

---

Institut für Stahlbau  
Lessingstraße 25  
A-8010 Graz  
Vorstand: Univ.-Prof. DI Dr. techn. Harald Unterweger



**Strecke Wels – Passau**  
**Untersuchungen der Restlebensdauer genieteteter Tragwerke**  
**(P-CON Nr. 830052012140)**  
**Abschlussbericht**

**Auftraggeber:**

Abteilung Region Nord/ATR – DI. Brunner

**Bearbeiter:**

Univ.Prof. DI Dr.techn. Harald Unterweger, DI Dr.techn. Andreas Taras, DI Friedrich Novak

**Juli 2013**



---

# INHALTSVERZEICHNIS

1.	Auftragsumfang und Projektüberblick .....	2
2.	Inhalte dieses Endberichtes .....	3
3.	Elementare Zusammenhänge und Beispiele zur Ermüdungstragfähigkeit bzw. Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken .....	4
4.	Einfaches Anwendungsbeispiel: Schadensberechnung und Restlebensdauer	12
4.1	Anlageverhältnisse und Nachweisquerschnitt .....	12
4.2	Vereinfachte Annahmen.....	12
4.3	Maßgebende Ermüdungsfestigkeit (Kerbfall).....	13
4.4	Idealisierter Zugverkehr .....	14
4.5	Ermüdungsbeanspruchungen für L=2,0 [m] .....	15
4.6	Ermüdungsnachweise bzw. Lebensdauer für L=2,0 [m].....	17
4.7	Ermüdungsbeanspruchung für L=8,0 [m] .....	19
4.8	Ermüdungsnachweise bzw. Lebensdauer für L=8,0 [m].....	23
5.	Ergänzung zur Restlebensdauerberechnung von Eisenbahnbrücken nach ONR 24008 – Erfassung reduzierter Streckenbelastung und Achslast.....	26
5.1	Allgemein .....	26
5.2	Ziel der Untersuchungen .....	27
5.3	Geringere Streckenbelastung im Grenzfall sehr kurzer Stützweite (L = 2,0 m).....	27
5.4	Geringere Streckenbelastung bei Stützweite L = 4,0 m.....	36
5.5	Zusammenfassende Beurteilung .....	37
6.	Literatur .....	38

## Anhang

Vorschlag zur Neufassung der ONR 24008 - Nachweis zur Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken (inkl. Korrekturen und Ergänzung zu bestehender Fassung der ONR 24008)

# 1. Auftragsumfang und Projektüberblick

Dieses Projekt stellt eine Weiterführung bzw. Ergänzung des seitens des Institut für Stahlbau, TU Graz für die ÖBB durchgeführten Projektes mit dem Titel „Praxisnahe Berechnungsmethode für den Nachweis der Restlebensdauer stählerner Eisenbahnbrücken“ [1] dar. Dieses Projekt, das bereits 2011 beauftragt wurde, beinhaltet folgende wesentliche Arbeitspakete (AP).

- **AP 1: Vorschlag zur Neufassung der ONR 24008 – Neuaufnahme des Nachweises zur Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken**

- Dieses Arbeitspaket wurde im September 2011 abgeschlossen und die Textfassung an den Auftraggeber übermittelt (s. Anhang)
- Auf Basis der Korrektur - und Änderungswünsche in der Arbeitsgruppe "Stahlbau" zur ONR 24008 wurde das überarbeitete Dokument zur Druckfassung dieser Richtlinie im August 2012 an den Auftraggeber übermittelt (s. Anhang)

- **AP 2: Anwendung der Restlebensdauerberechnung für einzelne Projekte**

Auf Wunsch des Auftraggebers und in Abstimmung mit dem Auftragnehmer wurde vereinbart, dieses Arbeitspaket abzuändern. Da in [1] bereits ein ausführliches Anwendungsbeispiel zu einer Restlebensdauerberechnung einer Eisenbahnbrücke vorliegt, wurden anstatt dessen folgende Leistungen vereinbart:

- Erarbeitung der wesentlichen Grundlagen zur Restlebensdauerberechnung (Ermüdungsschädigung, Schädigungsberechnung), auch auf Basis von einzelnen bereitgestellten Unterlagen des Auftraggebers
- Einfaches Anwendungsbeispiel zur Schadensberechnung und Restlebensdauer
- Untersuchung ob die Auswirkungen einer geringeren Streckenbelastung in der Vergangenheit im österreichischen Streckennetz in das Konzept der Restlebensdauerberechnung integrierbar sind. Die erforderlichen diesbezüglichen Daten werden vom AG beigestellt. Im Falle günstigerer Ergebnisse sollten diese zu einer kompakten Ergänzung zur Berechnung der Restlebensdauer nach ONR 24008 zusammengefasst werden.

- **AP 3: Schulungskurs für die Mitarbeiter der ÖBB hinsichtlich der Ermittlung der Restlebensdauer bestehender Eisenbahnbrücken sowie der Ergebnisse aus AP 2**

Da die Unterlagen zu AP 2 seitens des Auftraggebers erst im April 2013 bereitgestellt werden konnten, verzögerte sich die Projektdurchführung und der Projektabschluss (AP 3) bis Ende 2013.

## **2. Inhalte dieses Endberichtes**

Dieser Endbericht enthält die schriftlichen Gesamtergebnisse zu den Arbeitspaketen AP 1 und AP 2.

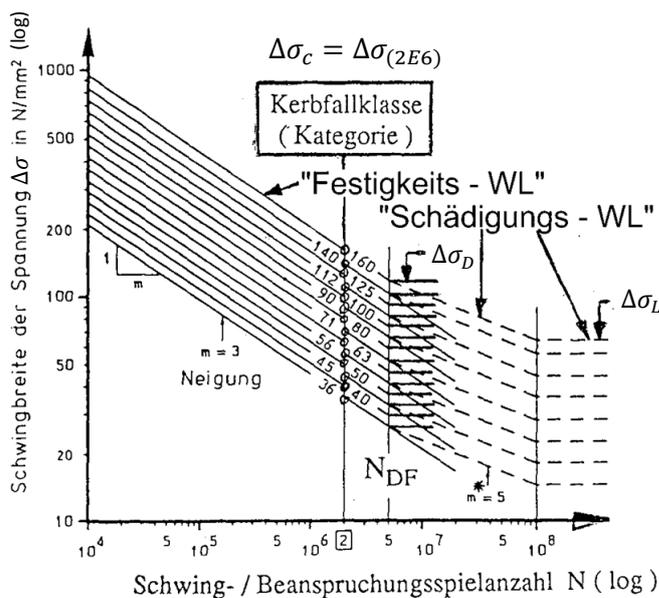
- Im Anhang finden sich die Ergebnisse aus AP 1 (Verankerung der Restlebensdauerberechnung von Eisenbahnbrücken in der Neufassung der ONR 24008).
- Hinsichtlich des Arbeitspaketes AP 2 finden sich die zusammenfassenden Ergebnisse in:
  - Kapitel 3: Elementare Zusammenhänge und Beispiele zur Ermüdungstragfähigkeit bzw. Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken
  - Kapitel 4: Einfaches Anwendungsbeispiel zur Schadensberechnung und Restlebensdauer
  - Kapitel 5: Ergänzung zur Restlebensdauerberechnung von Eisenbahnbrücken nach ONR 24008 – Erfassung reduzierter Streckenbelastung und Achslast

### 3. Elementare Zusammenhänge und Beispiele zur Ermüdungstragfähigkeit bzw. Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken

- **Zusammenstellung der wesentlichen Grundlagen**

a) Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_R$

- festgelegt in EN 1993-1-9
- gültig für "Einstufenbelastung" bzw. Einstufenkollektiv  $\Delta\sigma_e$
- "Festigkeits – Wöhlerlinie" ("Festigkeits-WL") durch Dauerfestigkeit  $\Delta\sigma_D$  begrenzt
- "Schädigungs - WL" nur für Schädigungsberechnung von Kollektiven relevant (Ermittlung  $\Delta\sigma_e$ )



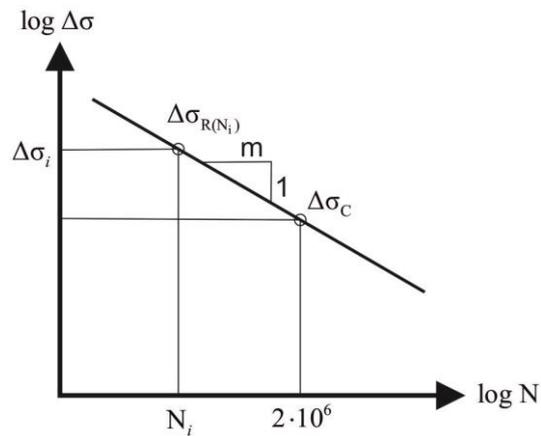
Kategorie	Schweißnaht-Detail (Auswahl)
125	
112	
100	
80	
71	

- **Wesentliche Zusammenhänge:**

$$\Delta\sigma_D = \left(\frac{2}{5}\right)^{1/3} \cdot \Delta\sigma_C = 0,737 \cdot \Delta\sigma_C \quad \dots\text{Dauerfestigkeit } (N = 5 \cdot 10^6)$$

$$\Delta\sigma_L = \left(\frac{5}{100}\right)^{1/5} \cdot \Delta\sigma_D = 0,549 \cdot \Delta\sigma_D = 0,405 \cdot \Delta\sigma_C \quad \dots\text{Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit (für } N = 1 \cdot 10^8)$$

- Umrechnung von Ermüdungsfestigkeiten  $\Delta\sigma_{R(N_i)}$  bzw. Ermittlung von  $N_{(\Delta\sigma_i)}$



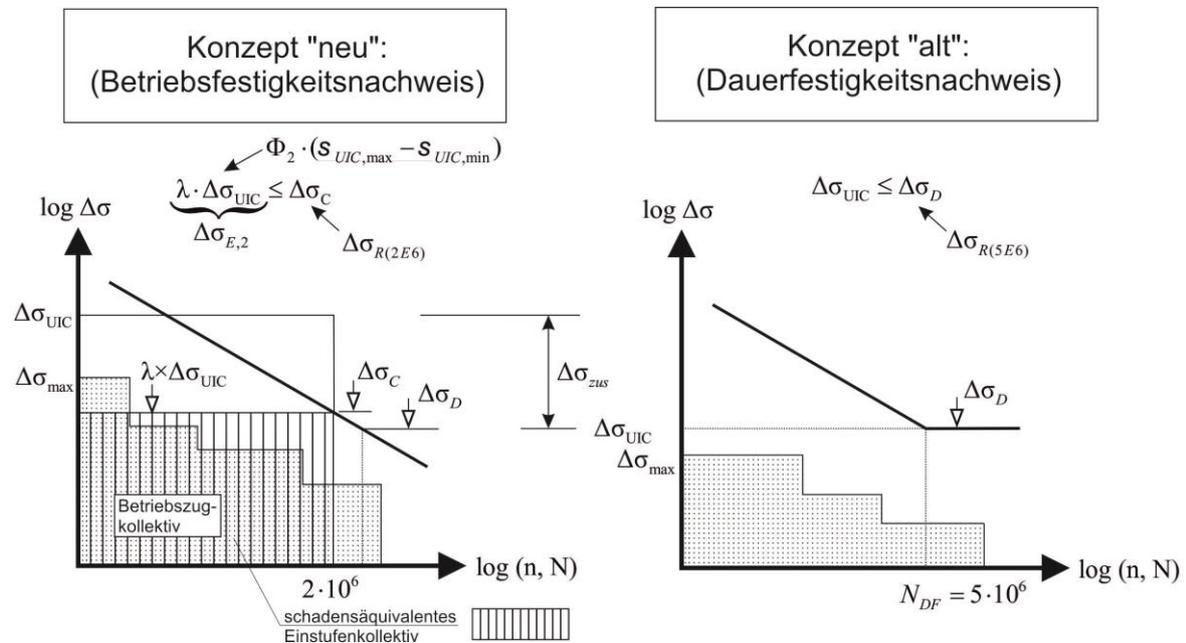
$$\Delta\sigma_i^m \cdot N_i = \Delta\sigma_c^m \cdot 2 \cdot 10^6 \quad \text{Gl. (1)}$$

$$\rightarrow \Delta\sigma_{R(N_i)} = \Delta\sigma_c \cdot \sqrt[m]{\frac{2 \cdot 10^6}{N_i}} \quad \text{Gl. (2)}$$

$$\rightarrow N_i = N_{\Delta\sigma_i} = \frac{(\Delta\sigma_c^m \cdot 2 \cdot 10^6)}{\Delta\sigma_i^m} \quad \text{Gl. (3)}$$

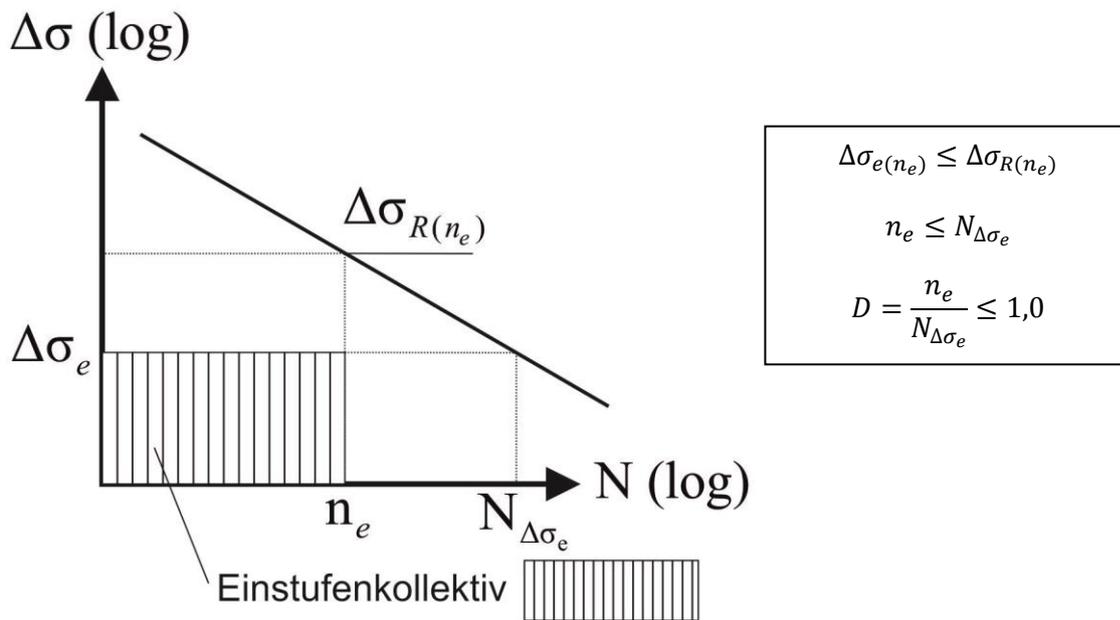
### b) Grundkonzept des Ermüdungsnachweises bei Eisenbahnbrücken nach EN-1993-2

- ohne Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_i$

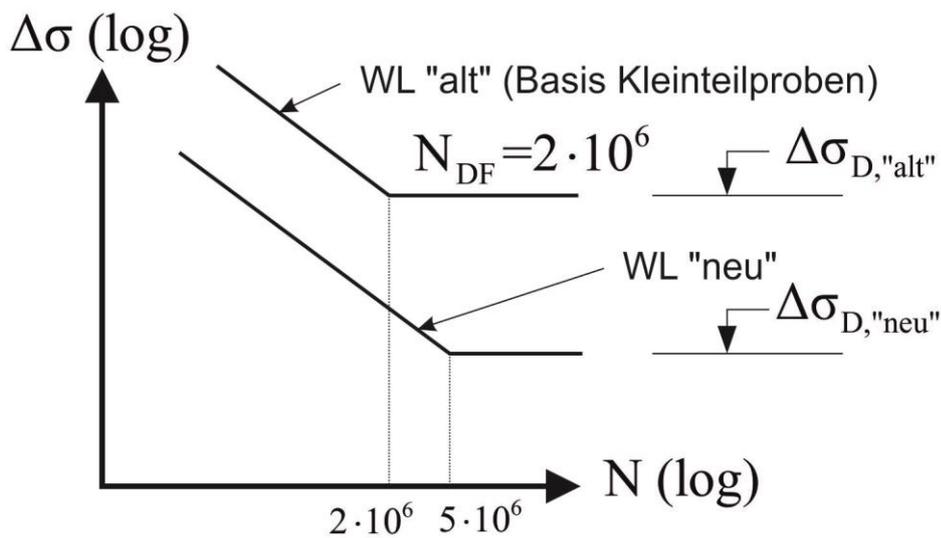


Anm.: Konzept „alt“ bezieht sich auf alte nationale Normen vor dem Eurocode

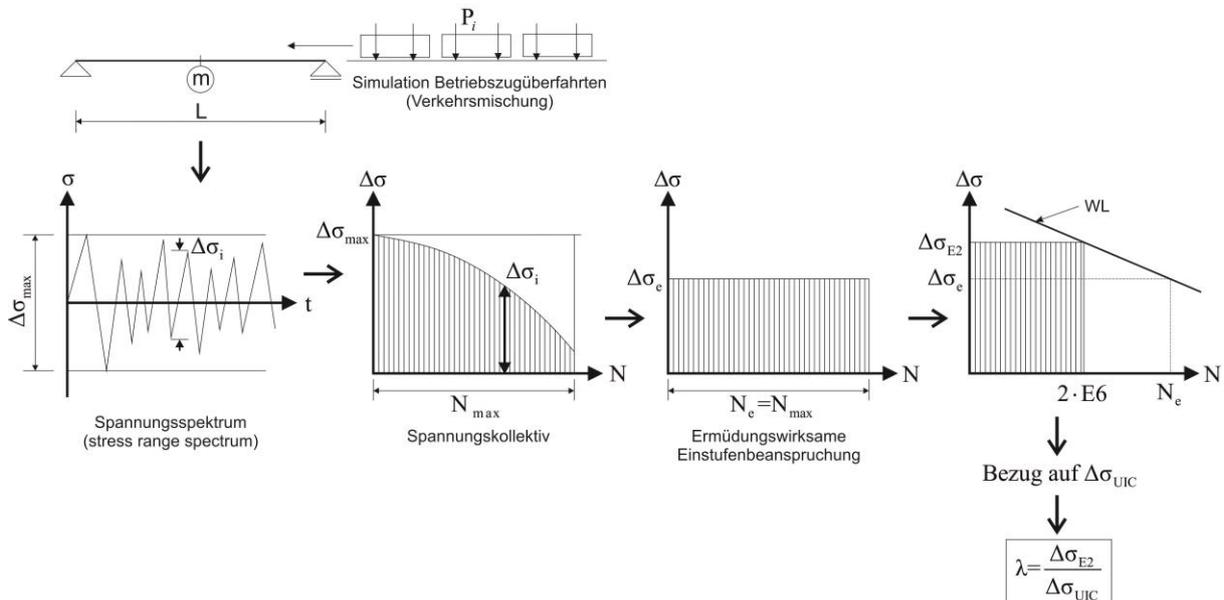
- gleichwertige Nachweise



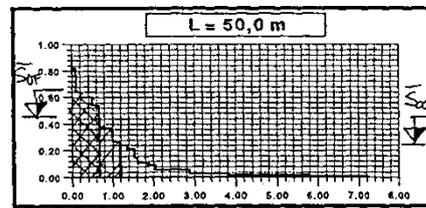
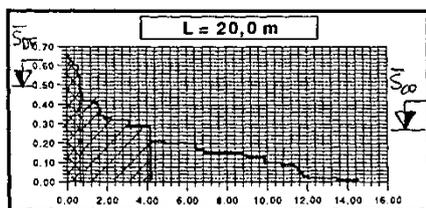
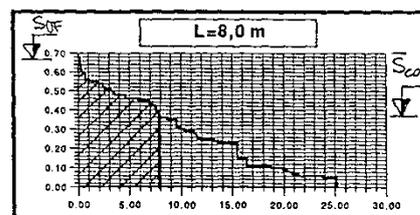
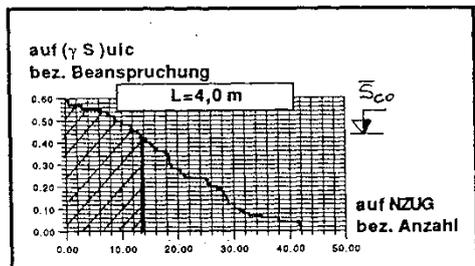
- Gründe für begrenzte Restlebensdauer von Bestandsbrücken (trotz "dauerhafter" Auslegung)



c) Hintergrund zur Ermittlung von  $\Delta\sigma_{E2}$



- Einfluss der Stützweite L auf  $\lambda$  (Abnahme von  $\lambda$  bei Zunahme von L)
  - Hintergrund: Anzahl der Spannungsspiele aus der Zugüberfahrt ist deutlich von der Stützweite abhängig (Abnahme der Anzahl von Spannungsspielen bei Zunahme von L)
  - Beispiel: Spannungskollektive für UIC - Verkehrsmischung (EC-mix); aus [2]

