

Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken (Ril 805)

Ermüdung und Restnutzungsdauer

Inhaltsverzeichnis

1. **Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“**
2. **Nachweis der Tragsicherheit nach Stufen**
3. **Charakteristische Werte der Werkstoffe**
4. **Teilsicherheitsbeiwerte**
5. **Belastbarkeitswert β_{UIC}**
6. **Ermüdungsnachweis $\beta_{D,UIC}$**
7. **Restnutzungsdauernachweis R**

1. Historie der Ril 805

„Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“



Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“

Erste Eisenbahnen in Deutschland

1835 begann mit der ca. 6 km langen Strecke Nürnberg–Fürth der Eisenbahnbetrieb in Deutschland. Bereits 1839 existierte die erste Fernstrecke Leipzig–Dresden mit ca. 120 km Länge

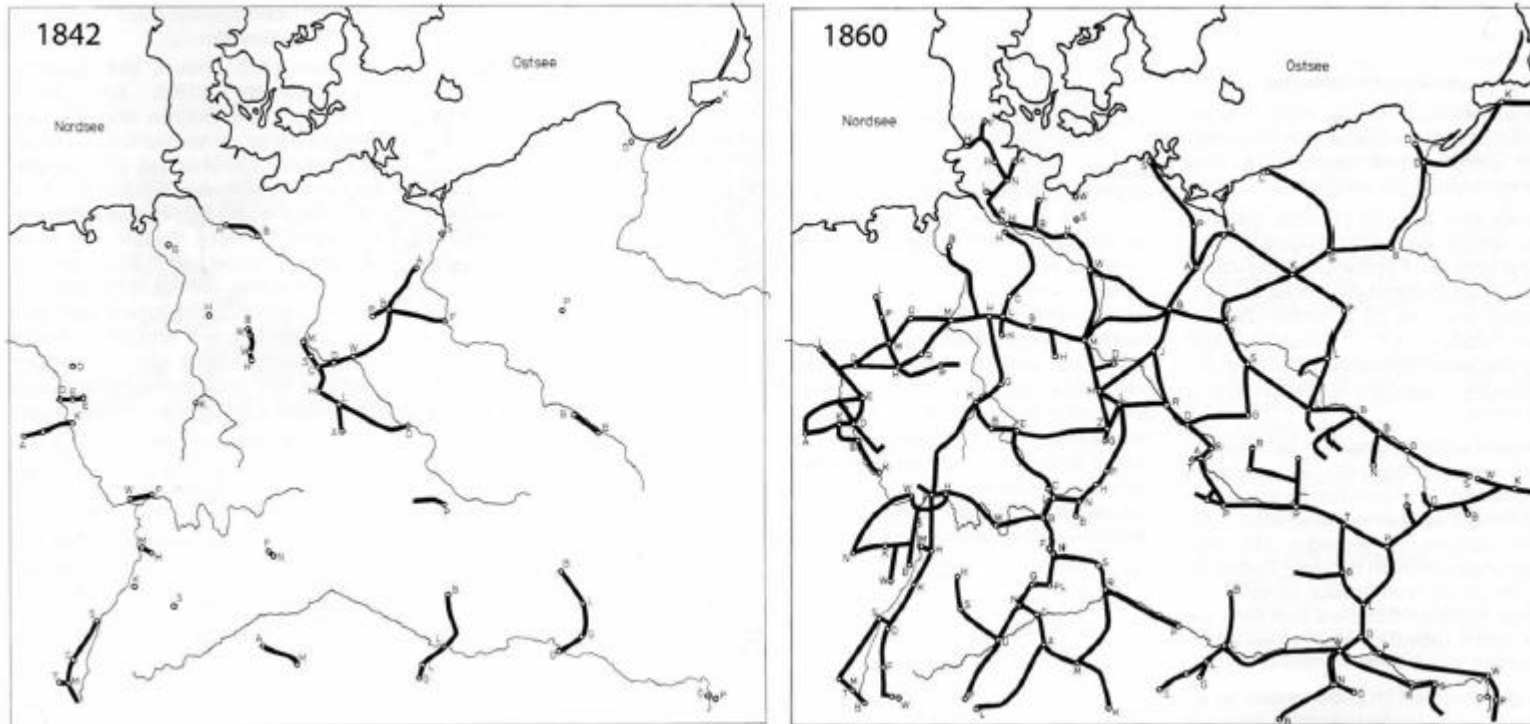


Abbildung 1: Sascha Steffen, Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“, Stahlbau Volume90, Issue2, February 2021

Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“

Eisenbahnbrücke über die Nogat bei Marienburg

Aufgrund der schwereren Züge wurde bereits ab 1891 die hintere Brücke genutzt.

Begleitend zum immer größer werdenden Streckennetz war auch die höhere Geschwindigkeit und steigende Zugkraft der neuen Lokomotiven. Eine Folge daraus war, dass das Gewicht der neusten Lokomotiven im Jahr 1890 bereits schon über 50 t betrug und die Achslasten auf bis zu 14 t anwuchsen. Die Zuggeschwindigkeit hatte inzwischen 90 km/h erreicht.

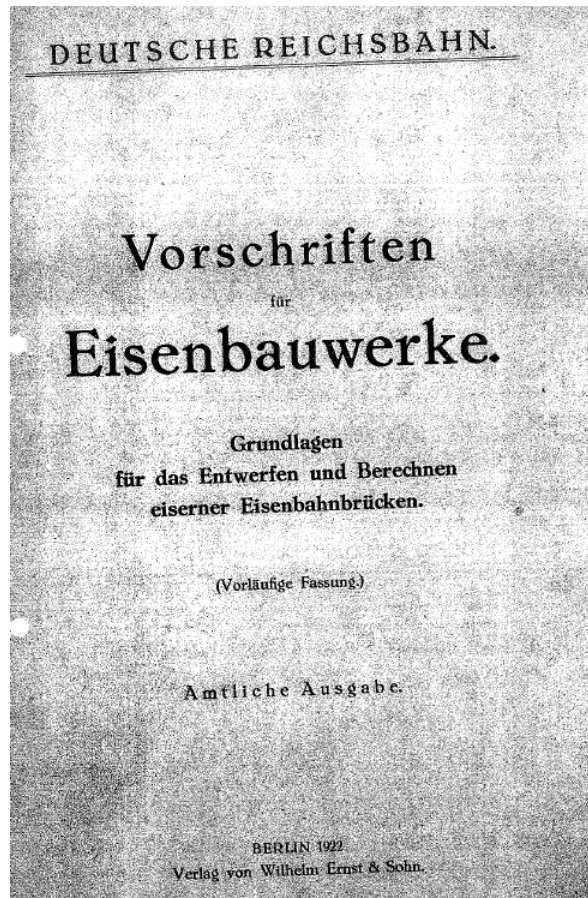


Abbildung 2: Sascha Steffen, Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“, Stahlbau Volume90, Issue2, February 2021

Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“

Erste Vorschriften und Normen

- Vorschriften für Eisenbauwerke, Grundlage für das Entwerfen und Berechnen eiserner Eisenbahnbrücken, 1922
- Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken, 1934 (1940)



Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft
 Brückennummer:
 Reichsbahndirektion
 Strecke: Nr.

Anlage 3
(zu § 8, 2))

Festigkeitsberechnung

für die
 Brücke in km Überbau: IIa (dick ausgezogen)

Skizze der Brücke (Lageplan, Querschnitt, Ansicht)

Quelle für die Momente usw.: „Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken (BE)“ vom

Lastenzug:

Schwächster Teil	Größte Spannung kg/cm ²		Größte Durchbiegung der Hauptträger bei Belastung durch		Bemerkungen
	berechnete	zulässige	berechnete	zulässige	
bei den Hauptträgern:					
„ Längsträgern:					
„ Querträgern:					
„					

Werkstoff:	Bei der Abnahme festgestellte		
	kleinste Zugspannung an der Streckgrenze	kg/cm ² beim Bruch	Bruchdehnung in % und Angabe ob beim Lang- oder Kurzstab

Klasse:

Stützweite m	Stahlgewicht für einen Überbau einseitig Lager t	etwasiger Verstärk- ungsteile t	Jahr und Bezeichnung der Verstärkung	Rauminhalt etwaiger Brücken- schweller für einen Überbau m ³	Flächeninhalt des Belags für einen Überbau m ²	Fläche des Anstrichs für einen Überbau m ²	Bemerkungen

80403 Festigkeitsberechnung für stählerne Brücken (Seite 1 und 2) DIn A 4 1^b 1^b K10

Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“

Erste Vorschriften und Normen

Seit dem Nachdruck von 1940 besitzt die BE die Ordnungsnummer 804 innerhalb der Dienstvorschriften (DV) der Deutschen Reichsbahn. Ergänzt wurde die BE noch durch die DV 805 „Grundsätze für die bauliche Durchbildung stählerner Eisenbahnbrücken (GE)“ im Jahr 1938.

Alle drei Vorschriften wurden 1980 in die DS 804 integriert, sodass die Ordnungsnummer 805 für die spätere Einführung einer Richtlinie zur Nachrechnung von bestehenden Eisenbahnbrücken frei wurde.

