

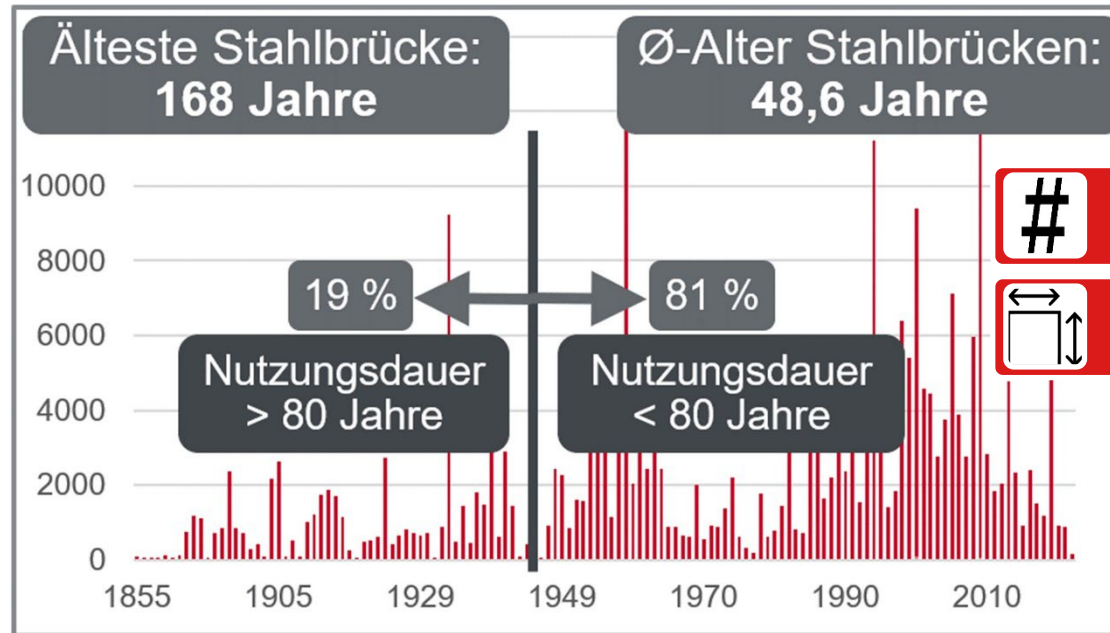
COMET-Forschungsprojekt Rail4Future

Area 3.1: Zuverlässige Stahlbrücken

Ergebnisse und Erkenntnisse – Beispiel Salzachbrücke Eschenau



Franz Forstlechner - ÖBB-Infrastruktur AG
Stefan Lachinger - AIT Austrian Institute of Technology



Altersverteilung Stahlbrücken der
ÖBB-Infrastruktur 1855 – 2023

1.447 Stück

268.787 m²

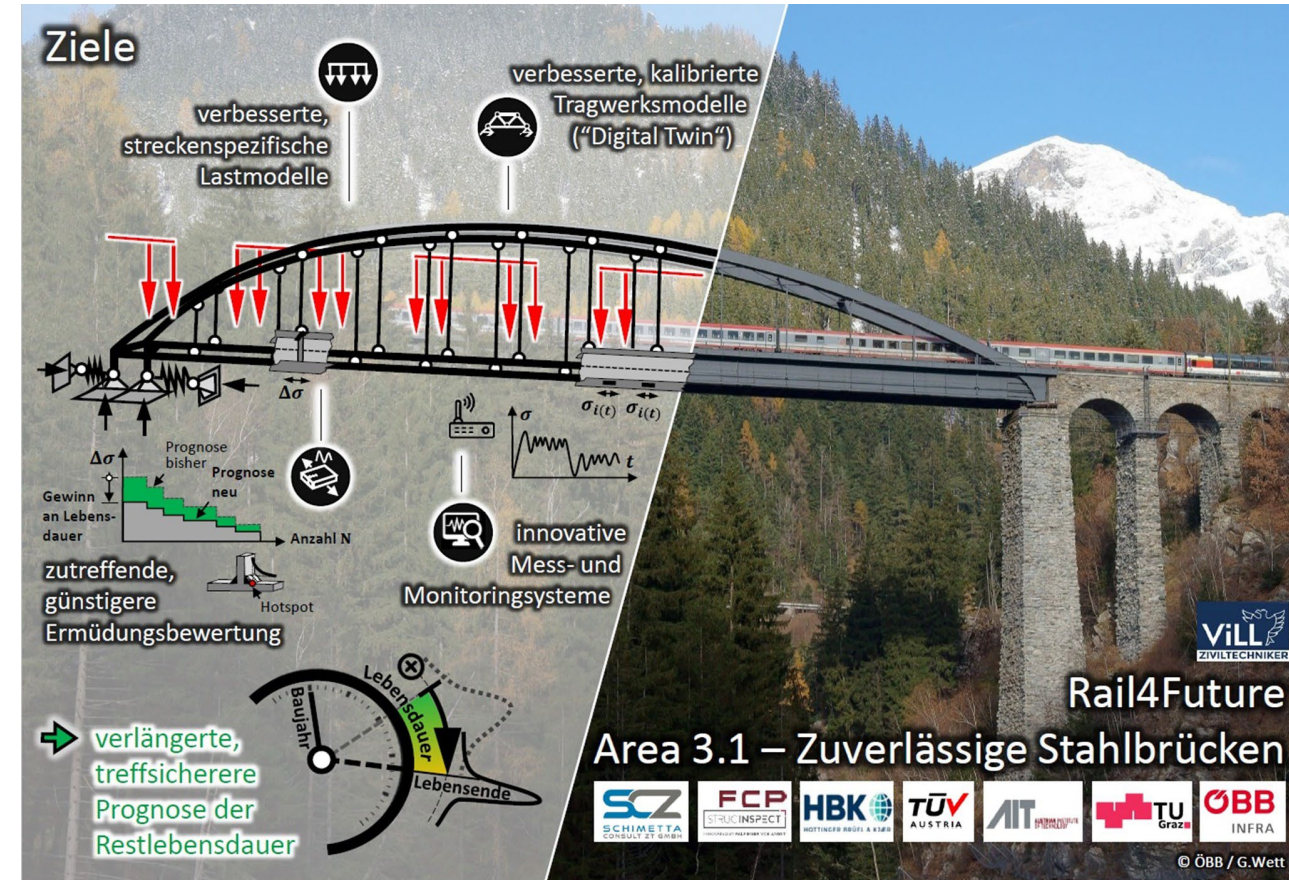
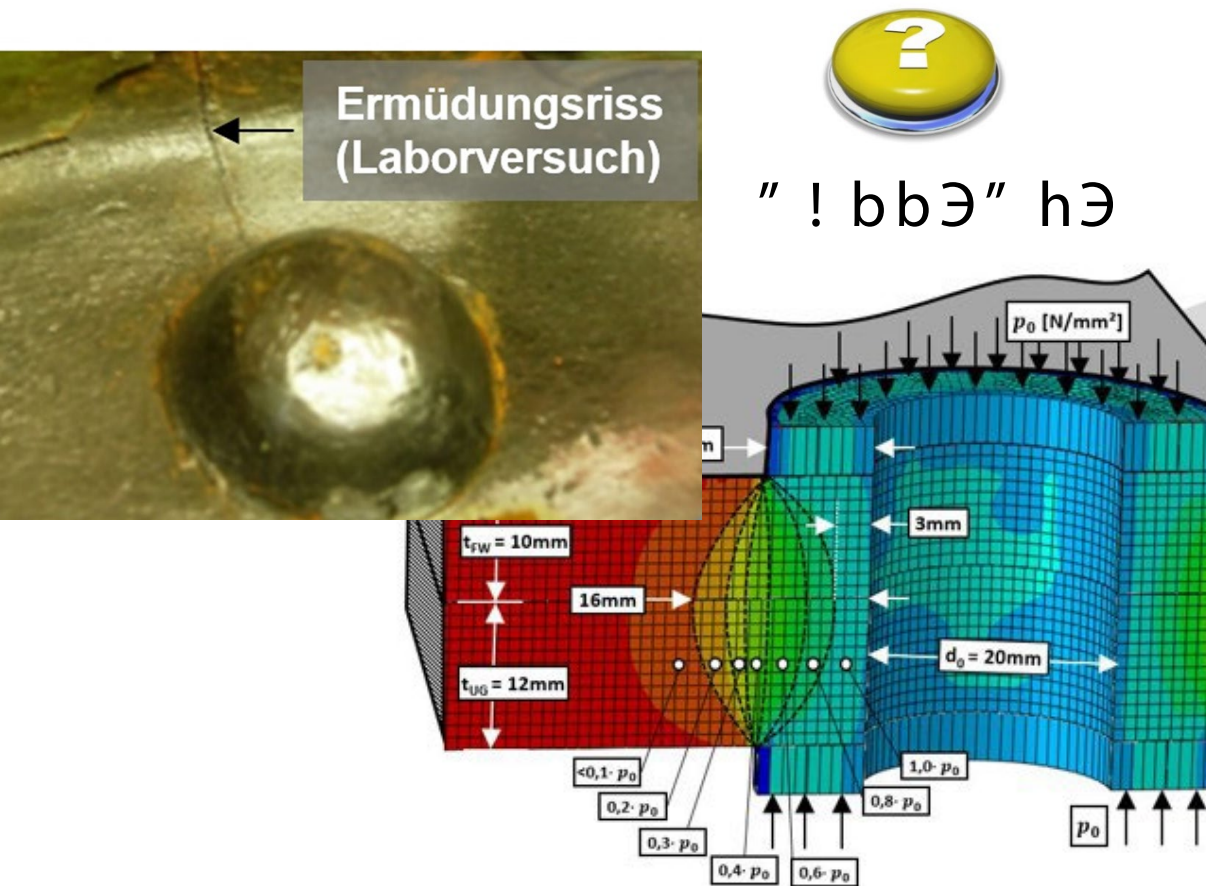


