

# Nachweise der Ermüdungsfestigkeit am Bogentragwerk im Zuge der Stadtbahnnutzung

## Lastenheft



gemäß: **Richtlinie zu Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand**  
**(Nachrechnungsrichtlinie)**


Brücke	<b>Bogentragwerk</b>
	<b>Gablenzbrücke</b>

aufgestellt:  
Henstedt-Ulzburg, den 10.08.2022

  
Böger + Jäckle  
Gesellschaft Beratender Ingenieure  
mbH & Co. KG

Seiten: I, R1, 1 - 9


bearbeitet:  
Dr.-Ing. Sören Grimm

 <b>BÖGER + JÄCKLE</b> Gesellschaft Beratender Ingenieure mbH & Co. KG info@boeger-jaeckle.de    Telefon 04193/9008-0 Telefax 04193/9008-44	Bauwerk: <b>BW 008 Gablenzbrücke, Bogentragwerk</b>	ASB Nr.:	Seite: I
			Datum: August 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Revisionsverzeichnis</b>	<b>1</b>
<b>1. Zugehörige Unterlagen</b>	<b>1</b>
<b>2. Vorbemerkungen</b>	<b>1</b>
<b>3. Eigengewicht</b>	<b>1</b>
<b>4. Verkehrslasten</b>	<b>1</b>
4.1 Straßenverkehr	1
4.2 Stadtbahn	3
4.3 Einzuhaltende Randbedingungen aus Machbarkeitsstudie	7
<b>5. Ermüdungslasten</b>	<b>8</b>
5.1 Straßenverkehr	8
5.2 Stadtbahn	8


Bauteil:	Block:	Vorgang:	Archiv-Nr.:
	Inhaltsverzeichnis	Nachrechnung Stufe 1	02.003.22

 <b>BÖGER + JÄCKLE</b> Gesellschaft Beratender Ingenieure mbH & Co. KG Telefon 04193/9008-0 info@boeger-jaeckle.de    Telefax 04193/9008-44	Bauwerk:  <b>BW 008 Gablenzbrücke, Bogentragwerk</b>	ASB Nr.:	Seite: <b>R1</b>
			Datum: <b>August 2022</b>

## Revisionsverzeichnis

Revision	neue Seiten	geänderte Seiten	gelöschte Seiten	Bemerkungen	Datum/ Name
0	I, R1, 1-9			Nachweise zur Ermüdungsfestigkeit im Zuge der Stadtbahnnutzung	14.04.2022, Grimm
1		3 und 6		Rückmeldung zu Vorabzug vom 11.05.2022	15.06.2022, Grimm
2		2		Bremslast BRT-Bus	10.08.2022, Grimm

Bauteil:	Block:	Vorgang:	Archiv-Nr.:
	Revisionsverzeichnis	Nachrechnung Stufe 1	02.003.22


 <b>BÖGER + JÄCKLE</b> Gesellschaft Beratender Ingenieure mbH & Co. KG Telefon 04193/9008-0 info@boeger-jaeckle.de    Telefax 04193/9008-44	Bauwerk:  <b>BW 008 Gablenzbrücke, Bogentragwerk</b>	ASB Nr.:	Seite: <b>R1</b>
			Datum: <b>August 2022</b>

# 1. Zugehörige Unterlagen

**Heft 1 – Lastenheft**

Heft 2 – Ermüdungsnachweise

Bauteil:	Block:	Vorgang:	Archiv-Nr.:
	Revisionsverzeichnis	Nachrechnung Stufe 1	02.003.22

 <b>BÖGER + JÄCKLE</b> Gesellschaft Beratender Ingenieure mbH & Co. KG Telefon 04193/9008-0 info@boeger-jaeckle.de    Telefax 04193/9008-44	Bauwerk:  <b>BW 008 Gablenzbrücke, Bogentragwerk</b>	ASB Nr.:	Seite: <b>1</b>
			Datum: <b>August 2022</b>

## 2. Vorbemerkungen

Die Ermittlung der Einwirkungen für die Nachrechnung des Stahlbaus erfolgt auf Grundlage der Festlegungen in der Technischen Notiz (TN) von Ramboll (vom 25.01.2022), den Festlegungen aus der Anlage D 8 B, Verkehrs-Lastannahmen von Leonhardt, Andrä und Partner (Vom 25.07.2005), den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie von November 2021 und der DIN EN 1991.

