

Steigerung der Aussagekraft von Zustandsbewertungen durch Zuverlässigkeitsbetrachtungen

Rolf Rabe (BASt), Francois-Marie Nyobeu (BAW), Andreas Panenka (BAW)

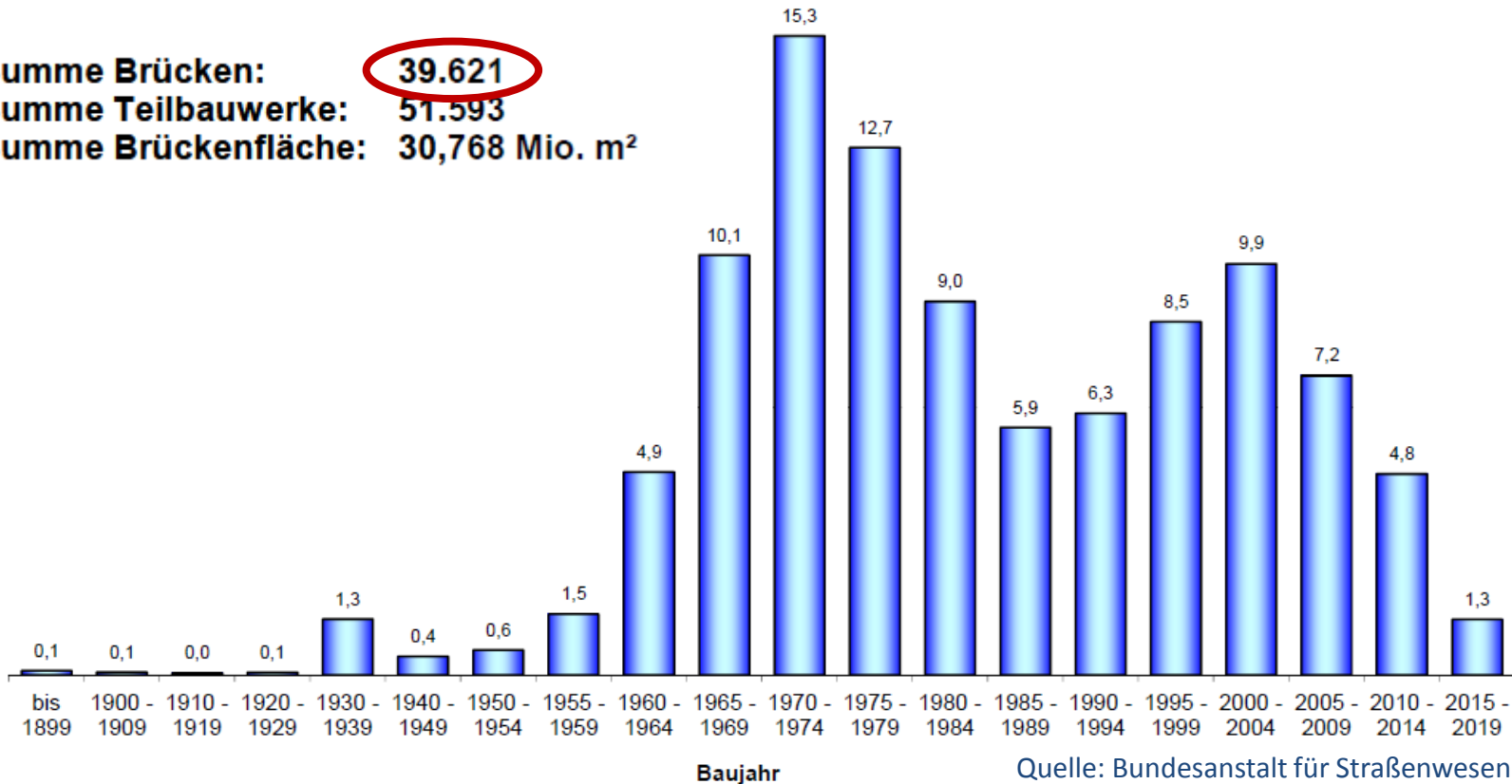
Fachsession: Zuverlässigkeit von alternden Infrastrukturen verbessern

Ausgangssituation - Altersstruktur

Brücken an Bundesfernstraßen
Altersstruktur nach Fläche der Teilbauwerke in Prozent
Stand: 01.03.2018

