verbundquerschnitt Q3 im Auflagerbereich auf (siehe 3.4.4)

Zeitpunkt t= 28 d:

$$V_{v0,d} = 750 + 378 = 1128 \text{ kN}$$

$$v_{0,d} = -V_{v0,d} \cdot (A_{c,0} + A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{i,0} = 1719 \text{ kN/m}$$

$$v_{d,28} = \underline{\underline{1719 \text{ kN/m}}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	159
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Zeitpunkt  $t = \infty$ :

$$\begin{aligned}
 V_{vp,d} &= 378 \text{ kN} \\
 V_{v0,d} &= 750 \text{ kN} \\
 V_{vpT,d} &= -62 \text{ kN} \\
 V_{vS,d} &= 45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_{p,d} &= -V_{vp,d} \cdot (A_{c,p} + A_s) \cdot z_{ic,p} \cdot 100 / I_{i,p} &= & 592 \text{ kN/m} \\
 v_{0,d} &= -V_{v0,d} \cdot (A_{c,0} + A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{i,0} &= & 1143 \text{ kN/m} \\
 v_{pT,d} &= -V_{vpT,d} \cdot (A_{c,pT} + A_s) \cdot z_{ic,pT} \cdot 100 / I_{i,pT} &= & -97 \text{ kN/m} \\
 v_{S,d} &= -V_{vS,d} \cdot (A_{c,S} + A_s) \cdot z_{ic,S} \cdot 100 / I_{i,S} &= & 70 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$V_{d,unend} = 1708 \text{ kN/m}$$

### Längsschubkraft infolge Normalkraft

An den Knotenpunkten des Fachwerkes werden konzentrierte Längskräfte eingeleitet.

Abstand Verbundfuge - Schnittpunkt Diagonalen:

$$e_v = 4,5 \text{ cm}$$

Knotenblech:

$$e = \sin(65) \cdot 15 \cdot 2 = 27,2 \text{ cm}$$

Lasteinleitungslänge:

$$e_d = 2 \cdot e_v = 36,2 \text{ cm}$$

mittragende Gurtbreite:

$$b_{eff} = 381,0 \text{ cm}$$

Zeitpunkt  $t = 28 \text{ d}$ :

$$\begin{aligned}
 \Delta N_{v0,d} &= -1,35 \cdot 1730 - 2017 &= & -4353 \text{ kN} \\
 \Delta M_{v0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot 0,15 &= & -653 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Teilschnittgrößen des Betongurtes und der Bewehrung:

$$\begin{aligned}
 N_{c0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_{c,0} / A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{c,0} \cdot z_{ic,0} / I_{i,0} &= & -2061 \text{ kN} \\
 N_{s0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s / A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0} / I_{i,0} &= & -202 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maximalwert der Längsschubkraft:

$$V_{d,28,max} = \text{ABS}((N_{c0,d} + N_{s0,d}) \cdot 100 / (e_d + b_{eff} / 2)) = 998 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	160
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Zeitpunkt  $t = \infty$ :

$$\begin{aligned}
 \Delta N_{vp,d} &= -1,35 \cdot 1730 &= & -2336 \text{ kN} \\
 \Delta M_{vp,d} &= \Delta N_{vp,d} \cdot 0,15 &= & -350 \text{ kNm} \\
 \Delta N_{v0,d} & &= & -2017 \text{ kN} \\
 \Delta M_{v0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot 0,15 &= & -303 \text{ kNm} \\
 \Delta N_{vpT,d} &= -1,35 \cdot 56 &= & -76 \text{ kN} \\
 \Delta M_{vpT,d} &= \Delta N_{vpT,d} \cdot 0,15 &= & -11 \text{ kNm} \\
 \Delta N_{vS,d} & &= & -116 \text{ kN} \\
 \Delta M_{vS,d} &= \Delta N_{vS,d} \cdot 0,15 &= & -17 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Teilschnittgrößen des Betongurtes und der Bewehrung:

$$\begin{aligned}
 N_{cp,d} &= \Delta N_{vp,d} \cdot (A_{c,p}/A_{i,p} - 8,5 \cdot z_{ic,p} \cdot A_{c,p}/I_{i,p}) + \Delta M_{vp,d} \cdot 100 \cdot A_{c,p} \cdot z_{ic,p}/I_{i,p} &= & -856 \text{ kN} \\
 N_{sp,d} &= \Delta N_{vp,d} \cdot (A_s/A_{i,p} - 8,5 \cdot z_{ic,p} \cdot A_s/I_{i,p}) + \Delta M_{vp,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,p}/I_{i,p} &= & -222 \text{ kN} \\
 N_{c0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_{c,0}/A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{c,0} \cdot z_{ic,0}/I_{i,0} &= & -955 \text{ kN} \\
 N_{s0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s/A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0}/I_{i,0} &= & -93 \text{ kN} \\
 N_{cpT,d} &= \Delta N_{vpT,d} \cdot (A_{c,pT}/A_{i,pT} - 5,1 \cdot z_{ic,pT} \cdot A_{c,pT}/I_{i,pT}) + \Delta M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot A_{c,pT} \cdot z_{ic,pT}/I_{i,pT} &= & -32 \text{ kN} \\
 N_{spT,d} &= \Delta N_{vpT,d} \cdot (A_s/A_{i,pT} - 5,1 \cdot z_{ic,pT} \cdot A_s/I_{i,pT}) + \Delta M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,pT}/I_{i,pT} &= & -6 \text{ kN} \\
 N_{cS,d} &= \Delta N_{vS,d} \cdot (A_{c,S}/A_{i,S} - 8,1 \cdot z_{ic,S} \cdot A_{c,S}/I_{i,S}) + \Delta M_{vS,d} \cdot 100 \cdot A_{c,S} \cdot z_{ic,S}/I_{i,S} &= & -44 \text{ kN} \\
 N_{sS,d} &= \Delta N_{vS,d} \cdot (A_s/A_{i,S} - 8,1 \cdot z_{ic,S} \cdot A_s/I_{i,S}) + \Delta M_{vS,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,S}/I_{i,S} &= & -11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$N_{cs,d} = -2219 \text{ kN}$$

Maximalwert der Längsschubkraft:

$$V_{d,unend,max} = \text{ABS}(N_{cs,d} \cdot 100 / (e_d + b_{eff}/2)) = 979 \text{ kN/m}$$

### Erforderliche Kopfbolzendübelanzahl im GZT

Zeitpunkt  $t = 28 \text{ d}$ :

$$V_d = V_{d,28} + V_{d,28,max} = \underline{2717 \text{ kN/m}}$$

Zeitpunkt  $t = \infty$ :

$$V_d = V_{d,unend} + V_{d,unend,max} = \underline{2687 \text{ kN/m}}$$

$$\text{erforderlich } N = 2717 / P_{Rd} = \underline{27,4 \text{ KB/m}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	161
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.2.3 Nachweis der Verbundsicherung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist die Längsschubtragfähigkeit der Kopfbolzendübel auf  $0,6 \cdot P_{Rd}$  beschränkt.

Die Längsschubkräfte werden für die nicht-häufige Bemessungskombination ermittelt.