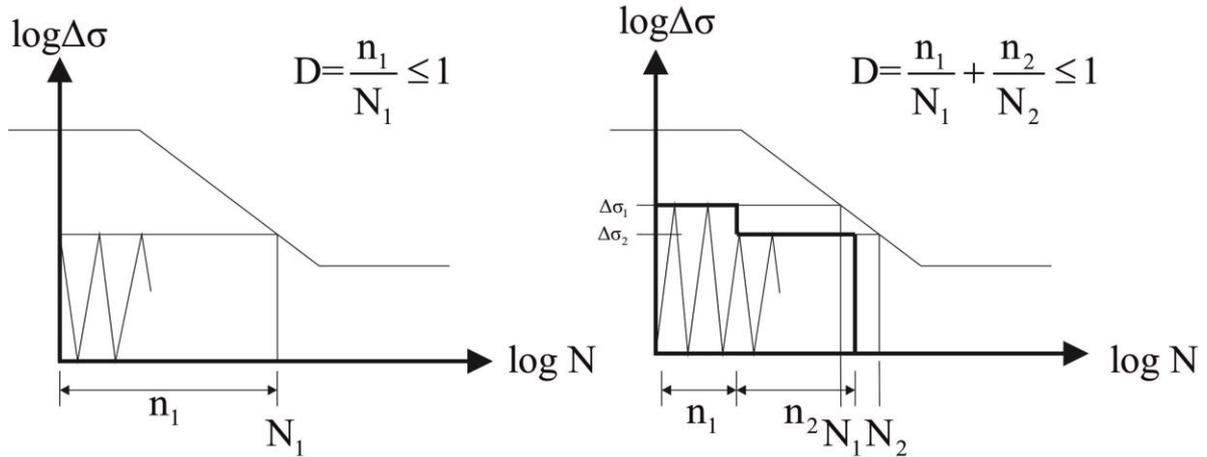


-  voll schadenswirksam
-  teilweise schadenswirksam
-  nicht schadenswirksam

**d) Ermittlung von Einstufenkollektiven**

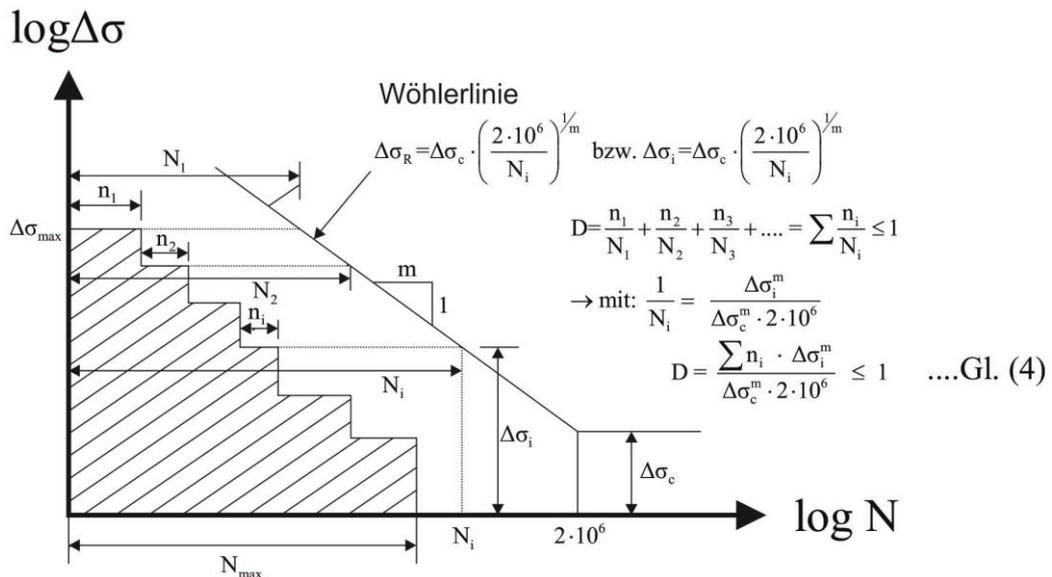
- Basis: Schädigungshypothese nach Palmgreen/Miner (lineare Hypothese - unabhängig vorgeschlagen 1924 bzw. 1945)
- Formulierung der Schädigung  $D \leq 1,0$

- Grundkonzept:

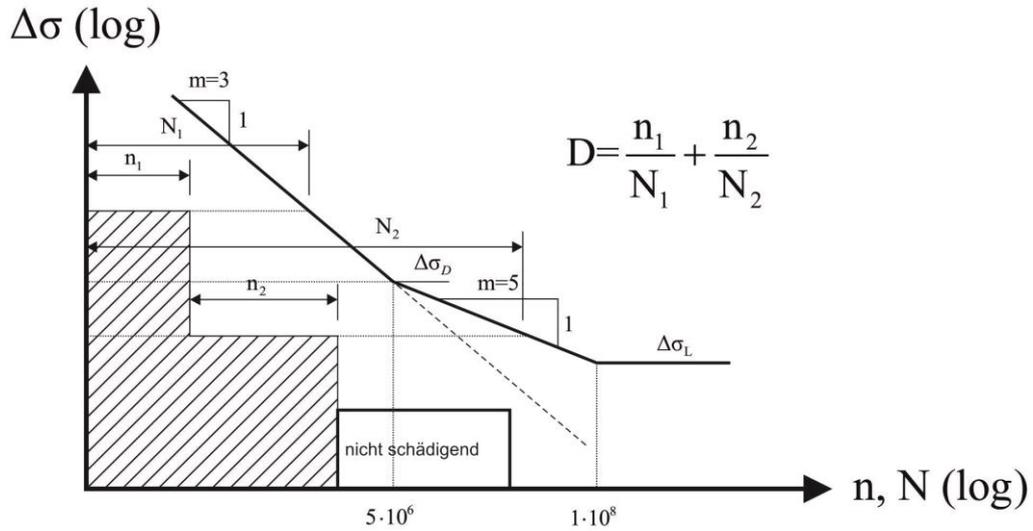


$n_i$ ....auftretende Anzahl an Spannungsspielen } bei  $\Delta\sigma_i$   
 $N_i$ ....ertragbare Anzahl an Spannungsspielen }

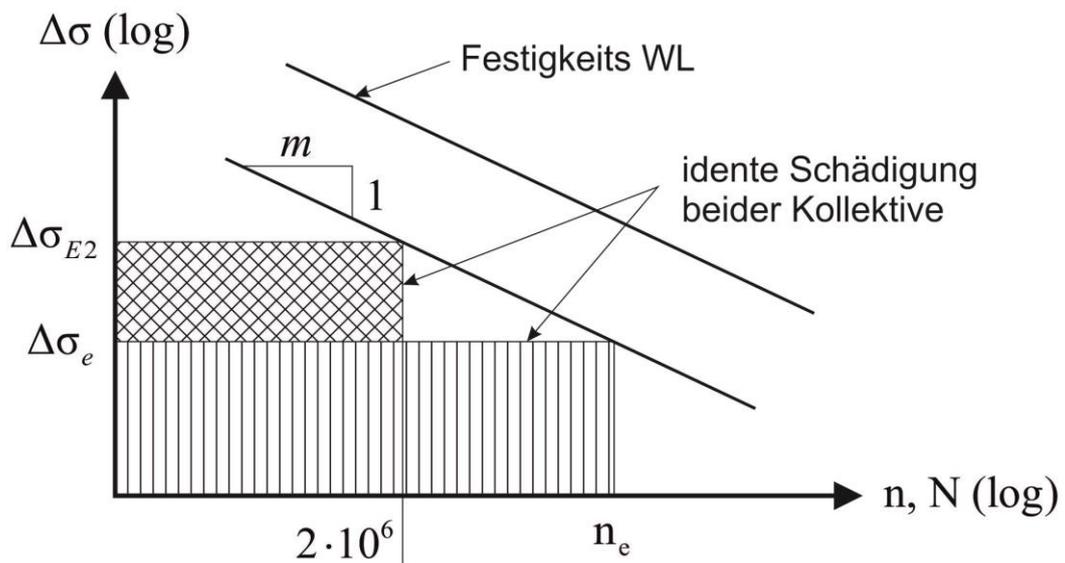
- Allgemein:



- Erfassung von Kollektivteilen unter der Dauerfestigkeit  $\Delta\sigma_D$ :
  - teilschädigende Wirkung durch "Schadens - WL"



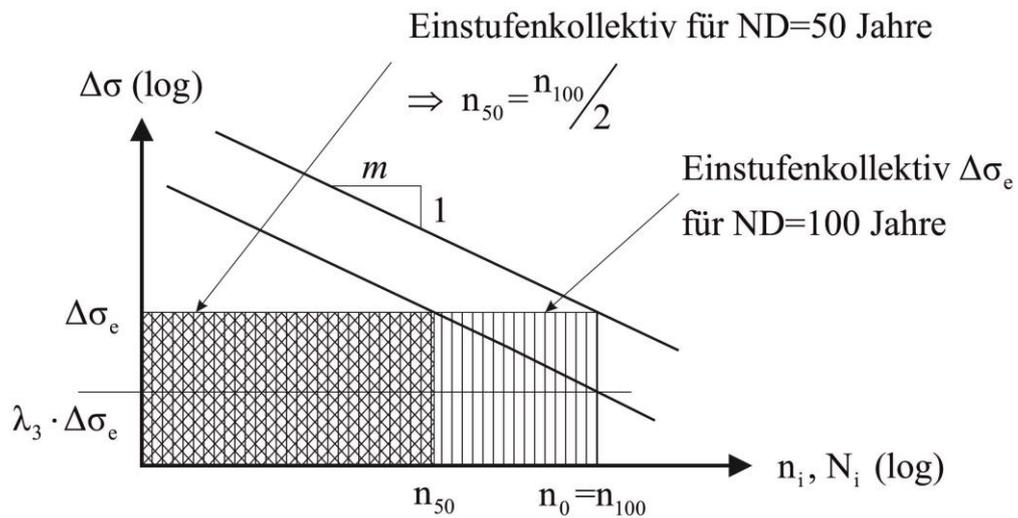
- Einfaches Umrechnen von Einstufenkollektiven:
  - Anwendung z.B. wenn Kollektivlänge  $n_e \neq 2 \cdot 10^6$  und Nachweis mit  $\Delta\sigma_c = \Delta\sigma_R$  bei  $2 \cdot 10^6$  Lastwechsel erwünscht



- aus Gl. (1) - Gleichung für Festigkeits- WL

$$\Delta\sigma_{E2}^m \cdot 2 \cdot 10^6 = \Delta\sigma_e^m \cdot n_e \rightarrow \Delta\sigma_{E2} = \sqrt[m]{\frac{n_e}{2 \cdot 10^6}} \cdot \Delta\sigma_e \quad \text{Gl. (5)}$$

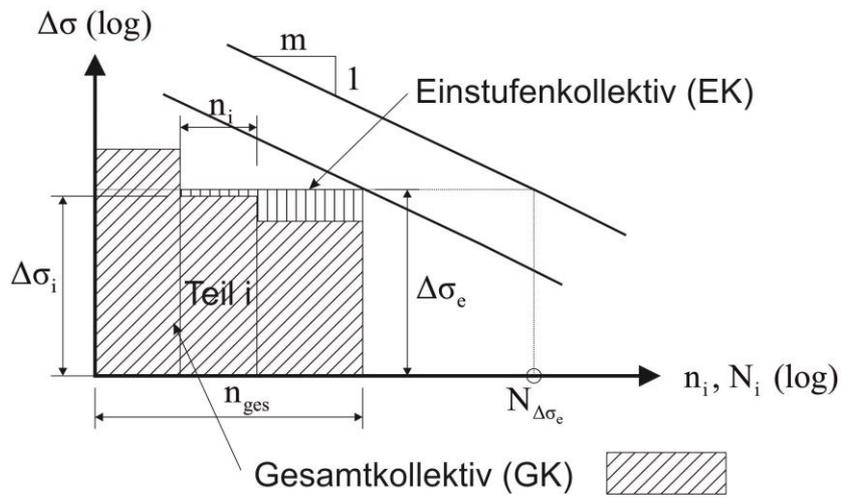
- Anwendungsbeispiel: Ermittlung der Faktoren  $\lambda_3$  für ND = 50 Jahre  
(EN 1993-2; Abschnitt 9.5.2(5))



$$\lambda_3 = \sqrt[m]{\frac{50}{100}} = \sqrt[5]{\frac{50}{100}} = 0,871$$

Anm.: in EN 1993-2 wird vereinfacht  $m=5$  gesetzt, dies entspricht der Neigung der "Schädigungs- WL" unter der Dauerfestigkeit

- Ermittlung von Einstufenkollektiven  $\Delta\sigma_e$ :
  - Gleichsetzen der Schädigungen (Gesamtkollektiv bzw. Einstufenkollektiv)



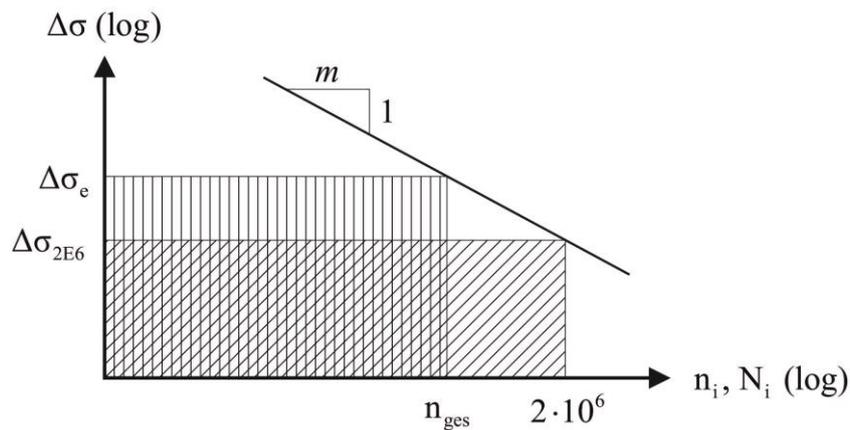
$$n_{ges} = \sum n_i$$

$$D_{GK} = \sum \frac{n_i \cdot \Delta\sigma_i^m}{2 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_c^m}$$

$$D_{EK} = \frac{n_{ges}}{N_{\Delta\sigma_e}} = \frac{n_{ges} \cdot \Delta\sigma_e^m}{2 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_c^m}$$

$$D_{GK} = D_{EK} \rightarrow \Delta\sigma_e = \left( \frac{1}{n_{ges}} \cdot \sum n_i \cdot \Delta\sigma_i^m \right)^{1/m} \quad \text{Gl. (6)}$$

- zusätzliche Umrechnung auf andere Kollektivlänge (z.B.:  $n = 2 \cdot 10^6$ )

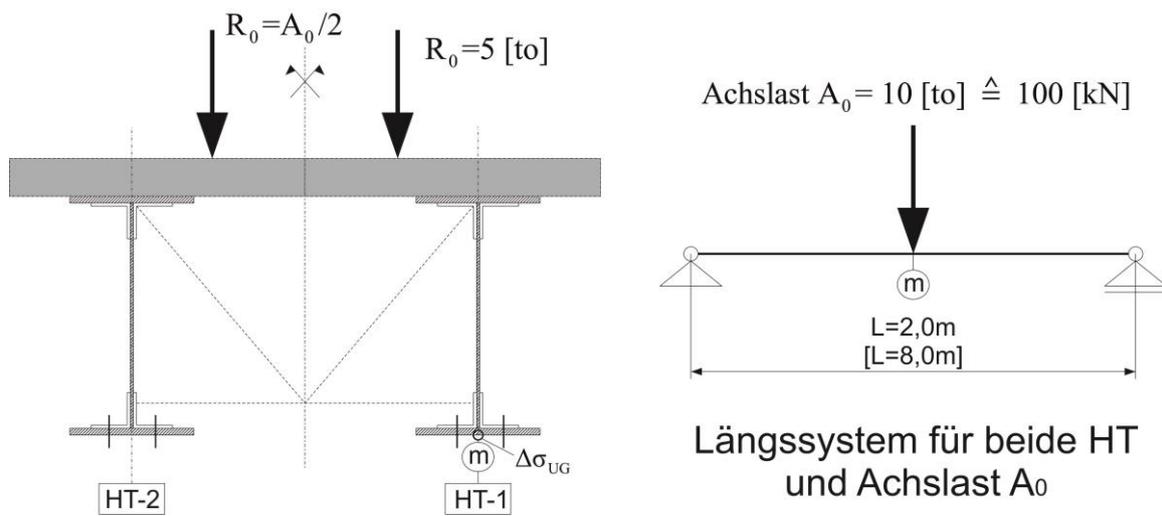


$$\Delta\sigma_{2E6} = \Delta\sigma_e \cdot \sqrt[m]{\frac{n_{ges}}{2 \cdot 10^6}} \quad \text{Gl. (7)}$$

## 4. Einfaches Anwendungsbeispiel: Schadensberechnung und Restlebensdauer

### 4.1 Anlageverhältnisse und Nachweisquerschnitt

- Einfeldrige Balkenbrücke mit offenem Querschnitt; mittige Gleislage; genietete Hauptträger; Baujahr: 1930
- Berechnung erfolgt mit 2 unterschiedlichen Stützweiten:  $L=2,0$  m und  $L=8,0$  m



Querschnitt (unmaßstäblich)

- Annahme: für  $A_0 = 100$  [kN]:  $\sigma_{UG} = 50$  [N/mm<sup>2</sup>]  $\hat{=} 5$  [kN/cm<sup>2</sup>]  $\rightarrow \sigma_{UG} = \frac{M_m}{W_m}$

$$M_m = \frac{0,5 \cdot A_0 \cdot L}{4} = 0,25 \cdot A_0 \text{ [kNm]} \quad \text{bei } L=2,0\text{m}$$

$$\sigma_{UG} = 5,0 = \frac{(0,25 \cdot 100) \cdot 100}{W_m} \rightarrow W_m = 500 \text{ cm}^3 \quad \text{bei } L=2,0\text{m}$$

$$M_m = 1,00 \cdot A_0 \text{ [kNm]} \quad \text{bei } L=8,0\text{m}$$

$$W_m = 2.000 \text{ cm}^3 \quad \text{bei } L=8,0\text{m}$$

- Nachweis in Feldmitte (Kopfniete zwischen Untergurtlamelle und Flanschwinkel)

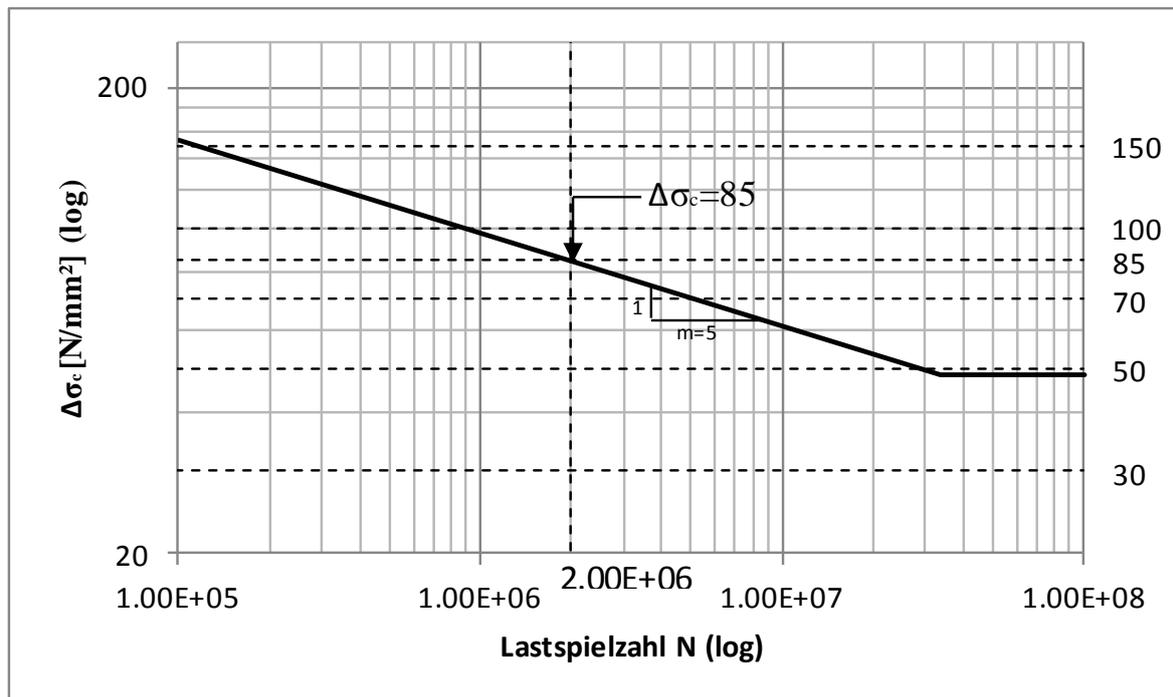
### 4.2 Vereinfachte Annahmen

- Berechnung ohne Teilsicherheitsfaktoren, d.h. Annahme von  $\gamma_F = \gamma_M = 1,0$
- mittige Gleislage
- Untersuchungsjahr: 2010
- Die Mittelspannungsabhängigkeit der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_R$  wird hier vernachlässigt. Dies bedeutet  $f(\kappa) = 1,0$  (s. ONR 24008, Punkt 10.2.3.6)

### 4.3 Maßgebende Ermüdungsfestigkeit (Kerbfall)

- Genietete Querschnitte: nach ONR 24008

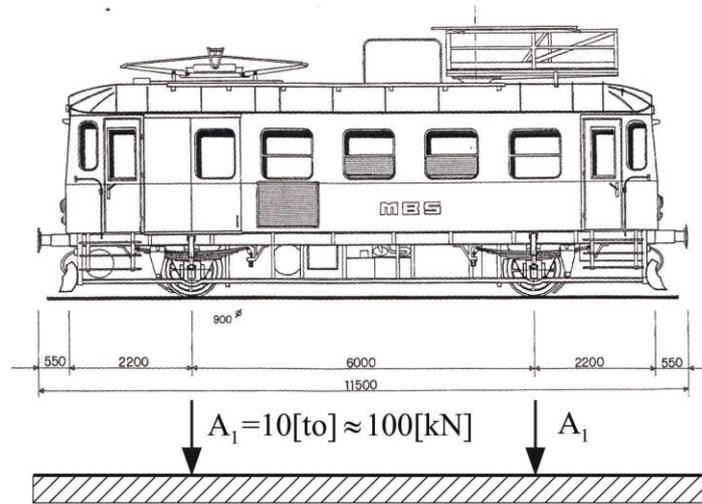
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
$\Delta\sigma_c = 85$	<p>Halsniete</p>	<b>Kontinuierliche Verbindung zwischen Flanschwinkel und Stegblech in zusammengesetzten Blegeträgern</b> Bestimmung von $\Delta\sigma_c$ an den Halsnieten	Die pro Scherfuge der Nieten wirksame Kraft muss an der Bemessungsstelle geringer als der untere Grenzwert der Gleitkraft sein.
	<p>Kopfniete</p>	<b>Kontinuierliche Verbindung zwischen Verstärkungslamelle und Flanschwinkel in zusammengesetzten Blegeträgern</b> Bestimmung von $\Delta\sigma_c$ an den Kopfnieten	Die pro Scherfuge der Nieten wirksame Kraft muss an der Bemessungsstelle geringer als der untere Grenzwert der Gleitkraft sein.



