

Alternde Infrastrukturen – Risiken für den Verkehr

Brückenertüchtigung – Herausforderungen



Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler, TU Berlin, FG Entwerfen und Konstruieren - Stahlbau

Gliederung

- Ausgangssituation
- Zielstellung
- Lösungsansätze

Straßenbrücken

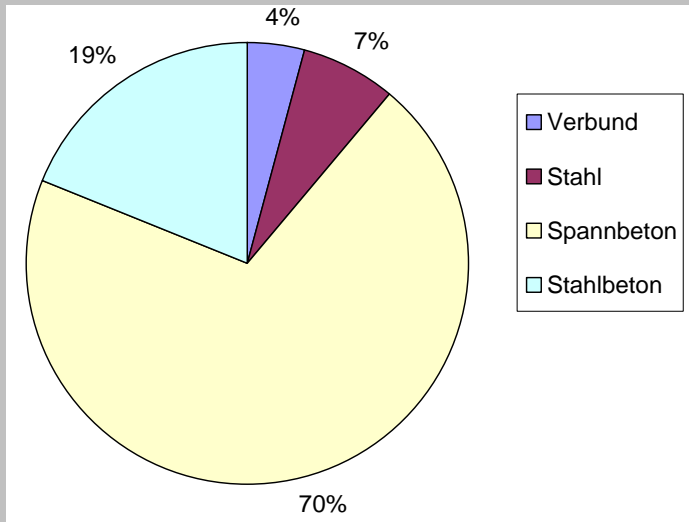


Eisenbahnbrücken

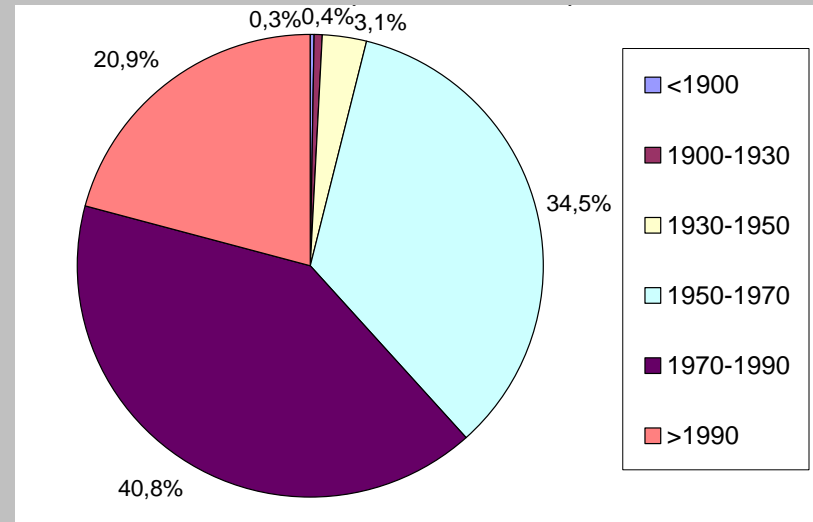


Straßenbrücken – Brückenbestand im Zuge der BAB / Bundesstraßen

ca. 38.000 Brücken



Aufteilung nach Bauart (n. BF)



Aufteilung nach Baujahr

ca. 60% der Brücken sind jünger als 40 Jahre



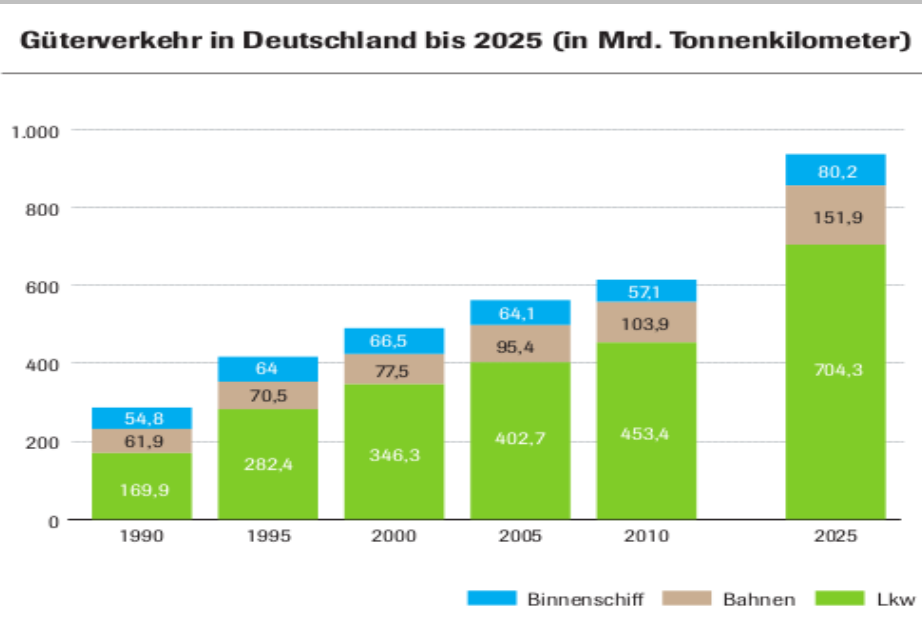
**Großbrücken in Stahl
(Rheinbrücken Köln)**

**Brücken mittlerer
Spannweite
in Massivbauweise**

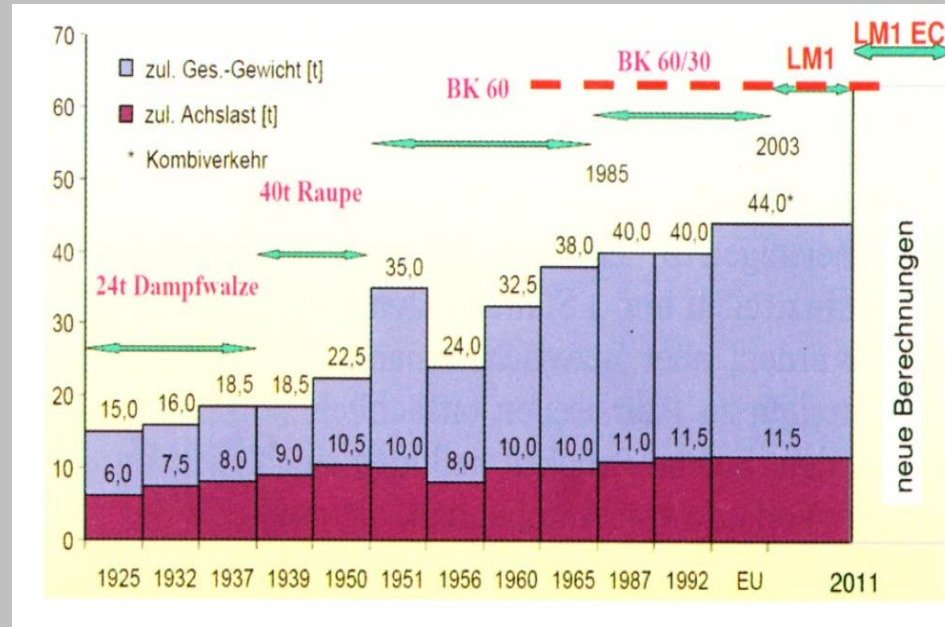


Ausgangssituation für Straßenbrücken

Wesentliche Ursache für Notwendigkeit der Brückenertüchtigungsmaßnahmen - **Stetige Steigerung der Anzahl und Höhe der Verkehrslasten**








Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland 1990 - 2025, aus www.BMVBS.bund



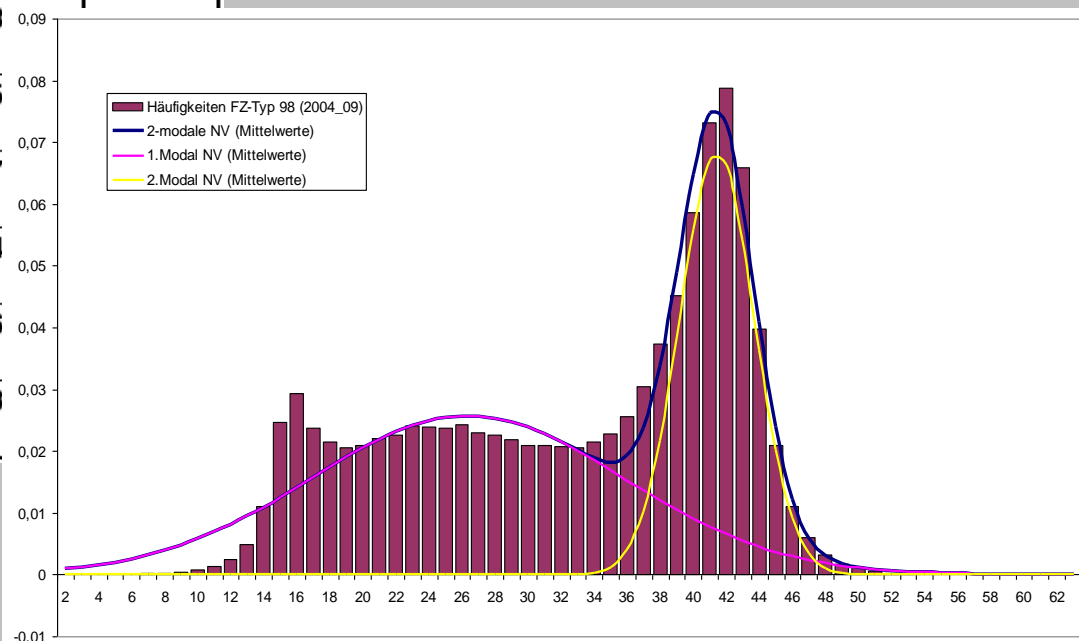
Entwicklung der zulässigen Gesamtgewichte und Achslasten [Naumann]

Ausgangssituation für Straßenbrücken

Wesentl. Ursache für Notwendigkeit zahlreicher Brückenertüchtigungsmaßnahmen -
Stetige Steigerung der Anzahl und Höhe der Verkehrslasten

FZ_TYP		Größen	Mittelwert A61	F(x)
8a leicht		μ_1	5.96	5%
		σ_1	1.46	
8b schwer		μ_2	9.17	11%
		σ_2	4.40	
33a leicht		μ_1	19.03	12%
		σ_1	2.32	
33b schwer		μ_2	20.84	16%
		σ_2	7.39	
41a leicht		μ_1	27.68	0.09
		σ_1	5.95	
41b schwer		μ_2	41.45	0.08
		σ_2	3.25	
97a leicht		μ_1	15.67	0.06
		σ_1	1.88	
97b schwer		μ_2	21.14	0.05
		σ_2	5.28	
98a leicht		μ_1	25.96	0.04
		σ_1	9.20	
98b schwer		μ_2	40.53	0.03
		σ_2	2.48	

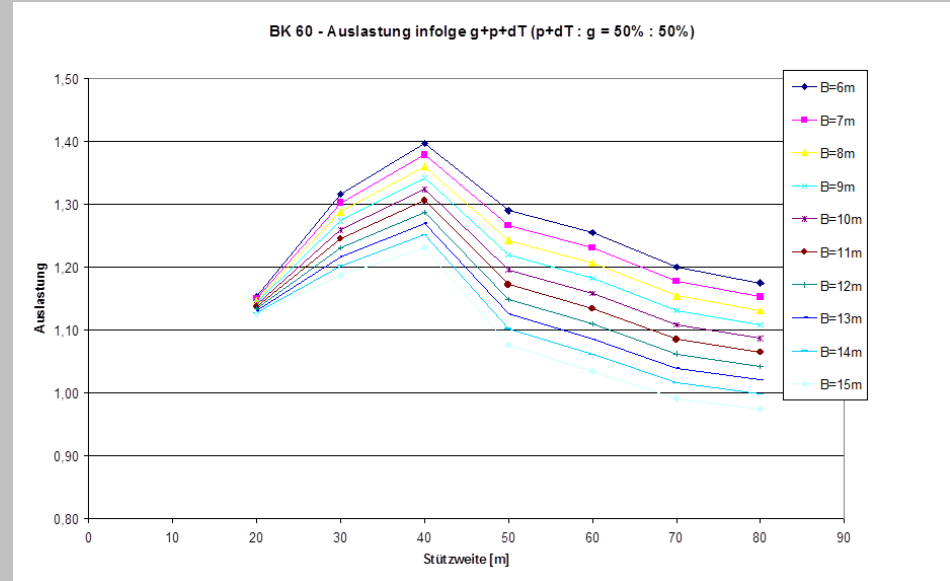
Gemessenes Lastkollektiv A61 (2005)



Konsequenzen der Verkehrslasterhöhung in Bezug auf Brücken

aus heutigem Verkehr resultieren für Brücken vor allem für Stützweiten 40 – 60 m höhere Beanspruchungen als nach ursprünglicher Bemessung

→ zwei wesentliche Konsequenzen (BMVBS 2008)



Anpassung der Einwirkungsnorm

Vorsorge
(für aktuelle Neubauten)