An den Einleitungsstellen von Längskräften wird anstelle der gesamten mittragenden Gurtbreiten, die größere Teilgurtbreite  $b_{ei}$  berücksichtigt.

Die vorhandene Längsschubkraft wird mit den Querschnittsgrößen des ungerissenen Querschnittes berechnet.

Es werden die Längsschubkräfte infolge der Querkraft im Verbundquerschnitt und infolge der Einleitung von konzentrierten Längsschubkräften an den Knotenpunkten des Fachwerkes ermittelt.

#### Längsschubkraft infolge Querkraft

Die maximale Querkraft in der nicht-häufigen Kombination tritt im Verbundquerschnitt Q3 im Auflagerbereich auf (siehe 3.4.4)

Zeitpunkt  $t = 28$  d:

$$V_{v0,d} = 540 + 280 = 820 \text{ kN}$$

$$v_{0,d} = -V_{v0,d} \cdot (A_{c,0} + A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{i,0} = 1250 \text{ kN/m}$$

$$V_{d,28} = 1250 \text{ kN/m}$$

Zeitpunkt  $t = \infty$ :

$$V_{vp,d} = 280 \text{ kN}$$

$$V_{v0,d} = 540 \text{ kN}$$

$$V_{vpT,d} = -46 \text{ kN}$$

$$V_{vS,d} = 45 \text{ kN}$$

$$v_{p,d} = -V_{vp,d} \cdot (A_{c,p} + A_s) \cdot z_{ic,p} \cdot 100 / I_{i,p} = 439 \text{ kN/m}$$

$$v_{0,d} = -V_{v0,d} \cdot (A_{c,0} + A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{i,0} = 823 \text{ kN/m}$$

$$v_{pT,d} = -V_{vpT,d} \cdot (A_{c,pT} + A_s) \cdot z_{ic,pT} \cdot 100 / I_{i,pT} = -72 \text{ kN/m}$$

$$v_{S,d} = -V_{vS,d} \cdot (A_{c,S} + A_s) \cdot z_{ic,S} \cdot 100 / I_{i,S} = 70 \text{ kN/m}$$

$$V_{d,\infty} = 1260 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	162
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Längsschubkraft infolge Normalkraft

An den Knotenpunkten des Fachwerkes werden konzentrierte Längskräfte eingeleitet.

Abstand Verbundfuge - Schnittpunkt Diagonalen:

$$e_v = 4,5 \text{ cm}$$

Knotenblech:

$$e = \sin(65) \cdot 15 \cdot 2 = 27,2 \text{ cm}$$

Lasteinleitungslänge:

$$e_d = 2 \cdot e_v + e = 36,2 \text{ cm}$$

mittragende Gurtbreite:

$$b_{ei} = 189,0 \text{ cm}$$

Zeitpunkt  $t = 28 \text{ d}$ :

$$\Delta N_{v0,d} = -1730 - 1330 = -3060 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{v0,d} = \Delta N_{v0,d} \cdot 0,15 = -459 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen des Betongurtes und der Bewehrung:

$$N_{c0,d} = \Delta N_{v0,d} \cdot (A_{c,0}/A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{c,0} \cdot z_{ic,0}/I_{i,0} = -1449 \text{ kN}$$

$$N_{s0,d} = \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s/A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0}/I_{i,0} = -142 \text{ kN}$$

Maximalwert der Längsschubkraft:

$$v_{d,28,max} = \text{ABS}((N_{c0,d} + N_{s0,d}) \cdot 100 / (e_d + b_{ei}/2)) = 1217 \text{ kN/m}$$

Zeitpunkt  $t = \infty$ :

$$\Delta N_{vp,d} = -1730 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{vp,d} = \Delta N_{vp,d} \cdot 0,15 = -260 \text{ kNm}$$

$$\Delta N_{v0,d} = -1330 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{v0,d} = \Delta N_{v0,d} \cdot 0,15 = -200 \text{ kNm}$$

$$\Delta N_{vpT,d} = -56 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{vpT,d} = \Delta N_{vpT,d} \cdot 0,15 = -8 \text{ kNm}$$

$$\Delta N_{vS,d} = -116 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{vS,d} = \Delta N_{vS,d} \cdot 0,15 = -17 \text{ kNm}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	163
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Teilschnittgrößen des Betongurtes und der Bewehrung:

$$\begin{aligned}
 N_{cp,d} &= \Delta N_{vp,d} \cdot (A_{c,p}/A_{i,p} - 8,5 \cdot z_{ic,p} \cdot A_{c,p}/l_{i,p}) + \Delta M_{vp,d} \cdot 100 \cdot A_{c,p} \cdot z_{ic,p}/l_{i,p} &= & -633 \text{ kN} \\
 N_{sp,d} &= \Delta N_{vp,d} \cdot (A_s/A_{i,p} - 8,5 \cdot z_{ic,p} \cdot A_s/l_{i,p}) + \Delta M_{vp,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,p}/l_{i,p} &= & -164 \text{ kN} \\
 N_{c0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_{c,0}/A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{c,0} \cdot z_{ic,0}/l_{i,0} &= & -629 \text{ kN} \\
 N_{s0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s/A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0}/l_{i,0} &= & -62 \text{ kN} \\
 N_{cpT,d} &= \Delta N_{vpT,d} \cdot (A_{c,pT}/A_{i,pT} - 5,1 \cdot z_{ic,pT} \cdot A_{c,pT}/l_{i,pT}) + \Delta M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot A_{c,pT} \cdot z_{ic,pT}/l_{i,pT} &= & -23 \text{ kN} \\
 N_{spT,d} &= \Delta N_{vpT,d} \cdot (A_s/A_{i,pT} - 5,1 \cdot z_{ic,pT} \cdot A_s/l_{i,pT}) + \Delta M_{vpT,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,pT}/l_{i,pT} &= & -4 \text{ kN} \\
 N_{cs,d} &= \Delta N_{vs,d} \cdot (A_{c,S}/A_{i,S} - 8,1 \cdot z_{ic,S} \cdot A_{c,S}/l_{i,S}) + \Delta M_{vs,d} \cdot 100 \cdot A_{c,S} \cdot z_{ic,S}/l_{i,S} &= & -44 \text{ kN} \\
 N_{sS,d} &= \Delta N_{vs,d} \cdot (A_s/A_{i,S} - 8,1 \cdot z_{ic,S} \cdot A_s/l_{i,S}) + \Delta M_{vs,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,S}/l_{i,S} &= & -11 \text{ kN} \\
 & & & N_{cs,d} = -1570 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maximalwert der Längsschubkraft:

$$V_{d,unend,max} = \text{ABS}(N_{cs,d} \cdot 100 / (e_d + b_{ef}/2)) = 1201 \text{ kN/m}$$

### Erforderliche Kopfbolzendübelanzahl im GZG

Zeitpunkt  $t = 28 \text{ d}$ :

$$V_d = V_{d,28} + V_{d,28,max} = 2467 \text{ kN/m}$$

Zeitpunkt  $t = \infty$ :

$$V_d = V_{d,unend} + V_{d,unend,max} = 2461 \text{ kN/m}$$

$$\text{erforderlich } N = 2467 / (0,6 \cdot P_{Rd}) = 41,5 \text{ KB/m}$$

gewählt:

Kopfbolzendübel

$d = 22 \text{ mm}$

$h = 175 \text{ mm}$

$f_u = 450 \text{ N/mm}^2$

$e_L = 120 \text{ mm}$

$e_{Rand} = 60 \text{ mm}$

$e_q = 95 \text{ mm}$

5-reihige Dübelanordnung auf dem Stahlträgerflansch

vorhanden  $N = 5 \cdot 1/0,12 = 41,6 \text{ KB/m} > 41,5 \text{ KB/m}$

$h = 175 \text{ mm} > 3 \cdot d = 66 \text{ mm}$

$d = 22 \text{ mm} < 1,5 \cdot t_F = 60 \text{ mm}$

$e_L = 120 \text{ mm} > 5 \cdot d = 110 \text{ mm}$

$e_q = 95 \text{ mm} > 2,5 \cdot d = 55 \text{ mm}$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	164
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.2.4 Nachweis der Verbundsicherung gegen Ermüdung

#### Grenzwert der Ermüdungsfestigkeit

Für Kopfbolzendübel beträgt der Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit gemäß [5]

$$\Delta\tau_C = 9,0 \text{ kN/cm}^2$$

#### Schnittgrößen für Ermüdungsnachweis

Für den Ermüdungsnachweis nach [5] werden die Schnittgrößen der nicht-häufigen Einwirkungskombination mit dem Lastmodell 71 verwendet. Die maximalen Schnittgrößen sollten getrennt für die maximalen und minimalen Beanspruchungen aus Temperatur ermittelt werden [5]. Die maximalen Momente treten bei negativer Temperaturbeanspruchung auf.

Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{Ff}$	1,00
$\gamma_{Mf,v}$	1,25
$\gamma_{Mf,a}$	1,25

Der Nachweis erfolgt mit den Extremwerten der Schnittkräfte und liegt damit auf der sicheren Seite. Bei den Ermüdungsnachweisen des Verbundquerschnittes wurde nachgewiesen, dass Zugspannungen im Betongurt entstehen. Daher wird die Interaktion zwischen der Schubspannungsschwingbreite im Bolzenschaft des Dübels und der Normalspannungsschwingbreite im Stahlträgergurt berücksichtigt.

Die Einflüsse aus der Rissbildung werden vereinfacht durch den Nachweis mit den Querschnittsgrößen im Zustand I und im Zustand II berücksichtigt.

#### Anpassungsbeiwert $\lambda_v$

$\lambda_{v1}$  - Stützweite und Verkehrsmischung: Standard-Mischverkehr; L= 47,3 m

$$\lambda_1 = 0,75$$

$\lambda_{v2}$  - Jährliches Verkehrsaufkommen: Vol=  $18 \cdot 10^6$  t

$$\lambda_2 = 0,96$$

$\lambda_{v3}$  - Nutzungsdauer:  $N_{\text{years}} = 100$

$$\lambda_3 = 1,00$$

$\lambda_{v4}$  - Anzahl der Gleise:

$$\lambda_4 = 1,00$$

$$\lambda_v = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,72$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	165
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, positive Temperaturbeanspruchung $t = \infty$ :

#### Längsschubkraft infolge Querkraft

$$\begin{aligned}
 V_{v0,dmax} &= && 340 \text{ kN} \\
 V_{v0,dmin} &= && 110 \text{ kN} \\
 \Delta V_{v0,d} &= V_{v0,dmax} - V_{v0,dmin} &= & 230 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Querkraft im Zustand I:

$$\Delta v_{0,d} = -\Delta V_{v0,d} \cdot (A_{c,0} + A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{i,0} = \mathbf{351 \text{ kN/m}}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Querkraft im Zustand II:

$$\Delta v_{0,d} = -\Delta V_{v0,d} \cdot (A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{St} = \mathbf{92 \text{ kN/m}}$$

#### Längsschubkraft infolge Normalkraft

Abstand Verbundfuge - Schnittpunkt Diagonalen:

$$e_v = 4,5 \text{ cm}$$

Knotenblech:

$$e = \sin(65) \cdot 15 \cdot 2 = 27,2 \text{ cm}$$

Lasteinleitungslänge:

$$e_d = 2 \cdot e_v + e = 36,2 \text{ cm}$$

mittragende Gurtbreite:

$$b_{ei} = 189,0 \text{ cm}$$

Normalkraftdifferenz:

$$\begin{aligned}
 N_{v0,dmax} &= && -1320 \text{ kN} \\
 N_{v0,dmin} &= && -545 \text{ kN} \\
 \Delta N_{v0,d} &= N_{v0,dmax} - N_{v0,dmin} &= & -775 \text{ kN} \\
 \Delta M_{v0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot 0,15 &= & -116 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Normalkraft im Zustand I:

$$\begin{aligned}
 \Delta N_{c0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_{c,0} / A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{c,0} \cdot z_{ic,0} / I_{i,0} &= & -367 \text{ kN} \\
 \Delta N_{s0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s / A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0} / I_{i,0} &= & -36 \text{ kN} \\
 \Delta v_{d,max} &= \text{ABS}((\Delta N_{c0,d} + \Delta N_{s0,d}) \cdot 100 / (e_d + b_{ei} / 2)) &= & \mathbf{308 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Normalkraft im Zustand II:

$$\begin{aligned}
 \Delta N_{s0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s / A_{St}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0} / I_{St} &= & -116 \text{ kN} \\
 \Delta v_{d,max} &= \text{ABS}((\Delta N_{s0,d}) \cdot 100 / (e_d + b_{ei} / 2)) &= & \mathbf{89 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

#### Maximale Schubspannungsschwingbreite

$$\begin{aligned}
 \Delta v_d &= 351 + 308 &= & \mathbf{659 \text{ kN/m}} \\
 A_{KB} &= \pi \cdot 2,2^2 / 4 &= & 3,80 \text{ cm}^2 \\
 \Delta \tau_d &= \Delta v_d / (5 \cdot 8,3 \cdot A_{KB}) &= & \mathbf{4,18 \text{ kN/cm}^2}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	166
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Ermüdung - Nicht-häufige Kombination mit LM 71, negative Temperaturbeanspruchung $t = \infty$ :

#### Längsschubkraft infolge Querkraft

$$\begin{aligned}
 V_{v0,dmax} &= && 199 \text{ kN} \\
 V_{v0,dmin} &= && -53 \text{ kN} \\
 \Delta V_{v0,d} &= V_{v0,dmax} - V_{v0,dmin} &= & 252 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Querkraft im Zustand I:

$$\Delta v_{0,d} = -\Delta V_{v0,d} \cdot (A_{c,0} + A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{i,0} = \mathbf{384 \text{ kN/m}}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Querkraft im Zustand II:

$$\Delta v_{0,d} = -\Delta V_{v0,d} \cdot (A_s) \cdot z_{ic,0} \cdot 100 / I_{St} = \mathbf{101 \text{ kN/m}}$$

