

Bewährtes neu denken

Überprüfung der deskriptiven Vorgaben zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Hochbauten, Brücken- und Wasserbauwerken

vdz

Stefan Kubens (VDZ), Juan Lozano (TUM)

DAfStb-Kolloquium „Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip“
Berlin, 21. Mai 2025

1. Motivation
2. Auswahl der Bauwerke
3. In-situ Untersuchungen und Laborprüfungen
4. Ergebnisse an Wasserbauwerken und Brückenbauwerken
5. Zuverlässigkeit
6. Zusammenfassung

Sicherstellung / Nachweis der Dauerhaftigkeit

Deskriptive Regeln

- Expositions- und Feuchtigkeitsklassen
- min. z, max. w/z
- Regeln für Zemente
- EN 206 + DIN 1045-2

(Labor) Prüfung

- Zulassungen (abZ)
- Europäische Technische Bewertung (EAD/ETA)
- ARS/ZTV-ING/ZTV-W
- Zustandserfassung

Berechnung

- Modelle
- fib Model Code „Service Life Design“
- ISO 16204

Leistungsfähigkeit (Performance) definiert / nachgewiesen über

praktische Erfahrung (ggf. Prüfung)

Prüfung / Bewertung / Deklaration

Grenzzustands- bewertung

tägliches
Geschäft
für Planer

Unsere Frage...

Welches Zuverlässigkeitsniveau ist mit den derzeit gültigen deskriptiven Regeln möglich?

Herangehensweise zur Beantwortung der Fragestellung



Partner in Projekt 1 – Objektsammlung/Zustandserfassung



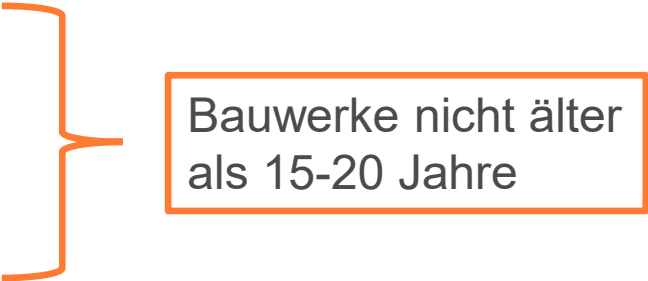
VDZ Technology gGmbH
Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf



Technische Universität München
Centrum Baustoffe München (cbm)
Lehrstuhl für Werkstoffe und
Werkstoffprüfung im Bauwesen
Franz-Langinger-Straße 10
81245 München

Ziel war ein repräsentativer Bauwerksbestand - keine Negativauswahl

Kriterien bei der Auswahl der Bauwerke:

- Hochbauten errichtet nach DIN 1045-1:2001
 - Wasserbauwerke nach DIN 1045-1 mit ZTV-W LB 215
 - Brücken-/Ingenieurbauwerke nach DIN 1045-1 mit ZTV-ING
 - Informationen zu Bauwerk und Baumaterial (Betonzusammensetzung, Bestandspläne, Bewehrungspläne, Alter, Zementart, w/z-Wert, etc...)
 - möglichst verteilt in ganz Deutschland (Nord, Mitte und Süd)
 - **keine** Negativauswahl
 - möglichst großes Spektrum an Zementarten
- 
- The first three criteria are grouped by a large orange right-facing curly bracket. To the right of this bracket is an orange-bordered box containing the text: 'Bauwerke nicht älter als 15-20 Jahre'.
- Bauwerke nicht älter als 15-20 Jahre

Auswahl der Bauwerke - Objektsammlung

Großartige Unterstützung durch Baulastträger/Betreiber

Wasserbauwerke ●

Brückenbauwerke ●

Hochbauten ●



Wasserbauwerke unterstützt durch BAW und WSV

Brückenbauwerke unterstützt durch BAST und Autobahn GmbH

Hochbauten unterstützt durch Holcim und Bachl

Auswahl der Bauwerke - Objektsammlung

Wasserbauwerke lagen entlang Binnenwasserstraßen (DIN 1045-1/ZTV-W LB 215)



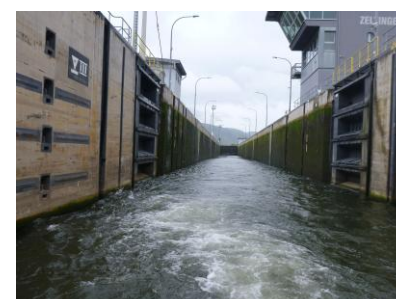
Schleuse 1
Rh.-Pfalz Mosel
CEM III/A ⁺⁾
Bj. 2006-2011



Schleuse 2
Niedersachsen
Kanal Hildesheim
CEM III/A
Bj. 2007-2012



Schleuse 3
Niedersachsen
Mittellandkanal
CEM III/A
Bj. 2004-2008



Schleuse 4
Rh.-Pfalz Mosel
CEM III/A ⁺⁾
Bj. 2003-2010

⁺⁾ 40 kg/m³ Basaltmehl als Betonzusatzstoff



Großes Dankeschön
an Herrn Rahimi (BAW)

Brückenbauwerke entlang Autobahnen (DIN 1045-1/ZTV-ING)



Brücke 1
Nordrhein-Westf.
BAB A40
CEM III/A+B
Bj. 2011



Brücke 2
Mecklenburg-Vorp.
CEM I+CEM III/A
Bj. 2008



Brücke 3
Bayern
BAB A6
CEM II/A-LL
Bj. 2007



Brücke 4
Bayern
BAB A3
CEM I+II/A-S
Bj. 2008



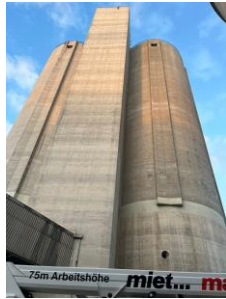
Brücke 5
Nordrhein-Westf.
BAB A33
CEM I
Bj. 2011



Vielen Dank an Frau
Alonso (BASt)

Auswahl der Bauwerke - Objektsammlung

Hochbauten waren überraschenderweise der schwierigste Part (DIN 1045-1)



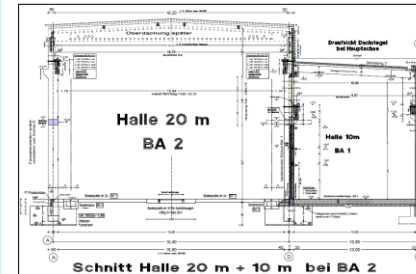
Hochbau 1
Niedersachsen
CEM III/A mit
Flugasche
Bj. 2005



Hochbau 2
Niedersachsen
CEM I mit
Flugasche
Bj. 2005-2006



Hochbau 3
Sachsen
CEM I
Bj. 2008



Hochbau 4
Bayern
CEM I
Bj. 2008



Vielen Dank an die
Firmen Holcim und Bachl

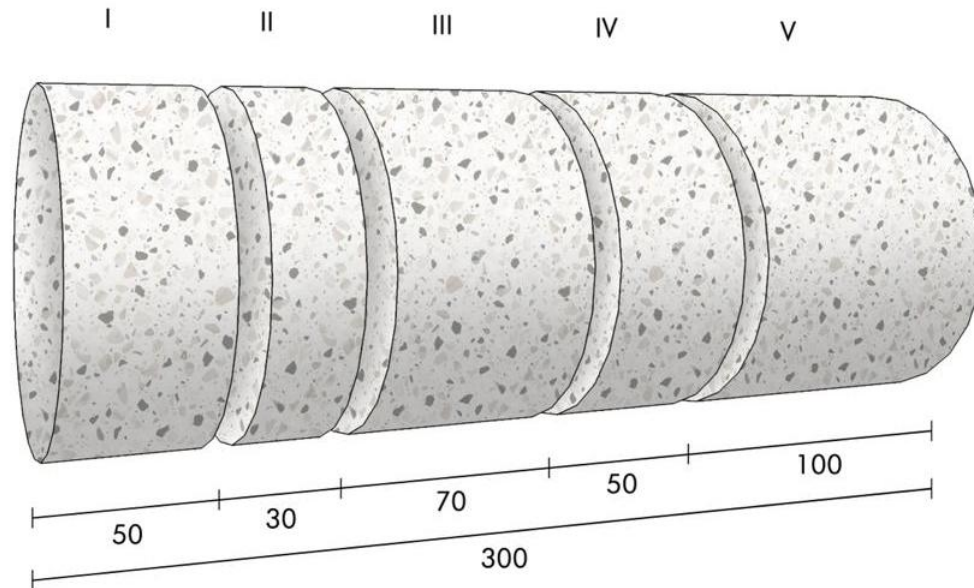
Trifft auf alle Bauwerkstypen zu...

In-situ Untersuchungen (während Bauwerksinspektion):

- Visuelle Inspektion der Betonoberflächen (Risse, Lunker, Kiesnester, Verdichtungsprobleme, Frostschäden, etc...)
- Bestimmung der Betondeckung mit einem elektromagnetischen Messgerät und Lokalisierung von Spannstahl mit einem Radargerät
- Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes mit der Wenner-Sonde
- Bohrkernentnahme und Bohrmehlproben aus den Bauteilen
- Karbonatisierungstiefe an frischen Bruchflächen
- Verschluss der Bohrkernentnahmestellen mit Betonersatzsystem und Aufbringen Nachbehandlungsmittel



Prüfungen an Bohrkernen am Beispiel der **Brückenbauwerke**



Zuordnung der Prüfungen:

- I) Tiefengestaffelte Bestimmung des Chloridgehaltes im Bauwerksbeton
- II) durch Bewehrung oftmals nicht verwendbar
- III) Chloridmigrationskoeffizient
- IV) Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Verfahren
- V) Druckfestigkeit und Festbetonrohddichte

Visuelle Inspektion zeigte große Unterschiede zwischen den Schleusenbauwerken (aber auch Bauteilen)

Von schadfreien Bauwerksbereichen



Nach 11 Jahren Betriebsdauer völlig ungeschädigte Betonoberfläche einer Kammerwand von Schleuse 4 in der Wasserwechselzone

bis zu deutlich geschädigten Bereichen

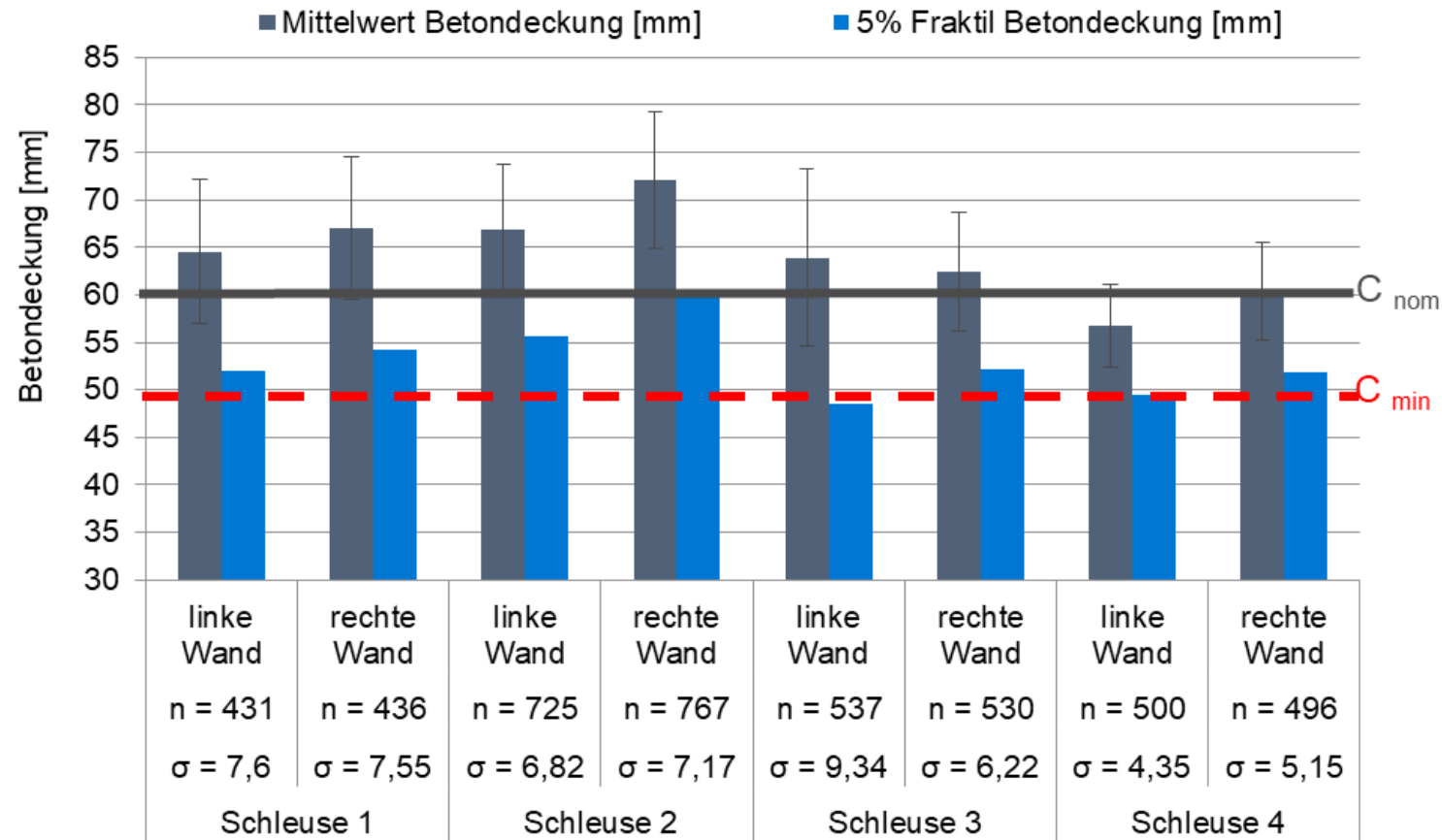


Frostschäden an einer Kammerwand von Schleuse 3 in der Wasserwechselzone



Durch Frostangriff abnehmbare Betonschicht an einer Kammerwand von Schleuse 3 in der Wasserwechselzone