#### 4.4 Idealisierter Zugverkehr

- **Verkehr V1:**

- immer nur Einzeltriebwagen → Zugstyp Z1



**Zugstyp Z1 v=80 km/h**

- 20 Züge = 20 Einzeltriebwagen je Tag:

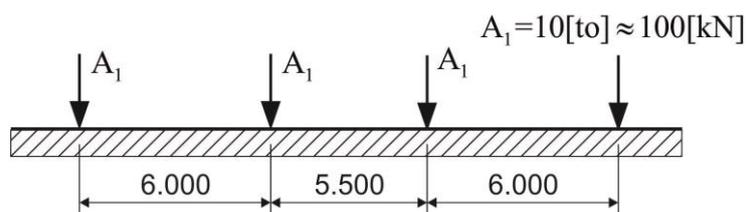
→  $20 \times 20 = 400$  [to] je Tag

→  $400 \times 365 = 146.000$  [to] je Jahr

→  $20 \times 365 = 7.300$  Züge je Jahr ( $n_{Zug}$ )

- **Verkehr V2:**

- 2 Einzeltriebwagen bilden 1 Zug → Zugstyp Z2



**Zugstyp Z2 v=80 km/h**

- 10 Züge = 20 Einzeltriebwagen je Tag:

→  $10 \times (20+20) = 400$  [to] je Tag

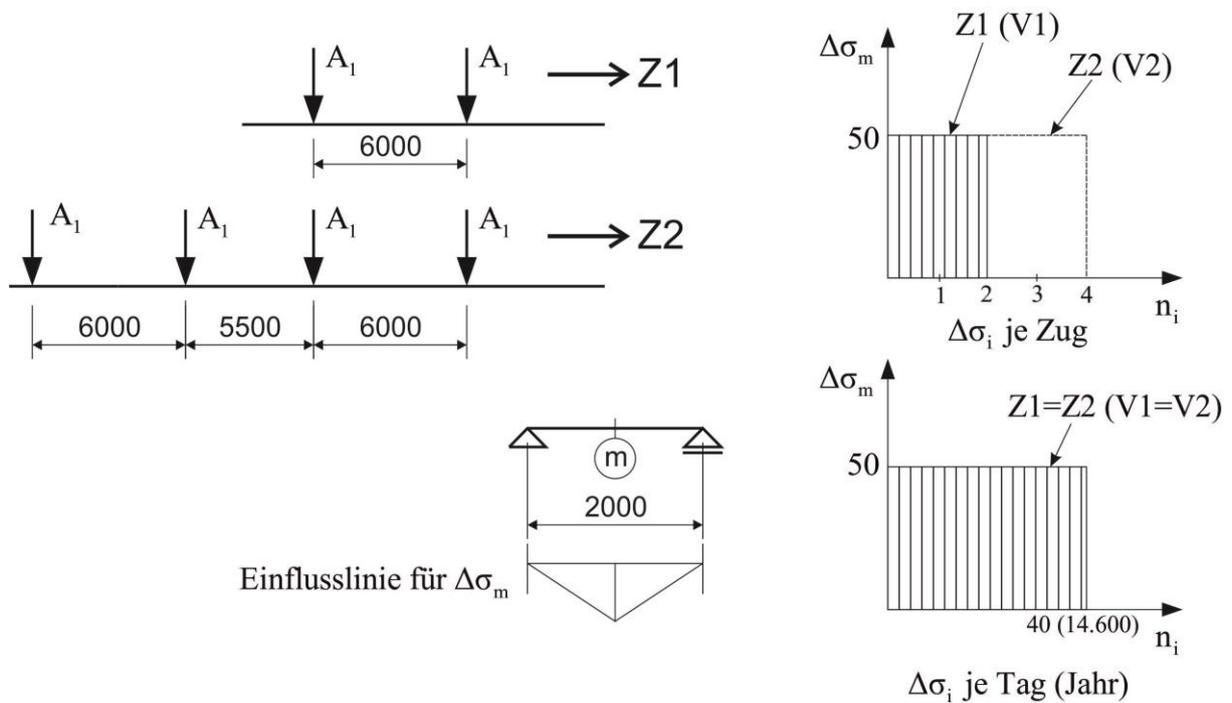
→  $400 \times 365 = 146.000$  [to] je Jahr

→  $10 \times 365 = 3.650$  Züge je Jahr ( $n_{Zug}$ )

} wie Verkehr V1

## 4.5 Ermüdungsbeanspruchungen für $L=2,0$ [m]

- Beanspruchungskollektive (ohne dynamische Wirkung)



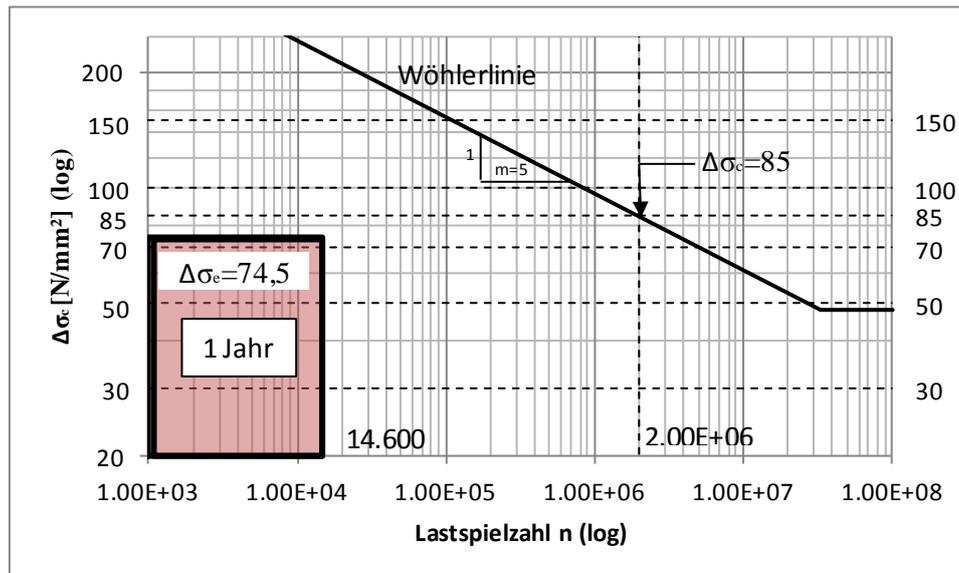
- Spannungsspiele je Tag bzw. Jahr:  
Verkehr V1:  $n_{Tag} = 2 \cdot 20 = 40$  bzw.  $n_{Jahr} = 40 \cdot 365 = 14.600$   
Verkehr V2:  $n_{Tag} = 4 \cdot 10 = 40$  bzw.  $n_{Jahr} = 40 \cdot 365 = 14.600$
- Identische Ermüdungsbeanspruchungen für beide Verkehrsszenarien ( $V1=V2$ )
- Beanspruchungen noch ohne dynamischen Beiwert  $\phi$
- Dynamischer Beiwert für Betriebszüge von Eisenbahnbrücken nach ONR 24008, Tab.B.3

$$L = 2,0[m] < 4,0; v = 80[km/h] \rightarrow \phi = 1,49$$

- Beanspruchungskollektive (mit dynamischer Wirkung)

$$\Delta\sigma_1 = 50 \cdot 1,49 = 74,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_e = \Delta\sigma_1 = 74,5 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (V1 = V2)$$



#### 4.6 Ermüdungsnachweise bzw. Lebensdauer für $L=2,0$ [m]

- a) Brücke im Jahr 2010 noch tragfähig?

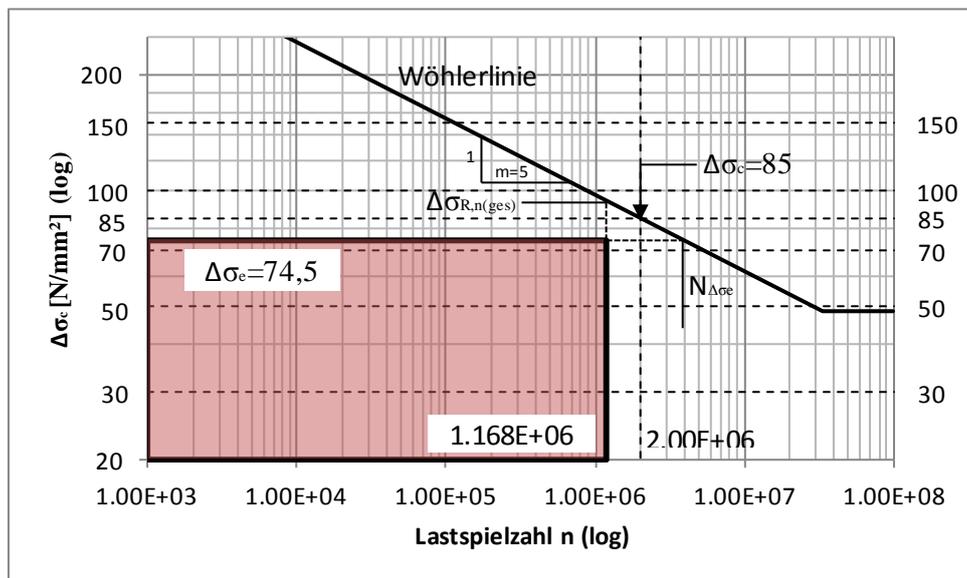
$$LD_{akt} = 2010 - 1930 = 80 \text{ Jahre}$$

- Gesamtanzahl von Spannungsspielen bis 2010:

$$n_{ges} = 14.600 \cdot 80 = 1.168.000 = 1,168 \cdot 10^6$$

$$\Delta\sigma_{R,n_{ges}} = 85 \cdot (2,0/1,168)^{1/5} = 94,7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$N_{\Delta\sigma_e} = (85/74,5)^5 \cdot 2 \cdot 10^6 = 3,87 \cdot 10^6$$



- Nachweise:

$$\Delta\sigma_e = 74,5 \leq \Delta\sigma_{R,n_{ges}} = 94,7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

oder

$$n_{ges} = 1,168 \cdot 10^6 < N_{\Delta\sigma_e} = 3,87 \cdot 10^6$$

Anmerkung: Ermüdungstragfähigkeit im Jahr 2010 ist noch gegeben

b) Restlebensdauerermittlung

- aktuelle Schädigung im Jahr 2010

$$\Delta\sigma_e = 74,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}; \quad n_{ges} = 1,168 * 10^6$$

$$D_{n_{ges}} = \frac{n_{ges}}{N_{\Delta\sigma_e}} = \frac{1,168 \cdot 10^6}{3,87 \cdot 10^6} = 0,30$$

Anmerkung: Gültig für 80 Betriebsjahre

- Restlebensdauer RLD in Jahren, gerechnet ab aktueller Lebensdauer  
 $LD_{akt} = 80 \text{ Jahre}$  (Zeitpunkt wenn  $D=1,0$ )

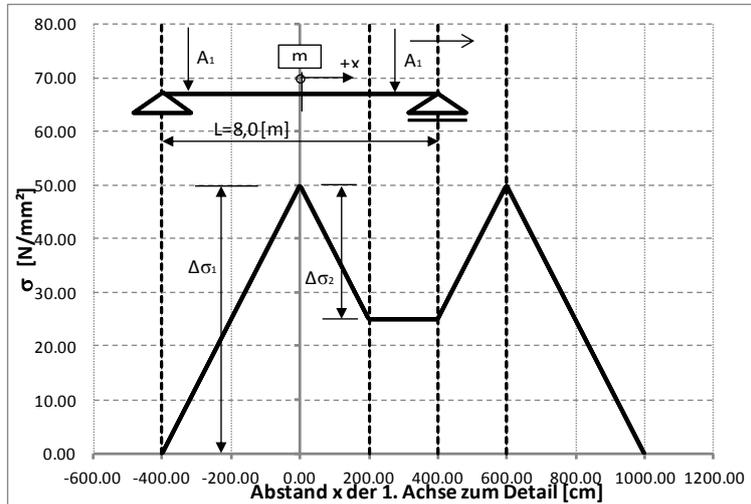
$$\text{Schädigung je Jahr: } D_{1 \text{ Jahr}} = \frac{0,30}{80} = 0,00375$$

$$RLD = \frac{1}{D_{1 \text{ Jahr}}} - LD_{akt} = \frac{1}{0,00375} - 80 = 187 \text{ Jahre}$$

fiktiver Schadenseintritt im Jahre  $(2010+187)=2197$

## 4.7 Ermüdungsbeanspruchung für $L=8,0$ [m]

- Spannungsverläufe bei Zugüberfahrt
  - Spannungsverläufe bei 1 Überfahrt des jeweiligen Zugtyps.
    - Verkehr V1:



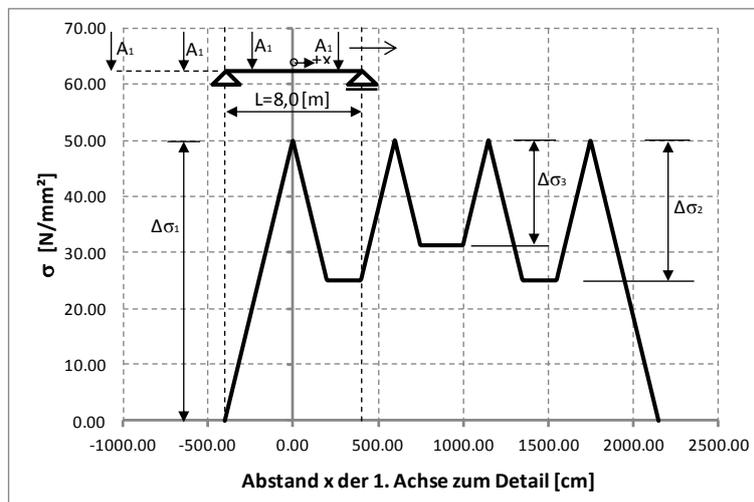
$$\Delta\sigma_1 = 50 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow 1 \text{ Spannungsspiel}$$

7.300 je Jahr

$$\Delta\sigma_2 = 25 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow 1 \text{ Spannungsspiel}$$

7.300 je Jahr

- Verkehr V2:



$$\Delta\sigma_1 = 50 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow 1 \text{ Spannungsspiel}$$

3.650 je Jahr

$$\Delta\sigma_2 = 25 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow 2 \text{ Spannungsspiele}$$

7.300 je Jahr

$$\Delta\sigma_3 = 18,8 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow 1 \text{ Spannungsspiel}$$

3.650 je Jahr

- Beanspruchungskollektive (ohne dynamische Wirkung)

– Berechnung je Jahr

- Verkehr V1:

a) Ermittlung  $\Delta\sigma_e$ :

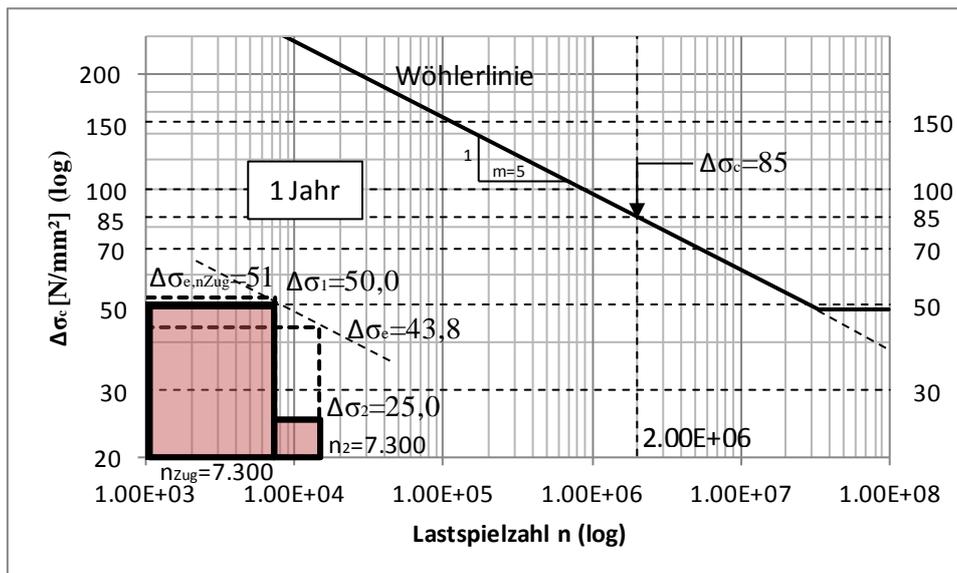
$$\Delta\sigma_1 = 50; n_1 = 7.300; \Delta\sigma_2 = 25; n_2 = 7.300; n_{Zug} = 7.300; n_{ges} = n_1 + n_2 = 14.600$$

$$\Delta\sigma_e = \left( \frac{1}{n_{ges}} \cdot \sum n_i \cdot \Delta\sigma_i^m \right)^{1/m} = \left( \frac{1}{14.600} \cdot (7.300 \cdot 50^5 + 7.300 \cdot 25^5) \right)^{1/5} = 43,8 [N/mm^2] \dots Gl(6)$$

Anm.: für Kollektivlänge  $n_{ges}$

b) Einstufenkollektiv - Bezug auf  $n_{Zug}$ =Anzahl der Züge=7.300:

$$\Delta\sigma_{e,n_{Zug}} = \Delta\sigma_e \cdot \sqrt[5]{\frac{n_{ges}}{n_{Zug}}} = 43,8 \cdot \sqrt[5]{\frac{14.600}{7.300}} = 50,3 \approx 51 [N/mm^2] \dots Gl(7)$$



- Verkehr V2:

a) Ermittlung  $\Delta\sigma_e$ :

$$\Delta\sigma_1 = 50; n_1 = 3.650; \Delta\sigma_2 = 25; n_2 = 7.300; \Delta\sigma_3 = 18,8; n_3 = 3.650;$$