Tafel 22			
Zulässige Spannungen der Haupt- und Fahrbahnträger			
1	2	3	4
Stahlsorte	Mittlere Fließgrenze σ_F in kg/cm ²	Zulässige Zug- und Biegespannungen der Haupt- und Fahrbahnträger bei Belastung durch die	
		Hauptkräfte (Ständige Last, Verkehrslast, Fliehkraft, nach § 23 gegebenenfalls anzunehmende Seitenkräfte, Wärmewirkung) σ_{zul} in kg/cm ²	Haupt- und Zusatzkräfte (Zu den Zusatzkräften gehören Winddruck, Bremskräfte, Seitenstöße, Reibungswiderstände der Lager, Ausweichen und Setzen der Widerlager und der Pfeiler) σ_{zul} in kg/cm ²
Flußstahl St 37	2400	1400	1600
Baustahl St 52	3600	$1400 \cdot \frac{3600}{2400} = 2100$	$1600 \cdot \frac{3600}{2400} = 2400$

Tafel 23				
Zulässige Spannungen der Lagerteile				
Werkstoff	ohne Berücksichtigung der Zusatzkräfte		mit Berücksichtigung der Zusatzkräfte	
	Biegung kg/cm ²	Druck kg/cm ²	Biegung kg/cm ²	Druck kg/cm ²
	Gußeisen Ge 14.91	Zug 450 Druck 900	1000	Zug 500 Druck 1000
Stahlguß Stg 52.81 S	1800	1800	2000	2000
Geschmiedeter Stahl St C 35.61 (Vergütungsstahl)	2000	2000	2200	2200

Abbildung 3: Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbrücken (BE), 1936

Historie der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“

Bestandteile	
805.0001	Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken; Allgemeine Grundsätze
805.0101	Grundlagen der Bewertung; Ausgangsbasis und Bewertungsprinzipien
805.0102	Grundlagen für die Nachrechnung; Lastannahmen und Teilsicherheitswerte
805.0102A01	Grundlagen für die Nachrechnung; Dynamische Beiwerte (Schwingbeiwerte)
805.0103	Grundlagen der Berechnung; Werkstoffe (Baustoffe)
805.0103A01	Grundlagen der Berechnung; Baustoffuntersuchungen
805.0103A02	Grundlagen der Berechnung; Baustoffkennwerte für Beton aus den Vorschriften ab 1915
805.0104	Grundlagen für die Nachrechnung; Meßtechnische Bauwerksuntersuchungen
805.0201	Nachrechnen von Eisenbahnbrücken; Stählerne Eisenbahnbrücken
805.0201A01	Längsverteilung der Radlasten beim Nachweis der Brückenbalken
805.0201A02	Hilfestellung für den Einstieg in alte statistische Berechnungen
805.0201A03	Nachweis der Knicksicherheit
805.0201A04	Nachweis der Beulsicherheit
805.0201A05	Restnutzungsdauernachweis für nicht geschweißte stählerne Eisenbahnbrücken (Kerbfälle WI bis WIII)
805.0201A06	Restnutzungsdauernachweis für nicht geschweißte stählerne Eisenbahnbrücken (Kerbfälle KII bis KX)
805.0201A07	Betriebszeiinterwallnachweis für stählerne Eisenbahnbrücken
805.0201A08	Anfangsrißlängen und Modelbreiten beim Betriebszeitintervallnachweis
805.0202	Nachrechnen von Eisenbahnbrücken; Tragwerke aus Beton und Walzträgern in Beton
805.0203	Grundlagen der Bewertung Gewölbebrücken, Unterbauten und Gründungen
805.0204	Nachrechnen von Eisenbahnbrücken; Lagesicherheit und Verformungen
805.0301	Bestimmung der Belastbarkeit; Belastbarkeitswerte

805.0301A01	Lastwertgraphen
805.0401	Konstruktive Hinweise; Stahlbrücken

2. Nachweis der Tragsicherheit nach Stufen



Nachweis der Tragsicherheit nach Stufen

- In Bewertungsstufe 1 wird die Tragsicherheit durch generalisierende ingenieurmäßige Betrachtungen beurteilt. Ein diesbezügliches Verfahren für alle Bauwerksarten ist in M 805.0301 angegeben.
- In Bewertungsstufe 2 wird der Nachweis der Tragsicherheit durch Berechnungen, ggf. auf der Basis der vorhandenen Statik, geführt. Neben eigenen Berechnungen können Softwareprogramme zum Einsatz kommen, die auf die jeweiligen Bauwerksarten abgestimmt sind.
- In Bewertungsstufe 3 wird der Nachweis der Tragsicherheit durch Anwendung komplexer Rechenmethoden geführt. Dabei ist das Ziel, durch den hohen Aufwand der Berechnung zusätzliche Tragreserven der Konstruktion zu erschließen.
- In Bewertungsstufe 4 wird die Tragsicherheit durch eine messwertgestützte Berechnung festgestellt. Durch die Messung der Eisenbahnbrücke unter Verkehrslast wird das tatsächliche Tragverhalten ermittelt und die Berechnung anhand der Messdaten kalibriert. Sofern in der Versuchslast der Sicherheitsbeiwert bereits enthalten ist, wird durch die Messung die Tragsicherheit der Eisenbahnbrücke direkt festgestellt.

Nachweis der Tragsicherheit nach Stufen

In der Richtlinie 805 werden die folgenden vier Bewertungsstufen definiert:

Stufe 1: Abschätzung der Tragsicherheit,

Stufe 2: Überschlägige Ermittlung der Tragsicherheit,

Stufe 3: Genauere Ermittlung der Tragsicherheit,

Stufe 4: Messwertgestützte Ermittlung der Tragsicherheit.

Die ersten beiden Stufen haben Bedeutung vor allem für die schnelle Einstufung bzw. Umstufung von Brücken.

Im Folgenden wird kurz auf die Stufe 3 als Regelfall der detaillierten Nachrechnung eingegangen.

Voraussetzung für die Nachrechnung ist ein wirklichkeitsnahes statisches Modell der Brücke, das ggf. in der Stufe 4 durch Messungen zu überprüfen ist, beispielsweise bezüglich der Mitwirkung der Fahrbahn an der Haupttragwirkung.

Nachweis der Tragsicherheit nach Stufen

Beispiel der Modellierung

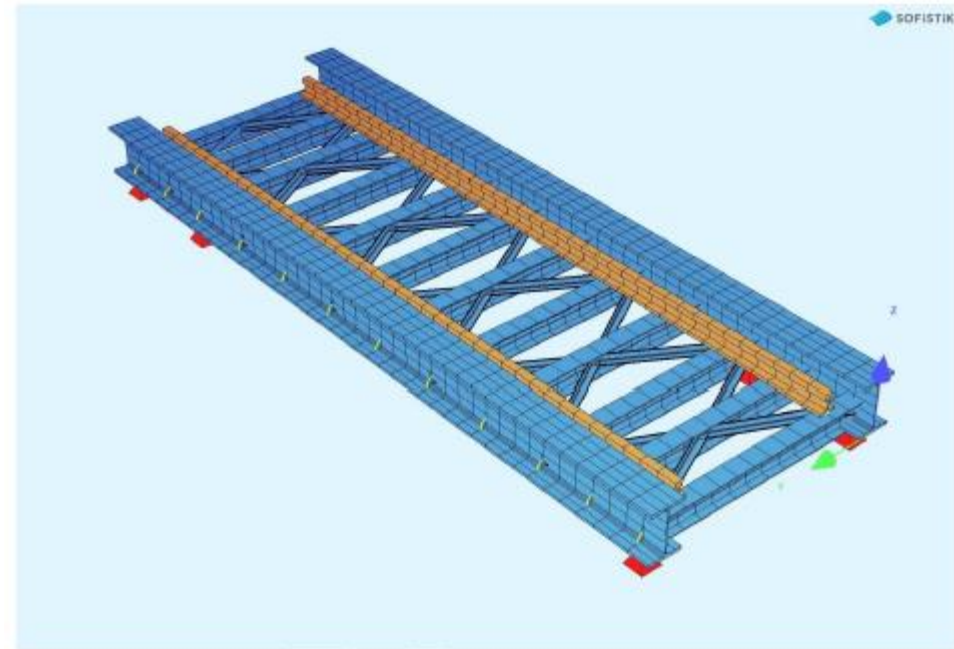
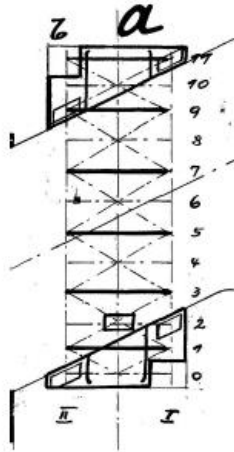
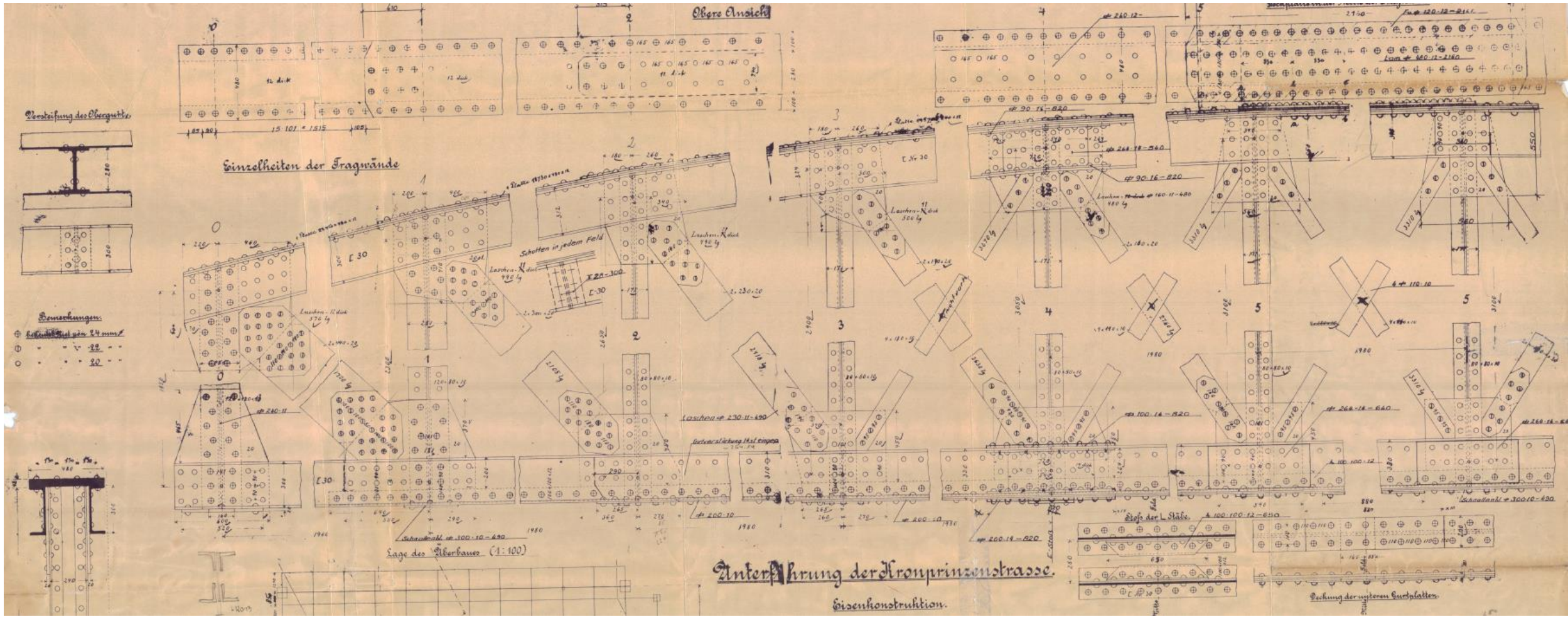


