



30. Informations-Veranstaltung

Bauwerke Instandsetzen – heute und morgen
LGG Hessen-Thüringen e.V.
6. November 2019 Bad Nauheim

Dauerhaftigkeit und Abschätzung der Restnutzungsdauer von Betonbauteilen – Regelwerk und Praxis



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit ¹⁾²⁾
Melanie Merkel, M.Eng. ¹⁾²⁾
Dipl.-Ing. Ayhan Celebi ¹⁾



bsm² Ingenieurgesellschaft mbH ²⁾
Schumannstraße 1
67655 Kaiserslautern
Telefon 0631/31190-249
Telefax 0631/31172-221



Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen ¹⁾
Gottlieb-Daimler-Straße, Gebäude 60
67663 Kaiserslautern
Telefon 0631/205-3436
Telefax 0631/205-3101



Definition

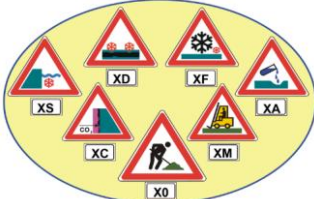


	DIN EN 1992-1-1	
	DIN EN 206	

Dauerhaftigkeit

Die verlangten Gebrauchseigenschaften bleiben während einer festgelegten **Zeitdauer** (Nutzungsdauer, Lebensdauer) unter den planmäßigen Beanspruchungen und unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit (angemessene Herstellungs- und Instandhaltungskosten) erhalten.
[s. DIN EN 1992-1 (EC 2), DIN EN 206-1, ...]

Widerstandsfähigkeit gegenüber
Umwelteinwirkungen
➔ Expositionsklassen



30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen



bsm²
Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

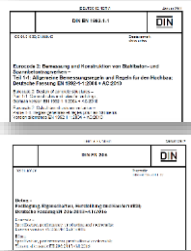
Definition



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN



cen DIN



Wieviel km schafft der neue Reifen?
➔ **Kaufentscheidung**

30. Informations-Seminar

	DIN EN 1992-1-1	DIN
	DIN EN 206	DIN

Dauerhaftigkeit



„Handelsübliche Markenreifen sollten ... eine Laufleistung von bis zu 50.000 km erreichen, ohne dass Fahrqualität oder Sicherheit des Fahrzeugs beeinträchtigt wird.“ Vergölst
<https://vergoelst.de/laufleistung.html>

Quelle: www.pneudiscount.ch/de/reifenlexikon/reifenwissen-laufleistung.html



bsm²
Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

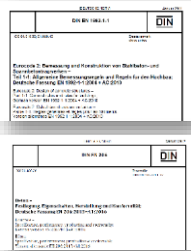
Definition



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN



cen DIN

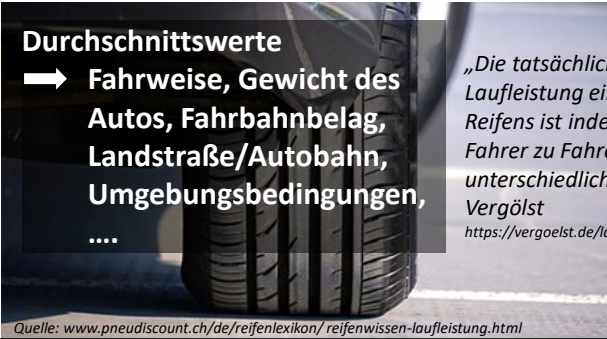


Wieviel km schafft der neue Reifen?
➔ **Kaufentscheidung**

30. Informations-Seminar

	DIN EN 1992-1-1	DIN
	DIN EN 206	DIN

Dauerhaftigkeit



Durchschnittswerte
➔ Fahrweise, Gewicht des Autos, Fahrbahnbelag, Landstraße/Autobahn, Umgebungsbedingungen,

„Die tatsächliche Laufleistung eines Reifens ist indes von Fahrer zu Fahrer unterschiedlich.“ Vergölst
<https://vergoelst.de/laufleistung.html>

Quelle: www.pneudiscount.ch/de/reifenlexikon/reifenwissen-laufleistung.html



bsm²
Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Bewehrungskorrosion durch Chloridangriff
Expositionsclassen XD und XS



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Planung



- Erfassung und Festlegung der Bauteilexposition
- Festlegung der Mindestbetondeckung

DIN EN 1992-1-1 (EC2)
z. B. XD1 / XD2 / XD3

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Dauerhaftigkeit →
bemessen auf 50 Jahre
auf 50.000 km



Einwirkung

30. Informations-Seminar Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Quelle: www.pseudocount.ch/de/reifenlexikon/reifenwissen-baufeistung.html



bsm²
Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Betondeckung c_{nom}
DIN EN 1992-1-1 und Nationaler Anhang (EC2)



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \tag{4.1}$$
$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \} \tag{4.2}$$

Dabei ist

- $c_{min,b}$ die Mindestbetondeckung aus der Verbundanforderung, siehe 4.4.1.2 (3);
- $c_{min,dur}$ die Mindestbetondeckung aus der Dauerhaftigkeitsanforderung, siehe 4.4.1.2 (5);
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ ein additives Sicherheitselement, siehe 4.4.1.2 (6);
- $\Delta c_{dur,st}$ die Verringerung der Mindestbetondeckung bei Verwendung nichtrostenden Stahls, siehe 4.4.1.2 (7);
- $\Delta c_{dur,add}$ die Verringerung der Mindestbetondeckung auf Grund zusätzlicher Schutzmaßnahmen, siehe 4.4.1.2 (8).

Dauerhaftigkeitsanforderung für $c_{min,dur}$ mm							
Anforderungsklasse	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1						
	(X0)	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
S3 → $c_{min,dur}$	(10)	10	20	25	30	35	40
$\Delta c_{dur,\gamma}$	0				+10	+5	0



ANMERKUNG Der landesspezifische Wert Δc_{dev} darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Der empfohlene Wert ist 10 mm.



Betondeckung c_{nom}
DIN EN 1992-1-1 und Nationaler Anhang (EC2)



$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \}$

Dabei ist

$c_{min,b}$

die Mindestbetondeckung aus der Verbundanforderung, siehe 4.4.1.2 (3);

$c_{min,dur}$

die Mindestbetondeckung aus der Dauerhaftigkeitsanforderung, siehe 4.4.1.2 (5);

$\Delta c_{dur,\gamma}$

ein additives Sicherheitselement, siehe 4.4.1.2 (6);

$\Delta c_{dur,st}$

die Verringerung der Mindestbetondeckung bei Verwendung nichtrostenden Stahls, siehe 4.4.1.2 (7);

$\Delta c_{dur,add}$

die Verringerung der Mindestbetondeckung auf Grund zusätzlicher Schutzmaßnahmen, siehe 4.4.1.2 (8).

Dauerhaftigkeitsanforderung für $c_{min,dur}$
mm

Anforderungsklasse	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1						
	(X0)	XC1	XC2	XC4	XD1	XD2	XD3
S3 → $c_{min,dur}$	(10)	10	20	25	30	35	40
$\Delta c_{dur,\gamma}$			0		+10	+5	0

ANMERKUNG

Der landesspezifische Wert Δc_{dev} darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Der empfohlene Wert ist 10 mm.