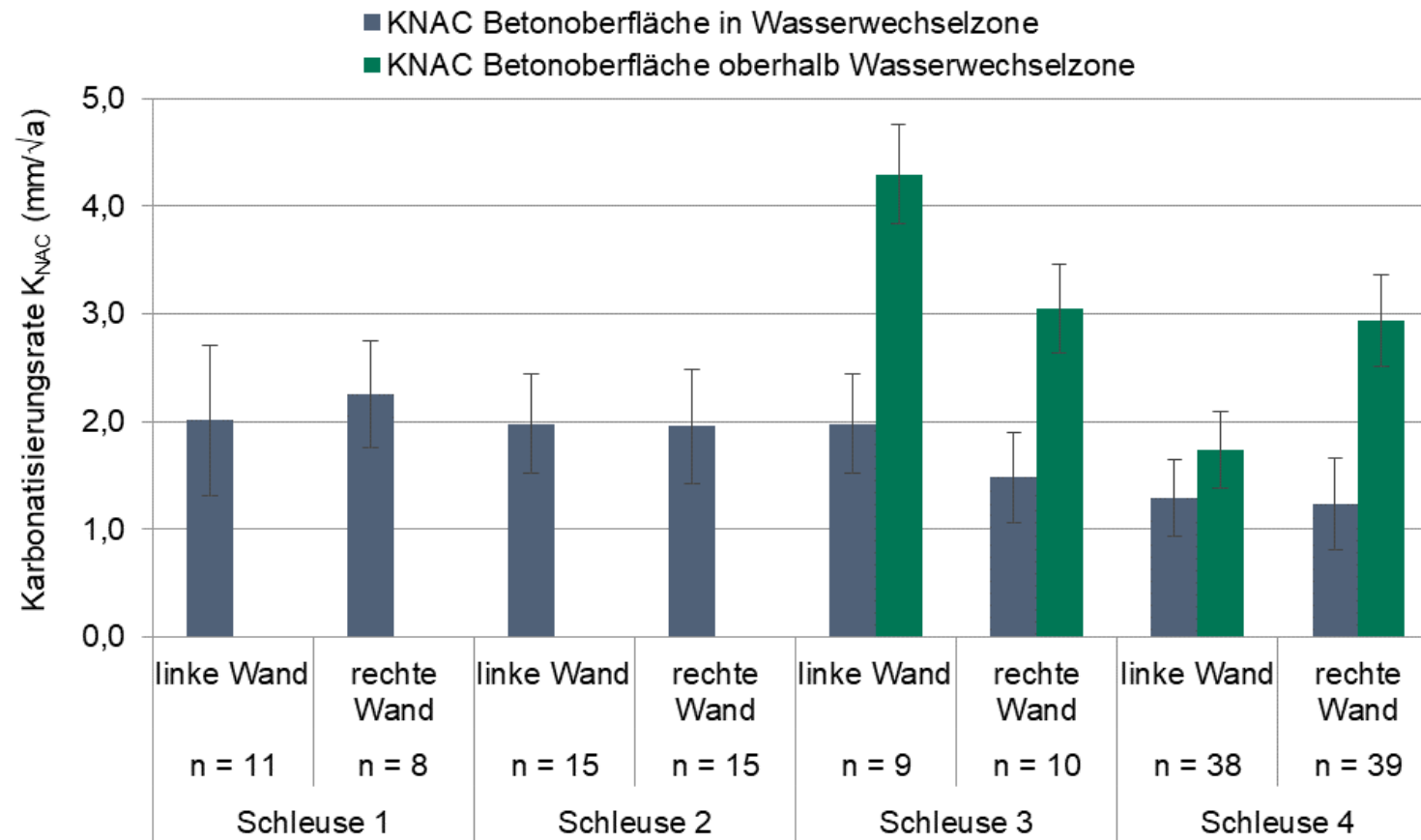
Umsetzung des deskriptiven Parameters **Betondeckung** an den Wasserbauwerken



Betondeckung entspricht Vorgaben

Betondeckung der Kammerwände

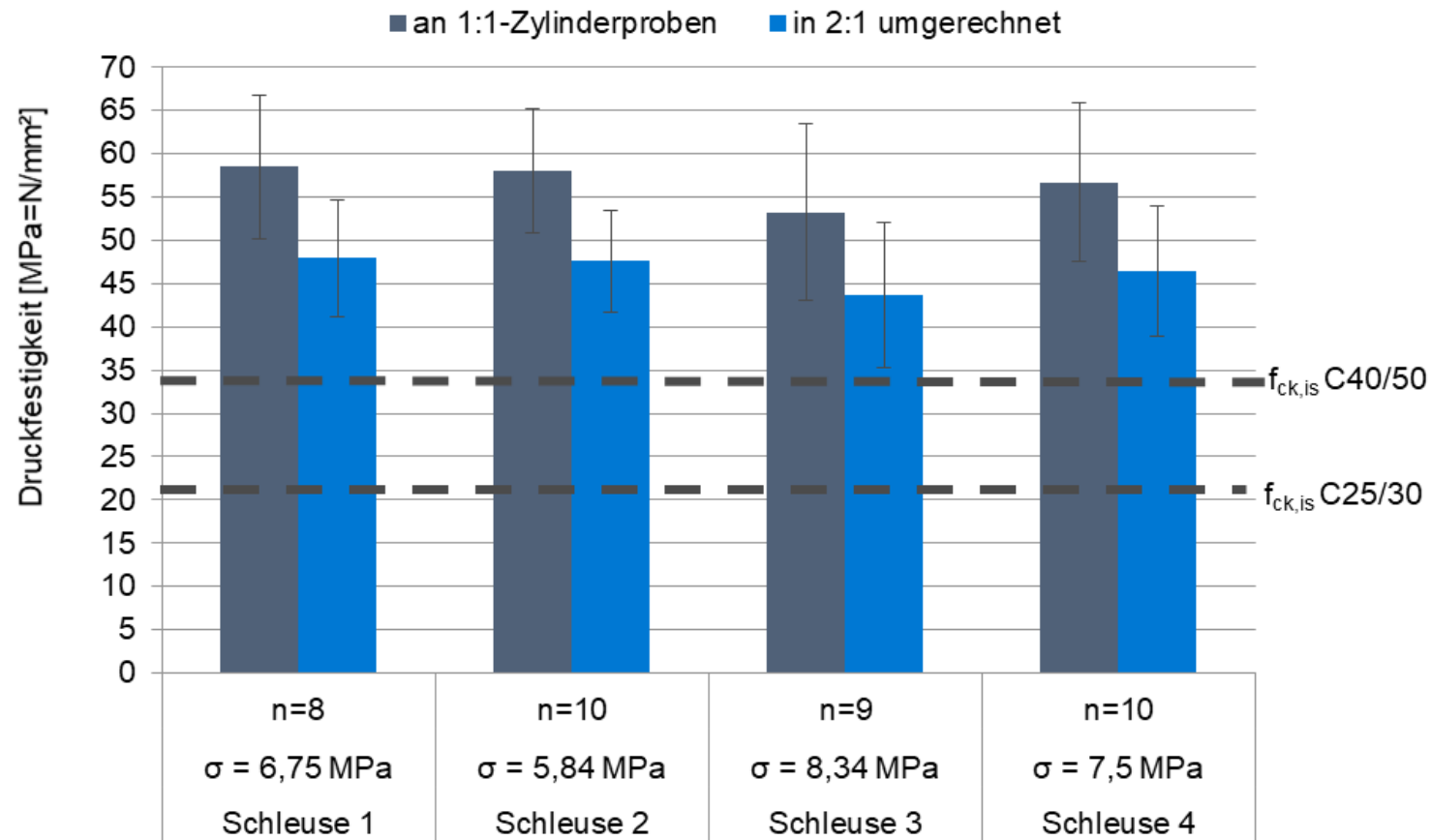
Karbonatisierungsrate in und oberhalb Wasserwechselzone



Karbonatisierungsraten oberhalb der Wasserwechselzone deutlich höher

Natürliche Karbonatisierungsrate K_{NAC} (mm/√a) der Kammerwände

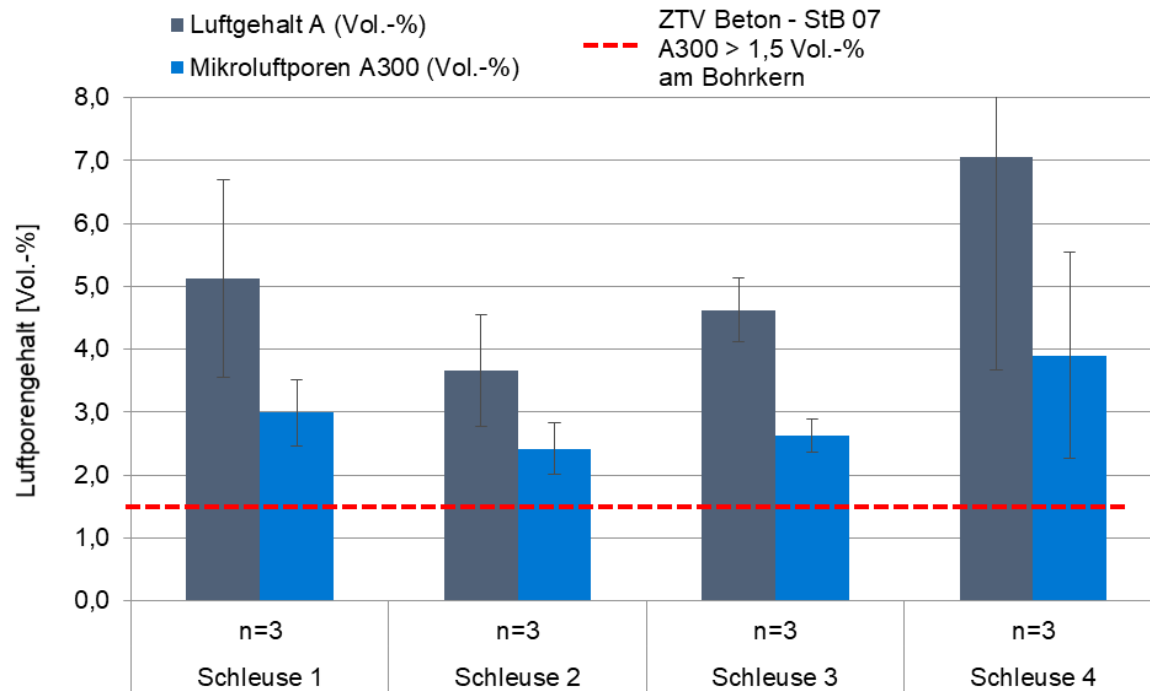
Druckfestigkeiten



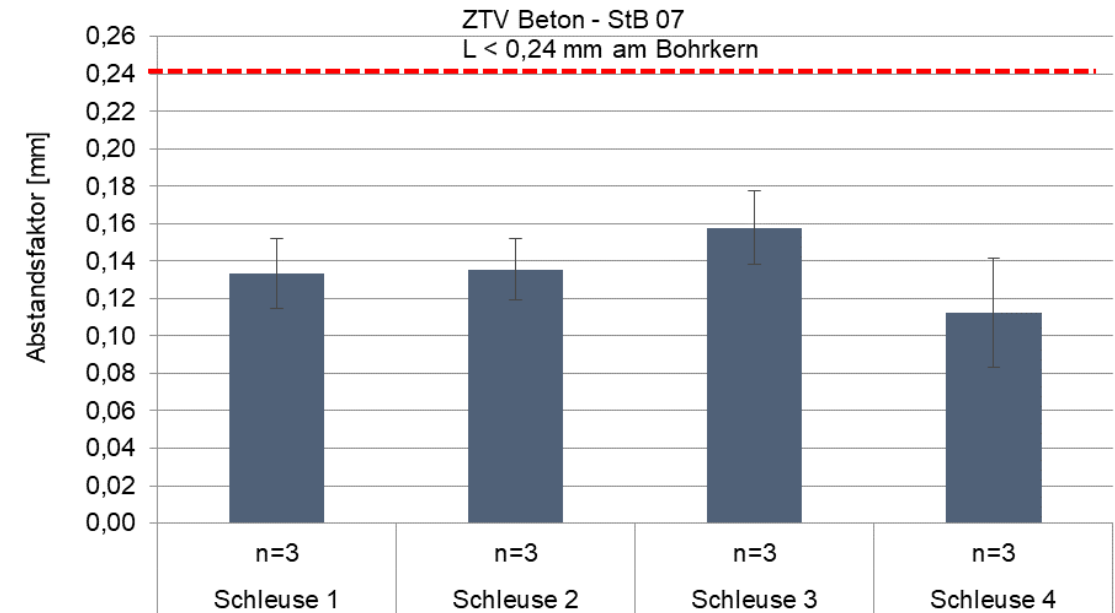
Druckfestigkeiten
weit über statisch
erforderlichen
Festigkeiten