Abbildung 4: 3D-Modell

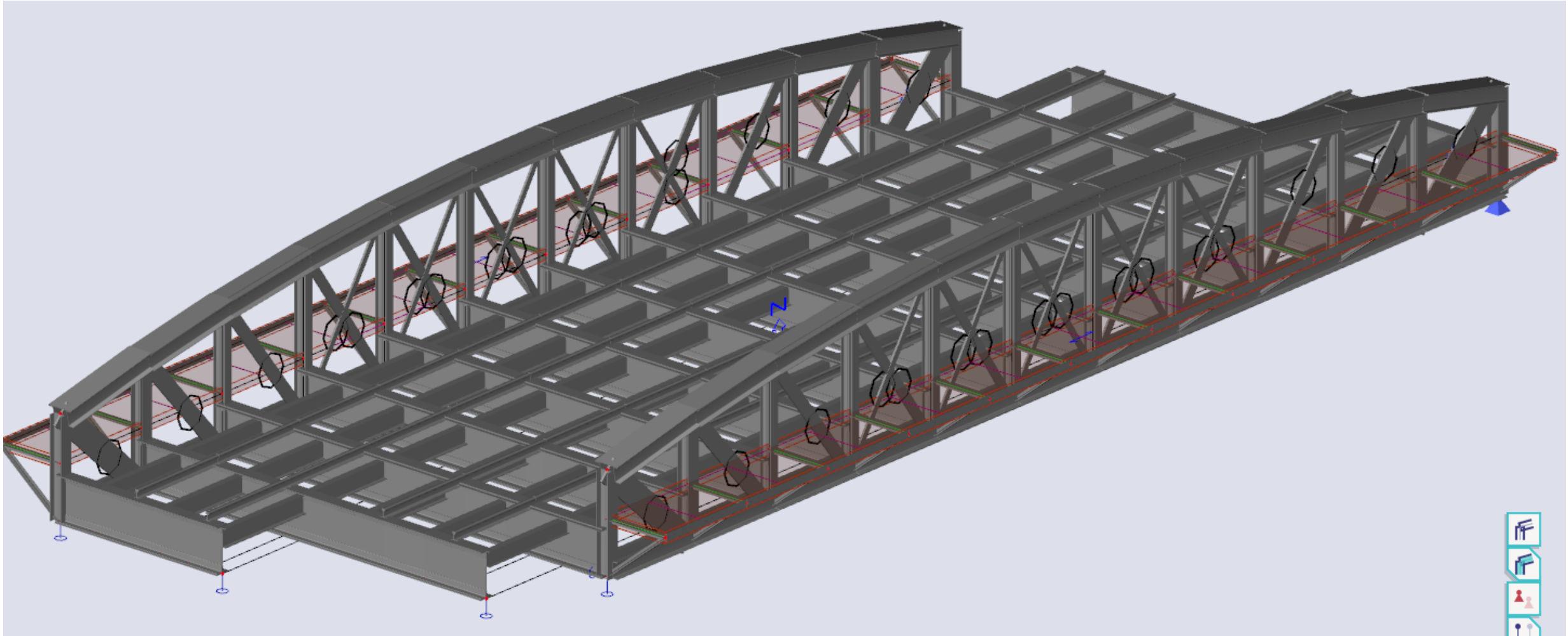
Nachweis der Tragsicherheit nach Stufen

Beispiel der Modellierung



Nachweis der Tragsicherheit nach Stufen

Beispiel der Modellierung



3. Charakteristische Werte der Werkstoffe



Charakteristische Werte der Werkstoffe

Zeile	Stahlgüte	Streckgrenze- $f_{y,k}$	Zugfestigkeit - $f_{u,k}$	E-Modul - E	Schubmodul - G
1	Flusseisen vor 1900, Schweiß Eisen	220	320	200.000	77.000
2	Flusseisen nach 1900, Flusstahl	235	335	210.000	81.000
3	Baustahl St 37 $t \leq 40$ mm	240	360	210.000	81.000
4	Baustahl St 48	312	480	210.000	81.000
5	Baustahl St 52	360	510	210.000	81.000
6	Schrauben 4.6	240	400	-	-
7	Schrauben 5.6	300	500	-	-
8	Schrauben 10.9	900	1.000	-	-
9	Niete USt 36	205	330	-	-
10	Niete RSt 44	250	440	-	-

Tabelle 1: Charakteristische Werte M_k für Walzstahl, Schrauben und Niete [N/mm^2]

Zusätzliche Angaben zu den charakteristischen Werten können **DS 804, Abschn. 12.4** und **DIN Fb-103; II-3** entnommen werden.

Zeile	Art der Beanspruchung	Werkstoff							
		GG 14 [GE14.91] [GE15.90]	GG 18 [GE18.91]	GG 22 [GE22.91]	GS52	C 35 N $t \leq 16$	C 35 N $t > 16$ $t \leq 80$	St37	St52
1	Druck	150	180	210	260	300	270	Siehe Tabelle 1	
2	Druck mit Biegung	135	165	195	260	300	270		
3	Zug mit Biegung	67,5	82,5	97,5	260	300	270		
4	Berührungsdruck (Hertz)	750	900	1050	1250	1200	1200	950	1250
5	wie Zeile 4 mit mehr als 2 Rollen	600	750	900	-	-	-	-	-

Tabelle 2: Charakteristische Werte für Lagerteile [N/mm^2]

4. Teilsicherheitsbeiwerte



Teilsicherheitsbeiwerte

Tabelle 1 Zusammenstellung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_F							
Einwirkung		Zeile	Maßgebende Kriterien	γ_{FG}	γ_{FQ}	γ_{FA}	
Ständige Einwirkung G	G₁ Eigenlasten der Bauteile	1	überschlägliche Mengenberechnung	1,20			
		2	genaue Mengenberechnung	1,15			
		3	wie 2 mit Überprüfung vor Ort	1,15			
		Beton- und Stahlbetonkonstruktion	4	überschlägliche Massenermittlung	1,30		
			5	Massenermittlung nach Plan	1,25		
			6	wie 5 mit Überprüfung vor Ort	1,20		
	G₂ Eigenlasten der Fahrbahn + Bettung	7	nach Ist-Zustand ermittelte, jedoch nicht begrenzte Füllhöhe	1,80			
		8	nach Ist-Zustand ermittelt durch Kontrolle begrenzte Füllhöhe	1,50			
		9	nach Ist-Zustand ermittelte konstruktiv begrenzte Füllhöhe	1,20*			
	Zwang	Baugrundbewegungen (vgl. Abschnitt 1.1, Abs. 3) Kriechen + Schwinden Vorspannung	10	-	1,00		
			11	-	1,00		
			12	-	1,00		
Veränderliche Einwirkungen Q	Verkehrslasten Lastbild UIC 71	13	es gelten die Lastannahmen nach DS 804 uneingeschränkt		1,30		
		14	das angesetzte Lastbild deckt die Beanspruchungen aus den möglichen Betriebslasten voll ab		1,20**		
	Veränderliche Zusatzeinwirkungen	Wind- einwirkungen	15	-		1,10	
		Wärme- einwirkungen	16	-		1,10	
		Bremsen und Anfahren	17	-		1,10	
		Sonstige ver- änderl. Lasten	18	-		1,10	
Sonderlasten		19	-			1,00	

* Dieser Wert gilt auch für die Fahrbahnen ohne Bettung in allen Bewertungsstufen
 ** Dieser Wert gilt auch für die Lastbilder SW und SSW

Tabelle 2 Zusammenstellung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_M und γ_B			
Beiwerte	Materialgüte / Zustandskategorie		Beiwerte
Teilsicherheits- beiwerte des Widerstandes γ_M^*	Schweißseisen und Flußeisen vor 1900; Gußeisen		1,20
	Flußeisen nach 1900 oder Flußstahl		1,15
	Baustahl St 37, St 48, St 52		1,10
Teilsicherheits- beiwerte die den baulichen Zustand berücksichtigen γ_B	Tragwerke u. de- ren Einzelbauteile	Zustandskategorie 1 neuwertig oder gut erhalten	1,00
		Zustandskategorie 2 + 3 erhaltungsbedürftig	$\geq 1,00$ $\leq 1,05^{**}$
		Zustandskategorie 4 Teil- oder ganz erneuerungsbedürftig	$1,0 + 0,05 \cdot t/30$ $> 1,05^{**}$
* Werden die Werkstoffprüfungen am Bauwerk durchgeführt, darf γ_M nach 805.0103, Anhang 01, ermittelt werden. Hierbei gilt $\gamma_M \geq 1,05$.			
** Werden die Spannungen mit den vorhandenen Querschnitten (Erfassung von Abrostungen) ermittelt, ist $\gamma_B = 1,0$ zu setzen.			
t ist das Alter des Tragwerkes oder die Zeit seit den letzten Erneuerungsarbeiten in Jahren.			

Teilsicherheitsbeiwerte

Es ist nach DS 805.0201 nachzuweisen, dass $S_d \leq R_d$. Die Ergebnisse des Rechenmodells werden mit folgenden Grenzspannungen verglichen und nachgewiesen:

Material: Die Festigkeit des verbauten Stahls konnte nicht definitiv geklärt werden, es wird ein St 37 angenommen. Kennwerte (nach DS 805.0103):

$$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_M = 1.15$$

$$\gamma_B = 1.05$$

$$\sigma_{Rd} = 240 / (1.15 \cdot 1.05) = 198.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Rd} = 198.8 / 1.732 = 115 \text{ N/mm}^2$$

Es wird angenommen $\sigma_{Rd} = 199 \text{ Mpa}$,
für die Berechnung des Belastbarkeitswert β_{UIC}

Bei Eisenbahnbrücken sind die Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten nach der Elastizitätstheorie zu berechnen. Es ist nachzuweisen, dass

- das System im stabilen Gleichgewicht ist
- in allen Querschnitten die berechneten Beanspruchungen höchstens den Bemessungswert $f_{y,d}$ der Streckgrenze erreichen

Der Nachweis ist mit folgenden Bedingungen zu führen:

- für die Normalspannungen
vorh. $\sigma_y \leq \sigma_{R,d} = f_{y,d} = f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B)$
- für die Schubspannungen
vorh. $\tau_y \leq \tau_{R,d} = f_{y,d} / \sqrt{3}$
- für die gleichzeitige Wirkung mehrerer Spannungen
vorh. $\sigma_{v,\gamma} \leq \sigma_{R,d}$

Die Werte γ_M und γ_B sind aus Tabelle 2, die Werte für $f_{y,k}$ aus Ril 805.0103, Abschn. 1, Tabelle 1 zu entnehmen.