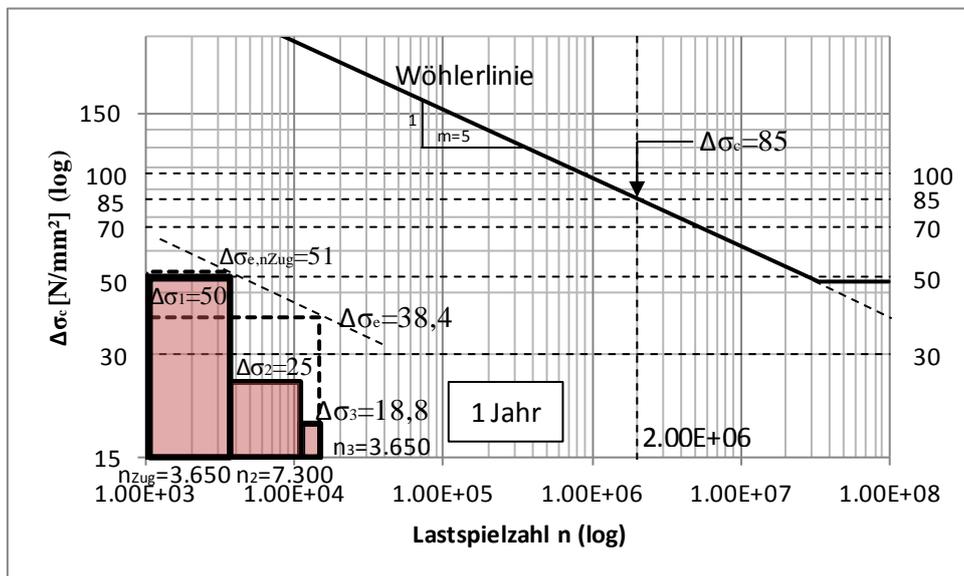
$$n_{ges} = n_1 + n_2 + n_3 = 14.600; n_{Zug} = 3.650$$

$$\Delta\sigma_e = \left( \frac{1}{n_{ges}} \cdot \sum n_i \cdot \Delta\sigma_i^m \right)^{1/m} = \left( \frac{1}{14.600} \cdot (3.650 \cdot 50^5 + 7.300 \cdot 25^5 + 3.650 \cdot 18,8^5) \right)^{1/5}$$

$$\Delta\sigma_e = 38,4 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

b) Einstufenkollektiv - Bezug auf  $n_{Zug}$ =Anzahl der Züge=3.650:

$$\Delta\sigma_{e,n_{Zug}} = \Delta\sigma_e \cdot \sqrt[5]{\frac{n_{ges}}{n_{Zug}}} = 38,4 \cdot \sqrt[5]{\frac{14.600}{3.650}} = 50,7 \approx 51 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$



- Beanspruchungskollektive (mit dynamischer Wirkung)
  - Berechnung je Jahr
  - dynamischer Beiwert für Betriebszüge von Eisenbahnbrücken nach ONR 24008, Tab. B3

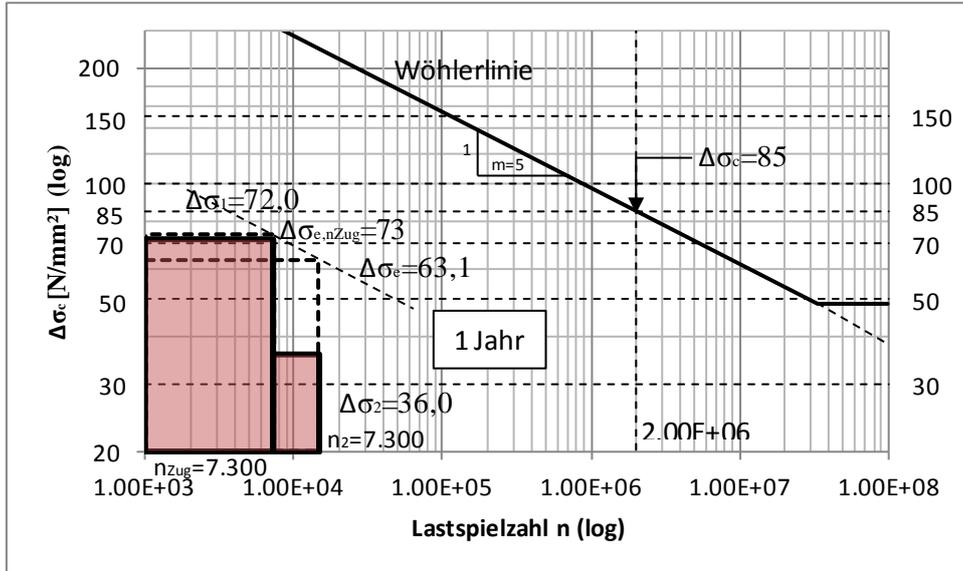
$$L = 8,0[m]; v = 80 \left[ \frac{km}{h} \right] \rightarrow \Phi = 1,44$$

- Verkehr V1:

$$\Delta\sigma_{e,n_{Zug}} = 1,44 \cdot 51 = 73,4 \approx 73 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$(n_{Zug} = 7.300 \text{ je Jahr})$$

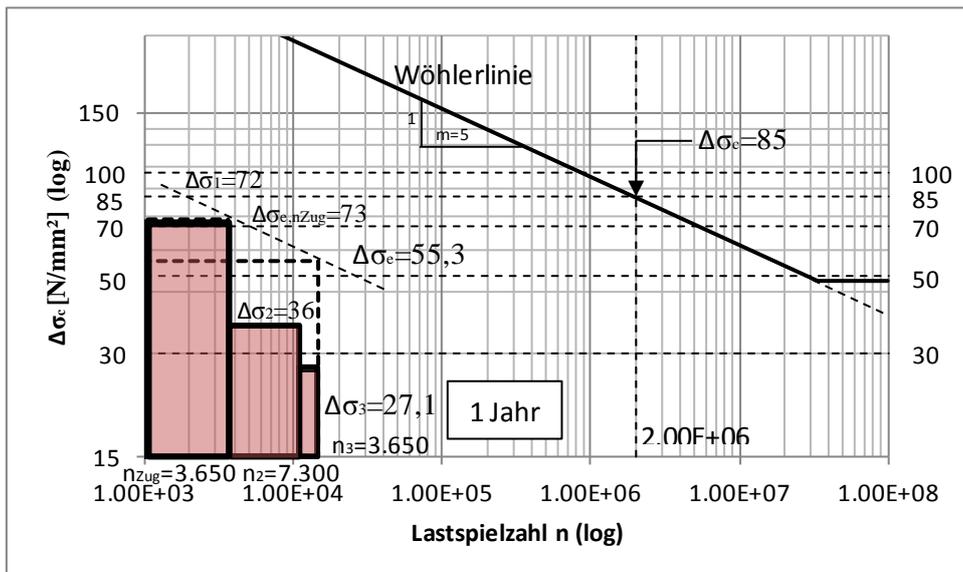
Anm.: da alle  $\Delta\sigma_i$  um  $\Phi$  erhöht werden, kann direkt  $\Delta\sigma_e$  um  $\Phi$  erhöht werden;



- Verkehr V2:

$$\Delta\sigma_{e,n_{Zug}} = 1,44 \cdot 51 = 73,4 \approx 73 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$(n_{Zug} = 3.650 \text{ je Jahr})$$



#### 4.8 Ermüdungsnachweise bzw. Lebensdauer für $L=8,0$ [m]

a) Brücke im Jahr 2010 noch tragfähig?

$$LD_{akt} = 2010 - 1930 = 80 \text{ Jahre}$$

– Verkehr V1:

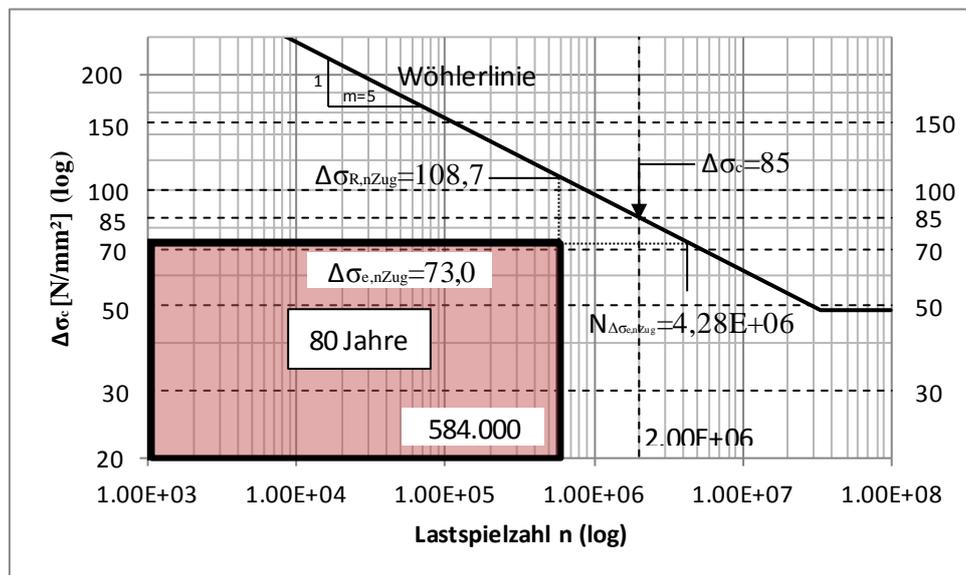
- Gesamtanzahl von Zügen bis 2010:

Anm.: da  $\Delta\sigma_e$  auf Anzahl der Züge bezogen ist ( $n_e = n_{Zug}$ )

$$n_{Zug} = 7.300 \cdot 80 = 584.000$$

$$\Delta\sigma_{R,nZug} = 85 \cdot (2,0 \cdot 10^6 / 5,84 \cdot 10^5)^{1/5} = 108,7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$N_{\Delta\sigma_e,nZug} = (85/73)^5 \cdot 2 \cdot 10^6 = 4,28 \cdot 10^6$$



- Nachweise:

$$\Delta\sigma_{e,nZug} = 73 \leq \Delta\sigma_{R,nZug} = 108,7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

oder

$$n_{Zug} = 5,84 \cdot 10^5 < N_{\Delta\sigma_e,nZug} = 4,28 \cdot 10^6$$

Anmerkung: Ermüdungstragfähigkeit im Jahr 2010 ist noch gegeben

– Verkehr V2:

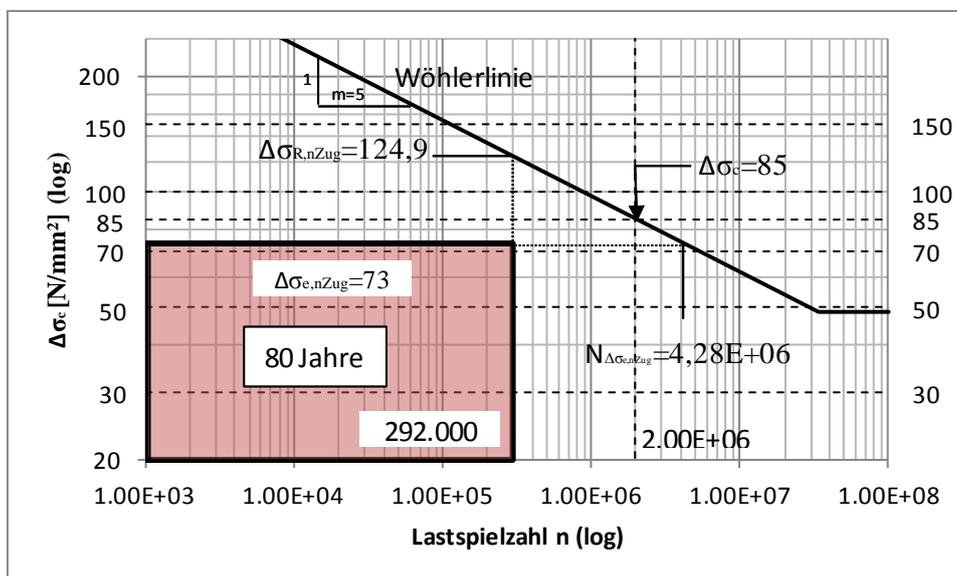
- Gesamtanzahl von Zügen bis 2010:

Anm.: da  $\Delta\sigma_e$  auf Anzahl der Züge bezogen ist ( $n_e = n_{Zug}$ )

$$n_{Zug} = 3.650 \cdot 80 = 292.000$$

$$\Delta\sigma_{R,n_{Zug}} = 85 \cdot (2,0 \cdot 10^6 / 2,92 \cdot 10^5)^{1/5} = 124,9 [N/mm^2]$$

$$N_{\Delta\sigma_e, n_{Zug}} = (85/73)^5 \cdot 2 \cdot 10^6 = 4,28 \cdot 10^6$$



- Nachweise:

$$\Delta\sigma_{e, n_{Zug}} = 73 \leq \Delta\sigma_{R, n_{Zug}} = 124,9 [N/mm^2]$$

oder

$$n_{Zug} = 2,92 \cdot 10^5 < N_{\Delta\sigma_e, n_{Zug}} = 4,28 \cdot 10^6$$

Anmerkung: Ermüdungstragfähigkeit im Jahr 2010 ist noch gegeben

b) Restlebensdauerermittlung

– Verkehr V1

- aktuelle Schädigung im Jahr 2010

$$\Delta\sigma_{e,n_{zug}} = 73,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}; \quad n_{zug} = 5,84 \cdot 10^5$$

$$D_{n_{zug}} = \frac{n_{zug}}{N_{\Delta\sigma_{e,n_{zug}}}} = \frac{5,84 \cdot 10^5}{4,28 \cdot 10^6} = 0,136$$

Anmerkung: Gültig für 80 Betriebsjahre

- Restlebensdauer (Zeitpunkt wenn  $D=1,0$ )

$$\text{Schädigung je Jahr: } D_{1 \text{ Jahr}} = \frac{0,136}{80} = 0,00171$$

$$RLD = \frac{1}{D_{1 \text{ Jahr}}} - LD_{akt} = \frac{1}{0,00171} - 80 = 506 \text{ Jahre}$$

fiktiver Schadenseintritt im Jahre (2010+506) = 2516

– Verkehr V2

- aktuelle Schädigung im Jahr 2010

$$\Delta\sigma_{e,n_{zug}} = 73,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}; \quad n_{zug} = 2,92 \cdot 10^5$$

$$D_{n_{zug}} = \frac{n_{zug}}{N_{\Delta\sigma_{e,n_{zug}}}} = \frac{2,92 \cdot 10^5}{4,28 \cdot 10^6} = 0,0682$$

Anmerkung: Gültig für 80 Betriebsjahre

- Restlebensdauer (Zeitpunkt wenn  $D=1,0$ )

$$\text{Schädigung je Jahr: } D_{1 \text{ Jahr}} = \frac{0,0682}{80} = 0,00085$$

$$RLD = \frac{1}{D_{1 \text{ Jahr}}} - LD_{akt} = \frac{1}{0,00085} - 80 = 1092 \text{ Jahre}$$

fiktiver Schadenseintritt im Jahre (2010+1092) = 3102

## 5. Ergänzung zur Restlebensdauerberechnung von Eisenbahnbrücken nach ONR 24008 – Erfassung reduzierter Streckenbelastung und Achslast

### 5.1 Allgemein

In der Neufassung der ONR 24008 ist erstmalig auch ein Nachweis zur Restlebensdauer von bestehenden Eisenbahnbrücken vorgesehen (s. Anhang).

In den anzusetzenden Schadensäquivalenzfaktoren – insbesondere im Teilfaktor  $\lambda_1$  – fließen auch indirekt die bei den Zugüberfahrten auftretenden Beanspruchungskollektive (Summe der Beanspruchungsspiele  $\Delta\sigma_1$  aus den Betriebszugüberfahrten) mit ein. Dies bedeutet, dass Betriebszugstypen und Betriebszugmischungen erstellt wurden, die den ungünstigsten Bahnverkehr in ganz Europa abdecken. Aus der Simulation dieser Zugüberfahrten wurden dann die Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_1$ , die „Betriebsfaktoren“ entsprechen, ermittelt. Diese werden nun im Eurocode für die Ermüdungs- bzw. Restlebensdauerberechnung bereitgestellt (EN 1993-2).

Für die Auswirkungen aus den Zügen der Vergangenheit wurden seitens der Deutschen Bahn ergänzende Berechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse – in modifizierter Form – auch in den Nachweis der Restlebensdauer nach ONR 24008 bei Nachweisformat 2 mit einfließen. Auch diese Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_{alt}$  basieren auf Betriebszugmischungen, die die ungünstigsten Auswirkungen im deutschen Streckennetz abdecken.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_1$ , die für die Restlebensdauerberechnung angesetzt werden müssen, von ungünstigsten Betriebszugmischungen im europäischen Streckennetz ausgehen. Damit besteht die Gefahr, dass für Bahnstrecken mit dem gegenüber deutlich geringerer Streckenbelastung und Achslast sehr konservative Ergebnisse erhalten werden. Erschwerend ist dabei der Umstand, dass für Bestandsstrecken die Datenerfassung hinsichtlich der Betriebszüge der Vergangenheit nur in sehr eingeschränktem Rahmen vorliegt. Meist liegt nur die jährliche Gesamtstreckenbelastung SB vor (Angabe in Mio Tonnen/Jahr) sowie die maximalen zugelassenen statischen Achslasten.

## **5.2 Ziel der Untersuchungen**

Seitens der Bahnbetreiber ist es wünschenswert bei den Restlebensdauerberechnungen eine allfällige vorhandene geringere Streckenbelastung (z.B. geringere Achslasten) mit zu erfassen, um nicht unzutreffend konservative Ergebnisse zu erhalten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass – wie oben angeführt – hinsichtlich der Betriebszugsdaten meist nur die maximalen statischen Achslasten  $A_{i,max}$ , die Streckengeschwindigkeit sowie die jährliche Streckenbelastung SB (Mio Tonnen /Jahr) vorliegen.

Unterschiedliche Streckenbelastungen SB (abweichend vom Basiswert  $SB_0 = 25$  Mio Tonnen/Jahr) können bereits jetzt im Zuge der Restlebensdauerberechnung nach ONR 24008 erfasst werden. Deshalb wurde untersucht wie der Einfluss von: a) geringeren statischen Achslasten  $A_{i,max}$  sowie, b) geringerer Strecken- bzw. Zugsgeschwindigkeit  $V_i$ , günstig bei der Ermittlung der Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_1$  berücksichtigt werden könnte.

Geringere Zugsgeschwindigkeiten sind deshalb vorteilhaft, da daraus geringere dynamische Beanspruchungserhöhungen resultieren.

## **5.3 Geringere Streckenbelastung im Grenzfall sehr kurzer Stützweite (L = 2,0 m)**

Insbesondere bei kurzen Stützweiten – relevant für offene Fahrbahnelemente (Längs- und Querträger) – liegt eine deutlich größere Ermüdungsbeanspruchung vor, sodass die Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_1$  mit kürzerer Stützweite zunehmend größere Werte annehmen.

Der Grenzfall einer sehr kurzen Stützweite (L = 2,0 m) stellt hier auch jenen Fall dar, wo die größten Auswirkungen einer reduzierten Streckenbelastung (kleinere Achslast  $A_i$  bzw. Zugsgeschwindigkeit  $V_i$ ) zu erwarten sind.

Aus der detaillierten Analyse zum Schädigungseinfluss von Betriebszügen zeigt sich (s. [2]), dass im Grenzfall sehr kurzer Stützweite (L = 2,0 m) die Schädigungswirkung primär bestimmt wird durch die Größe der dynamischen Achslast. Bei größerer Stützweite (etwa L > 3 m) werden die Verhältnisse schon deutlich komplexer, da die Achslasten nicht mehr isoliert betrachtet werden können.

Negiert man die tatsächliche Zusammensetzung der Betriebszugsmischung kann man bei L = 2,0 m vereinfacht von der maximalen (reduzierten) dynamischen Achslast  $A_{dyn,max,red}$  aller Betriebszüge der betrachteten Betriebszugsmischung ausgehen.

Nunmehr sollte bei geringerer dynamischer Achslast für den zutreffenden Schadensäquivalenzfaktor  $\lambda_{1,red}$  nach Gl. (8) gelten:

$$\lambda_{1,red} = \frac{A_{dyn,max,red}}{A_{dyn,max}} \cdot \lambda_1 \quad \text{Gl. (8)}$$

mit:  $A_{dyn,max}$  ... maximale dynamische Achslast für den ungünstigsten Betriebszug jener Betriebszugsmischung für die  $\lambda_1$  bestimmt wurde (in der Regel EC-mix)

Nachfolgend wird anhand der Ergebnisse für die Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_1$  für die einzelnen Betriebszugsmischungen des Eurocode (EC-mix sowie Typ 1 bis 8 alleine, s. Bild 1;  $\lambda_1$  – Werte für  $L = 2,0$  m aus ENV 1993-2, s. Tab. 1) überprüft, ob die Anwendung nach Gl. (8) möglich ist.

Dazu wird für alle 11 Betriebszugsmischungen (jeweils Typ 1 bis 10 alleine, sowie EC-mix) jeweils die maximale dynamische Achslast  $A_{dyn,max}$  ermittelt (für EC-mix wird dabei Typ 1 mit  $A_{i,max} = 22,5$  to;  $V = 200$  km/h maßgebend).

