

## Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken nach dem System der Widerstandsklassen

Die ERC-Richtlinie des DAfStb

10. Jahrestagung, 62. Forschungskolloquium

# Agenda



1. Ausgangslage
2. Definition XRC-Klasse
3. Umsetzung der ERC-Richtlinie im neuen deutschen Normenpaket
4. Wesentliche Punkte der ERC-Richtlinie (Entwurf)
5. Beispiel CO<sub>2</sub>-Einsparung
6. Zusammenfassung

# Ausgangslage



- **Bundesklimaschutzgesetz 2019:** Schrittweise, sektorenbezogene Minderung der Treibhausgasemissionen.
- **Minderungsziel Industrie:** von 186 Mio.t in 2020 auf 119 Mio.t in 2030 (-36 %)
- **Ziel DAfStb:** Erreichen der Klimaneutralität bis spätestens 2045
- **Maßnahmen** (Meilensteinplanung): Konkrete Normen- und Richtlinienprojekte (22 Projekte, davon bereits 7 Projekte umgesetzt)
- Projekt 6: Richtlinie Dauerhaftigkeit nach dem System der Widerstandsklassen (ERC-Richtlinie)



# Ausgangslage – Aktuelle Regelungen zur Dauerhaftigkeit

## **Deskriptiver Ansatz:**

### Einwirkungsseite

- Festlegung einer Expositionsklasse in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen.

### Widerstandsseite

- Festlegung der Betondeckung in Abhängigkeit der Expositionsklasse → Erfahrungswerte
- Festlegung der Betonzusammensetzung (Zementart, Wasserzementwert, Mindestdruckfestigkeitsklasse und Mindestzementgehalt) in Abhängigkeit der Expositionsklasse → Erfahrungswerte

# Ausgangslage – Aktuelle Regelungen zur Dauerhaftigkeit



## Deskriptiver Ansatz:

### Einwirkungsseite

- Festlegung einer Expositionsklasse in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen.

### Widerstandsseite

- Festlegung der Betondeckung in Abhängigkeit der Expositionsklasse → Erfahrungswerte
- Festlegung der Betonzusammensetzung (Zementart, Wasserzementwert, Mindestdruckfestigkeitsklasse und Mindestzementgehalt) in Abhängigkeit der Expositionsklasse → Erfahrungswerte

## Nachteile des deskriptiven Ansatzes

- keine Berücksichtigung der dauerhaftigkeitsrelevanten Bindemiteleigenschaften, d.h., Potential wird nicht ausgeschöpft.
- Verfügbarkeit von Betonausgangsstoffen in den bisherigen Mengen nicht gesichert (Flugasche, Hüttensand etc.)
- keine Entwicklung von Betonrezepturen mit möglichst geringem *CO<sub>2</sub>-Rucksack* möglich.

# Ausgangslage – Zukünftige Regelungen zur Dauerhaftigkeit



## Ansatz der Leistungsfähigkeit/Performance

- Grundlagen der performanceorientierten Dauerhaftigkeitsbemessung liegen vor und werden seit über 20 Jahre angewandt.
- Prinzip: Ermittlung des Materialwiderstands am Beton, Zuordnung des Betons in eine „Widerstandsklasse“ (siehe Betondruckfestigkeit, Festigkeitsklasse).
- Festlegung der Betondeckung in Abhängigkeit der Widerstandsklasse.

## Vorteile

Betone können durch die Berücksichtigung des Materialwiderstands gezielt an die Aufgabenstellung angepasst werden.

→ Entwicklung von Betonrezepturen mit

- möglichst geringem *CO<sub>2</sub>-Rucksack*
- mit möglichst niedrigen Betondeckungen
- langen / kurzen Nachbehandlungsdauern
- Einfachere Verwendung neuer Ausgangsstoffe
- etc.