Bewehrungskorrosion durch Chloridangriff
Expositionsclassen XD und XS



Planung



- Erfassung und Festlegung der Bauteilexposition
- Festlegung der Mindestbetondeckung
- Grenzwerte für die Zusammensetzung des Betons

DIN EN 1992-1-1 (EC2)
z. B. XD1 / XD2 / XD3

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

EN 206-1 / DIN 1045-2

Dauerhaftigkeit

→

bemessen auf 50 Jahre

auf 50.000 km



Einwirkung

↔

Widerstand

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

 bsm² Ingenieurgesellschaft Breit • Schuler • Merkel • Metzler	Anforderungen an die Betonzusammensetzung Expositionsklassen XD und XS – DIN EN 206-1/DIN 1045-2			 TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN
Expositions- klassen	XD1 mäßig feucht	XD2 nass	XD3 wechselnd nass/trocken	
max w/z ¹⁾	0,55	0,50	0,45	
min f _{ck} ^{2) 3)}	C30/37	C35/45	C35/45	
min z ^{4) 5)} [kg/m ³]	300 (270)	320 (270)	320 (270)	
¹⁾ Bei Anrechnung von Zusatzstoffen Typ II ist maßgebend der Wasser/(Zement + k · Zusatzstoff)-Wert bzw. Gesamtgehalt (Zement + Zusatzstoff). Für min z gelten dann die Klammerwerte nach Fußnote ⁴⁾. ²⁾ Gilt nicht für Leichtbeton ³⁾ Bei LP-Beton und gleichzeitiger Anforderung der Expositionsklasse XF eine Festigkeitsklasse niedriger ⁴⁾ Bei Anrechnung von Zusatzstoffen gelten für min z die Klammerwerte (...) ⁵⁾ Bei Gesteinskörnungen mit Größtkorn 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden. In diesem Fall darf Fußnote 6) nicht angewendet werden ⁶⁾ Für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung ≥ 80 cm) gilt: min z ≥ 300 kg/m³				
30. Informations-Seminar Bauwerke instand setzen – heute und morgen Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi 06.11.2019				

 bsm² Ingenieurgesellschaft Breit • Schuler • Merkel • Metzler	Zulässige Höchstwerte für Chloridgehalte in den Betonausgangsstoffen und in Beton			 TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN
Ausgangsstoff	Norm	Beton	Stahlbeton	Spannbeton
Zement	EN 197-1	0,10 M.-%	0,10 M.-%	0,10 M.-%
Gesteinskörnung	EN 12620	0,15 M.-%	0,04 M.-%	0,02 M.-%
Wasser	EN 1008	4.500 mg/l	1.000 mg/l	500 mg/l
Zusatzmittel	EN 934-2	0,20 M.-%	0,20 M.-%	0,20 M.-%
Zusatzstoff	EN 450-1	0,10 M.-%	0,10 M.-%	0,10 M.-%
Beton	EN 206-1/ DIN 1045-2	1,0 M.-%	0,40 M.-%	0,20 M.-%
30. Informations-Seminar Bauwerke instand setzen – heute und morgen Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi 06.11.2019				



bsm²

Ingenieurgesellschaft

Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Problemstellung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Beispiel Stahlbetonbrücke

→ Korrosion infolge Chlorid und Karbonatisierung

→ Dauerhaftigkeit

→ Restnutzungsdauer

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019

bsm²

Ingenieurgesellschaft

Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Ursachen für Schäden an Brücken
im Deutschen Autobahnnetz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

2007

66 % chloridinduzierte Korrosion

18 % Konstruktions-/Ausführungsmängel

3 % ungenügendes Verpressen von Spanngliedern

5 % Frost-Tausalz-Schädigung

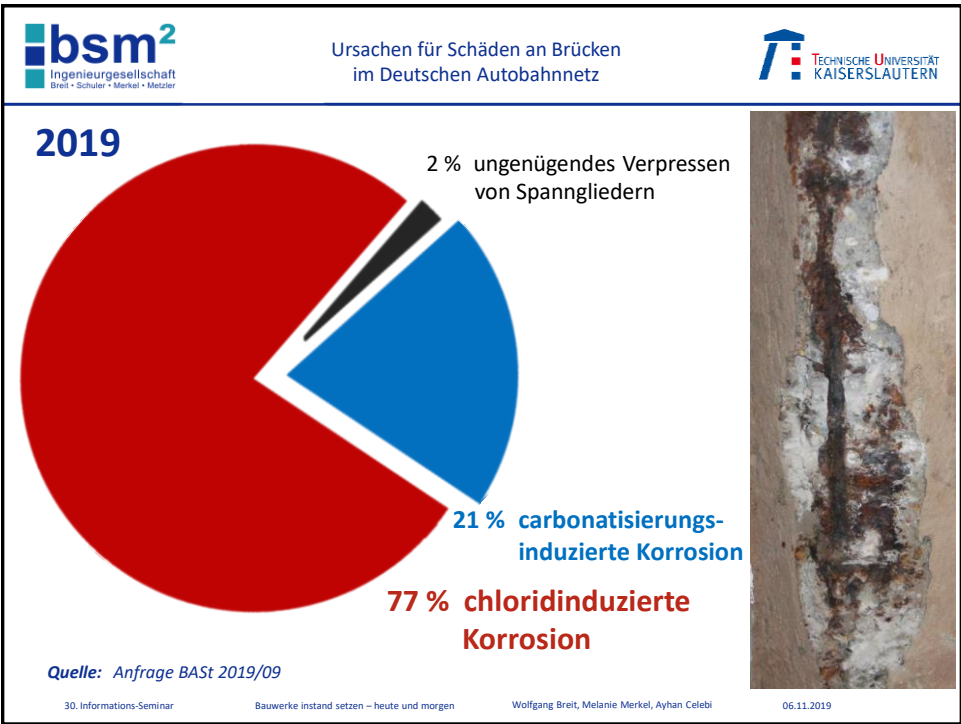
3 % Ermüdung

5 % carbonatisierungs-induzierte Korrosion

Quelle: Schießl, P.; Mayer, T.F.: Lebensdauermanagementsystem – Teilprojekt A2.
In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton Heft 572,
Beuth Verlag, Berlin, 2007

06.11.2019

30. Informations-Seminar der LGGHuT, Bad Nauheim, 06.11.2019





Definition







Entwurf 2018/06

DAfStb-Richtlinie

Instandhaltung von Betonbauteilen
(Instandhaltungs-Richtlinie)

Restnutzungsdauer

Zeitspanne, während der ein Betonbauwerk oder ein Betonbauteil bei planmäßiger Instandhaltung die gestellten Anforderungen (**Mindest-Sollzustand**) mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erfüllt oder übertrifft.

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019

Quelle: DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie, Entwurf 2018-06

30. Informations-Seminar der LGGHuT, Bad Nauheim, 06.11.2019



Definition







Entwurf 2018/06

DAfStb-Richtlinie

Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie)

Restnutzungsdauer



Wann muss
der Reifen
(spätestens)
erneuert
werden?

30. Informations-Seminar

06.11.2019



Abschätzung der Restnutzungsdauer







Entwurf 2018/06

DAfStb-Richtlinie

Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie)



Teil 5

Vorbemerkung

In diesem Teil der Instandhaltungs-Richtlinie werden semiprobabilistische leistungsbezogene Nachweisverfahren dargestellt, die allen am Baugeschehen Beteiligten ein transparentes Umgehen mit der Bemessung und Bewertung der Dauerhaftigkeit hinsichtlich carbonatisierungs- und chloridinduzierter Betonstahlkorrosion ermöglichen.