5. Belastbarkeitswert β_{UIC}



Belastbarkeitswert β_{UIC}

Bestimmung der Belastbarkeitswerte β_{UIC}

Bei der Ermittlung der Beanspruchungen sind nur die Lastgruppen mit LM 71 als dominante vertikale Einwirkung zu betrachten.

Die Belastbarkeitswerte β_{UIC} sind aus denjenigen Schnittgrößen oder Spannungen zu ermitteln, für die gerade noch der Tragsicherheitsnachweis mit vorgegebenen Teilsicherheitsbeiwerten geführt werden kann.

Bestimmung der Belastbarkeitswerte β_{UIC} (allgemeiner Spannungsnachweis, Stabilitätsnachweis)

Sofern für ein vorhandenes Tragwerk noch keine β_{UIC} -Werte vorliegen, sind diese für die ungünstigst beanspruchten Bauteile zu bestimmen. Bei einer Bewertung des Tragwerkes nach Stufe 3 oder höher (vgl. 805.0101, Abschn. 2, Abs. 1) sind die β_{UIC} -Werte nach Abs. 2 zu ermitteln.

Im Rahmen einer Bewertung nach Stufe 1 dürfen bei balkenförmigen Tragwerken und Gewölben mit Hinterfüllung die β_{UIC} -Werte mit Hilfe des in Abs. 4 dieses Abschnittes angegebenen Schätzverfahrens ermittelt werden.

Bei einer Bewertung nach Stufe 2 dürfen die β_{UIC} -Werte auch mit den Schnittgrößen oder Spannungen eines vorhandenen Standsicherheitsnachweises bestimmt werden (vgl. 805.0101, Abschn. 2, Abs. 4)

Die Belastbarkeitswerte β_{UIC} sind aus denjenigen Schnittgrößen oder Spannungen zu ermitteln, für die gerade noch der tragsicherheitsnachweis mit vorgegebenen Teilsicherheitsbeiwerten geführt werden kann.

$$S_{\gamma,B} = \sum (\gamma_{Gi} \cdot S_{Gi}) + \beta_{UIC} \cdot \gamma_{UIC} \cdot \Phi \cdot S_{UIC}$$

Mit S für M, N, Q, σ , τ

Im Allgemeinen ist der β_{UIC} -Wert iterativ zu bestimmen. In Sonderfällen, in denen sich $S_{\gamma,B}$ als Grenzschnittgröße oder -spannung angeben lässt, z. B. bei Stahltragwerken, gilt:

$$\beta = \frac{R_d - \sum \gamma_{Gi} S_{Gi}}{\gamma_{UIC} \cdot \Phi \cdot S_{UIC}}$$

Hierbei bedeuten:

$$S_{R,D} = \begin{cases} W \cdot f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B) \rightarrow M \\ A \cdot f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B) \rightarrow N + Q \\ f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B) \rightarrow \sigma \\ f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B \cdot \sqrt{3}) \rightarrow \tau \end{cases}$$

Teilsicherheitsbeiwerte nach 805.0102, Tab. 1, 805.0201, Tab. 2 und 805.0202, Tab. 1.

Belastbarkeitswert β_{UIC}

Bestimmung der Belastbarkeitswerte β_{UIC}

Der Faktor nur für den Verkehr LM71 (mit α , Φ , $\gamma_{Q,sup}$) für die verschiedenen Bauteile ist:

Für HT : $\gamma_{Q,sup} \cdot \Phi \cdot \alpha = 1,30 \cdot 1,42 \cdot 1,0 = 1,846$

Für QT : $\gamma_{Q,sup} \cdot \Phi \cdot \alpha = 1,30 \cdot 1,14 \cdot 1,0 = 1,482$

Diagonalen : $\gamma_{Q,sup} \cdot \Phi \cdot \alpha = 1,30 \cdot 1,67 \cdot 1,0 = 2,171$

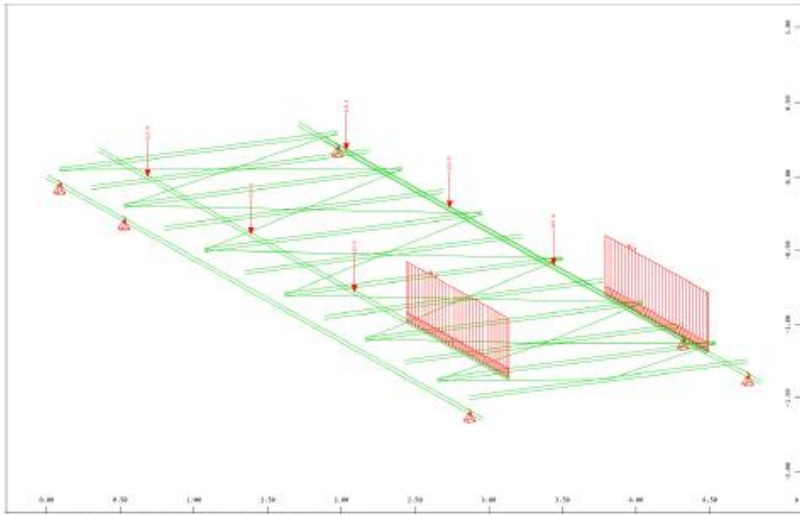
Tabelle 1: Φ -Beiwert abhängig vom Bauteil

Φ	1,42	HT
Φ	1,14	QT
Φ	1,67	Diagonalen

$$S_{Y,\beta} = \sum(\gamma_{Gi} \cdot S_{Gi}) + \beta_{UIC} \cdot \gamma_{UIC} \cdot \Phi \cdot S_{UIC} \Rightarrow \beta_{UIC} = \frac{S_{R,d} - \sum(\gamma_{Gi} \cdot S_{Gi})}{\gamma_{UIC} \cdot \Phi \cdot S_{UIC}}$$

$$\text{mit } S_{R,d} = f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B)$$

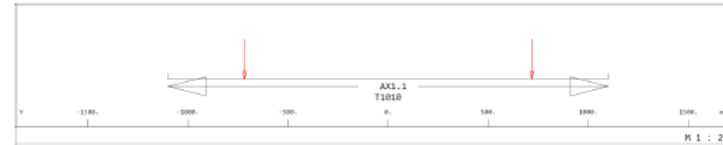
Belastbarkeitswert β_{UIC} (Beispiel)



Spurgeometrie Spur AX1
 Einzelspur dV= 99.000 dZ= 0.100
 Auswertung : Fall 1 2

Spur	LF	LN	p[kN/m2]	v[km/h]	ye[m]	PL*	UDL*	RDL*	BRK*	TRA*	FUG*	WIND
AX1.1	1010	LN 71	0.00	40.0	0.000	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

p[kN/m2]	Restflächenbelastung	v[km/h]	Geschwindigkeit des Lastenzugs
ye[m]	Exzentrizität des Lastenzugs	PL*	Faktor der Einzelasten
UDL*	Faktor der Gleichlasten	RDL*	Faktor der Restflächenbelastung
BRK*	Faktor der longitudinalen Lasten	TRA*	Faktor der Querlasten
FUG*	Faktor der Zentrifugallasten	WIND	Faktor der Windlasten



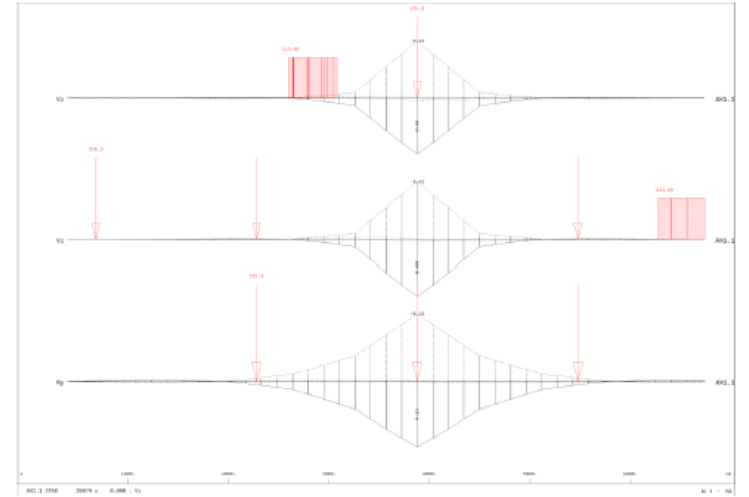
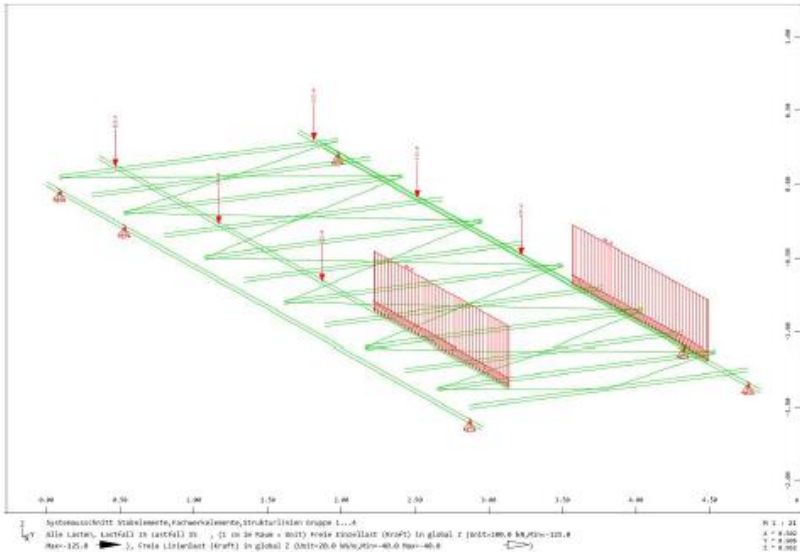
Laststellung Fall 1
 Lastfälle

Lastfälle
 Überlagerungskombinationen
 Typ Fall Fakt Fall Fakt Fall Fakt Fall Fakt Fall Fakt
 Q 1 1.00
 Auswertung : STAB 20074 x 0.000

