



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

BAST Fachgespräch Stahlbrückenbau

am 27.09.2017 in Bergisch Gladbach

Neue Entwicklungen bei Brücken mit Hohlkästen

Marcell Collette

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Referat Brücken-, Tunnel- und sonstige Ingenieurbauwerke



Aktuelle Regelungen zur Ausführung von Stahlhohlkästen

Bauwerksprüfung nach DIN 1076

- Theoretische Nutzungsdauer einer Stahlbrücke = 100 Jahre
- Theoretische Nutzungsdauer einer Verbundbrücke = 70 bis 100 Jahre
- Im Laufe der Lebenszeit entstehen Alterung und Verschleiß
- Es entwickeln sich mehr oder weniger ausgeprägte Schäden
- Um Bauwerke hinsichtlich der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit beurteilen zu können, schreibt die DIN 1076 für die Hauptprüfungen eine **handnahe Untersuchung aller Bauwerksteile** vor.
 - Erkennen von Schäden
 - fortlaufende Dokumentation
 - Überwachung und
 - Bewertung.

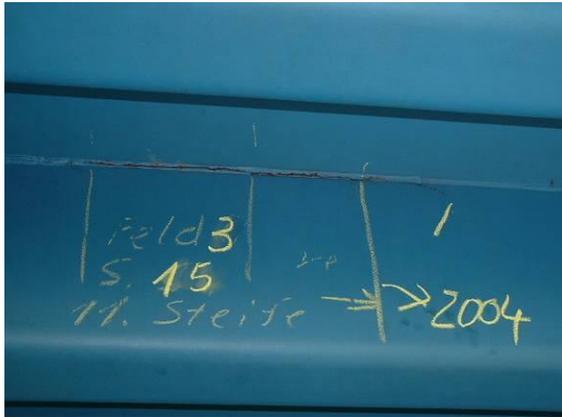
Bauwerksprüfung nach DIN 1076

- Ermittlung von Kenntnissen über Art, Ursache, Umfang, Schweregrad und zeitlicher Verlauf eines Schadensbildes
- Vermeidung von kostenintensiven Schadensausweitungen und Folgeschäden
- rechtzeitige, zielgerichtete und wirtschaftliche Schadensbehebung



- Wesentlicher Baustein des Qualitätsmanagementsystems und des Sicherheitskonzeptes der Bauwerke

Schadensbilder



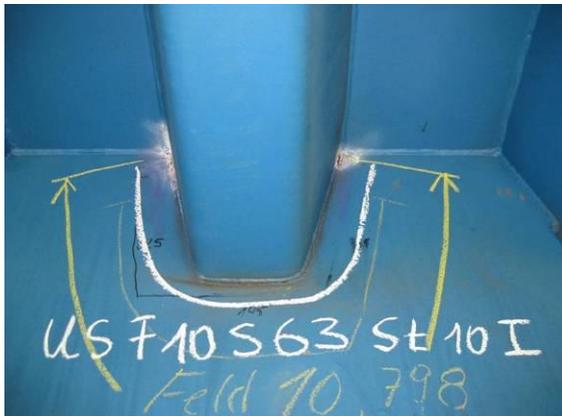
Schweißnahttriss zwischen Trapezsteife und Deckblech