## 3. Eigengewicht

Die Annahmen und Lastansätze zum Eigengewicht sind in den Seiten 2 / 74 bis 2 / 83 der 1. Teillieferung der Bestandstatik (vom 29.03.2006) beschrieben (s. Anlagen).

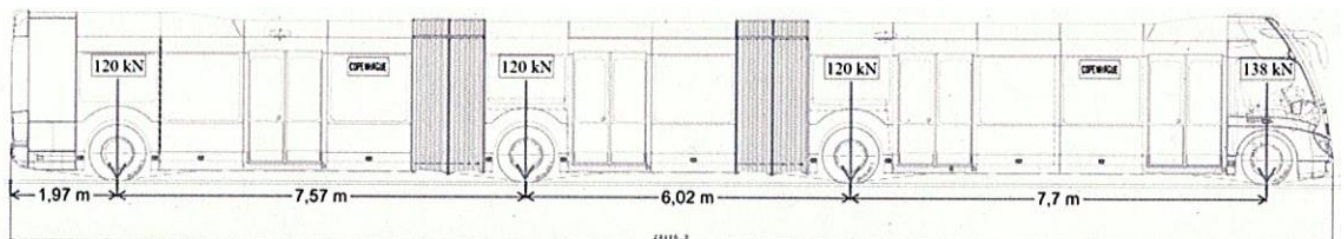
## 4. Verkehrslasten

Die Annahmen zur Kombination aus Straßenverkehr und Stadtbahn sind in den Seiten 2 / 91 bis 2 / 99 beschrieben.

### 4.1 Straßenverkehr

Die Annahmen und Lastansätze zu Verkehrslasten aus der Straße sind in den Seiten 2 / 84 bis 2 / 90.1 der 1. und 4. Teillieferung der Bestandstatik (vom 29.03.2006 bzw. 07.07.2006) beschrieben (s. Anlagen). Als Alternative zu den Stadtbahnen wird ein BRT-Bus in Betracht gezogen.

BRT-Bus



Bauteil:	Block:	Vorgang:	Archiv-Nr.:
	Lastannahmen	Nachrechnung Stufe 1	02.003.22



#### Abschätzung Massen (worst case):

Gesamtmasse:	42.000 kg 412,0 kN	(Laststufe III / voll beladen aus zulässigen Achsmassen) (maximal zulässige Beladung nach § 34 StVZO wird nicht ausgeschöpft)
Gesamtmasse:	40.000 kg 392,0 kN	(Nutzung volle Kapazität 160 Personen, Laststufe II, VDV mit 4 Personen pro m <sup>2</sup> Stehplatzfläche plus Sitzplätze mit je 75 kg/Person ergibt eine Zuladung von 12,0 t)
Gesamtmasse:	35.800 kg 351,0 kN	(Besetzung von 65% der Kapazität 160 Personen, Laststufe II)
Max. Achsfahrmasse (Laststufe III / voll beladen aus zulässigen Achslasten):	11.500 kg 113,0 kN	(für zwei Achsen, andere geringer)