Druckfestigkeiten des Betons der Kammerwände mit den Standardabweichungen

Luftgehalt und Abstandsfaktoren an Bohrkernen

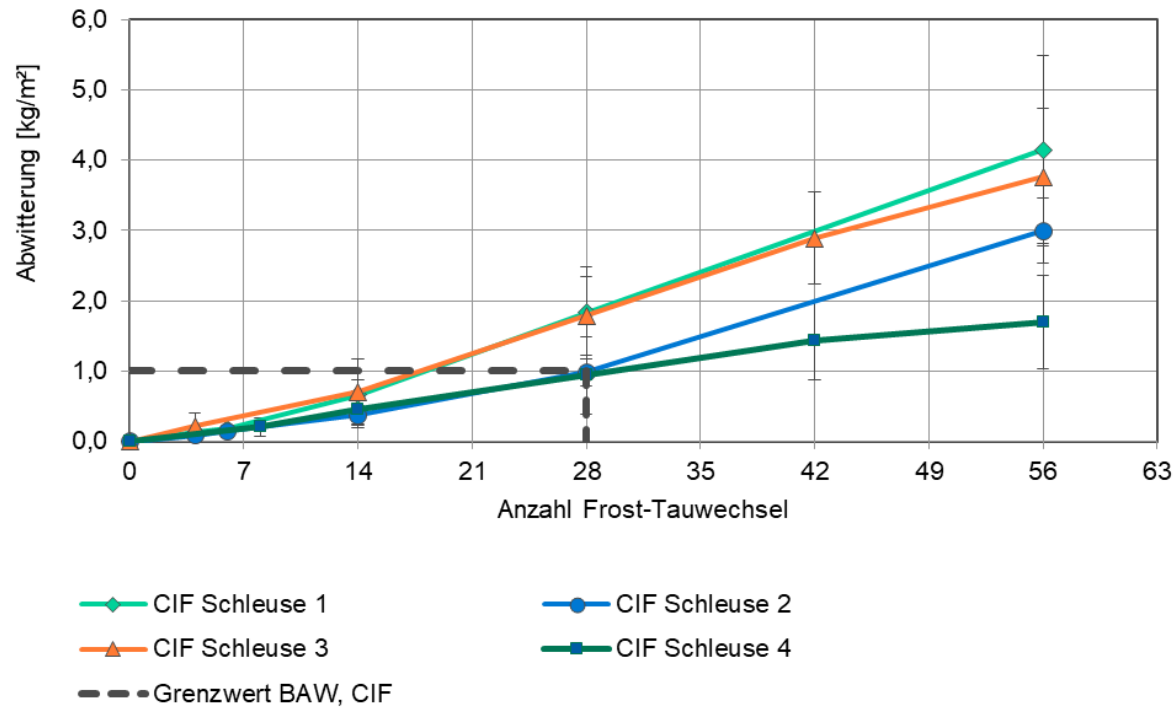


Luftgehalt des Betons der Kammerwände

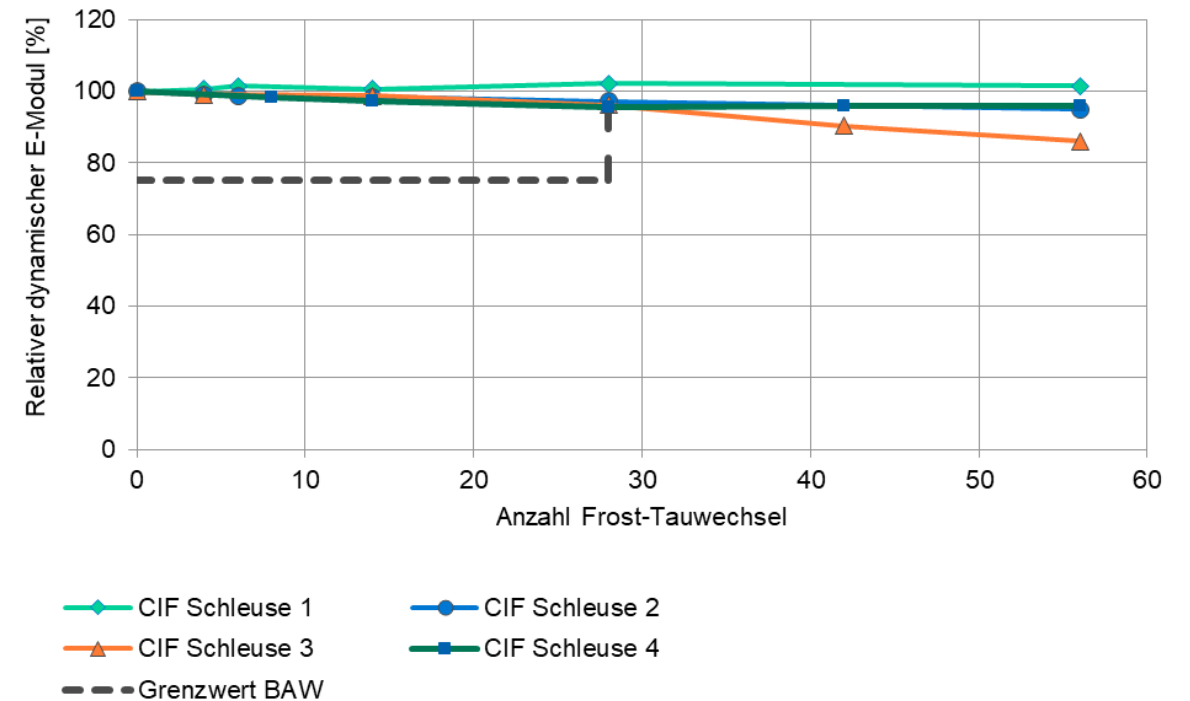


Abstandsfaktor des Betons der Kammerwände

Frost-Tau-Widerstand im CIF-Test



Abwitterungsmenge des Betons der Kammerwände im CIF-Test

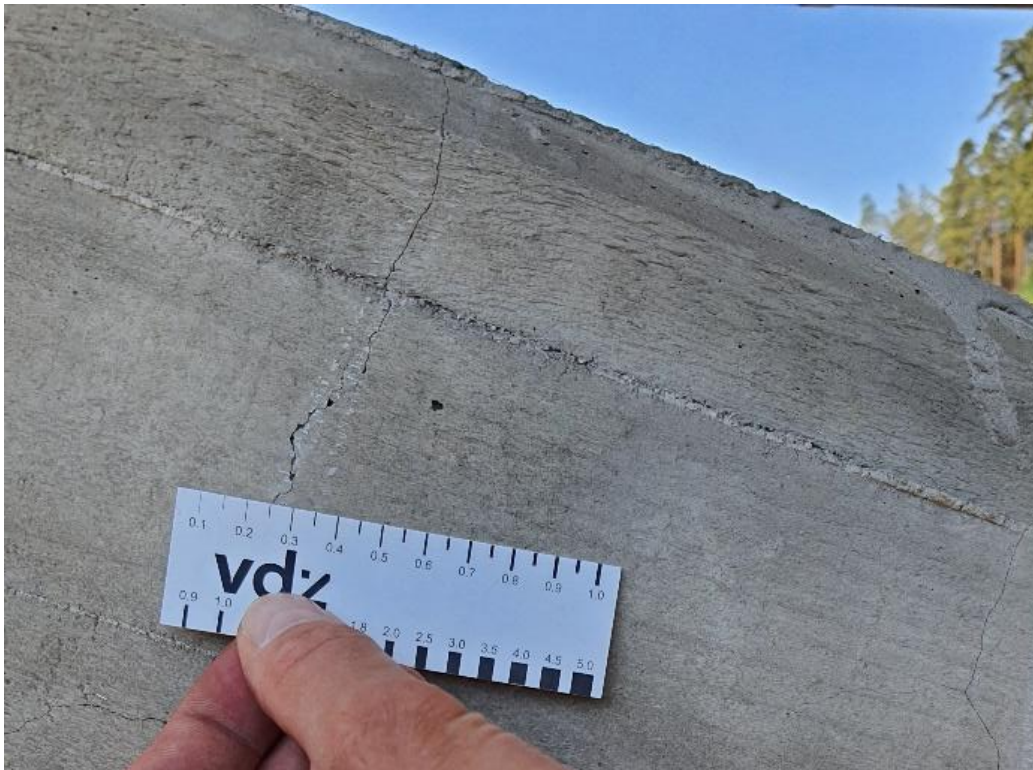


Relativer dynamischer E-Modul des Betons der Kammerwände im CIF-Test

Ergebnisse Brückenbauwerke

Visuelle Inspektion ergab einige wenige Auffälligkeiten an den Brücken

Zahlreiche Risse $< 0,3$ mm



Risse mit Rissbreiten $< 0,3$ mm in der Bogenkonstruktion von Brücke 3



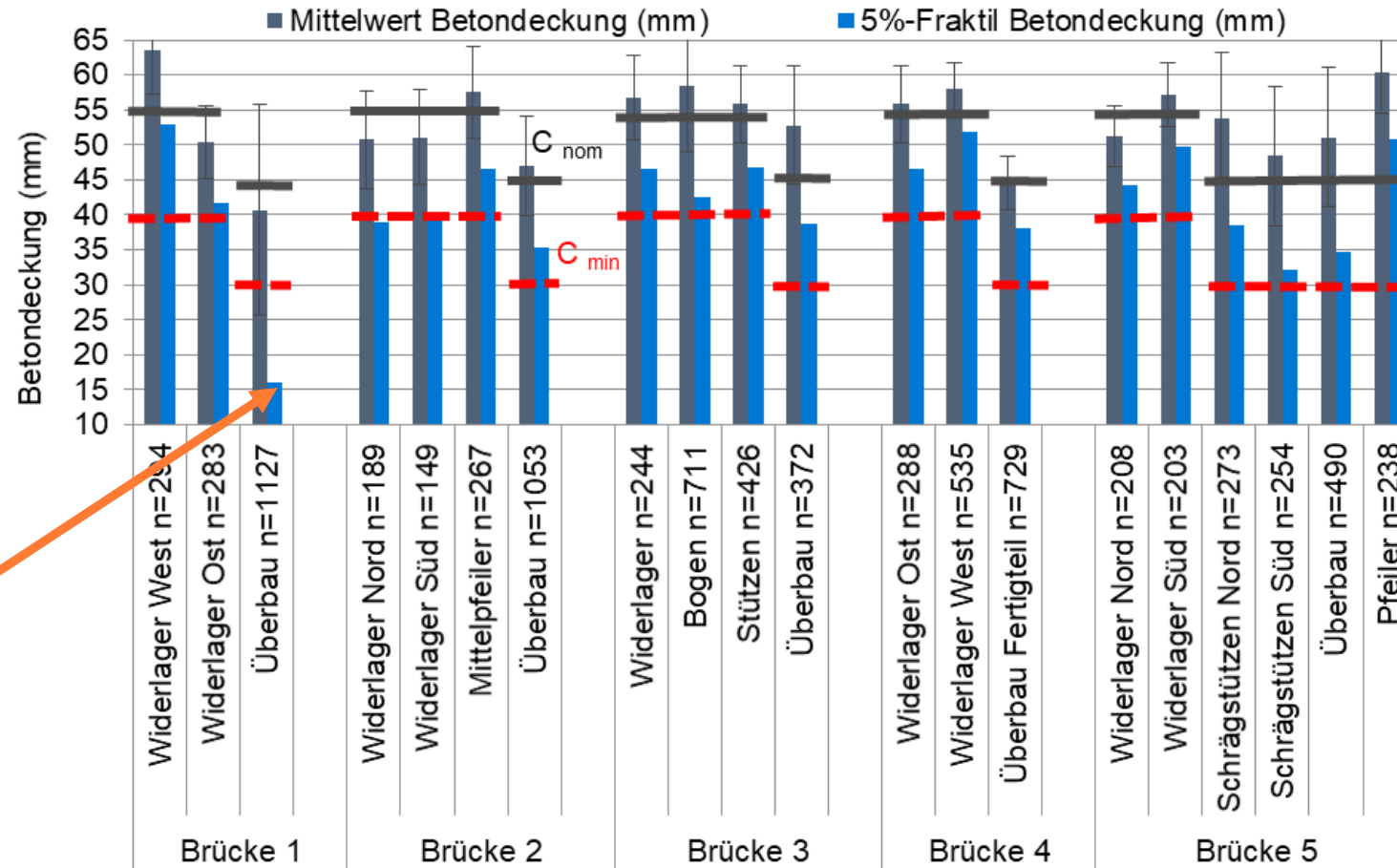
Verdichtungsprobleme an einem Bauteil von Brücke 3