Die Ermittlung des dynamischen Beiwertes  $\phi_i$  erfolgt in identer Weise, wie für die Betriebszugsimulationen zur Ermittlung von  $\lambda_1$  vorgesehen, nach Gl. (9), (10), (11).

$$\phi_i = 1 + \frac{1}{2} \cdot \varphi = 1 + \frac{1}{2} \left( \varphi' + \frac{1}{2} \varphi'' \right) \quad \text{Gl. (9)}$$

$$\varphi' = \frac{K}{1-K+K^4} \quad \text{mit } K = V / 160 \quad \text{Gl. (10)}$$

$$\varphi'' = 0,56 \cdot e^{-(L^2/100)} \quad \text{Gl. (11)}$$

mit:  $V$ ...Zugsgeschwindigkeit in [m/s]

$L$ ...Stützweite (hier  $L = 2,0$  m)

Für die dynamische Achslast  $A_{dyn,i,max}$  jeder Betriebszugsmischung gilt nach Gl. (12)

$$A_{dyn,i,max} = A_{i,max} \cdot \phi; \quad \text{Gl. (12)}$$

mit:  $A_{i,max}$ ...maximale statische Achslast der jeweiligen Betriebszugsmischung;

L	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8	EC Mix
0,5	1,38	1,27	1,31	1,50	1,62	1,65	<b>1,69</b>	1,65	1,60
1,0	1,38	1,27	1,31	1,50	1,62	1,65	<b>1,69</b>	1,65	1,60
1,5	1,38	1,27	1,31	1,50	1,62	1,65	<b>1,69</b>	1,65	1,60
2,0	1,37	1,26	1,31	1,49	1,35	1,46	1,53	<b>1,64</b>	1,46
2,5	1,17	1,23	1,28	1,46	1,29	1,39	1,44	<b>1,60</b>	1,38
3,0	1,05	1,19	1,25	1,42	1,25	1,35	1,4	<b>1,56</b>	1,35
3,5	0,94	1,02	1,12	1,16	1,12	1,18	1,17	<b>1,40</b>	1,17
4,0	0,81	0,82	0,96	1,00	1,15	1,08	1,05	<b>1,20</b>	1,07
4,5	0,77	0,73	0,88	0,91	<b>1,14</b>	1,07	1,04	0,97	1,02
5,0	0,86	0,69	0,80	0,86	<b>1,16</b>	1,07	1,05	0,93	1,03
6,0	0,97	0,63	0,79	0,79	<b>1,12</b>	1,07	1,07	0,78	1,03
7,0	0,98	0,57	0,79	0,82	0,96	1,04	<b>1,07</b>	0,79	0,97
8,0	0,92	0,55	0,77	0,83	0,85	1,01	<b>1,06</b>	0,73	0,92
9,0	0,88	0,56	0,74	0,83	0,77	0,96	<b>1,05</b>	0,68	0,88
10,0	0,85	0,56	0,72	0,83	0,66	0,91	<b>1,04</b>	0,65	0,85
12,5	0,79	0,55	0,73	0,78	0,52	0,89	<b>1,00</b>	0,60	0,82
15,0	0,75	0,56	0,73	0,77	0,51	0,81	<b>0,91</b>	0,59	0,76
17,5	<b>0,74</b>	0,56	0,73	0,68	0,53	0,72	<b>0,80</b>	0,58	0,70
20,0	<b>0,74</b>	0,55	0,68	0,66	0,55	0,72	0,70	0,58	0,67
25,0	<b>0,76</b>	0,59	0,56	0,58	0,59	0,69	0,68	0,60	0,66
30,0	<b>0,77</b>	0,60	0,50	0,53	0,60	0,65	0,69	0,63	0,65
35,0	<b>0,76</b>	0,58	0,49	0,51	0,63	0,62	0,68	0,65	0,64
40,0	<b>0,73</b>	0,56	0,47	0,50	0,66	0,62	0,68	0,65	0,64
45,0	<b>0,70</b>	0,53	0,45	0,49	0,68	0,61	0,68	0,65	0,64
50,0	0,68	0,51	0,43	0,48	<b>0,70</b>	0,60	0,69	0,65	0,63
60,0	0,64	0,47	0,41	0,47	<b>0,73</b>	0,57	0,68	0,64	0,63
70,0	0,61	0,45	0,40	0,45	<b>0,75</b>	0,56	0,67	0,63	0,62
80,0	0,57	0,43	0,38	0,42	<b>0,76</b>	0,53	0,67	0,62	0,61
90,0	0,53	0,40	0,36	0,41	<b>0,77</b>	0,52	0,67	0,62	0,61
100	0,51	0,38	0,36	0,39	<b>0,77</b>	0,51	0,67	0,62	0,60

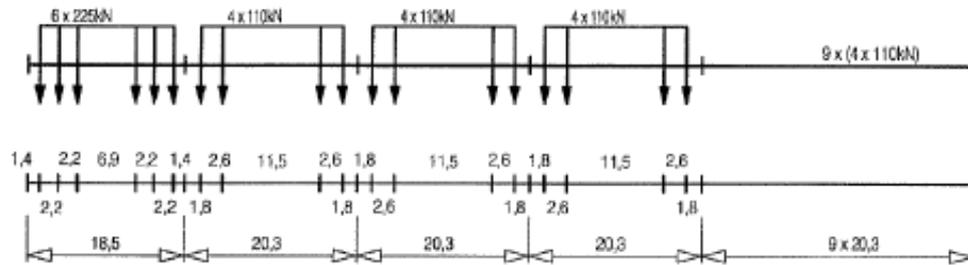
Tab.1:  $\lambda_1$ -Werte für den allgemeinen Eisenbahnverkehr (aus ENV 1993-2 : 1997)

L [m]	Typ 9	Typ 10
0,5	0,97	1,00
1,0	0,97	1,00
1,5	0,97	1,00
2,0	0,97	0,99
2,5	0,95	0,97
3,0	0,85	0,94
3,5	0,76	0,85
4,0	0,65	0,71
4,5	0,59	0,65
5,0	0,55	0,62
6,0	0,58	0,63
7,0	0,58	0,60
8,0	0,56	0,60
9,0	0,56	0,55
10,0	0,56	0,51
12,5	0,55	0,47
15,0	0,50	0,44
17,5	0,46	0,44
20,0	0,44	0,43
25,0	0,40	0,41
30,0	0,37	0,42
35,0	0,36	0,44
40,0	0,35	0,46
45,0	0,35	0,47
50,0	0,36	0,48
60,0	0,39	0,48
70,0	0,40	0,49
80,0	0,39	0,49
90,0	0,39	0,48
100,0	0,40	0,48

Tab.1:  $\lambda_1$ -Werte für den allgemeinen Eisenbahnverkehr (aus ENV 1993-2 : 1997)

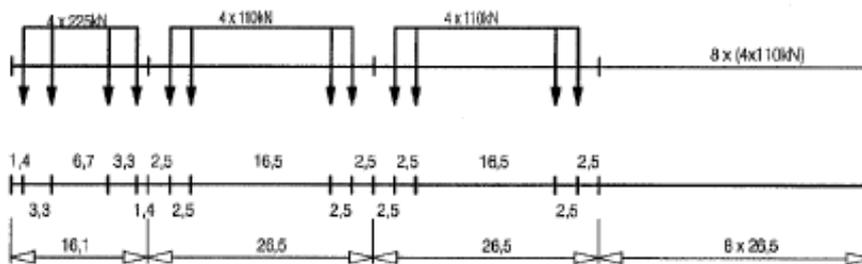
**Typ 1** Lokgezogener Reisezug

$\Sigma Q = 6630\text{kN}$   $V = 200\text{km/h}$   $L = 262,10\text{m}$   $q = 25,3\text{kN/m'}$



**Typ 2** Lokgezogener Reisezug

$\Sigma Q = 5300\text{kN}$   $V = 160\text{km/h}$   $L = 281,10\text{m}$   $q = 18,9\text{kN/m'}$



**Typ 3** Hochgeschwindigkeitsreisezug

$\Sigma Q = 9400\text{kN}$   $V = 250\text{km/h}$   $L = 385,52\text{m}$   $q = 24,4\text{kN/m'}$

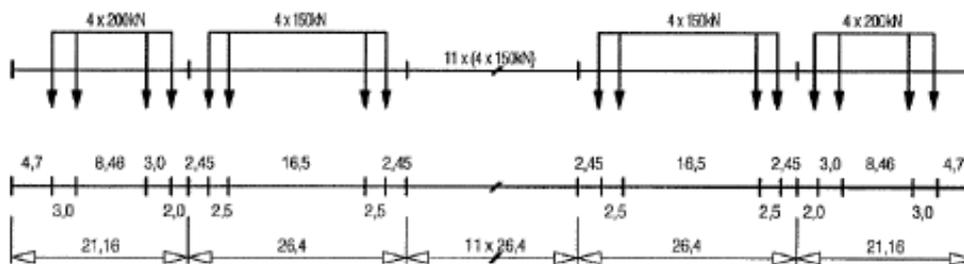
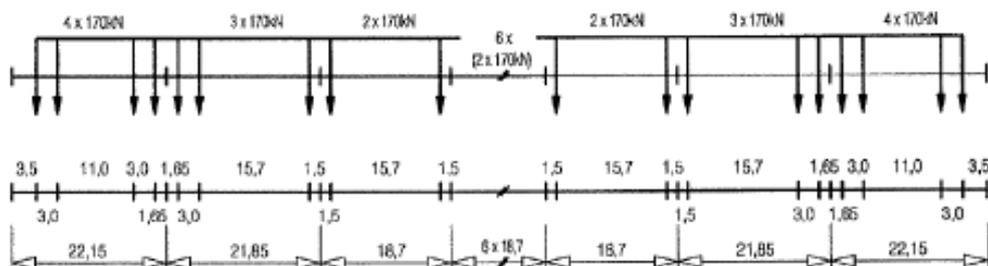


Bild1: Betriebszüge Typ 1 bis 10 (aus EN 1991-2 : 2004)

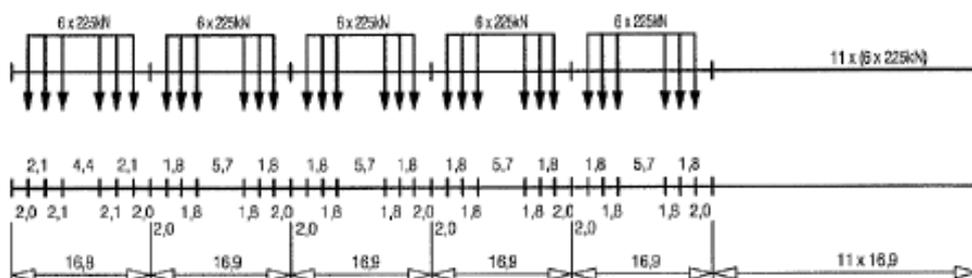
**Typ 4** Hochgeschwindigkeitsreisezug

$\Sigma Q = 5100\text{kN}$   $V = 250\text{km/h}$   $L = 237,60\text{m}$   $q = 21,5\text{kN/m'}$



**Typ 5** Lokgezogener Güterzug

$\Sigma Q = 21600\text{kN}$   $V = 80\text{km/h}$   $L = 270,30\text{m}$   $q = 80,0\text{kN/m'}$



**Typ 6** Lokgezogener Güterzug

$\Sigma Q = 14310\text{kN}$   $V = 100\text{km/h}$   $L = 333,10\text{m}$   $q = 43,0\text{kN/m'}$

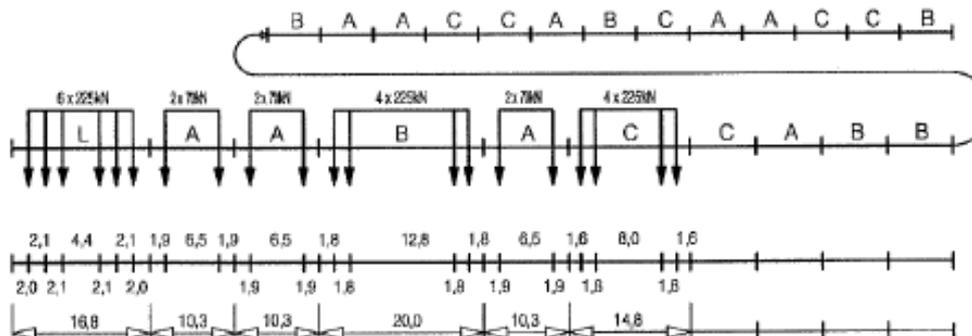
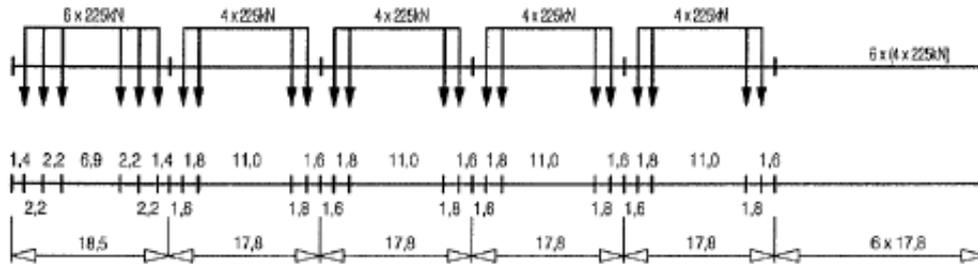


Bild1: Fortsetzung - Betriebszüge Typ 1 bis 10 (aus EN 1991-2 : 2004)

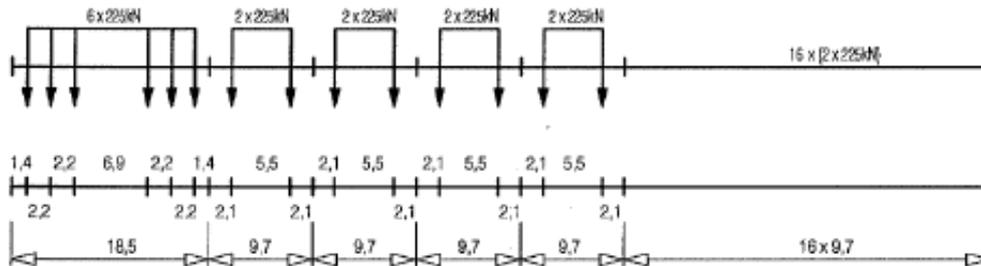
**Typ 7 Lokgezogener Güterzug**

$\Sigma Q = 10350\text{kN}$   $V = 120\text{km/h}$   $L = 196,50\text{m}$   $q = 52,7\text{kN/m'}$



**Typ 8 Lokgezogener Güterzug**

$\Sigma Q = 10350\text{kN}$   $V = 100\text{km/h}$   $L = 212,50\text{m}$   $q = 48,7\text{kN/m'}$



**Typ 9 S-Bahn-Triebwagenzug**

$\Sigma Q = 2960\text{kN}$   $V = 120\text{km/h}$   $L = 134,80\text{m}$   $q = 22,0\text{kN/m'}$

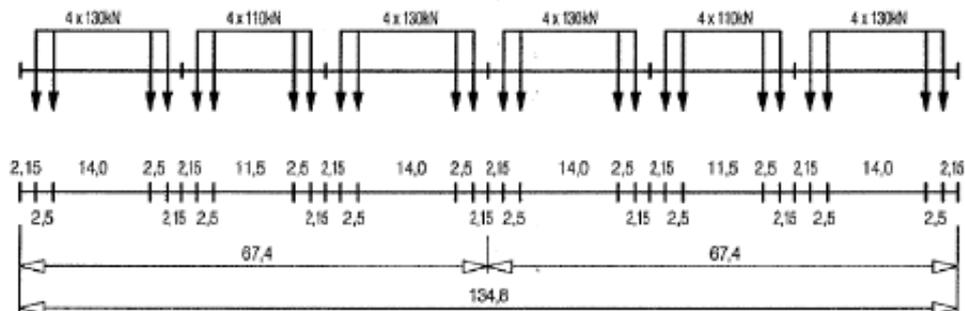


Bild1: Fortsetzung - Betriebszüge Typ 1 bis 10 (aus EN 1991-2 : 2004)

### Typ 10 U-Bahn-Triebwagenzug

$$\Sigma Q = 3600\text{kN} \quad V = 120\text{km/h} \quad L = 129,60\text{m} \quad q = 27,8\text{kN/m'}$$

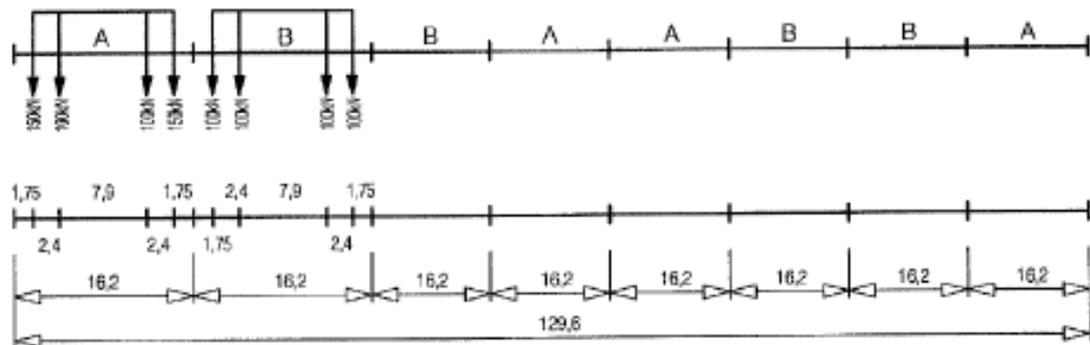


Bild1: Fortsetzung - Betriebszüge Typ 1 bis 10 (aus EN 1991-2 : 2004)

Nachfolgend wurde für alle untersuchten 11 Betriebszugsmischungen überprüft, ob das Kriterium nach Gl. (8) zutrifft. Dazu wurde der Verkehr „EC-mix“ als Bezugsgröße gewählt. Dies bedeutet, dass für jede untersuchte Betriebszugsmischung aus nur 1 Betriebszug (Typ 1 bis 10) der Faktor  $\lambda_{1,Typ\ i} / \lambda_{1,EC\text{-}mix}$  sowie der Faktor  $A_{dyn,max,Typ\ i} / A_{dyn,max,EC\text{-}mix}$  errechnet wurde. Nach Gl. (8) sollte gelten:

$$\frac{\lambda_{1,Typ\ i}}{\lambda_{1,EC\text{-}mix}} = \frac{A_{dyn,max,Typ\ i}}{A_{dyn,max,EC\text{-}mix}}$$

Den Vergleich der errechneten Faktoren zeigt die Tabelle 2.

Betriebs- zug	$\lambda_1$ [-]	$A_{i,max}$ [kN]	$V_{max}$ [km/h]	$\varphi'$ [-]	$\varphi''$ [-]	$\phi$ = $1+0.5(\varphi'$ $+0.5\varphi'')$ [-]	$A_{dyn,max,Typ i}$ [kN]	$A_{dyn,max,Typ i} /$ $A_{dyn,max,ECmix}$ [-]	$\lambda_{1,Typ i} /$ $\lambda_{1,ECmix}$ [-]
Typ 1	1.37	225	200	0.520	0.538	1.395	313.8	1.000	0.938
Typ 2	1.26	225	160	0.381		1.325	298.2	0.950	0.863
Typ 3	1.31	200	250	0.722		1.495	299.1	0.953	0.897
Typ 4	1.49	170	250	0.722		1.495	254.2	0.810	1.021
Typ 5	1.35	225	80	0.161		1.215	273.4	0.871	0.925
Typ 6	1.46	225	100	0.210		1.239	278.9	0.889	1.000
Typ 7	1.53	225	120	0.263		1.266	284.8	0.908	1.048
Typ 8	1.64	225	100	0.210		1.239	278.9	0.889	1.123
Typ 9	0.97	130	120	0.263		1.266	164.6	0.524	0.664
Typ 10	0.99	150	120	0.263		1.266	189.9	0.605	0.678
<b>EC mix</b>	<b>1.46</b>	<b>225</b>	200	0.520		<b>1.395</b>	<b>313.8</b>		

maßg. Typ 1

maßg. Typ 1

Tab. 2: Reduktion der  $\lambda_1$ -Faktoren infolge reduzierter dynamischer Achslast  $A_{dyn,max,Typ i}$ ;  $L = 2,0$  m

Betrachtet man die Ergebnisse in den beiden letzten Spalten der Tab. 2, so muss leider festgestellt werden, dass auch bei  $L = 2,0$  m eine Umrechnung der Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  alleine aus der Kenntnis der maximalen dynamischen Achslast  $A_{dyn,max}$  der betrachteten Betriebszugsmischung – entsprechend Gl. (8), nicht zutreffend ist.

Beispielsweise weisen die Betriebszugsmischungen „Typ 5“, „Typ 6“ und „Typ 8“ ähnliche maximale dynamische Achslastverhältnisse auf (etwa 0,89) – die bezogenen Betriebsfaktoren differieren jedoch äußerst stark (0,93; 1,00; 1,12).