Traunbrücke Wels / Baujahr 1893



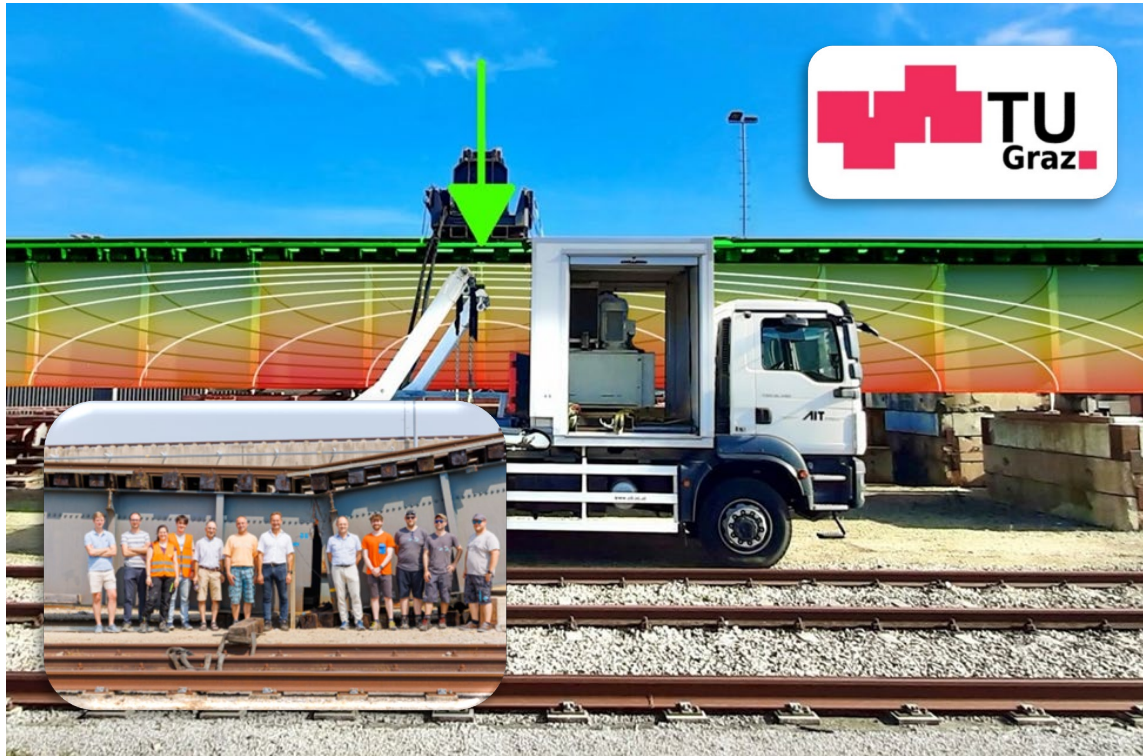
Eisenbahnbrücken aus Stahl sind robust und langlebig

Wie?