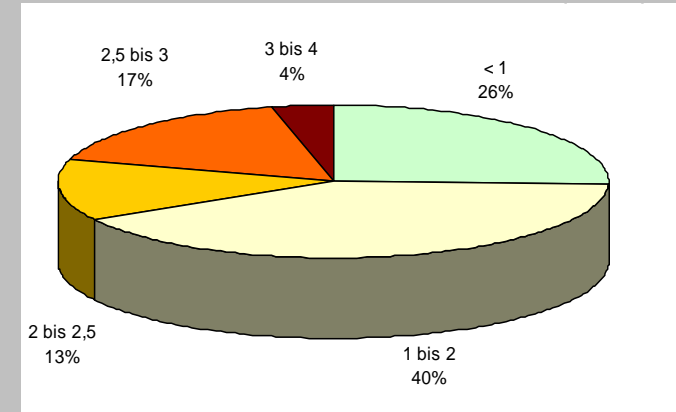
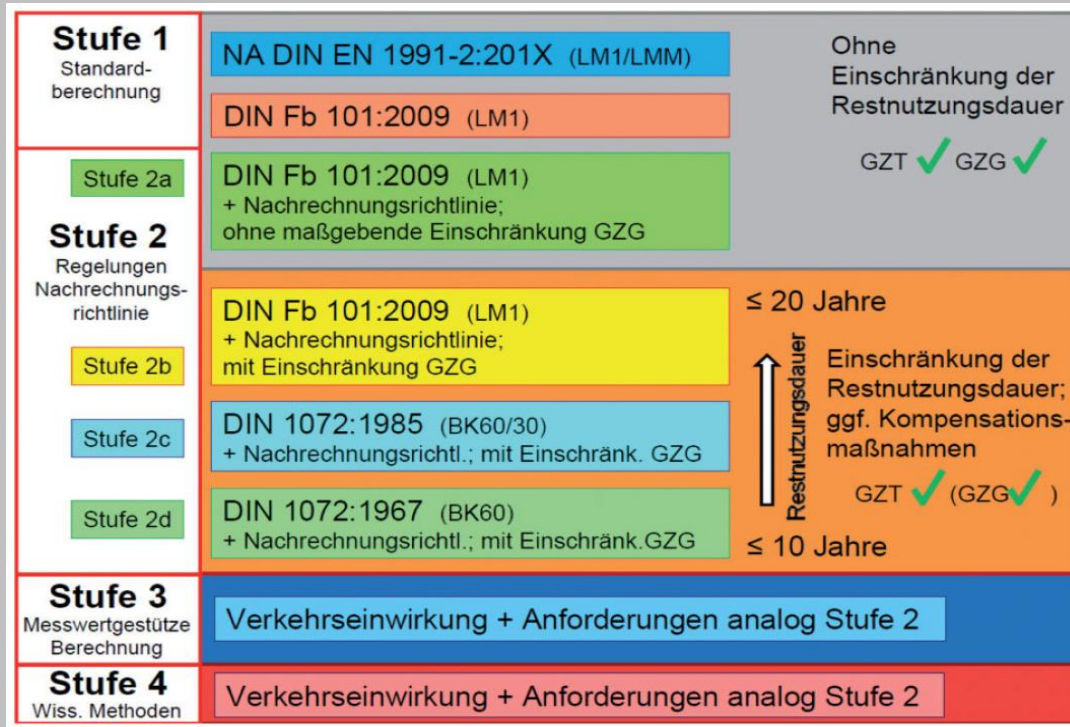
Erarbeitung einer
Nachrechnungsrichtlinie 2011

Priorisierung der Ertüchtigung der
Bestandsbauwerke

Ausgangssituation für Straßenbrücken

Erhaltungsstrategie des BMVBS

- Prämisse des BMVI: Ertüchtigung der Strecken vor Neubau
- **Verstärkung nur der „zukunftsfähigen“ Bauwerke** mit guter Bausubstanz mit dem Ziel der Sicherstellung der Tragfähigkeit für ihre vorgesehene Restnutzungsdauer
- Entscheidung abhängig vom Erreichen des Ziellastniveaus (LM1 oder niedriger)



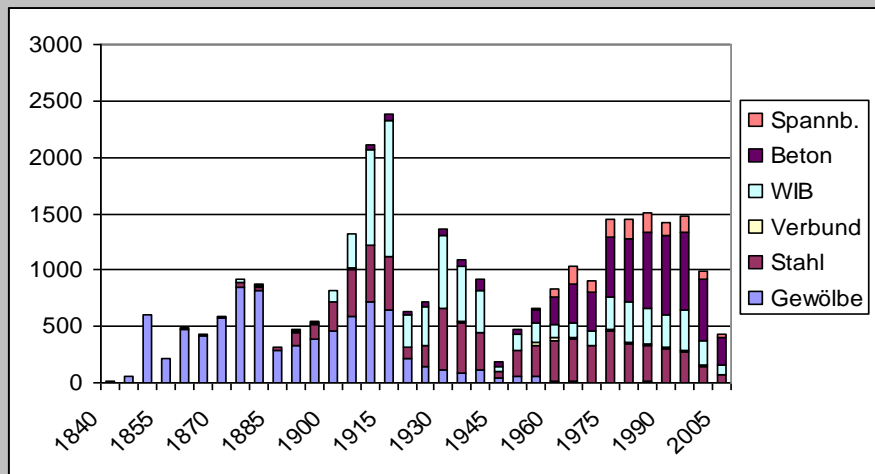
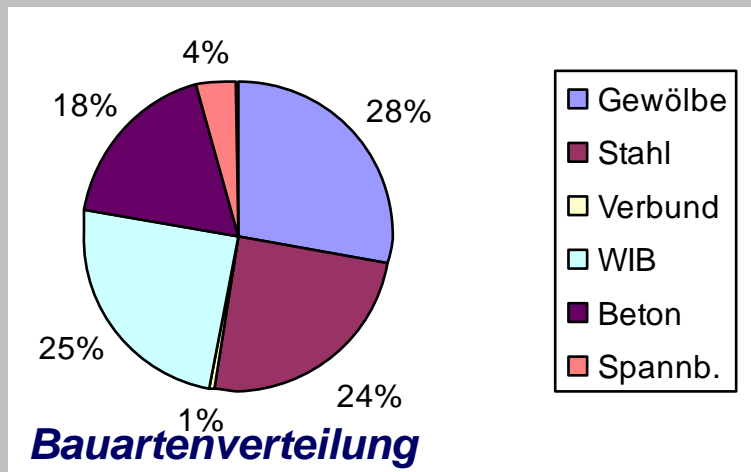
Brückenbestand der Bundesautobahnen nach Überbauzustandsnoten

Strategie zur Nachrechnung der Brücken [Marzahn, G.]