Wellenförmige Untersicht des Überbaus von Brücke 1

Ergebnisse Brückenbauwerke

Umsetzung des deskriptiven Parameters **Betondeckung** an den Brücken

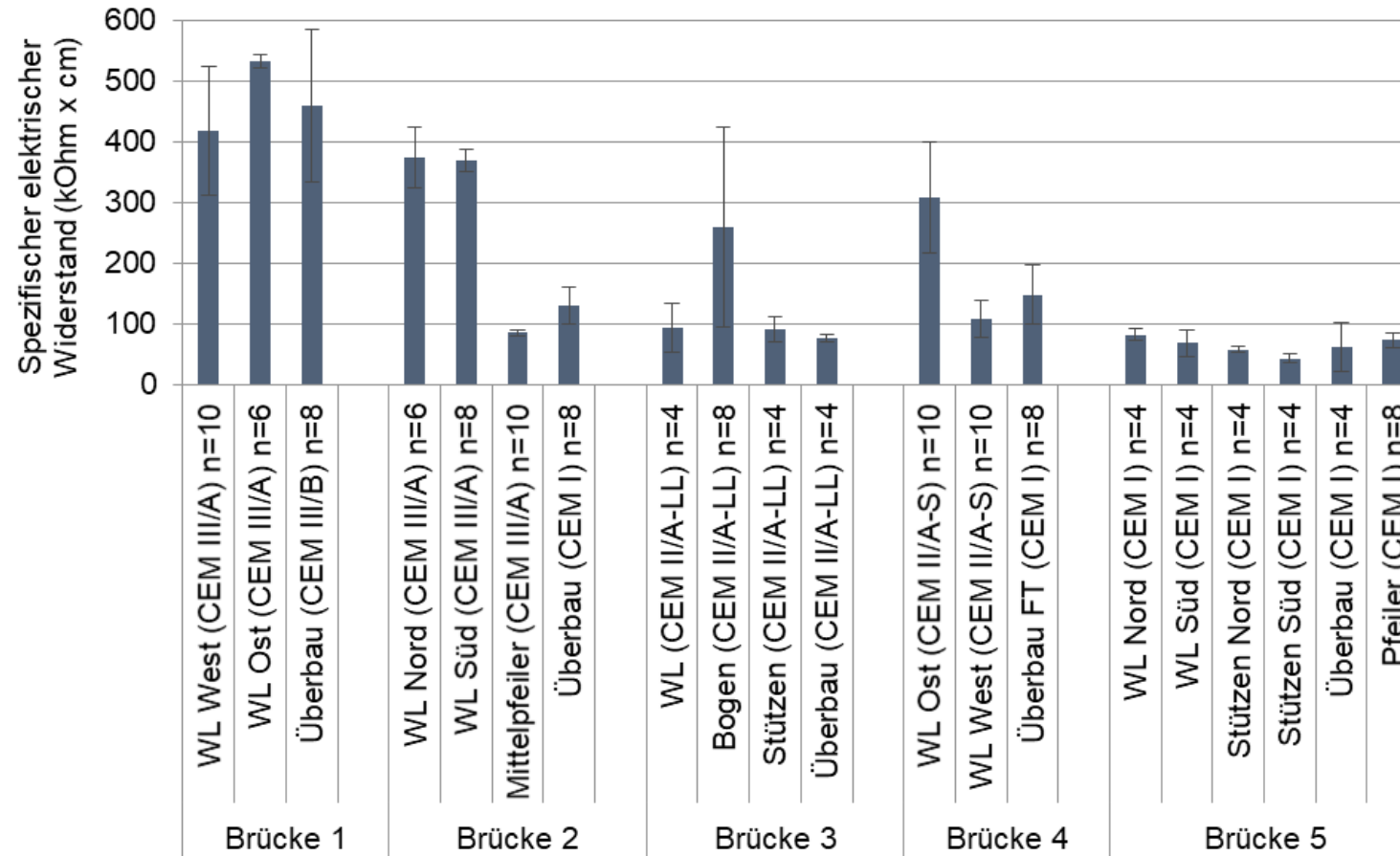


Bis auf Überbau Brücke 1 entspricht Betondeckung weitgehend den Vorgaben



Betondeckung der Brückenbauwerke

Spezifischer elektrischer Widerstand

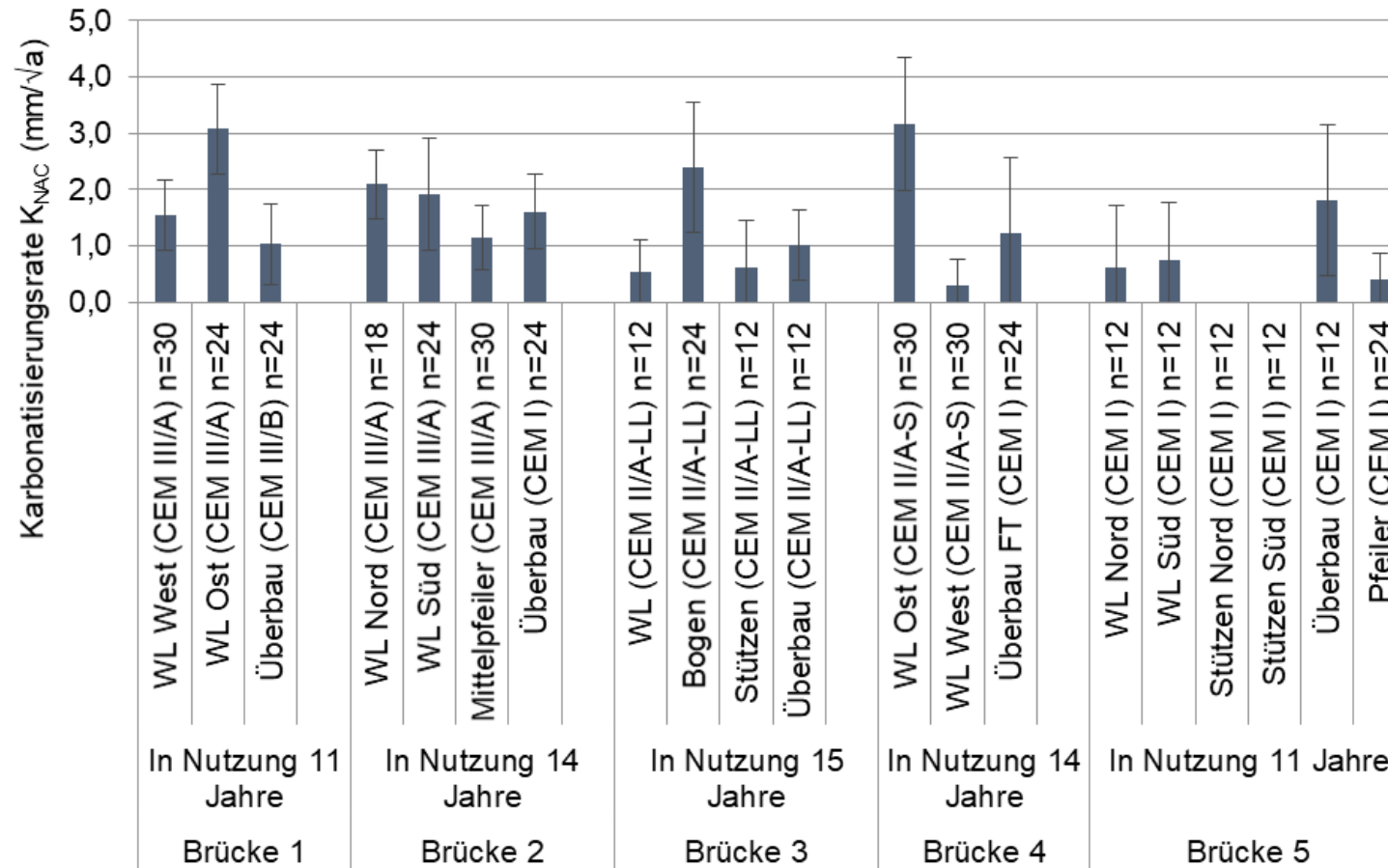


Deutlicher Einfluss der Zementart auf den spezifischen elektrischen Widerstand

Spezifischer elektrischer Widerstand der Betonrandzone der Brücken

Ergebnisse Brückenbauwerke

Karbonatisierungsrate

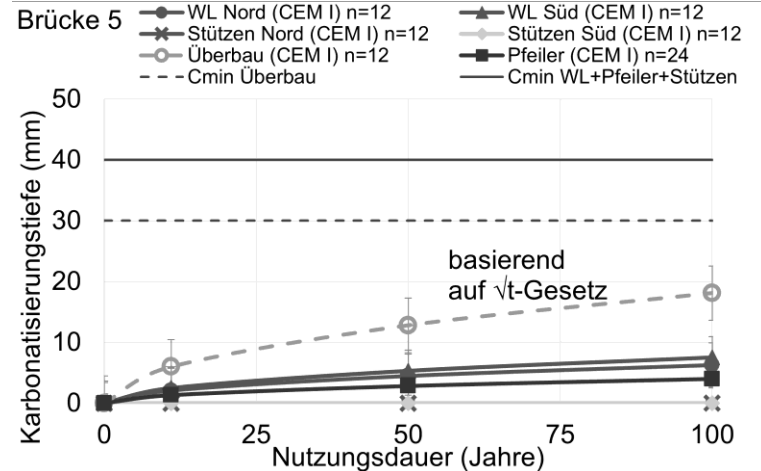
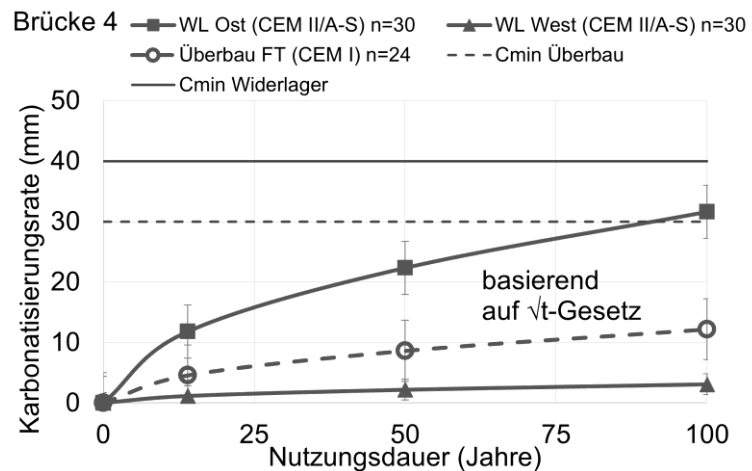
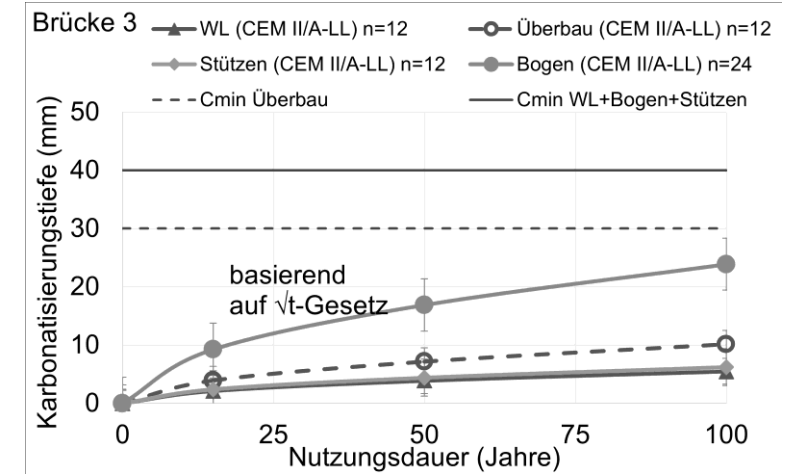
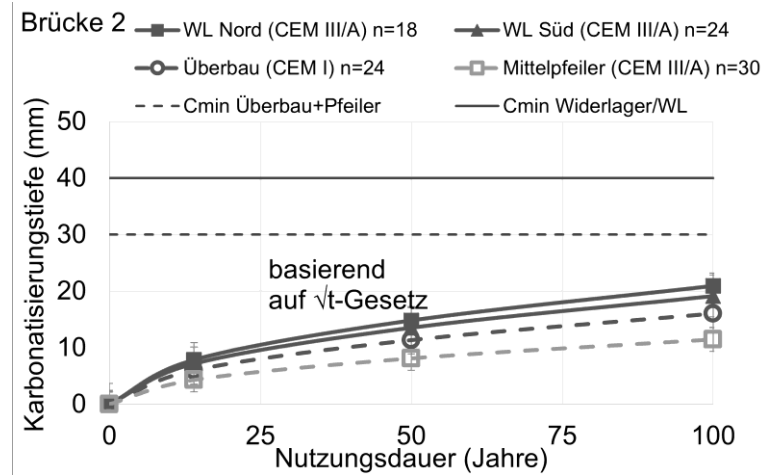
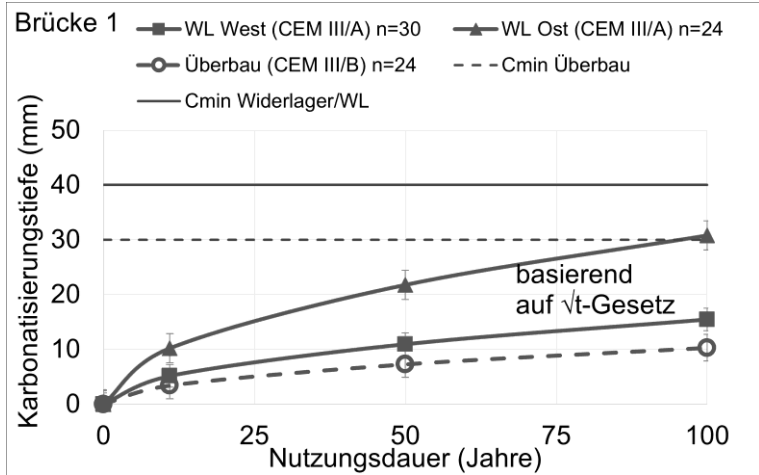


Erkennbarer Einfluss
der Zementart auf
Karbonatisierungs-
rate

Karbonatisierungsrate (mm/√a) der Brückenbauteile

Ergebnisse Brückenbauwerke

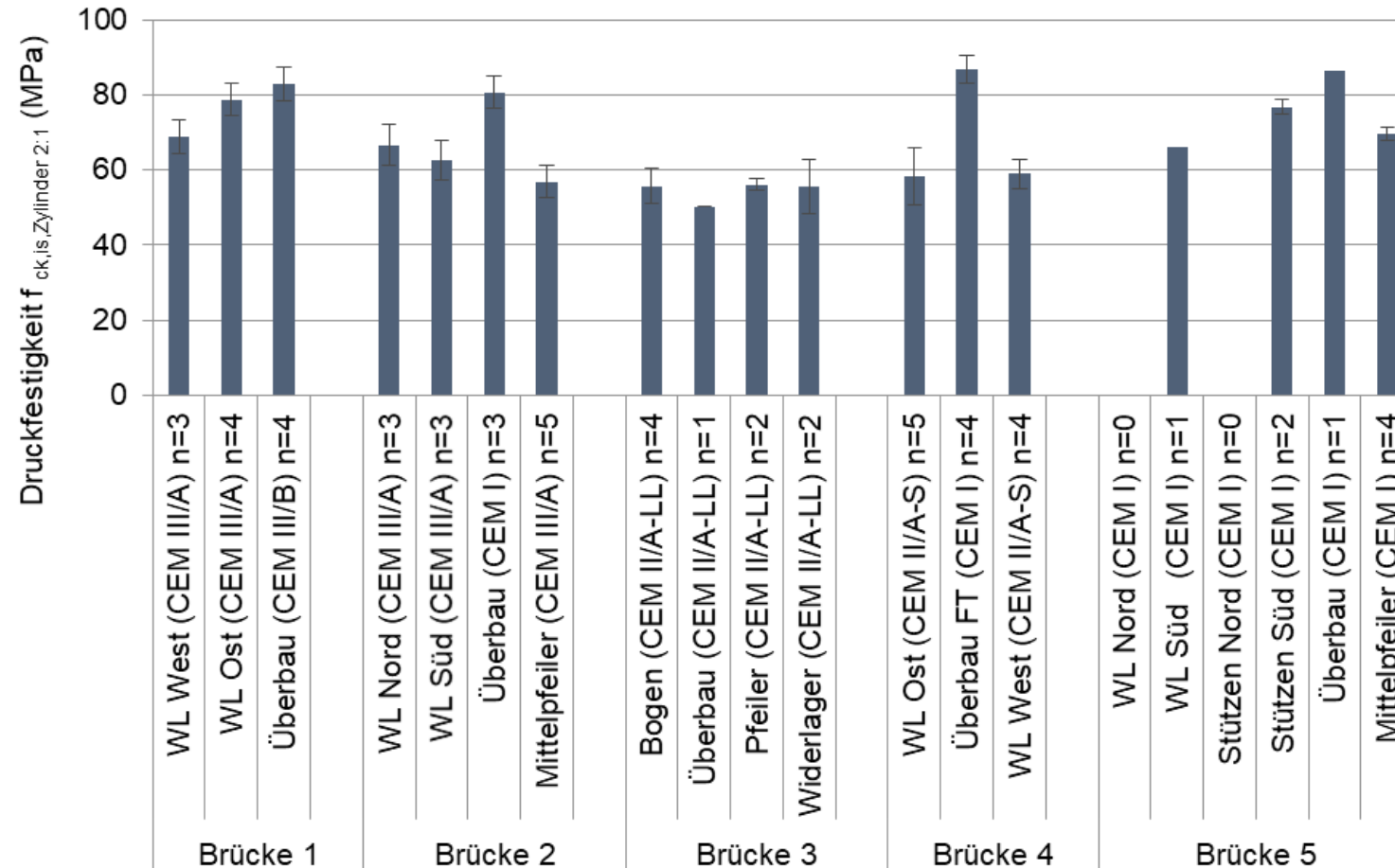
Theoretischer Karbonatisierungsverlauf der Brücken nach Wurzel-Zeit-Gesetz



Bei keiner Brücke erreicht die Karbonatisierungsfront nach 100 Jahren die äußere Bewehrungslage