Der BRT-Bus ist durch die in der Bestandsstatik angesetzten Lastmodelle des DIN Fachbericht 101 abgedeckt. Aus den Abmessungen und einer maximalen Gesamtmasse ergibt sich eine Flächenlast von  $412/(24 \cdot 3) = 5,7 \text{ kN/m}^2$ , die somit kleiner ist als die angesetzten  $9 \text{ kN/m}^2$ . Die in der Bestandsstatik angesetzte Tandemachslast beträgt 240 kN. Auch das angesetzte Ermüdungslastmodell 3 nach DIN Fachbericht 101 deckt die Achslast unter voller Besetzung von 120 kN ab. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich dynamische Effekte und eine realistische durchschnittliche Auslastung des Busses etwa aufwiegen. Gemäß Planungsgespräch vom 11.05.2022 soll der BRT-Bus auf den Fahrspuren der Stadtbahnen fahren. **Es ist zu beachten, dass sich je Fahrtrichtung nur jeweils ein Fahrzeug (Stadtbahn oder BRT-Bus) auf der Rampen- bzw. Bogenbrücke befinden darf!** Aus der Stadtbahn wurde für die Kombination mit dem Hauptfahrstreifen der Straße eine Bremslast von 378,2 kN berücksichtigt (Seite 2 / 100) diese ist damit größer als die in der TN vom 25.01.2022 angegebene Last von 330 kN für den BRT-Bus.

Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Einwirkungen aus dem BRT-Bus durch die Lastansätze für den Straßenverkehr abgebildet werden.

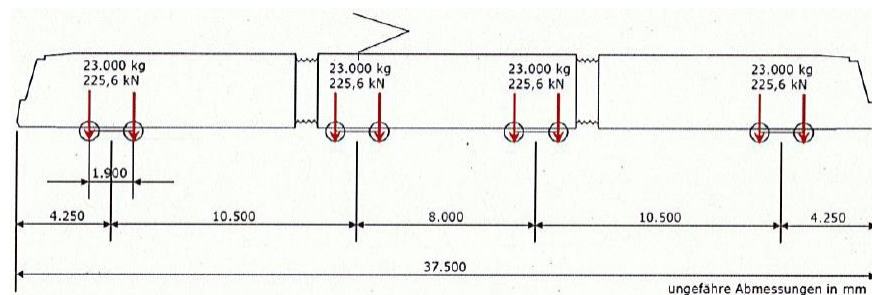
Bauteil:	Block:  Lastannahmen	Vorgang:  Nachrechnung Stufe 1	Archiv-Nr.:  02.003.22
----------	----------------------------	--------------------------------------	------------------------------

## 4.2 Stadtbahn

Anstelle des in der Bestandsstatik berücksichtigten GT8 Stadtbahnwagens, sollen die in der TN von Ramboll festgelegten Wagen berücksichtigt werden. Gemäß Machbarkeitsstudie kann die Brücke im Hinblick auf die Standsicherheitsnachweise (GZT) von folgenden Zügen befahren werden.

Bei der Gegenüberstellung der neuen Bahnlasten mit denen, die in der Bestandsstatik berücksichtigt sind, ist zu beachten, dass dort am Drehgestell 3 gegenüber der Anlage D 8 B nur 160 kN statt 180 kN angesetzt wurden. Die in der Statischen Berechnung berücksichtigten Lasten sind somit etwas geringer als in Anlage D 8 B festgelegt. Für die Untersuchungen wird der in der Bestandsstatik berücksichtigte Lastansatz zugrunde gelegt.

Tram 37,5 m



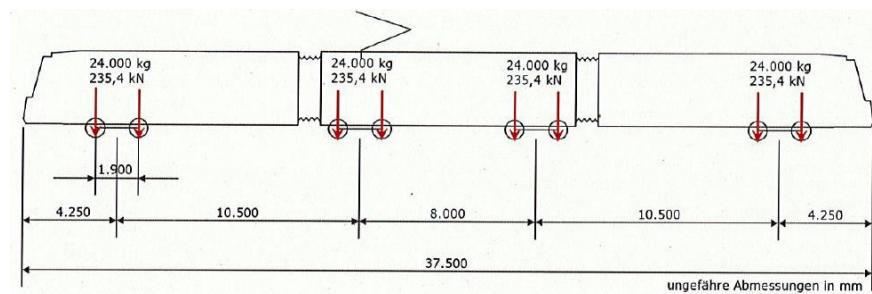
Fahrzeuglänge: 37.500 mm

Abschätzung Massen (worst case):