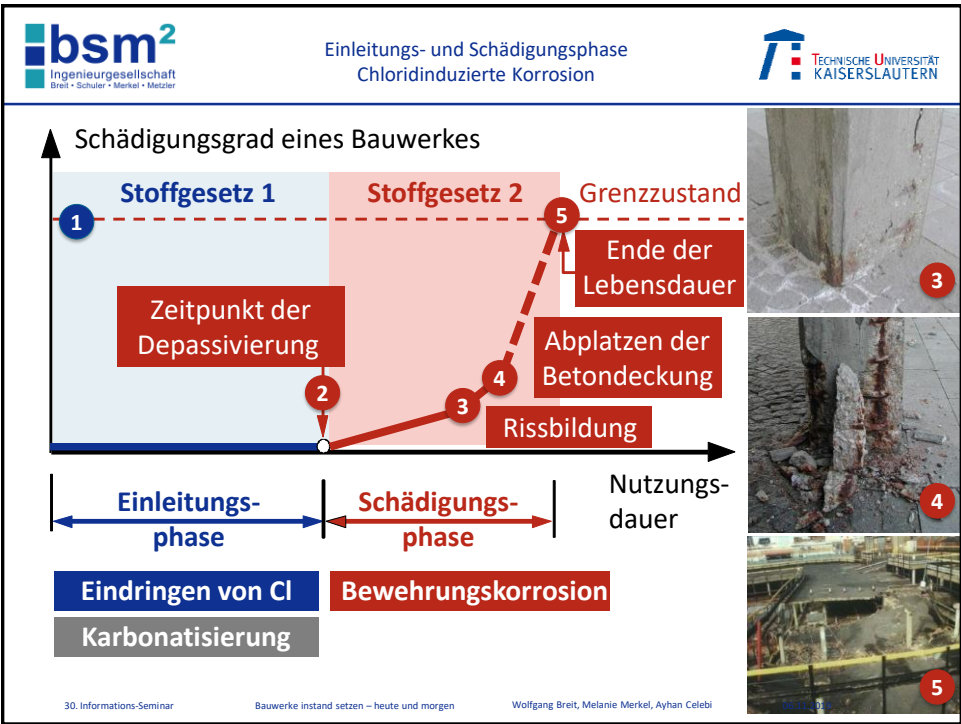
30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019

30. Informations-Seminar der LGGHuT, Bad Nauheim, 06.11.2019



bsm²

Ingenieurgesellschaft

Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Mathematische Beschreibung des

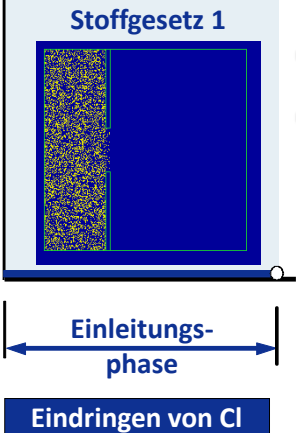
Chlorideindringverhalten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT

KAISERSLAUTERN

Schadigungsgrad eines Bauwerkes

Stoffgesetz 1



• Diffusion (Konzentrationsgradient Δc)

➔ Berechnungsmodelle auf Basis des 2. Fick'schen Diffusionsgesetzes

➔ fib Bulletin 34: Model Code for Service Life Design (Gehlen 2000 ff.)

$$C(x, t) = C_0 + (C_{s, \Delta x} - C_0) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{app}(t) \cdot t}} \right]$$

C(x,t): Chloridgehalt des Betons in der Tiefe x (Bauteiloberfläche: x = 0 m) zum Zeitpunkt t [M.-%/z]

C₀: Eigenchloridgehalt des Betons [M.-%/z]

C_{s, Δx}: Chloridkonzentration in Tiefe Δx in Abhängigkeit der Chlorideinwirkung, zum Zeitpunkt t [M.-%/z]

D_{app, C}(t): Scheinbarer Chloriddiffusionskoeffizient von Beton zum Beobachtungszeitpunkt t [10⁻¹²m²/s]

x: Tiefe mit einem korrespondierenden Chloridgehalt C(x,t) [m]

Δx: Tiefenbereich mit abweichende Chloridkonzentrationen durch intermittierende Chlorideinwirkung [m]

t: Betonalter [s]

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen

bsm²

Ingenieurgesellschaft

Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Mathematische Beschreibung des

Chlorideindringverhalten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT

KAISERSLAUTERN

Schadigungsgrad eines Bauwerkes

Stoffgesetz 1

• Diffusion (Konzentrationsgradient Δc)

Einleitungsphase

Eindringen von Cl

Liniengraph: Konzentration (mol/m³)

1

1

$$C(x, t) = C_0 + (C_{s, \Delta x} - C_0) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{app}(t) \cdot t}} \right]$$

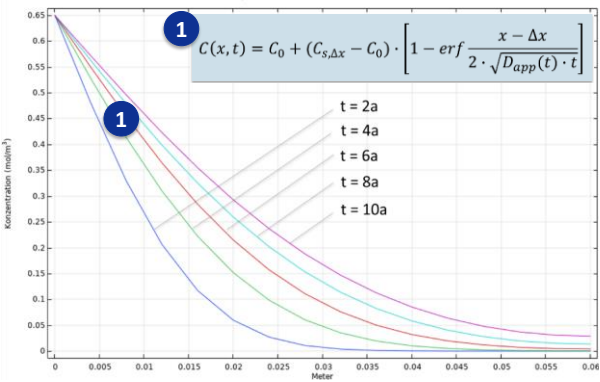
t = 2a

t = 4a

t = 6a

t = 8a

t = 10a



➔ Erlaubt die Berechnung der Chloridkonzentration C(x, t) in beliebiger Tiefe und zu beliebigem Alter