Ergebnisse Brückenbauwerke

Druckfestigkeiten mehr als ausreichend

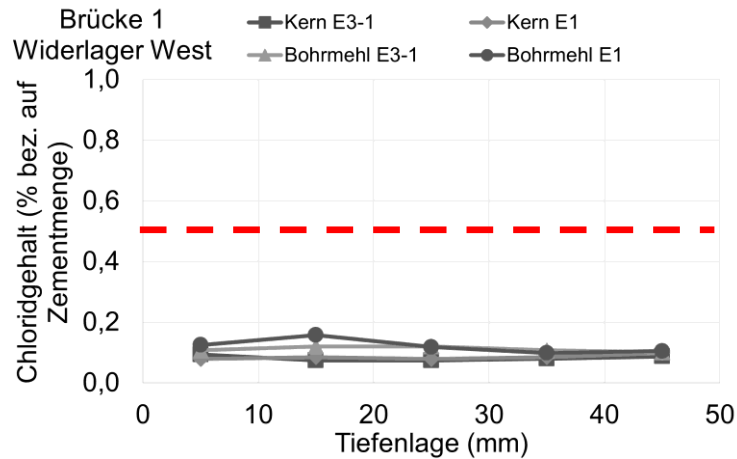


Druckfestigkeiten
weit über statisch
erforderlichen
Festigkeiten

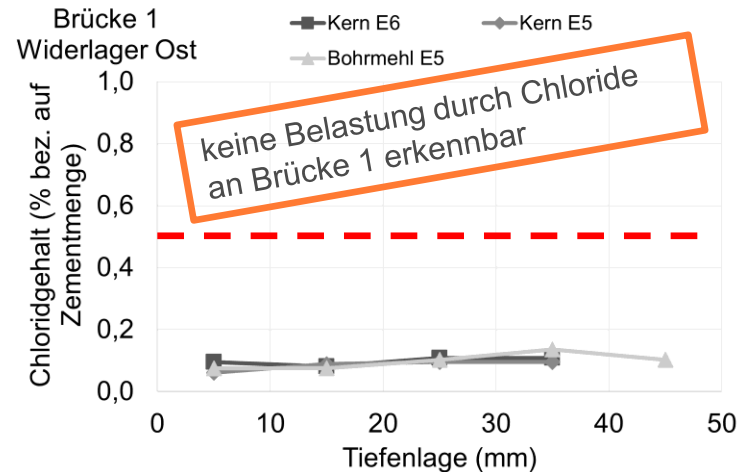
Druckfestigkeiten der Brückenbauteile

Ergebnisse Brückenbauwerke

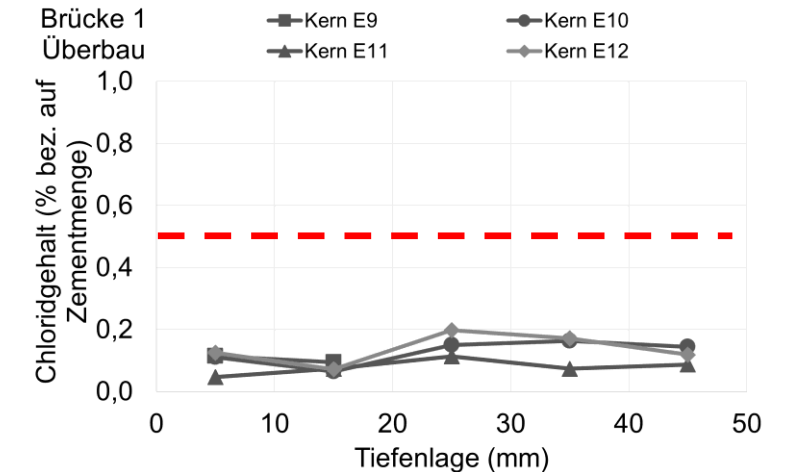
Von den 18 untersuchten Brückenbauteilen wiesen nur 3 eine deutliche Belastung mit Chloriden auf...



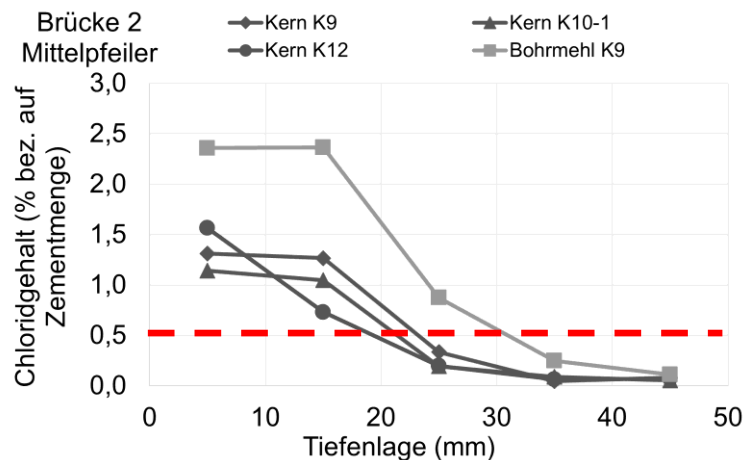
Abstand zur Chloridquelle/Fahrbahn: 10 m



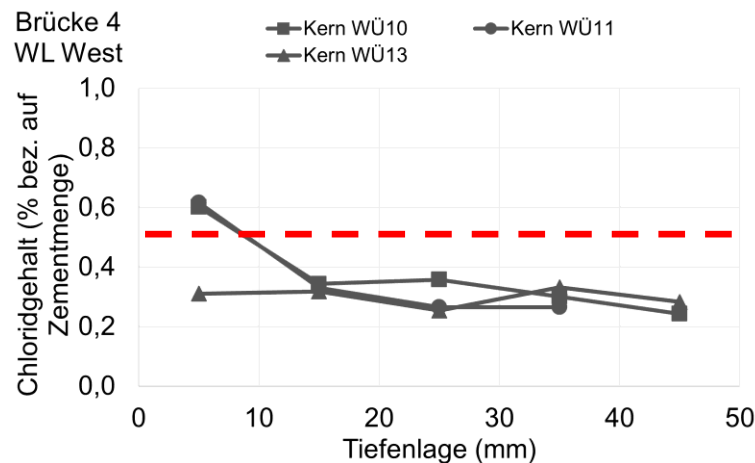
Abstand zur Chloridquelle/Fahrbahn: 11 m



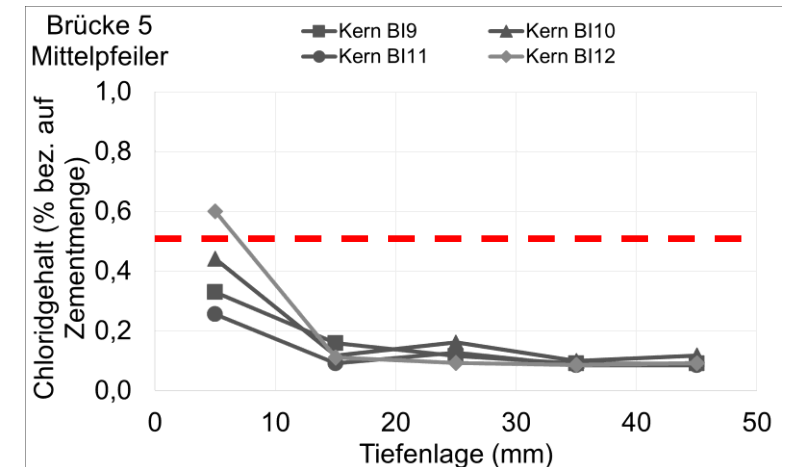
Abstand zur Chloridquelle/Fahrbahn: 7 m



Abstand zur Chloridquelle/Fahrbahn: 2,5 m



Abstand zur Chloridquelle/Fahrbahn: 2-3 m

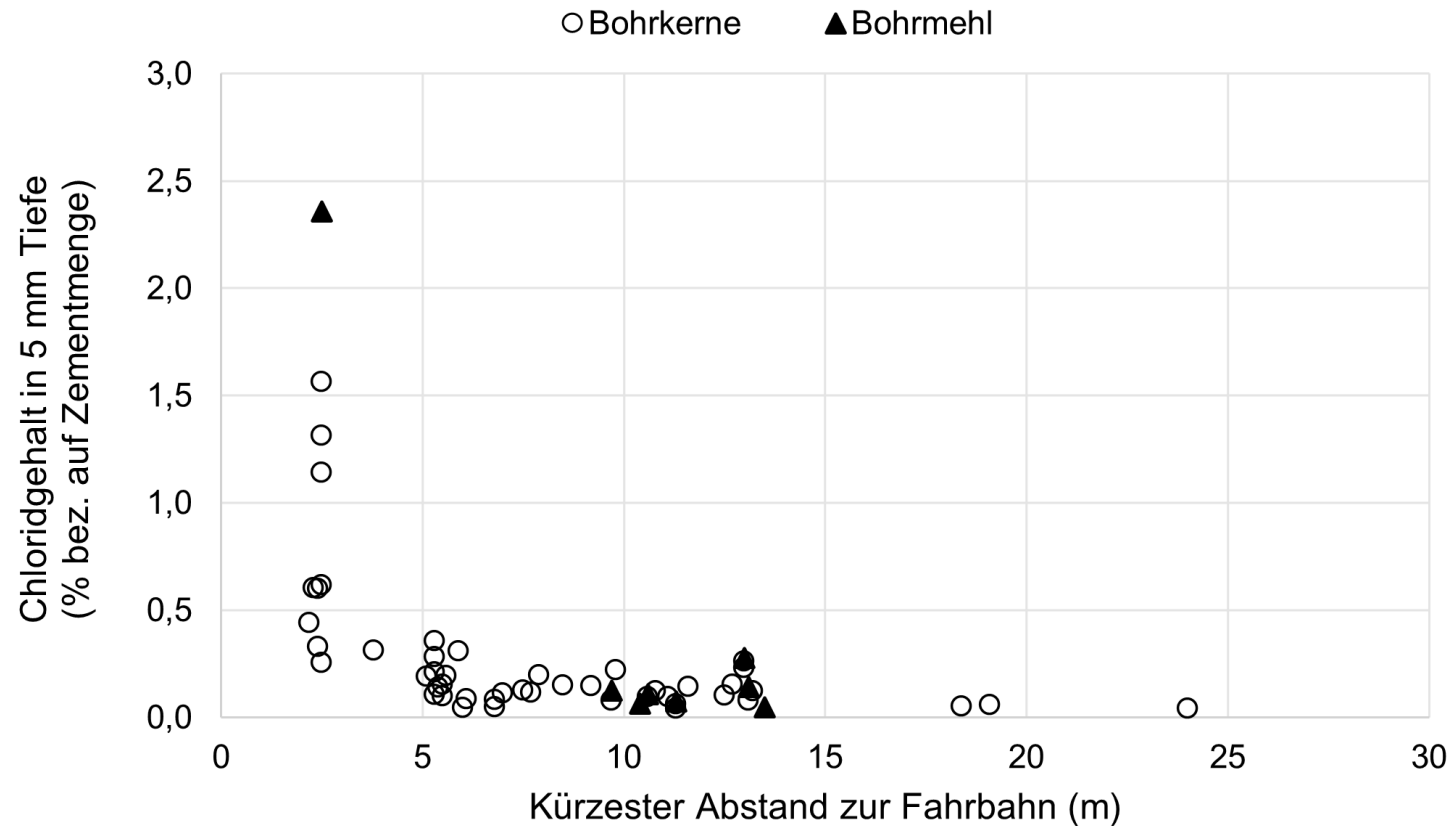


Abstand zur Chloridquelle/Fahrbahn: 2,4 m

--- **Schwellenwert 0,5 % Cl** bezogen auf Zementmasse nach TR Instandhaltung

Ergebnisse Brückenbauwerke

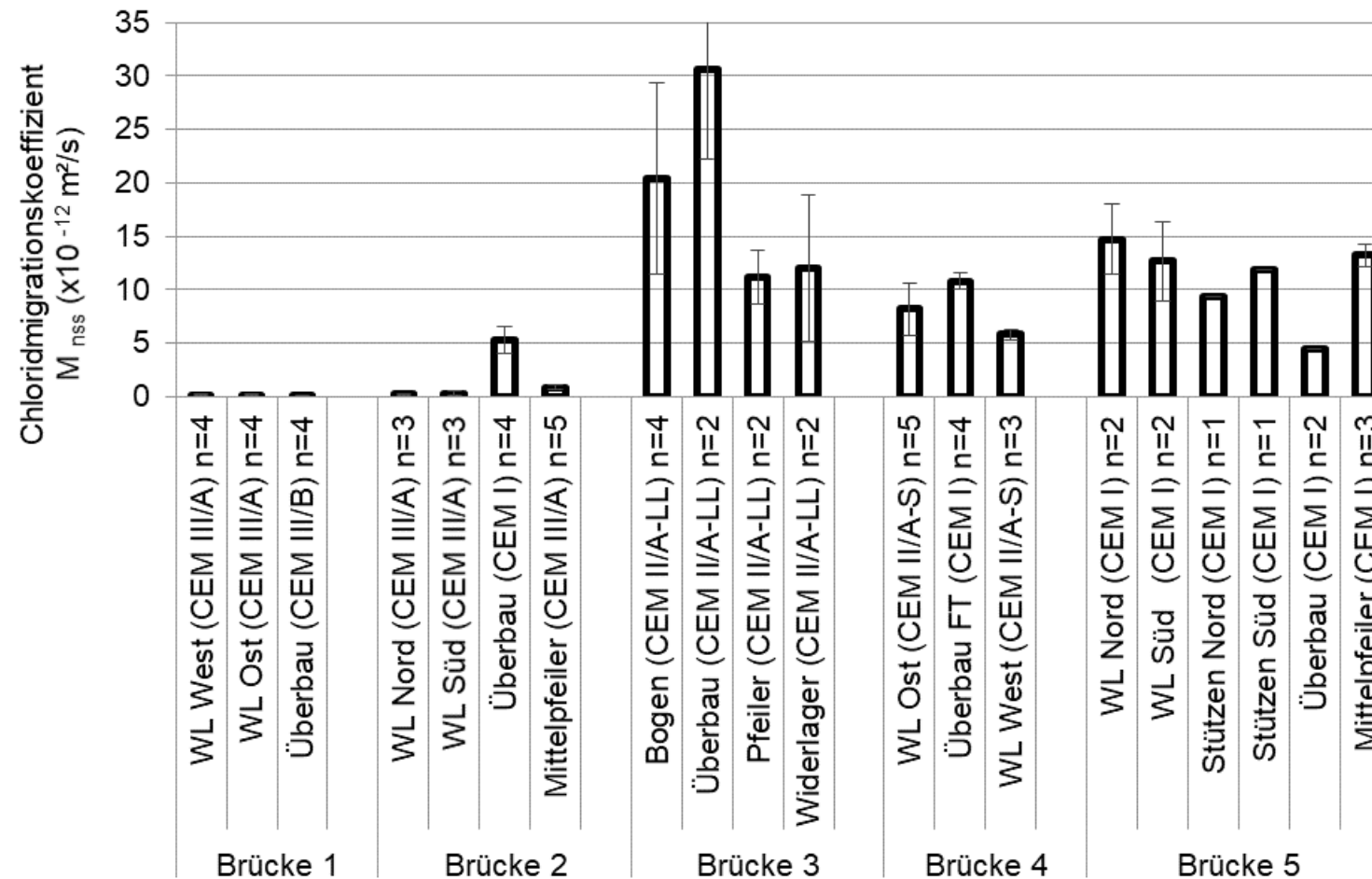
Abstand zur Chloridquelle bzw. zur Fahrbahn entscheidend für den Chloridgehalt in den ersten 10 mm



Je geringer der Abstand zur Chloridquelle desto höher i.d.R. der Chloridgehalt im Bauteil