Ausgangssituation

Eisenbahnbrücken – Brückenbestand

DB Netz ca. 30.000 Bauwerke

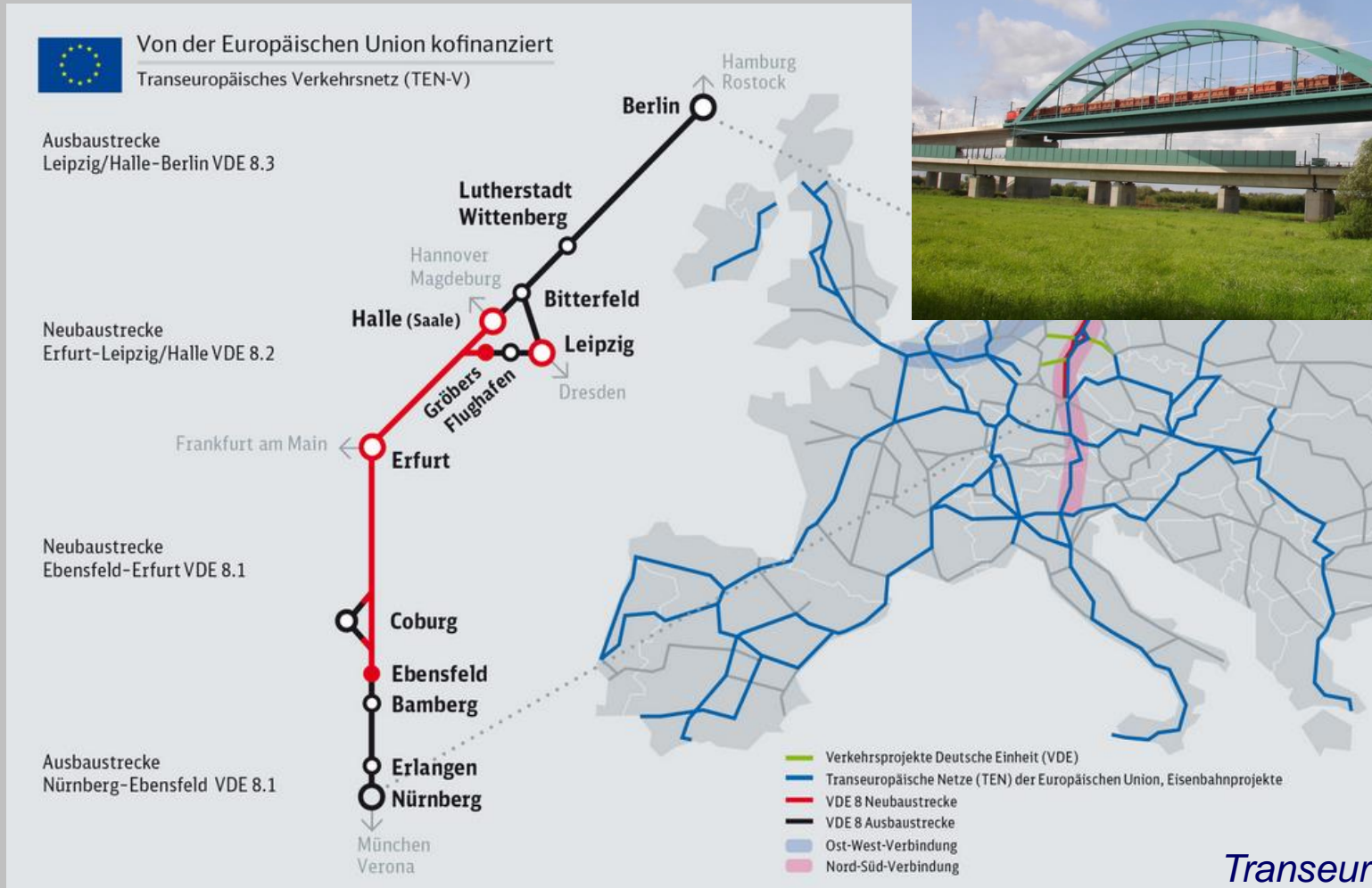


Alterstruktur ca. 50% der Bauwerke älter 80 Jahre



Ausgangssituation für Eisenbahnbrücken

- auch hier vorrangig Sanierung bzw. Ersatzneubau
- einzige Neubaustr. VDE 8 Leipzig–Erfurt–Nürnberg



Transeuropäisches Netz

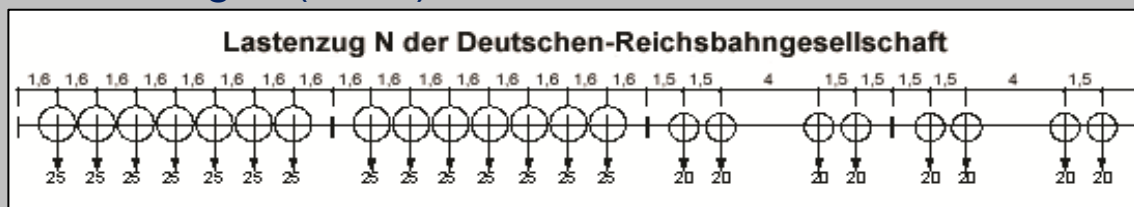
Ausgangssituation für Eisenbahnbrücken

Deutsche Bahn – Verkehrslastentwicklung nicht problematisch

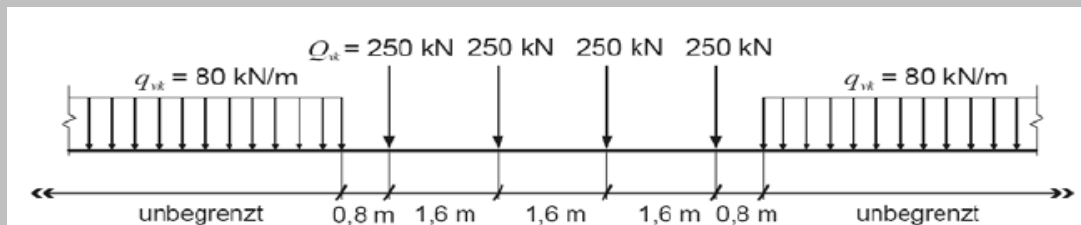
Preußischer Lastenzug A (1903) - es gibt Brücken mit Lastenzug "A+20%"



Lastenzug N (1922)



UIC 71 (1971 - heute)



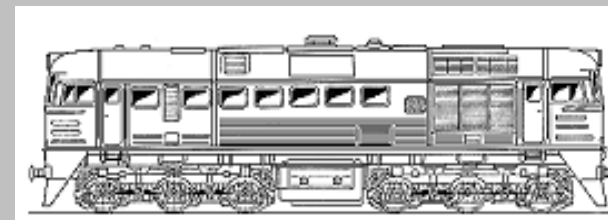
- kaum höhere Gesamtlasten
- aber Tendenz zu höheren Geschwindigkeiten → dynamische Wirkungen, größere Zuglängen (z.B. 875m- Züge) → Steigerung Bremskräfte



Dampflok mit Tender



BR 45



schwere 6-achsige Diesellok

Zielstellung Straßenbrücken

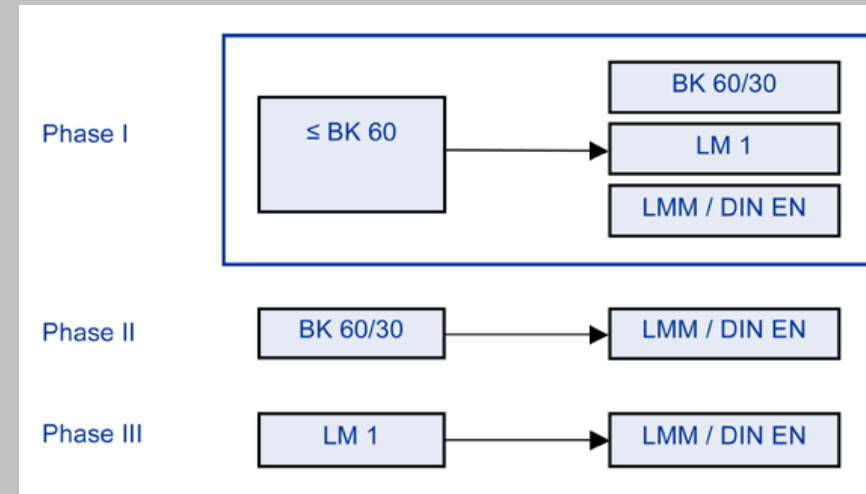
Unterscheidung kurz-, mittel- oder langfristig

Kurz- und mittelfristig kommt der Bewertung mit Priorisierung der Bauwerke eine entscheidende Rolle zu

Netzweit gleiche Brückenklassen (Ziellastniveau)

Ist das realistisch ?

- Bestandsbauwerke können nicht alle sofort ertüchtigt werden
- Bauwerke im untergeordneten Straßennetz (Landstraßen, Stadtstraßen...)



Oder Konzept mit Hauptstrecken mit höchster Verfügbarkeit ?

Zielstellung Eisenbahnbrücken

Haupt- und Nebenstrecken

System der abgestuften Streckenklassen bewährt

Belastbarkeitsindex β_{UIC}

	A = 16t	B = 18 t	C = 20 t	D = 22,5t	E = 25 t
1 = 5,0 t/m	A1	B1			
2 = 6,4 t/m		B2	C2	D2	
3 = 7,2 t/m			C3	D3	
4 = 8,0 t/m			C4	D4	E4
5 = 8,8 t/m					E5

Zukünftig Streckennetz mit Achslasten von 25 t oder mehr ? (Europa)

Geschwindigkeit als wichtiges Kriterium → Bedingungen für Netzzugang

Klärung der Fragen zum Resonanzverhalten bei hohen Geschwindigkeiten

Betriebslastenzüge für Nutzungszeitraum ICE2, ICE3, TGV/ Thalys, Eurostar, ETR ...