Gesamtmasse:	92.000 kg 902,5 kN	(Laststufe III / voll beladen) (Entspr. EL 6,67 nach DIN EN 13452-1)
Gesamtmasse:	82.000 kg 804,4 kN	(Nutzung volle Kapazität 250 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)
Gesamtmasse:	75.000 kg 735,8 kN	(Besetzung von 65% der Kapazität 250 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)
Max. Achsfahrmasse (Laststufe III / voll beladen):	11.500 kg	(für alle Drehgestelle, gleichmäßig verteilt) (Bem.: In der Praxis werden die End-DG bei um ca. 5 % weniger belastet)

Bauteil:	Block:	Vorgang:	Archiv-Nr.:
	Lastannahmen	Nachrechnung Stufe 1	02.003.22

Regio Tram 37,5 m



Fahrzeuglänge: 37.500 mm

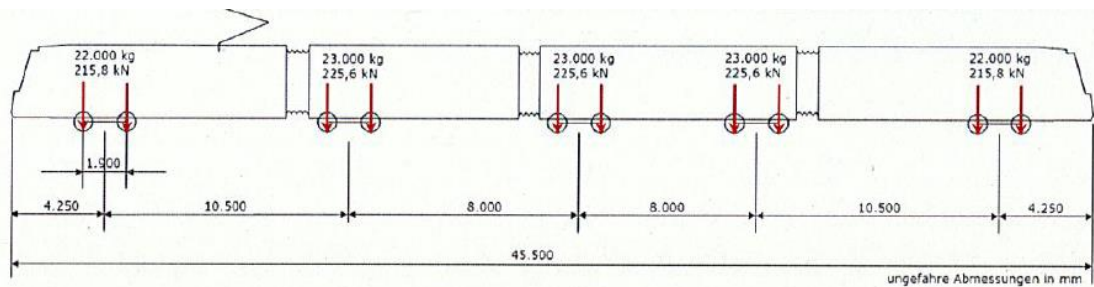
Abschätzung Massen (worst case):

Gesamtmasse:	96.000 kg 941,8 kN	(Laststufe III / voll beladen) (Entspr. EL 6,67 nach DIN EN 13452-1)
Gesamtmasse:	86.000 kg 843,7 kN	(Nutzung volle Kapazität 250 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)
Gesamtmasse:	79.000 kg 775,0 kN	(Besetzung von 65% der Kapazität 250 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)
Max. Achsfahrmasse (Laststufe III / voll beladen):	12.000 kg	(für alle Drehgestelle, gleichmäßig verteilt) (Bem.: In der Praxis werden die End-DG bei um ca. 5 % weniger belastet)

Bauteil:	Block:	Vorgang:	Archiv-Nr.:
	Lastannahmen	Nachrechnung Stufe 1	02.003.22



Tram 45,5 m



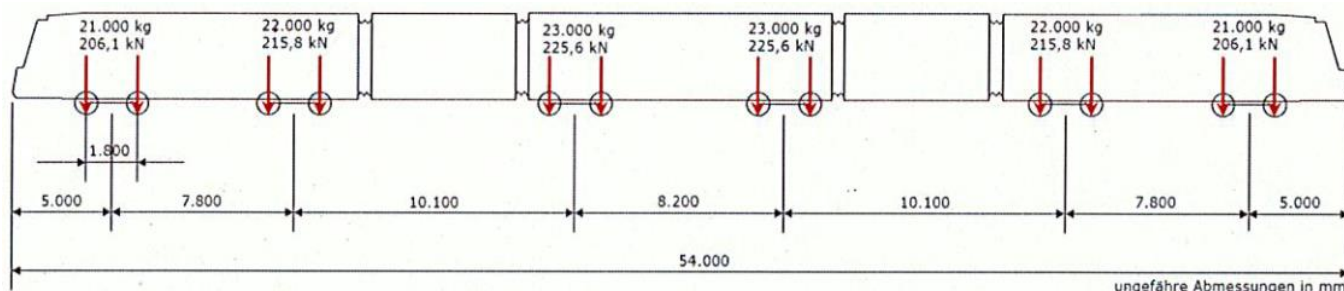
Fahrzeuglänge: 45.500 mm

Abschätzung Massen (worst case):