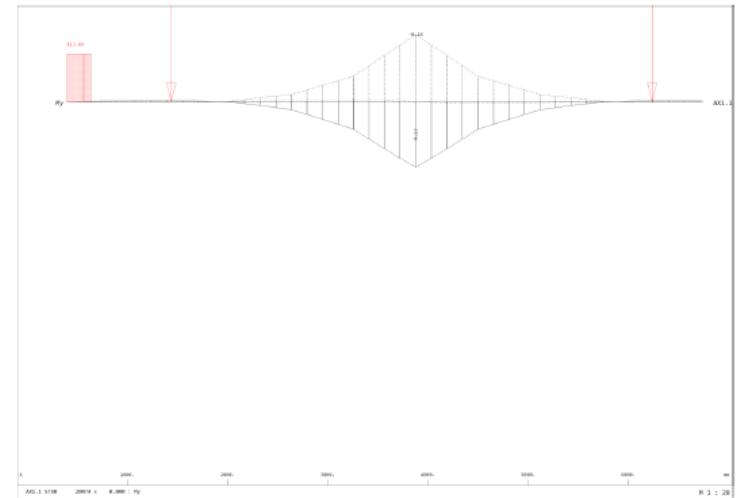
Lastfall	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	My[kNm]	Mz[kNm]
106 MAX-Vz	155.2	-0.19	153.12	-0.01	92.36	0.18
105 MIN-Vz	-10.2	-1.05	-2.13	-0.02	8.24	-0.10
110 MAX-My	149.4	-0.72	150.19	-0.04	98.41	-0.05
109 MIN-My	16.8	-1.77	-0.93	-0.01	-2.57	-0.14

Auswertung : STAB 20074 x 0.167

Lastfall	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	My[kNm]	Mz[kNm]
106 MAX-Vz	155.2	-0.19	153.12	-0.01	117.88	0.21
105 MIN-Vz	-10.2	-1.05	-2.13	-0.02	7.89	0.07
110 MAX-My	149.4	-0.72	150.19	-0.04	123.45	0.07
109 MIN-My	16.8	-1.77	-0.93	-0.01	-2.73	0.15



AX1.1 STAB 20074 x 0.000 : Vz



AX1.1 STAB 20074 x 0.000 : My

Belastbarkeitswert β_{UIC} (Beispiel)

8.1.3. Querschnittswerte

Für die Bemessung der QT werden die maßgebenden Werte aus den Ergebnissen ausgesucht.

LF 1001 Max: 3,36MPa (EG)

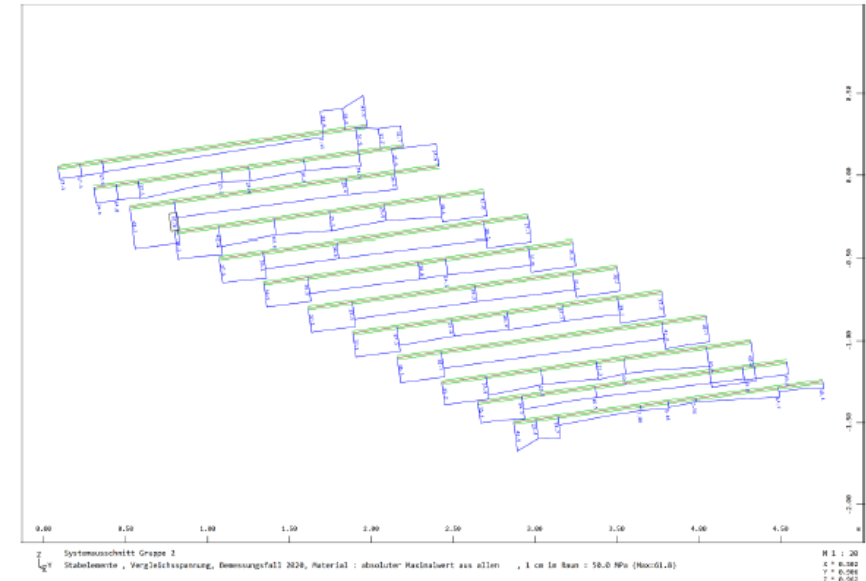
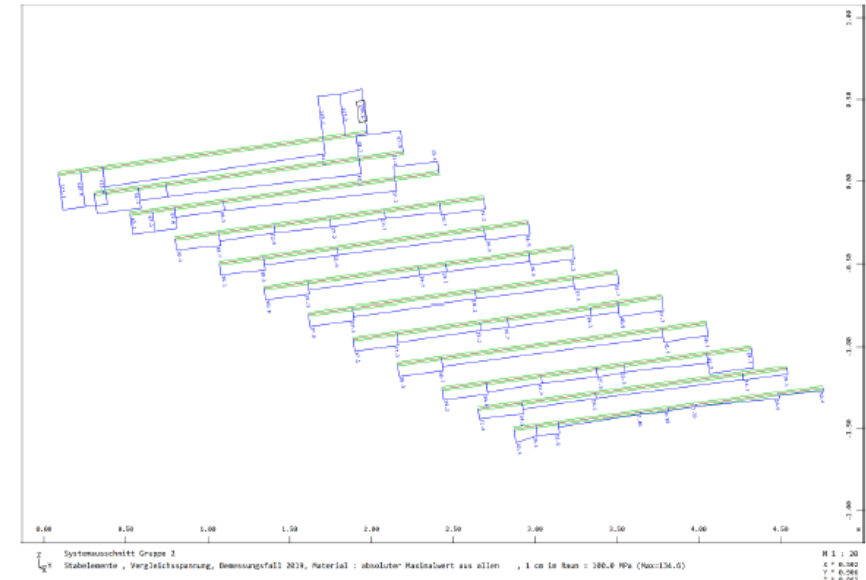
LF 2010 Max: 164,7 MPa

8.1.4. Nachweis der Tragfähigkeit und β_{UIC} – Werte für Bauteile

$$S_{Y,\beta} = \sum(\gamma_{Gi} \cdot S_{Gi}) + \beta_{UIC} \cdot \gamma_{UIC} \cdot \Phi \cdot S_{UIC} \Rightarrow \beta_{UIC} = \frac{S_{R,d} - \sum(\gamma_{Gi} \cdot S_{Gi})}{\gamma_{UIC} \cdot \Phi \cdot S_{UIC}}$$

mit $S_{R,d} = f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B)$

$$\beta_{UIC} = \frac{S_{R,d} - \sum(\gamma_{Gi} \cdot S_{Gi})}{\gamma_{UIC} \cdot \Phi \cdot S_{UIC}} = \frac{199 - 3,36}{164,7} = 1,19$$



5. Ermüdungsnachweis $\beta_{D,UIC}$



Ermüdungsnachweis $\beta_{D,UIC}$

1 Ermittlung des ermüdungsrelevanten Belastbarkeitswertes $\beta_{D,UIC}$

$$\beta_{D,UIC} = \frac{zul\Delta\sigma_{Be,\kappa}}{\Phi \cdot \max\Delta\sigma_{UIC}}$$

mit:

Φ - Schwingfaktor nach DS 804

$\max\Delta\sigma_{UIC}$ - maximale Spannungsdifferenz bei Lastbild UIC71 (ohne Verteilung der Einzellasten des Lastbildes), bei Tragwerken und Bauteilen mit mehreren Gleisen unter Beachtung der Regelungen nach DS 804, Abs. 41

$\Phi \cdot \max\Delta\sigma_{UIC} = \Phi \cdot \max\sigma_{UIC} - \Phi \cdot \min\sigma_{UIC}$

$zul\Delta\sigma_{Be,\kappa}$ - nach DS 804 bzw. Tabelle 4 oder 5 unter Berücksichtigung von

$$\kappa = \frac{\Delta\sigma_g + \Phi \cdot \min\sigma_{UIC}}{\Delta\sigma_g + \Phi \cdot \max\sigma_{UIC}}$$

In der Regel wird der Betriebsfestigkeitsnachweis mit einem konstanten Belastbarkeitswert $\beta_{D,UIC}$ für die gesamte Nutzungsdauer geführt. Zur Berücksichtigung von Verstärkungsmaßnahmen oder der zeitlichen Entwicklung von Querschnittsschwächungen (Korrosion) sind ermüdungsrelevante Belastbarkeitswerte für die entsprechenden charakteristischen Zeitperioden zu bestimmen.

Die Formel zur Berechnung von $\beta_{D,UIC}$ gilt sinngemäß auch für Schubspannungen.

Ermüdungsnachweis $\beta_{D,UIC}$

Tabelle 1 Spannungsdoppelamplituden $\Delta\sigma_c / \Delta\tau_c$ in N/mm² für Werkstoff, Lochstäbe und Nietverbindungen bei Bauteilen aus Schweißseisen oder vor 1900 eingebautem Flusseisen

Spannungsverhältnis κ	Kerbfall				Spannungsverhältnis κ	Kerbfall			
	W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$		W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$
	Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung			Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung	
- 1,0	159	89	69	92	0	133	74	58	77
- 0,9	158	88	69	91	+ 0,1	125	72	56	72
- 0,8	156	87	68	90	+ 0,2	117	69	55	68
- 0,7	154	86	67	89	+ 0,3	108	65	52	62
- 0,6	152	85	66	88	+ 0,4	97	61	50	56
- 0,5	149	83	65	86	+ 0,5	86	57	47	50
- 0,4	147	82	64	85	+ 0,6	73	51	43	42
- 0,3	144	80	63	83	+ 0,7	58	43	37	33
- 0,2	141	78	61	81	+ 0,8	41	33	29	24
- 0,1	137	76	60	79	+ 0,9	22	20	18	13
0	133	74	58	77	+ 1,0	0	0	0	0

Tabelle 2 Spannungsdoppelamplituden $\Delta\sigma_c / \Delta\tau_c$ in N/mm² für Werkstoff, Lochstäbe und Nietverbindungen bei Bauteilen aus St 48

Spannungsverhältnis κ	Kerbfall				Spannungsverhältnis κ	Kerbfall			
	W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$		W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$
	Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung			Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung	
- 1,0	218	152	140	126	0	182	127	100	105
- 0,9	216	150	140	125	+ 0,1	172	122	95	99
- 0,8	213	149	140	123	+ 0,2	162	117	90	94
- 0,7	211	147	132	122	+ 0,3	150	110	85	87
- 0,6	207	145	132	120	+ 0,4	136	103	80	79
- 0,5	204	143	125	118	+ 0,5	121	94	75	70
- 0,4	201	140	125	116	+ 0,6	104	83	60	60
- 0,3	197	138	118	114	+ 0,7	84	70	53	48
- 0,2	193	134	118	111	+ 0,8	60	53	36	35
- 0,1	188	131	112	109	+ 0,9	33	30	20	19
0	182	127	100	105	+ 1,0	0	0	0	0

Tabelle 3 Spannungsdoppelamplituden $\Delta\sigma_c / \Delta\tau_c$ in N/mm² für Werkstoff, Lochstäbe und Nietverbindungen bei Bauteilen aus St 37, Flusseisen bzw. -stahl nach 1900