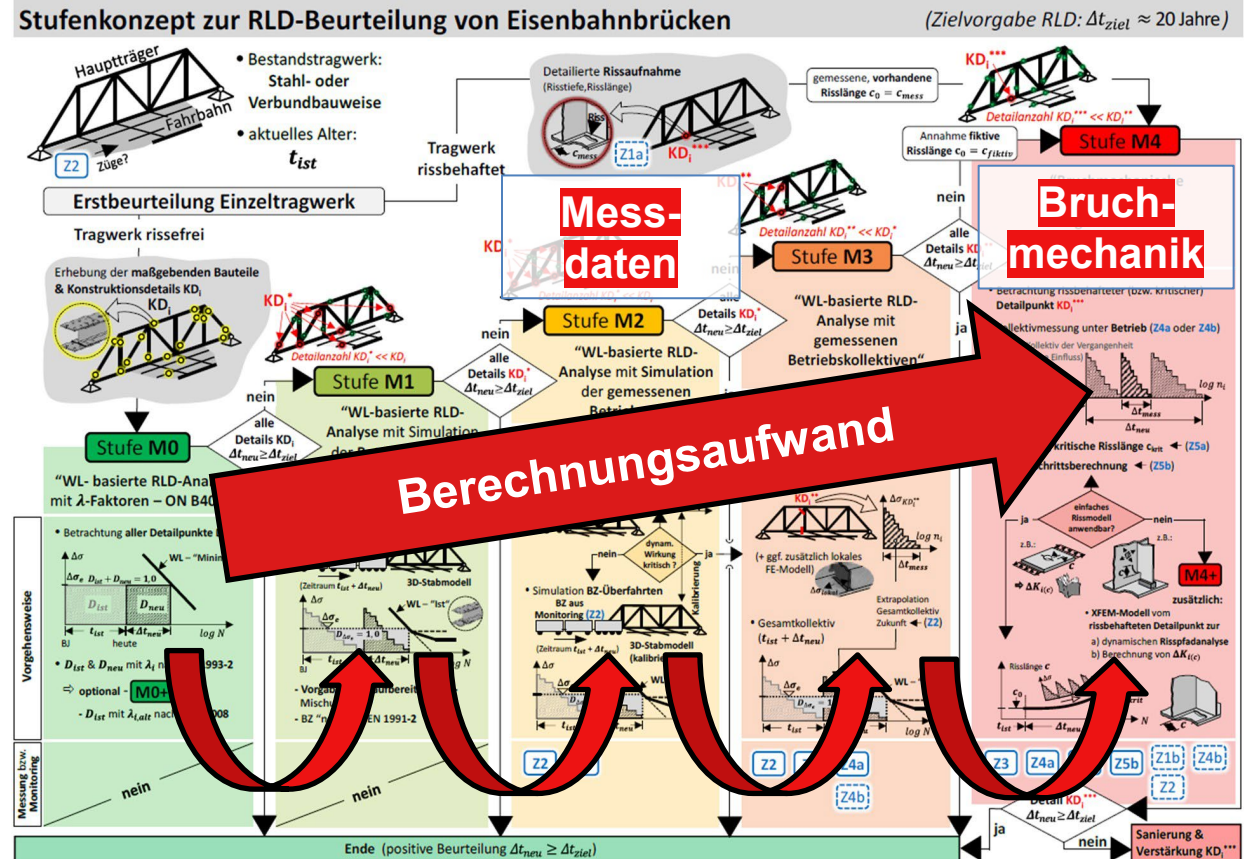


Gesicherter Anlagenzustand durch zutreffende Restlebensdauerprognose

Was?



High Level Event Pinkabachbrücke



Stufenkonzept Restlebensdauerbewertung Eisenbahnbrücken



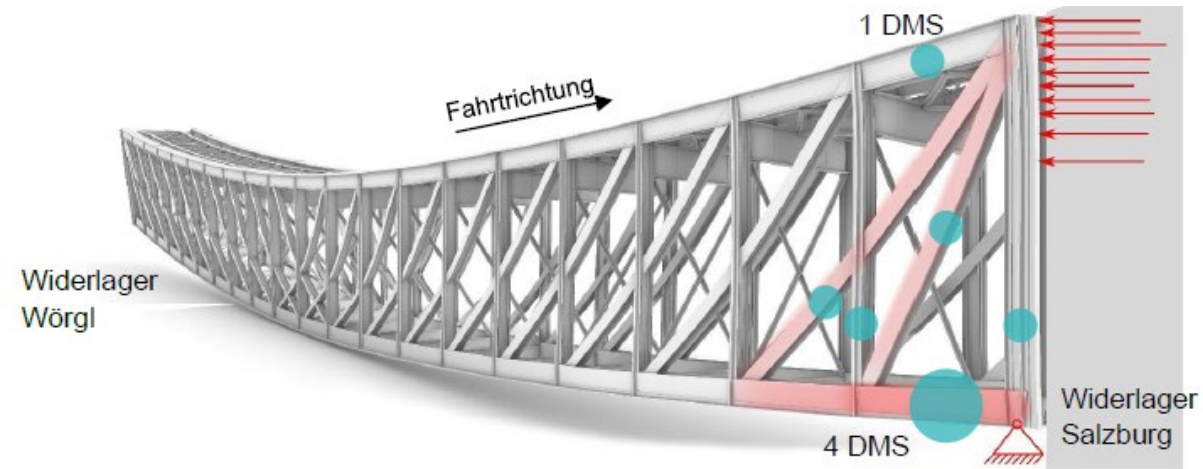
Anwendung Stufenkonzept bei sehr alten Brücken möglich?



Einbeziehung von Messdaten im Ermüdungsmodell?

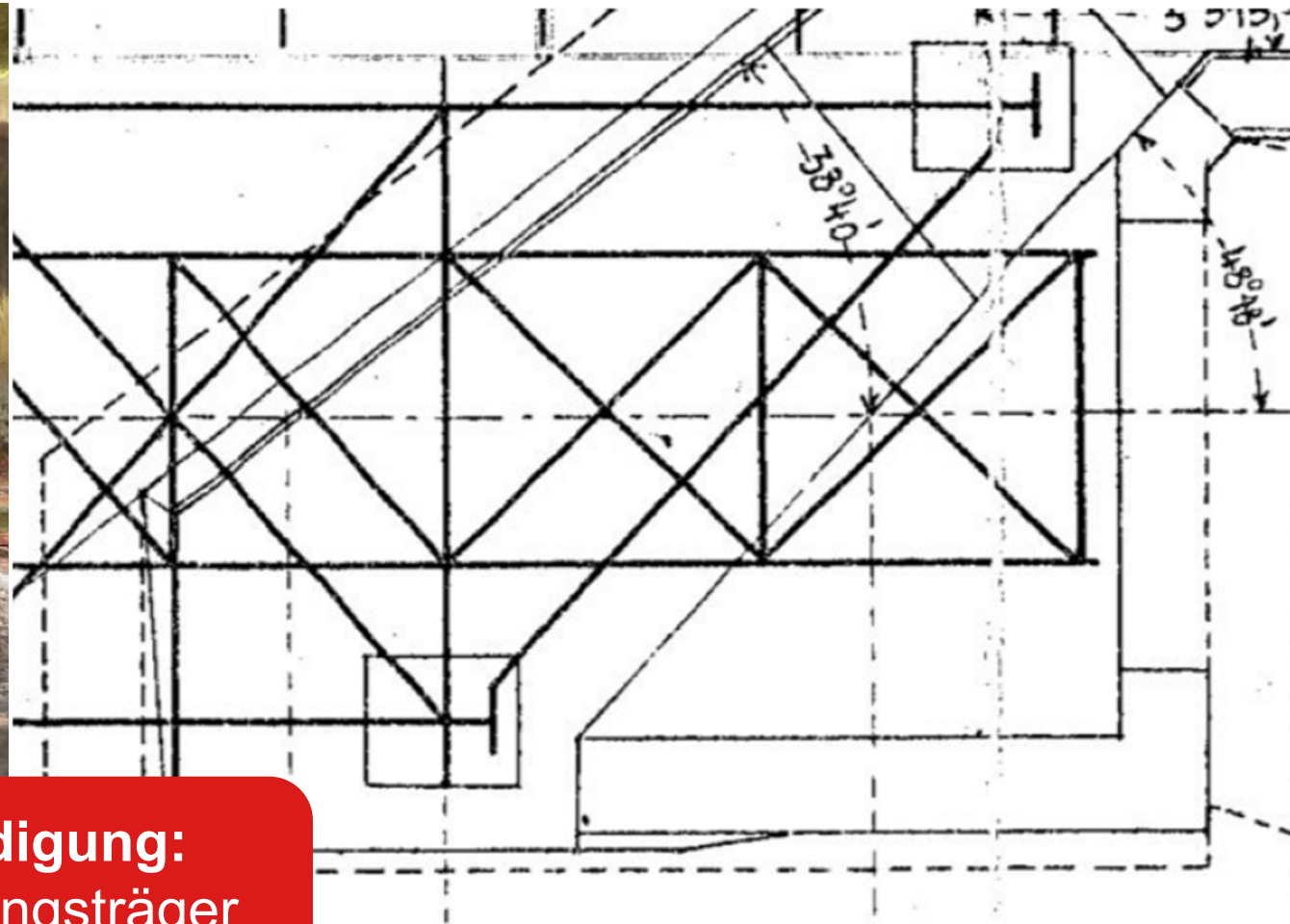
- **genietete Fachwerksbrücke**
- **Alter > 110 Jahre**
 - Spannweite Hauptträger 60 m
 - Tragwerksbreite 3,65 m
 - Höhe 6,30 m
 - schiefe Lagerung Hauptträger
 - Erneuerung Brücke 2025 - 2026
- **messtechnische Begleitung der letzten Betriebsjahre**
- **Erkenntnisse zur verbesserten Prognose der Restlebensdauer für genietete Stahlbrücken**