Ergebnisse Brückenbauwerke

Die Zementart bestimmt den Chlorideindringwiderstand



Hochofenzemente
mit sehr dichtem
Gefüge gegenüber
eindringenden
Chloriden

Fazit

Kriterium	Wasserbauwerke	Brückenbauwerke	Hochbauten
Druckfestigkeitsklassen	C25/30	C30/37 - C50/60	C35/45 - C45/55
Zementgehalte (kg/m ³)	280 - 330	330 - 400	380 - 450
w/z-Werte	0,48 bis 0,55	0,45 bis 0,49	0,46 bis 0,48
Betondeckung (95%-Fraktil)	++	+	o
Karbonatisierungs- raten	1,7 - 4,3 mm/ $\sqrt{t}$ ¹⁾	0 – 3,2 mm/ $\sqrt{t}$	0,1 – 2,1 mm/ $\sqrt{t}$
Frostschäden	Teils ausgeprägte Frostschäden ²⁾	Keine Frostschäden erkennbar	Keine Frostschäden erkennbar
Risse	0,1 – 0,6 mm	0,1 – 0,5 mm	0,1 – 0,3 mm

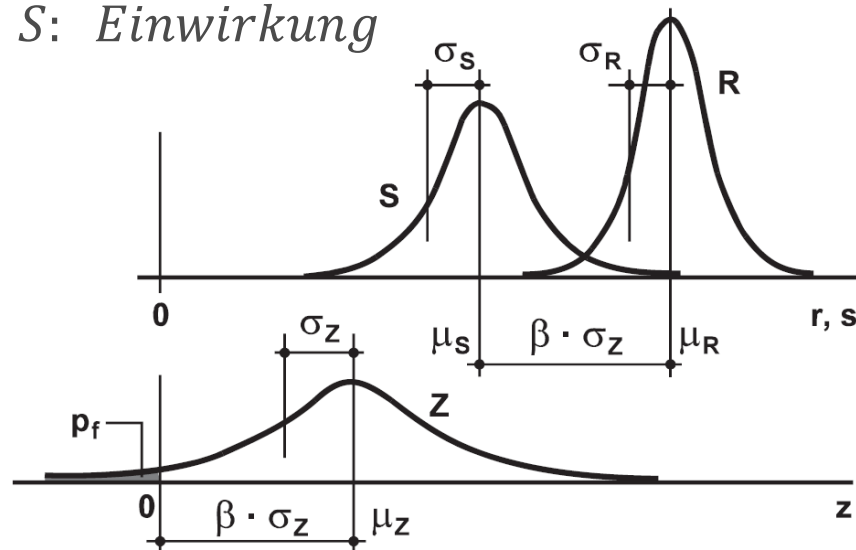
¹⁾ über Wasserwechselzone

²⁾ in Wasserwechselzone

$$Z = R - S$$

R : Widerstand

S : Einwirkung



Quelle: Gehlen, C. et. al. (2008)

$$p_f = p(R - S \leq 0)$$

$$p_f = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi(-\beta)$$

$$\beta \approx -z_{\text{Wert}}$$

Standard Normal Probabilities

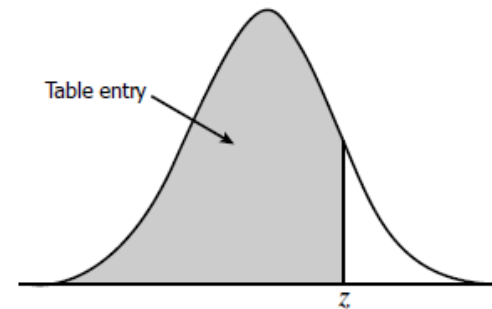


Table entry for z is the area under the standard normal curve to the left of z .

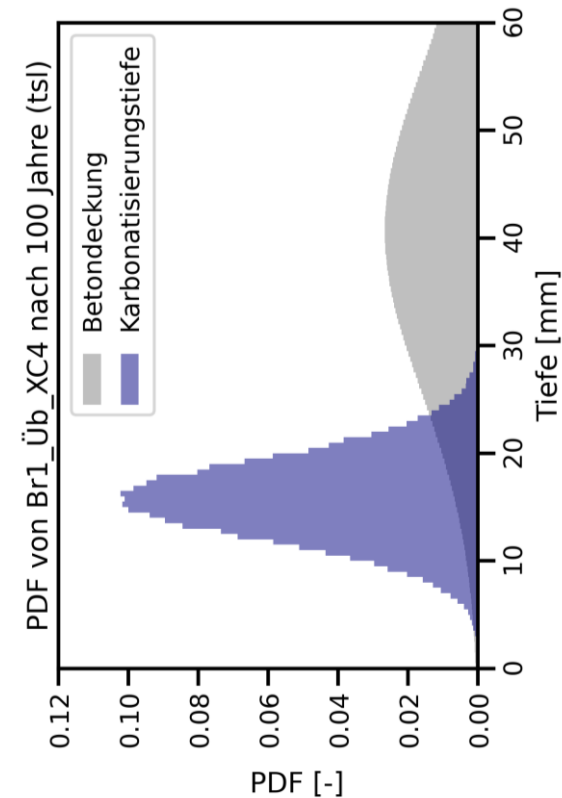
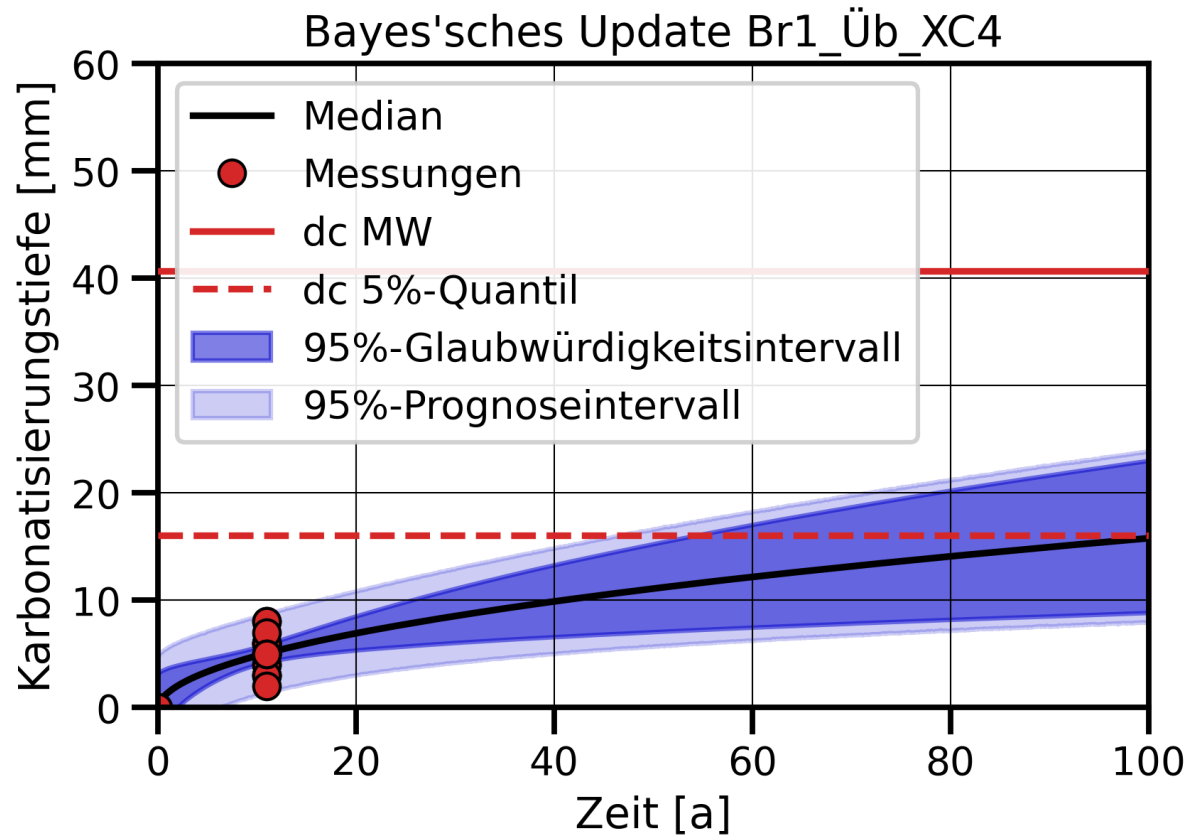
z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177

Quelle: <https://byjus.com/maths/z-score-table/>

Modellberechnungen – Wie haben wir sie durchgeführt?

Karbonatisierung, Brückenüberbau

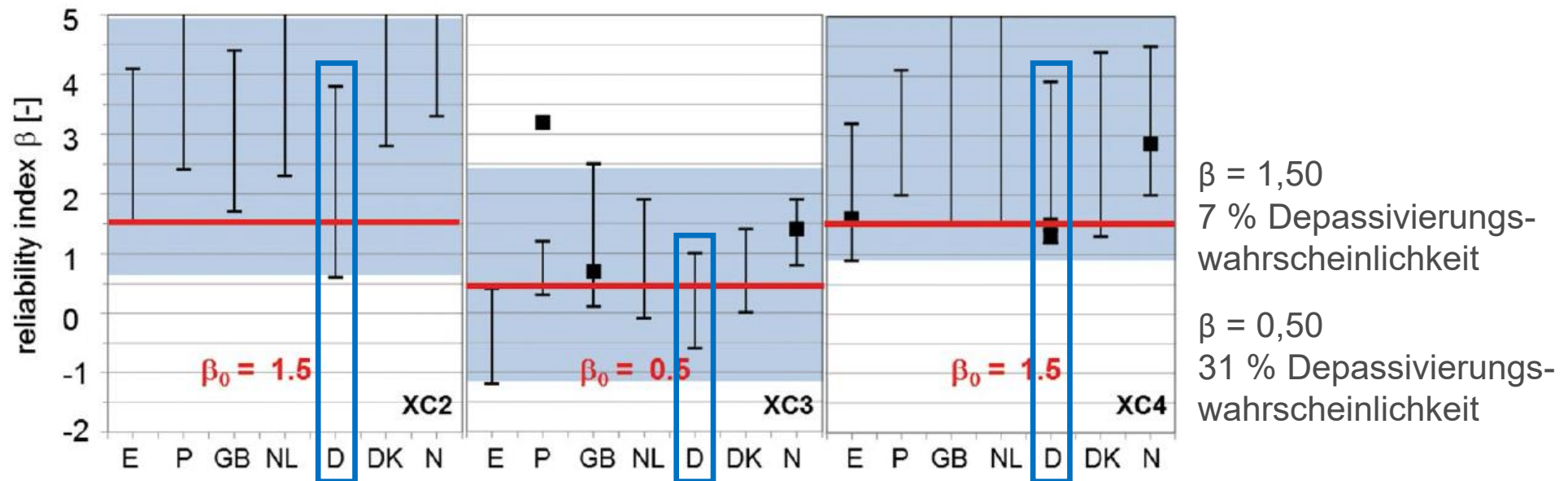
$$p_f = p(\text{Depass.} | \text{Inspektionsdaten})$$



$\beta = 1,40$
8 % Depassivierungs-
wahrscheinlichkeit

Zuverlässigkeit der Regelwerke in der Literatur

Karbonatisierungsinduzierte Korrosion, $t_{sl} = 50$ Jahre



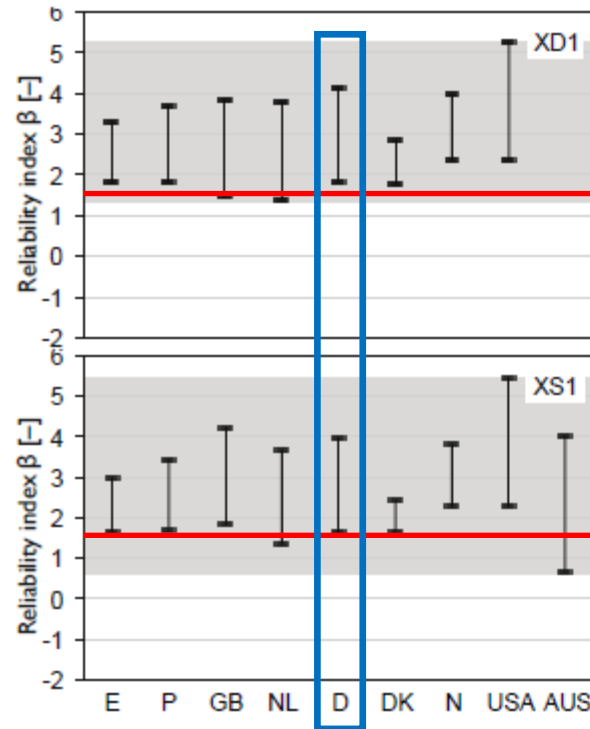
Quelle: Greve-Dierfeld, S. & Gehlen, C. (2016)

Quelle: Positionspapier DAfStb (2008)

Zuverlässigkeit der Regelwerke in der Literatur

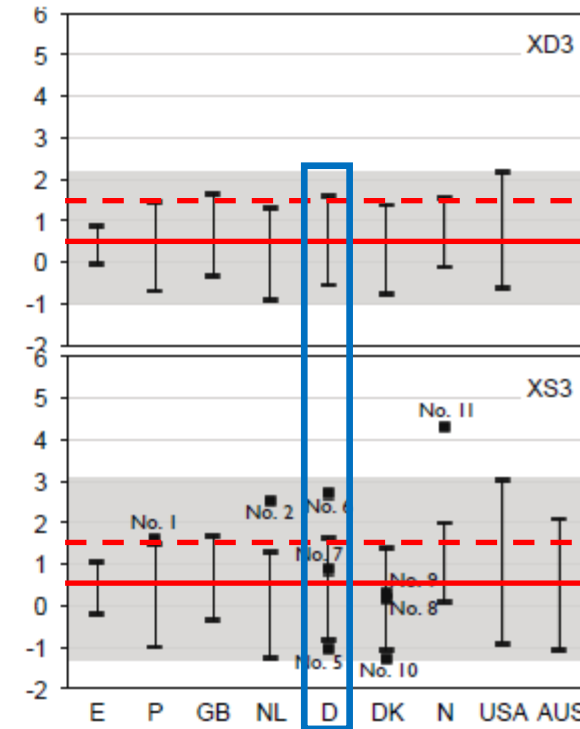
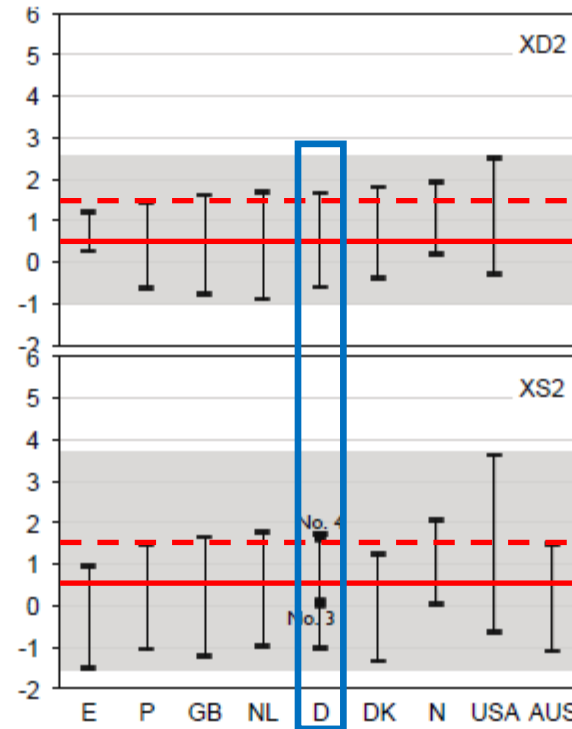
Chloridinduzierte Korrosion, $t_{sl} = 50$ Jahre

$\beta = 1,50$
7 % Depassivierungswahrsch.