Gesamtmasse:	113.000 kg	(Laststufe III / voll beladen)
	1108,5 kN	(Entspr. EL 6,67 nach DIN EN 13452-1)
Gesamtmasse:	99.000 kg	(Nutzung volle Kapazität 325 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)
	971,2 kN	
Gesamtmasse:	90.000 kg	(Besetzung von 65% der Kapazität 325 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)
	882,9 kN	
Max. Achsfahrmasse (Laststufe III / voll beladen):	11.500 kg	(für die inneren 3 Drehgestelle)
	11.000 kg	(für die äußeren 2 Drehgestelle) (Vereinfachte Aussage, da das DG unter dem eingefügten WG-teil am stärksten belastet wird.)

Bauteil:	Block:  Lastannahmen	Vorgang:  Nachrechnung Stufe 1	Archiv-Nr.:  02.003.22
----------	----------------------------	--------------------------------------	------------------------------

Tram 54 m



Fahrzeuglänge: 54.000 mm

Abschätzung Massen (worst case):


Gesamtmasse: 132.000 kg (Laststufe III / voll beladen)  
 1295 kN (Entspr. EL 6,67 nach DIN EN 13452-1)

Gesamtmasse: 116.000 kg (Nutzung volle Kapazität 375 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)  
 1.138,0 kN

Gesamtmasse: 105.000 kg (Besetzung von 65% der Kapazität 375 Personen, Laststufe II entspr. EL 4 nach DIN EN 13452-1)  
 1030,0 kN

Max. Achsfahrmasse (Laststufe III / voll beladen):  
 11.500 kg (für die inneren 2 Drehgestelle)  
 11.000 kg (für die äußeren 2 Drehgestelle)  
 10.500 kg (für die letzten 2 Drehgestelle)

Bauteil:	Block:  Lastannahmen	Vorgang:  Nachrechnung Stufe 1	Archiv-Nr.:  02.003.22
----------	----------------------------	--------------------------------------	------------------------------

 <b>BÖGER + JÄCKLE</b> Gesellschaft Beratender Ingenieure mbH & Co. KG Telefon 04193/9008-0 info@boeger-jaeckle.de    Telefax 04193/9008-44	Bauwerk:  <b>BW 008 Gablenzbrücke, Bogentragwerk</b>	ASB Nr.:	Seite: <b>7</b>
			Datum: August 2022

### 4.3 Einzuhaltende Randbedingungen aus Machbarkeitsstudie

Die Untersuchungen zur statischen Verträglichkeit der erhöhten Beanspruchungen durch die neuen Stadtbahnen wurden vorab in einer Machbarkeitsstudie durchgeführt. Die Nachweise im GZT konnten hier unter folgenden Randbedingungen erfüllt werden:

- Entweder ist der Begegnungsverkehr von Stadtbahnen auf der gesamten Brücke auszuschließen,
- oder die Fahrspuren für den Straßenverkehr sind für Schwerlastverkehr zu sperren.

Die Abstandsregelung der Bahnen - und somit die Mehrfachtraktion - wird insbesondere für die Rampenbrücke hauptsächlich durch die Bremslast gemäß Urberechnung vorgegeben.

Bei Überschreitungen sind vorwiegend die Unterbauten (Stützen sowie Gründung) betroffen. Verstärkungsmaßnahmen sind hier neben den bautechnischen Möglichkeiten auch aus architektonischer Sicht quasi ausgeschlossen.“

Bauteil:	Block:	Vorgang:	Archiv-Nr.:
	Lastannahmen	Nachrechnung Stufe 1	02.003.22

## 5. Ermüdungslasten

### 5.1 Straßenverkehr

Die Annahmen und Lastansätze zum Ermüdungslastmodell aus der Straße sind in den Seiten 2 / 101 bis 2 / 102 der 1. Teillieferung der Bestandstatik (vom 29.03.2006) beschrieben (s. Anlagen).