Spannungsverhältnis κ	Kerbfall				Spannungsverhältnis κ	Kerbfall			
	W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$		W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$
	Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung			Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung	
- 1,0	194	145	140	112	0	163	122	100	94
- 0,9	194	145	140	112	+ 0,1	154	115	95	89
- 0,8	194	145	140	112	+ 0,2	145	109	90	84
- 0,7	183	145	132	106	+ 0,3	129	103	85	74
- 0,6	183	137	132	106	+ 0,4	122	92	80	70
- 0,5	183	137	125	106	+ 0,5	109	87	75	63
- 0,4	183	137	125	106	+ 0,6	92	73	60	53
- 0,3	173	129	118	100	+ 0,7	73	61	53	42
- 0,2	173	129	118	100	+ 0,8	55	43	36	32
- 0,1	163	129	112	94	+ 0,9	29	24	20	17
0	163	122	100	94	+ 1,0	0	0	0	0

Tabelle 4 Spannungsdoppelamplituden $\Delta\sigma_c / \Delta\tau_c$ in N/mm² für Werkstoff, Lochstäbe und Nietverbindungen bei Bauteilen aus St 52

Spannungsverhältnis κ	Kerbfall				Spannungsverhältnis κ	Kerbfall			
	W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$		W I	W II	W III	$\Delta\tau_c$
	Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung			Werkstoff Vollstab	Lochstab	Nietverbindung	
- 1,0	274	163	140	158	0	230	137	100	133
- 0,9	274	163	140	158	+ 0,1	217	129	95	125
- 0,8	274	163	140	158	+ 0,2	205	129	90	118
- 0,7	274	163	132	158	+ 0,3	194	122	85	112
- 0,6	258	154	132	149	+ 0,4	173	109	80	100
- 0,5	258	154	125	149	+ 0,5	154	103	75	89
- 0,4	258	154	125	149	+ 0,6	129	92	60	74
- 0,3	244	145	118	141	+ 0,7	109	77	53	63
- 0,2	244	145	118	141	+ 0,8	77	58	36	44
- 0,1	244	145	112	141	+ 0,9	41	33	20	24
0	230	137	100	133	+ 1,0	0	0	0	0

6. Restnutzungsdauernachweis R



Restnutzungsdauernachweis R

1 Ermittlung des ermüdungsrelevanten Belastbarkeitswertes $\beta_{D,UIC}$

$$\beta_{D,UIC} = \frac{zul\Delta\sigma_{Be,\kappa}}{\Phi \cdot \max\Delta\sigma_{UIC}}$$

mit:

Φ - Schwingfaktor nach DS 804

$\max\Delta\sigma_{UIC}$ - maximale Spannungsdifferenz bei Lastbild UIC71 (ohne Verteilung der Einzelasten des Lastbildes), bei Tragwerken und Bauteilen mit mehreren Gleisen unter Beachtung der Regelungen nach DS 804, Abs. 41

$\Phi \cdot \max\Delta\sigma_{UIC} = \Phi \cdot \max\sigma_{UIC} - \Phi \cdot \min\sigma_{UIC}$

$zul\Delta\sigma_{Be,\kappa}$ - nach DS 804 bzw. Tabelle 4 oder 5 unter Berücksichtigung von

$$\kappa = \frac{\Delta\sigma_g + \Phi \cdot \min\sigma_{UIC}}{\Delta\sigma_g + \Phi \cdot \max\sigma_{UIC}}$$

2 Ermittlung des Gesamtschadens der Vergangenheit für das Bezugsjahr 1876

$$D_{Verg,1876} = \alpha \cdot \left(\frac{1}{\beta_{D,UIC}} \right)^5$$

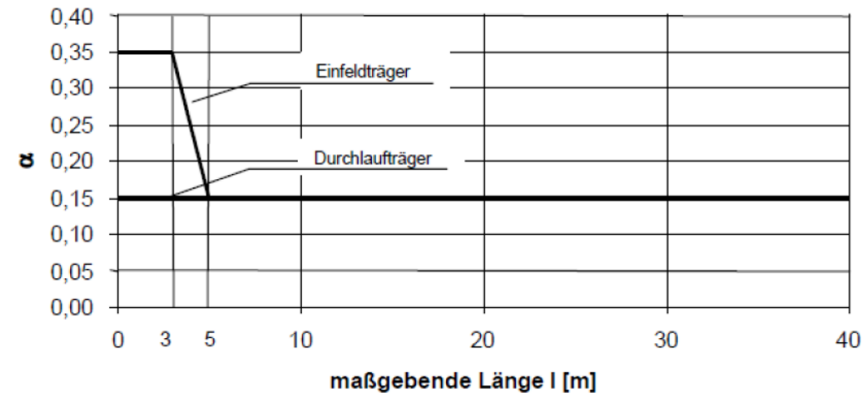


Bild 1 Abminderungsfaktor α für Einfeld- und Durchlaufträger

Restnutzungsdauernachweis R

3 Ermittlung der Schadenssumme der Vergangenheit für den Zeitabschnitt ab Inbetriebnahme der Brücke, unter Zugrundelegung der konkreten Verkehrsbedingungen

$$D_{\text{Verg}} = \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 \cdot \rho_4 \cdot D_{\text{Verg},1876}$$

mit:

D_{Verg} - akkumulierte Schadenssumme in der Vergangenheit bis zum Jahre 1996 unter Berücksichtigung des Baujahrs der Brücke, des jährlichen Verkehrsaufkommens des Streckenabschnitts, des Beanspruchungsverhältnisses bei mehrgleisigen Überbauten und der zulässigen Streckengeschwindigkeit

← Bis Jahr 1996 !



ρ_1 - Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Baujahres der Brücke, in Abhängigkeit von der maßgebenden Länge l n. Bild 2

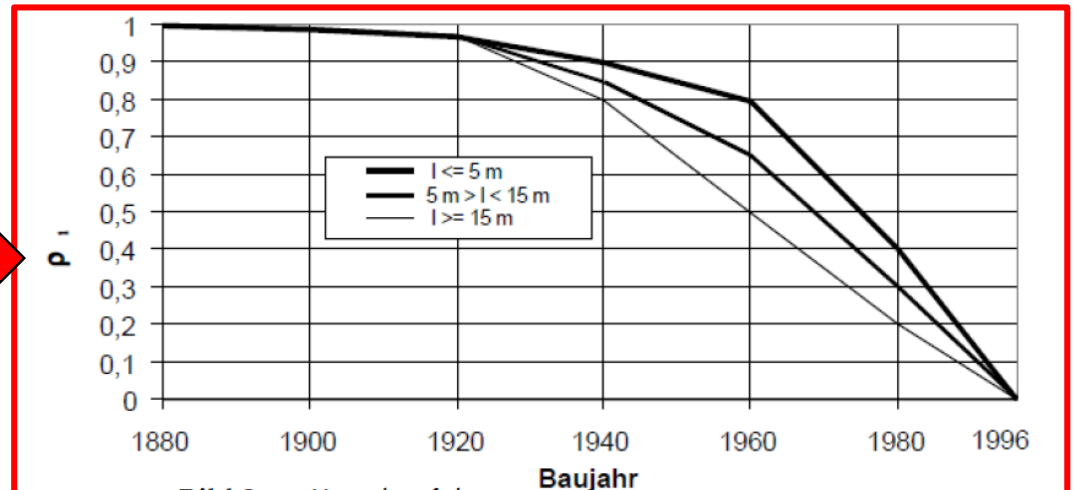


Bild 2 Korrekturfaktor ρ_1

ρ_2 - Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der jährlichen Bruttotonnage pro Gleis

$$\rho_2 = \frac{\text{maximale Bruttotonnage pro Jahr in t}}{25 \cdot 10^6}$$

Restnutzungsdauernachweis R

ρ_3 - Korrekturfaktor bei mehrgleisigen Überbauten in Abhängigkeit vom Beanspruchungsverhältnis a

$$a = \frac{\max \Delta\sigma_1}{\max \Delta\sigma_{UIC}}$$

$\max\Delta\sigma_1$ - die größten Anteile der Spannungsdoppelamplitude im untersuchten Schnitt infolge der Verkehrsbelastung mit UIC71 auf einem der vorhandenen Gleise

$\max\Delta\sigma_{UIC}$ - die größte Spannungsdoppelamplitude im untersuchten Schnitt infolge Verkehrsbelastung mit UIC71 auf nur zwei der vorhandenen Gleise

Ist die Begegnungshäufigkeit ρ_B für den untersuchten Überbau bekannt, so ermittelt sich der Korrekturfaktor ρ_3 zu:

$$\rho_3 = \rho_B + (1 - \rho_B) \cdot (a^5 + (1 - a)^5)$$

Liegen keine genaueren Werte zur Begegnungshäufigkeit ρ_B vor, ist mit den Werten nach Tabelle 1 zu rechnen, die die hohe Begegnungshäufigkeit $\rho_B = 12,5\%$ (0,125) zur Grundlage haben.

a	ρ_3
0,50	0,18
0,55	0,19
0,60	0,20
0,65	0,23
0,70	0,27
0,75	0,33
0,80	0,41
0,85	0,51
0,90	0,64
0,95	0,80
1,00	1,00

Tabelle 1 Korrekturfaktor ρ_3 bei einer Begegnungshäufigkeit $\rho_B = 12,5\%$

Für eingleisige Überbauten ist $\rho_3 = 1,00$

Restnutzungsdauernachweis R

- ρ_4 - Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der zulässigen Streckengeschwindigkeit
- für Streckenbereiche mit $v_{zul} > 70$ km/h ist
 $\rho_4 = 1,00$
 - für Streckenbereiche mit $v_{zul} \leq 70$ km/h ist in Abhängigkeit von der maßgebenden Länge l [m]
 $\rho_4 = 0,90 + 0,003 \cdot l \leq 1,00$
 - für Streckenbereiche mit $v_{zul} \leq 50$ km/h ist in Abhängigkeit von der maßgebenden Länge l [m]
 $\rho_4 = 0,70 + 0,008 \cdot l \leq 1,00$

Bei untergeordneten Strecken (Nebenstrecken), die in der Regel nur durch Regionalzüge und leichte Güterzüge befahren werden, wobei die jährliche Bruttotonnage höchstens $5 \cdot 10^6$ t betrug bzw. beträgt, darf der errechnete Wert $D_{Verg,1876}$ auf 70% abgemindert werden.

Bei detaillierter Berücksichtigung von Verstärkungsmaßnahmen oder Querschnittsschwächungen ist die akkumulierte Schadenssumme für die Vergangenheit durch Summierung der Teilschäden $D_{Verg,i}$ aus den charakteristischen Zeitabschnitten i nach folgender Formel zu bestimmen.

$$D_{Verg} = \sum_{i=1}^n (\rho_{1,i-1} - \rho_{1,i}) \cdot \rho_{2,i} \cdot \rho_3 \cdot \rho_4 \cdot D_{Verg,1876,i}$$

mit:

- $\rho_{1,i-1}$ - Wert nach Bild 2 für das Anfangsjahr des Zeitabschnittes i
- $\rho_{1,i}$ - Wert nach Bild 2 für das Endjahr des Zeitabschnittes i
- $D_{Verg,1876,i}$ - Wert für den fiktiven Schaden der Vergangenheit unter Berücksichtigung des jeweiligen $\beta_{D,UIC}$ -Wertes im Zeitabschnitt i

Ist $D_{Verg} \geq 1,0$, ist keine Restnutzungsdauer mehr nachweisbar.

Restnutzungsdauernachweis R

4 Ermittlung der Restnutzungsdauer

$$R = \frac{1 - D_{Verg}}{0,01 + D_{Zuk}} - A \leq 50 \text{ Jahre}$$

mit:

- A - Differenz aus dem konkreten Jahr der Berechnung und dem Jahr 1996
- D_{Zuk} - jährlicher akkumulierter Schaden in der Zukunft

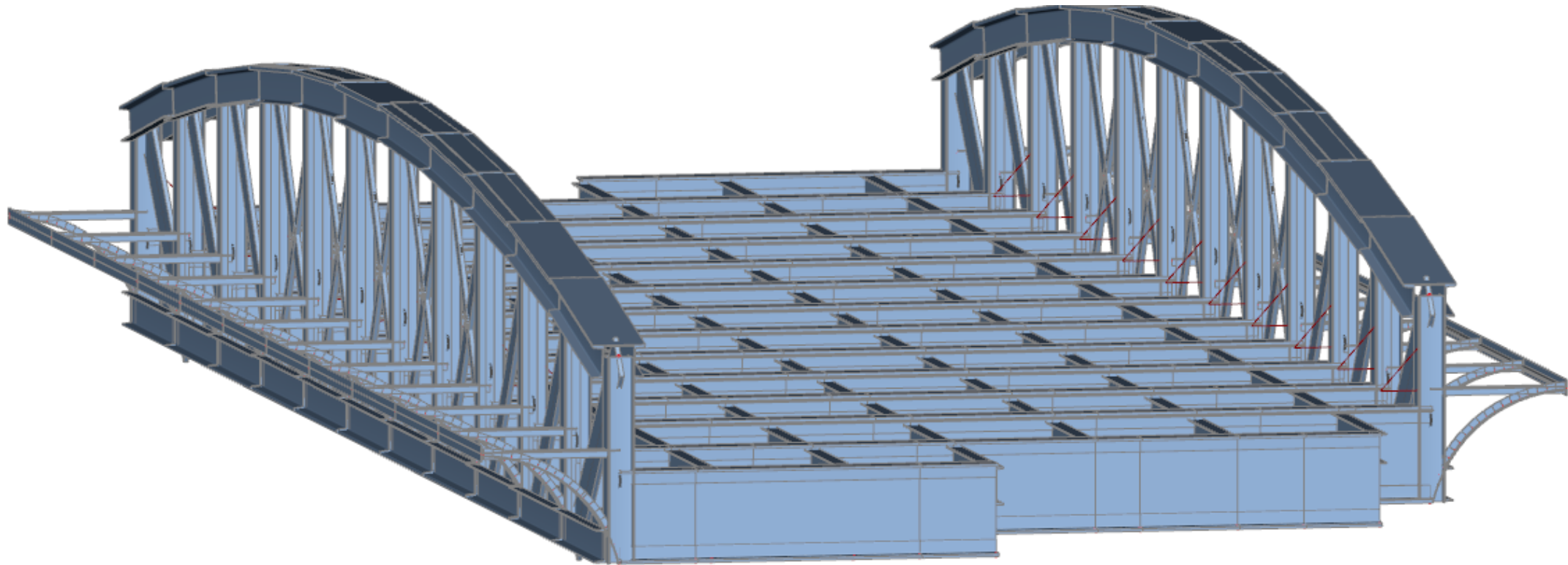
Im Regelfall (keine Verstärkungsmaßnahmen, keine Verkehrsveränderungen in der Zukunft) ermittelt sich der jährliche akkumulierte Schaden in der Zukunft zu:

$$D_{Zuk} = 0,025 \cdot D_{Verg}$$

Sind in Zukunft Maßnahmen, wie z.B. Verstärkungen an Trägern ($\beta_{D,UIC,Zuk}$) oder Veränderungen der jährlichen Bruttotonnage ($\rho_{2,Zuk}$) oder Beschränkungen zur zulässigen Streckengeschwindigkeit ($\rho_{4,Zuk}$) vorgesehen bzw. soll deren Einfluss untersucht werden, so ist nach folgender Formel zu rechnen:

$$D_{Zuk} = 0,025 \cdot \frac{\rho_{2,Zuk}}{\rho_{2,Verg}} \cdot \frac{\rho_{4,Zuk}}{\rho_{4,Verg}} \cdot \left(\frac{\beta_{D,UIC,Verg}}{\beta_{D,UIC,Zuk}} \right)^5 \cdot D_{Verg}$$

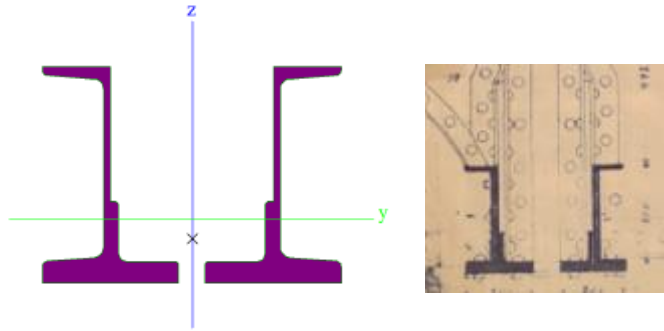
Restnutzungsdauernachweis R (Beispiel)



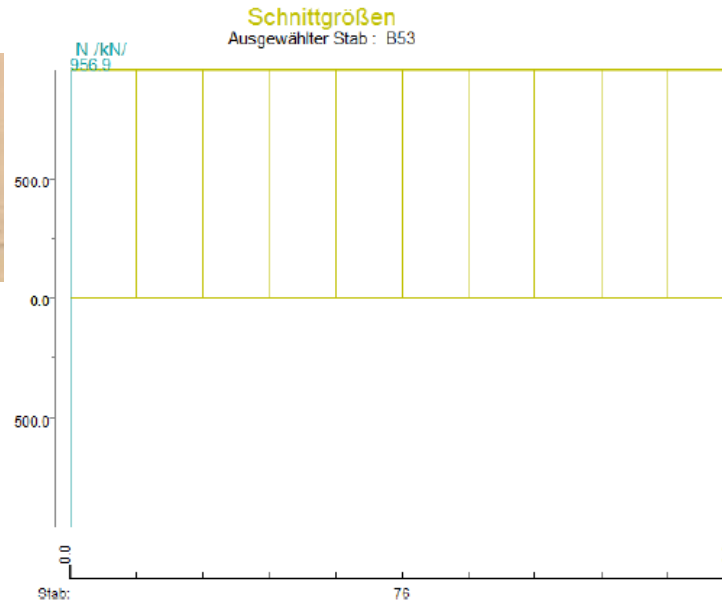
Restnutzungsdauernachweis R (Beispiel)

UG - Stab: B53 (Achse 3-5), infolge ständiger Last (charakt. Werte)

Querschnitt:



Infolge N:

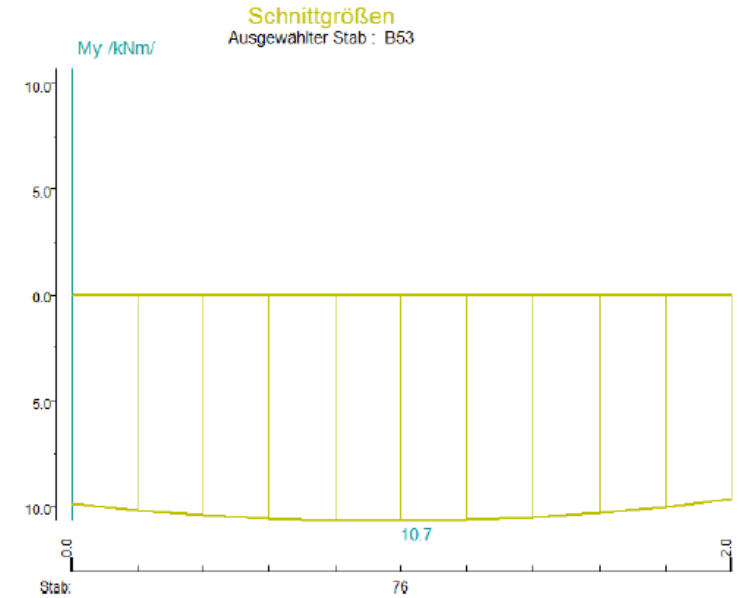


$$N_G = 957 \text{ kN}$$

$$A = 242.99 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{g,N} = 3.93 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \sigma_{g,N} = 39.3 \text{ MPa}$$

Infolge M_y :



$$M_y = 10.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$W = 1325.1 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{g,M} = 0.8074 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \sigma_{g,M} = 8.07 \text{ MPa}$$

Querschnittswerte:

A [cm ²]	2.4299e+02	
A _{y, z} [cm ²]	8.4338e+01	1.9148e+02
I _{y, z} [cm ⁴]	2.9853e+04	4.4748e+04
I _w [cm ⁶], t [cm ⁴]	3.3644e+06	6.3360e+02
W _{el y, z} [cm ³]	1.3251e+03	2.0340e+03
W _{pl y, z} [cm ³]	1.9322e+03	3.1014e+03
d _{y, z} [mm]	0	-29
c _{YUCS, ZUCS} [mm]	0	-65
A [deg]	0.00	
A _{L, D} [m ² /m]	2.3573e+00	2.3573e+00
M _{ply +, -} [kNcm]	4.54e+04	4.54e+04
M _{plz +, -} [kNcm]	7.29e+04	7.29e+04

Restnutzungsdauernachweis R (Beispiel)

1.1.4. Ermittlung des ermüdungsrelevanten Belastbarkeitswertes $\beta_{D,UIC}$
- Stab B53 (Achse 0-2)

$$\beta_{D,UIC} = \frac{zul \Delta \sigma_{Be,k}}{\Phi \cdot \max \Delta \sigma_{UIC}}$$