ICE 3 auf Länge verteilte Massen

TGV-Est

ETR 500– schwere Triebköpfe

Vorgehensweise bei der Bewertung bestehender Bauwerke

1. Bauwerksprüfung, Bestandsunterlagen, Unterlagen zu vorherigen statischen Berechnungen
2. Materialkennwerte, ggf. zusätzliche Materialprüfungen
3. **Festlegung der zu verwendenden Normen zur Bewertung / Nachrechnung**
4. Statische Nachrechnung (ggf. stufenweise), Restnutzungsdaueruntersuchung
5. optional: Bestätigung / Verbesserung der Annahmen zum Tragverhalten durch Messungen „Messwertgestützte Nachrechnung“

Vorhandene Regelwerke

Neubau: seit 2013 Eurocodes

Anwendung der Neubauvorschriften führt im Bestand zu unwirtschaftl. Ergebnissen

zur Bewertung bestehender Eisenbahnbrücken:

Ril 805 (1991)

zur Bewertung bestehender Straßenbrücken:

Nachrechnungs- Richtlinie (2011),

ist auf Basis von Erfahrungen und Forschungsergebnissen fortzuschreiben

Bundesministerium für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Abteilung Straßenbau

Richtlinie zur Nachrechnung von
Straßenbrücken im Bestand
(Nachrechnungsrichtlinie)

Ausgabe: 05/2011

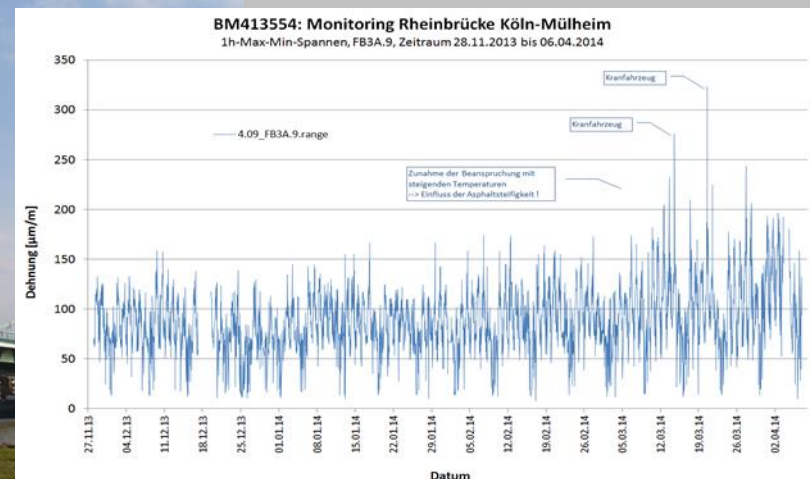
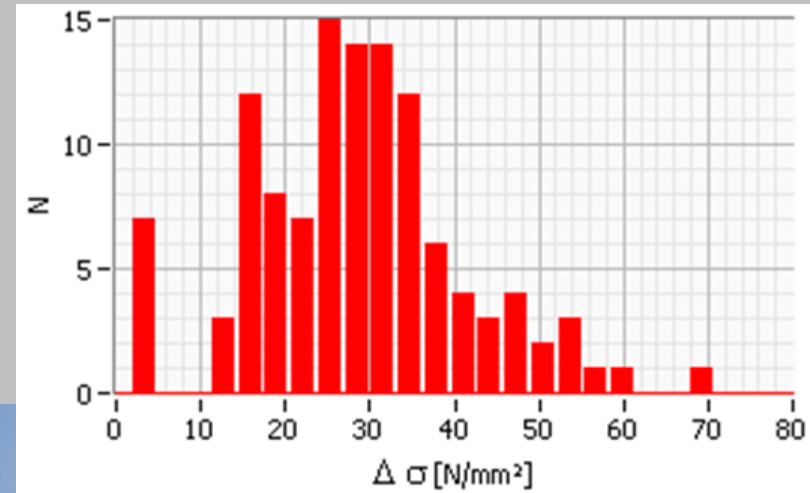
Neue Methoden – z.B. Dauermessungen als Bauwerks-Monitoring

gekennzeichnet durch Datenreduktion direkt am Bauwerk

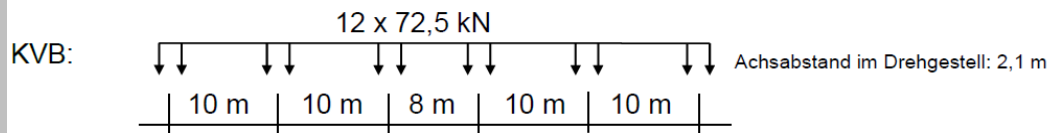
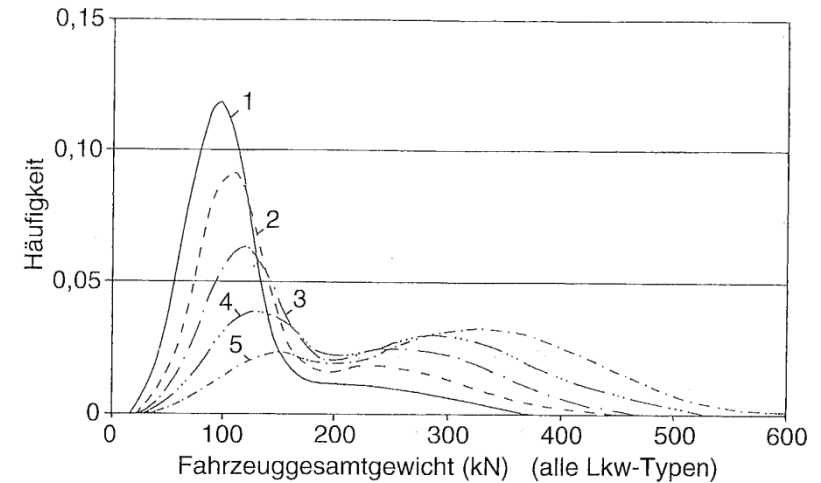
sinnvoll zur Erfassung von:

- Verkehrslasten über längeren Zeitraum:
Extremwerte und / oder Lastkollektive
- Beanspruchungskollektive inf. Verkehr, Wind
- zeitgleichem Auftreten von Verkehr und Temp.

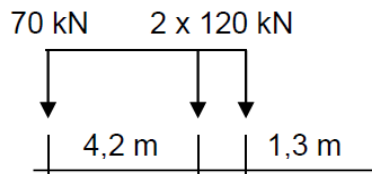
...



Objektspezifisches Ermüdungslastmodell auf Basis des Bauwerks-Monitoring



Straße:



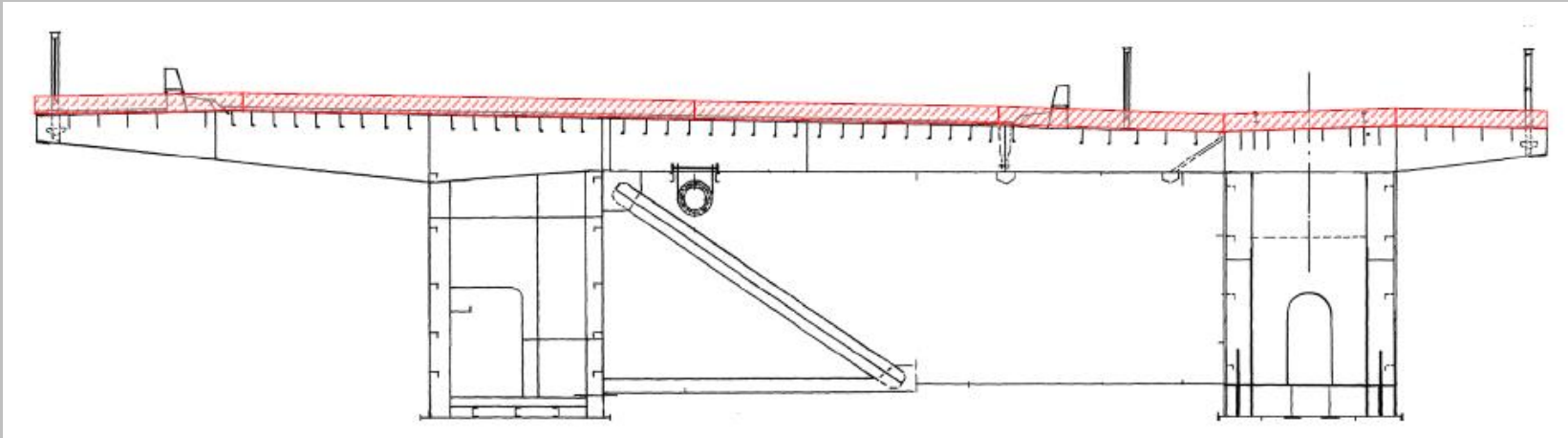
(entspricht LKW Typ 2 nach NRR, Tabelle 10.4)

sowie spezifische Festlegungen zur Begegnungshäufigkeit

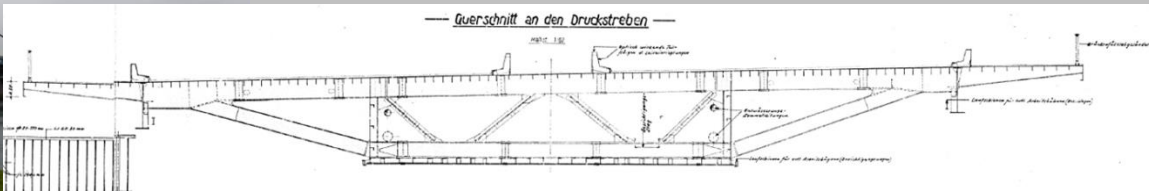
Mögliche Maßnahmen für die Bauwerke mittlerer Größe und die Großbrücken im Bundesfernstraßennetz

1. Ertüchtigung bis zum kurz- und mittelfristigen Ersatz (bis 20 Jahre)
2. Ertüchtigung für eine größere Lebensdauer (ca. 40..50 Jahre)
3. Ersatzneubau

1. Ertüchtigung bis zum kurz- und mittelfristigen Ersatz



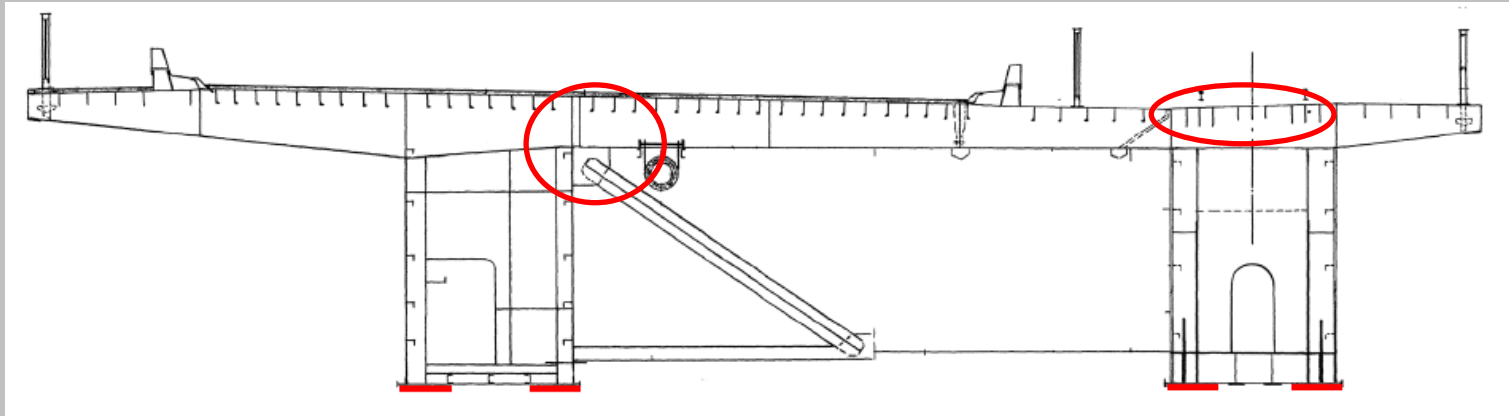
Lösungen zur Entlastung der orthotropen Fahrbahnplatte durch direkte Radlasten, z.B. für Rheinbrücke Maxau (als dauerhafte Verstärkung):
Fahrbahnaufbau aus ultrahochfestem Beton



2. Ertüchtigung für eine größere Lebensdauer



Mögliches Verstärkungskonzept Fehmarnsundbrücke



Lösungsansätze – Ertüchtigung

Ertüchtigungsmaßnahmen für Brücken – andere Prinzipien als für Neubau

Neubau

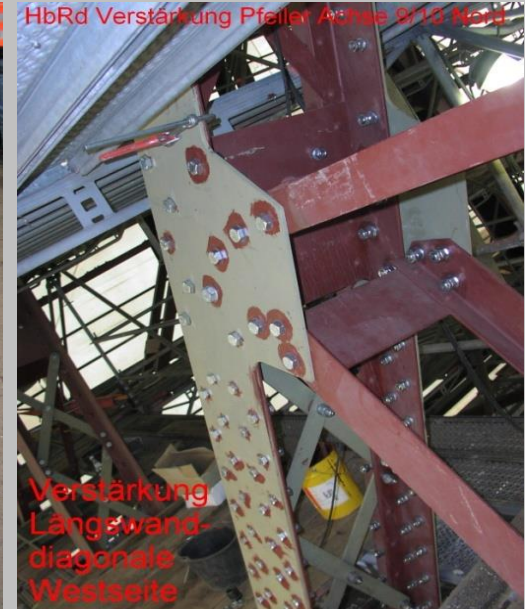


Nesselalbrücke im Zuge der A4

Ertüchtigung



HbRd Verstärkung Pfeiler Achse 9/10 Nord



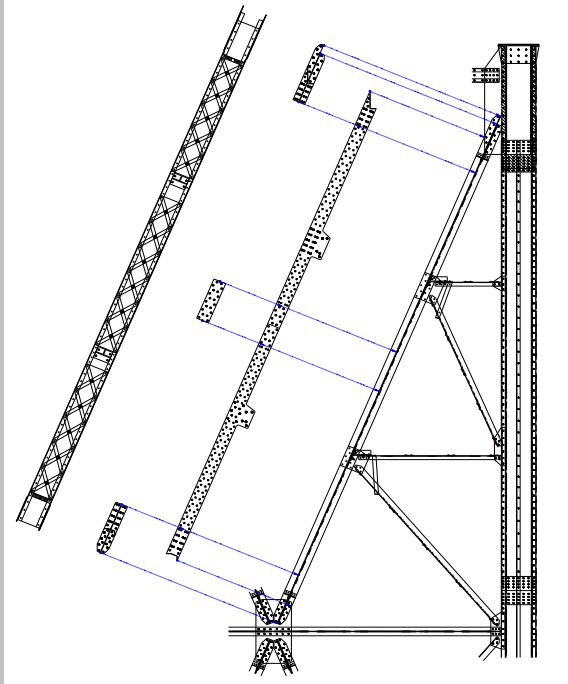
HbRd Verstärkung Pfeiler Achse 9/10 Nord

Verstärkung
Längwand-
diagonale
Westseite

Verstärkung Diagonalen einer Fachwerkbrücke durch aufgeschraubte Lamellen

Ertüchtigung bestehender Stahlbrücken

Ingenieurtechnische Herausforderungen, meist unter laufendem Verkehr



Verstärkung der Längswanddiagonalen der Gerüstpfiler durch aufgeschraubte Lamellen



3. Ersatzneubau

z. B. durch (leichtere) Stahlverbund- Überbauten:

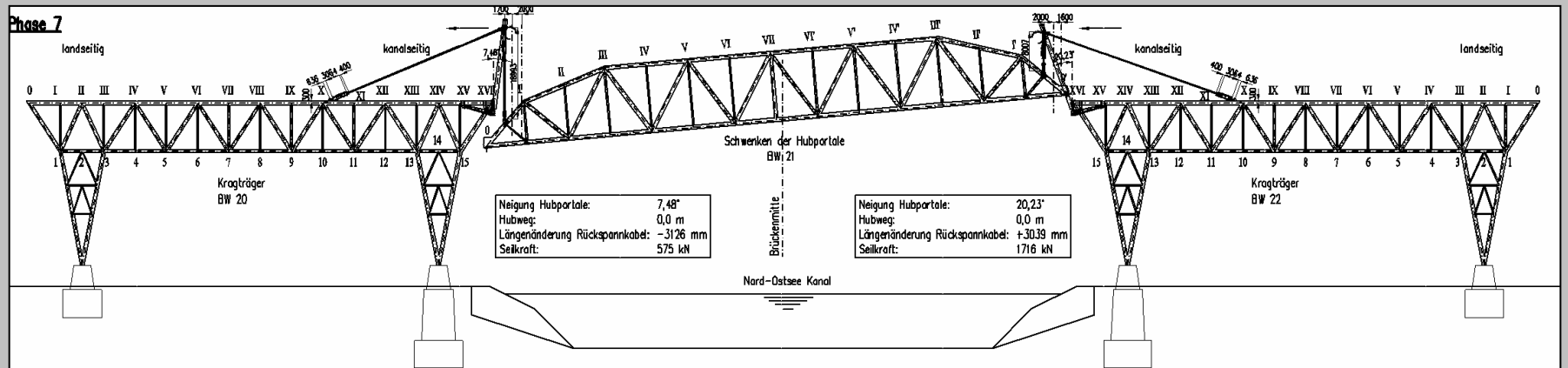
- Unterbauten können bestehen bleiben, bei evtl. sogar breiterem Überbau
- schnelle Bauweise durch Vorfertigung



Beispiel Windelbachtalbrücke i.Z.d. A45 (Hessen)

Kanalbauwerk Eisenbahnhochbrücke Hochdonn über Nord- Ostsee- Kanal

Austausch des Schwebeträgers in kurzer Sperrzeit



Kanalbauwerk - Demontage und Montage des Schwebeträgers (2006)



Ersatzneubau

- Modulare Bauweisen für wichtige Strecken (z.B. getrennte Überbauten)
- Möglichkeiten der späteren Ertüchtigung für weiter steigende Verkehrslasten, Reserven durch Konstruktionsregeln für wichtige Bauteile (z.B. Möglichkeit Nachrüstung externer Spannglieder)
 - ➔ Bauherrenaufgaben - in Neubauplanung einbeziehen
- Vollständige Beauftragung der ingenieurtechnischen Planung durch Bauherrn, trotzdem Ermöglichung Sondervorschläge – Innovationen der Baufirmen nutzen
- Bauen unter Verkehr – Einbezug des Kriteriums Bauzeit in die Ausschreibung ?



Ersatzneubau Eisenbahnbrücken

Sondervorschläge bieten Möglichkeiten für neue Tragsysteme – Beispiel
Netzwerkbogen



Oderbrücke bei Frankfurt

Schnelles Bauen – Verbundbauweise hat auch bei Eisenbahnbrücken im mittleren Stützweitenbereich Vorteile



Itztalbrücke (NBS Erfurt – Nürnberg, 2004)

- Fachwerk- Deckbrücken können zwischen 50 – 100 m wirtschaftlich sein
- Ganzfertigteile auch bei Durchlaufträgern (keine Chloridbelastung)

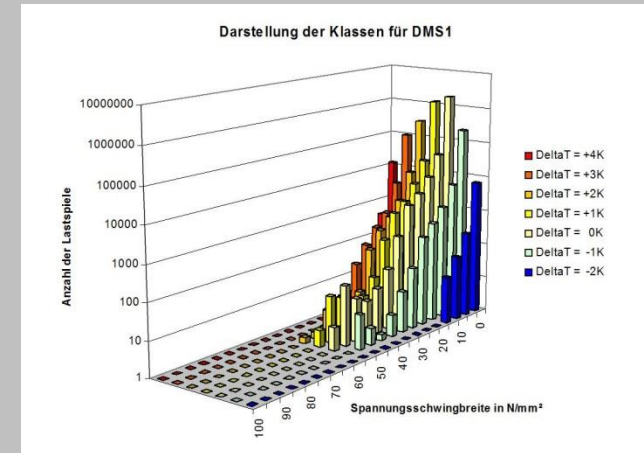
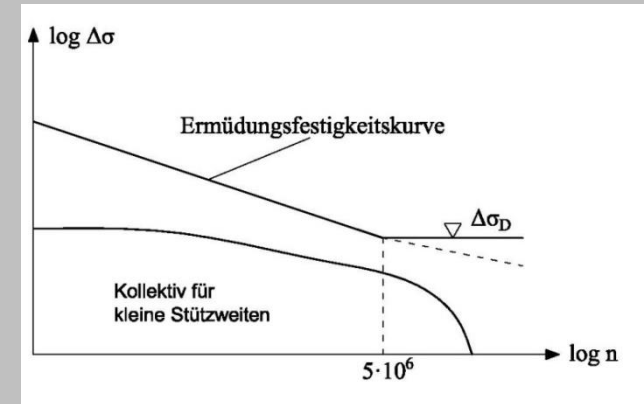
Notwendigkeit Forschungsprojekte zur Brückenbewertung/-ertüchtigung

Grundlagenforschung i.d.R. für Straßen- und Eisenbahnbrücken gleichermaßen, z.B.

- Dauerfestigkeitswerte ermüdungsbeanspr. Bauteile
- Querkrafttragfähigkeit vorgespannter Massivbrücken
- probabilistische Methoden der Bewertung von Bestandsbauwerken
- Methoden / Auswertung Bauwerksmonitoring
- ...

Anwendungsorientierte Forschung

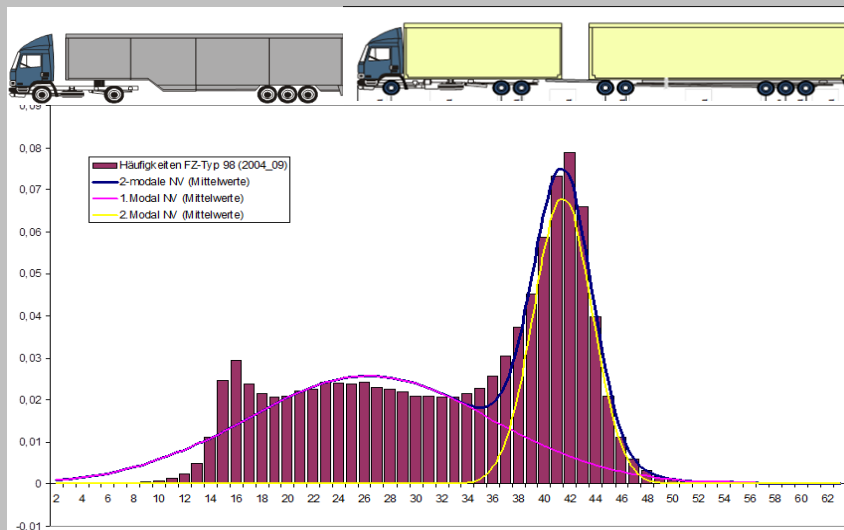
- zur Begründung normativer Festlegungen für Nachrechnung, z.B. Ziellastniveau, NW, Sicherheitselemente
- neue Bauweisen zur Verstärkung



Straßenbrücken – Realistischere Bewertung

v.a. durch Festlegung der für die Strecke erforderlichen **Einwirkungen** (Ziellastniveau), evtl. unterschiedlich für Bundesstraßen – nachgeordnetes Netz (Land-, Stadtstraße...)

Abstimmung zwischen Nutzern und Bauwerkseigentümern zu möglichen Lkw- Lasten



Daimler-Lastwagen kommen künftig im Rudel

Weniger Dieselerbrauch, weniger Unfälle – und was passiert eigentlich noch, wenn jeder Lastwagen Teil des Internets der Dinge wird?
Von Carsten Knop und Susanne Preuß

STUTTGART, 21. März. Ein großer Aha-Effekt hat Wolfgang Bernhard schon im vergangenen Herbst für sich gehabt. Da setzte sich der Lastwagen-Vorstand von Daimler in einem Mercedes-Laster, den baden-württembergischen Ministerpräsidenten Winfried Kretschmann neben sich – und dann fahren die beiden los und plauderten entspannt. Denn der Lastwagen fuhr autonom, auf der vielbefahrenen Autobahn A 8 bei Stuttgart, mitten im Freitagsverkehr. Am gestrigen Montag setzte Wolfgang Bernhard ein weiteres Zeichen für das Fahren in der Zukunft, dieses Mal auf der A 52, bei Düsseldorf. Jetzt schickte der Daimler-Manager gleich drei Lastwagen los, die alle autonom gesteuert wurden, und zwar aus dem ersten Fahrzeug heraus.
Lastwagen Nummer 2 und Nummer 3 fahren (trotz einer Geschwindigkeit von 80 Kilometer in der Stunde) in nur 15 Meter Abstand. So entsteht ein Verband, der sich vor jeder Autobahnaus- oder -aufahrt auflöst, gesteuert nicht etwa von



Hände weg vom Lenkrad: Drei Lastwagen von Daimler im Fahrverbund

Foto: Daimler

aus Frankfurter Allg. Zeitung, 22. März 2016

- Lkw-Verkehr mit definitiv begrenztem zulässigen Gesamtgewicht von 44t ist günstiger als heutiger Verkehr, Achslastmesssysteme sind verfügbar
- auch modifizierbare Abstandsregelungen sind heute technisch kein Problem (sogar autonomes Fahren möglich)

Priorisierung der Maßnahmen erfordert möglicherweise Übergang zur **Risikobasierten Bauwerksprüfung und Nachrechnung**


SIB-BAUWERKE



Zu den Bauwerken

Übersicht

BW-Daten ausgeben

BW-Daten einlesen

Auswertung

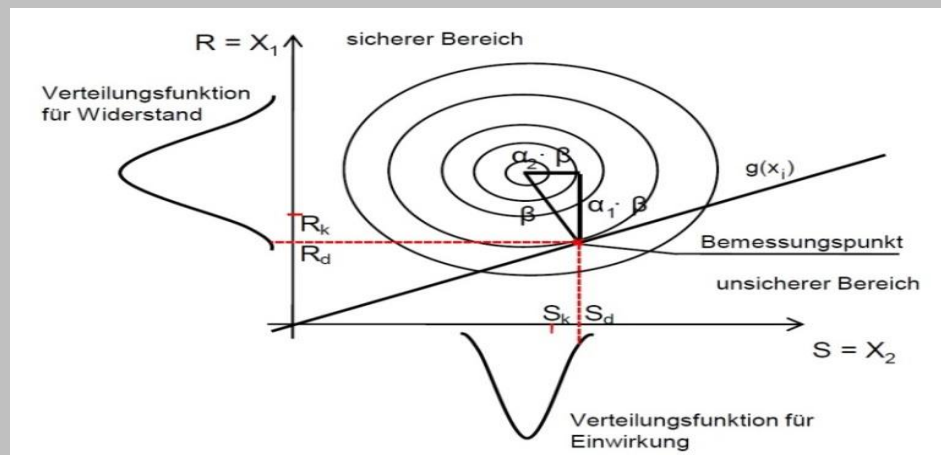
Administration / Einstellungen

Ende

Bedienungsanleitung

Info

Dokumentation



Bedeutungskategorie	Bauwerke	Beiwert γ_I
größer als durchschnittlich	Bauwerk ist kritisch für die Aufrechterhaltung des Verkehrs nach einer Katastrophe, Brücken, deren Versagen mit großer Anzahl wahrscheinlicher weiterer Unglücksfälle verbunden ist, wichtige Brücken, die planmäßig für eine höhere Lebensdauer bemessen sind	1,30
Durchschnittlich		1,0
kleiner als durchschnittlich	nicht kritisch für den Verkehr, Brücken, für die die Annahme der Standardwahrscheinlichkeit einer Überschreitung des seismischen Bemessungsereignisses wirtschaftlich nicht vertretbar ist	0,70

s.a.: *Sicherheitselemente für Bedeutung bei Erdbebentbemessung*

Aufgaben zur Ertüchtigung der Verkehrsinfrastruktur

Unterschied zwischen Straßen- und Eisenbahnbrücken

Straßenbrücken

kein hohes Alter,
aber extrem gestiegene
Verkehrsbelastung

Eisenbahnbrücken

die Hälfte aller Bauwerke älter als 80 Jahre,
oft auch Zeugnisse der Baukultur



Realistische Bewertung hinsichtlich Zustand, Tragfähigkeit und Ertüchtigbarkeit

erfordert neue Methoden, tw. schwierige ingenieurtechn. Aufgaben,
Einschätzung nur durch erfahrene Ingenieure

Ertüchtigung / Ersatzneubau → neue Bauweisen entwickeln, meist unter Verkehr