- Hangrutschung ca. 1 cm/Jahr
- Zwängungen Hauptträger





Lokale Schädigung:

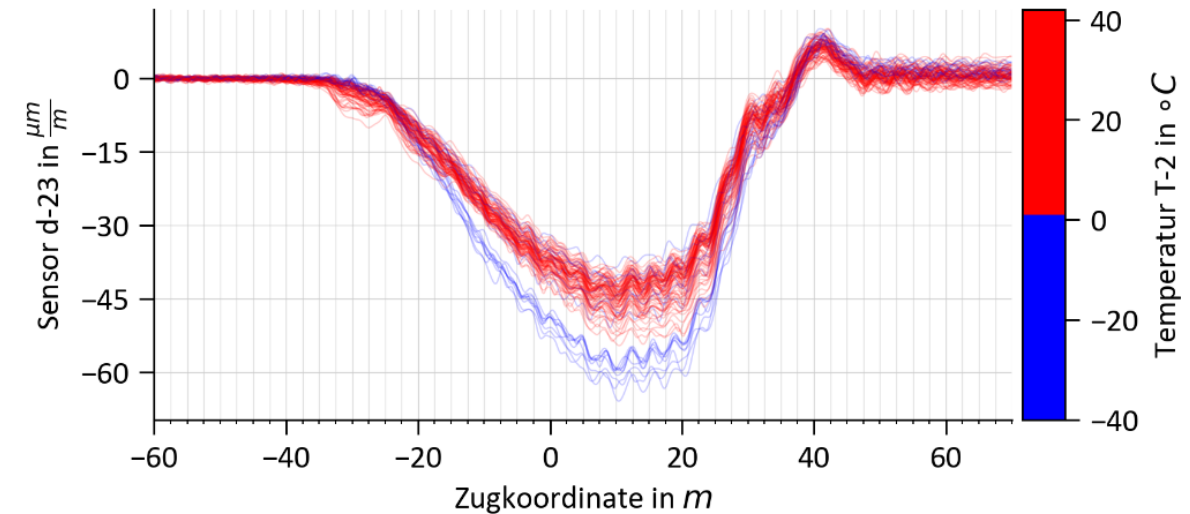
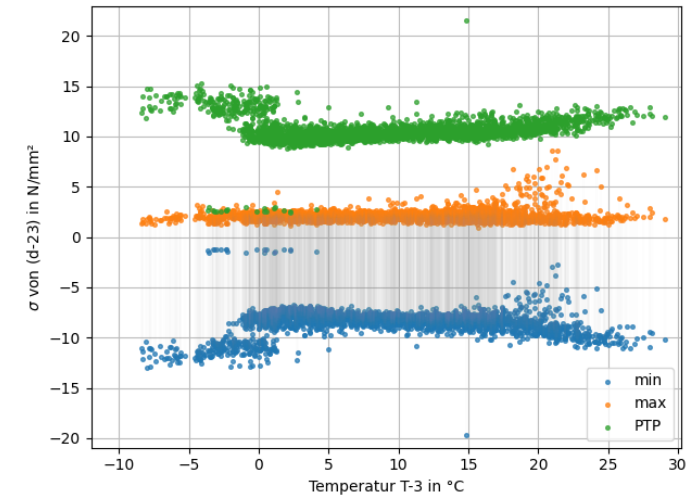
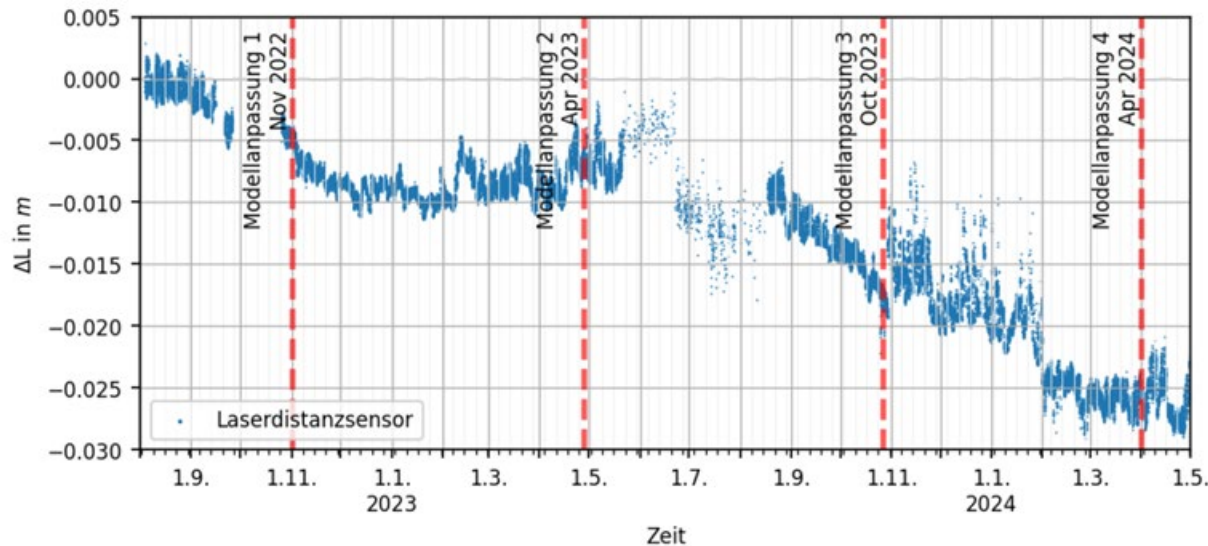
- Schienenlängsträger
- schiefe Lagerung