# Agenda



1. Ausgangslage
2. Definition XRC-Klasse
3. Umsetzung der ERC-Richtlinie im neuen deutschen Normenpaket
4. Wesentliche Punkte der ERC-Richtlinie (Entwurf)
5. Beispiel CO<sub>2</sub>-Einsparung
6. Zusammenfassung

# Umsetzung in Europa (E DIN 1992-1-1:2021-10)



Tab. 1: Mindestbetondeckung  $c_{min,dur}$  für Betonstahl in mm - Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung (Quelle: E DIN EN 1992-1-1:2021-10, [1])

Expositions- widerstands- klasse	Expositionsklasse (Karbonatisierung)							
	XC1		XC2		XC3		XC4	
	Geplante Nutzungsdauer (Jahre)							
	50	100	50	100	50	100	50	100
XRC 0,5	10	10	10	10	10	10	10	10
XRC 1	10	10	10	10	10	15	10	15
XRC 2	10	15	10	15	15	25	15	25
XRC 3	10	15	15	20	20	30	20	30
XRC 4	10	20	15	25	25	35	25	40
XRC 5	15	25	20	30	25	45	30	45
XRC 6	15	25	25	35	35	55	40	55
XRC 7	15	30	25	40	40	60	45	60

- System der Expositionswiderstandsklassen (**Exposure Resistance Classes**) für Bewehrungskorrosion durch Carbonatisierung und Chloride
- Verknüpfung der ERC mit den bekannten Expositionsclassen (XC1 bis XC4 bzw. XD/XS1 bis XD/XS3 und entsprechende Anforderungen an die Mindestbetondeckungen

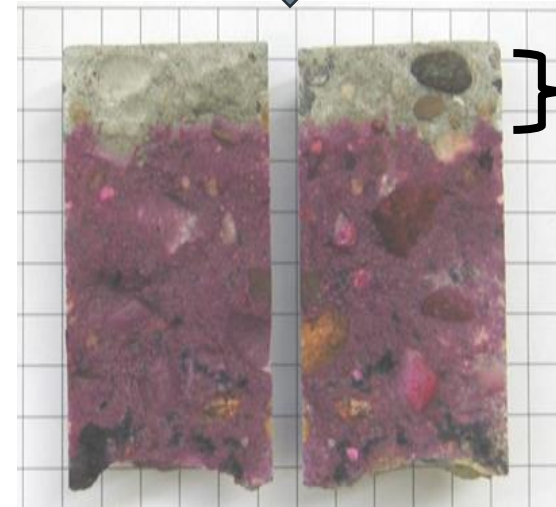


# Definition XRC und Beispiel

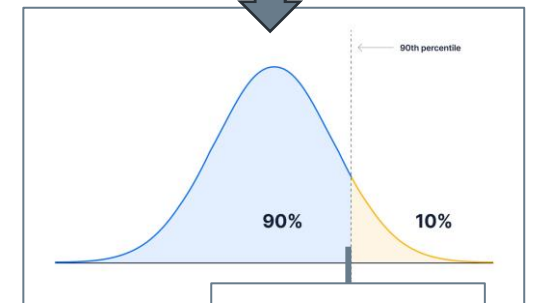
## Definition

- Die Bezeichnung der **Widerstandsklasse** für die durch Karbonatisierung induzierte Korrosion von Betonstahl (**XRC**) wird aus der **Karbonatisierungstiefe in mm** als charakteristischer Wert (90 % Quantil) abgeleitet, die sich nach 50 Jahren unter folgenden **Referenzbedingungen** ergibt: konstante **CO<sub>2</sub>-Konzentration von 400 ppm** (0,04 Vol.-%), konstante **relative Luftfeuchte von 65 %** bei einer **konstanten Temperatur von 20 °C**. **XRC** hat die **Dimension einer Karbonatisierungsrate mm/√(Jahr)**

Carbonatisierung unter Laborbedingungen (CO<sub>2</sub>-Konz., RH, Temp) für 50 Jahre



Carbonatisierungstiefe  $x_c$  [mm]



$x_{c,90\%}$ -Quantil

Berechnung Carbonatisierungsrate  $k_{NAC}$  [mm/√(Jahr)]