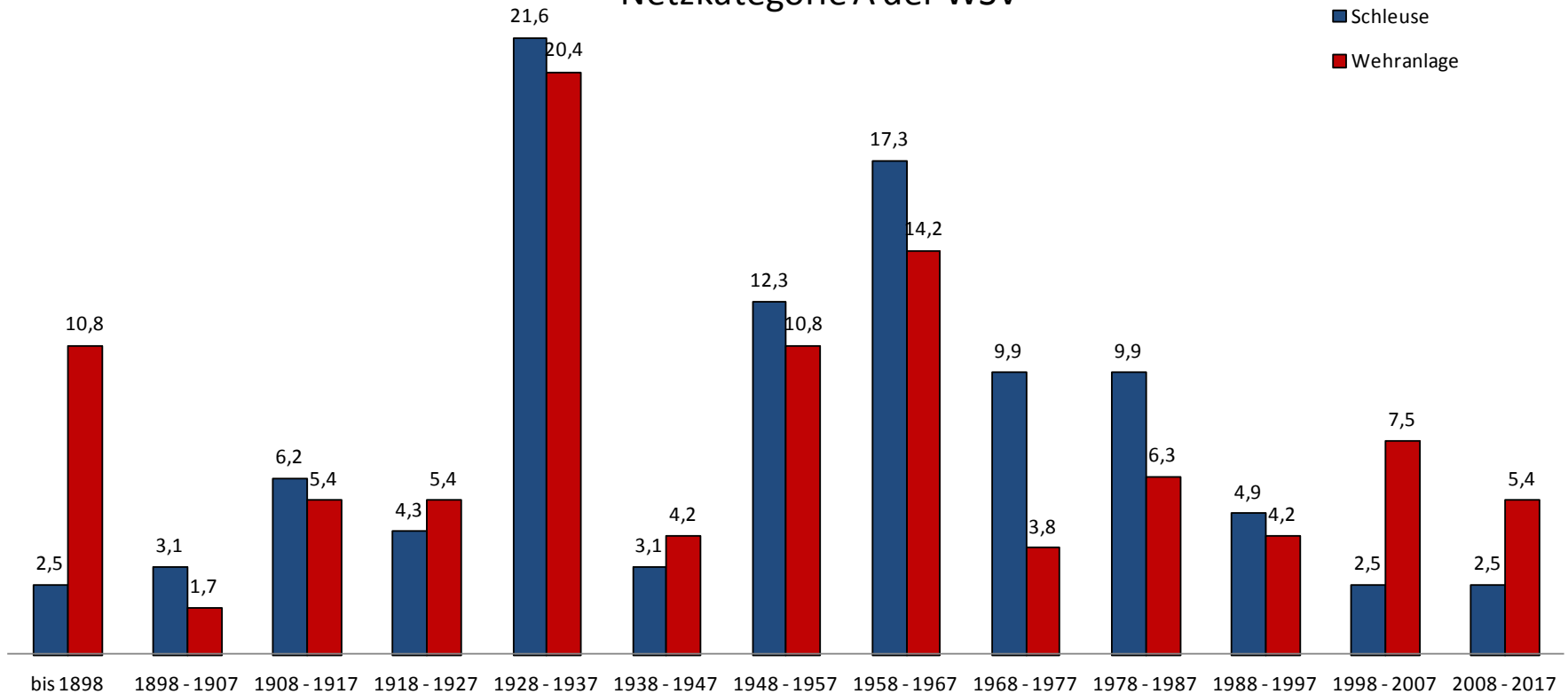


Summe Brücken: 39.621
Summe Teilbauwerke: 51.593
Summe Brückenfläche: 30,768 Mio. m²



Ausgangssituation - Altersstruktur

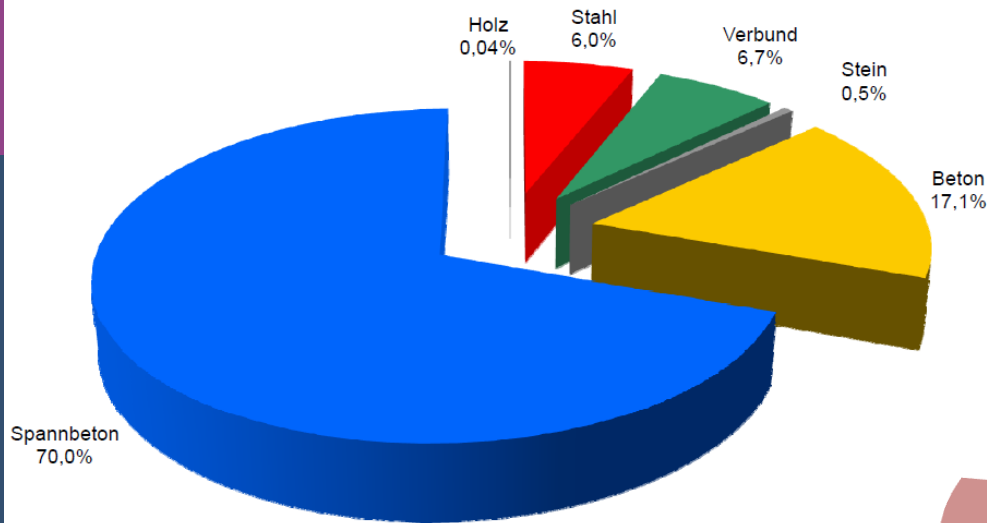
Altersstruktur von Schleusen und Wehren der
Netzkategorie A der WSV