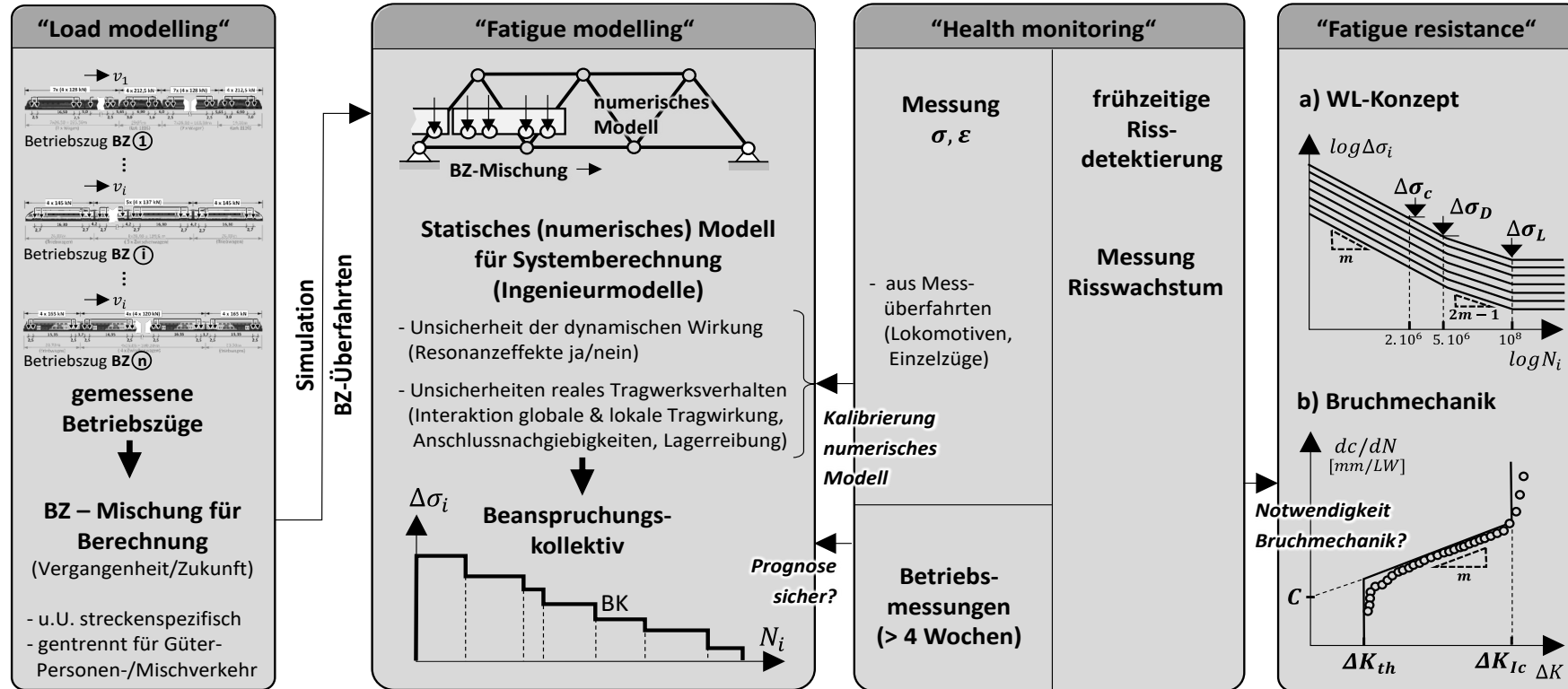
Langzeitmonitoring (ca. 2 Jahre)

- >70 DMS
- Lichtschranken
- Temperatursensoren
- Neigungssensoren
- Laser-Distanzsensor
- Weigh-In-Motion (WIM) System (HBK)



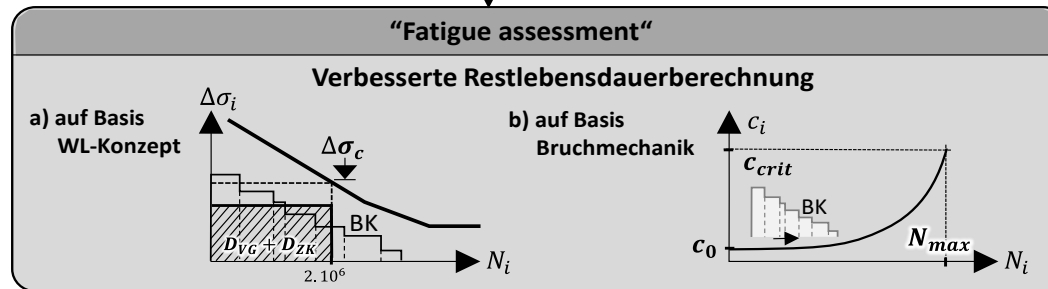
- Hangrutschung (Distanz in Brückenlängsrichtung)
- Temperaturabhängigkeit in Nähe des überdrückten Widerlagers





Nachweiskriterium

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq D_{krit} = 1$$



Bauwerks-
überwachung

aleatorische Unsicherheiten
natürliche Unsicherheiten (Zufall)



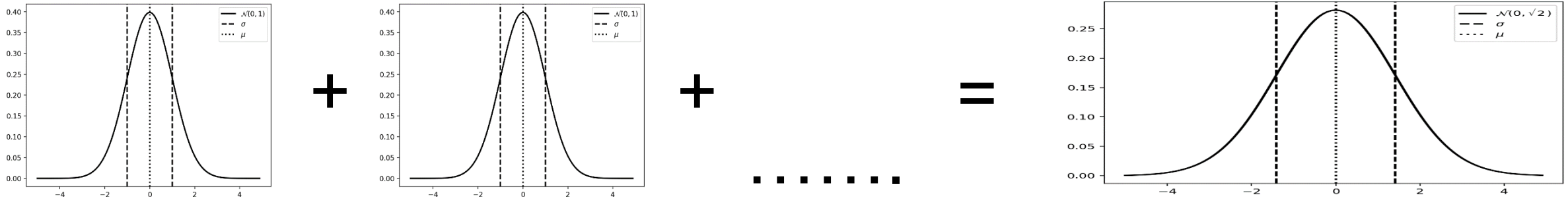
unvermeidbar

epistemische Unsicherheiten
wissensbedingte Unsicherheiten



können reduziert werden

Unsicherheiten „summieren“ sich auf



Reduktion auch einzelner Unsicherheiten wichtig!

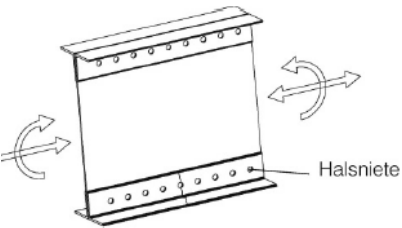
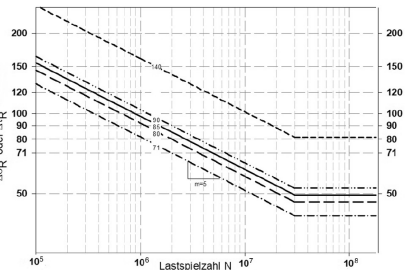
epistemische Unsicherheiten – Ermüdungsbewertung Stahlbrücke

Widerstandsseite

„Wöhlerlinien“

Reduktion mit:

- Ermüdungstests am Detail
- Struktur- statt Nennspannungskonzept
- Bruchmechanik
- Materialproben



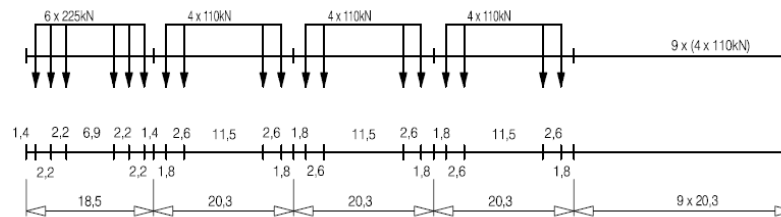
[ÖNORM B4008-2]

Einwirkungsseite

„Lastmodelle“

Reduktion mit:

- streckenspezifische Betrachtung statt normativer Lastmodelle („λ-Faktoren“)
- Historische Lastmodelle