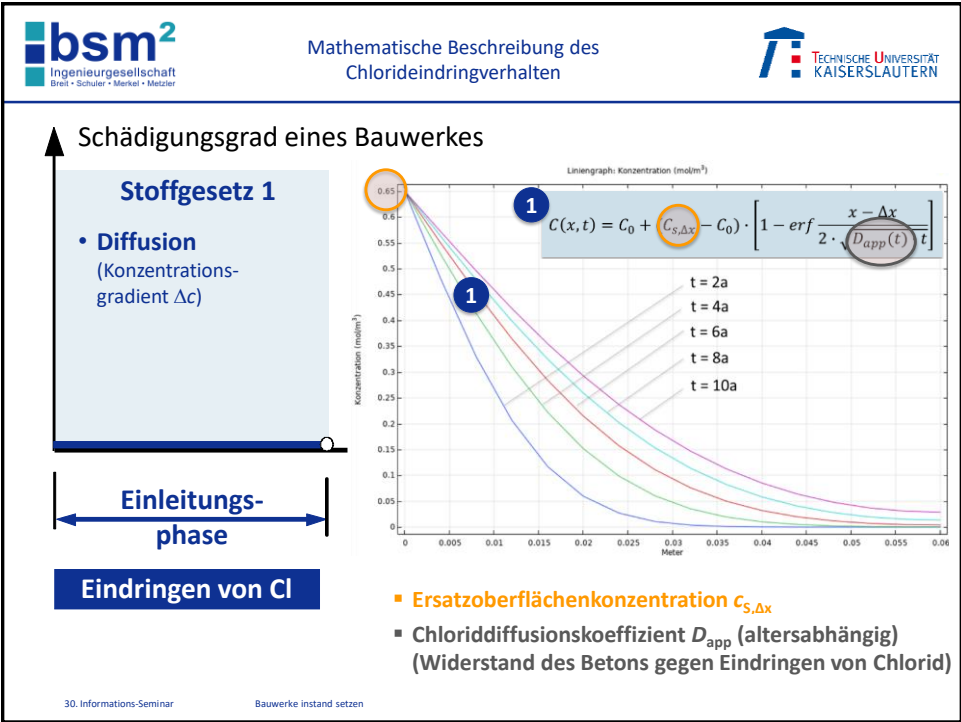
30. Informations-Seminar

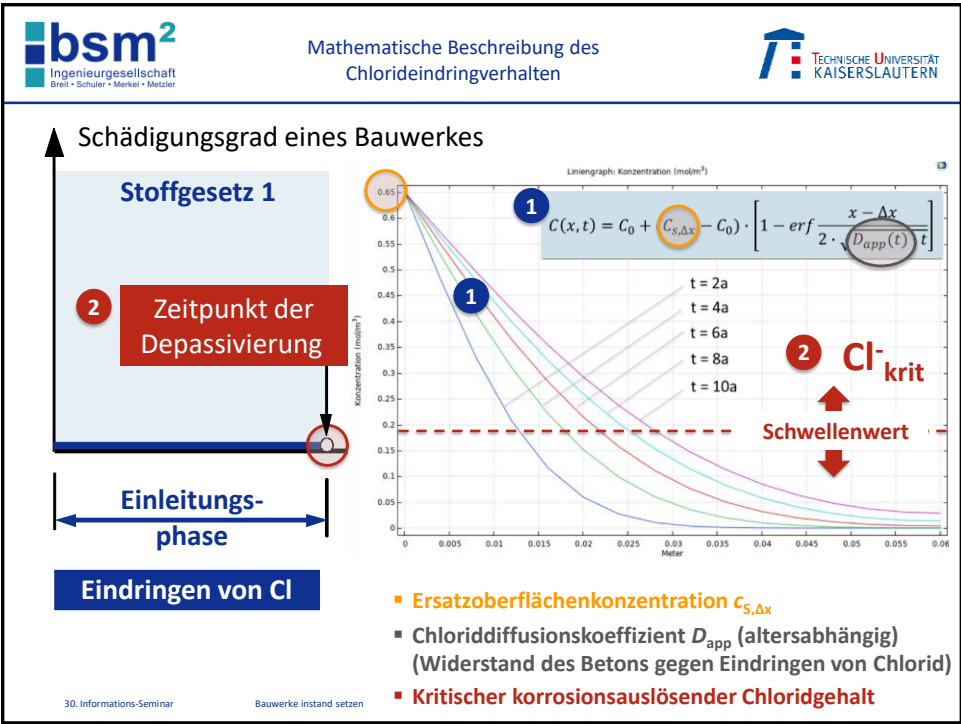
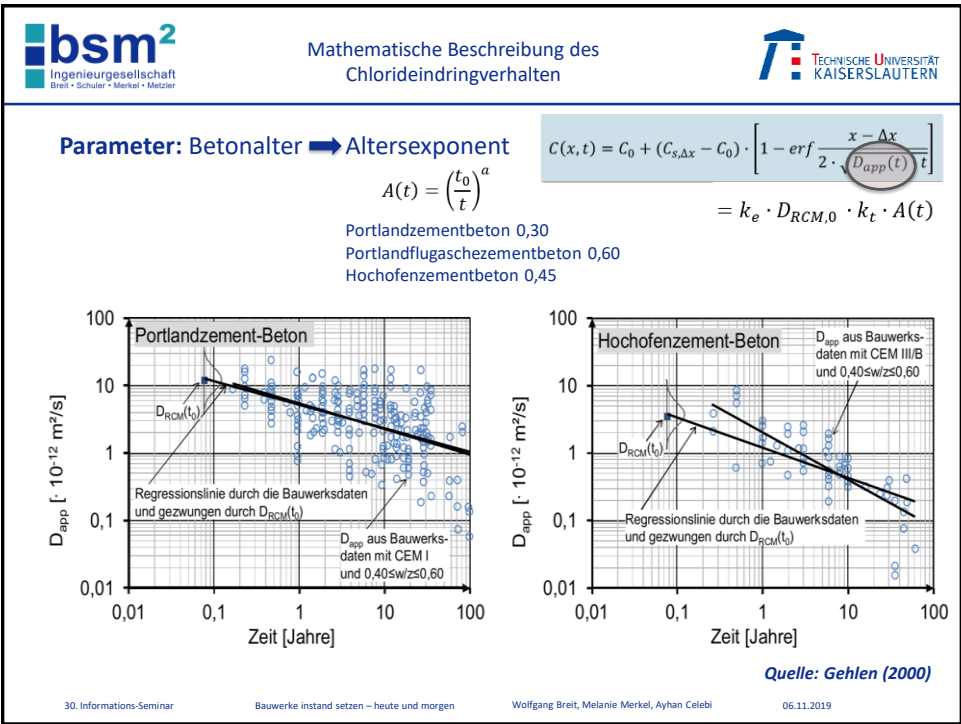
Bauwerke instand setzen – heute und morgen

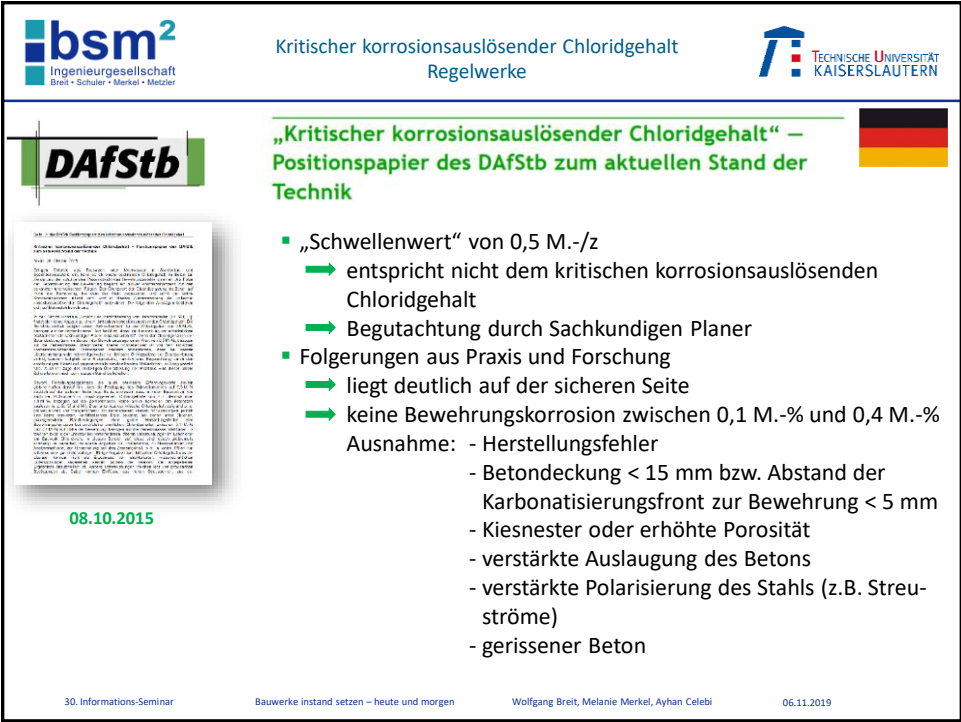
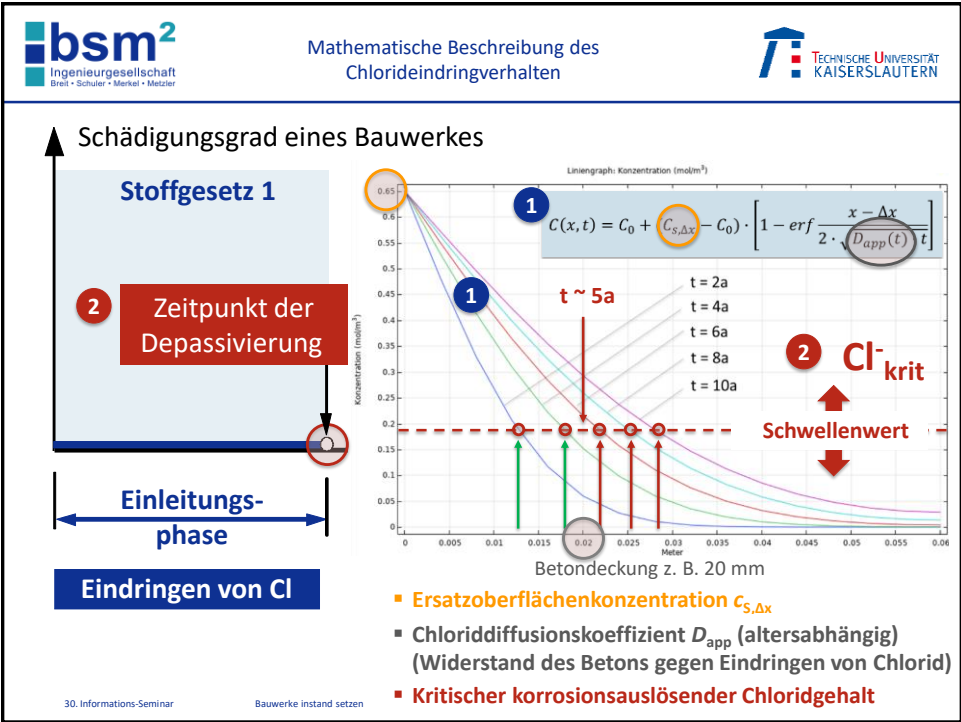
Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019