Quelle: Bundesanstalt für Wasserbau

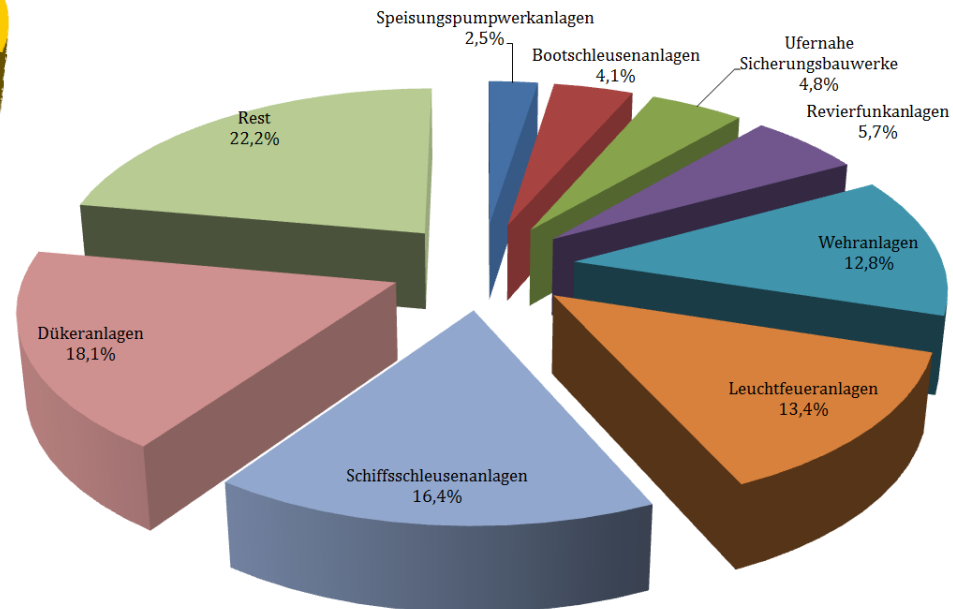
Ausgangssituation - Portfolio

Brücken an Bundesfernstraßen
Brückenflächen nach Bauweisen
Stand: 01.03.2018



Quelle: Bundesanstalt für Straßenwesen

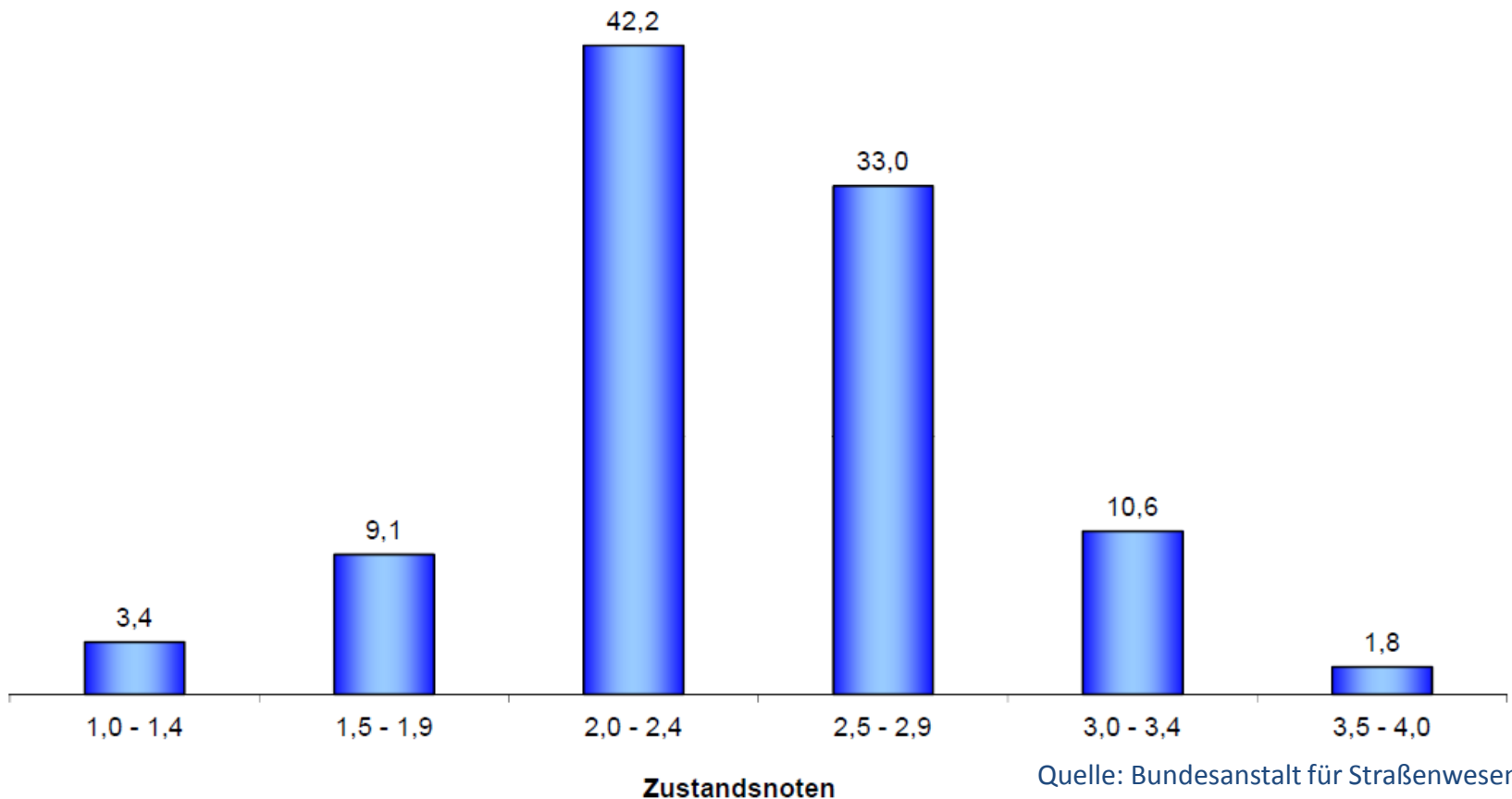
Übersicht der in WSV Prüf verfügbaren Objektarten der WSV