Quelle: fib Bulletin 76 (2015)

Quelle: Positionspapier DAfStb (2008)

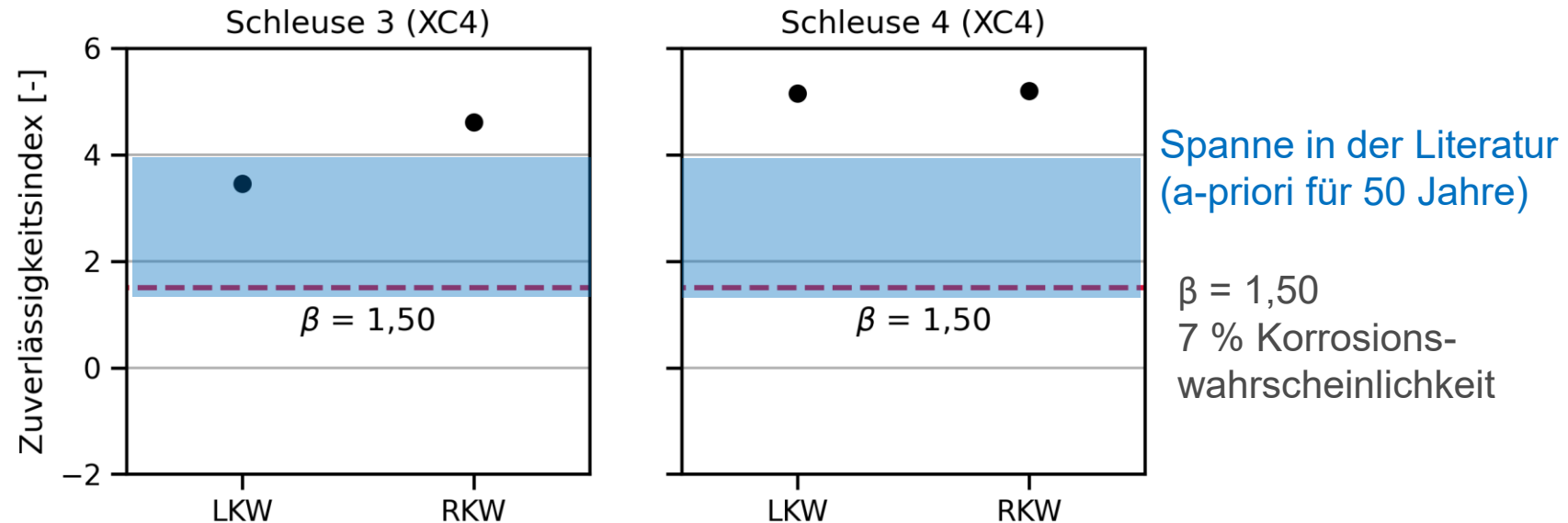


$\beta = 1,50$ (7 %)**
 $\beta = 0,50$
31 % Depassivierungswahrsch.

** bei schwieriger Zugänglichkeit, fehlenden Inspektionen

Zuverlässigkeiten Wasserbauwerke nach 50 Jahren

Bauteile von Wasserbauwerken in XC4 deutlich oberhalb der Mindestanforderung

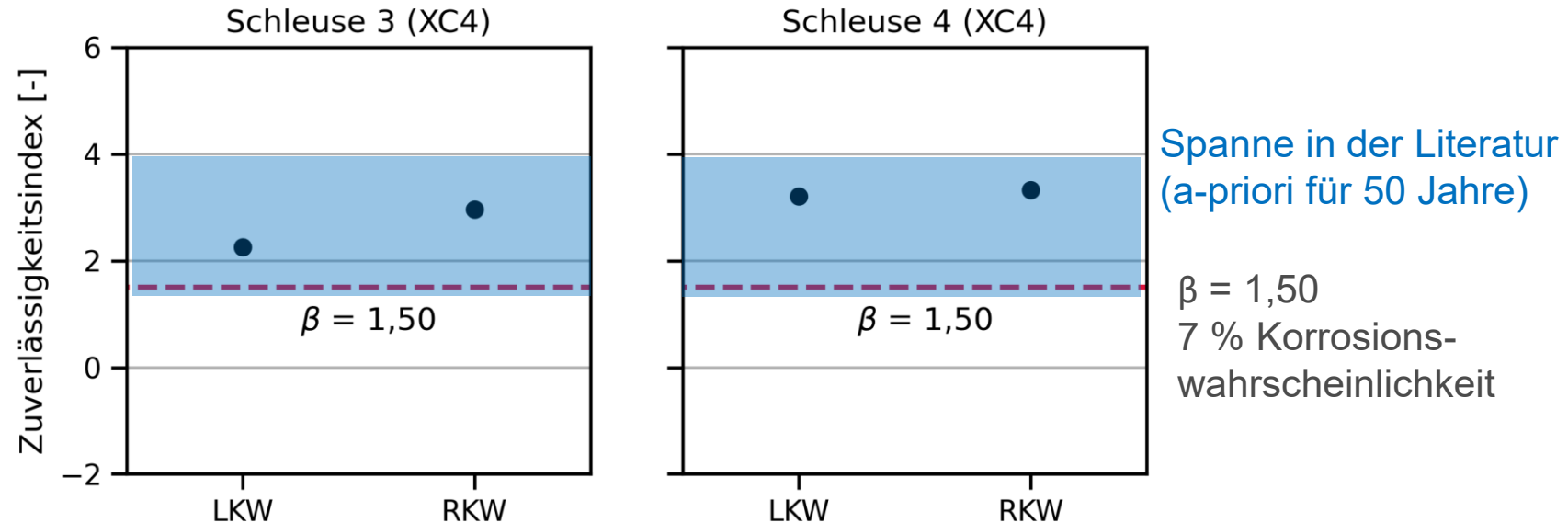


Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 50 Jahren für die linke (LKW) und rechte (RKW) Kammerwand der analysierten Schleusen. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist als rote Linie dargestellt.

$$\begin{aligned} c_{\text{nom}} &= 60 \text{ mm} \\ c_{\text{min}} &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Zuverlässigkeiten Wasserbauwerke nach 100 Jahren

Bauteile von Wasserbauwerken in XC4 deutlich oberhalb der Mindestanforderung



Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 100 Jahren für die linke (LKW) und rechte (RKW) Kammerwand der analysierten Schleusen. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist als rote Linie dargestellt.

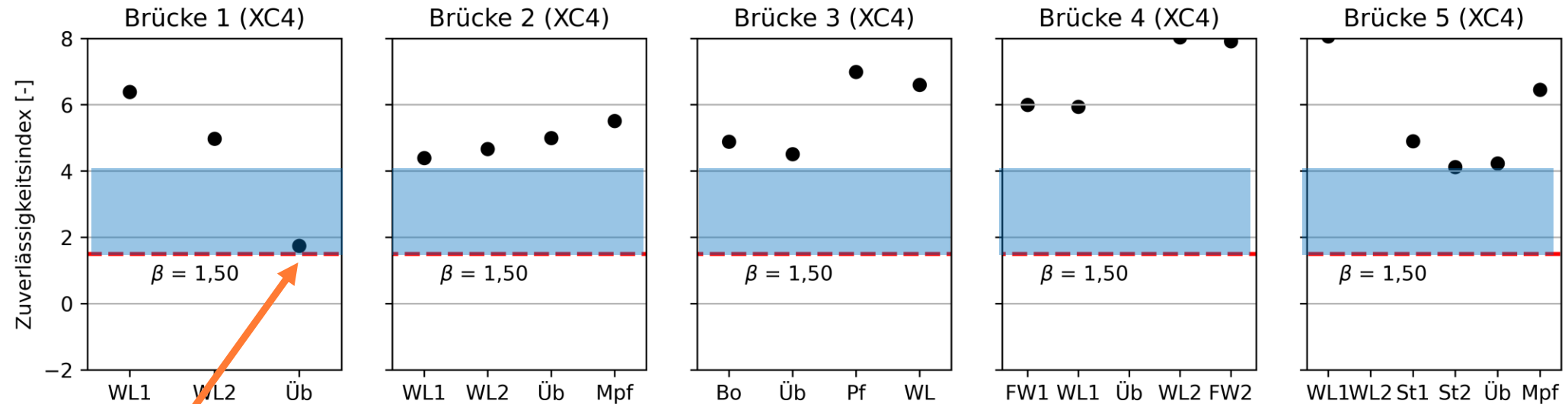
$$\begin{aligned} c_{\text{nom}} &= 60 \text{ mm} \\ c_{\text{min}} &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Zuverlässigkeiten Brückenbauwerke nach 50 Jahren

Karbonatisierung spielt bei Einhaltung der Betondeckung keine Rolle

Spanne in der Literatur (a-priori für 50 Jahre)

$c_{\text{nom}} = 45\text{-}55 \text{ mm}$
 $c_{\text{min}} = 30\text{-}40 \text{ mm}$



Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 50 Jahren für alle Bauteile der analysierten Brücken. Dabei: WL1 bzw. WL2: Widerlager 1 bzw. 2, Üb: Überbau, Mpf: Mittelpfeiler, Bo: Bogen, Pf: Pfeiler, FW1 bzw. FW2: Flügelwand 1 bzw. 2, St1 bzw. St2: Stütze 1 bzw. 2. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist als rote Linie dargestellt.

$\beta = 1,50$
7 % Korrosions-
wahrscheinlichkeit

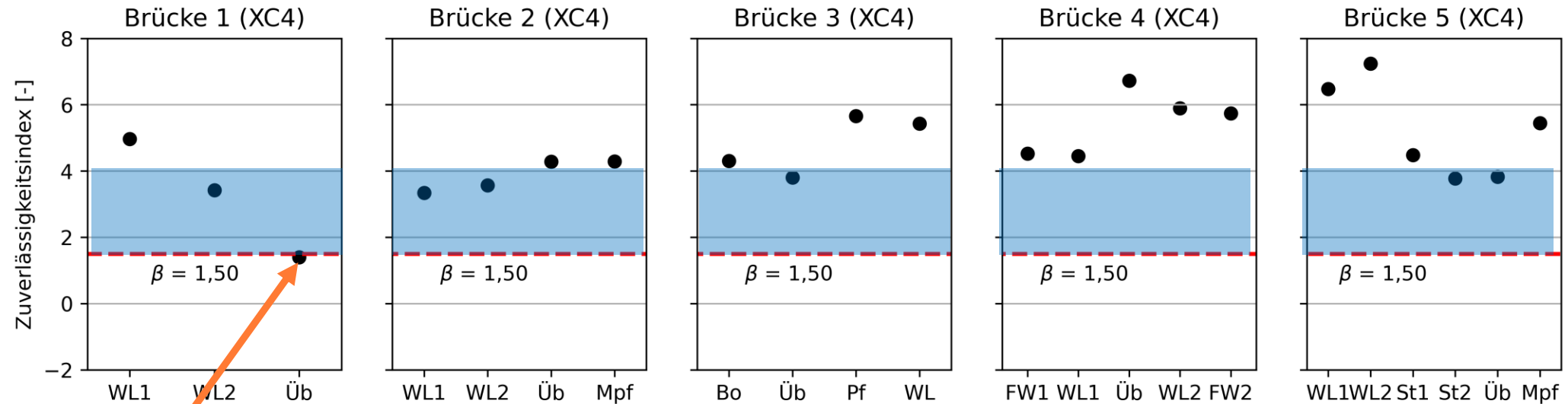
Bis auf Überbau
Brücke 1 alles in
Ordnung!

Zuverlässigkeiten Brückenbauwerke nach 100 Jahren

Karbonatisierung spielt bei Einhaltung der Betondeckung keine Rolle

Spanne in der Literatur (a-priori für 50 Jahre)

$c_{\text{nom}} = 45-55 \text{ mm}$
 $c_{\text{min}} = 30-40 \text{ mm}$



Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 100 Jahren für alle Bauteile der analysierten Brücken. Dabei: WL1 bzw. WL2: Widerlager 1 bzw. 2, Üb: Überbau, Mpf: Mittelpfeiler, Bo: Bogen, Pf: Pfeiler, FW1 bzw. FW2: Flügelwand 1 bzw. 2, St1 bzw. St2: Stütze 1 bzw. 2. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist als rote Linie dargestellt.

$\beta = 1,50$
7 % Korrosions-
wahrscheinlichkeit

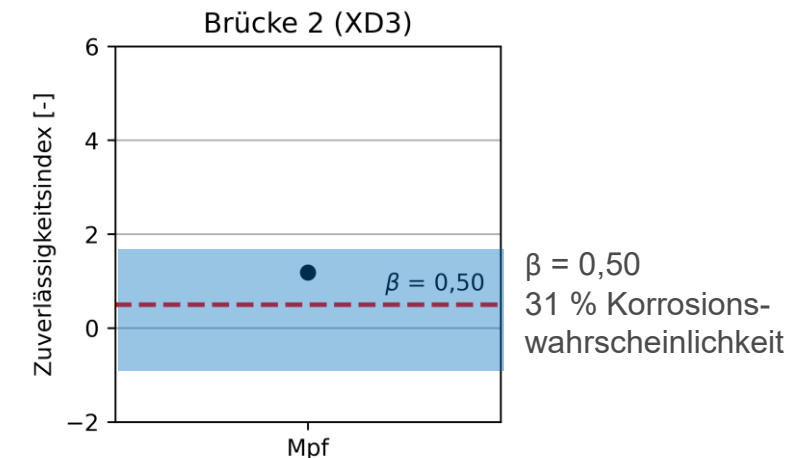
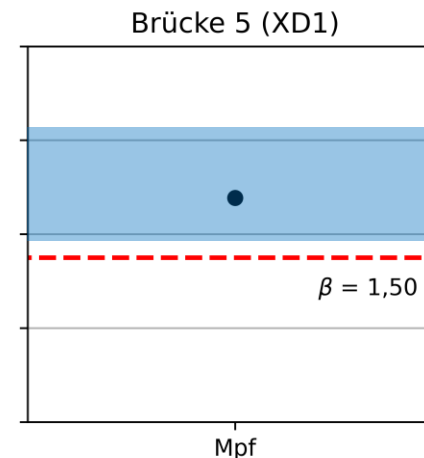
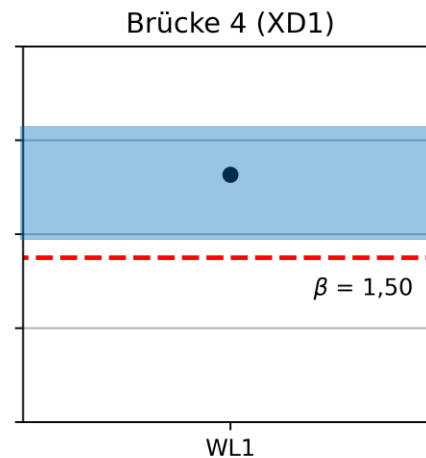
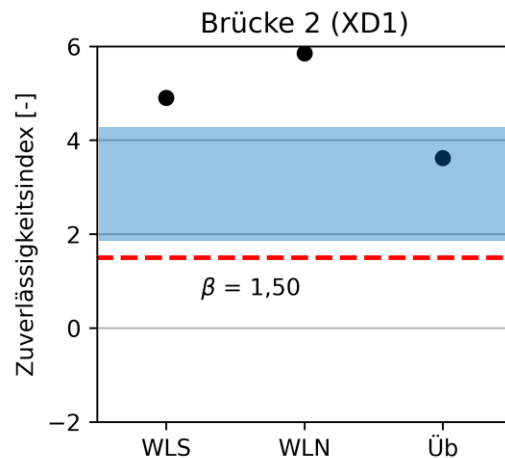
Bis auf Überbau
Brücke 1 alles in
Ordnung!