# Definition XRC und Beispiel



- **Beispiel XRC 4 (Zusammenhang zwischen Klasse und Mindestbetondeckung)**
  - Klassenbezeichnung **entspricht einer Karbonatisierungsrate von  $k_{NAC} = 4 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$**
  - Karbonatisierungstiefe (90 % Quantil) nach 50 Jahren  
→  $x_c = 4 \cdot \sqrt{50} = 28 \text{ mm}$
  - Die genannten Referenzbedingungen stimmen **am Ehesten** mit Bauteilen in der **Expositionsklasse XC3** überein (**Mindestbetondeckung von 25 mm** nach Tabelle 1)
  - Karbonatisierungsraten von  $0,5 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$  bis  $7 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$   
→ auf- und abgerundet für 50 a:  $c_{\text{min,dur}} = 10$  bis  $45 \text{ mm}$  (vergleichbar zu DIN EN 1992-1-1:2004)

Expositions- widerstands- klasse	Expositionsklasse (Karbonatisierung)					
	XC1		XC2		XC3	
	Geplante Nutzungsdauer (Jahre)					
	50	100	50	100	50	100
XRC 0,5	10	10	10	10	10	10
XRC 1	10	10	10	10	10	15
XRC 2	10	15	10	15	15	25
XRC 3	10	15	15	20	20	30
<b>XRC 4</b>	10	20	15	25	<b>25</b>	35
XRC 5	15	25	20	30	25	45
XRC 6	15	25	25	35	35	55
XRC 7	15	30	25	40	40	60

# Agenda



1. Ausgangslage
2. Definition XRC-Klasse
3. Umsetzung der ERC-Richtlinie im neuen deutschen Normenpaket
4. Wesentliche Punkte der ERC-Richtlinie (Entwurf)
5. Beispiel CO<sub>2</sub>-Einsparung
6. Zusammenfassung

# Erstellung der ERC-Richtlinie

- Erstellung der ERC-Richtlinie im Unterausschuss Dauerhaftigkeit
- Einberufung einer Task Force zur Erstellung eines Konzeptes (Prof. Breitenbücher, Prof. Wiens, Dr. Schießl-Pecka)
- Fertigstellung und Verabschiedung Konzept im Dezember 2022 (Zustimmung durch alle Mitglieder des UA, Konsensprinzip DAFStb)
- Aktuell Erarbeitung der ERC-Richtlinie (Teil 0 und 1 fertig, Teil 2 in Bearbeitung)
- Geplante Fertigstellung Gelbdruck: 1. Quartal 2024



## DAFStb-Richtlinie

### Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken nach dem System der Expositionswiderstandsklassen (ERC-Richtlinie)

Entwurf 18.07.2023 (bereinigte Fassung zu Dokument D246)

Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA und zu der Normenreihe DIN 1045

Teil 0: Anwendungsbereich, normative Verweisungen, Begriffe und Definitionen

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

Teil 3: Ausführung

Bearbeiter: UA Dauerhaftigkeit

Notifiziert gemäß der Richtlinie (EU) 2015/1535 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. September 2015 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 241 vom 17.9.2015, S. 1).

Bezüglich der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unterlagen und technischen Anforderungen, die sich auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch Produkte bzw. Prüfverfahren angewandt werden dürfen, die Normen oder sonstigen Bestimmungen und/oder technischen Vorschriften anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, entsprechen, sofern das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

Herausgeber:  
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAFStb  
Budapester Straße 31  
D-10787 Berlin  
Telefon: 030 2693-1320  
info@dafstb.de

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAFStb) beansprucht alle Rechte, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen. Ohne ausdrückliche Genehmigung des DAFStb ist es nicht gestattet, diese Veröffentlichung oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege oder auf andere Art zu vervielfältigen.

Verkauf durch den Beuth Verlag GmbH, Berlin, Vertriebs-Nummer 65XX

# Das zukünftige Normenpaket der DIN 1045



DIN 1045-1000 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton –  
Teil 1000: BetonBauQualität

DIN 1045-1 „Tragwerke  
aus Beton aus Beton,  
Stahlbeton und  
Spannbeton – Teil 1:  
Bemessung und  
Konstruktion

DIN 1045-2 „Tragwerke  
aus Beton aus Beton,  
Stahlbeton und  
Spannbeton – Teil 2:  
Beton

DIN 1045-3 „Tragwerke  
aus Beton aus Beton,  
Stahlbeton und  
Spannbeton – Teil 3:  
Bauausführung

DIN 1045-4(40,41)  
„Tragwerke aus Beton  
aus Beton, Stahl- und  
Spannbeton. – Teil 4,  
Teil 40, Teil 41:  
Betonfertigteile