Quelle: Bundesanstalt für Wasserbau

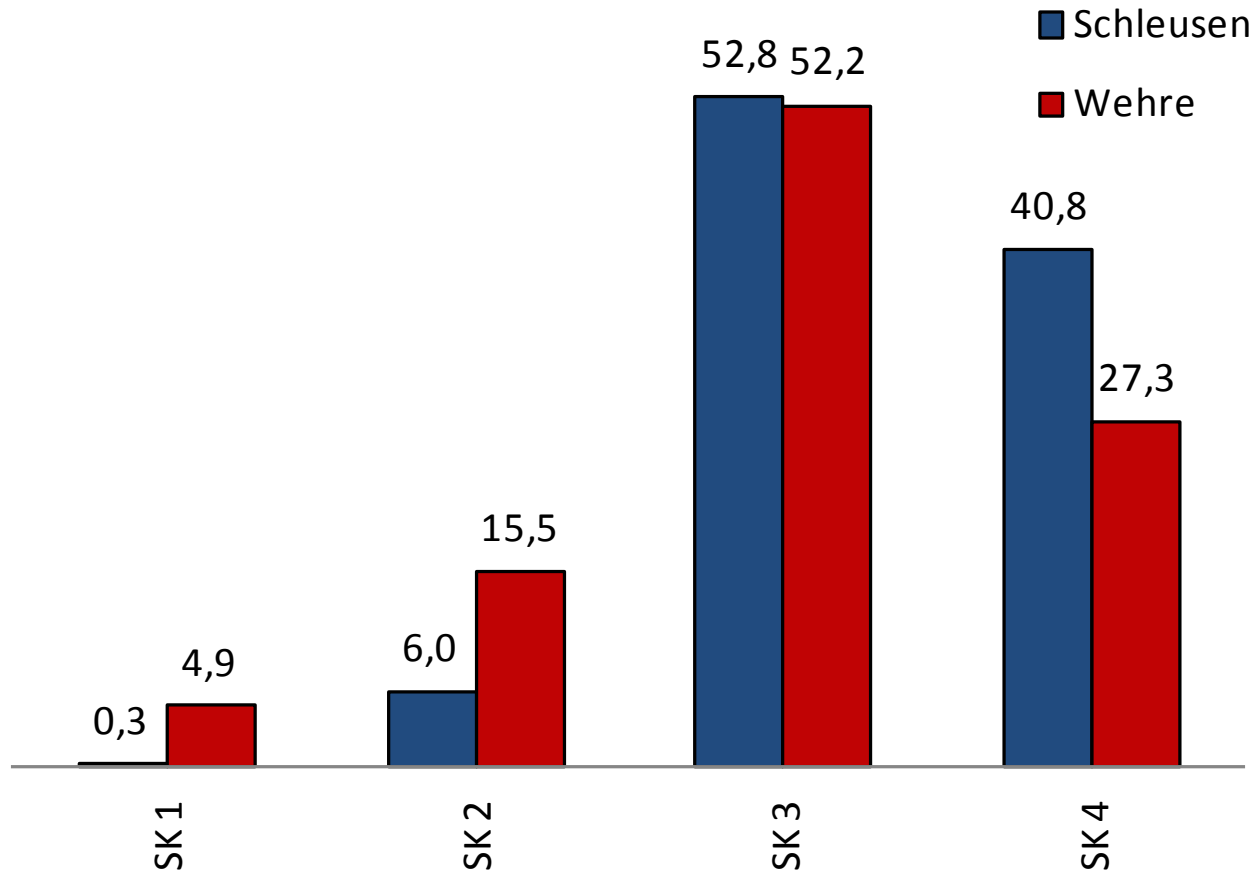
Ausgangssituation - Zustandsnoten

Brücken an Bundesfernstraßen
Zustandsnoten nach Brückenflächen der Teilbauwerke in Prozent
Stand: 01.03.2018



Ausgangssituation - Zustandsnoten

Zustandsnoten für Wehre und Schleusen der WSV



Quelle: Bundesanstalt für Wasserbau

Bauwerksprüfung

Bauwerksprüfung z.B. gemäß DIN 1076:

- Hauptprüfung visuell und handnah alle 6 Jahre
- einfache Prüfung alle 3 Jahre
- Sichtprüfung jährlich

Eintragung der Ergebnisse in die Datenbank SIB-Bauwerke (Art, Ort und Ausmaß der Schäden) (z.B. RI-EBW-PRÜF)

- (Objektbezogene Schadensanalyse)
- (Nachrechnungsrichtlinie)



Berechnung von Zustandsnoten auf Basis erkannter Schäden als Basis für die Erhaltungsplanung

Erhaltungsplanung

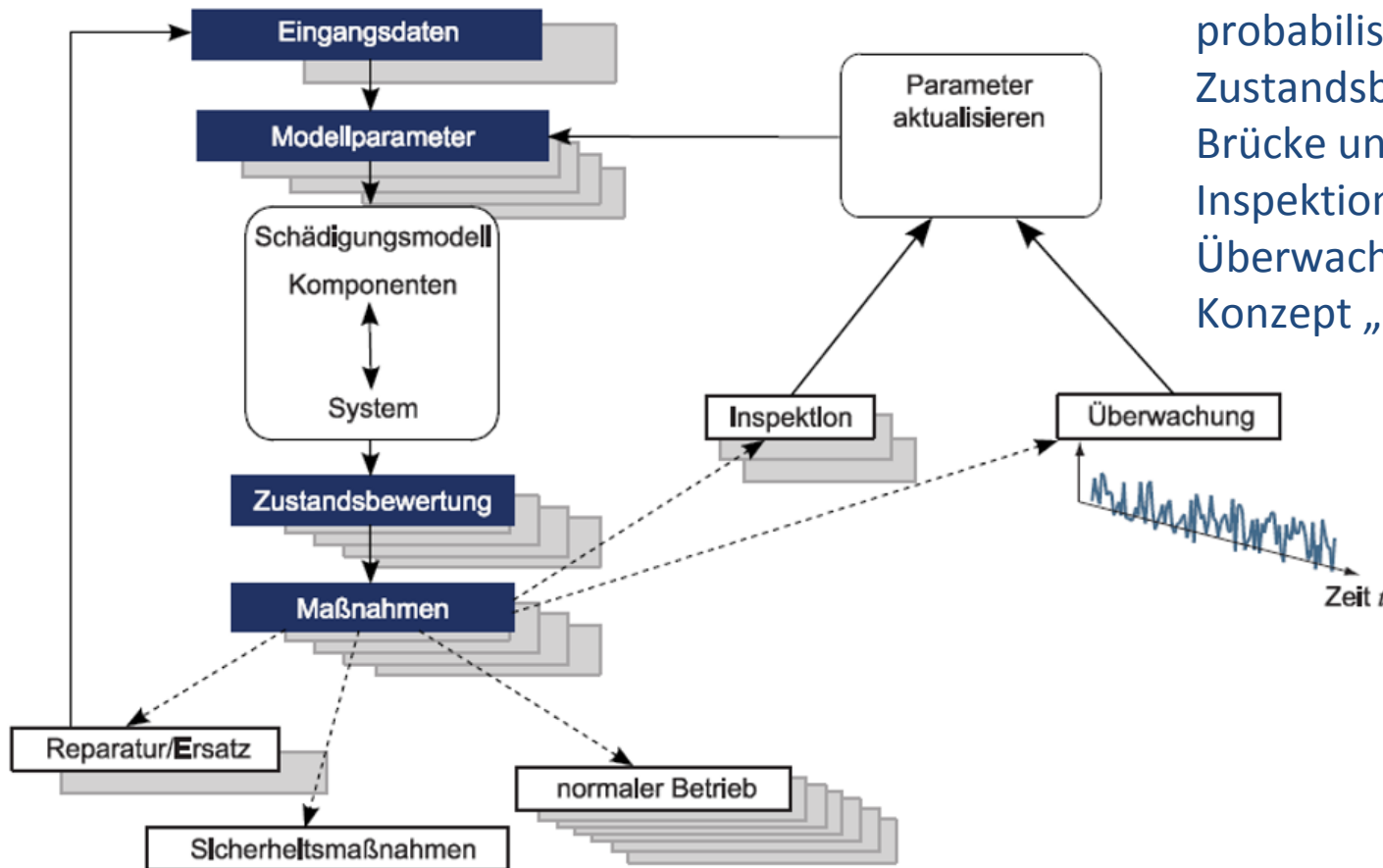
Klassische Erhaltungsplanung:

- basierend auf Bauwerksdatenbanken und Zustandsnoten
- reaktiv
- deterministisch
- nur Schäden, die visuell sichtbar sind werden erfasst
- keine Berücksichtigung von z.B. Naturgefahren, veränderter Verkehrsbelastung, Bedeutung oder Umgebung des Bauwerks

Zuverlässigkeitsbasierte Erhaltungsplanung:

- berücksichtigt die Unsicherheiten/Streuungen bei den verwendeten Eingangsgrößen (probabilistisch)
- Berücksichtigung von z.B. Naturgefahren, Verkehrsbelastung und Bedeutung des Bauwerks möglich
- Erhöhung der Aussagekraft der Zustandsbewertung

Probabilistische Zustandsbewertung



Konzept für die probabilistische Zustandsbewertung einer Brücke unter Einbezug von Inspektions- und Überwachungsprozessen (aus Konzept „Intelligente Brücke“)

Quelle: Fischer, R.; Straub, D. et al: Intelligente Brücke - Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B99

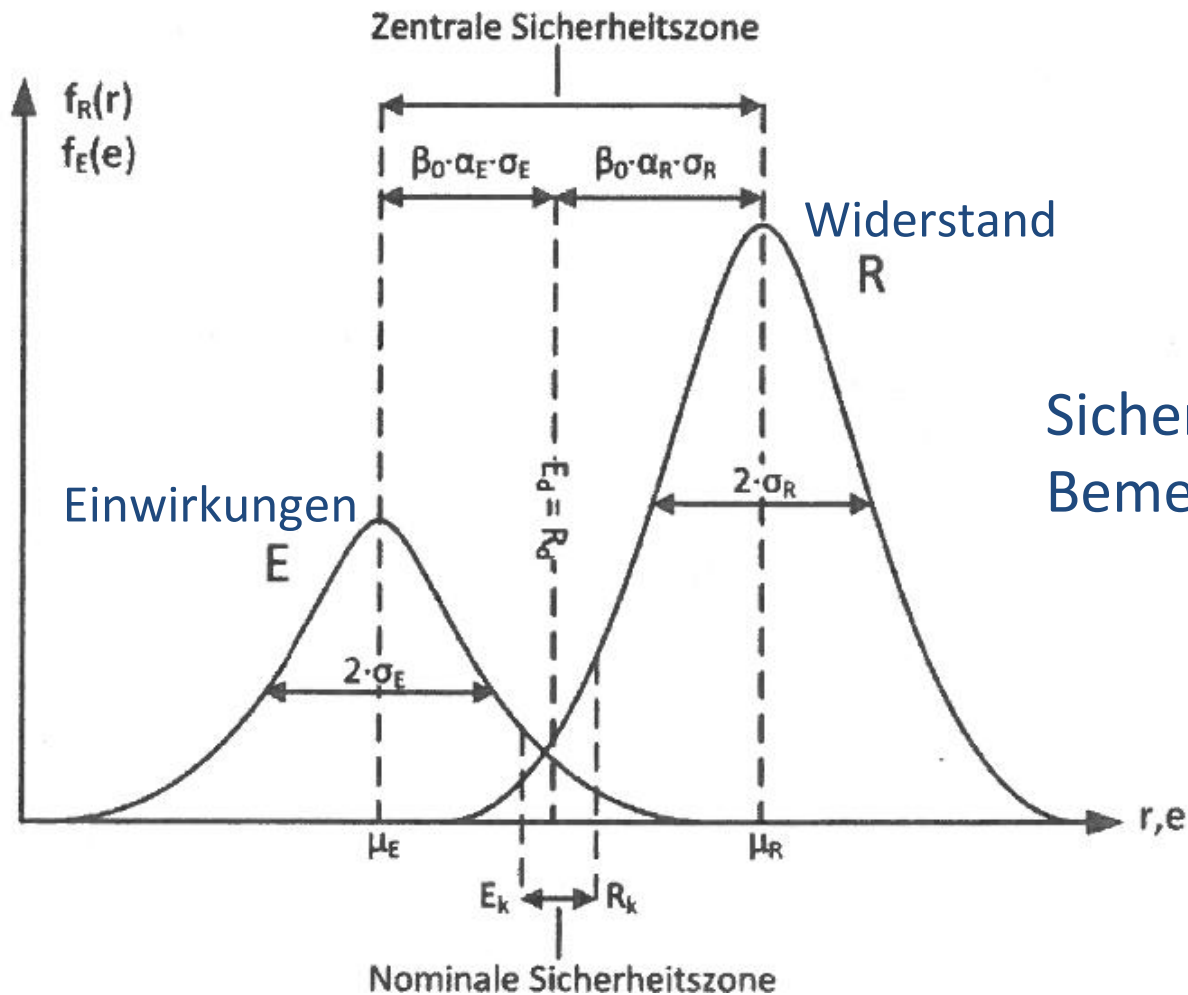
Definition Zuverlässigkeit (Eurocode 0)

Fähigkeit eines Tragwerkes oder Bauteils, die festgelegten Anforderungen innerhalb der geplanten Nutzungszeit zu erfüllen.

Die Zuverlässigkeit wird i.d.R. mit probabilistischen Größen ausgedrückt.

➔ probabilistischer Kennwert: Zuverlässigkeitsindex β

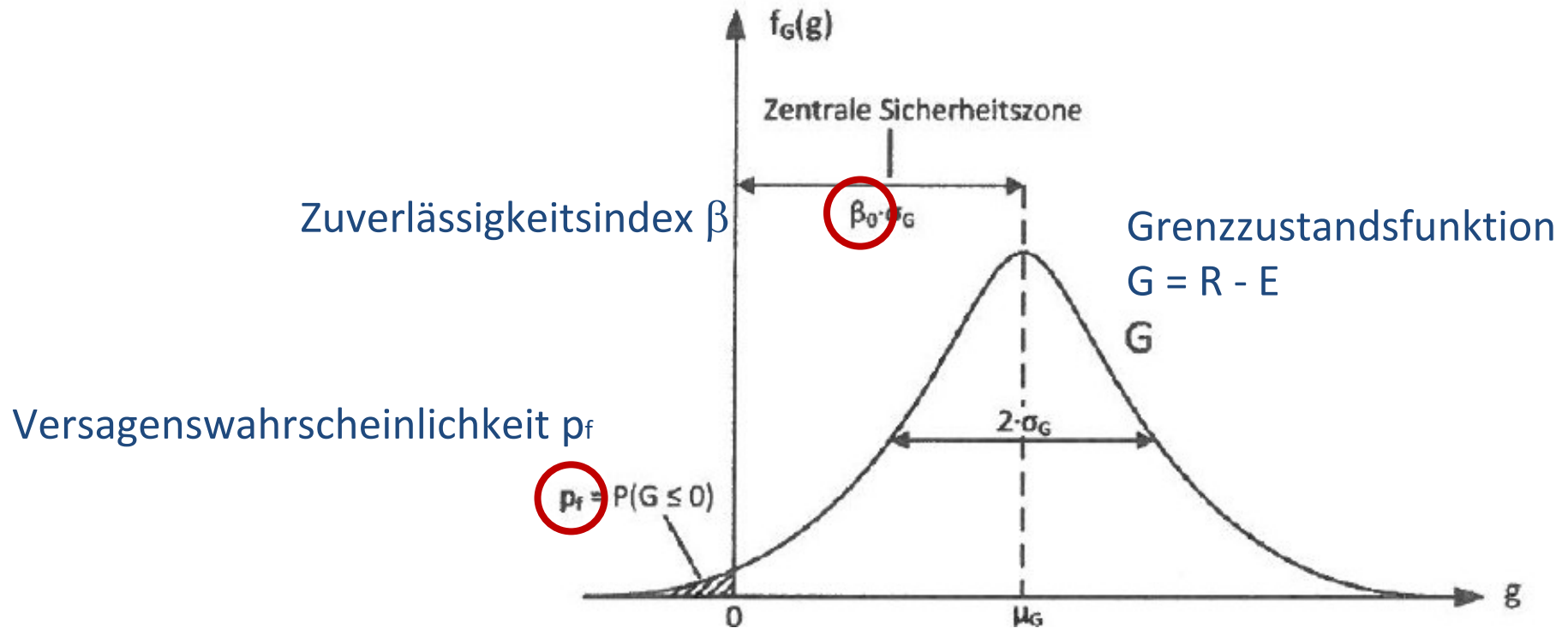
Sicherheitszonen



Sicherheitszonen im Bemessungskonzept

Quelle: Zilch, K.; Zehetmaier, G.: Bemessung im konstruktiven Betonbau. Berlin: Springer 2010

Grenzzustandsfunktion

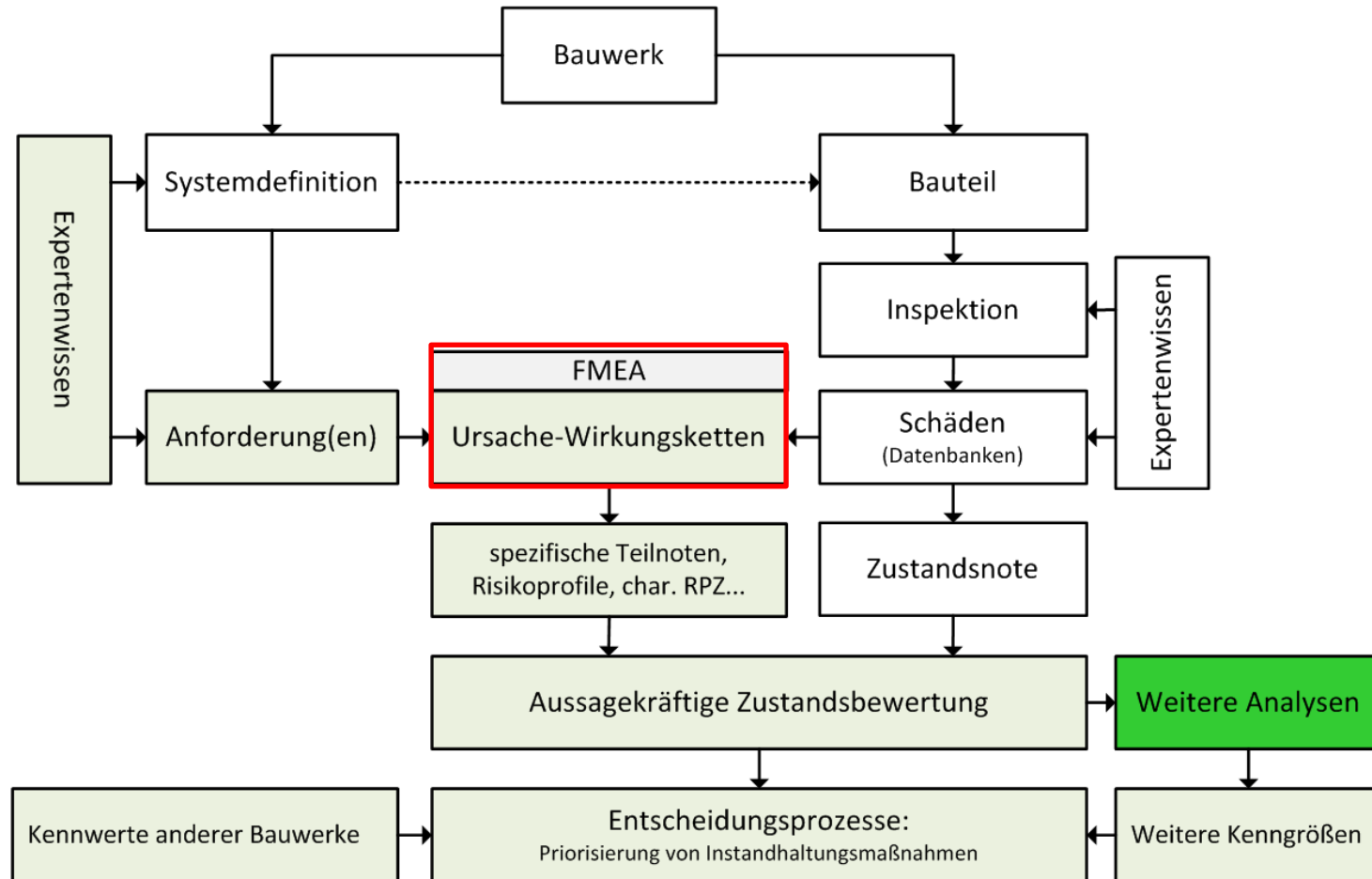


Quelle: Zilch, K.; Zehetmaier, G.: Bemessung im konstruktiven Betonbau. Berlin: Springer 2010

Bestimmung der Zuverlässigkeitsindizes

- Zuverlässigkeitsindex als Kennwert für den Bauwerkszustand
- Berücksichtigung der Streuungen (Einwirkungen, Widerstand)
- Berechnung an vereinfachten statischen Systemen
- Berücksichtigung der beim Bau gültigen Bemessungsnorm
- Zunächst Bestimmung des Zuverlässigkeitsindex am ungeschädigten System (a priori)
- Aktualisierung auf Basis der relevanten Schäden aus den Bauwerksdatenbanken (Art, Ausmaß und Ort der Schäden)
- Bestimmung des Zuverlässigkeitsindex am geschädigten System (a posteriori)

Bestimmen von relevanten Schäden



Ziel zuverlässigkeitsbasierte Bauwerksprüfung

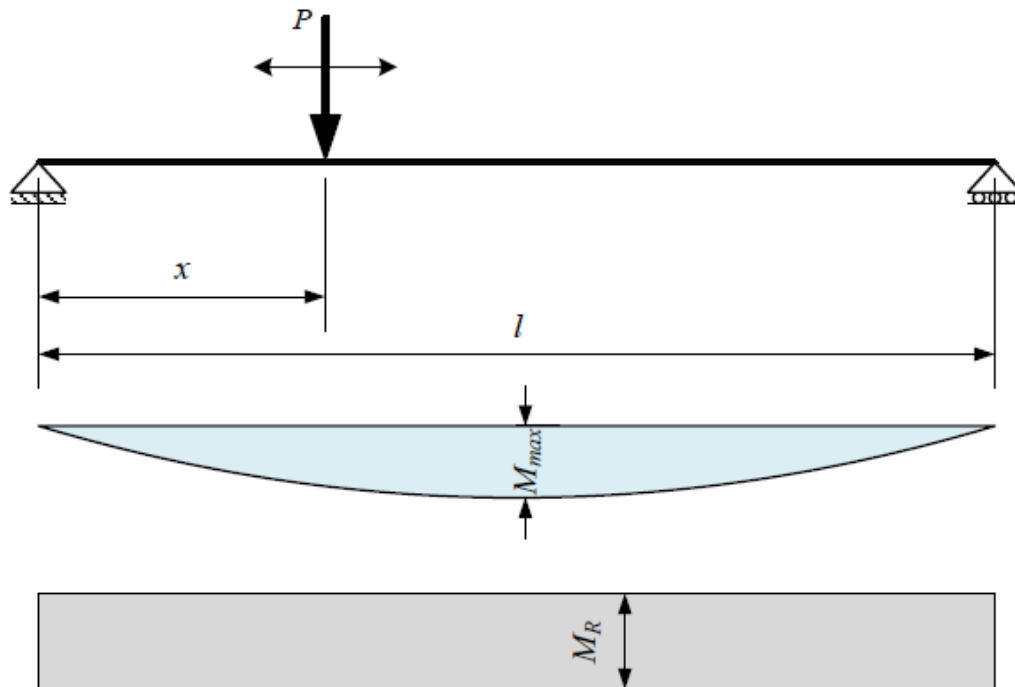
Erarbeitung eines Konzeptes für die zuverlässigkeitsbasierte Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken unter Einbezug von Inspektionsdaten und Überwachungsprozessen

➔ Erarbeitung eines Werkzeuges („screening tool“) zum Vergleich ähnlicher Bauwerke auf Basis des Zuverlässigkeitsindex

➔ Erarbeitung von anforderungsspezifischen Kenngrößen auf Grundlage der vorhanden Inspektionsdaten zur Bestimmung von relevanten Schäden und Bauwerken

Zuverlässigkeit - a priori

Einwirkung und Widerstand am ungeschädigten Tragwerk - a priori Zuverlässigkeit



$$\beta = \frac{\mu_{M_R} - \frac{\mu_P \cdot l}{4}}{\sqrt{\sigma_{M_R}^2 + \left(\frac{\sigma_P \cdot l}{4}\right)^2}} = \frac{500 - 250}{\sqrt{50^2 + \left(\frac{150}{4}\right)^2}} = \frac{250}{50 \cdot \sqrt{\frac{25}{16}}} = \frac{1000}{250} = 4.0$$

$$P_f = 3.17 \cdot 10^{-5}$$

Zuverlässigkeitsindex **$\beta = 4.0$**

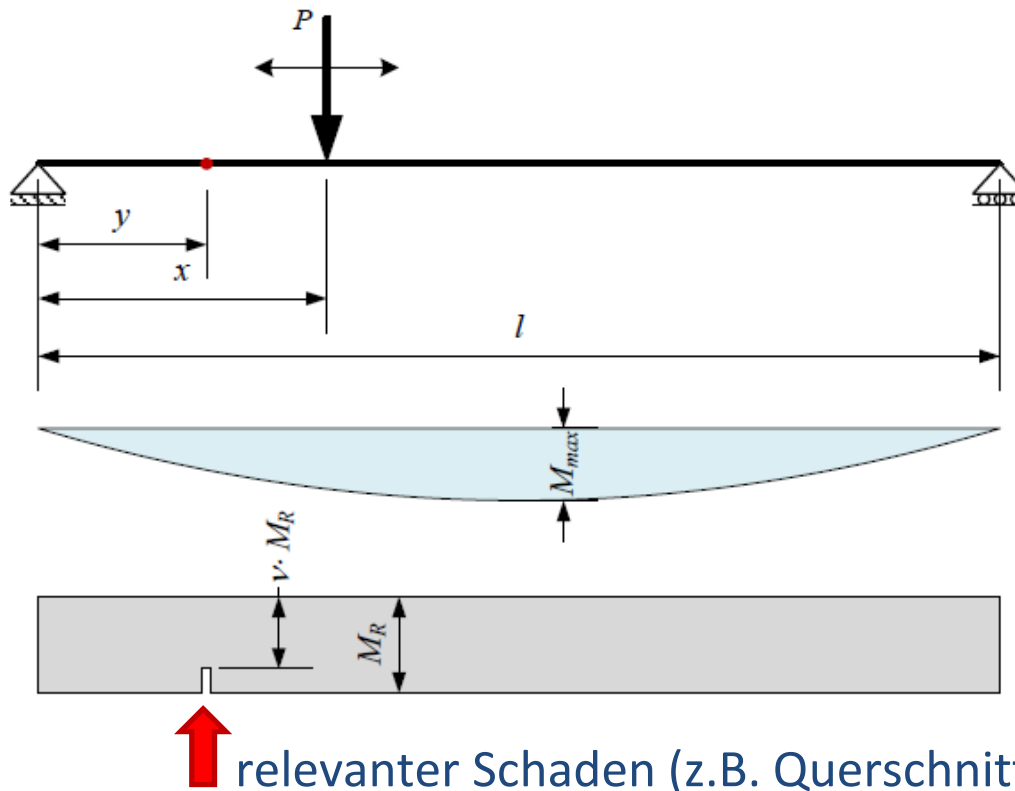
Versagenswahrscheinlichkeit

$P_f = 3,17 \cdot 10^{-5}$

Quelle: Hajdin, R. et al: Bericht zum Forschungsprojekt FE 15.0628/2016/LRB „Zuverlässigkeitsbasierte Bauwerksprüfung - Konzeption und fachliche Lösungen“, Infrastructure Management Consultants GmbH, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart

Zuverlässigkeit - a posteriori

Einwirkung und Widerstand am geschädigten Tragwerk - a posteriori Zuverlässigkeit



$$P_f = \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{v \cdot \mu_{M_R} - \mu_P \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot l}{\sqrt{\sigma_{M_R}^2 + (\sigma_P \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot l)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi$$

$$= \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{0.9 \cdot \mu_{M_R} - 100 \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot 10}{\sqrt{20^2 + (15 \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot 10)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi = 15.69 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) = 3.6$$

Zuverlässigkeitsindex **$\beta = 3,6$**

Versagenswahrscheinlichkeit

$P_f = 15,69 \cdot 10^{-5}$

Quelle: Hajdin, R. et al: Bericht zum Forschungsprojekt FE 15.0628/2016/LRB „Zuverlässigkeitsbasierte Bauwerksprüfung - Konzeption und fachliche Lösungen“, Infrastructure Management Consultants GmbH, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart

Fazit

- Berechnung der Zuverlässigkeitsindizes für Ingenieurbauwerke als Kennwerte für den Bauwerkszustand
- Berücksichtigung der Unsicherheiten/Streuungen auf Einwirkungs- und Widerstandsseite
- Basierend auf Bauwerksdatenbanken (Schäden)
- Vergleich und Priorisierung der Bauwerke anhand von Kennwerten (Erhaltungsplanung)
- Methodik prinzipiell für Ingenieurbauwerke aller Verkehrsträger (Straße, Bahn, Wasserstraße) anwendbar

Ausblick

- Anpassung des Prüfumfanga in Abhängigkeit von den Kenngrößen möglich
- Erweiterung der zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung zu einer risikobasierten Bauwerksprüfung möglich
- Bestimmung von Zustandsprognosefunktionen
- Einbezug von Ergebnissen aus Monitoring, OSA, zFP
- Zuverlässigkeitsbasierte Bauwerksprüfung - Feinkonzept:
Verfeinerung des Konzeptes und Anwendung auf eine Anzahl von ausgesuchten Brückenbauwerken (>30)
Entwicklung eines Prototyps (Webbasierte Anwendung/Software)

Rolf Rabe

rabe@bast.de
02204/43-6407

Andreas Panenka

andreas.panenka@baw.de
0721/9726-5035

François Nyobeu

francois.nyobeu@baw.de
0721/9726-5135

Projekte innerhalb des Expertennetzwerks:

„Zuverlässigkeitsbasierte Bauwerksprüfung - Konzeption und fachliche Lösungen“; BASt, IMC GmbH Zürich, ILEK Universität Stuttgart

„Tragfähigkeitskennzahlen für bestehende Konstruktionen“; BAW, HS KA