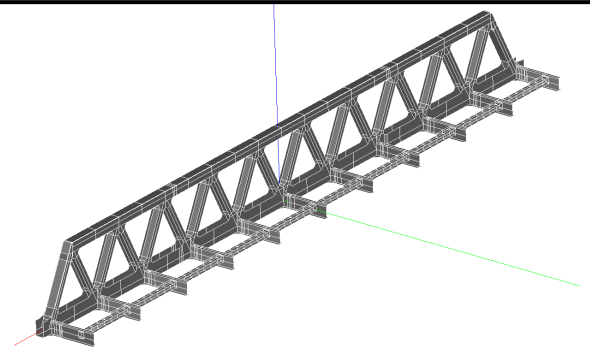
[EN1991-2 Anhang D]

Modellunsicherheit

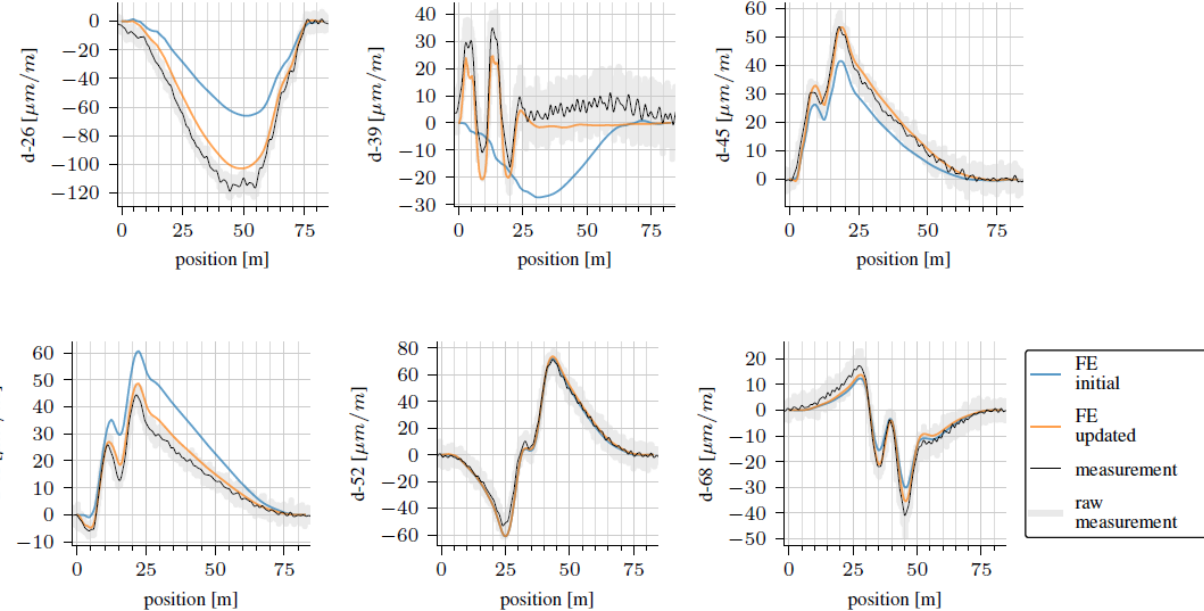
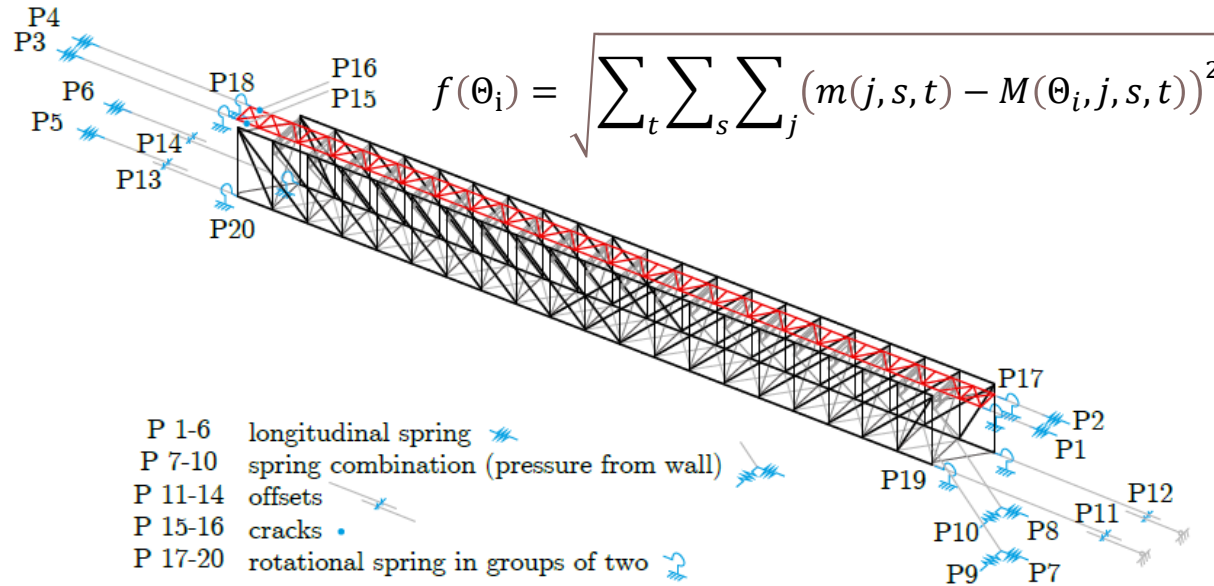
„Modellierung“

Reduktion mit:

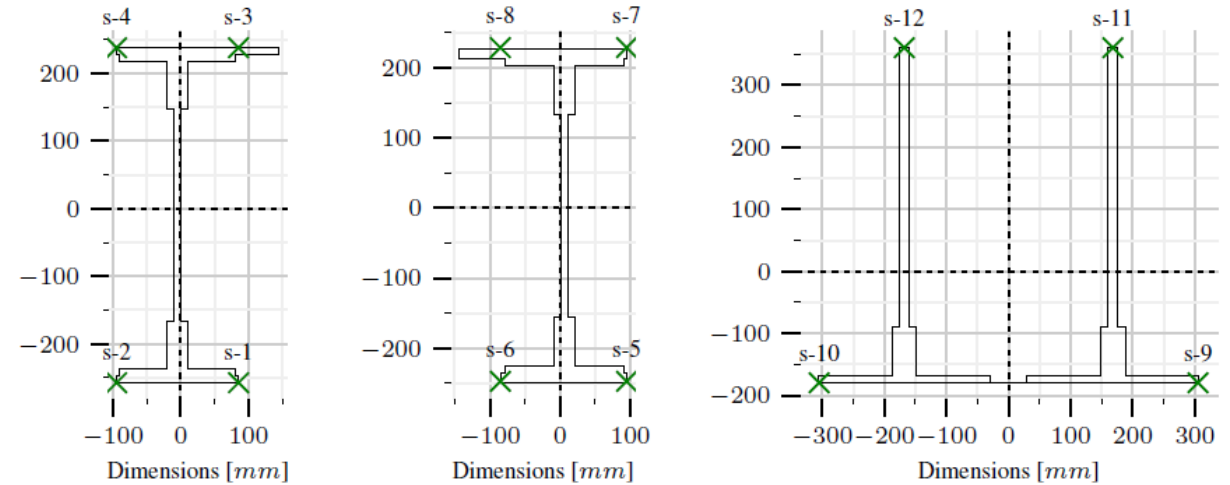
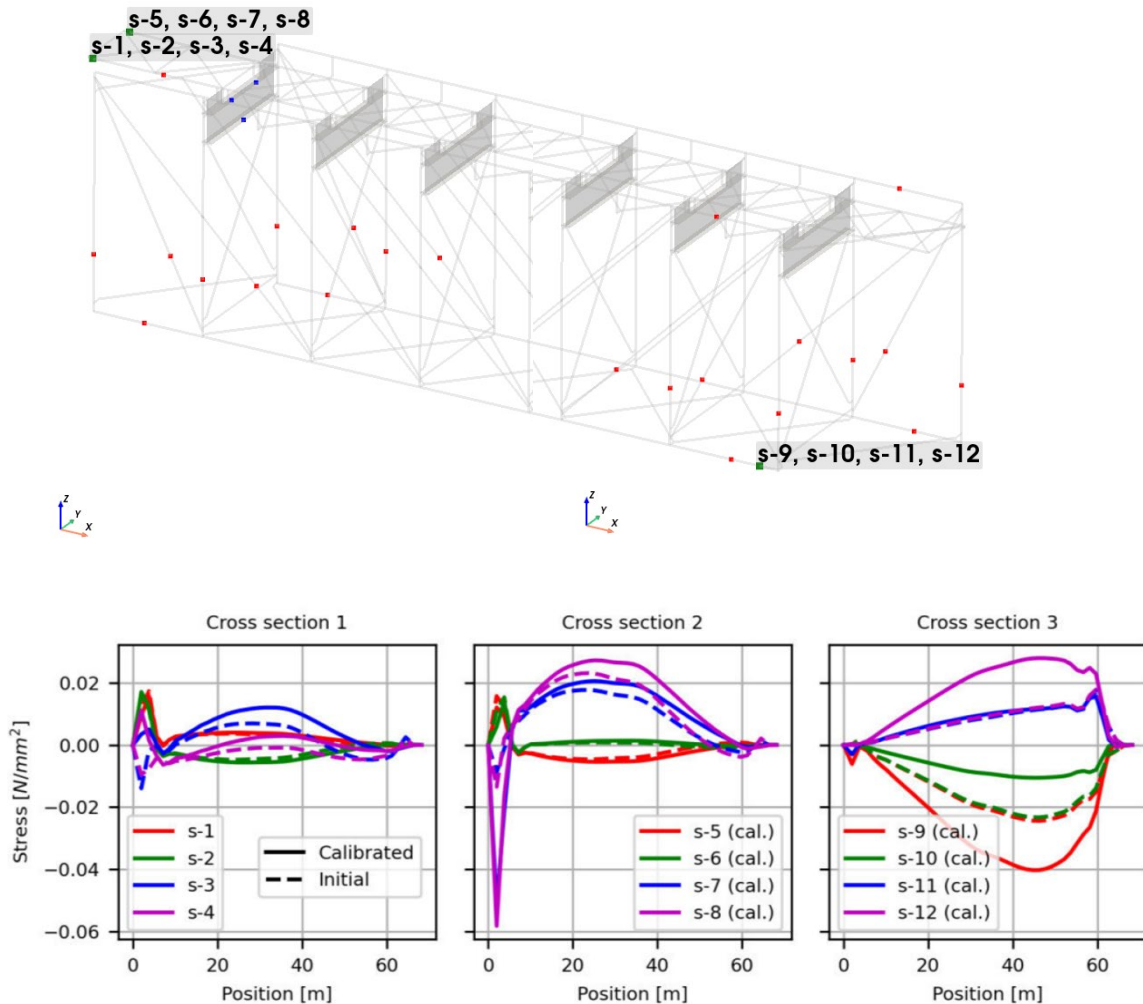
- Modellierungstiefe
- Kalibration an Messung
- Berücksichtigung von Schäden



Ansatzpunkte Brücke Eschenau



- FE-Modell in ANSYS (gemischt Balken-/Schalenelemente)
- Modellkalibration mit 20 Parametern
- Minimierung der Abweichung zwischen Messung und Rechnung bei Zugsüberfahrt

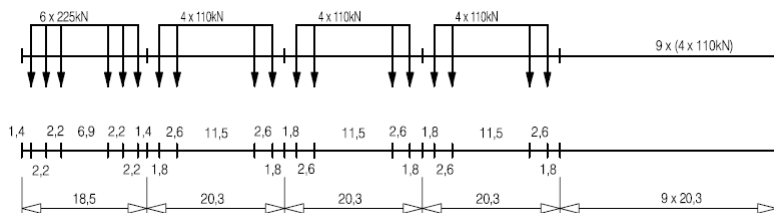


- Bewertete Detailpunkte für Vergleich
- Extraktion von Einflusslinien aus FE-Modell (initial und kalibriert)

EN-Mix & EN-Mix (red)

Normativ (EN1991-2/D)

- 8 Bemessungszüge
- konservativ (Bemessung)
- 25 Mio. to/Jahr
- **EN-Mix (red)** – reduziert auf 5,25 Mio. to/Jahr (WIM-Züge)

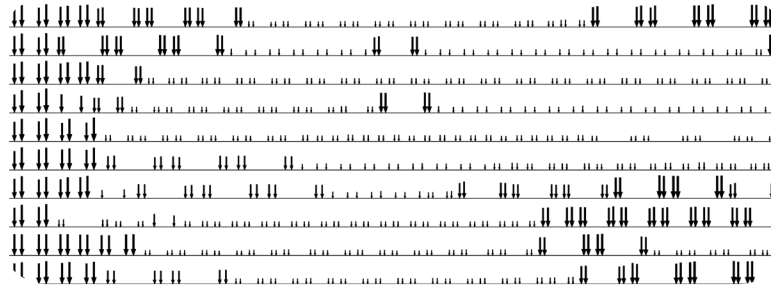


[EN1991-2 Anhang D]

WIM-Züge

Referenzlasten

- Gemessene Achslasten (WIM Daten)
- 5,25 Mio. to/Jahr
- viele Züge - Rechenintensiv