- Aktueller Stand: als Weißdruck mit Ausgabe August 2023 beim Beuth-Verlag veröffentlicht
- Bauaufsichtliche Einführung frühestens Ende 2024/Anfang 2025

# Einbettung der ERC-Richtlinie in den nationalen Normenkontext



DIN 1045-1000 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton –  
Teil 1000: BetonBauQualität

DIN 1045-1 „Tragwerke  
aus Beton aus Beton,  
Stahlbeton und  
Spannbeton – Teil 1:  
Bemessung und  
Konstruktion

DIN 1045-2 „Tragwerke  
aus Beton aus Beton,  
Stahlbeton und  
Spannbeton – Teil 2:  
Beton

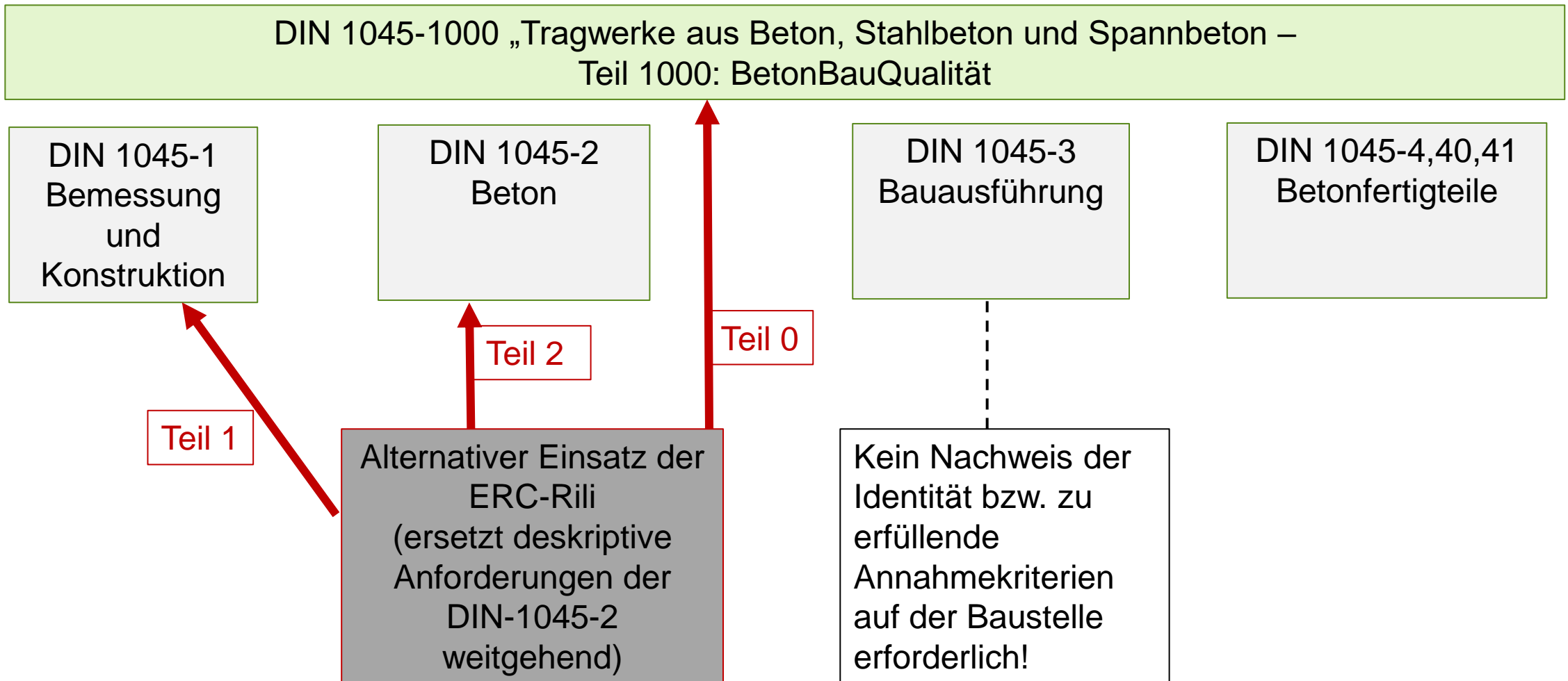
**Oder (!)**

Alternativer Einsatz der  
ERC-Rili  
(ersetzt deskriptive  
Anforderungen der  
DIN-1045-2  
weitgehend)

DIN 1045-3 „Tragwerke  
aus Beton aus Beton,  
Stahlbeton und  
Spannbeton – Teil 3:  
Bauausführung

DIN 1045-4(40,41)  
„Tragwerke aus Beton  
aus Beton, Stahl- und  
Spannbeton. – Teil 4,  
Teil 40, Teil 41:  
Betonfertigteile

# Einbettung der ERC-Richtlinie in den nationalen Normenkontext



# Agenda



1. Ausgangslage
2. Definition XRC-Klasse
3. Umsetzung der ERC-Richtlinie im neuen deutschen Normenpaket
4. Wesentliche Punkte der ERC-Richtlinie (Entwurf)
5. Beispiel CO<sub>2</sub>-Einsparung
6. Zusammenfassung



# Wesentliche Punkte der ERC-Rili bzw. des Konzeptes



- **Hinweis:**

Es handelt sich um den aktuellen Arbeitsstand und nicht um die endgültige Fassung der ERC-Richtlinie

# Wesentliche Punkte der ERC-Rili bzw. des Konzeptes



- Expositionsklassen XC1 bis XC 4, XD1/XS1, XF1, XA1 → rd. 80% des deutschen Betonmarkts
- Anbindung an das BBQ-Konzept  
PK-E, BK-E und AK-E → BBQ-E (Bauwerke mit erhöhte Anforderungen)
- Durchführung von Performanceprüfungen für XC2-XC4, XD1/XS1
- XC 1: keine Performanceprüfung erforderlich, aber Druckfestigkeit  $\geq$  C16/20 und  $c_{min} \geq 10$  mm
- XF1: Druckfestigkeit  $\geq$  C20/25, XA1: deskriptive Anforderungen aus DIN 1045-2 gelten weiter
- Alle Druckfestigkeitsklassen sind zulässig
- Alle Konsistenzklassen sind zulässig (F1 bis F6)
- Zementarten nach DIN 1045-2 (neu) und mit AbZ (Verwendungsbereich DIN 1045-2)
- Zusatzstoffe nach DIN 1045-2 (neu) und mit AbZ (Verwendungsbereich DIN 1045-2)
- Gesteinskörnungen nach DIN 1045-2 (neu), Abschnitt 5.1.3
- k-Wert-Ansätze sind nicht anzuwenden (auch Schlitzwände und Bohrpfähle)
- Mindestklinkermenge 70 kg PZ-Klinker/m<sup>3</sup> Beton (Alkalitätskriterium)

# Wesentliche Punkte der ERC-Rili bzw. des Konzeptes



## Einordnung der Betone in eine XRC-Klasse bzw. XRDS-Klasse (Auszug Entw. ERC-Rili)

### 4.3.4 Expositionswiderstandsklassen

(1) Sofern Beton hinsichtlich seines Widerstandes gegen Bewehrungskorrosion in Expositionswiderstandsklassen eingeteilt wird, gelten Tabellen R2 und R3.

**Tabelle R2 — Expositionswiderstandsklassen für Karbonatisierung**

Expositionswiderstandsklassen	XRC 5	XRC 7	XRC 9
<b>Mittlere Karbonatisierungsgeschwindigkeit <math>k_{\text{NACm},140 \text{ Tage}}</math>, bestimmt nach BAW MB MDCC, Anlage A in Verbindung mit DIN EN 12390-10:2019-08</b>	$\leq 4,5$	$> 4,5$ und $\leq 7,2$	$> 7,2$ und $\leq 9,0$
(mm/ $\sqrt{a}$ )			

**Tabelle R3 — Expositionswiderstandsklassen für Chloridmigration**

Expositionswiderstandsklassen	XRDS 2	XRDS 5	XRDS 10
<b>Mittlerer Migrationskoeffizient <math>D_{\text{RCMm},28 \text{ Tage}}</math>, bestimmt nach DIN EN 12390-18</b>	$\leq 7,3$	$> 7,3$ und $\leq 14,4$	$> 14,4$ und $\leq 29,4$
( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )			

# Wesentliche Punkte der ERC-Rili bzw. des Konzeptes



## Mindestbetondeckungen in Abhängigkeit der Nachbehandlungsklasse

Exkurs Nachbehandlungsklasse (DIN 1045-3:2023-08)

**Tabelle 5 — Nachbehandlungsklassen von DIN EN 13670 und Zuordnung zu Expositionsklassen nach DIN 1045-2**

	Nachbehandlungs- klasse 1	Nachbehandlungs- klasse 2	Nachbehandlungs- klasse 3	Nachbehandlungs- klasse 4
<i>Expositionsklassen</i>	<i>X0, XC1</i>	<i>nicht zutreffend</i>	<i>alle außer X0, XC1 und XM</i>	<i>XM1, XM2, XM3, XF4<sup>a</sup></i>
Prozentualer Anteil der charakteristischen Mindest-Druckfestigkeit	nicht festgelegt	35 %	50 %	70 %

<sup>a</sup> *Gilt nur bei langsamen und sehr langsamen Betonen, siehe Tabelle 6 und Tabelle 7.*

Standard in aktueller deutscher Normung

# Wesentliche Punkte der ERC-Rili bzw. des Konzeptes



## Mindestbetondeckungen abhängig von der Nachbehandlungsklasse (Auszug Entw. ERC-Rili)

**Tabelle R3 – Nachbehandlungsklasse 2: Mindestbetondeckungen  $c_{min,dur}$  für Betonstahl nach DIN 488 — Karbonatisierung**

S	1	2	3	4
Z	<b>Expositionsklasse</b>	<b><math>c_{min,dur}</math> [mm] für geplante Nutzungsdauer 50 Jahre</b>		
		<b>XRC 5</b>	<b>XRC 7</b>	<b>XRC 9</b>
1	XC2, XC3	15	20	25
2	XC4	nicht anwendbar (wegen XF)		
		<b><math>c_{min,dur}</math> [mm] für geplante Nutzungsdauer 100 Jahre</b>		
3	XC2, XC3	20	25	35
4	XC4	nicht anwendbar (wegen XF)		

a) Bei Betonfertigteilen ist eine Reduktion um 5 mm zulässig.

**Tabelle R4 – Nachbehandlungsklasse 3: Mindestbetondeckungen  $c_{min,dur}$  für Betonstahl nach DIN 488 — Karbonatisierung**

S	1	2	3	4
Z	<b>Expositionsklasse</b>	<b><math>c_{min,dur}</math> [mm] für geplante Nutzungsdauer 50 Jahre</b>		
		<b>XRC 5</b>	<b>XRC 7</b>	<b>XRC 9</b>
1	XC2, XC3	15 <sup>a)</sup>	15	20
2	XC4	15	25	30
		<b><math>c_{min,dur}</math> [mm] für geplante Nutzungsdauer 100 Jahre</b>		
3	XC2, XC3	20 <sup>a)</sup>	20	30
4	XC4	20	35	40

a) Bei Betonfertigteilen ist eine Reduktion um 5 mm zulässig.

### Exemplarisch für Carbo

$c_{min,dur}$  in Abhängigkeit von:

- Expositionsklasse
- Expositionswiderstandsklasse (XRC-Klasse)
- Nutzungsdauer: 30, 50 und 100 Jahre
- Hinweise für die Planung der Nachbehandlungsklasse
- Hinweise für die Ausführung in Bezug auf die Nachbehandlungsklasse

# Agenda



1. Ausgangslage
2. Definition XRC-Klasse
3. Umsetzung der ERC-Richtlinie im neuen deutschen Normenpaket
4. Wesentliche Punkte der ERC-Richtlinie (Entwurf)
5. Beispiel CO<sub>2</sub>-Einsparung
6. Zusammenfassung

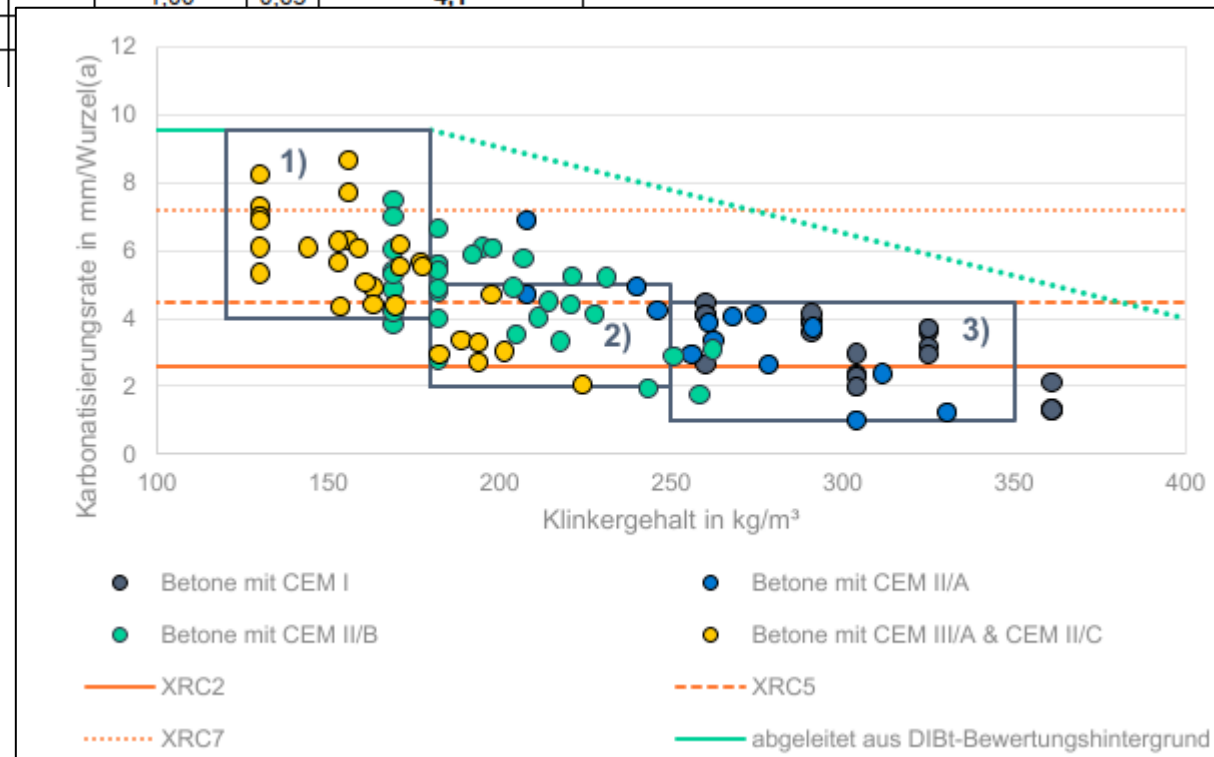
# Beispiel Statistische Untersuchung Betonrezepturen



- Datenbank VDZ/BTB (96 Betone)

Leimgehalt, ca.	w	Zementzusammensetzung					Klinkerfaktor	w/z	Karbonatisierungsrate mm/Wurzel(a)
		Zementgehalt	K	S	V	LL			
l/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³			
280	169	260	260				1,00	0,65	4,5
280	169	260	260				1,00	0,65	2,7
280	169	260	260				1,00	0,65	4,1
280	169	260	260						
330	198	335	325						

Auswertung 1



Quelle: Daten VDZ, BTB

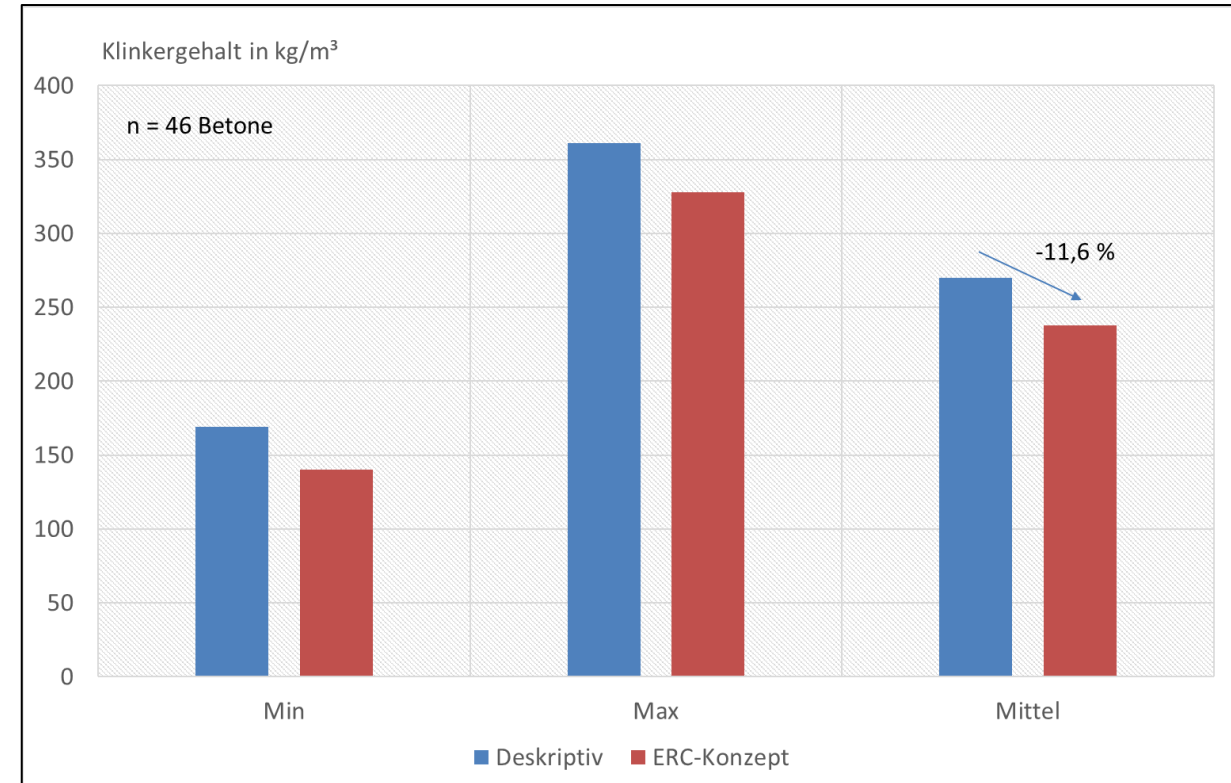
# Beispiel Statistische Untersuchung Betonrezepturen



- Datenbank VDZ/BTB (96 Betone)

## Auswertung 2

- Zementgehalte Betone: zwischen 234 kg/m<sup>3</sup> und 380 kg/m<sup>3</sup>, MW: 309 kg/ m<sup>3</sup>  
min z (XC3): 260 kg/m<sup>3</sup>
- Reduktion Zementgehalt um 60 kg/m<sup>3</sup> und Zugabe 60 kg/m<sup>3</sup> KSM
- Pauschale Erhöhung der XRC-Klasse um eine Klasse, es bleiben 46 Betone übrig
- Dies führt zu einer Reduktion des Klinkergehalts von im Mittel 11,6 %



Quelle: Daten VDZ, BTB



# Agenda



1. Ausgangslage
2. Definition XRC-Klasse
3. Umsetzung der ERC-Richtlinie im neuen deutschen Normenpaket
4. Wesentliche Punkte der ERC-Richtlinie (Entwurf)
5. Beispiel CO<sub>2</sub>-Einsparung
6. Zusammenfassung

# Zusammenfassung



- Vorstandsbeschluss (DAfStb): Schnelle Einführung der ERC-Rili.
- Der Gelbdruck der ERC-Rili soll im ersten Quartal 2024 fertiggestellt werden.
- Alternative Verwendung von DIN 1045-2 (neu) oder ERC-Rili möglich.
- Durch die Anwendung der ERC-Rili kann zukünftig das Potential verschiedener Betonzusammensetzungen an die jeweilige Aufgabenstellung angepasst werden.
- CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Anwendung der ERC-Rili möglich.



# Fragen ???



Ingenieurbüro  
Schießl Gehlen Sodeikat GmbH  
Landsberger Straße 370  
80687 München

[ib-schiessl.de](http://ib-schiessl.de)



Lowke Schiessl Ingenieure GmbH  
Rebenring 33  
38106 Braunschweig

[lowke-ing.de](http://lowke-ing.de)