Riss in Trapezsteife abgewandert



Riss ins Fahrbahndeckblech abgewandert



Schweißnahttriss am Anschluss zwischen Trapezsteife und Querträger



Riss im Quersystem



Riss im Hauptträgeruntergurt

Schadensbilder



Schweißnahttriss im Verschlussdeckel der Hohlstreben



Schweißnahtimperfectionen: z.B. Porenzeilen, Kerben, schroffer Nahtübergang



Wasseransammlung in der Mittelkappe



Wasseransammlung in Trapezsteife



Wasseransammlung in Trapezsteife



Korrosionserscheinungen durch Wasseransammlung

Schadensbilder



Korrosionserscheinungen durch Wasseransammlung



Schadensbilder



Wasseransammlung im Stiel

Schadensursachen

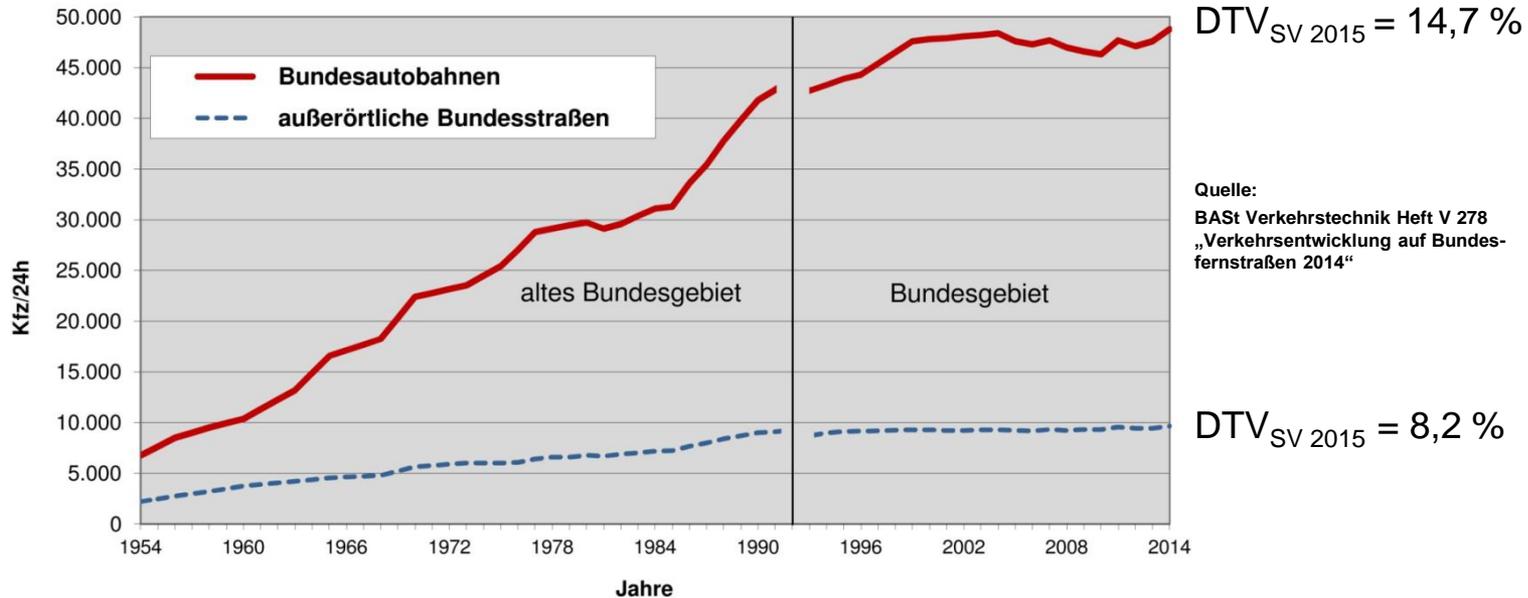
- **Nach der elastischen Ermüdungstheorie entstehen bei Stahlbauten Risse, wenn das betroffene Bauteil wiederholt wechselnden Zugspannungen ausgesetzt wird, die einen Bruch erzeugen können.**
- Überschreitung der lokalen Beanspruchungen / zulässigen Spannungen
- meist in Verbindung mit wechselnden Biegewirkungen und mit scharfen Kerben

- Ermüdungsrisse entstehen ausnahmslos innerhalb der Wärmeeinflusszone von Schweißnahtverbindungen oder resultieren aus Schnittkanten mit hohen Eigenspannungen
- Die empfindlichsten Stellen liegen nahe an der Fahrbahnoberfläche
- insbesondere in der Schwerverkehrsspur

Schadensursachen

Verkehrsentwicklung (Nutzungsänderung)

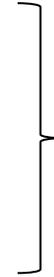
- Zunahme des KFZ-Verkehrs [DTV_{KFZ}] von 1970 bis 2015
BAB = ca. 220 % / B-Str._{außerorts} = ca. 100 %



- Zunahme des KFZ-Verkehrs [Mrd. Kfz-km] von 1970 bis 2015
BAB (35,0 → 237,6) = ca. 680 % / B-Str._{außerorts} (51,6 → 107,4) = ca. 215 %