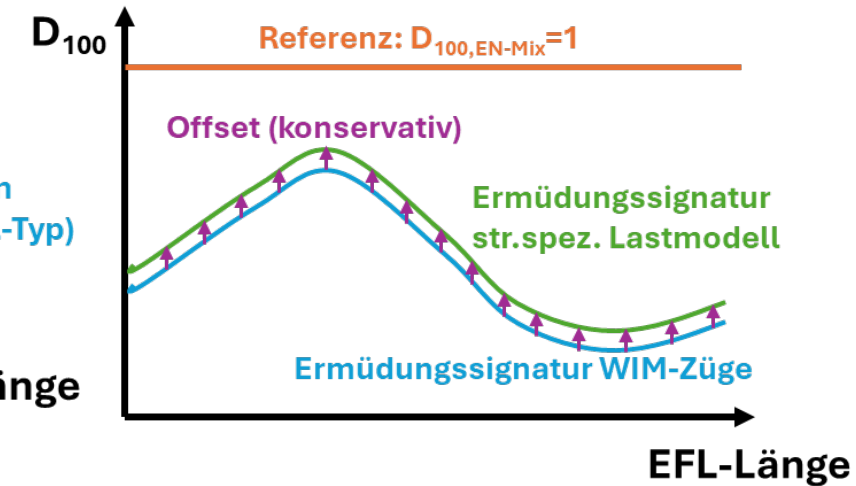
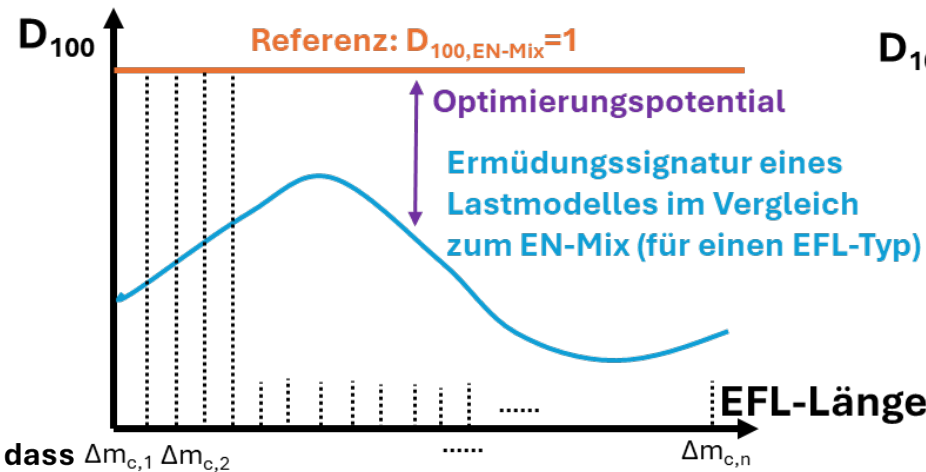
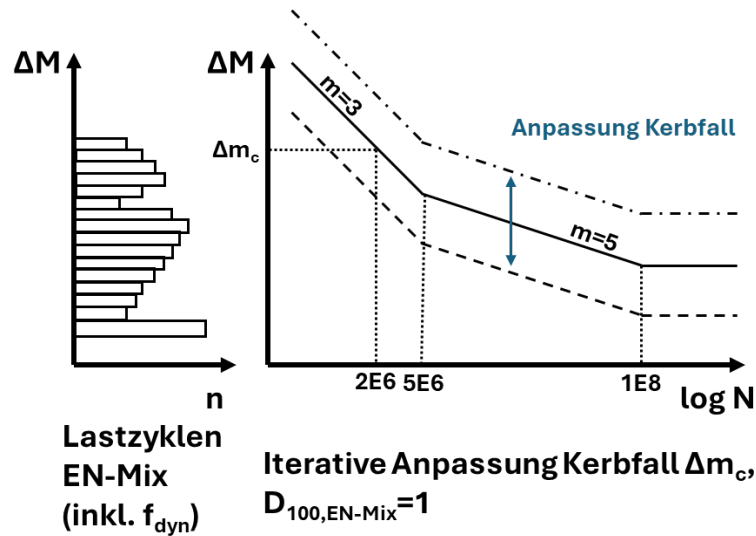


SPE-Züge

Streckenspezifisches LM

- abgeleitet aus WIM-Daten
- 5,1 Mio. to/Jahr
- wenig Züge – geringer Rechenaufwand
- leicht konservativ
- Definition mit Bemessungszügen aus EN1991-2

Beispiel nur aktueller Verkehr!



Streckenspezifisches Ermüdungslastmodell

- Ableitung auf Basis von WIM-Daten
- Optimierte tägliche Anzahl der 12 Bemessungszüge aus EN 1991-2 (Benutzerfreundlich)
- Schrittweise Optimierung der Ermüdungssignatur des Lastmodells

Train type	Trains per day	Mass of train in t
1	?	663
2	?	530
3	?	940
4	?	510
5	?	2160
6	?	1431
7	?	1035
8	?	1035
9	?	296
10	?	360
11	?	1135
12	?	1135

Lastmodell	Model	Positionen Querschnitt 2			Positionen Querschnitt 3		
		s-7	s-8	s-9	s-10	s-11	s-12
EN-mix	Initial	1,63E-01	6,47E-01	9,31E-01	7,35E-01	2,39E-02	3,00E-02
	Kalibriert	9,27E-01	3,07E+00	1,12E+01	0	2,40E-02	2,13E+00
EN-mix (red.)	Initial	3,43E-02	1,36E-01	1,96E-01	1,55E-01	5,03E-03	6,30E-03
	Kalibriert	1,95E-01	6,46E-01	2,36E+00	0	5,06E-03	4,48E-01
WIM-Züge	Initial	6,09E-06	2,09E-02	3,23E-02	2,53E-02	0	0
	Kalibriert	2,55E-02	1,21E-01	4,80E-01	0	0	7,35E-02
SPE-Züge	Initial	9,93E-03	4,39E-02	6,17E-02	4,91E-02	1,71E-03	2,14E-03
	Kalibriert	5,84E-02	2,45E-01	9,04E-01	0,00E+00	1,72E-03	1,38E-01
EN-mix	Kal./Init.	5,68	4,75	12,04	0,00	1,01	71,08
WIM-Züge	Kal./Init.	4186,18	5,79	14,88	0,00	-	-
SPE-Züge	Kal./Init.	5,89	5,57	14,66	0,00	1,01	64,72
EN/WIM	Initial	26805,85	30,89	28,86	29,04	-	-
	Kalibriert	36,35	25,32	23,36	-	-	28,96
SPE/WIM	Initial	1630,24	2,10	1,91	1,94	-	-
	Kalibriert	2,29	2,02	1,88	-	-	1,88
EN(red)/WIM	Initial	5640,51	6,50	6,07	6,11	-	-
	Kalibriert	7,65	5,33	4,91	-	-	6,09

D_{100} – Detail S-9

Lastmodelle

Num. Modell	EN-Mix	EN-Mix (red)	SPE-Züge	WIM-Züge
Initial	0,93	0,20	0,06	0,03

**Vergleich der auf einen Zeitraum von 100 Jahren hochgerechneten
Schädigungssummen für einen ausgewählten Detailpunkt**

- **Rail4Future:**
Verbesserte Restlebensdauerprognose für stählerne Eisenbahnbrücken
- Salzachbrücke Eschenau:
 - historisches Tragwerk mit **Vorschädigung**
 - Vergleich Bewertung entspricht verschiedenen Stufen des **Stufenmodells**
 - **Reduktion von Unsicherheiten** auf Einwirkungs- und Modellseite
 - **Schädigungen** können lokal zu wesentlich **höheren Ermüdungsbeanspruchungen** führen
 - **Kalibrierte numerische Modelle** berücksichtigen diese Vorschädigungen.
 - **streckenspezifische Lastmodelle** können erheblichen Beitrag zur positiven Restlebensdauerbewertung liefern.
 - Gegenwart: auf Basis von Messungen (einfach)
 - Vergangenheit: abhängig vom Informationsstand (oft schwierig)

AI|S|FI|i|N|A|IG

WIENER LINIEN

SBV ZIVILTECHNIKER GMBH
STAHL, BETON & VERBUND

HPi engineering
ARCHITECT & CIVIL ENGINEER

ÖBB
INFRA

TECTON consult
Engineering & IT GmbH

KOB
INGENIEURE

TÜV
AUSTRIA

BAUMANN
CIB-ÖZEL

SBC

ÖSTERREICHISCHER
STAHLBAUVERBAND

Projekt IntelliBridge – Intelligent and Highly-Available Bridge Assets



Ingenieurpraktischer Anwendungsleitfaden Ermüdungsbewertung Stahlbrücken

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Hinweis Session 3 (morgen):

14:50	ÖBB-Salzachbrücken – Erneuerung und Überwachung	Maximilian Autengruber	ÖBB-Infrastruktur
		Kurt Margreiter	SBV Ziviltechniker
		Alois Vorwagner	AIT Austrian Institute of Technology