#### Längsschubkraft infolge Normalkraft

Abstand Verbundfuge - Schnittpunkt Diagonalen:

$$e_v = 4,5 \text{ cm}$$

Knotenblech:

$$e = \sin(65) \cdot 15 \cdot 2 = 27,2 \text{ cm}$$

Lasteinleitungslänge:

$$e_d = 2 \cdot e_v + e = 36,2 \text{ cm}$$

mittragende Gurtbreite:

$$b_{ei} = 189,0 \text{ cm}$$

Normalkraftdifferenz:

$$\begin{aligned}
 N_{v0,dmax} &= && -1489 \text{ kN} \\
 N_{v0,dmin} &= && -588 \text{ kN} \\
 \Delta N_{v0,d} &= N_{v0,dmax} - N_{v0,dmin} &= & -901 \text{ kN} \\
 \Delta M_{v0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot 0,15 &= & -135 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Normalkraft im Zustand I:

$$\begin{aligned}
 \Delta N_{c0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_{c,0} / A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_{c,0} \cdot z_{ic,0} / I_{i,0} &= & -427 \text{ kN} \\
 \Delta N_{s0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s / A_{i,0}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0} / I_{i,0} &= & -42 \text{ kN} \\
 \Delta v_{d,max} &= \text{ABS}((\Delta N_{c0,d} + \Delta N_{s0,d}) \cdot 100 / (e_d + b_{ei} / 2)) &= & \mathbf{359 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

Längsschubkraftdifferenz infolge Normalkraft im Zustand II:

$$\begin{aligned}
 \Delta N_{s0,d} &= \Delta N_{v0,d} \cdot (A_s / A_{St}) + \Delta M_{v0,d} \cdot 100 \cdot A_s \cdot z_{ic,0} / I_{St} &= & -135 \text{ kN} \\
 \Delta v_{d,max} &= \text{ABS}((\Delta N_{s0,d}) \cdot 100 / (e_d + b_{ei} / 2)) &= & \mathbf{103 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

#### Maximale Schubspannungsschwingbreite

$$\begin{aligned}
 \Delta v_d &= 384 + 359 &= & \mathbf{743 \text{ kN/m}} \\
 A_{KB} &= \pi \cdot 2,2^2 / 4 &= & 3,80 \text{ cm}^2 \\
 \Delta \tau_d &= \Delta v_d / (5 \cdot 8,3 \cdot A_{KB}) &= & \mathbf{4,71 \text{ kN/cm}^2}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	167
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Spannungsschwingbreite im Gurt des Stahlträgers

Siehe Ermüdungsnachweis der Verbundquerschnitte Q1 und Q2

$$\Delta\sigma_{E,2} = 2,5 \text{ kN/cm}^2$$

Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit

$$\Delta\sigma_c = 8,0 \text{ kN/cm}^2$$

### Ermüdungswirksame Schubspannungsschwingbreite

$$\Phi_2 = 1,04$$

$$\Delta\tau_{E,2} = \lambda_v \cdot \Phi_2 \cdot 4,71 = 3,5 \text{ kN/cm}^2$$

### Nachweis

$$\eta = \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{(\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf,a})} + \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{(\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,v})} = \underline{\underline{0,93 < 1,3}}$$

$$\eta = \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{(\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf,a})} = \underline{\underline{0,44 < 1,0}}$$

$$\eta = \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{(\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,v})} = \underline{\underline{0,49 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	168
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.2.5 Nachweis der Schubsicherung des Betongurtes

#### Nachweis am Plattenanschnitt

Längsschubkraft im GZT siehe 3.5.2.2

$$V_d = 2717 \text{ kN/m}$$

Längsschubkraft im Plattenanschnitt

$$V_{d,1} = v_d \cdot 40 \cdot 150 / A_c = 1196 \text{ kN/m}$$

Tragfähigkeit der Betondruckstrebe

$$h_f = 40,0 \text{ cm}$$

$$a_v = 100,0 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 3,5 / 1,5 = 1,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,max} = h_f \cdot a_v \cdot 0,75 \cdot f_{cd} / (1,0 + 1/1,0) = 2970 \text{ kN/m}$$

$$\eta = V_{d,1} / V_{Rd,max} = \underline{\underline{0,40 < 1,0}}$$

Tragfähigkeit der Zugstrebe

$$a_s = 25,13 + 31,42 = 56,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$f_{sd} = 50 / 1,15 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{sd} \cdot 1,0 = 2458 \text{ kN/m}$$

$$\eta = V_{d,1} / V_{Rd,sy} = \underline{\underline{0,49 < 1,0}}$$

#### Nachweis an der Dübelumrissfläche

Längsschubkraft im GZT siehe 3.5.2.2

$$V_d = 2717 \text{ kN/m}$$

Tragfähigkeit der Betondruckstrebe

$$L_v = 2 \cdot 17,5 + 4 \cdot 9,5 + 3,5 = 76,50 \text{ cm}$$

$$a_v = 100,0 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 3,5 / 1,5 = 1,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,max} = L_v \cdot a_v \cdot 0,75 \cdot f_{cd} / (1,0 + 1/1,0) = 5680 \text{ kN/m}$$

$$\eta = V_d / V_{Rd,max} = \underline{\underline{0,48 < 1,0}}$$

Tragfähigkeit der Zugstrebe

$$a_s = 2 \cdot 31,42 = 62,8 \text{ cm}^2$$

$$f_{sd} = 50 / 1,15 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{sd} \cdot 1,0 = 2732 \text{ kN/m}$$

$$\eta = V_d / V_{Rd,sy} = \underline{\underline{0,99 < 1,0}}$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	169
Vorgang:	Nachweis der Verbundsicherung	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### **3.5.3 Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit**

#### **3.5.3.1 Begrenzung der Spannungen**

##### **Spannungen im Baustahl**

Die Spannungen im Baustahl sind unter der nicht-häufigen Kombination zu begrenzen. Aufgrund der elastischen Spannungsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist die Spannungsbegrenzung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfüllt.

##### **Spannungen im Betonstahl**

Die Zugspannung im Betonstahl ist unter der nicht-häufigen Einwirkungskombination auf  $0,8 \cdot f_{sk}$  zu begrenzen.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit beträgt die maximale Spannung im Betonstahl (siehe 3.5.1.11):

$$\sigma_{s,2} = 13,50 \text{ kN/cm}^2$$

Aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen erhöht sich die Spannung auf:

$$\sigma_{s,d} = \sigma_{s,2} + 3,1 = 16,60 \text{ kN/cm}^2$$

Der Grenzwert unter der nicht-häufigen Einwirkungskombination beträgt:

$$\sigma_{s,d,grenz} = 0,8 \cdot 50 = 40,00 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	170
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### **3.5.3.2 Begrenzung der Rissbildung**

Wird im Rahmen des Beleges nicht nachgewiesen.

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	171
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### 3.5.3.2 Begrenzung der Verformungen

Für Eisenbahnbrücken werden die Nachweise nach DIN-Fachbericht 101 Abschnitt IV-G.3 geführt.

Für die Festlegung der Überhöhung des Tragwerkes ist die quasi-ständige Einwirkungskombination mit  $\psi_2 = 0,2$  zu verwenden.