Zuverlässigkeiten Brückenbauwerke nach 50 Jahren

Brückenbauteile in XD1 liegen nach 50 Jahren oberhalb der Mindestanforderung

$c_{\text{nom}} = 45\text{-}55 \text{ mm}$
 $c_{\text{min}} = 30\text{-}40 \text{ mm}$

Spanne in der Literatur (a-priori für 50 Jahre)



Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 50 Jahren für die Widerlager Süd (WLS) und Nord (WLN) sowie den Überbau der Brücke 2, das Widerlager 1 der Brücke 4 und den Mittelpfeiler der Brücke 5. Rote Linie entspricht Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb.

Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 50 Jahren für den Mittelpfeiler der Brücke 2. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist als rote Linie dargestellt.

Bauteile in XD1
mit ausreichender
Zuverlässigkeit

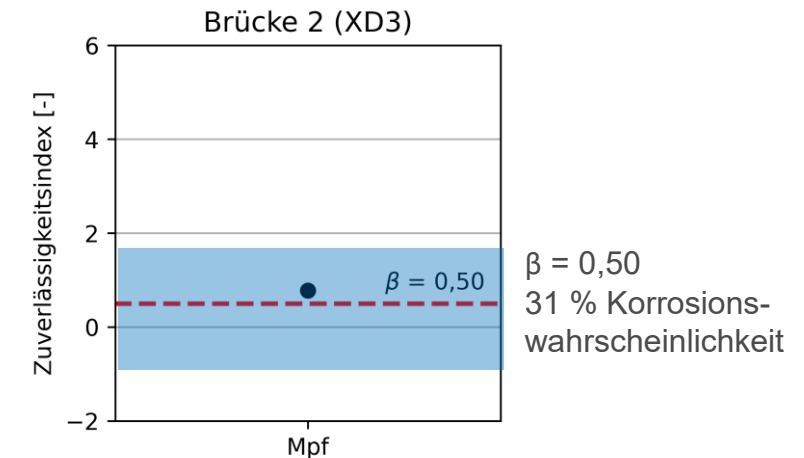
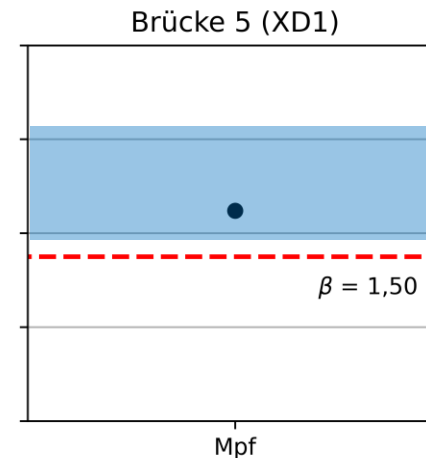
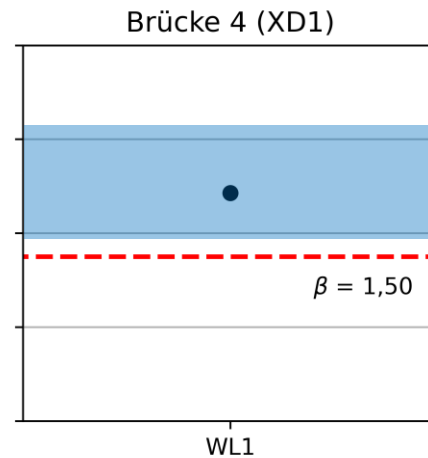
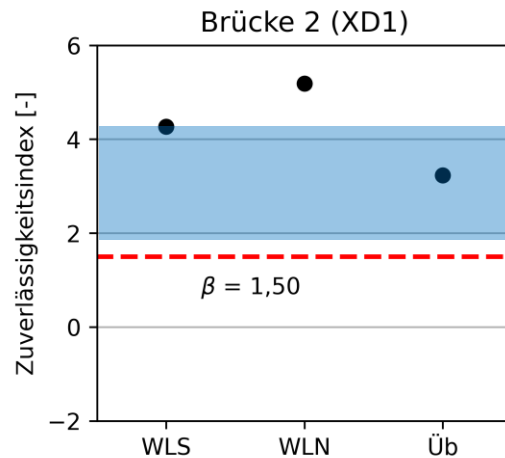
Bauteil in XD3
knapp über
Mindestanforderung

Zuverlässigkeiten Brückenbauwerke nach 100 Jahren

Brückenbauteile in XD1 liegen nach 100 Jahren oberhalb der Mindestanforderung

$c_{\text{nom}} = 45\text{-}55 \text{ mm}$
 $c_{\text{min}} = 30\text{-}40 \text{ mm}$

Spanne in der Literatur (a-priori für 50 Jahre)



Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 100 Jahren für die Widerlager Süd (WLS) und Nord (WLN) sowie den Überbau der Brücke 2, das Widerlager 1 der Brücke 4 und den Mittelpfeiler der Brücke 5. Rote Linie entspricht Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb.

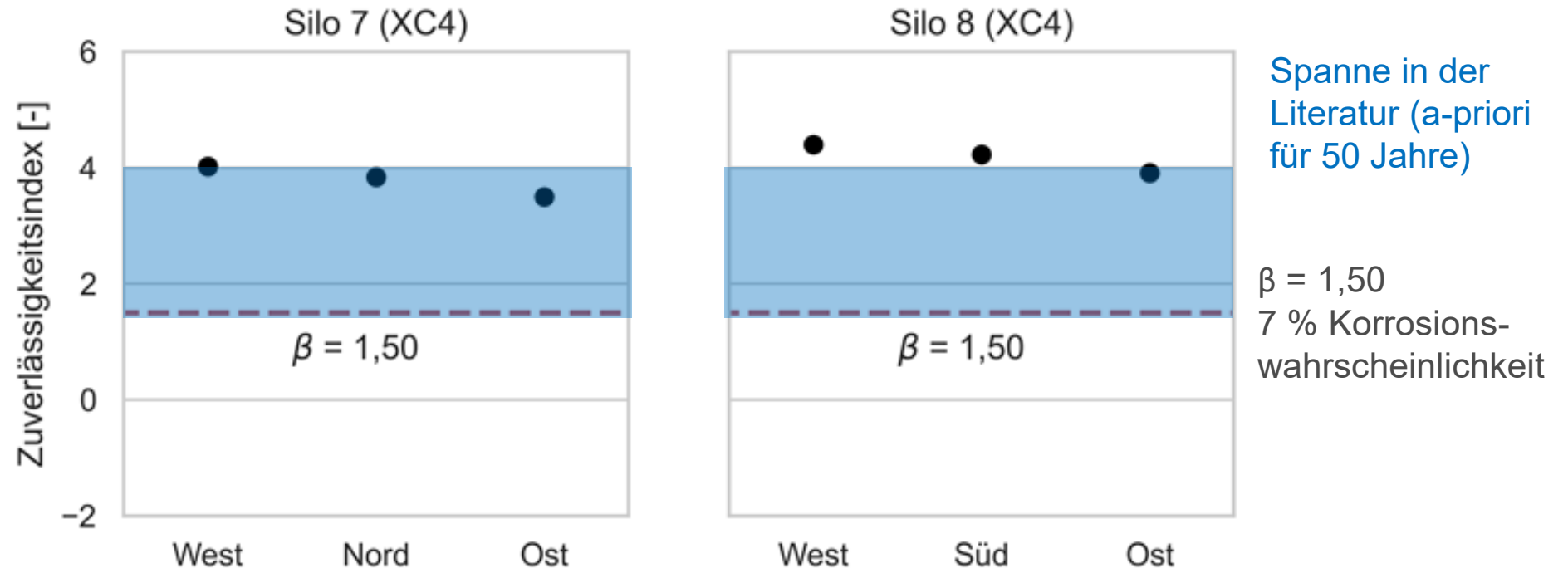
Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 100 Jahren für den Mittelpfeiler der Brücke 2. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist als rote Linie dargestellt.

Bauteile in XD1
mit ausreichender
Zuverlässigkeit

Bauteil in XD3
knapp über
Mindestanforderung

Zuverlässigkeiten Hochbauten nach 50 Jahren

Silobauwerke mit hohen Zuverlässigkeiten



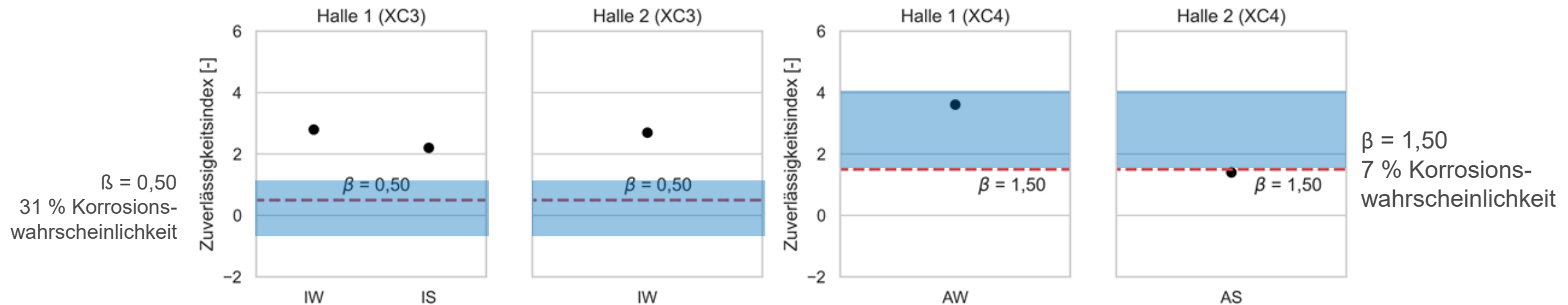
Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 50 Jahren für Silobauwerke nach Himmelsrichtung. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist ebenfalls als rote Linie dargestellt.

$c_{\text{nom}} = 45-55 \text{ mm}$
 $c_{\text{min}} = 30-40 \text{ mm}$

Zuverlässigkeiten Hochbauten nach 50 Jahren

Fertigteilhallen mit geringen Defiziten

Spanne in der Literatur (a-priori für 50 Jahre)



Zuverlässigkeitsindex a-posteriori nach 50 Jahren für die Hallenbauteile. Links: Exposition XC3 (Innenbauteile), rechts: Exposition XC4 (Außenbauteile). Dabei: IW bzw. AW: Innen- bzw. Außenwand, IS bzw. AS: Innen- bzw. Außenstütze. Die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex nach DAfStb ist als rote Linie dargestellt.

Bis auf eine Außenstütze von Halle 2 ausreichende Zuverlässigkeiten

Karbonatisierung

- Karbonatisierung war an untersuchten Wasserbauten, Brückenbauwerken und Hochbauten unkritisch,
- Zuverlässigkeiten hinsichtlich Karbonatisierung lagen (bis auf wenige Ausnahmen) deutlich über den geforderten Mindestzuverlässigkeiten,
- Eine Unterschreitung der Betondeckung führt zu geringerer Zuverlässigkeit,
- Aktualisierung der a-priori Berechnungen des Zuverlässigkeitsindex durch Inspektionsdaten trägt zur Reduzierung der im Modell enthaltenen Unsicherheiten bei -> bessere Prognose,

Chloride

- Bewehrungskorrosion durch Chloride bei mäßiger Feuchte und relativ niedriger Chlorideinwirkung **(XD1) ist unkritisch**, hier wurden hohe Zuverlässigkeiten ermittelt,
- Bauteile der Expositionsklasse XD3 (Spritzwasserbereich) unterliegen einem höheren Korrosionsrisiko (*niedrigere Zuverlässigkeitsindizes*). Im Rahmen des Projektes wurde jedoch nur ein Bauteil mit einem Bindemittel mit hohem Chlorideindringwiderstand (CEM III/A) und eine mäßige Exposition inspiziert,
- **Deskriptives Konzept bei XD3 möglicherweise mit Defiziten, besonders bei der Auswahl von Bindemitteln mit niedrigem Chlorideindringwiderstand und eine hohe Chloridexposition.**

Frostangriff

- Brückenbauten und Hochbauten zum Zeitpunkt der Untersuchung ohne Frostschäden,
- Bei Wasserbauwerken ist Betonkorrosion durch Frostangriff (ohne Taumittel) bei hoher Wassersättigung (XF3) aus Sicht des Betreibers eine maßgebliche Umwelteinwirkung,
- An Wasserbauwerken wurden bereits nach relativ kurzer Nutzungsdauer tiefe Frostschäden festgestellt. Aus der Perspektive eines Betreibers von Wasserbauwerken könnte das deskriptive Konzept zur Sicherstellung des Frostwiderstandes von Beton (ohne Taumittel) Schwächen aufweisen.

Danksagung

Ein großes Danke an Projektpartner, Unterstützer und Sponsoren



WSV.de

Wasserstraßen- und
Schifffahrtsverwaltung
des Bundes



Bewährtes neu denken

**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit.**

vdz

Stefan Kubens

T +49 (0)211 45 78 - 343

stefan.kubens@vdz-online.de

www.vdz-online.de

Juan Lozano

T +89 (0)171 848 3041

juan.lozano@tum.de

www.mae.ed.tum.de/cbm/startseite/