30. Informations-Seminar der LGGHuT, Bad Nauheim, 06.11.2019









Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt
Regelwerke





2003-12

ÖVBB-Richtlinie „Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton“ (Ausgabe Dezember 2003)

Bei Chlorgehalten im Beton (an der Bewehrungs Oberfläche)

$Cl < 0,6 \text{ M.-%/z}$	... und an der Bewehrung keine Korrosion aufgetreten ist, sind Instandsetzungsmaßnahmen nicht erforderlich.
$0,6 < Cl < 1,0 \text{ M.-%/z}$	... ohne Korrosionsschäden, ist der chloridhaltige Bereich in regelmäßigen Abständen (1 bis 3 Jahre) zu prüfen.
$Cl > 1,0 \text{ M.-%/z}$	... darf die Instandsetzung nur bei verstärkten Kontrollen (min. jährlich) so lange aufgeschoben werden, bis erste Korrosionserscheinungen auftreten.
$Cl > 0,2 \text{ M.-%/z}$	... bei Karbonatisierung bis zur Bewehrung sind Instandsetzungsmaßnahmen vorzusehen.

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019



Abschätzung der Restnutzungsdauer bei
Chloridbeaufschlagung





Entwurf 2018/06

DAfStb-Richtlinie

Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie)

Teil 5
Vorbemerkung

In diesem Teil der Instandhaltungs-Richtlinie werden semiprobabilistische leistungsbezogene Nachweisverfahren dargestellt, die allen am Baugeschehen Beteiligten ein transparentes Umgehen mit der Bemessung und Bewertung der Dauerhaftigkeit hinsichtlich carbonatisierungs- und **chloridinduzierter** Betonstahlkorrosion ermöglichen.



Quelle: www.netzathleten.de



30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019

30. Informations-Seminar der LGGHuT, Bad Nauheim, 06.11.2019



Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Abschätzung der Restnutzungsdauer bei
Chloridbeaufschlagung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN



DAfStb

DAfStb-Richtlinie

Instandhaltung von Betonbauteilen
(Instandhaltungs-Richtlinie)



Entwurf 2018/06

➡ Vereinfachten Nachweis für die
Abschätzung der Restnutzungsdauer
bestehender Bauteile (ohne
Instandsetzung)

➡ Vereinfachten Nachweis für die
Bemessung von Instandsetzungs-
maßnahmen mittels Betonersatz
in Abhängigkeit von der geplanten
Nutzungsdauer

➡ Nachweise mit Hilfe von Nomogrammen



Quelle: www.netzathleten.de



30. Informations-Seminar Bauwerke instand setzen – heute und morgen Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi 06.11.2019



Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

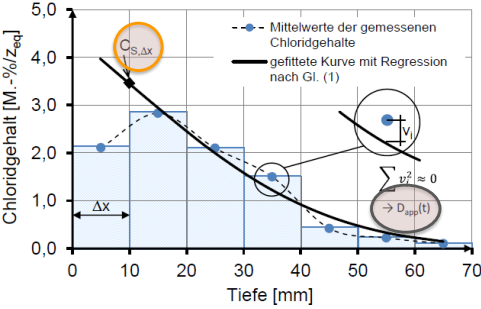
Abschätzung der Restnutzungsdauer bei
Chloridbeaufschlagung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Bestandsbauten

- Ermittlung von $C_{s,\Delta x,insp}$ und $D_{app}(t_{insp})$



Chloridgehalt [M.-%/z_{eq}]

Tiefe [mm]

Legend:
- - • - Mittelwerte der gemessenen Chloridgehalte
— gefittete Kurve mit Regression nach Gl. (1)

Annotations:
- $C_{s,\Delta x}$ (circled)
- Δx (indicated)
- $\sum w_i^2 \approx 0$ (circled)
- $\rightarrow D_{app}(t)$ (circled)



- Messwerte innerhalb Δx nicht zulässig bei XD3/XS3
- Messtiefenbereich zwischen 5 und 20 mm, vorzugsweise 10 mm
- Mindestens 3 Messwerte aus unterschiedlichen Tiefen
- Innerhalb der Betondeckung in mindestens 3 Messwerte aus unterschiedlichen Tiefen

30. Informations-Seminar Bauwerke instand setzen – heute und morgen Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi 06.11.2019

30. Informations-Seminar der LGGHuT, Bad Nauheim, 06.11.2019

Quelle: DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie,
Entwurf 2018-06



bsm²

Ingenieurgesellschaft

Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Abschätzung der Restnutzungsdauer bei
Chloridbeaufschlagung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Bestandsbauten - Beispiel

Bauteiltyp und -ort	Meerwasserbauwerk XS3
Betonzusammensetzung	CEM III/A
Bauteilalter zum Inspektionszeitpunkt	20 Jahre
Betondeckung	c _{nom} = 60 mm, Δc = 10 mm, (c _{min} = 50 mm)
Zielzuverlässigkeit	β ₀ = 1,5

➡ D_{app}(t_{insp,1}) = 0,105·10⁻¹² m²/s

➡ C_{s,Δx,insp,1} = 3,59 M.-%/z_{eq}

➡ α_{app} = 0,40 (aus Tabelle für CEM III/A)

➡ D_{app}(t₀) = 1,74·10⁻¹² m²/s

➡ Aus Nomogramm

t_{SL} = 50 Jahre c_{min} = 50,6 mm

t_{SL} = 40 Jahre c_{min} = 47,7 mm

Interpoliert

c_{min} = 50 mm t_{SL} = 48 Jahre

Restnutzungsdauer (48-20) = 28 Jahre

Quelle: DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie, Entwurf 2018-06

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019

bsm²

Ingenieurgesellschaft

Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Abschätzung der Restnutzungsdauer bei
Chloridbeaufschlagung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Bestandsbauten - Beispiel

Bauteiltyp und -ort	Meerwasserbauwerk XS3
Betonzusammensetzung	unbekannt
Bauteilalter zum Inspektionszeitpunkt	15 und 35 Jahre
Betondeckung	c _{nom} = 60 mm, Δc = 10 mm, (c _{min} = 50 mm)
Zielzuverlässigkeit	β ₀ = 1,5

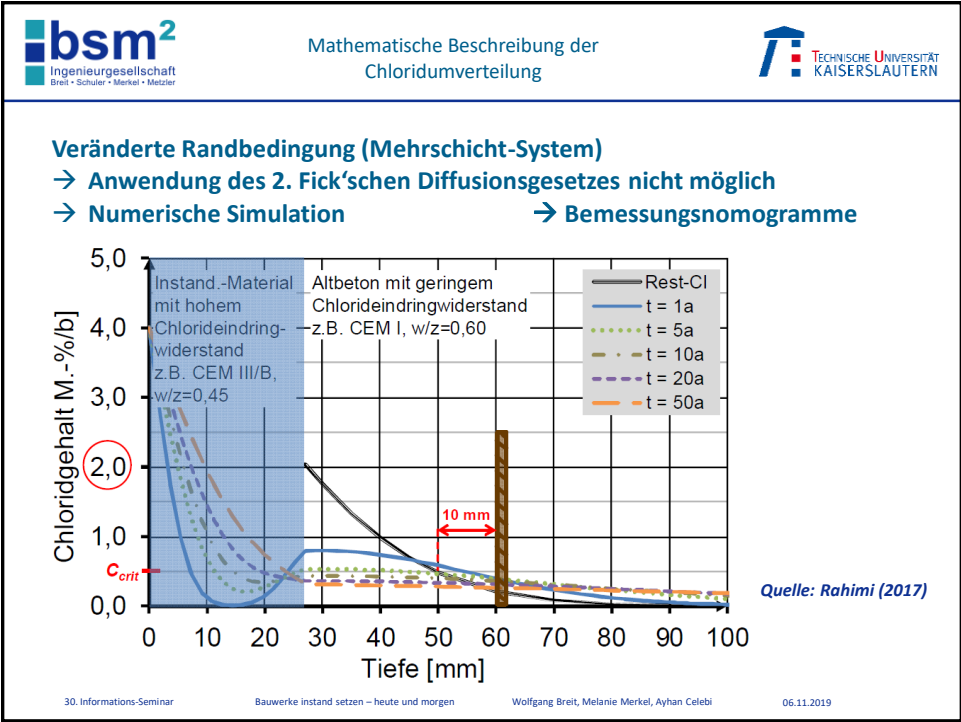
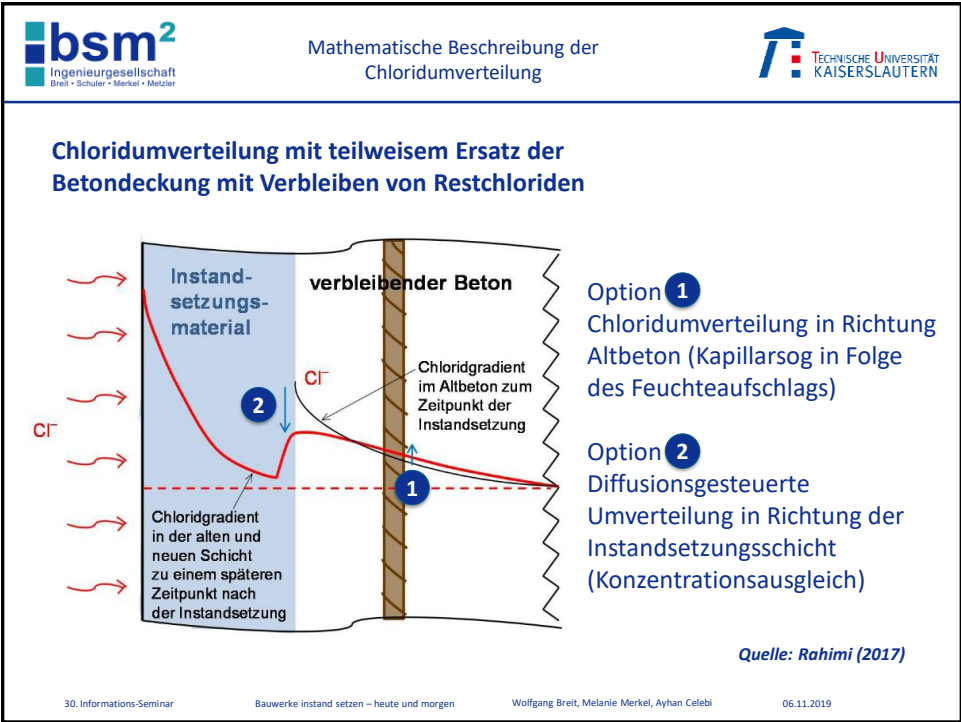
	15 Jahre	35 Jahre
D _{app} (t _{insp})	0,089·10 ⁻¹² m ² /s	0,054·10 ⁻¹² m ² /s
C _{s,Δx,insp}	3,83 M.-%/z _{eq}	4,28 M.-%/z _{eq}
α _{app}	0,59	
D _{app} (t ₀)	3,57·10 ⁻¹² m ² /s	
Nomogramm	t _{SL} = 100 Jahre t _{SL} = 70 Jahre	c _{min} = 53,6 mm c _{min} = 49,8 mm

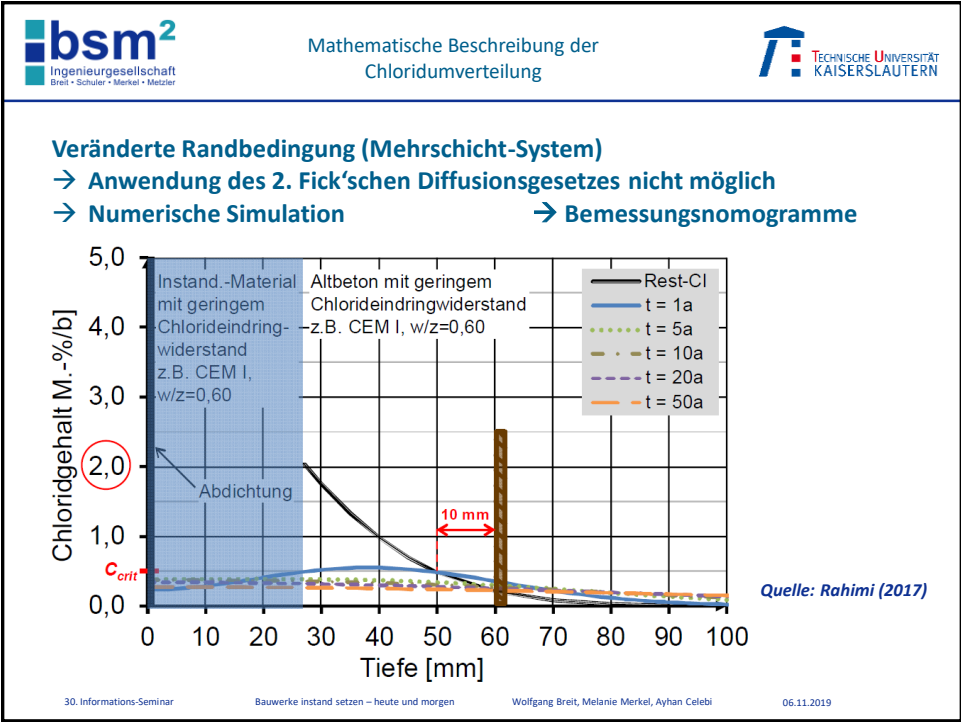
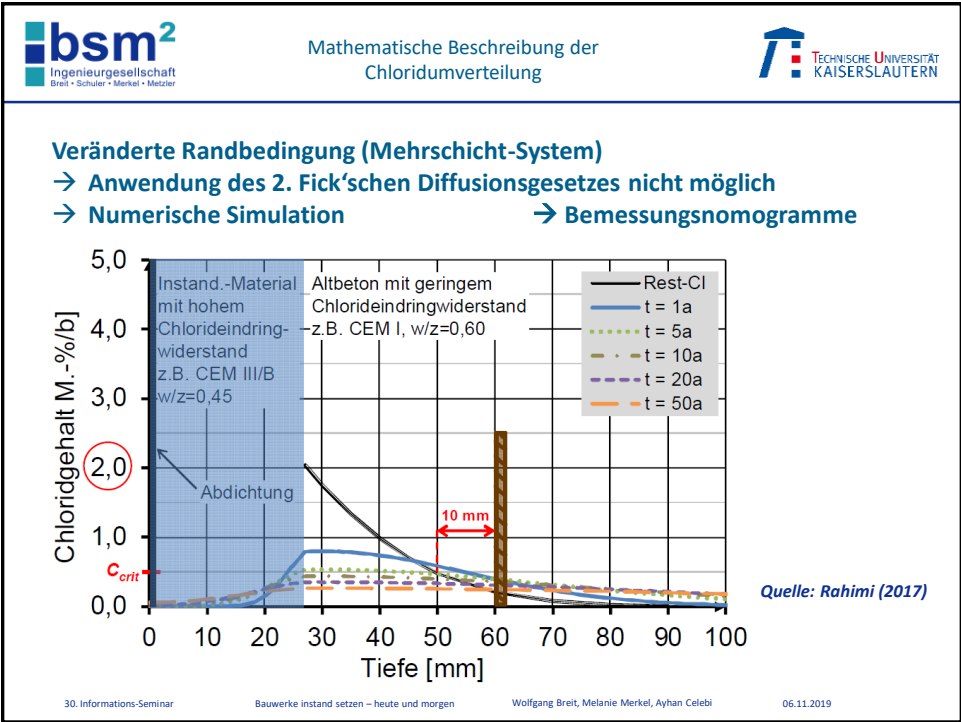
➡ t_{SL} = 71 Jahre

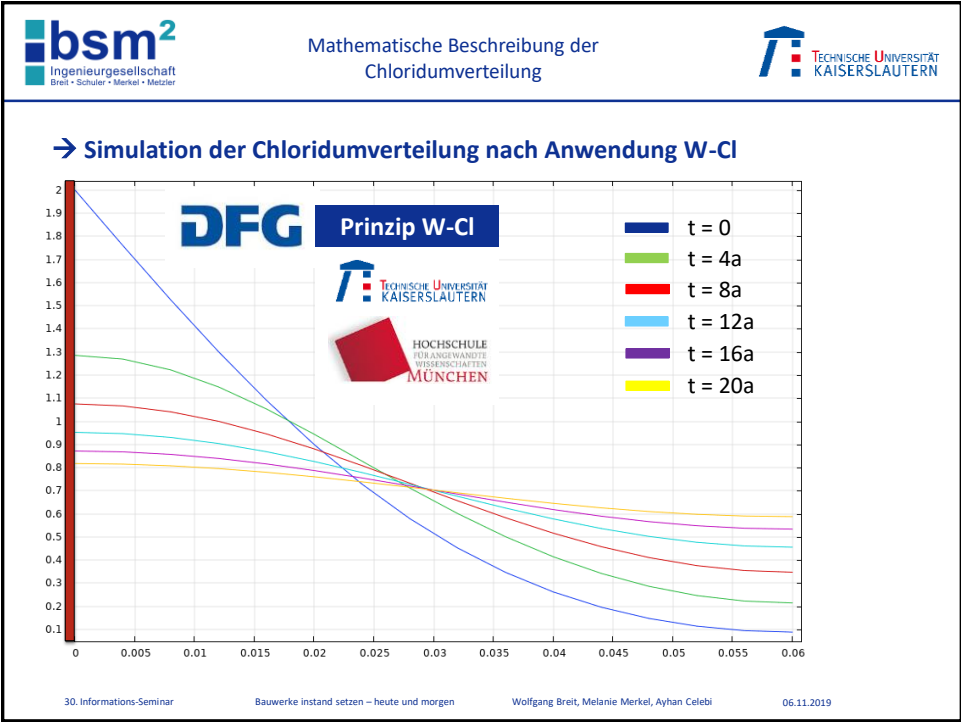
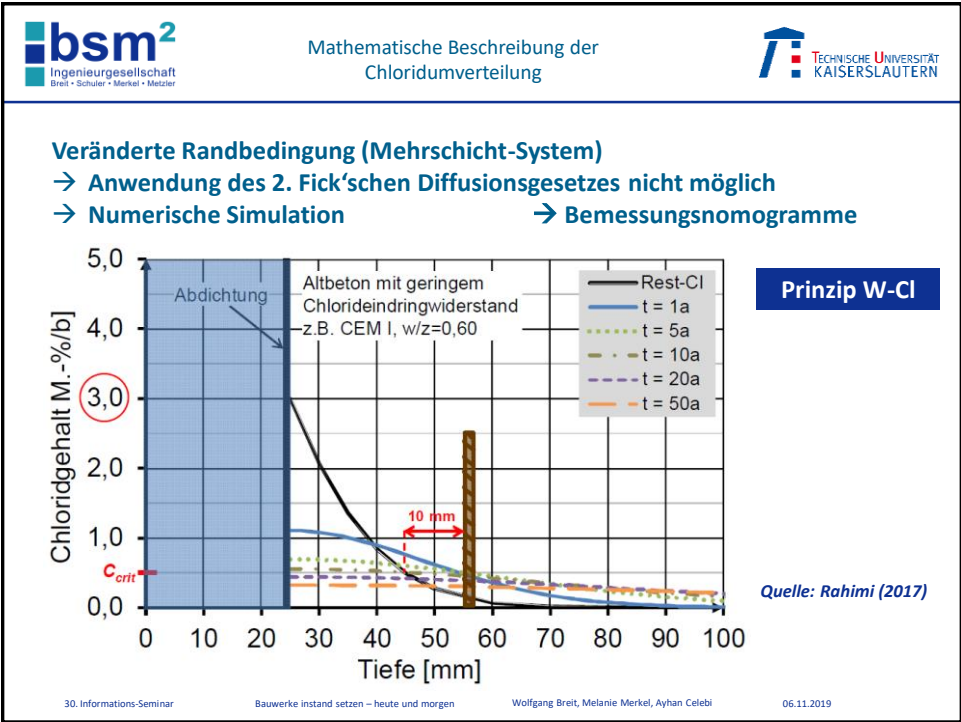
Restnutzungsdauer (71-35) = 36 Jahre

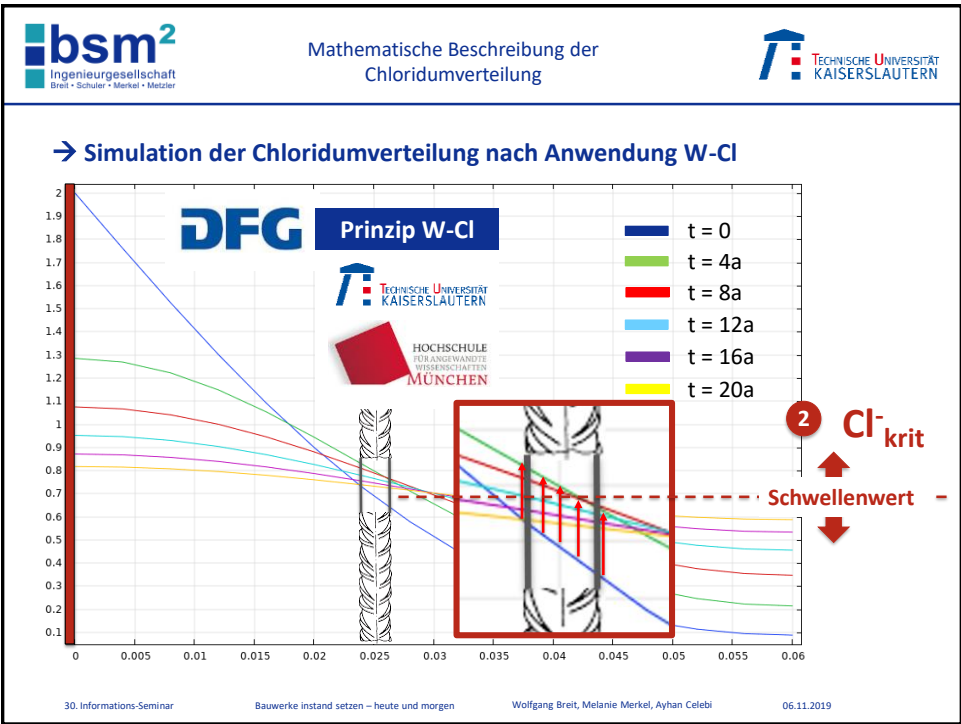
30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen











bsm²
Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Abschätzung der Restnutzungsdauer



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN



DAfStb



Entwurf 2018/06

DAfStb-Richtlinie

Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie)

Teil 5
Vorbemerkung

In diesem Teil der Instandhaltungs-Richtlinie werden semiprobabilistische leistungsbezogene Nachweisverfahren dargestellt, die allen am Baugeschehen Beteiligten ein transparentes Umgehen mit der Bemessung und Bewertung der Dauerhaftigkeit hinsichtlich **carbonatisierungs-** und chloridinduzierter Betonstahlkorrosion ermöglichen.





30. Informations-Seminar Bauwerke instand setzen – heute und morgen Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi 06.11.2019



bsm²
Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Carbonatisierung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Vereinfachtes Verfahren für die Prognose – Wurzel-Zeit-Gesetz

$$x_{c,d}(t) = \gamma_f \cdot k \cdot W \cdot \sqrt{t}$$

mit:

$x_{c,d}(t)$

Bemessungswert der Carbonatisierungstiefe [mm] zum Zeitpunkt t [Jahr]

γ_f

Beiwert zur Sicherstellung der Zielzuverlässigkeit [-] nach **Greve-Dierfeld (2015)**
 $\gamma_f = 1,25$ für XC1 (ständig nass), XC2 und XC4 ($\beta_0 = 1,5$)
 $\gamma_f = 0,70$ für XC3 ($\beta_0 = 0,5$)

k

Faktor zur Berücksichtigung der Einflüsse aus der **Materialzusammensetzung**, der **Ausführungsart** und **-qualität** und der **Einwirkungsintensität** auf den Carbonatisierungsfortschritt des Betons [mm/Jahr^{0,5}]

W

Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses aus den **meso-klimatischen Feuchtebedingungen** am Bauteil auf den Carbonatisierungsfortschritt des Betons [-]

Quelle: DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie, Entwurf, Teil 5

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019



bsm²
Ingenieurgesellschaft
Breit • Schuler • Merkel • Metzler

Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Carbonatisierung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Vereinfachtes Verfahren für die Prognose – Wurzel-Zeit-Gesetz

$$x_{c,d}(t) = \gamma_f \cdot k \cdot W \cdot \sqrt{t}$$

mit:

$x_{c,d}(t)$

Bemessungswert der Carbonatisierungstiefe [mm] zum Zeitpunkt t [Jahr]

γ_f

Beiwert zur Sicherstellung der Zielzuverlässigkeit [-] [15]
 $\gamma_f = 1,25$ für XC1 (ständig nass), XC2 und XC4 ($\beta_0 = 1,5$)
 $\gamma_f = 0,70$ für XC3 ($\beta_0 = 0,5$)

k

Faktor zur Berücksichtigung der Einflüsse aus der Materialzusammensetzung, der Ausführungsart und -qualität und der Einwirkungsintensität auf den Carbonatisierungsfortschritt des Betons [mm/Jahr^{0,5}]

W

Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses aus den meso-klimatischen Feuchtebedingungen am Bauteil auf den Carbonatisierungsfortschritt des Betons [-]

Bestandsbauwerke?

Abschätzung nicht möglich



30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019



Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Carbonatisierung







Mittlere Carbonatisierungstiefe
Höhe 30 cm: $x_c = 20 \text{ mm}$

Bauteillage?

- Spritzwasserbereich
- Pfützenbildung
- Saugverhalten Beton
- relative Luftfeuchte
- Beschichtung/ Anstrich
- etc.



Mittlere Carbonatisierungstiefe
Stützenfuß: $x_c = 0 \text{ mm}$



30. Informations-Seminar
Bauwerke instand setzen – heute und morgen
Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi
06.11.2019



Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Carbonatisierung



Bestimmung der Carbonatisierungsrate

$$k_d = \gamma_f \cdot k \cdot W = \gamma_f \cdot \frac{x_c(t_{\text{insp}})}{\sqrt{t_{\text{insp}}}}$$

mit:

k_d Bemessungswert der Carbonatisierungsrate [mm/Jahr^{0,5}]

$x_c(t_{\text{insp}})$ mittlere Carbonatisierungstiefe [mm] zum Untersuchungs- bzw. Inspektionszeitpunkt t_{insp} [Jahr]

Bestimmung der Mindestbetondeckung

- Mindestbetondeckung $c_{\text{min, insp}}$
(5 % Quantil der am Bauwerk gemessenen Betondeckung)

Bestandsbauwerke
Ist-Zustandserfassung





30. Informations-Seminar
Bauwerke instand setzen – heute und morgen



Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Carbonatisierung



Bestimmung der Carbonatisierungsrate

$$k_d = \gamma_f \cdot k \cdot W = \gamma_f \cdot \frac{x_c(t_{\text{insp}})}{\sqrt{t_{\text{insp}}}}$$

γ_f Beiwert zur Sicherstellung der Zielzuverlässigkeit [-] [15]
 $\gamma_f = 1,25$ für XC1 (ständig nass), XC2 und XC4 ($\beta_0 = 1,5$)
 $\gamma_f = 0,70$ für XC3 ($\beta_0 = 0,5$)

$t_{\text{insp}} = 15$ Jahre (Alter zum Untersuchungszeitpunkt)
 $x_c(t_{\text{insp}}) = 20$ mm (mittlere Carbonatisierungstiefe zum Untersuchungszeitpunkt)
 $c_{\text{min}} = 25$ mm (5 % Quantil der am Bauwerk gemessenen Betondeckung)

➔

$$k_d = 0,70 \cdot \frac{20}{\sqrt{15}} = 3,6 \left[\frac{\text{mm}}{\text{Jahr}^{0,5}} \right]$$

Beispiel: Deckenfläche Parkhaus
Expositionsklasse XC3

30. Informations-Seminar
Bauwerke instand setzen – heute und morgen
Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi
06.11.2019



Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Carbonatisierung



Bestimmung der Restnutzungsdauer

$$x_{c,d}(t) = \underbrace{\gamma_f \cdot k \cdot W}_{k_d} \cdot \sqrt{t}$$

↙

Mindestbetondeckung
als 5 % Quantilwert

$x_{c,d}(t) = 25$ mm

↘

Gesamtzeit
→ Restnutzungsdauer

$t_{\text{gesamt}} = 48$ Jahre
Restnutzungsdauer:
48–15 = 33 Jahre

Beispiel: Deckenfläche Parkhaus
Expositionsklasse XC3

30. Informations-Seminar
Bauwerke instand setzen – heute und morgen
Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi
06.11.2019



Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Karbonatisierung

Interpretation der Berechnungsergebnisse

- ? Wann erreicht die Carbonatisierungsfront die Bewehrung?
- ? Ist mit einer Depassivierung der Bewehrung während des Nutzungszeitraums zu rechnen?
- ? Sind Instandsetzungsmaßnahmen (überhaupt) für den festgelegten Nutzungszeitraum erforderlich?

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

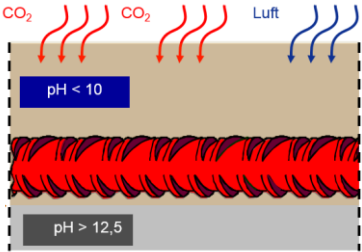
06.11.2019



Abschätzung der Restnutzungsdauer bei Carbonatisierung

Interpretation der Berechnungsergebnisse

- ➔ Bei der Carbonatisierung existiert grundsätzlich kein festzulegender Grenzwert ab dem möglicherweise mit Korrosion zu rechnen ist.
- ➔ Zur Abschätzung der Restnutzungsdauer soll der Bemessungswert der Carbonatisierungstiefe $x_{c,d}(t)$ kleiner sein als die ermittelte Mindestbetondeckung c_{min} .



Verlust der Passivoxidschicht
depassiviert = korrosionsbereit

$x_{c,d}(t) < c_{min}$

30. Informations-Seminar

Bauwerke instand setzen – heute und morgen

Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi

06.11.2019





**Danke für die Aufmerksamkeit
und allzeit gute Fahrt ohne
besondere Ereignisse ;-)**

Quelle: www.strux.eu/reifenschutzbrief/



bsm² GmbH
Schumannstraße 1
67655 Kaiserslautern
T +49 631 31190 249
F +49 631 31172 221
info@bsmm-kl.de
www.bsmm-kl.de



Technische Universität Kaiserslautern
Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen
Gottlieb-Daimler-Str.
Gebäude 60
67663 Kaiserslautern

30. Informations-Seminar Bauwerke instand setzen – heute und morgen Wolfgang Breit, Melanie Merkel, Ayhan Celebi 06.11.2019