## 5.5 Zusammenfassende Beurteilung

Ziel der Untersuchungen war die reduzierte Streckenbelastung bei einzelnen Bestandstragwerken, wobei jedoch in der Regel nur die maximalen Achslasten, maximalen Metergewichte und die jährliche Gesamttonnage (Streckenbelastung in Mio Tonnen/Jahr) bekannt sind, beim Nachweis der Restlebensdauer in Form reduzierter Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  zu nutzen. Leider konnte auch im Fall sehr kurzer Stützweiten, wo hinsichtlich der Ermüdungsschädigung die einfachsten Verhältnisse vorliegen – hier liefert jede dynamische Achslast ein Spannungsspiel – kein objektiv begründbarer vereinfachter Zusammenhang zwischen maximaler dynamischer Achslast und Betriebsfaktor  $\lambda_1$  gefunden werden.

Somit ist es nicht möglich die vorliegenden Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  einfach im Verhältnis der maximal auftretenden dynamischen Achslasten zu reduzieren.

Zusammenfassend kann damit beim Nachweis der Restlebensdauer nur eine reduzierte Streckenbelastung (Mio Tonnen/Jahr) planmäßig berücksichtigt werden (Teilfaktor  $\lambda_2$ ). Diese hat jedoch nur Einfluss auf die Kollektivlänge (Anzahl der Beanspruchungsbeispiele) und damit nur geringen Einfluss auf die äquivalente Einstufenbelastung  $\Delta\sigma_e$ . Geringere dynamische Achslasten sowie geringere dynamische Metergewichte sind jedoch nicht direkt nutzbar, um kleinere Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  zu erhalten.

## 6. Literatur

- [1] Unterweger H., Taras A., Praxisnahe Berechnungsmethode für den Nachweis der Restlebensdauer stählerner Eisenbahnbrücken, Abschlussbericht zu ÖBB-Projekt, Institut für Stahlbau und Flächentragwerke, Dezember 2010
- [2] Unterweger H., Berücksichtigung der Betriebsbeanspruchung beim Ermüdungsnachweis von stählernen Eisenbahnbrücken, Dissertation an der TU Graz, 1993

# **ANHANG**

Vorschlag zur Neufassung der ONR 24008 - Nachweis zur  
Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken  
(inkl. Korrekturen und Ergänzung zu bestehender Fassung der  
ONR 24008)

**ÖBB**  
**Fahrweg – Ingenieurwesen**  
**Büro Linz**  
**Dipl.- Ing. Helmut Brunner**

Institut für Stahlbau  
Lessingstraße 25  
8010 Graz  
Vorstand: Univ.Prof. DI Dr.techn. H.Unterweger



**Vorschläge zur Neufassung der ONR 24008 –  
Bewertung der Tragfähigkeit  
bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken**

**Bearbeiter:**

Univ.Prof. DI Dr.techn. Harald Unterweger, DI Dr.techn. Andreas Taras

***September 2011***

# 1. Vorbemerkungen

Die nachfolgend dargestellten Vorschläge zur Neufassung der ONR 24008 beziehen sich grundsätzlich auf Stahltragwerke.

In erster Linie erfolgt ein Vorschlag für den Nachweis der Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken, der bisher in der ONR 24008, Ausgabe 2006-12-01, nicht enthalten ist.

Darüber hinaus erfolgen punktuelle Verbesserungsvorschläge der derzeitigen Fassung der ONR 24008 (Ausgabe 2006-12-01), in Hinblick auf eine eindeutige und zweifelsfreie Anwendung in der Praxis.

Alle nachfolgend genannten Vorschläge sind bereits als Normtext ausformuliert, wobei die Kapitelbezeichnung dem Aufbau der ONR 24008 entspricht.

Damit können die nun vorgeschlagenen Textbausteine unmittelbar in die bestehende Fassung der ONR 24008 eingebaut werden.

Sollte sich jedoch die Kapitelbezeichnung ändern, ist sinngemäß vorzugehen.

Einzig die Nummerierung der Formeln und Bilder für das Neukapitel der Restlebensdauer erfolgt hier unabhängig – beginnend mit Gleichung (1) bzw. Bild 1 – und ist an die Fassung der ONR 24008 noch entsprechend anzupassen. Dies gilt auch für die nachfolgend am Ende des Abschnitts 2 angeführten Literaturstellen, die in die Neufassung der ONR 24008 mit aufgenommen werden sollten.

## 2. Nachweis der Restlebensdauer bestehender Eisenbahnbrücken

*Anmerkung: Aufnahme als Kapitel 10.2.3 sinnvoll; das bestehende Kapitel 10.2.3 Genietete Konstruktionen sollte dann als Kapitel 10.2.4 bezeichnet werden.*

Der nachfolgend dargestellte Nachweis der Restlebensdauer ersetzt den Ermüdungsnachweis. Er ist bei genieteten, geschraubten und geschweißten Bestandstragwerken zu führen.

### 2.1 Allgemein

Ermittlungen von Restlebensdauern – trotz pauschaler Erfassung der Betriebszüge der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft – beinhalten viele Unwägbarkeiten. Dies ist vor allem durch die große Streubreite der Ermüdungsfestigkeit der betrachteten Konstruktionsdetails

bedingt. Eine um 10 % erhöhte Ermüdungsfestigkeit bedeutet beispielsweise bei einer Wöhlerlinienneigung von  $m = 3$  bzw. 5 bereits eine um 33 % bzw. 61 % längere Lebensdauer. Dies bedeutet, dass die errechneten Restlebensdauern nur als Richtwert anzusehen sind. Auch wenn rechnerisch keine Restlebensdauer mehr nachweisbar ist, muss nicht zwangsläufig eine Tragwerkssperre erfolgen. Vielmehr sind dann Überprüfungen hinsichtlich Ermüdungsrissen an den maßgebenden Stellen angezeigt und auf dem Ergebnis aufbauend spezifische Berechnungsmethoden auf Basis der Bruchmechanik sinnvoll, um zukünftige maximale Inspektionsintervalle festzulegen. Hinweise zur Vorgehensweise in diesen Fällen finden sich in [1].

Die Ermittlung der Restlebensdauer erfolgt getrennt für die Hauptbauteile des Tragwerks. Maßgebend ist dabei jeweils jenes Konstruktionsdetail, das eine geringe Ermüdungsfestigkeit aufweist – es legt den Bemessungsquerschnitt am jeweiligen Bauteil fest.

Folgende Hauptbauteile bzw. Querschnitte sind zu untersuchen:

(a) Hauptträger als Vollwandträger

Meist liegen die maßgebenden Konstruktionsdetails im Bereich Feldmitte. Bei mehrfeldrigen Tragwerken auch im Innenstützenbereich. Maßgebende Konstruktionsdetails sind beispielsweise Quersteifenanschlüsse an HT-Gurte oder Lamellenenden an HT-Gurten.

(b) Hauptträger als Fachwerkträger

*Ober- und Untergurte:* bei an die Beanspruchung angepassten Querschnitten sind nicht nur der zentrale Feld- bzw. der Innenstützbereich alleine zu untersuchen, sondern auch dazwischenliegende Gurtquerschnitte. Diese können bei Durchlaufträgern besonders dadurch gefährdet sein, dass je nach Laststellung sowohl Druck- als auch Zugspannungen auftreten können; dies führt u.U. zu einem größeren Spannungsspiel  $\Delta\sigma$  als in Bereichen mit größeren Absolutwerten der Spannungen, jedoch ohne Vorzeichenwechsel.

*Diagonalen und Pfostenstäbe:* Hier sind vor allem die Diagonalstäbe in Bereich Feldmitte von großer Bedeutung, wiederum wegen des hier unvermeidbaren Vorzeichenwechsels, sowie wegen der üblichen Anpassung der Stabquerschnitte an den statischen Beanspruchungsverlauf.

(c) Längsträger

Wesentlich ist es zu überprüfen, ob außer der lokalen Biegebeanspruchung auch eine Normalkraftbeanspruchung aus der globalen Tragwirkung (Mitwirkung zu den HT-

Gurten) vorliegt. Eine solche Mitwirkung liegt praktisch immer dann vor, wenn die Längsträger etwa in der gleichen Ebene der Hauptträger-Untergurte liegen und die Querträger keine ausgeprägte horizontale Verformbarkeit aufweisen.

#### (d) Querträger

Es gilt sinngemäß das für (a) Gesagte. Bei der üblichen Ausführung mit (biegesteif) durchlaufenden Längsträgern und gleicher konstruktiven Ausbildung aller Querträger entstehen die größten Beanspruchungen im ersten, zweiten oder dritten Querträger in Brückenlängsrichtung (je nach QT-Abstand). Dies gilt besonders auch dann, wenn die oben erwähnte Mitwirkung der Längsträger an der globalen Tragwirkung vorliegt, da diese Wirkung stets mit einer (planmäßig nicht gewollten) Zusatzbiegung um die schwache Achse der Querträger einhergeht und die äußersten Querträger von dieser Zwängung am meisten beansprucht werden.

## 2.2 Voraussetzung der Lebensdauerberechnung

Für die nachfolgend dargestellten Nachweisformate zur Restlebensdauer gelten folgende Voraussetzungen:

- Tragwerksverstärkungen innerhalb der Nutzungsdauer sind nicht erfassbar, d.h. signifikante Änderungen der Spannungsspiele am betrachteten Bauteilquerschnitt durch die Verstärkung. Die diesbezügliche Vorgehensweise ist in [2] dargestellt.
- Änderungen der Gleislage innerhalb der Nutzungsdauer sind nicht erfassbar (sinngemäß wie Tragwerksverstärkung).

## 2.3 NACHWEISFORMAT 1: Vereinfachte Nachweismethode auf Grundlage der Eurocode-Kollektivbeiwerte

Ziel dieser sehr einfachen und konservativen Vorgehensweise ist, rasch einen Überblick hinsichtlich ermüdungskritischer Bauteile und Konstruktionsdetails zu erhalten. Es wird dabei – seit Verkehrsfreigabe der Bestandsbrücke – dieselbe Betriebszugmischung vorausgesetzt, die aktuell und zukünftig auf Hauptstrecken im europäischen Streckennetz vorgesehen ist.

Die Ermittlung der Restlebensdauer für jeden betrachteten Bauteilquerschnitt erfordert die nachfolgend genannten Berechnungsschritte (a) bis (c).

- (a) Vorgehensweise wie beim Ermüdungsnachweis nach ÖNORM EN 1993-2 und Ermittlung der Schädigung  $D_{LD100}$  nach Gleichung (1) für eine angenommene Lebensdauer  $LD = 100$  Jahre (somit  $\lambda_3 = 1,0$ ):

$$D_{LD100} = (\gamma_{FF} \cdot \gamma_{MF})^5 \cdot \left( \frac{\Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71} \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_4}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \quad (1)$$

Es bedeuten:

$\gamma_{FF}, \gamma_{MF}$  ... Teilsicherheitsbeiwerte nach Abschnitt 9.3 in ÖNORM EN 1993-2. Bei Nachweisen im Bereich von Nietstößen wird  $\gamma_{MF} = 1,10$  empfohlen

$\Phi_2$  ... Schwingbeiwert nach ÖNORM EN 1991-2

$\Delta\sigma_{71}$  ... Spannungsschwingbreite aus dem Eisenbahnlastmodell 71, nach ÖNORM EN 1991-2

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$  ... Schädigungsäquivalenzfaktoren nach ÖNORM EN 1993-2

$\Delta\sigma_c$  ... Ermüdungsfestigkeiten nach ÖNORM EN 1993-1-9 bzw. für genietete Tragwerke nach Tabelle 16 unter Berücksichtigung des Faktors  $f(\kappa)$  für die Mittelspannungsabhängigkeit nach Bild 8 ( $\Delta\sigma_c = \Delta\sigma_{c,Kerbfall} \cdot f(\kappa)$ )

Anmerkung: Die Hochzahl 5 entspricht der Wöhlerlinienneigung für genietete Tragwerke (Bild 7) bzw. jener für  $5 \cdot 10^6 < N < 1 \cdot 10^8$  bei geschweißten oder geschraubten Tragwerken.

- (b) Ermittlung der aktuellen Lebensdauer

Die aktuelle Lebensdauer  $LD_{akt}$  ergibt sich aus der Zeitspanne seit dem Bau (Betriebsbeginn) bis zum aktuellen Zeitpunkt der Berechnung  $ZP_{ber}$

$$LD_{akt} = ZP_{ber} - \text{Baujahr} \quad (2)$$

Beispiel: Baujahr: 1937; Zeitpunkt der Berechnung: 2010;  $LD_{akt} = 2010 - 1937 = 73$  Jahre

- (c) Ermittlung der Restlebensdauer

Die errechnete Restlebensdauer RLD – in Jahren – entspricht der verbleibenden Lebensdauer ab dem Zeitpunkt der Berechnung  $ZP_{ber}$ :

$$RLD = 100/D_{LD100} - LD_{akt} \quad (3)$$

Ergeben sich negative Werte, so ist rechnerisch die Lebensdauer zum Zeitpunkt der Berechnung bereits erschöpft.

## 2.4 NACHWEISFORMAT 2: Nachweismethode unter Verwendung der Kollektivbeiwerte der Vergangenheit

Die Ermittlung der Restlebensdauer für jeden betrachteten Bauteilquerschnitt erfordert die nachfolgend genannten Berechnungsschritte (a) bis (d)

(a) Berechnung des zwischen dem Baujahr und dem Jahr 1996 akkumulierten Schadens  $D_{1996}$  aus dem Betrieb mittels Gleichung 4:

$$D_{1996} = (\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^5 \cdot \left( \frac{\lambda_{alt} \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \quad (4)$$

$$\text{mit: } \lambda_{alt} = \lambda_{1,alt} \cdot \lambda_{3,alt} \cdot \lambda_4 \quad (5)$$

Es bedeuten:

$\gamma_{Ff}$ ,  $\gamma_{Mf}$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Delta\sigma_{71}$ ,  $\lambda_4$ ,  $\Delta\sigma_c$ , ... wie bei Gleichung (1), siehe Abschnitt 2.3

$\lambda_{alt}$ ,  $\lambda_{1,alt}$ ,  $\lambda_{3,alt}$  ... Schadensäquivalenzfaktoren der Vergangenheit, s.Bild 1, auf Basis der Ergebnisse in DS 805 [3]

(Anm.: Bei Baujahren vor 1876 ist die Schädigung bis 1876 vernachlässigbar klein).

$L^*$  ... modifizierte Stützweite zur Ermittlung des Schadensäquivalenzfaktors  $\lambda_1$  nach ÖNORM EN 1993-2

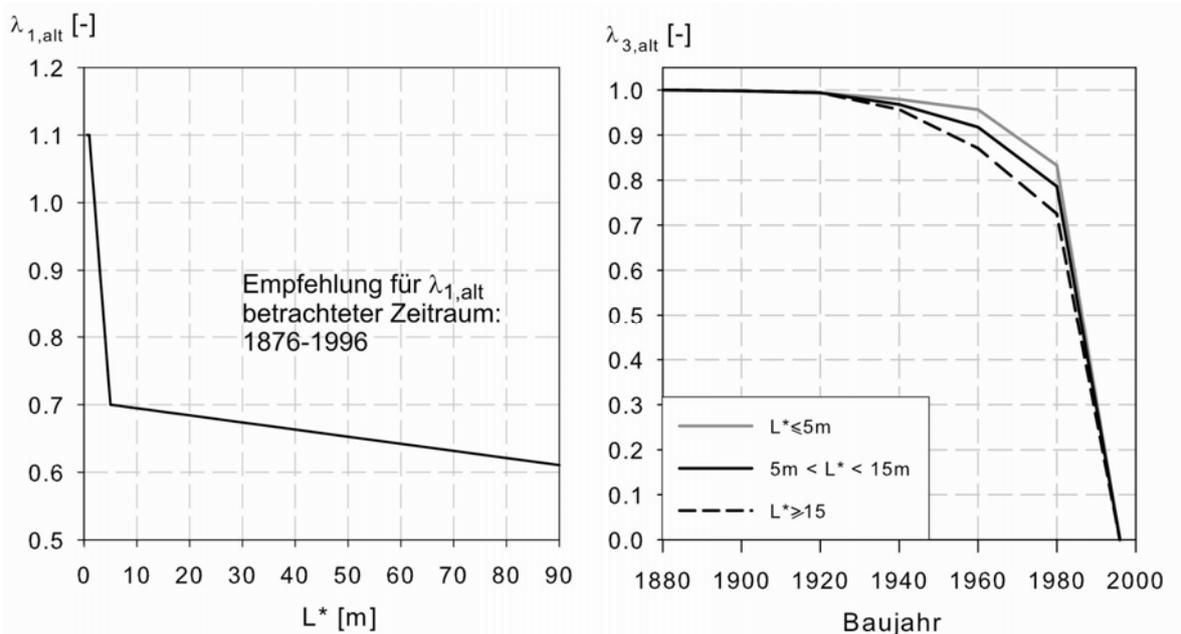


Bild 1: Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_{1,alt}$  und  $\lambda_{3,alt}$  (modifiziert aus [3])

Ergibt sich ein Wert  $D_{1996} > 1,0$  ist rechnerisch keine Restlebensdauer – über das Jahr 1996 hinaus – gegeben.

(b) Für den weiteren Betrieb noch verbleibender „Restschaden“ nach Gleichung (6)

$$D_{\text{rest}} = 1 - D_{1996} \quad (6)$$

(c) Berechnung des Schadens  $D_{\text{Jahr,neu}}$ , der in einem Jahr der Gegenwart bzw. Zukunft („neu“) akkumuliert wird.

$$D_{\text{Jahr,neu}} = \frac{(\gamma_{\text{Ff}} \cdot \gamma_{\text{Mf}})^5}{100} \cdot \left( \frac{\lambda_{\text{neu}} \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \quad (7)$$

$$\text{mit: } \lambda_{\text{neu}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_4 \quad (8)$$

Es bedeuten:

$\lambda_{\text{neu}}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$  ... Schädigungsäquivalenzfaktoren nach ÖNORM EN 1993-2 und einer Bezugs-Nutzungsdauer von 100 Jahren, basierend auf der auch für Neubauten angesetzten Streckenbelastung der Zukunft.

sonstige Symbole wie bei (a)

(d) Bestimmung der verbleibenden, rechnerischen Restlebensdauer RLD in Jahren ab dem Zeitpunkt (Jahr) der Berechnung  $ZP_{\text{ber}}$

$$\text{RLD} = \frac{D_{\text{rest}}}{D_{\text{Jahr,neu}}} - (ZP_{\text{ber}} - 1996) = \frac{1 - D_{1996}}{D_{\text{Jahr,neu}}} - (ZP_{\text{ber}} - 1996) \quad (9)$$

Negative Ergebnisse ( $\text{RLD} < 0$ ) bedeuten, dass die rechnerische Lebensdauer zum Zeitpunkt der Berechnung bereits erschöpft ist.

## 2.5 Erfassen von Sonderfällen

### 2.5.1. Lokale und globale Schädigungswirkung

Mitunter weisen Bauteilquerschnitte aus den Verkehrslasten nicht nur eine alleinige globale (Mitwirkung an der Haupttragwirkung in Brückenlängsrichtung) oder alleinige lokale Beanspruchung (zB Biegebeanspruchung der Fahrbahn) auf. Beispiele diesbezüglich – mit nennenswerten Anteilen aus beiden Tragwirkungen – sind:

- Längsträger der Fahrbahn bei Trogbriicken in klassischer Bauweise (offene Fahrbahn), die über Horizontalverbände bei den Lagern kraftschlüssig an die HT-Untergurte angeschlossen sind (lokale Biegebeanspruchung und „globale“ Normalkraftbeanspruchung)

- HT-Untergurte bei Trogbrücken mit orthotroper Fahrbahn und HT in Fachwerkbauweise im Falle von Zwischenquerträgern zwischen den fahrbahnseitigen Knotenpunkten des HT (hohe lokale Biegebeanspruchung und „globale“ Normalkraftbeanspruchung)

In derartigen Fällen sieht ÖNORM EN 1993-2 beim Ermüdungsnachweis eine Addition der beiden isolierten Teilwirkungen vor, sodass Gleichung (1) und (4) sinngemäß durch Gleichung (10) zu ersetzen sind. Dies bedeutet, dass für lokale (loc) und globale (glo) Beanspruchung getrennt jeweils die ungünstigste Beanspruchung  $\Delta\sigma_{71}$  sowie die zugehörigen Betriebsfaktoren  $\lambda_i$  ermittelt werden (unterschiedliche Längen  $L^*$  für  $\lambda_1$ ).

$$D = (\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^5 \cdot \left( \left( \frac{(\Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71} \cdot \lambda)_{loc}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 + \left( \frac{(\Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71} \cdot \lambda)_{glo}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \right) \quad (10)$$

Untersuchungen in [4] zeigten, dass diese geschilderte Vorgehensweise beim Ermüdungsnachweis in der Regel sehr konservative Ergebnisse liefert.