#### Vertikale Beschleunigung des Überbaus

Die Gefahr von Resonanz oder übermäßigen Schwingungen kann insbesondere bei Geschwindigkeiten  $v > 200$  km/h auftreten [2]. Der Überbau ist für eine Geschwindigkeit  $v < 200$  km/h ausgelegt. Daher ist kein Nachweis erforderlich.

#### Verwindung des Überbaus

Die Verwindung wird mit den mit  $\Phi$  multiplizierten charakteristischen Werten des Lastmodells 71 ermittelt.

Maximal zulässige Verwindung:  
 $t < 1,5 \text{ mm} / 3 \text{ m}$

Vorhandene Verwindung:  
 $t = 0,6 \text{ mm} / 3,5 \text{ m}$

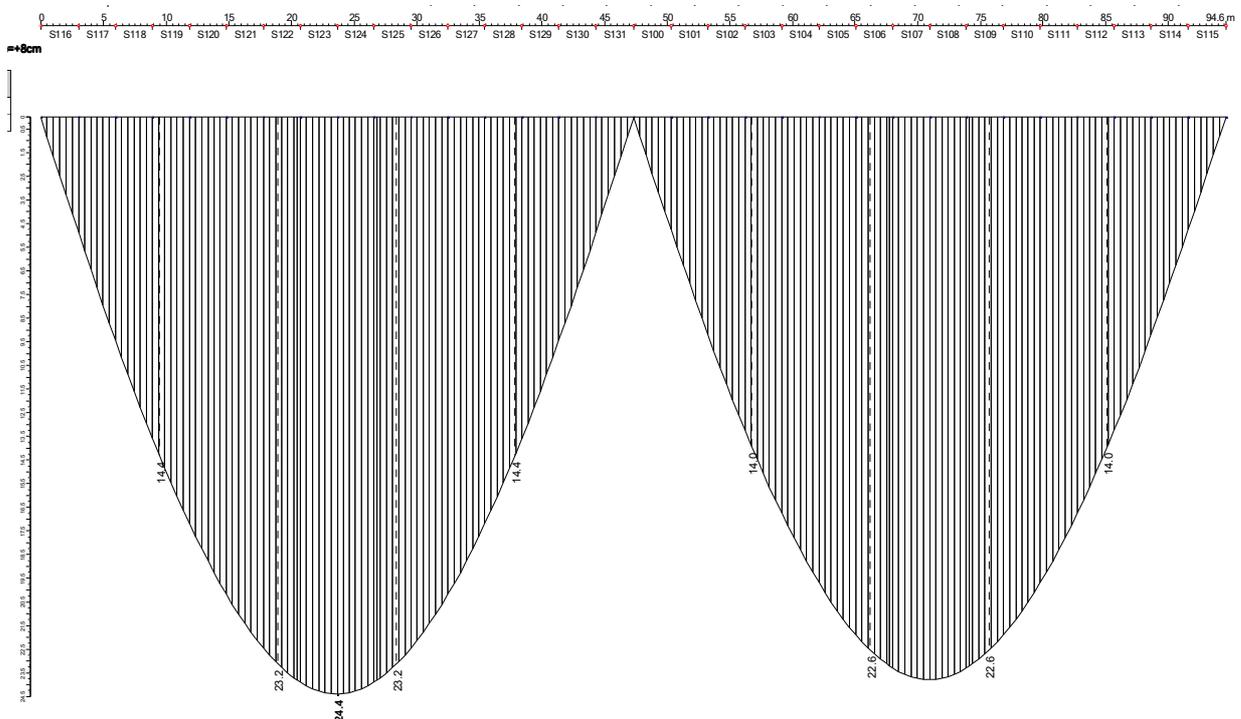


Bild 55: Vertikalverformung der Hauptträger unter LM 71

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	172
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Vertikalverformungen des Überbaus

Der Endtangentialwinkel des Überbaus ist unter dem mit  $\Phi$  multiplizierten charakteristischen Werten des Lastmodells 71 und Lastmodells SW/2 bei gleichzeitig wirkendem Temperaturunterschied zu begrenzen.

$$\max \varphi = 6,5 \text{ mrad}$$

$$\text{vorh } \varphi = 2,4 + 1,6 = 4,0 \text{ mrad}$$

Siehe Zusammenstellung der Lagerbewegungen (Abschnitt 8.2).

### Horizontalverformungen des Überbaus

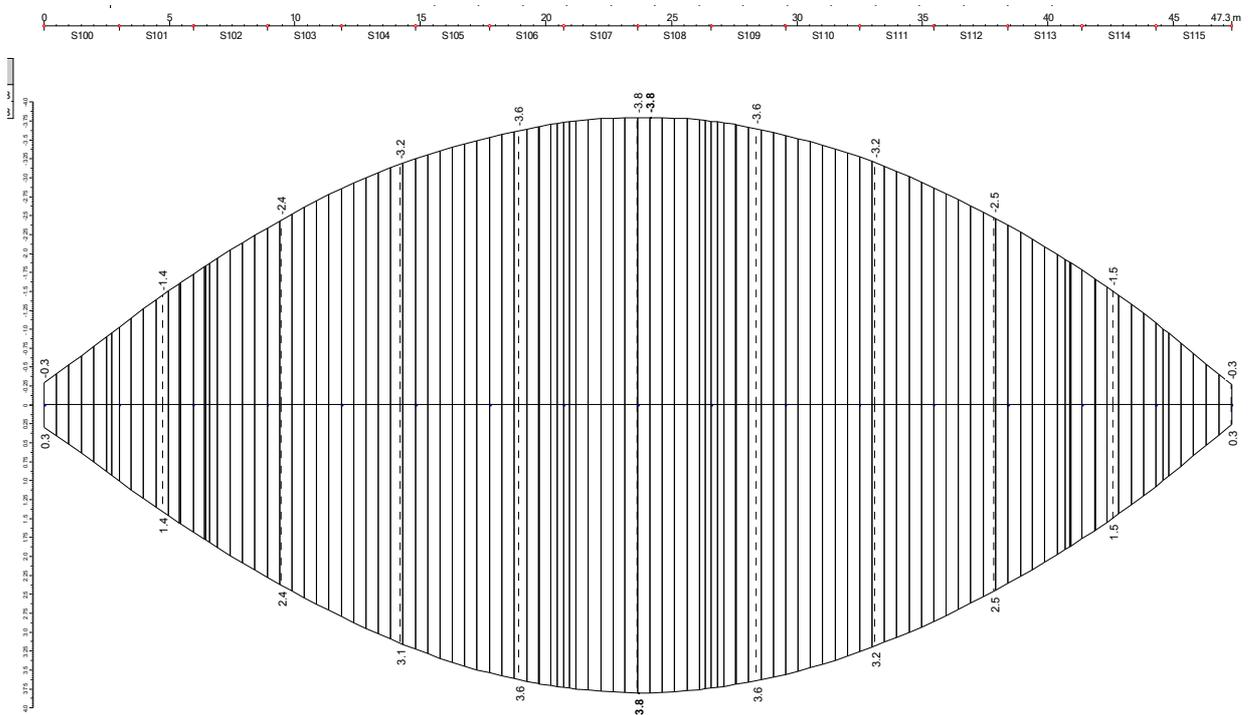
Die Horizontalverformung des Überbaus unter den charakteristischen Verkehrslasten einschließlich Wind beträgt:

$$u_h = 3,80 \text{ mm}$$

Der Radius der horizontalen Biegelinie ergibt sich zu:

$$R = \frac{47300^2}{(8000 \cdot u_h)} = 73595 \text{ m}$$

$$R_{\min} = 14000 \text{ m}$$



**Bild 56: Horizontalverformung der Hauptträger unter Verkehrslasten und Wind (charakteristisch)**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	173
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

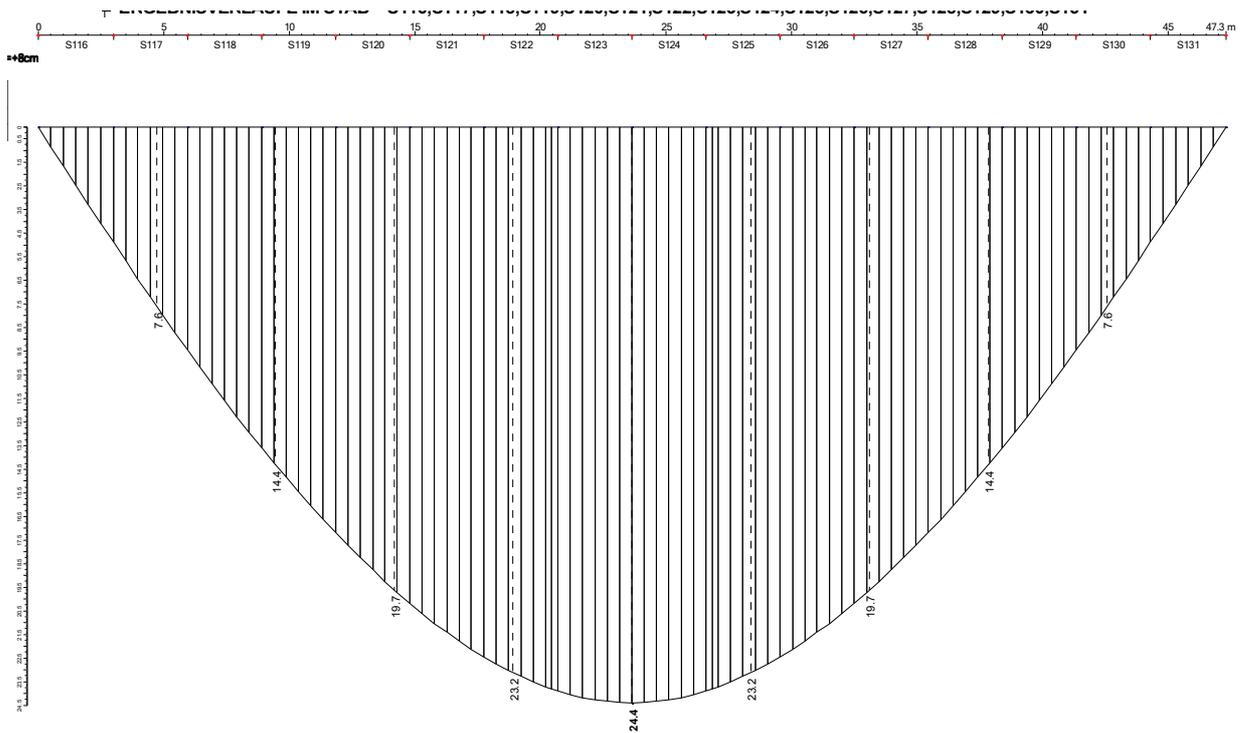
Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

### Höchstwerte der vertikalen Durchbiegung für den Reisendenkomfort

Vertikale Durchbiegung unter dem mit  $\Phi$  multiplizierten charakteristischen Werten des Lastmodells 71  
 $\max v = 1,04 \cdot 24,4 = 25,4 \text{ mm}$

vorh.  $L/v = 47300/25,4 = 1860$

zul.  $L/v = 1400 < 1860$



**Bild 57: Vertikalverformung der Hauptträger unter LM 71**

Bauteil:	Haupttragwerk	Seite:
Block:	Nachweise	174
Vorgang:	Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

#### **4 Verbände**

Werden im Abschnitt 3 behandelt. Die Bemessung der Horizontalverbandsdiagonalen erfolgt unter Abschnitt 3.5.1.4.

Bauteil:	Verbände	Seite:
Block:		175
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## **5 Schotte**

Der Nachweis der Querschnittsaussteifungen ist nicht Bestandteil dieser Statischen Berechnung und wird im Rahmen der Detail- und Werkstattplanung geführt.

Bauteil:	Schotte	Seite:
Block:		176
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## **6 Gehwegkonstruktionen**

Gehören nicht zu den Haupttragelementen und werden gemäß Aufgabenstellung nicht behandelt.

Bauteil:	Gehwegkonstruktionen	Seite:
Block:		177
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## **7 Zusammenstellung der Belastbarkeitswerte $\beta_{71}$**

Nicht Gegenstand dieser statischen Berechnung.

Bauteil:	Zusammenstellung der Belastbarkeitswerte $\beta_{71}$	Seite:
Block:		178
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## 8 Lager

### 8.1 Lagerungsplan

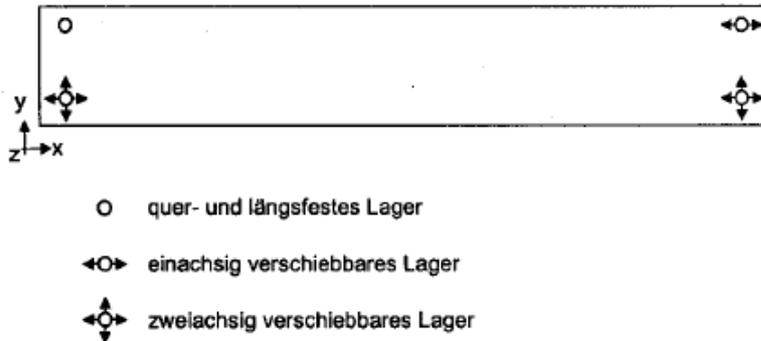


Bild 58: Lagerschema

Das in Längsrichtung feste Lager befindet sich bei km 486,195.

### 8.2 Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen

Im DIN-Fachbericht 101 Anhang O sind folgende ergänzende Regeln für die Bemessung von Lagern zusammengestellt:

Die charakteristischen Kräfte und Bewegungen sind mit der charakteristischen (seltenen) Einwirkungskombination zu ermitteln.

Die Bemessungswerte ergeben sich durch Vergrößerung der charakteristischen Werte mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten.

Die Bemessungswerte aus Kriechen und Schwinden ergeben sich durch Vergrößerung der mittleren Werte mit dem Faktor 1,35.

Die Bemessungswerte aus klimatischen Temperatureinwirkungen ergeben sich durch Vergrößerung der charakteristischen Werte mit dem Faktor 1,35.

Ist die Temperatur keine Leiteinwirkung, so ist als Kombinationsbeiwert  $\varphi_0 = 0,8$  zu berücksichtigen.

Der konstante Temperaturanteil wird um 10 K vergrößert.

**Seltene Bemessungssituation:  $G_k + Q_{k1} + \sum \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$**

$$G_k + Q_{k,gr11/12/14/15} + 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

$$G_k + Q_{k,gr13/16/17} + 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + Q_{k,Kriechen} + Q_{k,Schwinden}$$

**Ständige, vorübergehende Bemessungssituation:  $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$**

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr11/12/14/15} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,50 \cdot 0,9 \cdot Q_{k,Wind} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,35 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

$$1,35 \cdot G_k + 1,45 \cdot Q_{k,gr13/16/17} + 1,50 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Gehweg} + 1,35 \cdot 0,8 \cdot Q_{k,Temperatur} + 1,35 \cdot Q_{k,Kriechen} + 1,35 \cdot Q_{k,Schwinden}$$

Bauteil:	Lager	Seite:
Block:	Lagerungsplan	179
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Lastfall Nr	Achse 1/A Kombination	Vz [kN]		Hx [kN]		Hy [kN]		v'x [mrad]		v'y [mrad]		vx [mm]		vy [mm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	380													
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	2250													
10-15	Temperatur - Kombination 1	5	-5					0,1	-0,1	0,7	-0,9				
10-15	Temperatur - Kombination 2	10	-10					0,4	-0,4	1,4	-1,6				
16	Temperatur - Lagerlängskraft	10	-10	380	-380	15	-15			0,1	-0,1				
20-21	Wind mit Verkehr	160	-160			510	-510	0,1	-0,1						
22-23	Wind im Bauzustand	5	-5			50	-50								
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	1300		500	-500	50	-50								
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	1300		250	-250	60	-60								
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	660		500	-500	50	-50								
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	670		250	-250	60	-60								
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	190		500	-500	70	-70								
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	1660		710	-710	60	-60								
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	1670		360	-360	70	-70								
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	150													
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	290													
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	1530						0,1	-0,1						
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	1990						0,1	-0,1						
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten														
105	Zwang - Schwinden														

Lastfall Nr	Achse 1/B Kombination	Vz [kN]		Hx [kN]		Hy [kN]		v'x [mrad]		v'y [mrad]		vx [mm]		vy [mm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	380													
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	2240													
10-15	Temperatur - Kombination 1	5	-5					0,1	-0,1	0,7	-0,9			0,8	-0,8
10-15	Temperatur - Kombination 2	10	-10					0,4	-0,4	1,4	-1,6	0,1	-0,1	2,2	-2,2
16	Temperatur - Lagerlängskraft	5	-5									0,1	-0,1		
20-21	Wind mit Verkehr	160	-160									0,6	-0,6		
22-23	Wind im Bauzustand	5	-5									0,1	-0,1		
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	1300										0,2	-0,2		
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	1300										0,2	-0,2		
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	660										0,2	-0,2		
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	670										0,2	-0,2		
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbelasteter Zug	180										0,3	-0,3		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	1650										0,3	-0,3		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	1660										0,2	-0,2		
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	150													
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	290													
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	1530										0,1	-0,1		
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	1990						0,1	-0,1			0,2	-0,2		
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten														
105	Zwang - Schwinden														

Tabelle 15+16: Lagerkräfte und -bewegungen Reihe 1

Bauteil:	Lager	Seite:
Block:	Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen	180
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

Lastfall Nr	Achse 2/A Kombination	Vz [kN]		Hx [kN]		Hy [kN]		v'x [mrad]		v'y [mrad]		vx [mm]		vy [mm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	730								0,9					-0,8
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	1900								3,3					-0,1
10-15	Temperatur - Kombination 1	5	-5					0,1	-0,1	0,9	-0,7	9,1	-8,7		
10-15	Temperatur - Kombination 2	10	-10					0,4	-0,4	1,6	-1,4	25,2	-24,5		
16	Temperatur - Lagerlängskraft	10	-10			15	-15					0,2	-0,2		
20-21	Wind mit Verkehr	160	-160			510	-510					0,6	-0,6		
22-23	Wind im Bauzustand	20	-20			100	-100								
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	1300				50	-50			1,7		0,3	-0,3		
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	1300				60	-60			1,7		0,2	-0,2		
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	660				50	-50			0,8		0,3	-0,3		
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	670				60	-60			0,8		0,2	-0,2		
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbeladener Zug	190				70	-70			0,2		0,3	-0,3		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	1660				60	-60			2,2		0,4	-0,4		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	1660				70	-70			2,2		0,3	-0,3		
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	150								0,2					
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	290								0,2					
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	1530						0,1	-0,1	1,4					
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	1990						0,1	-0,1	1,5		0,1	-0,2		
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten									0,6					-2,7
105	Zwang - Schwinden									2,3		7,4	-7,4		

Lastfall Nr	Achse 2/B Kombination	Vz [kN]		Hx [kN]		Hy [kN]		v'x [mrad]		v'y [mrad]		vx [mm]		vy [mm]	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1-3	Ständig - Eigengewicht auf Baustahl	730								0,9					-0,8
4-6	Ständig - Auf Verbundquerschnitt	1910								3,3					-0,1
10-15	Temperatur - Kombination 1	5	-5					0,1	-0,1	0,9	-0,7	9,1	-8,7	0,8	-0,8
10-15	Temperatur - Kombination 2	10	-10					0,4	-0,4	1,6	-1,4	25,1	-24,4	2,2	-2,2
16	Temperatur - Lagerlängskraft	5	-5									0,2	-0,2		
20-21	Wind mit Verkehr	160	-160												
22-23	Wind im Bauzustand	20	-20												
30-35; 70-73	Lastgruppe 11 - LM 71	1300								1,7		0,2	-0,2		
30-35; 70-73	Lastgruppe 12 - LM 71	1300								1,7		0,1	-0,1		
30-35; 70-73	Lastgruppe 13 - LM 71	660								0,8		0,2	-0,2		
30-35; 70-73	Lastgruppe 14 - LM 71	670								0,8		0,1	-0,1		
60; 70-73	Lastgruppe 15 - LM unbeladener Zug	180								0,2		0,2	-0,2		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 16 - LM SW/2	1650								2,2		0,3	-0,3		
40-44; 70-71; 74-75	Lastgruppe 17 - LM SW/2	1660								2,2		0,2	-0,2		
50-51	Verkehr - Gehweg, Personenlast	150								0,2					
52-57	Verkehr - Gehweg, Bbf	290								0,2					
80-85	Außergewöhnlich - Situation 1	1530						0,1	-0,1	1,4					
90-95	Außergewöhnlich - Situation 2	1990						0,1	-0,1	1,5		0,1	-0,1		
100-103	Zwang - Kriechen, ständige Lasten									0,6					-2,7
105	Zwang - Schwinden									2,3		7,4	-7,4		

**Tabelle 17+18: Lagerkräfte und -bewegungen Reihe 2**

Bauteil:	Lager	Seite:
Block:	Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen	181
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Lager in Achse 1/A

### Lagerkräfte:

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (380 + 2250) + 1,45 \cdot 1300 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 160 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 20 = 6021 \text{ kN}$$

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (380 + 2250) + 1,45 \cdot 1670 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 20 = 6342 \text{ kN}$$

### Reaktionskräfte an Festpunkten:

Nach [2] Anhang O Absatz 1.4 darf für den Nachweis der Reaktionskraft am Festpunkt des Lagerungssystems nach DIN EN 1337-1 6.2 die Reibungszahl  $\mu_{max} = 0,03$  angesetzt werden

$$F_{Hd} = \gamma_Q \cdot Q_{lk} + \mu_{max} \cdot (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q1} \cdot \psi_1 \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \cdot \psi_{oi} \cdot Q_{ki})$$

$$H_{x,d} = 1,45 \cdot 710 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 380 + 0,03 \cdot (6327 + 6335) = 1820 \text{ kN}$$

$$H_{y,d} = 1,45 \cdot 70 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 510 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 15 + 0,03 \cdot 6294 = 995 \text{ kN}$$

### Lagerverformungen:

$$\varphi_{x,d,max} = 1,5 \cdot 0,4 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,1 = 0,7 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{x,d,min} = 1,5 \cdot -0,4 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot -0,1 = -0,7 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,max} = 1,35 \cdot (-0,3 - 3,6) + 1,5 \cdot 1,4 = -3,2 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,min} = 1,35 \cdot (-0,3 - 3,6) + 1,45 \cdot -2,4 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot -0,2 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot -1,6 + 1,35 \cdot (-0,7 - 2,3) = -15,0 \text{ mrad}$$

Die Bemessungszuschläge für die Lagerverformungen nach DIN 1337-1 sind zusätzlich zu berücksichtigen.

Bauteil:	Lager	Seite:
Block:	Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen	182
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Lager in Achse 1/B

### Lagerkräfte:

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (380 + 2240) + 1,45 \cdot 1300 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 160 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 15 = 6002 \text{ kN}$$

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (380 + 2240) + 1,45 \cdot 1650 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 15 = 6294 \text{ kN}$$

### Lagerverformungen:

$$\varphi_{x,d,max} = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{x,d,min} = 1,5 \cdot -0,4 = -0,6 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,max} = 1,35 \cdot (-0,3 - 3,6) + 1,5 \cdot 1,4 = -3,2 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,min} = 1,35 \cdot (-0,3 - 3,6) + 1,45 \cdot -2,2 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot -0,2 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot -1,6 + 1,35 \cdot (-0,7 - 2,3) = -14,7 \text{ mrad}$$

$$v_{x,d,max} = 1,45 \cdot 0,3 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,6 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,1 = 1,4 \text{ mm}$$

$$v_{x,d,min} = 1,45 \cdot -0,3 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot -0,6 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot -0,1 = -1,4 \text{ mm}$$

$$v_{y,d,max} = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ mm}$$

$$v_{y,d,max} = 1,5 \cdot -2,2 = -3,3 \text{ mm}$$

Die Bemessungszuschläge für die Lagerverformungen nach DIN 1337-1 sind zusätzlich zu berücksichtigen.

Bauteil:	Lager	Seite:
Block:	Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen	183
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Lager in Achse 2/A

### Lagerkräfte:

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (730 + 1900) + 1,45 \cdot 1300 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 160 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 20 = 6021 \text{ kN}$$

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (730 + 1900) + 1,45 \cdot 1660 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 20 = 6327 \text{ kN}$$

### Reaktionskräfte an Festpunkten:

Nach [2] Anhang O Absatz 1.4 darf für den Nachweis der Reaktionskraft am Festpunkt des Lagerungssystems nach DIN EN 1337-1 6.2 die Reibungszahl  $\mu_{max} = 0,03$  angesetzt werden

$$F_{Hd} = \gamma_Q \cdot Q_{lk} + \mu_{max} \cdot (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q1} \cdot \psi_1 \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

$$H_{y,d} = 1,45 \cdot 70 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 510 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 15 + 0,03 \cdot 6335 = 996 \text{ kN}$$

### Lagerverformungen:

$$\varphi_{x,d,max} = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{x,d,min} = 1,5 \cdot -0,4 = -0,6 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,max} = 1,35 \cdot (0,9 + 3,3) + 1,45 \cdot 2,2 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,6 + 1,35 \cdot (0,6 + 2,3) = 14,9 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,min} = 1,35 \cdot (0,9 + 3,3) + 1,5 \cdot -1,4 = 3,6 \text{ mrad}$$

$$v_{x,d,max} = 1,5 \cdot 25,2 + 1,45 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,6 = 39,1 \text{ mm}$$

$$v_{x,d,min} = 1,35 \cdot -0,9 + 1,5 \cdot -24,5 + 1,45 \cdot 0,8 \cdot -0,4 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot -0,6 + 1,35 \cdot -10,1 = -52,9 \text{ mm}$$

Die Bemessungszuschläge für die Lagerverformungen nach DIN 1337-1 sind zusätzlich zu berücksichtigen.

Bauteil:	Lager	Seite:
Block:	Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen	184
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## Lager in Achse 2/B

### Lagerkräfte:

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (730 + 1910) + 1,45 \cdot 1300 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,5 \cdot 0,9 \cdot 160 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 15 = 6029 \text{ kN}$$

$$V_{z,d,max} = 1,35 \cdot (730 + 1910) + 1,45 \cdot 1660 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 290 + 1,35 \cdot 0,8 \cdot 15 = 6335 \text{ kN}$$

### Lagerverformungen:

$$\varphi_{x,d,max} = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{x,d,min} = 1,5 \cdot -0,4 = -0,6 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,max} = 1,35 \cdot (0,9 + 3,3) + 1,45 \cdot 2,2 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,6 + 1,35 \cdot (0,6 + 2,3) = 14,9 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,d,min} = 1,35 \cdot (0,9 + 3,3) + 1,5 \cdot -1,4 = 3,6 \text{ mrad}$$

$$v_{x,d,max} = 1,5 \cdot 25,1 + 1,45 \cdot 0,8 \cdot 0,3 = 38,0 \text{ mm}$$

$$v_{x,d,min} = 1,35 \cdot -0,9 + 1,5 \cdot -24,4 + 1,45 \cdot 0,8 \cdot -0,3 + 1,35 \cdot -10,1 = -51,8 \text{ mm}$$

$$v_{y,d,max} = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ mm}$$

$$v_{y,d,max} = 1,5 \cdot -2,2 = -3,3 \text{ mm}$$

Die Bemessungszuschläge für die Lagerverformungen nach DIN 1337-1 sind zusätzlich zu berücksichtigen.

Bauteil:	Lager	Seite:
Block:	Zusammenstellung der Lagerkräfte und Lagerbewegungen	185
Vorgang:		Rev 01

Verfasser:	Andreas Tröger, Weidaweg 1, 06122 Halle (Saale)	
Programm:		
Bauwerk:	Stahlbrücke - Beleg 2010	Datum: 14.12.2010

## **9 Höhenkoten für die Einrüstung des Tragwerks**

Nicht Gegenstand dieser statischen Berechnung.

Bauteil:	Höhenkoten für die Einrüstung des Tragwerks	Seite:
Block:		186
Vorgang:		Rev 01