Infolge LM71:

$$\begin{aligned} \sigma_{UIC,N,min} &= 0.00 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 0.00 \text{ MPa} \\ \sigma_{UIC,N,max} &= 6.50 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 65.00 \text{ MPa} \\ \Rightarrow \Delta \sigma_{UIC,N} &= 6.50 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 65.00 \text{ MPa} \\ \sigma_{UIC,M,min} &= 0.00 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 0.00 \text{ MPa} \\ \sigma_{UIC,M,max} &= 1.60 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 16.00 \text{ MPa} \\ \Rightarrow \Delta \sigma_{UIC,M} &= 1.60 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 16.00 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Infolge EG:

$$\begin{aligned} \sigma_{g,N} &= 3.93 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 39.30 \text{ MPa} \\ \sigma_{g,M} &= 0.807 \text{ kN/cm}^2 \hat{=} 8.07 \text{ MPa} \\ \sigma_g &= \sigma_{g,N} + \sigma_{g,M} = 39.30 \text{ MPa} + 8.07 \text{ MPa} = 47.37 \text{ MPa} \\ \sigma_{UIC,min} &= \sigma_{UIC,M,min} + \sigma_{UIC,N,min} = 0 \text{ MPa} + 0 \text{ MPa} = 0.00 \text{ MPa} \\ \sigma_{UIC,max} &= \sigma_{UIC,M,max} + \sigma_{UIC,N,max} = 16.00 \text{ MPa} + 65.00 \text{ MPa} = 81.00 \text{ MPa} \\ \sigma_{min} &= \sigma_g + \Phi \cdot (\sigma_{UIC,min}) = 47.37 \text{ MPa} + 1.14 \cdot (0.00 \text{ MPa}) = 47.37 \text{ MPa} \\ \sigma_{max} &= \sigma_g + \Phi \cdot (\sigma_{UIC,max}) = 47.37 \text{ MPa} + 1.14 \cdot 81.00 \text{ MPa} = 139.94 \text{ MPa} \\ \Delta \sigma_{UIC} &= \Delta \sigma_{UIC,N} + \Delta \sigma_{UIC,M} = 65.00 \text{ MPa} + 16.00 \text{ MPa} = 81.00 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kerbgruppe VIII (Nietverbindung) zu folgendem Wert zusammen:

$$\kappa = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{47.37 \text{ MPa}}{139.94 \text{ MPa}} = 0.34$$

→ $zul \Delta \sigma_{Be,k} = 83 \text{ MPa}$ (interpoliert)

Daraus folgt der ermüdungsrelevanter Belastbarkeitswert $\beta_{D,UIC}$:

$$\rightarrow \beta_{D,UIC} = \frac{zul \Delta \sigma_{Be,k}}{\Phi \cdot \max \Delta \sigma_{UIC}} = \frac{83 \text{ MPa}}{1.14 \cdot 81.00} = 0.89$$

$$D_{Verg,1876} = 0.15 \cdot \left(\frac{1}{0.89} \right)^5 = 0.27$$

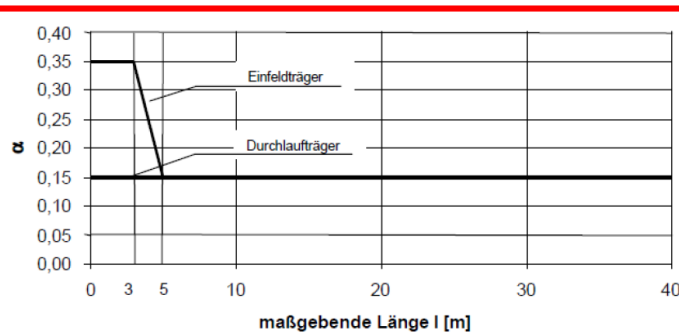


Bild 1 Abminderungsfaktor α für Einfeld- und Durchlaufträger

1 Ermittlung des ermüdungsrelevanten Belastbarkeitswertes $\beta_{D,UIC}$

$$\beta_{D,UIC} = \frac{zul \Delta \sigma_{Be,k}}{\Phi \cdot \max \Delta \sigma_{UIC}}$$

mit:

Φ - Schwingfaktor nach DS 804

$\max \Delta \sigma_{UIC}$ - maximale Spannungsdifferenz bei Lastbild UIC71 (ohne Verteilung der Einzelasten des Lastbildes), bei Tragwerken und Bauteilen mit mehreren Gleisen unter Beachtung der Regelungen nach DS 804, Abs. 41

$$\Phi \cdot \max \Delta \sigma_{UIC} = \Phi \cdot \max \sigma_{UIC} - \Phi \cdot \min \sigma_{UIC}$$

$zul \Delta \sigma_{Be,k}$ - nach DS 804 bzw. Tabelle 4 oder 5 unter Berücksichtigung von

$$\kappa = \frac{\Delta \sigma_g + \Phi \cdot \min \sigma_{UIC}}{\Delta \sigma_g + \Phi \cdot \max \sigma_{UIC}}$$

2 Ermittlung des Gesamtschadens der Vergangenheit für das Bezugsjahr 1876

$$D_{Verg,1876} = \alpha \cdot \left(\frac{1}{\beta_{D,UIC}} \right)^5$$

mit:

$D_{Verg,1876}$ - akkumulierte Schadenssumme durch den Verkehr der Vergangenheit bis zum Jahre 1996 für eine ungeschweißte Konstruktion des fiktiven Baujahrs 1876 bei einer aktuellen jährlichen Bruttotonnage von $25 \cdot 10^6 \text{ t}$

Die zulässige Spannungsamplitude $\Delta \sigma_{Be}$ setzt sich mit Hilfe des Beiwertes κ und der

Restnutzungsdauernachweis R (Beispiel)

3 Ermittlung der Schadenssumme der Vergangenheit für den Zeitabschnitt ab Inbetriebnahme der Brücke, unter Zugrundelegung der konkreten Verkehrsbedingungen

$$D_{Verg} = \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 \cdot \rho_4 \cdot D_{Verg,1876}$$

mit:

D_{Verg} - akkumulierte Schadenssumme in der Vergangenheit bis zum Jahre 1996 unter Berücksichtigung des Baujahres der Brücke, des jährlichen Verkehrsaufkommens des Streckenabschnitts, des Beanspruchungsverhältnisses bei mehrgleisigen Überbauten und der zulässigen Streckengeschwindigkeit

ρ_1 - Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Baujahres der Brücke, in Abhängigkeit von der maßgebenden Länge l n. Bild 2

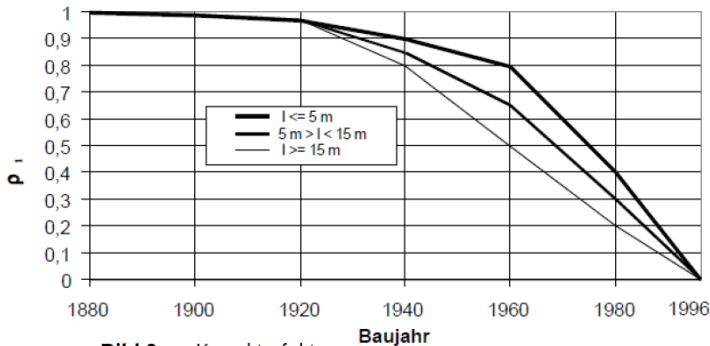


Bild 2 Korrekturfaktor ρ_1

ρ_2 - Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der jährlichen Bruttotonnage pro Gleis

$$\rho_2 = \frac{\text{maximale Bruttotonnage pro Jahr in t}}{25 \cdot 10^6}$$

Wird bei den Berechnungen keine Unterscheidung nach charakteristischen Zeitabschnitten vorgenommen, ist der Größtwert der jährlichen Bruttotonnage in der Vergangenheit anzusetzen, der mindestens über eine Dauer von 10 Jahren auftrat.

4 Ermittlung der Restnutzungsdauer

$$R = \frac{1 - D_{Verg}}{0,01 + D_{Zuk}} - A \leq 50 \text{ Jahre}$$

mit:

A - Differenz aus dem konkreten Jahr der Berechnung und dem Jahr 1996

D_{Zuk} - jährlicher akkumulierter Schaden in der Zukunft

Im Regelfall (keine Verstärkungsmaßnahmen, keine Verkehrsveränderungen in der Zukunft) ermittelt sich der jährliche akkumulierte Schaden in der Zukunft zu:

$$D_{Zuk} = 0,025 \cdot D_{Verg}$$

Sind in Zukunft Maßnahmen, wie z.B. Verstärkungen an Trägern ($\beta_{D,UIC,Zuk}$) oder Veränderungen der jährlichen Bruttotonnage ($\rho_{2,Zuk}$) oder Beschränkungen zur zulässigen Streckengeschwindigkeit ($\rho_{4,Zuk}$) vorgesehen bzw. soll deren Einfluss untersucht werden, so ist nach folgender Formel zu rechnen:

$$D_{Zuk} = 0,025 \cdot \frac{\rho_{2,Zuk}}{\rho_{2,Verg}} \cdot \frac{\rho_{4,Zuk}}{\rho_{4,Verg}} \cdot \left(\frac{\beta_{D,UIC,Verg}}{\beta_{D,UIC,Zuk}} \right)^5 \cdot D_{Verg}$$

Mit dem Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der jährlichen Bruttotonnage pro Gleis:

$$\rho_2 = \frac{\text{maximale Bruttotonnage pro Jahr in t}}{25 \cdot 10^6} = \frac{25 \cdot 10^6}{25 \cdot 10^6} = 1,00$$

Mit dem Korrekturfaktor bei mehrgleisigen Überbauten in Abhängigkeit vom Beanspruchungsverhältnisse:

$$\rho_3 = 1,00 \text{ (da Betrachtung eines Gleises)}$$

Mit dem Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der zulässigen Streckengeschwindigkeit:

$$\rho_4 = 1,00 \text{ (da zul } v > 70 \text{ km/h)}$$

$$\rightarrow D_{Verg} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0,27 = 0,27$$

$$R = \frac{1 - D_{Verg}}{0,01 + D_{Zuk}} - A = \frac{1 - 0,27}{0,01 + 0,00675} - 23 = 20,60 \leq 50 \text{ Jahre}$$

wobei der zukünftige Schaden wie folgt angenommen wird (keine Verstärkungsmaßnahmen):

$$D_{Zuk} = 0,025 \cdot D_{Verg} = 0,025 \cdot 0,27 = 0,00675$$

$$D_{Verg} = 0,27$$

$$A = 2019 - 1996 = 23$$



Vielen Dank