Schadensursachen

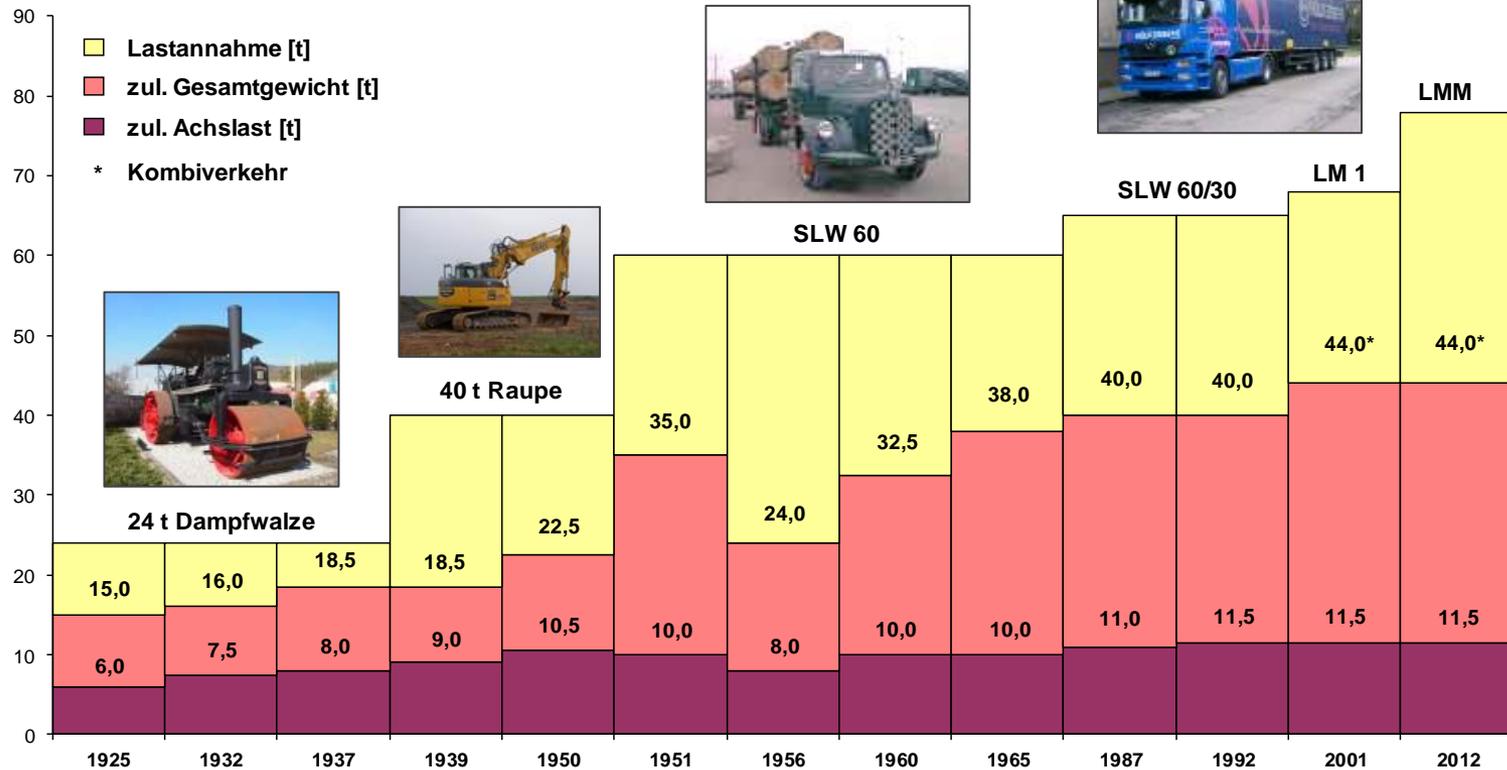
- stark ansteigende Zahl der genehmigten Schwerlasttransporte
- illegal durchgeführte Fahrten
- häufig festgestellte Überladungen von LKWs



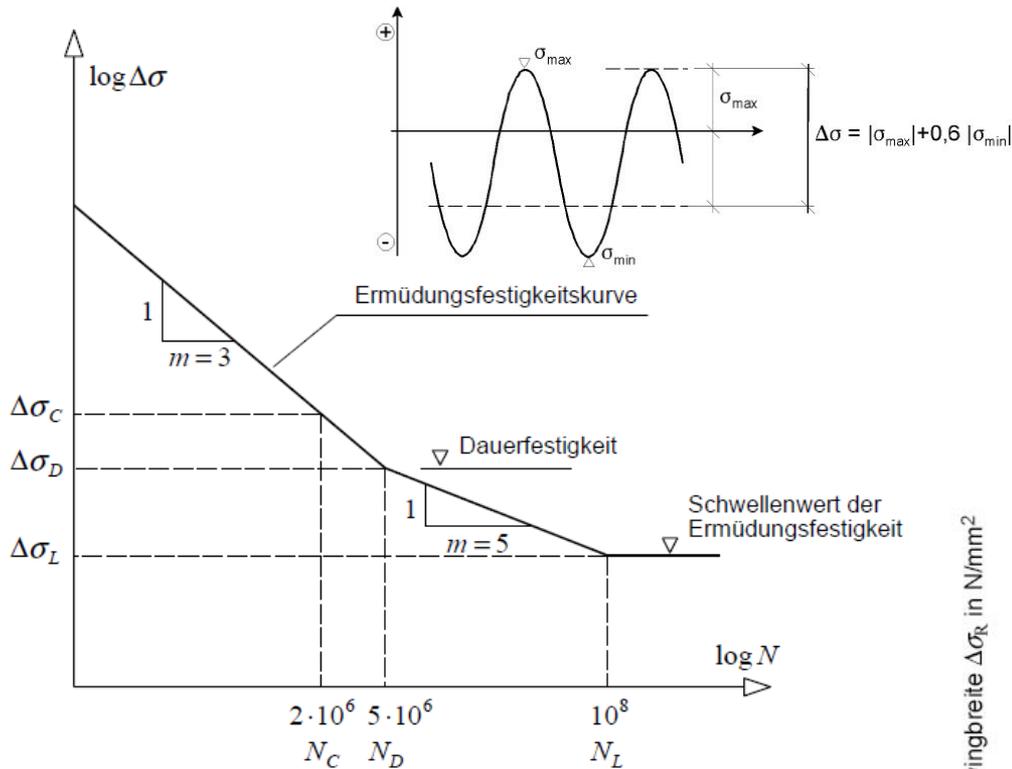
gestiegenes
Verkehrsaufkommen

Schadensursachen

gestiegene Verkehrslasten

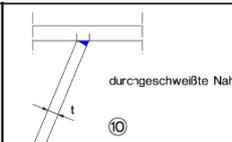
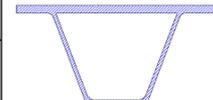
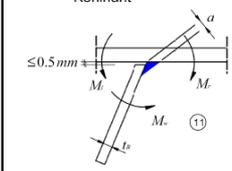


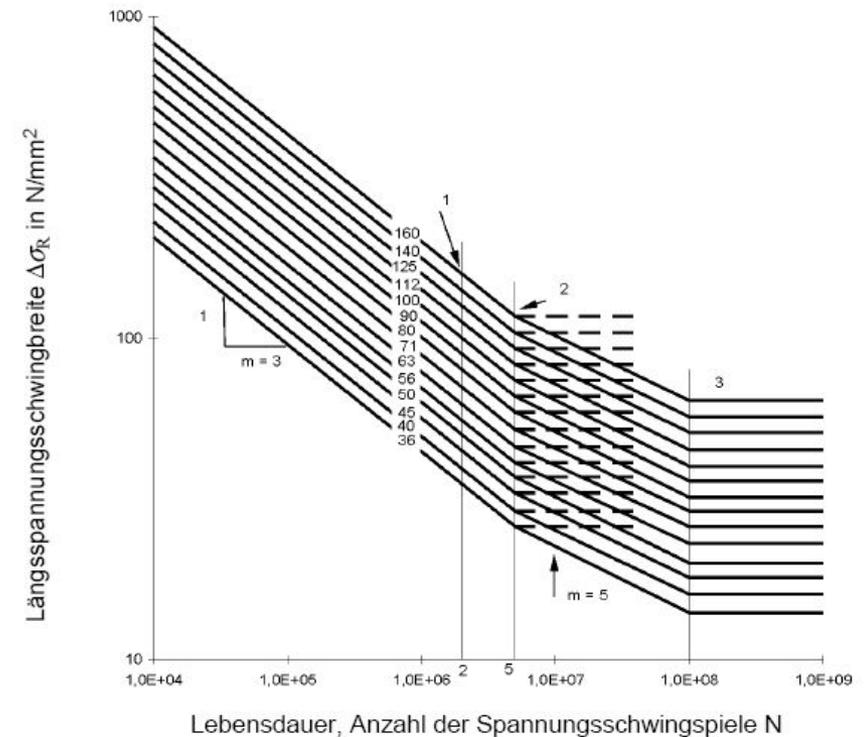
Schadensursachen



Ermüdungsfestigkeitskurve (Wöhlerkurve)

- Quantitative Beziehung zwischen Spannungsschwingbreite und -spiel, das zum Ermüdungsversagen führt
- Ermüdungsnachweis eines Kerbfalls eines Konstruktionsdetails

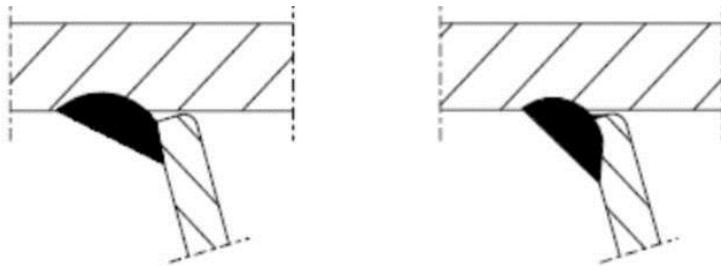
71			Deckbleche mit angeschweißten Trapezsteifen: 10) Durchgeschweißte Naht
50			11) Kehlnaht



Schadensursachen

Konstruktive Ausbildung

- **Verbindung der Trapezsteifen an das Fahrbahndeckblech**
Kehlnähte mit Restspalt ohne oder mit teilweise Einbrand an Stelle von Stumpfnähten mit vollem Einbrand
- **Kreuzung Querträgersteg / Trapezsteife**
mit für die Schweißung ungünstig gestalteten Durchdringungen
- **Sprunghafte Änderungen der Steifigkeitsverhältnisse**
bei Kreuzungen von Querträgern und Trapezsteifen



Schadensursachen

Herstellungsprozess

- Zu große Halbzeug- und Fertigungstoleranzen (z.B. Passungen)
- Plast. Verformungen und Wiederverfestigung an kaltgeformten Kanten, Flammrichten
- Metallurgische Werkstoffveränderungen (z.B. Brennschneiden, Bohren von Löchern)
- Metallurgische Gefügeveränderungen infolge Wärmeeintrag und Schmelzen
- Schweißnahtvorbereitung, Materialien, Unregelmäßigkeiten
- Zugeigenspannungen durch Schrumpfungsprozesse in den Schweißnähten
- Schweißfolge, Schweißgeschwindigkeit, Schweißverfahren, Anzahl der Lagen
- Proportionalität zum Energieeintrag, hoher Einfluss von Zwängungsbedingungen
- Schweißimperfectionen (wie Poren, Einschlüsse) und Fügefehler
- Auf Ermüdungsfestigkeit nachteilig auswirkende Korrosionsprozesse

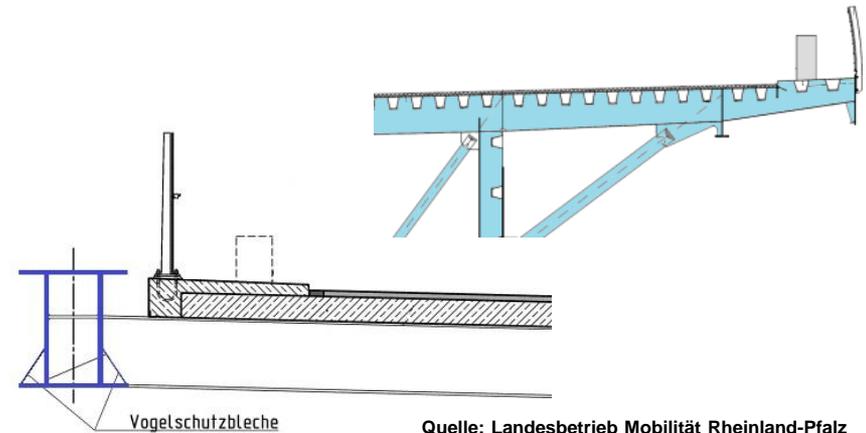
Herstellungsmängel haben den größten Einfluss auf die Schadensentstehung

Fazit

- **Es ist nicht davon auszugehen, dass künftige Brücken vollkommen fehler- und mangelfrei errichtet und dauerhaft erhalten werden können.**
- Dicht geschlossene Konstruktionen sind nicht zugänglich. Eine handnahe Prüfung der innenliegenden Bauteile ist nicht möglich. Schäden können nicht erkannt und repariert werden.
- Gerade die Zugänglichkeit des Kasteninneren hat sich in jüngster Vergangenheit als Vorteil erwiesen, weil
 - Ermüdungsrisse zumeist von der inneren Aussteifungskonstruktion ausgegangen sind und diese
 - nur durch handnahe Prüfungen im Kasteninneren detektiert und behoben werden konnten.
- Zugänglichkeit dient der Sicherheit und langfristigen Handlungsfähigkeit
- **Grundsatz: sichere, einfache, handnahe und wirtschaftliche Prüfung, Überwachung und Erhaltung.**

Zugänglichkeit

- **Kleine Hohlkästen**
(Hohlkästen, deren Abmessungen eine Zugänglichkeit nicht zulassen sowie kleine Bauteile wie z. B. Trapezsteifen, Mittelkappen, Rohre)



Quelle: Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz

DGUV Information 201-052 Rohrleitungsbauarbeiten, Abschnitt 5.2:

In Rohrleitungen und Schächten, deren lichte Maße weniger als

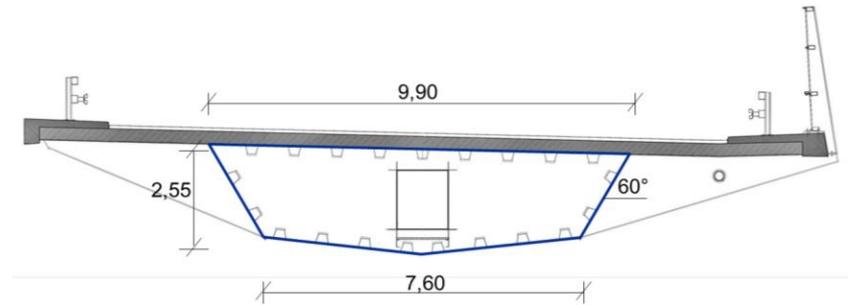
- $\varnothing = 600 \text{ mm}$ bzw.
- $B/H = 600/600 \text{ mm}$

betragen, dürfen sich keine Personen aufhalten.

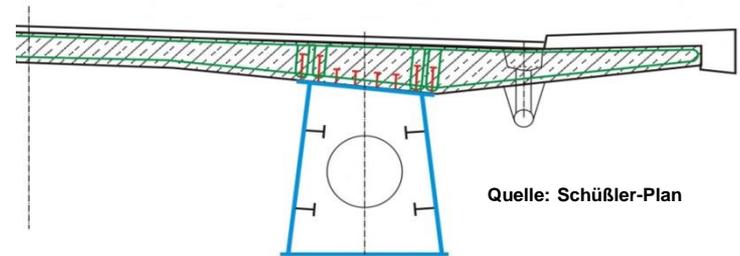
Bei der Bestimmung der lichten Maße sind im Innern befindliche Einbauteile, Versorgungsleitungen oder Ähnliches zu berücksichtigen.

Zugänglichkeit

- **Große Hohlkästen**
(Hohlkästen, deren Abmessungen eine grundsätzliche Zugänglichkeit zulassen, RE-ING 2-3: $H \geq 2,0$ m und $B \geq 1,0$ m)
- **Mittlere Hohlkästen**
(Hohlkästen, deren Abmessungen eine Zugänglichkeit nicht grundsätzlich ausschließen)



Quelle: Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz



Quelle: Schüßler-Plan

DGUV Information 201-052 Rohrleitungsbauarbeiten, Abschnitt 5.2:

In Rohrleitungen und Schächten mit lichten Maßen ab \varnothing 600 mm bzw. $B/H = 600/600$ mm dürfen sich Personen aufhalten.

Wenn Einfahrstrecke $\geq 20,0$ m, dann seilgeführter Rollwagen

Festlegungen für die Ausführung

- **Kleine Hohlkästen**

- Handnahe Prüfung nach DIN 1076 von innen nicht möglich
- besonderen Anforderungen an Konstruktion, Ausführungsqualität und Ermüdungssicherheit
- Dichtschweißung der Konstruktion
- Keine Innenbeschichtung

- **Große Hohlkästen**

- Prüfung von innen ist gegeben: Ausführung stets begehbar, offen, belüftet
- keine dichte Verschweißung
- Vollausrüstung für Bauwerksprüfung
- Helle Innenbeschichtung (ZTV-ING 4.3 – Anhang A)

Festlegungen für die Ausführung



B 10, Rheinbrücke Maxau

B 10, Rheinbrücke Maxau



Festlegungen für die Ausführung

- **Mittlere Hohlkästen**

Festlegung offen und belüftet oder dicht geschlossen in Abhängigkeit, ob planmäßige Bauwerksprüfung zumutbar (**Einzelfallentscheidung**)

Bei begehrbarer Ausführung:

- Offen, belüftet, Innenbeschichtung wie bei großen Hohlkästen



Stahlbetonbrücke
Konstruktionshöhe = 1,30 m

Festlegungen für die Ausführung

Bei dicht geschlossener Ausführung:

- besondere Anforderungen an Konstruktion, Ausführungsqualität und Ermüdungssicherheit
- Zugänglichkeit für Prüfung aus besonderem Anlass
- Helle Innenbeschichtung (EP-Einschichtsystem, ca. RAL 9002)
- angepasste Bauwerksausstattung (z. B. Anschlagpunkte für PSA)
- Prüfkonzept für künftige Bauwerksprüfungen
- Gefährdungsbeurteilung für Arbeiten in engen Räumen (DGUV Regel 113-004 Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen)
- Festlegung der erforderlichen Schutz- und Rettungsmaßnahmen
- Notfall- & Rettungsplan

Untersuchungsvorhaben

Dichte Stahlhohlkästen als tragende Elemente

- Langzeiterfahrungen liegen nicht vor
- 6 Brücken (davon 3 Stück mit $H \geq 1,90$ m und 3 Stück mit $H < 1,90$ m)
- Ermittlung einer Erfahrungssammlung
- Ganzheitliche Betrachtung
 - Dauerhaftigkeit
 - Wirtschaftlichkeit
 - Prüfbarkeit
 - Instandsetzung im Schadensfall
 - Widerstandsfähigkeit gegenüber zukünftigen Verkehrsbelastungen
- Empfehlungen zur konstruktiven Ausführung
- Bewertung zur Verwendung der Bauweise

Neue Produktentwicklungen im Korrosionsschutz

Blatt 100 – extrem lange Schutzdauer

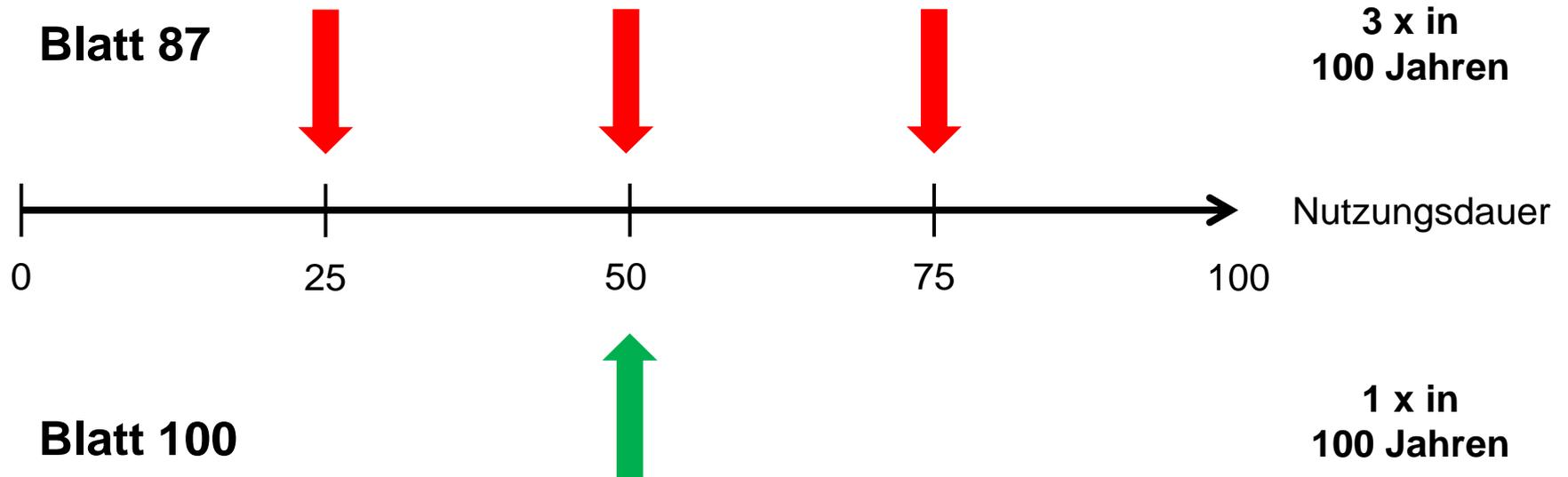
2K-Epoxidharz-Grundbeschichtung

- **Performanceorientiertes System** (keine Richtrezeptur)
- **Einsatz von bewährten Bindemitteln** (EP und PUR)
- **Extrem lange Schutzdauer** (> 50 Jahre)
- **Höhere Wirtschaftlichkeit** (mind. 3 Schichten, Gesamtdicke = 400 µm)
- **Verbesserter Umweltschutz** (VOC-Reduktion, REACH-konform)
(VOC = volatile organic compounds, REACH = Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, EU 1907/2006)
- **Höhere Farbstabilität der DB** (farbstabilere Materialien, längere Prüfzeiten)
- **Freibewitterung** (Beseitigen der EP/PUR-Zwischenhaftungs-Thematik)
- **Keine Regelausführung, daher ZiE erforderlich**
- **Wissenschaftliche Fachbegleitung durch die BAST**

Blatt 100 – extrem lange Schutzdauer

Vergleich Blatt 87 / Blatt 100

- **Schutzdauer**



Blatt 100 – extrem lange Schutzdauer

- **Wirtschaftlichkeit**

Blatt 87

Arbeitsgänge	4,3 x 2,50 €/m ²	=	10,80 €/m ²
Materialkosten bei 50 % Verlust			4,50 €/m ²
			15,30 €/m ²

Blatt 100

Arbeitsgänge	3,1 x 2,50 €/m ²	=	7,80 €/m ²
Materialkosten bei 50 % Verlust			6,00 €/m ²
			13,80 €/m ²

- **Umweltschutz**

Blatt 87

VOC (theor.) = ca. 250 g/m²

Blatt 100

VOC (theor.) = ca. 200 g/m²

Blatt 100 – extrem lange Schutzdauer

Blatt 100 (Beschichtung auf Stahloberflächen)

- **Prüfungen und Prüfanforderungen (TL/TP-KOR-Stahlbauten)** aktuell
- **Produktentwicklung und Einführung** bis 2018
- **Erprobung der Praxistauglichkeit / Pilotprojekte (ZiE)** bis 2023
- **Festlegung Blatt 100 als Standardsystem (Regelwerk)** ab 2023
- **Schrittweise Einziehen der 2K-Blätter 87, 89, 94, 95 und 97** ab 2023

Blatt 101 (Beschichtung auf verzinkten Oberflächen)

- **In Vorbereitung**

Blatt 50 – Innenbeschichtung für dichte Hohlkästen

2K-Epoxidharz-Grundbeschichtung (einschichtig)

- **Innenbeschichtung für dicht verschweißte Stahlhohlkästen,** deren Abmessungen eine Zugänglichkeit nicht grundsätzlich ausschließen
- **Bindemittel (EP)**
- **Korrosivitätskategorie C3 (DIN EN ISO 12944-2)**
- **Schutzdauer lang (> 15 Jahre)**
- **Höhere Wirtschaftlichkeit (1 Schicht, Gesamtdicke = 200 µm)**
- **Keine Regelausführung, daher ZiE erforderlich**
- **Wissenschaftliche Fachbegleitung durch die BASt**

Blatt 50 – Innenbeschichtung für dichte Hohlkästen

- **Wirtschaftlichkeit**

Blatt 87

Arbeitsgänge	3,1 x 2,50 €/m ²	=	7,80 €/m ²
Materialkosten bei 50 % Verlust			3,50 €/m ²
			11,30 €/m ²

2K-Epoxidharz-Grundbeschichtung (einschichtig)

Arbeitsgänge	1,2 x 2,50 €/m ²	=	3,00 €/m ²
Materialkosten bei 50 % Verlust			2,50 €/m ²
			5,50 €/m ²

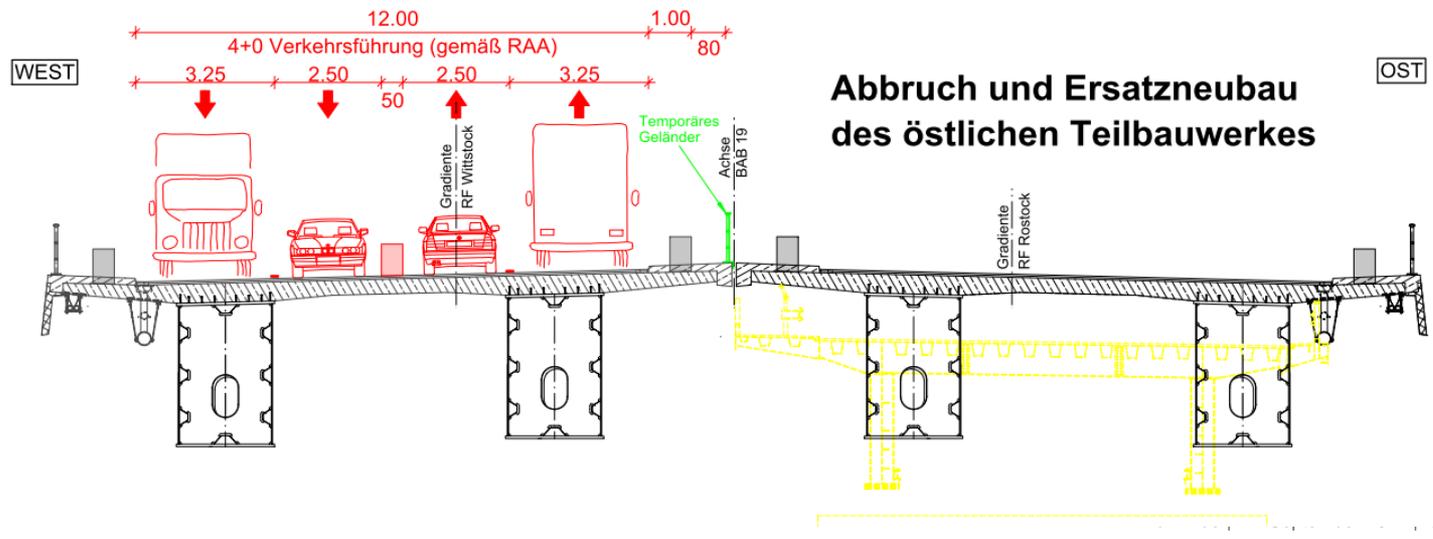
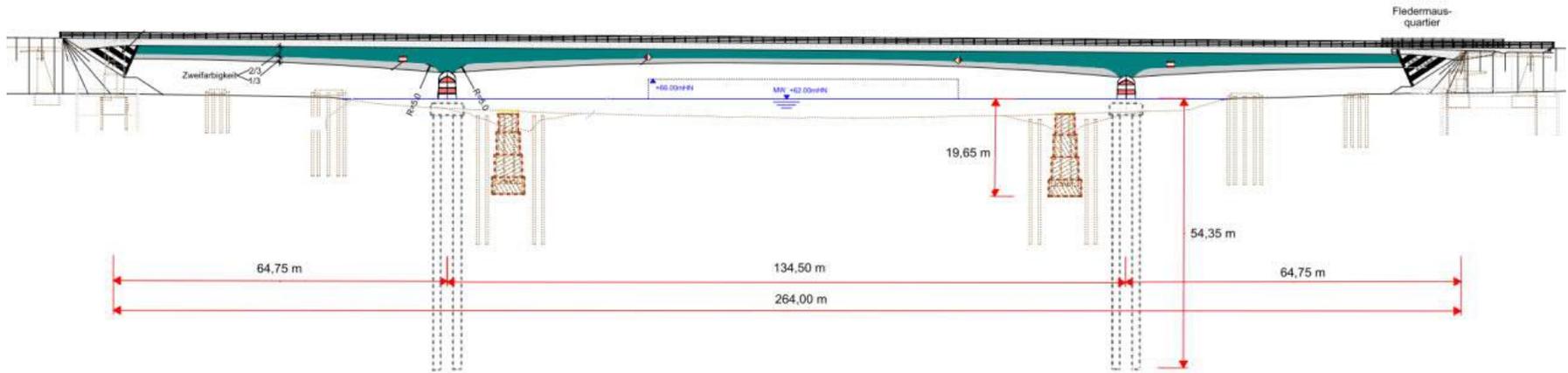
Blatt 50 – Innenbeschichtung für dichte Hohlkästen

Meilensteine

- **Prüfungen und Prüfanforderungen (TL/TP-KOR-Stahlbauten)** aktuell
- **Produktentwicklung und Einführung** bis 2018
- **Erprobung der Praxistauglichkeit / Pilotprojekte (ZiE)** bis 2023
- **Übernahme Blatt 50 als Standardsystem (Regelwerk)** ab 2023

Blatt 50 – Innenbeschichtung für dichte Hohlkästen

Pilotprojekt: A 19 - Brücke über den Petersdorfer See (dicht geschlossen)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bundesministerium für Verkehr
und digitale Infrastruktur (BMVI)

Referat Brücken-, Tunnel- und sonstige Ingenieurbauwerke
Robert-Schuman-Platz 1
D-53175 Bonn

www.bmvi.de