Da in der Praxis – insbesondere bei alten Bestandsbrücken – vielfach Fälle vorliegen wo eine der beiden Tragwirkungen deutlich, ist folgende vereinfachte Betrachtung sinnvoll:

- Gemeinsame Erfassung von lokaler und globaler Wirkung auf Basis der resultierenden Normalspannungen ( $\sigma_{ges,71} = \sigma_{loc,71} + \sigma_{glo,71}$ ) und Ermittlung der Restlebensdauer nach Abschnitt 2.3 und 2.4.
- Dabei werden die Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  für jene Länge  $L^*$  ermittelt, die der überwiegenden Beanspruchung entsprechen.
- Zur Kontrolle ob diese vereinfachte Vorgehensweise möglich ist, sollten für den betrachteten Bauteilquerschnitt die Einflusslinien in Brückenlängsrichtung für die Haupttragwirkung (global oder lokal) und für die resultierende Tragwirkung verglichen werden. Beide Einflusslinien sollten, zumindest hinsichtlich der Längen mit gleichem Vorzeichen der Einflussordinaten, annähernd übereinstimmen.

## 2.5.2. Erfassung der spezifischen Betriebsführung am Tragwerk

### 2.5.2.1. Geringe Streckenbelastung (Nebenstrecken)

Eine geringe Streckenbelastung SB (Angabe in Mio Tonnen je Betriebsjahr) ist durch den Schadensäquivalenzfaktor  $\lambda_2$  nach ÖNORM EN 1993-2 erfassbar, für den gilt:

$$\lambda_2 = \left( \frac{SB(\text{Mio to / Jahr})}{25 \cdot 10^6 (\text{Mio to / Jahr})} \right)^{1/5} \quad (11)$$

Beim Nachweiskonzept 2 nach Abschnitt 2.4 kann die Betriebsführung vor dem Jahr 1996 separat erfasst werden, indem in Gleichung (5) der Faktor  $\lambda_{2,\text{alt}}$  nach Gl. (12) miterfasst wird ( $\lambda_{\text{alt}} = \lambda_{1,\text{alt}} \cdot \lambda_{2,\text{alt}} \cdot \lambda_{3,\text{alt}} \cdot \lambda_4$ ).

$$\lambda_{2,\text{alt}} = \left( \frac{SB_{1980-1996}}{25 \cdot 10^6} \right)^5 \quad (12)$$

Es bedeuten:

$SB_{1980-1996}$  ... mittlere Streckenbelastung (Mio Tonnen je Jahr) innerhalb der Zeitperiode 1980 bis 1996

### 2.5.2.2. Erfassung der spezifischen Betriebsführung am Tragwerk

Insbesondere auf Nebenstrecken sind nicht nur die Streckenbelastungen SB deutlich kleiner, sondern auch der Betriebszugsmix enthält keine schweren Güterzüge.

Letztere sind indirekt – durch die Verwendung der  $\lambda_1$ -Werte aus ÖNORM EN 1993-2 – immer mit berücksichtigt. In begründeten Fällen können daher anstatt dessen die Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  nur einer Betriebszugstype (Personenzüge bzw. Triebwagen) angesetzt werden; Details s. [2].

### Literatur zu Neukapitel 2

- [1] KÜHN, B., LUKIC, B., NUSSBAUMER, A. ET AL., *Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life*. JRC Scientific and Technical reports, Joint Report Prepared under the JRC – ECCS cooperation agreement for the evolution of Eurocode 3, First Edition, 2008.
- [2] UNTERWEGER, H., TARAS, A., *Praxisnahe Berechnungsmethode für den Nachweis der Restlebensdauer stählerner Eisenbahnbrücken*, Dezember 2010
- [3] DEUTSCHE BAHN - RICHTLINIE RL 805 – *Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken*, DB Netz AG, Frankfurt a.M., 2002
- [4] UNTERWEGER, H., *Berücksichtigung der Betriebsbeanspruchung beim Ermüdungsnachweis von stählernen Eisenbahnbrücken*, Institutsveröffentlichung des Lehrstuhl für Stahlbau und Flächentragwerke, TU Graz, Heft 7 – 1996 (Publikation der gleichlautenden Dissertation).

### 3. Ergänzungen und Korrekturen zu ONR 24008

(Ausgabe 2006-12-01)

*Vorbemerkungen:*

- *Die nachfolgend angeführten Abschnittsnummerierungen und Bezeichnungen (zB Gleichungsnummern, Literaturnummern) entsprechen der ONR 24008, Fassung 2006-12-01.*
- *Nachfolgend schräg gestellter Text stellt Hinweise dar, wogegen der sonstige Text direkt als Textbaustein in der Neufassung der ONR 24008 verwendet werden sollte.*

#### 3.1 Nützliche Zusatzhinweise zur Erleichterung der praktischen Anwendung

- *Zusatzhinweise zu Tab. 2 in Abschnitt 6.2.2*

*Anwendungshinweis für Tab. 2:*

- *Die Zuordnung zu den angeführten ÖNORMEN sollte aus der Angabe der Originalstatik der Bestandstragwerke erfolgen. Liegen diese nicht vor, sollte die Zuordnung mit dem Baujahr des Bestandstragwerkes erfolgen.*
- *Bei den angegebenen Bandbreiten für die Zugfestigkeit sollte immer der kleinste Wert verwendet werden.*

- *Entfall der Tabelle 3*

*Da sämtliche Nachweise nach ONR 24008 auf das semi-probabilistische Sicherheitskonzept aufbauen, sind die Angaben von zulässigen Spannungen für den Anwender verwirrend.*

*Sollte die Tabelle 3 bleiben, sollte zumindest der vorstehende Satz wie folgt ergänzt werden:*

Für Vergleichszwecke gibt die Tabelle 3 die „zulässigen“ Spannungen an. Da jedoch sämtliche Nachweise bereits auf das semi-probabilistische Nachweiskonzept mit Teilsicherheitsfaktoren abgestimmt sind (vgl. Abschnitt 6.3 und 6.4) dürfen diese zulässigen Spannungen bei den Nachweisen selbst nicht angewendet werden.

- *Zusatzhinweis bzw. neue Anmerkung zu Abschnitt 6.3*

Die Nachweisführung nach Gleichung (6) gilt grundsätzlich für alle Arten der Tragsicherheitsnachweise (Querschnittsnachweise, Stabilitätsnachweise) und ist für alle Einzelbauteile bzw. Bauteilquerschnitte zu führen.

- *Zusatztext zu Abschnitt 6.4.8.2 (neuer erster Absatz)*

Bei Stahltragwerken erfolgt anstatt der Führung der Ermüdungsnachweise eine Ermittlung der Restlebensdauer die nach Abschnitt xxx dieser Richtlinie erfolgt.

- *Zusatztext zum letzten Absatz von Abschnitt 10.2.1 (ergänzende Erleichterung bei genauerer Materialuntersuchung)*

Konstruktionen, die aus Stählen hergestellt sind, die vor etwa 1930 gewalzt wurden – insbesondere Schweiß- und Flusseisen – gelten grundsätzlich als nicht schweißbar.

Durch ergänzende Materialprüfungen und erforderlichenfalls spezielle Schweißverfahren kann im Einzelfall die Schweißbeignung – zB für das Anschweißen von Verstärkungen – sichergestellt werden.

- *Zusatztext zu Genietete Konstruktionen, Abschnitt 10.2.3.2, 1. Absatz am Ende*

Die Festigkeitswerte nach Tabelle 15 ersetzen die in Tabelle 2 angegebenen Werte.

- *Zusatztext zu Abschnitt 10.2.3.5, am Ende des 2. Absatzes*

*Anm.: Für den Nachweis des unteren Grenzwertes der Gleitkräfte pro Scherfuge der Nieten fehlt die Angabe der anzusetzenden Einwirkungskombination.*

Vereinfacht brauchen beim Nachweis der Grenzgleitkraft in den Nieten bei Eisenbahnbrücken seitens der Einwirkungen nur die Vertikallasten aus dem Lastmodell 71, inklusive dynam. Beiwert  $\Phi_2$  jedoch mit Lastklassenbeiwert  $\alpha = 1,0$ , nach ÖNORM EN 1991-2 berücksichtigt werden. Wie beim Ermüdungsnachweis ist die Differenzscherkraft in der Niete aus dem Lastmodell 71 – ohne Teilsicherheitsfaktor  $\gamma_Q$  – den Werten der Grenzgleitkräfte aus Tabelle 17 gegenüberzustellen.

- *Zusatzhinweis zur Ermittlung von  $f(\kappa)$  in Abschnitt 10.2.3.6*

- Hinweis zur Ermittlung des Spannungsverhältnisses  $\kappa$ :

Für die Ermittlung von  $\kappa$  für das untersuchte Konstruktionsdetail ist die Kenntnis der Beanspruchung aus ständiger Last ( $\sigma_g$ ) sowie aus den ungünstigsten Verkehrslaststellungen aus dem Lastmodell 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes  $\Phi$  -  $\sigma_{\max,71}$  bzw.  $\sigma_{\min,71}$  notwendig. Alle Beanspruchungen gelten als charakteristische Werte, ohne Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_G$  bzw.  $\gamma_Q$

$$\kappa = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = (\sigma_g + \Phi \cdot \sigma_{\min,71}) / (\sigma_g + \Phi \cdot \sigma_{\max,71})$$

Dabei sind alle Spannungen mit ihren entsprechenden Vorzeichen einzusetzen.

- *Ergänzungstext zu Abschnitt 10.2.3.3, Neufassung des 2. Absatzes*

Die Ermüdungsfestigkeit genieteter Konstruktionen wird durch insgesamt fünf Wöhlerlinien beschrieben. Bei der Ermittlung der Spannungsamplituden – so sie die Rissbildung im Grundmaterial betreffen – gilt:

- betrachtete Niete im Zugbereich: Spannungsermittlung  $\sigma$  am Nettoquerschnitt (Abzug der Nietlöcher im betrachteten Schnitt)
- betrachtete Niete in Druckbereich: Spannungsermittlung  $\sigma$  am Bruttoquerschnitt

### **3.2 Redaktionelle Korrekturen (Schreibfehler)**

- *Abschnitt 9, falscher Literaturverweis*

*richtiger Text:*

... finden sich in der DAfStb-Richtlinie [13] und ...

- *Abschnitt 10.2.3.2, Schreibfehler in 4. Zeile von unten*

*richtiger Text:*

- Nachweis der Bauteilstabilität

- *Anhang A, Abschnitt (3), Schreibfehler*

*richtiger Text:*

(3) Eine dynamische Beurteilung ist in folgenden Fällen nicht notwendig:

**Vorschläge zur Neufassung der ONR 24008 –  
Bewertung der Tragfähigkeit  
bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken**

**Bearbeiter:**

Univ.Prof. DI Dr.techn. Harald Unterweger, DI Dr.techn. Andreas Taras,  
DI Helmut Brunner

***August 2012***

*Korrigierte, endgültige und von der AG Stahlbau freigegebene Druckform*

# **1. Vorbemerkungen**

Die nachfolgend dargestellten Vorschläge zur Neufassung der ONR 24008 beziehen sich grundsätzlich auf Stahltragwerke.

In erster Linie erfolgt ein Vorschlag für den Nachweis der Restlebensdauer von Eisenbahnbrücken, der bisher in der ONR 24008, Ausgabe 2006-12-01, nicht enthalten ist.

Darüber hinaus erfolgen punktuelle Verbesserungsvorschläge der derzeitigen Fassung der ONR 24008 (Ausgabe 2006-12-01), in Hinblick auf eine eindeutige und zweifelsfreie Anwendung in der Praxis.

Alle nachfolgend genannten Vorschläge sind bereits als Normtext ausformuliert, wobei die Kapitelbezeichnung dem Aufbau der ONR 24008 entspricht.

Damit können die nun vorgeschlagenen Textbausteine unmittelbar in die bestehende Fassung der ONR 24008 eingebaut werden.

Sollte sich jedoch die Kapitelbezeichnung ändern, ist sinngemäß vorzugehen.

Einzig die Nummerierung der Formeln und Bilder für das Neukapitel der Restlebensdauer erfolgt hier unabhängig – beginnend mit Gleichung (1) bzw. Bild 1 – und ist an die Fassung der ONR 24008 noch entsprechend anzupassen. Dies gilt auch für die nachfolgend am Ende des Abschnitts 2 angeführten Literaturstellen, die in die Neufassung der ONR 24008 mit aufgenommen werden sollten.

## **2. Neue Ergänzung (Kapitel 10.2.3)**

### **Nachweis der Restlebensdauer bestehender Eisenbahnbrücken**

Der nachfolgend dargestellte Nachweis der Restlebensdauer ersetzt den Ermüdungsnachweis laut ÖNORM EN 1991 – 2, EN 1993 – 2 und EN 1993 – 1 - 9. Dabei wird jedoch weiterhin das Wöhlerlinienkonzept beschränkt und der Ermüdungsnachweis wird nur umformuliert, sodass dessen Ausnutzungsgrad in eine Ermüdungsschädigung umgerechnet wird.

Die so rechnerisch ermittelte Restlebensdauer definiert somit jenen zukünftigen Zeitpunkt bei dem der Ermüdungsnachweis für das bestehende Brückentragwerk zur Gänze ausgenutzt wird (Ausnutzungsgrad bei Ermüdung = 100 %).

Der Nachweis der Restlebensdauer ist bei genieteten, geschraubten und geschweißten Bestandstragwerken zu führen.

### **10.2.3.1. Allgemein**

Ermittlungen von Restlebensdauern – trotz pauschaler Erfassung der Betriebszüge der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft – beinhalten viele Unwägbarkeiten. Dies ist vor allem durch die große Streubreite der Ermüdungsfestigkeit der betrachteten Konstruktionsdetails bedingt. Eine um 10 % erhöhte Ermüdungsfestigkeit bedeutet beispielsweise bei einer Wöhlerlinienneigung von  $m = 3$  bzw. 5 bereits eine um 33 % bzw. 61 % längere Lebensdauer. Dies bedeutet, dass die errechneten Restlebensdauern nur als Richtwert anzusehen sind. Auch wenn rechnerisch keine Restlebensdauer mehr nachweisbar ist, muss nicht zwangsläufig eine Tragwerkssperre erfolgen. Vielmehr sind dann Überprüfungen hinsichtlich Ermüdungsrissen an den maßgebenden Stellen angezeigt und auf dem Ergebnis aufbauend spezifische Berechnungsmethoden auf Basis der Bruchmechanik sinnvoll, um zukünftige maximale Inspektionsintervalle festzulegen. Hinweise zur Vorgehensweise in diesen Fällen finden sich in [1].

Die Ermittlung der Restlebensdauer erfolgt getrennt für die tragenden Teile des Brückentragwerks. Maßgebend ist dabei jeweils jenes Konstruktionsdetail, das eine geringe Ermüdungsfestigkeit aufweist – es legt den Bemessungsquerschnitt am jeweiligen Bauteil fest.

Folgende Hauptbauteile bzw. Querschnitte sind zu untersuchen:

#### (a) Hauptträger als Vollwandträger

Meist liegen die maßgebenden Konstruktionsdetails im Bereich Feldmitte. Bei mehrfeldrigen Tragwerken auch im Innenstützenbereich. Maßgebende Konstruktionsdetails sind beispielsweise Quersteifenanschlüsse an HT-Gurte oder Lamellenenden an HT-Gurten.

#### (b) Hauptträger als Fachwerkträger

*Ober- und Untergurte:* bei an die Beanspruchung angepassten Querschnitten sind nicht nur der zentrale Feld- bzw. der Innenstützbereich alleine zu untersuchen, sondern auch dazwischenliegende Gurtquerschnitte. Diese können bei Durchlaufträgern besonders dadurch gefährdet sein, dass je nach Laststellung sowohl Druck- als auch Zugspannungen auftreten können; dies führt u.U. zu einem größeren Spannungsspiel  $\Delta\sigma$  als in Bereichen mit größeren Absolutwerten der Spannungen, jedoch ohne Vorzeichenwechsel.

*Diagonalen und Pfostenstäbe:* Hier sind vor allem die Diagonalstäbe in Bereich Feldmitte von großer Bedeutung, wiederum wegen des hier unvermeidbaren Vorzeichenwechsels, sowie wegen der üblichen Anpassung der Stabquerschnitte an den statischen Beanspruchungsverlauf.

(c) Längsträger

Wesentlich ist es zu überprüfen, ob außer der lokalen Biegebeanspruchung auch eine Normalkraftbeanspruchung aus der globalen Tragwirkung (Mitwirkung zu den HT-Gurten) vorliegt. Eine solche Mitwirkung liegt praktisch immer dann vor, wenn die Längsträger etwa in der gleichen Ebene der Hauptträger-Untergurte liegen und die Querträger keine ausgeprägte horizontale Verformbarkeit aufweisen.

(d) Querträger

Es gilt sinngemäß das für (a) Gesagte. Bei der üblichen Ausführung mit (biegesteif) durchlaufenden Längsträgern und gleicher konstruktiven Ausbildung aller Querträger entstehen die größten Beanspruchungen im ersten, zweiten oder dritten Querträger in Brückenlängsrichtung (je nach QT-Abstand). Dies gilt besonders auch dann, wenn die oben erwähnte Mitwirkung der Längsträger an der globalen Tragwirkung vorliegt, da diese Wirkung stets mit einer (planmäßig nicht gewollten) Zusatzbiegung um die schwache Achse der Querträger einhergeht und die äußersten Querträger von dieser Zwängung am meisten beansprucht werden.

### **10.2.3.2. Voraussetzung der Lebensdauerberechnung**

Für die nachfolgend dargestellten Nachweisformate zur Restlebensdauer gelten folgende Voraussetzungen:

- Tragwerksverstärkungen innerhalb der Nutzungsdauer sind nicht erfassbar, d.h. signifikante Änderungen der Spannungsspiele am betrachteten Bauteilquerschnitt durch die Verstärkung. Die diesbezügliche Vorgehensweise ist in [2] dargestellt.
- Änderungen der Gleislage innerhalb der Nutzungsdauer sind nicht erfassbar (sinngemäß wie Tragwerksverstärkung).

### 10.2.3.3. NACHWEISFORMAT 1: Vereinfachte Nachweismethode auf Grundlage der Eurocode-Kollektivbeiwerte

Ziel dieser sehr einfachen und konservativen Vorgehensweise ist, rasch einen Überblick hinsichtlich ermüdungskritischer Bauteile und Konstruktionsdetails zu erhalten. Es wird dabei – seit Verkehrsfreigabe der Bestandsbrücke so wie auch in Zukunft – dieselbe Betriebszugmischung vorausgesetzt.

Die Ermittlung der Restlebensdauer für jeden betrachteten Bauteilquerschnitt erfordert die nachfolgend genannten Berechnungsschritte (a) bis (c).

(a) Vorgehensweise wie beim Ermüdungsnachweis nach ÖNORM EN 1993-2 und Ermittlung der Schädigung  $D_{LD100}$  nach Gleichung (1) für eine angenommene Lebensdauer  $LD = 100$  Jahre (somit  $\lambda_3 = 1,0$ ):

$$D_{LD100} = (\gamma_{FF} \cdot \gamma_{MF})^5 \cdot \left( \frac{\Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71} \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_4}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \quad (1)$$

Es bedeuten:

$\gamma_{FF}, \gamma_{MF}$  ... Teilsicherheitsbeiwerte nach Abschnitt 9.3 in ÖNORM EN 1993-2. Bei Nachweisen im Bereich von Nietverbindungen ist in der Regel  $\gamma_{MF} = 1,10$  zu verwenden.

$\Phi_2$  ... Schwingbeiwert nach ÖNORM EN 1991-2

$\Delta\sigma_{71}$  ... Spannungsschwingbreite aus dem Eisenbahnlastmodell 71, nach ÖNORM EN 1991-2

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$  ... Schädigungsäquivalenzfaktoren nach ÖNORM EN 1993-2; ergänzend gilt:  $\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_4 \leq 1,40$ .

$\Delta\sigma_c$  ... Ermüdungsfestigkeiten nach ÖNORM EN 1993-1-9 bzw. für genietete Tragwerke nach Tabelle 16 unter Berücksichtigung des Faktors  $f(\kappa)$  für die Mittelspannungsabhängigkeit nach Bild 8 ( $\Delta\sigma_c = \Delta\sigma_{c,Kerbfall} \cdot f(\kappa)$ )

Anmerkung: Die Hochzahl 5 entspricht der Wöhlerlinienneigung für genietete Tragwerke (Bild 7) bzw. jener für  $5 \cdot 10^6 < N < 1 \cdot 10^8$  bei geschweißten oder geschraubten Tragwerken.

#### Anmerkung zu den Schadensäquivalenzfaktoren $\lambda_1, \lambda_2$ :

Für die Werte von  $\lambda_1$  (Spannweitenbeiwert für einen bestimmten Verkehr bzw. für eine bestimmte Verkehrsmischung) und  $\lambda_2$  (Verkehrsstärkebeiwert) müssen nicht die für Neubauten vorgeschriebenen Werte verwendet werden. Diese Werte können alternativ durch Analyse des vergangenen und des zu erwartenden Verkehrs, in Abhängigkeit der jeweiligen Strecke (z.B. Heranziehung von alten Fahrplänen, Aufzeichnungen über Streckenbelastungen, Achslastverzeichnisse), festgelegt werden.