### 5.2 Stadtbahn

Für den Ermüdungsnachweis aus der Stadtbahnnutzung soll analog zu Anhang D.3 der DIN EN 1991-2 auf Grundlage der Verkehrszusammenstellung „Regelverkehr“ erfolgen. Für diesen Fall wurde abgestimmt die Achslasten für eine Besetzung von 65 % nach Abschnitt 4.2 anzusetzen. Die Radlasten ergeben sich aus der Faktorisierung der Radlasten bei voller Besetzung mit dem Verhältnis „Gesamtmasse bei 65 % Besetzung / Gesamtmasse bei voller Beladung“ wie folgt:

	Achslasten in kN					
	DG 1	DG 2	DG 3	DG 4	DG 5	DG 6
Tram 37,5 m	184	184	184	184	-	-
Regiotram 37,5 m	194	194	194	194	-	-
Tram 45,5 m	172	180	180	180	172	-
Tram 54 m	164	172	179	179	172	164

Der dynamische Beiwert wird nach Anhang D.1 der DIN EN 1991-2 ermittelt und kann zur Berücksichtigung der mittleren Einwirkungen über die angenommene Lebensdauer des Tragwerks von 100 Jahren kann daher die dynamische Erhöhung für jeden Betriebszug reduziert werden auf:

$$1 + \frac{1}{2} \left( \varphi' + \frac{1}{2} \varphi'' \right)$$

Für Höchstgeschwindigkeiten  $v$  (in m/s) bis 200 km/h gilt:

$$\varphi' = \frac{K}{1 - K + K^4}$$

Bauteil:	Block:  Lastannahmen	Vorgang:  Nachrechnung Stufe 1	Archiv-Nr.:  02.003.22
----------	----------------------------	--------------------------------------	------------------------------

mit:

$$K = \frac{v}{160} \quad \text{für } L_\phi \leq 20 \text{ m}$$

$$K = \frac{v}{47,16 \cdot L^{0,408}} \quad \text{für } L_\phi > 20 \text{ m}$$

und

$$\varphi'' = 0,56e^{-\frac{L_\phi^2}{100}}$$

Die Maßgebende Länge  $L_\phi$  ergibt sich für lokal und Querbeanspruchung (Querträger und Hänger) zum zweifachen Querträgerabstand (DIN EN 1991-2/NA, Tabelle NA.6.2, Fall 4.2, Fahrbahnplatte aus Beton mit Schotterbett) und für die Versteifungsträger und Bögen zur halben Stützweite (DIN EN 1991-2/NA, Tabelle NA.6.2, Fall 5.4, Hauptträger).

$$L_{\phi,QT} = 14,00 \text{ m}$$

$$L_{\phi,VT} = 33,00 \text{ m}$$

Auf der Bogenbrücke sollen Geschwindigkeiten bis zu 50 km/h bzw.  $v = 13,9 \text{ m/s}$  zugelassen werden (TN Seite 8). Damit ergeben sich folgende Zwischenwerte:

$K$		$\varphi'$		$\varphi''$	
QT	VT	QT	VT	QT	VT
0,0868	0,0707	0,0950	0,0761	0,0789	$1,0440e^{-5}$

Die dynamischen Faktoren ergeben sich damit zu:

QT: 1,067 und

VT: 1,038.

An dieser Stelle werden vorab die Radlasten unter Berücksichtigung des dynamischen Faktors für die lokal und Querbeanspruchung ermittelt, um diese mit den Radlasten aus der Bestandstatik gegenüber zu stellen.

Bauteil:	Block:  Lastannahmen	Vorgang:  Nachrechnung Stufe 1	Archiv-Nr.:  02.003.22
----------	----------------------------	--------------------------------------	------------------------------