#### (b) Ermittlung der aktuellen Lebensdauer

Die aktuelle Lebensdauer  $LD_{akt}$  ergibt sich aus der Zeitspanne seit dem Bau (Baujahr = Betriebsbeginn) bis zum aktuellen Zeitpunkt der Berechnung  $ZP_{ber}$

$$LD_{akt} = ZP_{ber} - \text{Baujahr} \quad (2)$$

Beispiel: Baujahr: 1937; Zeitpunkt der Berechnung: 2010;  $LD_{akt} = 2010 - 1937 = 73$  Jahre

#### (c) Ermittlung der Restlebensdauer

Die errechnete Restlebensdauer RLD – in Jahren – entspricht der verbleibenden Lebensdauer ab dem Zeitpunkt der Berechnung  $ZP_{ber}$ :

$$RLD = 100 / D_{LD100} - LD_{akt} \quad (3)$$

Ergeben sich negative Werte, so ist rechnerisch die Lebensdauer zum Zeitpunkt der Berechnung bereits erschöpft.

### **10.2.3.4. NACHWEISFORMAT 2: Nachweismethode unter Verwendung der Kollektivbeiwerte der Vergangenheit**

Die Ermittlung der Restlebensdauer für jeden betrachteten Bauteilquerschnitt erfordert die nachfolgend genannten Berechnungsschritte (a) bis (d)

(a) Berechnung des zwischen dem Baujahr und dem Jahr 1996 akkumulierten Schadens  $D_{1996}$  aus dem Betrieb mittels Gleichung 4:

$$D_{1996} = (\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^5 \cdot \left( \frac{\lambda_{alt} \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \quad (4)$$

$$\text{mit: } \lambda_{alt} = \lambda_{1,alt} \cdot \lambda_{3,alt} \cdot \lambda_4 \quad (5)$$

Es bedeuten:

$\gamma_{FF}$ ,  $\gamma_{Mf}$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Delta\sigma_{71}$ ,  $\lambda_4$ ,  $\Delta\sigma_c$ , ... wie bei Gleichung (1), siehe Abschnitt 10.2.3.3

$\lambda_{alt}$ ,  $\lambda_{1,alt}$ ,  $\lambda_{3,alt}$  ... Schadensäquivalenzfaktoren der Vergangenheit, s.Bild 1, auf Basis der Ergebnisse in DS 805 [3]

(Anm.: Bei Baujahren vor 1876 ist die Schädigung bis 1876 vernachlässigbar klein).

$L^*$  ... modifizierte Stützweite zur Ermittlung des Schadensäquivalenzfaktors  $\lambda_1$  nach ÖNORM EN 1993-2

Anmerkung:

Die Festlegung, dass die Schädigungsberechnung infolge der Betriebszüge der Vergangenheit bis zum Zeitpunkt 1996 erfolgt, ist an sich willkürlich gewählt – dies erfolgt in Anpassung an die Ergebnisse aus [3].

Seit 1980 sind darin implizit bereits die Auswirkungen der Verkehrsmischung nach Eurocode („EC-Mix“) mitenthalten.

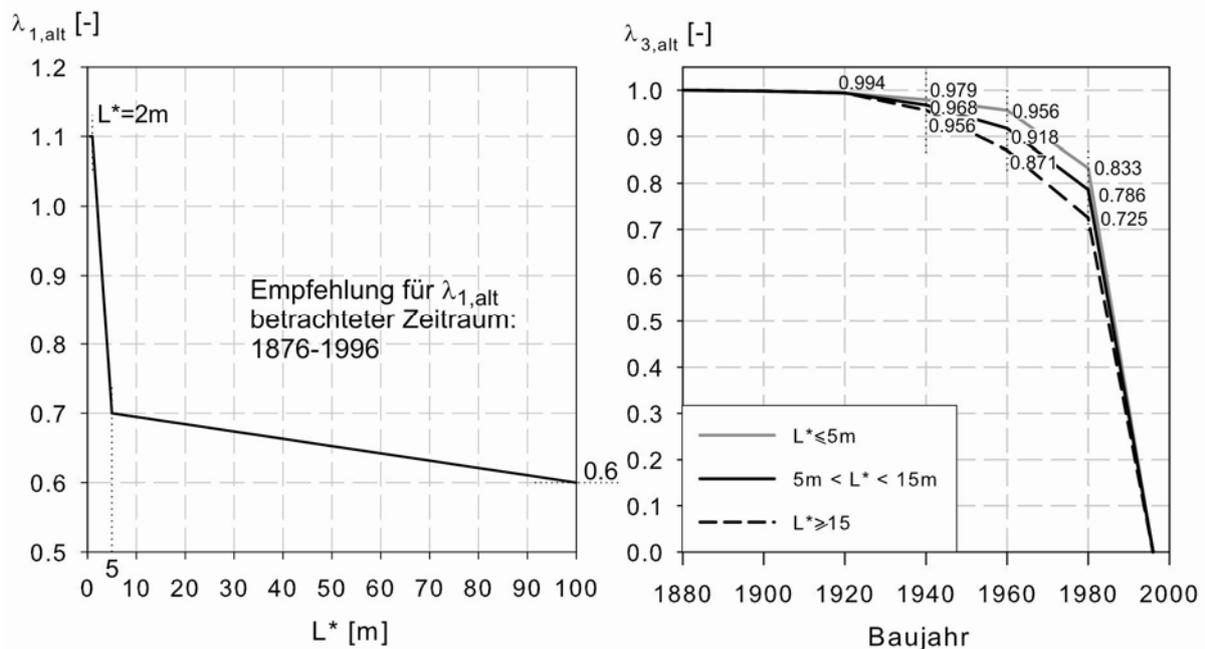


Bild 1: Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_{1,alt}$  und  $\lambda_{3,alt}$  (modifiziert aus [3])

Ergibt sich ein Wert  $D_{1996} > 1,0$  ist rechnerisch keine Restlebensdauer – über das Jahr 1996 hinaus – gegeben.

(b) Für den weiteren Betrieb noch verbleibender „Restschaden“ nach Gleichung (6)

$$D_{rest} = 1 - D_{1996} \tag{6}$$

- (c) Berechnung des Schadens  $D_{\text{Jahr,neu}}$ , der in einem Jahr der Gegenwart bzw. Zukunft („neu“) akkumuliert wird.

$$D_{\text{Jahr,neu}} = \frac{(\gamma_{\text{Ff}} \cdot \gamma_{\text{Mf}})^5}{100} \cdot \left( \frac{\lambda_{\text{neu}} \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \quad (7)$$

$$\text{mit: } \lambda_{\text{neu}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_4 \quad (8)$$

Es bedeuten:

$\lambda_{\text{neu}}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$  ... Schädigungsäquivalenzfaktoren nach ÖNORM EN 1993-2 und einer Bezugs-Nutzungsdauer von 100 Jahren, basierend auf der auch für Neubauten angesetzten Streckenbelastung der Zukunft.

Dabei gilt:  $\lambda_{\text{neu}} \leq 1,40$

sonstige Symbole wie bei (a)

- (d) Bestimmung der verbleibenden, rechnerischen Restlebensdauer RLD in Jahren ab dem Zeitpunkt (Jahr) der Berechnung  $ZP_{\text{ber}}$

$$\text{RLD} = \frac{D_{\text{rest}}}{D_{\text{Jahr,neu}}} - (ZP_{\text{ber}} - 1996) = \frac{1 - D_{1996}}{D_{\text{Jahr,neu}}} - (ZP_{\text{ber}} - 1996) \quad (9)$$

Negative Ergebnisse ( $\text{RLD} < 0$ ) bedeuten, dass die rechnerische Lebensdauer zum Zeitpunkt der Berechnung bereits erschöpft ist.

### 10.2.3.5. Erfassen von Sonderfällen

#### 10.2.3.5.1 Lokale und globale Schädigungswirkung

Mitunter weisen Bauteilquerschnitte aus den Verkehrslasten nicht nur eine alleinige globale (Mitwirkung an der Haupttragwirkung in Brückenlängsrichtung) oder alleinige lokale Beanspruchung (zB Biegebeanspruchung der Fahrbahn) auf. Beispiele diesbezüglich – mit nennenswerten Anteilen aus beiden Tragwirkungen – sind:

- Längsträger der Fahrbahn bei Trogbrücken in klassischer Bauweise (offene Fahrbahn), die über Horizontalverbände bei den Lagern kraftschlüssig an die HT-Untergurte angeschlossen sind (lokale Biegebeanspruchung und „globale“ Normalkraftbeanspruchung)
- HT-Untergurte bei Trogbrücken mit orthotroper Fahrbahn und HT in Fachwerkbauweise im Falle von Zwischenquerträgern zwischen den fahrbahnseitigen Knotenpunkten des HT (hohe lokale Biegebeanspruchung und „globale“ Normalkraftbeanspruchung)

In derartigen Fällen sieht ÖNORM EN 1993-2 beim Ermüdungsnachweis eine Addition der beiden isolierten Teilwirkungen vor, sodass Gleichung (1) und (4) sinngemäß durch Gleichung (10) zu ersetzen sind. Dies bedeutet, dass für lokale (loc) und globale (glo) Beanspruchung getrennt jeweils die ungünstigste Beanspruchung  $\Delta\sigma_{71}$  sowie die zugehörigen Betriebsfaktoren  $\lambda_i$  ermittelt werden (unterschiedliche Längen  $L^*$  für  $\lambda_1$ ).

$$D = (\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^5 \cdot \left( \left( \frac{(\Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71} \cdot \lambda)_{loc}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 + \left( \frac{(\Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71} \cdot \lambda)_{glo}}{\Delta\sigma_c} \right)^5 \right) \quad (10)$$

Untersuchungen in [4] zeigten, dass diese geschilderte Vorgehensweise beim Ermüdungsnachweis in der Regel sehr konservative Ergebnisse liefert.

Da in der Praxis – insbesondere bei alten Bestandsbrücken – vielfach Fälle vorliegen wo eine der beiden Tragwirkungen deutlich überwiegt, ist folgende vereinfachte Betrachtung zulässig:

- Gemeinsame Erfassung von lokaler und globaler Wirkung auf Basis der resultierenden Normalspannungen ( $\sigma_{ges,71} = \sigma_{loc,71} + \sigma_{glo,71}$ ; idente Laststellung für globale u. lokale Wirkung) und Ermittlung der Restlebensdauer nach Abschnitt 2.3 und 2.4.
- Dabei werden die Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  für jene Länge  $L^*$  ermittelt, die der überwiegenden Beanspruchung entsprechen.
- Zur Kontrolle ob diese vereinfachte Vorgehensweise möglich ist, sollten für den betrachteten Bauteilquerschnitt die Einflusslinien in Brückenlängsrichtung für die maßgebende Haupttragwirkung (global oder lokal) und für die resultierende Tragwirkung (Spannungseinflusslinie „ $\sigma_{EL}$ “ im maßgebenden Punkt auf Basis der Schnittkraft-Einflusslinien für globale und lokale Tragwirkung; zB „ $\sigma_{EL}$ “ = „N“/A + „M“/W) verglichen werden. Beide Einflusslinien sollten, zumindest hinsichtlich der Längen mit gleichem Vorzeichen der Einflussordinaten, annähernd übereinstimmen.

#### 10.2.3.5.2 Erfassung der spezifischen Betriebsführung am Tragwerk

##### a) Geringe Streckenbelastung (Nebenstrecken)

Eine geringe Streckenbelastung SB (Angabe in Mio Tonnen je Betriebsjahr) ist durch den Schadensäquivalenzfaktor  $\lambda_2$  nach ÖNORM EN 1993-2 erfassbar, für den gilt:

$$\lambda_2 = \left( \frac{SB(\text{Mio to} / \text{Jahr})}{25 \cdot 10^6 (\text{Mio to} / \text{Jahr})} \right)^{1/5} \quad (11)$$

Beim Nachweiskonzept 2 nach Abschnitt 10.2.3.4 kann die Betriebsführung vor dem Jahr 1996 separat erfasst werden, indem in Gleichung (5) der Faktor  $\lambda_{2,alt}$  nach Gl. (12) miterfasst wird ( $\lambda_{alt} = \lambda_{1,alt} \cdot \lambda_{2,alt} \cdot \lambda_{3,alt} \cdot \lambda_4$ ).

$$\lambda_{2,alt} = \left( \frac{SB_{1980-1996}}{25 \cdot 10^6} \right)^5 \quad (12)$$

Es bedeuten:

$SB_{1980-1996}$  ... mittlere Streckenbelastung (Mio Tonnen je Jahr) innerhalb der Zeitperiode 1980 bis 1996

### **b) Erfassung der spezifischen Betriebsführung am Tragwerk**

Insbesondere auf Nebenstrecken sind nicht nur die Streckenbelastungen SB deutlich kleiner, sondern auch der Betriebszugsmix enthält keine schweren Güterzüge.

Letztere sind indirekt – durch die Verwendung der  $\lambda_1$ -Werte aus ÖNORM EN 1993-2 – immer mit berücksichtigt. In begründeten Fällen können daher anstatt dessen die Betriebsfaktoren  $\lambda_1$  nur einer Betriebszugstype (Personenzüge bzw. Triebwagen) angesetzt werden; Details s. [2].

### **Literatur zu Neukapitel 10.2.3**

- [1] KÜHN, B., LUKIC, B., NUSSBAUMER, A. ET AL., *Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life*. JRC Scientific and Technical reports, Joint Report Prepared under the JRC – ECCS cooperation agreement for the evolution of Eurocode 3, First Edition, 2008.
- [2] UNTERWEGER, H., TARAS, A., *Praxisnahe Berechnungsmethode für den Nachweis der Restlebensdauer stählerner Eisenbahnbrücken*, Dezember 2010
- [3] DEUTSCHE BAHN - RICHTLINIE RL 805 – *Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken*, DB Netz AG, Frankfurt a.M., 2002
- [4] UNTERWEGER, H., *Berücksichtigung der Betriebsbeanspruchung beim Ermüdungsnachweis von stählernen Eisenbahnbrücken*, Institutsveröffentlichung des Lehrstuhl für Stahlbau und Flächentragwerke, TU Graz, Heft 7 – 1996 (Publikation der gleichlautenden Dissertation).

### 3 Ergänzungen und Korrekturen zu ONR 24008

(Ausgabe 2006-12-01)

*Vorbemerkungen:*

- Die nachfolgend angeführten Abschnittsnummerierungen und Bezeichnungen (zB Gleichungsnummern, Literaturnummern) entsprechen der ONR 24008, Fassung 2006-12-01.
- Nachfolgend schräg gestellter Text stellt Hinweise dar, wogegen der sonstige Text direkt als Textbaustein in der Neufassung der ONR 24008 verwendet werden sollte.

#### 3.1 Nützliche Zusatzhinweise zur Erleichterung der praktischen Anwendung

- *Zusatzhinweise zu Tab. 2 in Abschnitt 6.2.2*

Anwendungshinweis für Tab. 2:

- Die Zuordnung zu den angeführten ÖNORMEN kann aus der Angabe in der Originalstatik des Bestandstragwerkes erfolgen. Liegt dies nicht vor, hat die Zuordnung mit dem Baujahr des Bestandstragwerkes zu erfolgen.
- Bei den angegebenen Bandbreiten für die Zugfestigkeit ist immer der kleinste Wert zu verwenden.

- *Textergänzung zum Satz vor Tabelle 3*

Für Vergleichszwecke gibt die Tabelle 3 die „zulässigen“ Spannungen an. Da jedoch sämtliche Nachweise laut ONR 24008 bereits auf das semi-probabilistische Nachweiskonzept mit Teilsicherheitsfaktoren abgestimmt sind (vgl. Abschnitt 6.3 und 6.4) dürfen diese zulässigen Spannungen bei den Nachweisen selbst nicht angewendet werden.

- *Zusatzhinweis bzw. neue Anmerkung zu Abschnitt 6.3*

Die Nachweisführung nach Gleichung (6) gilt grundsätzlich für alle Arten der Tragsicherheitsnachweise (Querschnittsnachweise, Stabilitätsnachweise) und ist für alle Einzelbauteile bzw. Bauteilquerschnitte zu führen.

- *Zusatztext zu Abschnitt 6.4.8.2 (neuer erster Absatz)*

Bei Stahltragwerken erfolgt anstatt der Führung der Ermüdungsnachweise eine Ermittlung der Restlebensdauer die nach Abschnitt xxx dieser Richtlinie erfolgt.

- *Zusatztext zum letzten Absatz von Abschnitt 10.2.1 (ergänzende Erleichterung bei genauerer Materialuntersuchung)*

Konstruktionen, die aus Stählen hergestellt sind, die vor etwa 1930 gewalzt wurden – insbesondere Schweiß- und Flusseisen – gelten grundsätzlich als nicht schweißbar.

Durch ergänzende Materialprüfungen und erforderlichenfalls spezielle Schweißverfahren kann im Einzelfall die Schweißbeignung – zB für das Anschweißen von Verstärkungen – sichergestellt werden.

- *Zusatztext zu Genietete Konstruktionen, Abschnitt 10.2.3.2, 1. Absatz am Ende*

Die Festigkeitswerte nach Tabelle 15 ersetzen die in Tabelle 2 angegebenen Werte.

- *Zusatztext zu Abschnitt 10.2.3.5, am Ende des 2. Absatzes*

*Anm.: Für den Nachweis des unteren Grenzwertes der Gleitkräfte pro Scherfuge der Niete fehlt die Angabe der anzusetzenden Einwirkungskombination.*

Vereinfacht brauchen beim Nachweis der Grenzgleitkraft in den Niete bei Eisenbahnbrücken seitens der Einwirkungen nur die Vertikallasten aus dem Lastmodell 71, inklusive dynam. Beiwert  $\Phi_2$  jedoch mit Lastklassenbeiwert  $\alpha = 1,0$ , nach ÖNORM EN 1991-2 berücksichtigt werden. Wie beim Ermüdungsnachweis ist die Differenzscherkraft in der Niete aus dem Lastmodell 71 – ohne Teilsicherheitsfaktor  $\gamma_Q$  – den Werten der Grenzgleitkräfte aus Tabelle 17 gegenüberzustellen.

- *Zusatzhinweis zur Ermittlung von  $f(\kappa)$  in Abschnitt 10.2.3.6*

- Hinweis zur Ermittlung des Spannungsverhältnisses  $\kappa$  in Bild 8:

Für die Ermittlung von  $\kappa$  für das untersuchte Konstruktionsdetail ist die Kenntnis der Beanspruchung aus ständiger Last ( $\sigma_g$ ) sowie aus den ungünstigsten Verkehrslaststellungen aus dem Lastmodell 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes  $\Phi - \sigma_{\max,71}$  bzw.  $\sigma_{\min,71}$  notwendig. Alle Beanspruchungen gelten als charakteristische Werte, ohne Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_G$  bzw.  $\gamma_Q$

$$\kappa = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = (\sigma_g + \Phi \cdot \sigma_{\min,71}) / (\sigma_g + \Phi \cdot \sigma_{\max,71})$$

Dabei ist  $\sigma_{\min}$  die dem Betrag nach kleinere Spannung und  $\sigma_{\max}$  die dem Betrag nach größere Spannung. Beide Spannungen sind mit ihren entsprechenden Vorzeichen einzusetzen.

- *Ergänzungstext zu Abschnitt 10.2.3.3, Neufassung des 2. Absatzes*

Die Ermüdungsfestigkeit genieteteter Konstruktionen wird durch insgesamt fünf Wöhlerlinien beschrieben. Bei der Ermittlung der Spannungsamplituden – so sie die Rissbildung im Grundmaterial betreffen – gilt:

- betrachtete Niete im Zugbereich: Spannungsermittlung  $\sigma$  am Nettoquerschnitt (Abzug der Nietlöcher im betrachteten Schnitt)
- betrachtete Niete in Druckbereich: Spannungsermittlung  $\sigma$  am Bruttoquerschnitt

### **3.2 Redaktionelle Korrekturen (Schreibfehler)**

- *Abschnitt 9, falscher Literaturverweis*

*richtiger Text:*

... finden sich in der DAfStb-Richtlinie [13] und ...

- *Abschnitt 10.2.3.6, falscher Verweis am Beginn des 1. Satzes*

*richtiger Text:*

Die in Bild 7 dargestellten Bemessungslinien ...

- *Abschnitt 10.2.3.2, Schreibfehler in 4. Zeile von unten*

*richtiger Text:*

- Nachweis der Bauteilstabilität

- *Anhang A, Abschnitt (3), Schreibfehler*

*richtiger Text:*

(3) Eine dynamische Beurteilung ist in folgenden Fällen nicht notwendig: